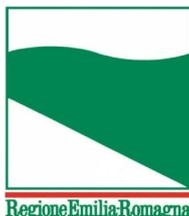




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



**CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME**

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO 2

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Regione Emilia-Romagna
Comune di Voghiera



<p>Regione:</p> <p>Emilia Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore: Dott. Geol. Thomas Veronese</p> <p>Collaboratori: Dott. Geol. Lunghi Luca Dott.ssa Geol. Franciosi Sara</p> <p>Indagini Geofisiche: Prof. Nasser Abu Zeid</p> <p>Cartografia GIS: Geotema s.r.l.</p> <p>CLE: Dott. Ing. Colombi Alessio</p>	<p>Data:</p> <p>Luglio 2019</p>
--	--	--

Gruppo di lavoro:

Microzonazione sismica di II livello:

Dott. Geol. Thomas Veronese
Dott. Geol. Sara Franciosi
Dott. Geol. Luca Lunghi

Analisi della Condizione Limite di Emergenza

Dott. Ing. Alessio Colombi

Indagini geofisiche e interpretazione dati geofisici

Dott. Nasser Abu-Zeid

Indagini geologiche in situ:

Dott. Geol. Thomas Veronese
Dott. Geol. Luca Lunghi

Cartografia e progetto GIS:

Dott. Luca Minarelli - Geotema s.r.l.

INDICE:

1.	INTRODUZIONE	2
1.1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
1.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1.	ASSETTO TETTONICO.....	5
2.2.	TERREMOTI STORICI E MAGNITUDO	15
2.2.1.	<i>LA MAGNITUDO ATTESA.....</i>	<i>24</i>
2.3.	CLASSIFICAZIONE SISMICA	27
	<i>Legge 2/ 2/ 74 n. 64</i>	<i>27</i>
	<i>OPCM 3274 del 20/03/2003</i>	<i>28</i>
	<i>D.M. 14/09/2005</i>	<i>29</i>
	<i>OPCM 3519/2006</i>	<i>29</i>
	<i>D.M. 14/01/2008</i>	<i>30</i>
	<i>“Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007” per la Pianificazione territoriale ed urbanistica.....</i>	<i>30</i>
	<i>“DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 2193, DEL 21 DICEMBRE 2015” PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA.....</i>	<i>31</i>
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL COMUNE DI VOGHIERA.....	34
3.1.	CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE	34
3.2.	CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA	38
3.3.	CENNI SULLA SUBSIDENZA	42
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	47
4.1.	INDAGINI PREGRESSE.....	47
4.2.	INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	48
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	49
5.1.	SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	53
5.2.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI).....	54
5.3.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES).....	54
5.4.	SUBSINTEMA DI BAZZANO – AES 6.....	56
5.5.	SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7.....	56
5.6.	SUBSINTEMA DI RAVENNA – AES 8.....	57
6.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	59
6.1.	CAUSE SCATENANTI PER LA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE	59
6.2.	DISTRIBUZIONE E DIMENSIONI DELLE FORME GEOMORFOLOGICHE	63
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	64
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI	74
8.1.	CARTA DELLE INDAGINI.....	74
8.2.	CARTA GEOLOGICO TECNICA	76
8.3.	CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI F ₀ DEL TERRENO	78
8.4.	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA	80
8.5.	CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs).....	86
	<i>Misure dirette mediante sismocono.....</i>	<i>87</i>
	<i>Indagini geofisiche.....</i>	<i>87</i>
	<i>Correlazione empirica da penetrometrie.....</i>	<i>90</i>
8.6.	CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE	94
9.	CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	99
10.	BIBLIOGRAFIA	104

1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'amministrazione comunale di Voghiera si redige lo studio di Microzonazione sismica di 2 livello e analisi della Condizione Limite per l'emergenza (CLE), di cui alla D.G.R. n. 2193 del 21/12/2015, D.G.R. I fondi per questo studio sono stanziati dalla REGIONE EMILIA-ROMAGNA - Atti amministrativi - GIUNTA REGIONALE - Atto del Dirigente a firma unica DETERMINAZIONE - Num. 8757 del 05/06/2017 BOLOGNA.

Gli studi di microzonazione sismica hanno l'obiettivo di provare a prevedere le alterazioni che lo scuotimento sismico può indurre in superficie, restituendo informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione per l'emergenza e per la ricostruzione post sisma. Nella pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, gli studi di microzonazione sismica sono condotti su quelle aree per le quali il quadro normativo consente o prevede l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, la loro potenziale trasformazione a tali fini, o ne preveda l'uso ai fini di protezione civile.

Gli studi di microzonazione sismica sono di fondamentale importanza nella pianificazione al fine di:

- orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti;
- definire gli interventi ammissibili in una data area;
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento;
- stabilire orientamenti e modalità di intervento nelle aree urbanizzate;
- definire priorità di intervento.

Tutto ciò è oggetto degli studi di microzonazione sismica, attraverso i quali è possibile individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale e le zone soggette a instabilità, quali frane, rotture della superficie per faglie e liquefazioni dinamiche del terreno.

Nella pianificazione d'emergenza, sia di livello comunale che provinciale, gli studi di microzonazione sismica consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza ed in generale delle risorse di protezione civile.

La conoscenza dei possibili effetti locali indotti da un evento sismico su un territorio contribuisce a:

- scegliere aree e strutture di emergenza ed edifici strategici in zone stabili;
- individuare, in caso di collasso, i tratti "critici" delle infrastrutture viarie e di servizio e le opere rilevanti per le quali potrebbero essere necessarie specifiche valutazioni di sicurezza.

Nella fase della ricostruzione la microzonazione sismica:

- contribuisce a scegliere le aree per le abitazioni temporanee;
- fornisce elementi ai tecnici e amministratori, sull'opportunità di ricostruire gli edifici non agibili;
- contribuisce a scegliere nuove aree edificabili.

Nella progettazione di nuove opere o di interventi su opere esistenti, gli studi di microzonazione sismica evidenziano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e di fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma. Gli studi di microzonazione sismica, quindi, possono offrire elementi conoscitivi utili per la progettazione di opere, con differente incisività in funzione del livello di approfondimento e delle caratteristiche delle opere stesse, indirizzando alla scelta delle indagini di dettaglio.

Lo studio di microzonazione sismica è uno strumento conoscitivo dalle diverse potenzialità, che ha costi differenti in funzione del livello di approfondimento che si vuole raggiungere:

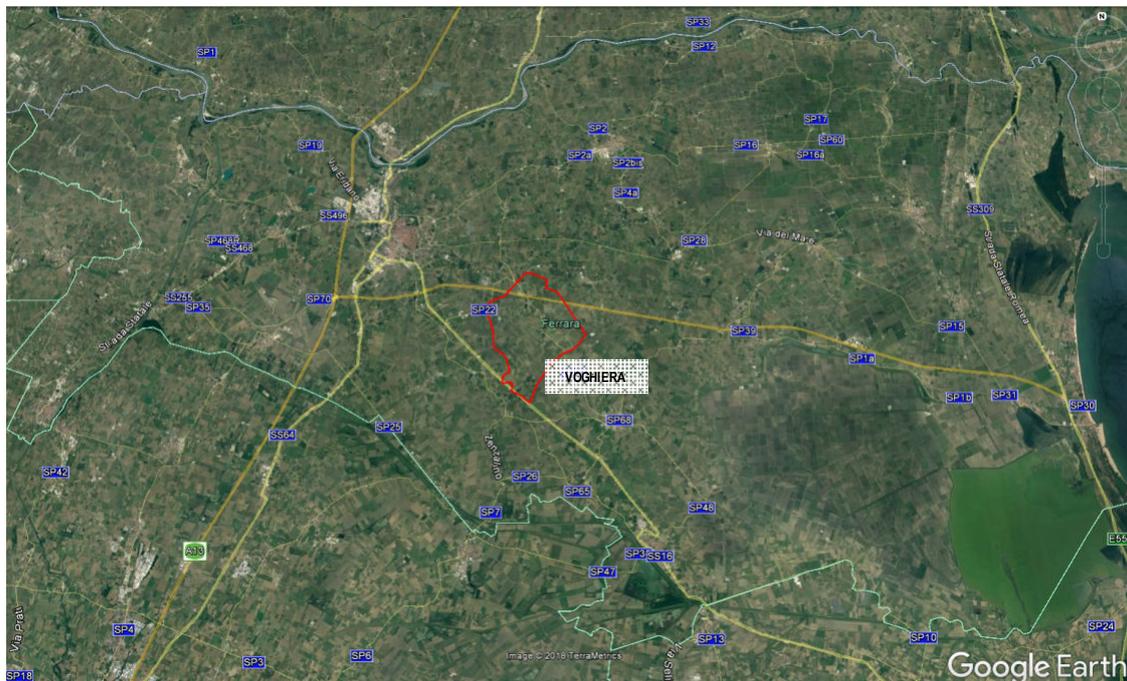
- il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di microzonazione sismica, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee;
- il livello 2 introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce una vera carta di microzonazione sismica;
- il livello 3 restituisce una carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Le modalità tecniche di esecuzione e di applicazione della microzonazione sismica sul territorio italiano sono definite dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Voghiera è compreso nella seguente cartografia:

- Scala 1: 50.000: Foglio 186 Copparo, Foglio 204 Portomaggiore,
- Scala 1: 25.000: Foglio 186 SO Copparo, Foglio 204NO Portomaggiore.
- Scala 1: 5.000: Foglio 186130, 204010, 204020, 204050, 204060.



TERRITORIO COMUNALE DI VOGHIERA - provincia di Ferrara

1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0b”, redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015), da qui in avanti “Standard MS 4.0b”.
- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”, approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (Gruppo di lavoro MS, 2008) e successive modifiche e integrazioni (AA.VV., 2011), da qui in avanti “ICMS”.
- Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna “Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico” per gli studi di microzonizzazione sismica.
- Delibera di Giunta Regionale n. 2188 del 13 Dicembre 2016, recante “O.C.D.P.C. 9 maggio 2016, n. 344 – annualità 2015 – attuazione dell’art. 2, comma 1, lett. a)
- Decreto della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia - Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 Maggio 2007, N. 112.
- L.R. 30/10/2008 n. 19 “Nome per la riduzione del Rischio Sismico”
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, suppl. ord. n. 30, che entrano in vigore il 6 marzo 2008.
- Decreto del Capo del Dipartimento della protezione Civile n. 1755 del 27 aprile 2012.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al proprio assetto tettonico - strutturale, dunque alla presenza di quelle che vengono definite strutture “geologicamente attive”. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio, oltre alle conoscenze legate all'evoluzione delle principali strutture deformative esistenti, risultano fondamentali anche quelle relative alla storia sismica del territorio stesso, vale a dire tutte le informazioni riguardanti i terremoti avvenuti in epoca storica e gli effetti ad essi associati.

2.1. ASSETTO TETTONICO

Centinaia di milioni di anni fa, in corrispondenza dell'attuale Pianura Padana, si estendeva un vasto bacino oceanico denominato Tetide, in cui trovavano sviluppo profonde fosse, la cui origine era riconducibile ai meccanismi tettonici della subduzione tra la placca africana e quella euroasiatica. Nel complesso meccanismo della deriva delle placche litosferiche accadde che la placca africana e quella europea si avvicinarono fino a collidere. In questa collisione il bacino della Tetide, con tutti i sedimenti che aveva accumulato sui suoi fondali, fu corrugato, inarcato e trascinato nella morsa delle due placche in collisione. Ebbero così origine le catene montuose delle regioni europee. Le Alpi e gli Appennini furono, in tempi diversi, gli effetti più evidenti dello scontro tra le due placche africana ed europea.

L'innalzamento di questi enormi ammassi di roccia ha provocato la loro erosione, e la produzione di grandi quantità di sedimenti sciolti che si sono accumulati nella fossa che costituiva il triangolo della Pianura Padana. Il progressivo sprofondamento dell'area padana, dovuto all'orogenesi appenninica, che spinge le grandi falde appenniniche verso nord-est, e crea una avanfossa sul fronte di avanzamento, ha consentito la deposizione di spessori di sedimenti derivati dall'erosione, per diverse migliaia di metri. Su questi sedimenti che caratterizzano la Pianura Padana, l'uomo ha trovato un vasto e pianeggiante territorio, fertile, attraversato da numerosi corsi d'acqua, su cui insediarsi con le proprie attività.

L'evoluzione strutturale dell'ampio bacino subsidente padano è connessa con la dinamica degli eventi che, in sequenze spazio-temporali diverse, hanno interessato sia il Sudalpino che l'Appennino, ed hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione.

Si è avuta così la formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE; WNW-ESE e N-S, e la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione.

L'area padana orientale ad est di Modena-Nogara è caratterizzata dalle seguenti zone geologicamente distinte, in successione da nord a sud:

- il fronte delle pieghe sudalpine;
- la isoclinale padano-veneta, a stile rigido;
- la dorsale Cavone-Ferrara, che rappresenta il margine esterno della Padana meridionale, ripiegato e sovrascorso su se stesso;
- il fronte delle pieghe appenniniche, dove i termini mesozoici non paiono coinvolti nel nucleo delle pieghe prospicienti la Padana.

In Emilia Romagna si distinguono nell'Appennino sepolto, le Pieghe Ferraresi, le Pieghe Adriatiche e le Pieghe Romagnole (**FIGURA 2.1.**).

La zona in esame rappresenta la parte più orientale dell'arco delle pieghe appenniniche, le quali a settentrione, si accavallano in stretta successione alla monoclinale padano-veneta nella zona del Gallare e Varano (**FIGURA 2.2.**).

All'arco ferrarese si affianca, nella parte a mare, l'arco delle pieghe adriatiche che si accavallano invece sulla monoclinale adriatica. Nella parte interna, e cioè meridionale, delle pieghe ferraresi e adriatiche si addossa a sua volta l'arco delle pieghe romagnole. Tutte e tre le strutture sopraindicate sono delimitate esternamente da fasce di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; internamente, cioè nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo.

Le fasi tettoniche si sono succedute dal Burdigaliano al Pleistocene ed hanno portato a successive riprese dei piegamenti ed alla formazione di lineamenti paleogeografici variabili in successione spazio-temporale e quindi

all'instaurarsi in sequenza alterna di ambienti deposizionali marini, costieri, deltizi e lagunari in relazione a locali processi di sollevamento e di subsidenza.

Durante il Pliocene medio inizia un periodo di forte subsidenza che continua sino a tutto il Quaternario basale. Nel Quaternario recente la sedimentazione prevale sulla subsidenza, ed in connessione con le regressioni marine provocate dalle glaciazioni, depositi continentali si sovrappongono ai sedimenti marini. Segue poi una nuova fase trasgressiva con arretramento della linea di costa di oltre venti chilometri rispetto alla posizione attuale. Infine durante l'ultima regressione marina postflandriana, sviluppatasi in più fasi, si ebbe un progressivo spostamento verso oriente della linea di costa sino a raggiungere l'odierno assetto geomorfologico. A causa della pluralità degli ambienti deposizionali in successione spazio-temporale, il complesso plio-quaternario nel territorio del Basso Ferrarese è costituito da una alternanza di livelli sabbiosi, limosi ed argillosi o da miscele binarie o ternarie di tali litotipi.

L'assetto strutturale dei sedimenti plio-quaternari è caratterizzato da blande anticlinali e sinclinali, più accentuate nella parte basale della serie, ove sono presenti anche strutture a trappola sedimentaria o tettonica, e sempre più deboli man mano che ci si avvicina alla superficie attuale.

L'andamento anticlinalico e sinclinalico fa variare lo spessore dei sedimenti plio-quaternari; per esempio nella zona SW del foglio Comacchio esso va dai 2800 metri ai circa 800 metri sotto il piano campagna. Tra il Mezzano e Casal Borsetti il tetto del prepliocene è a 2800 metri, tra Longastrino ed il Mezzano meridionale c'è un alto strutturale ed il tetto è a 800 metri circa, tra Comacchio e Porto Garibaldi una forte subsidenza di origine tettonica ha permesso la deposizione di uno spessore variabile fra i 3200 ed i 4800 metri circa di sedimenti (D. Vincenzi, E. Valpreda, G. Lenzi et al., 1989).

Nel territorio comunale di Voghiera lo spessore dei sedimenti plio-quaternari è varia tra poco meno di 1000 metri ad ovest a poco meno di 2000 metri ad est.

Da diversi anni si calcola che il valore di subsidenza naturale attribuibile a cause geologiche (compattazione dei sedimenti quaternari, eustatismo ed il basculamento della parte nord-orientale della pianura Padana) raggiunga valori di 0,2-0,3 cm/anno.

Il movimento di basculamento della Pianura Padana vede la parte occidentale alzarsi lentamente, mentre quella orientale si sta abbassando; questo movimento avviene secondo l'asse Brescia-Genova, orientato NE-SW. Di seguito si riporta lo "Schema Tettonico" della nostra regione tratto dalle Note Illustrative della "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" a cura di Mario Boccaletti e Luca Martelli (2004).

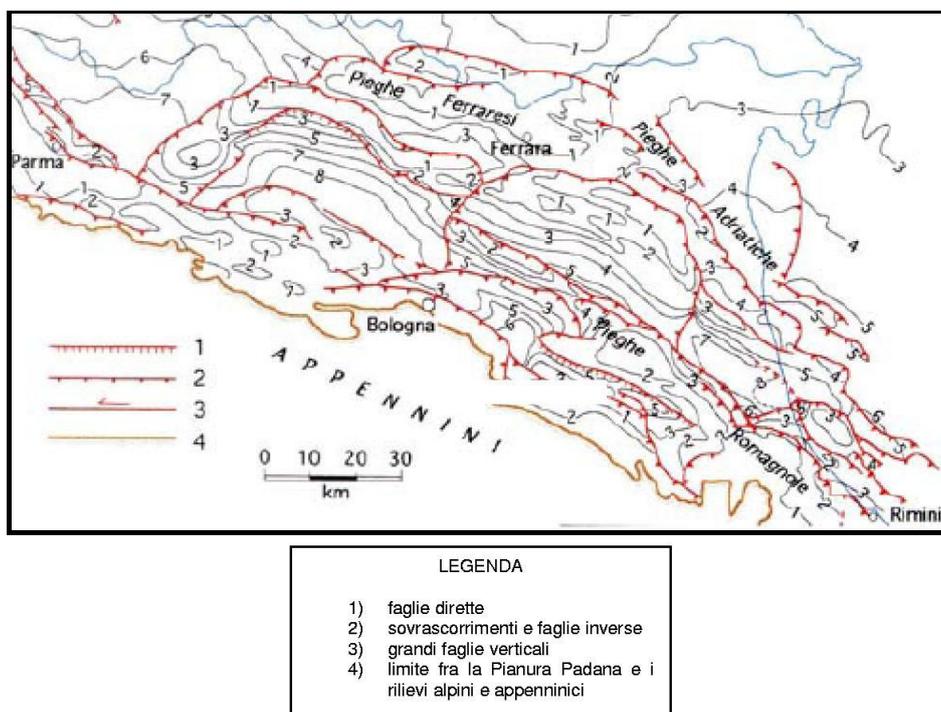


FIGURA 2.1– *Mapa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di faturazioni presenti (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992)*

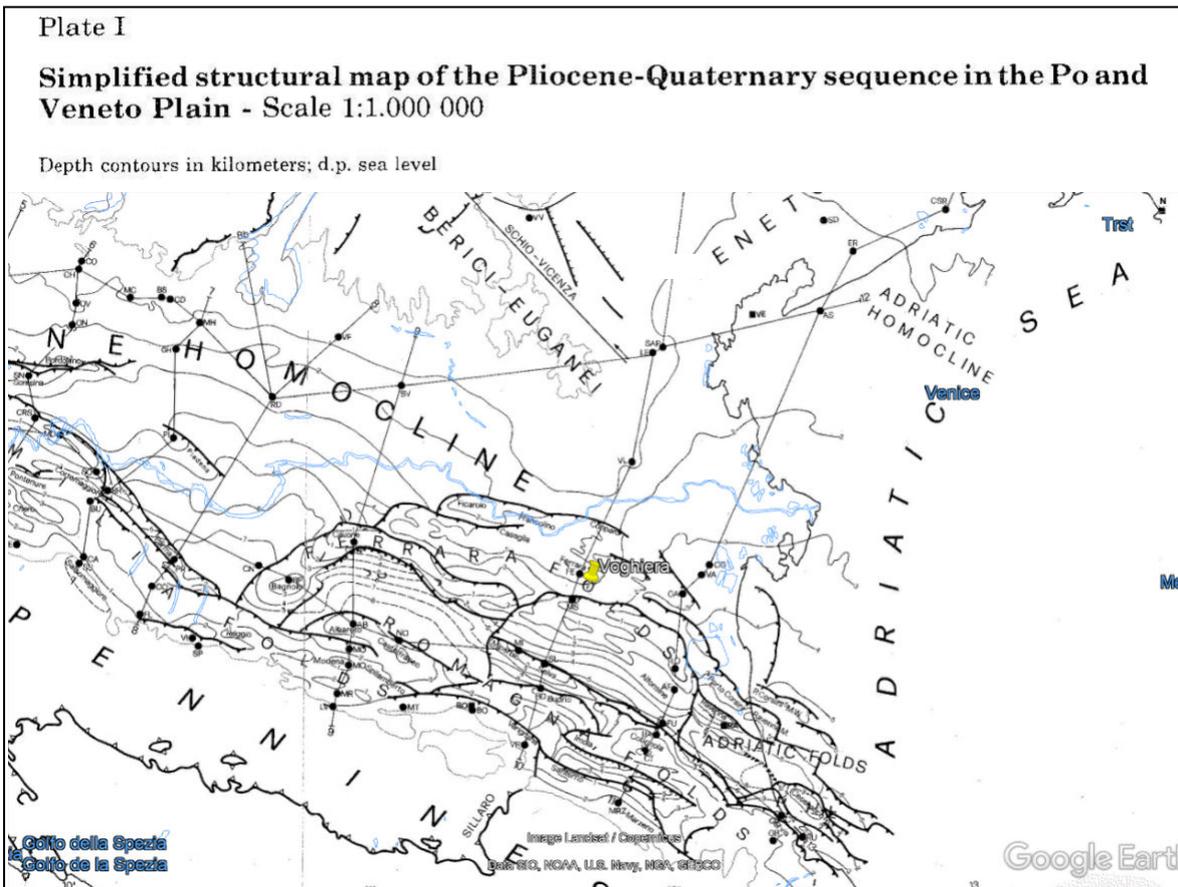


FIGURA 2.2 - Mappa strutturale semplificata della sequenza Pliocenico-Quaternaria della Pianura Padana

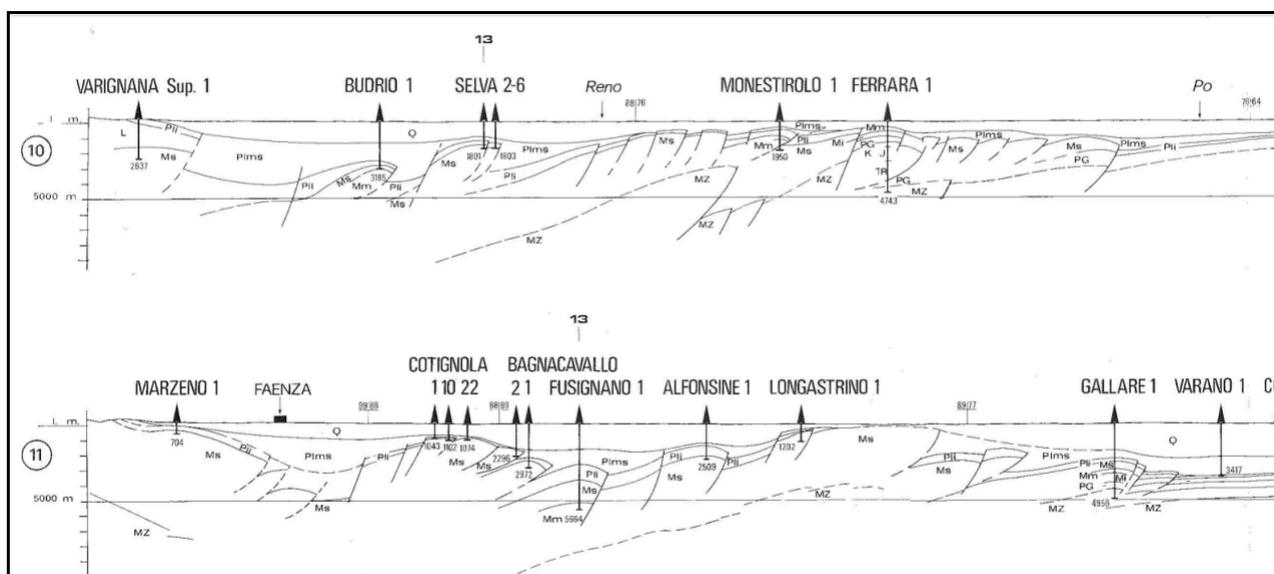


FIGURA 2.2.1 - Sezione geologica n° 10 e n° 11 tra le quali si colloca il territorio comunale di Voghiera - Primo tratto a sud

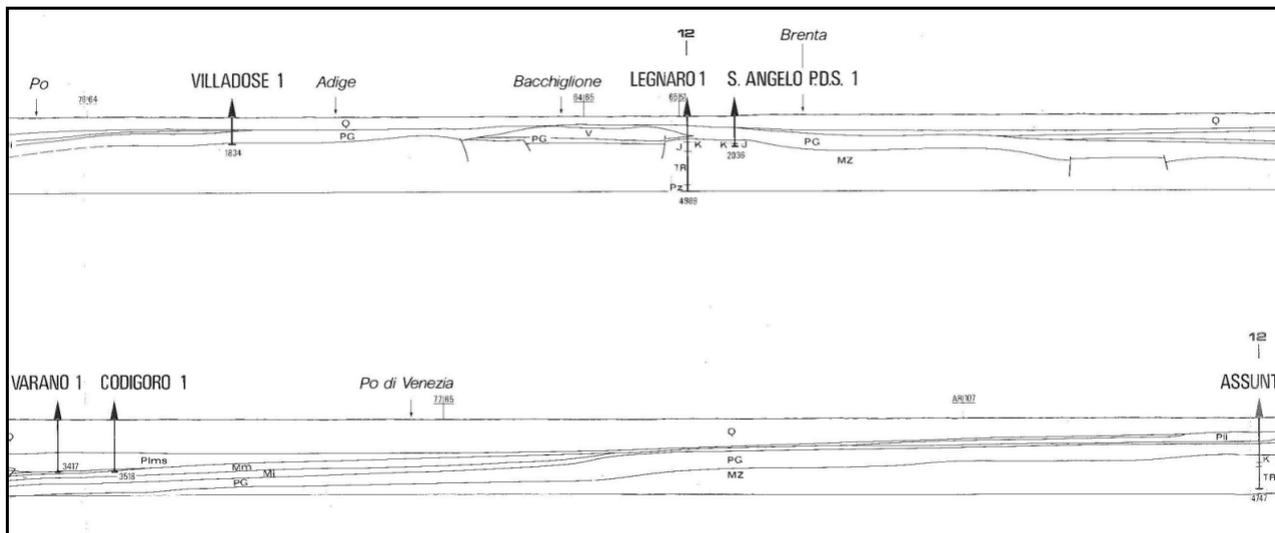


FIGURA 2.2.2 - Sezione geologica n° 10 e n°11 tra le quali si colloca il territorio comunale di Voghiera - secondo tratto centrale

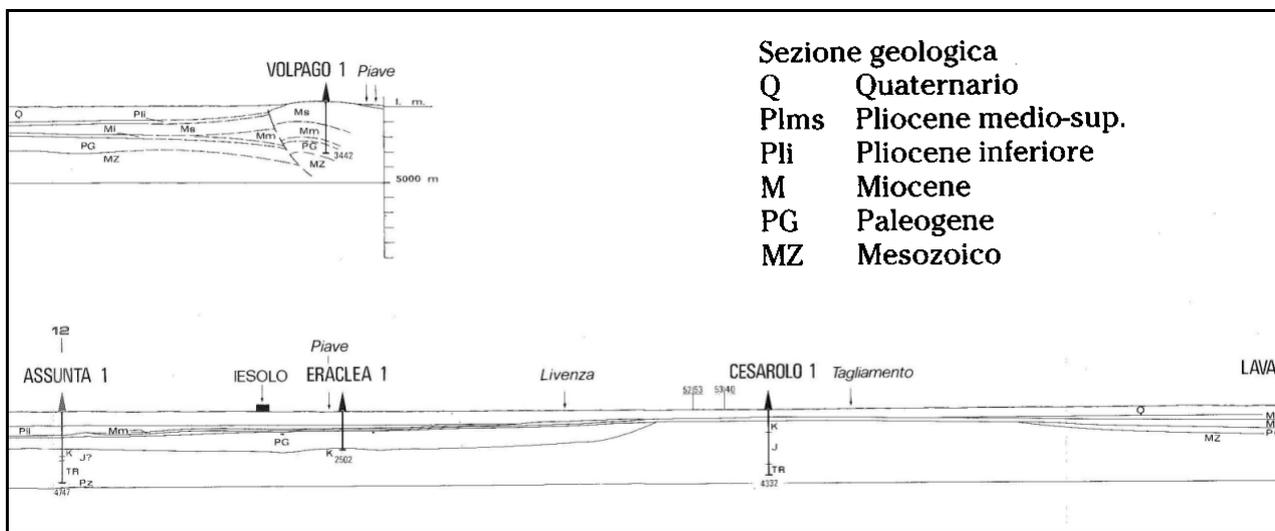


FIGURA 2.2.3 - Sezione geologica n° 10 e n°11 tra le quali si colloca il territorio comunale di Voghiera - terzo tratto a nord

L'abitato di Voghiera cade in prossimità della sezione 10, in particolare dell'area investigata con i due pozzi profondi Monestirolo e Ferrara.

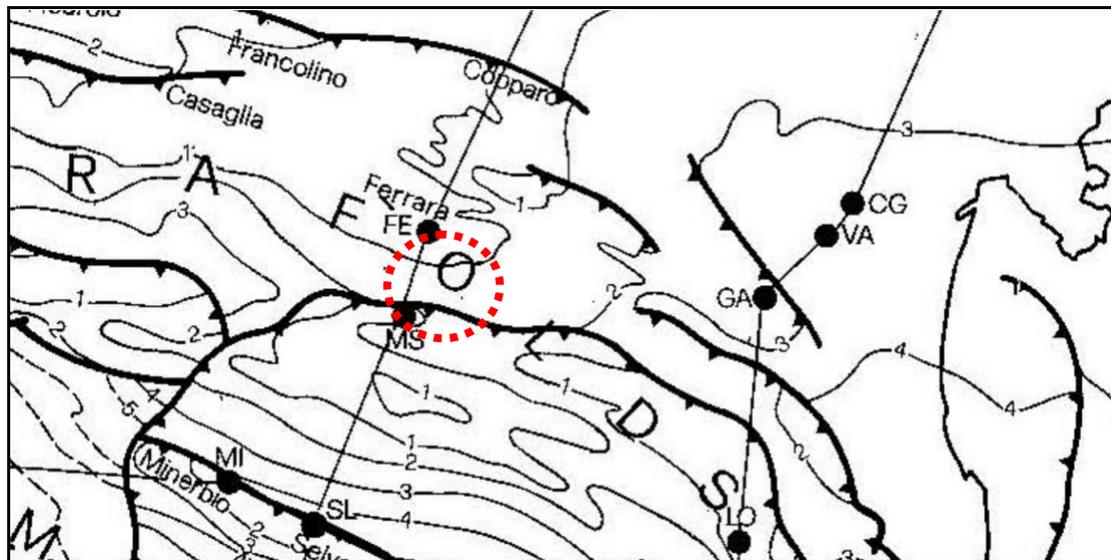


FIGURA 2.3 - Particolare della carta strutturale

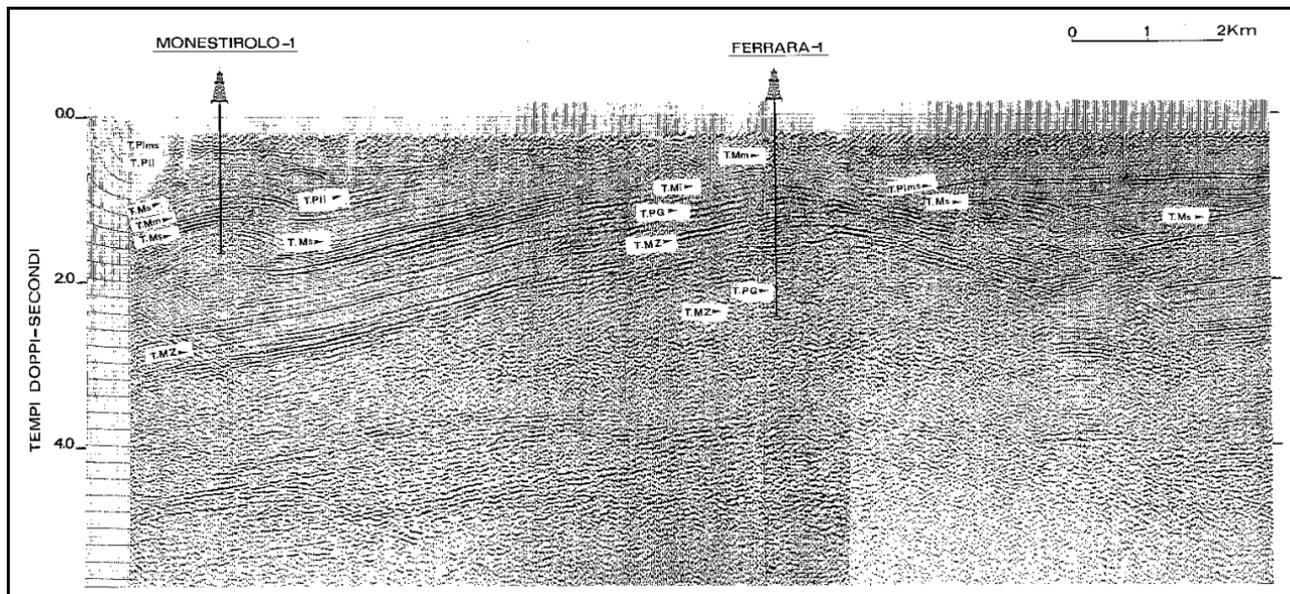


FIGURA 2.4 - Particolare della sezione ricostruita con le indagini geofisiche e le stratigrafie dei pozzi di esplorazione

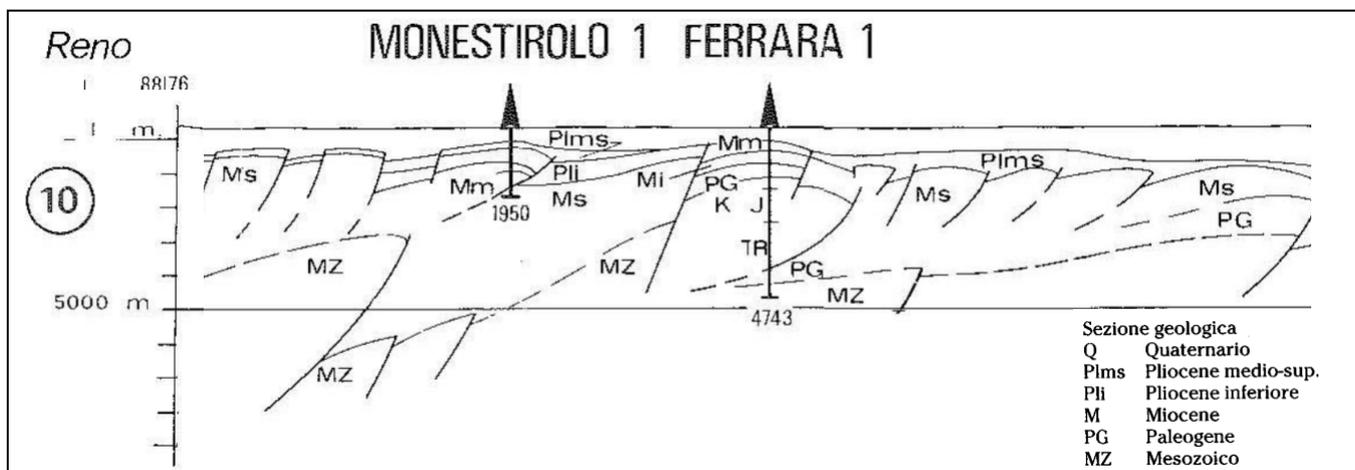


FIGURA 2.5 - Ricostruzione dettagliata dell'assetto tettonico strutturale sotto il territorio comunale. Si notino le due anticlinali su cui sono state fatte le perforazioni del pozzo Monestirolo 1 e Ferrara 1. Si notino le importanti faglie che hanno dislocato i sedimenti del Pliocene medio superiore, dimostrando la loro recente attività.

Nella **FIGURA 2.6** viene riportata una versione più dettagliata della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghie Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi. Le isoipse sono quelle della profondità della base del Pliocene (espressa in km).

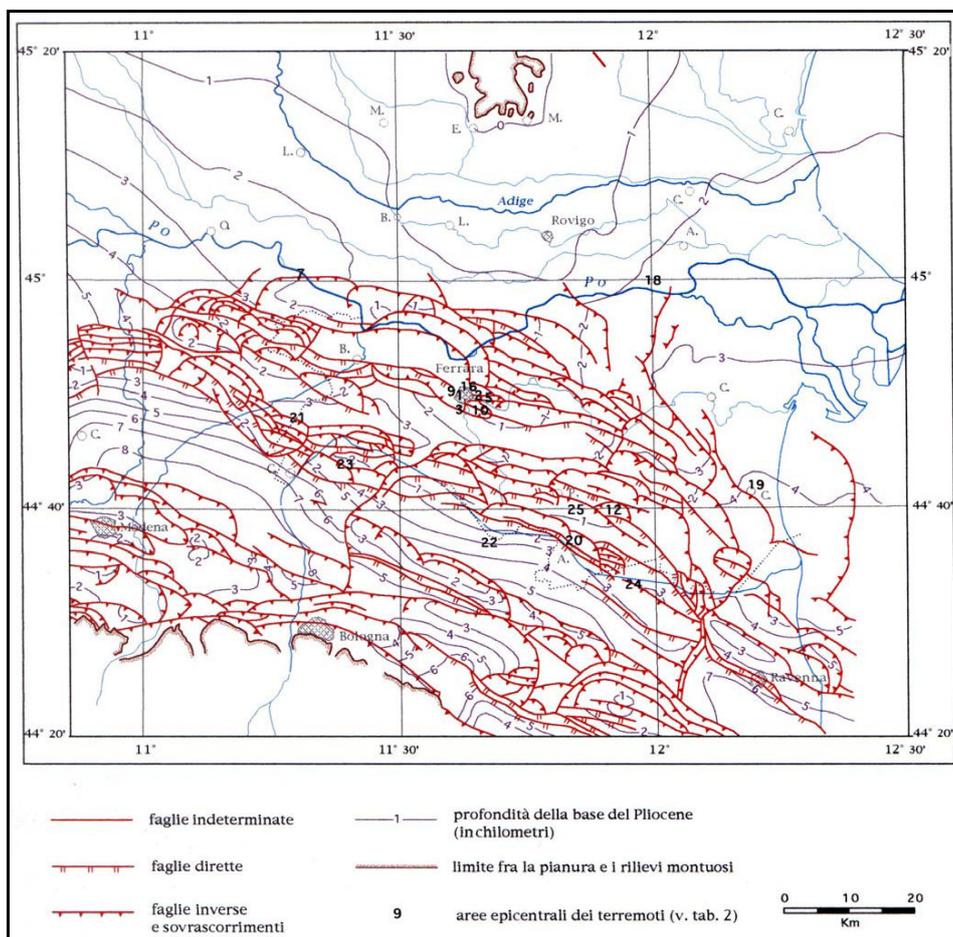


FIGURA 2.6 – Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR, 1992)

Il territorio dell'Emilia Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale infatti coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord. Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinguibili, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati. Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico –padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghie Emiliane e Ferrarese (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani.

Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.

L'Appennino settentrionale è una catena a *thrusts* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Euroasiatica.

Si tratta di un edificio formato da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (Liguridi s.l.) e il dominio Tosco-Umbro-Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui età inizia a partire dal Triassico.

L'avanzamento dei *thrusts* vergenti verso nord-est causano un abbassamento della crosta terrestre che da origine alla avanfossa appenninica su cui sono accumulati i sedimenti quaternari.

Le faglie conseguenti ai movimenti dei sovrascorrimenti appenninici danno origine alle manifestazioni sismiche che interessano la regione emiliano-romagnola.

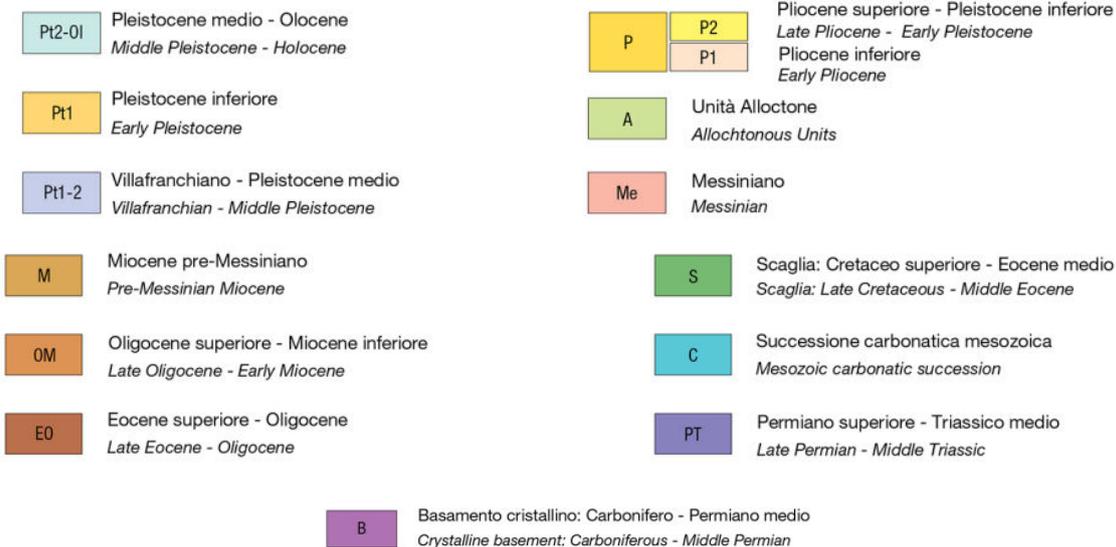
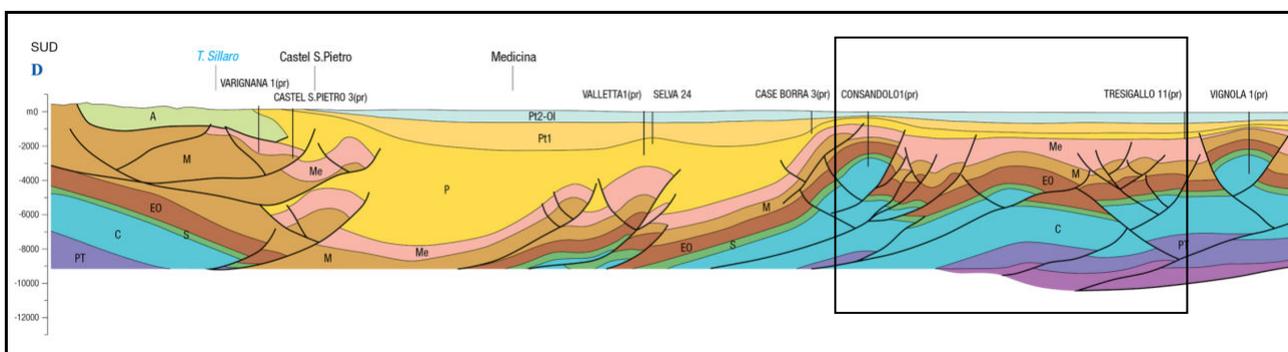
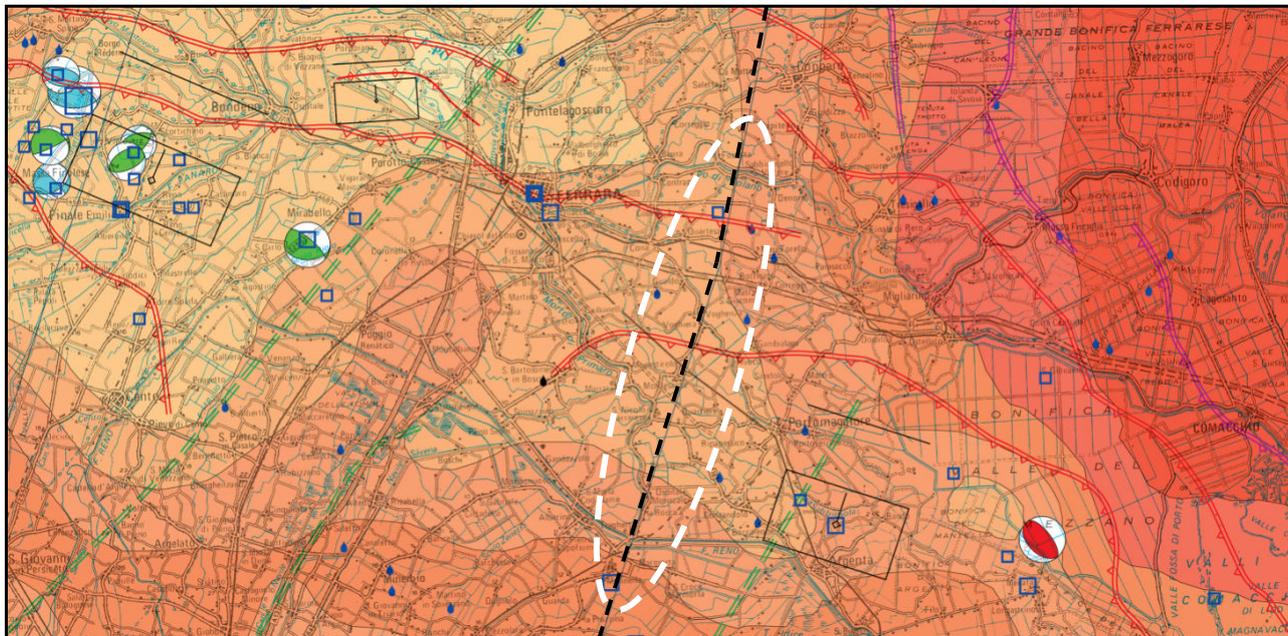
Nel 2017 è stata pubblicata la nuova Carta Tettonica dell'Emilia Romagna e aree limitrofe, a cura del gruppo di lavoro del Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna, costituito da:

Luca Martelli¹ (coord.), Marco Bonini², Lorenzo Calabrese¹, Giacomo Corti², Giulio Ercolessi¹,
Fabio Carlo Molinari¹, Luigi Piccardi², Silvia Pondrelli⁴, Federico Sani³, Paolo Severi¹

Questo lavoro si distingue dai precedenti per la pubblicazione di informazioni che riguardano profondità più elevate della crosta terrestre, raggiungendo anche il basamento cristallino del Carbonifero-Permiano medio (circa 300.000 milioni di anni).

Per facilitare la lettura della sezione geologica che viene riportata in **FIGURA 2.7** si propone qui di seguito la scala dei tempi geologici, necessaria per orientarsi nel tempo.

	Era	Periodo	Epoca	Ma*	
*Ma = milioni di anni 0.0117Ma = 11700 A.C.	Cenozoico	Neogene	Olocene	0.0117-oggi	
			Pleistocene	1.8-0.0117	
			Pliocene	5.2-1.8	
			Miocene	24-5.2	
		Paleogene	Oligocene	34-24	
			Eocene	55-34	
			Paleocene	65-55	
		Mesozoico	Cretaceo		145-65
			Giurassico		199-145
	Triassico		251-199		
	Paleozoico	Permiano		280-251	
		Carbonifero		345-280	
		Devoniano		395-345	
Siluriano		433.7-395			
Ordoviciano		490-433.7			
Cambriano		542-490			
EONE	Proterozoico		2500-542		
	Archeano		4700-2500		
	Ardeano		?-4700		



~~~~~  
Limite stratigrafico  
*Stratigraphic boundary*

~~~~~  
Faglia/contacto tettonico
Fault/tectonic boundary

Luca Martelli¹ (coord.), Marco Bonini², Lorenzo Calabrese¹, Giacomo Corti², Giulio Ercolessi¹,
Fabio Carlo Molinari¹, Luigi Piccardi², Silvia Pondrelli⁴, Federico Sani³, Paolo Severi¹

FIGURA 2.7 - Stralcio della Carta tettonica dell'Emilia Romagna e aree limitrofe - 2017 centrata su Voghiera

Sulla base dunque di tutte le informazioni tettoniche riportate, è stata redatta la carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive (**FIGURA 2.8**) dell'Emilia Romagna. Essa è riportata nelle Note illustrative allegate alla Carta Sismotettonica pubblicata nel 2004.

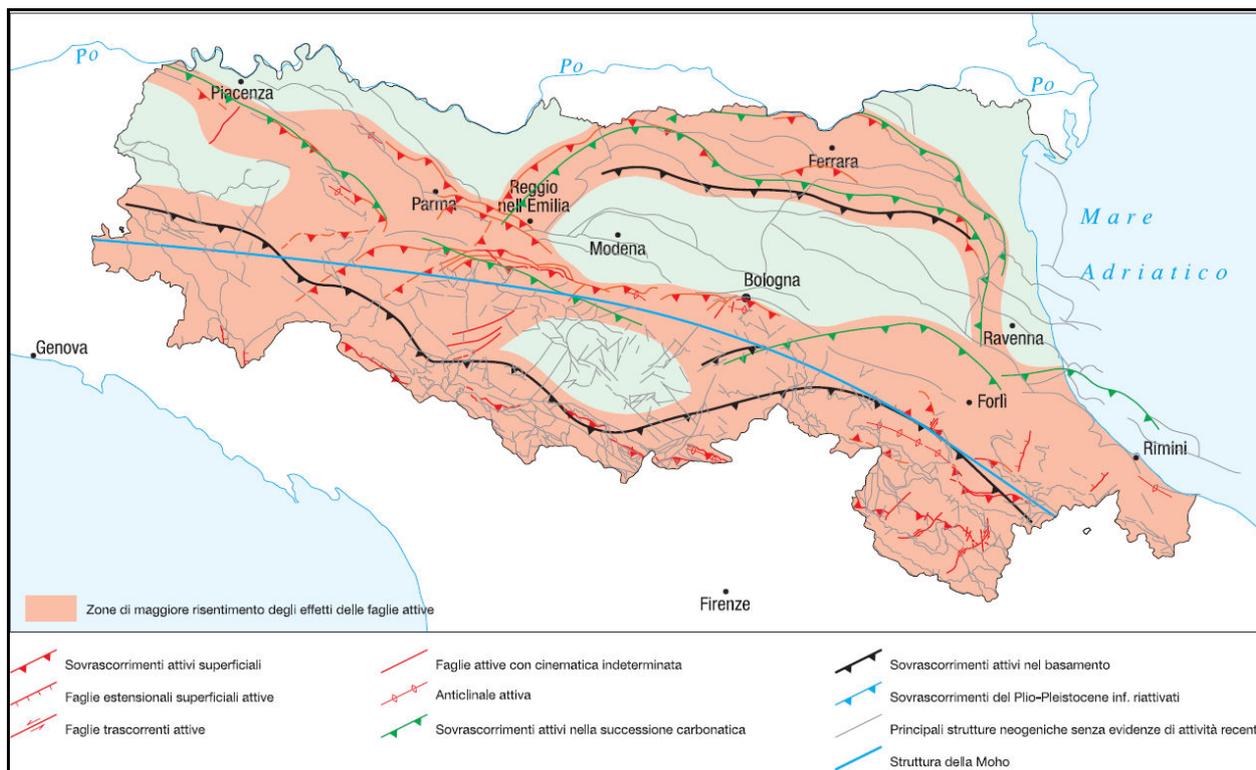


FIGURA 2.8 - carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, il territorio occupato dal comune di Voghiera ricade dentro la Zona 912, caratterizzata da un valore di $M_{w\max}$ pari a 6.14 (**FIGURA 2.9** e **FIGURA 2.10**).

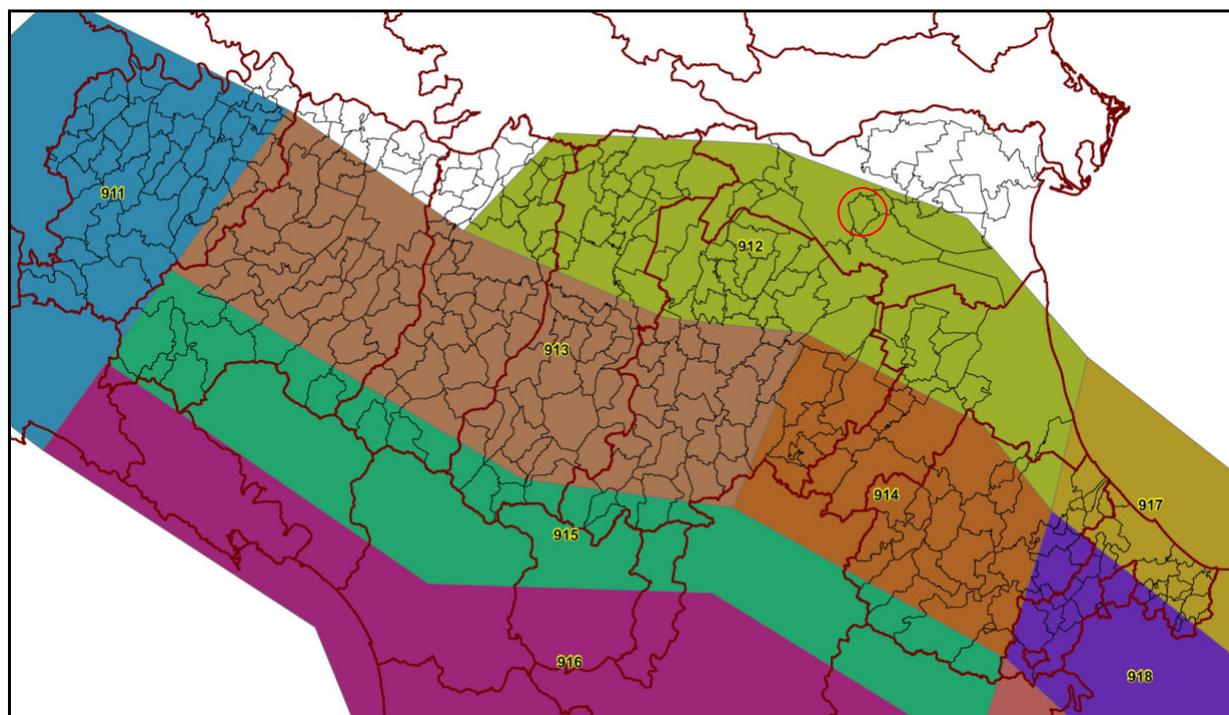


FIGURA 2.9 - Aree sismogenetiche in Emilia Romagna

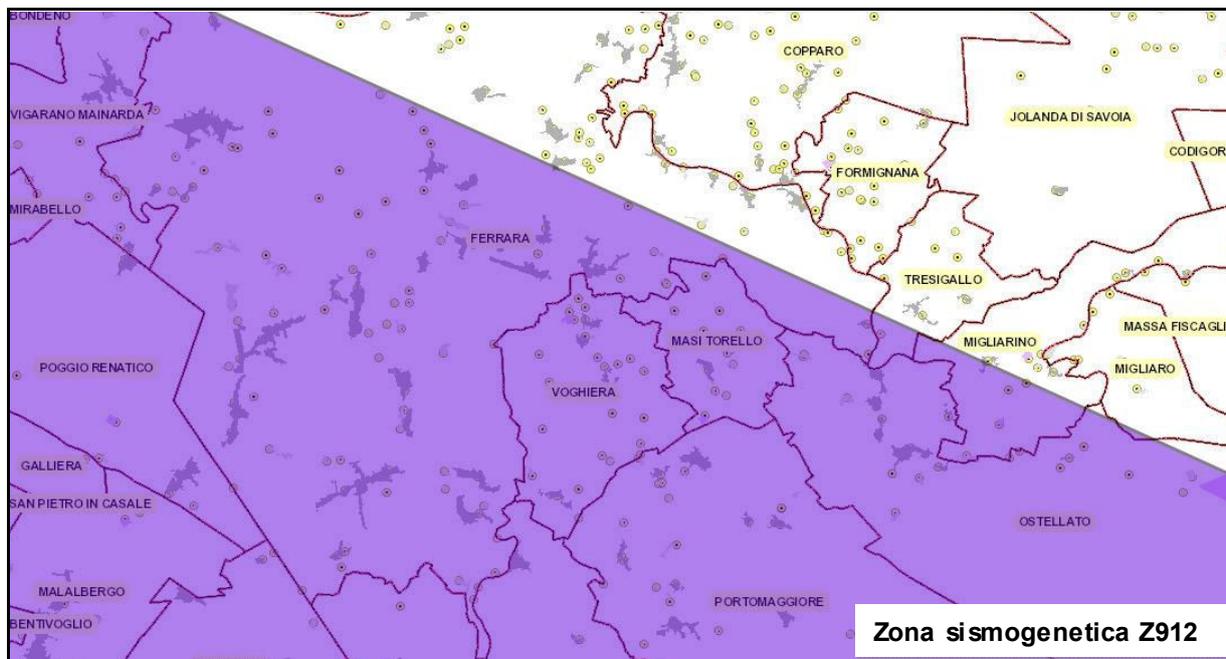


FIGURA 2.10 – Zoomata aree sismogenetiche in Emilia Romagna con evidenziato territorio comunale di Voghiera

Il database DISS (DISS Working Group, 2015) indica che il territorio comunale di Voghiera si colloca ai margini meridionali della struttura sismogenetica composta orientata approssimativamente ESE-WNW e denominata Poggio Rusco-Migliarino (ITCS050) (**FIGURA 2.11** e **FIGURA 2.12**) e ai margini settentrionali di una seconda struttura sismogenetica composta denominata Malalbergo-Ravenna (ITCS012).

Queste strutture fragili, i cui lineamenti principali mostrano vergenza tendenzialmente nord-est, sono soggette ad un attivo campo di stress tettonico compressivo, che induce movimenti inversi o inverso - trascorrenti, associati ad una attività sismica relativamente frequente. Di tale attività esiste significativa documentazione storica (Guidoboni et al., 2007), comunque per sua natura ovviamente incompleta, in particolare prima del XVI secolo.

La fascia corrispondente alla sorgente composta ITCS050 delimita il settore esterno dell'Arco Ferrarese; in essa rientra la sorgente individuale di Ferrara (ITIS090) a cui è assegnata magnitudo massima pari a 5.5, profondità tra 1.4 e 4.5 km e slip-rate compreso tra 0.1 e 0.5 mm/anno. L'esistenza di questa sorgente individuale è avvalorata sia da dati di sottosuolo (Pieri e Groppi, 1981; Boccaletti e Martelli, 2004; Burrato et al., 2003; 2012), sia da attività tettonica "recente" alla quale si riconduce il terremoto di Ferrara del 17 novembre 1570. L'ubicazione della sorgente è stata proposta anche sulla base di anomalie del reticolo idrografico, in particolare in relazione alla deviazione dell'alveo del fiume Po in prossimità di Stellata, interpretata come possibile conseguenza della deformazione cosismica indotta dall'attività tettonica di tale struttura sepolta.

Per quanto riguarda invece la struttura sismogenetica composta ITCS012, in essa rientra la sorgente individuale di Argenta (ITIS141) a cui è assegnata magnitudo massima pari a 5.8, profondità tra 3 e 6.3 km e slip-rate compreso tra 0.49 e 0.55 mm/anno.

Spostandosi più a sud verso la Romagna il database DISS indica la presenza di altre due sorgenti sismogenetiche composte orientate, anch'esse, approssimativamente ESE-WNW e denominate Fusignano-Villanova (ITCS109) e Mordano-Guarniera (ITCS011). A quest'ultima è associata la sorgente individuale di Bagnacavallo (ITIS100), caratterizzata da una magnitudo massima pari a 5.8. La presenza di tale sorgente individuale, a cui è stato associato il sisma dell'11 aprile 1668, è stata ipotizzata anche sulla base ad anomalie osservate nel reticolo idrografico. La profondità della struttura è indicata tra 2.5 e 5 km, mentre lo slip-rate è compreso tra 0.1 e 0.3 mm/anno.

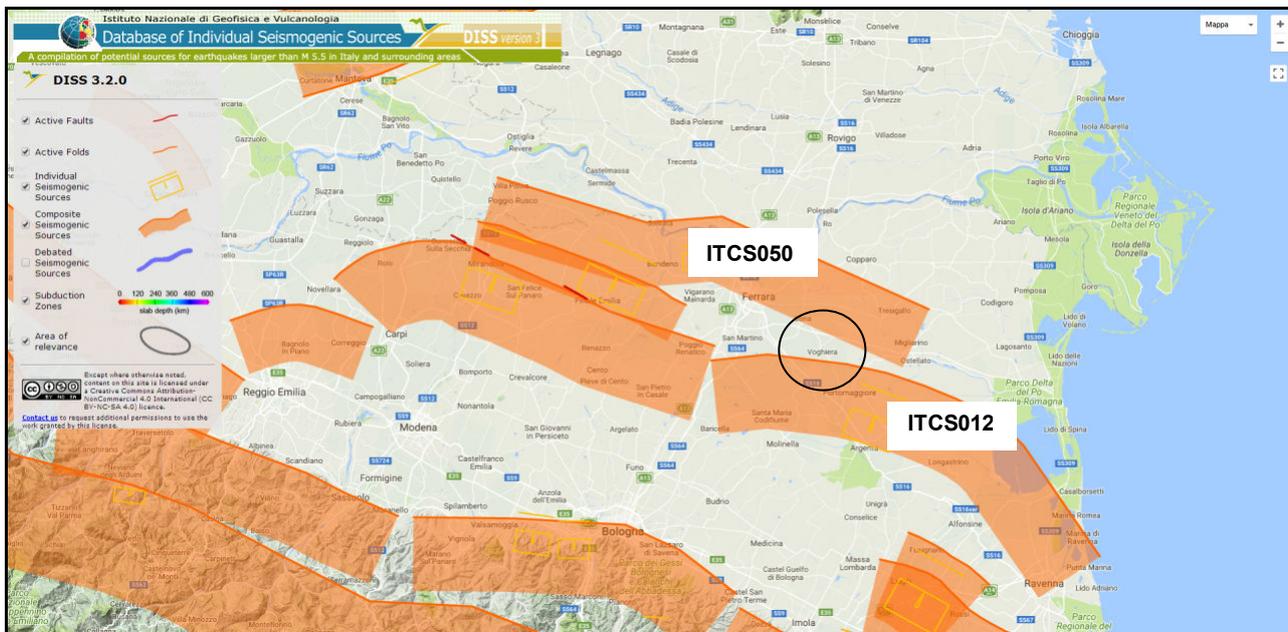


FIGURA 2.11 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.2.0. (<http://diss.rm.ingv.it/dissGML/>)

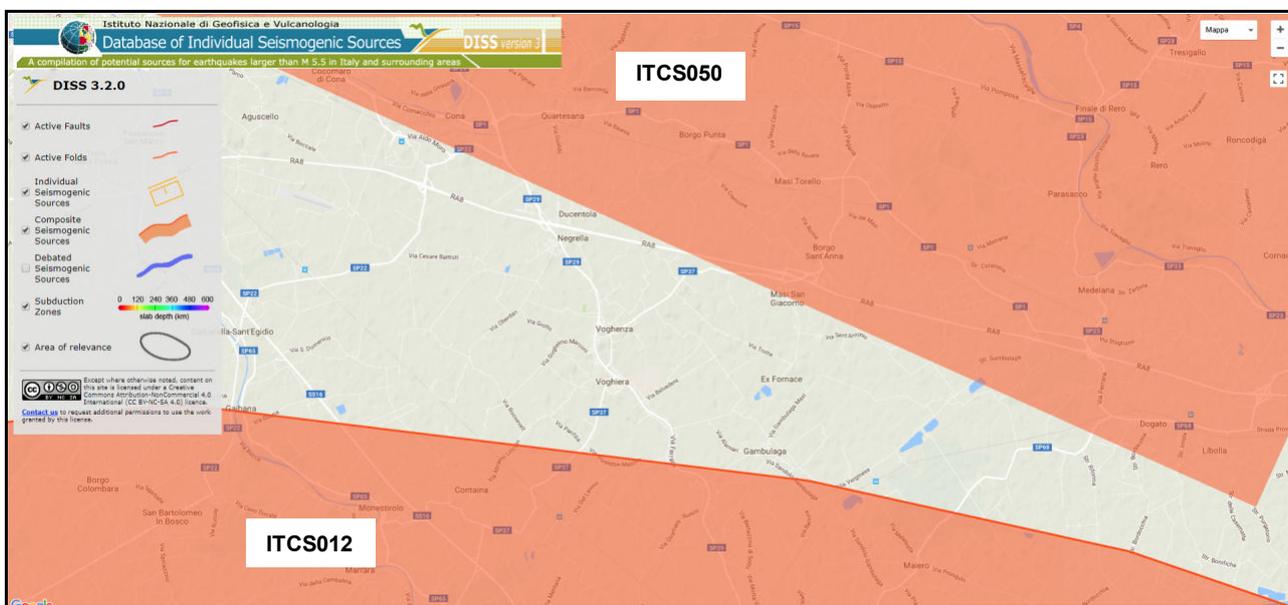


FIGURA 2.12 - Zoommata sul comune della mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.2.0. (<http://diss.rm.ingv.it/dissGML/>)

2.2. TERREMOTI STORICI E MAGNITUDO

La regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può essere definita media rispetto 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.

La provincia di Ferrara è caratterizzata da bassi valori di intensità macrosismica nella parte nord-orientale, mentre i settori più sud-occidentali sono contraddistinti da valori più elevati. Nel catalogo on line dei terremoti (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/ricerca04.php>) si possono caricare i terremoti selezionandoli con criteri di energia e di distanza.

Centrando il comune di Voghiera, selezionando un raggio di 50km, selezionando gli eventi con magnitudo $M_w > 3,92$ (FIGURA 2.13) si ottiene la **Tabella 2.1**.

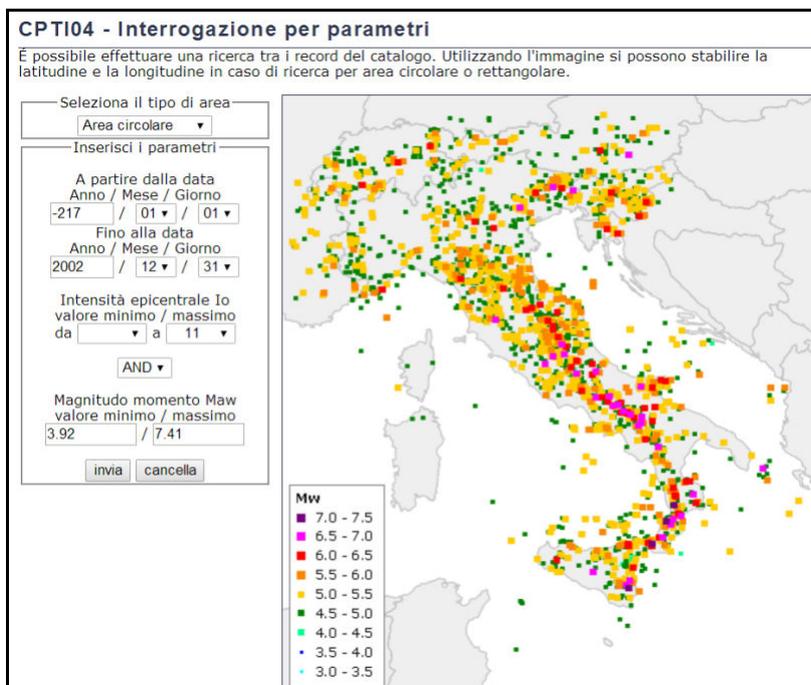


FIGURA 2.13 – Criteri di interrogazione adottati

CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

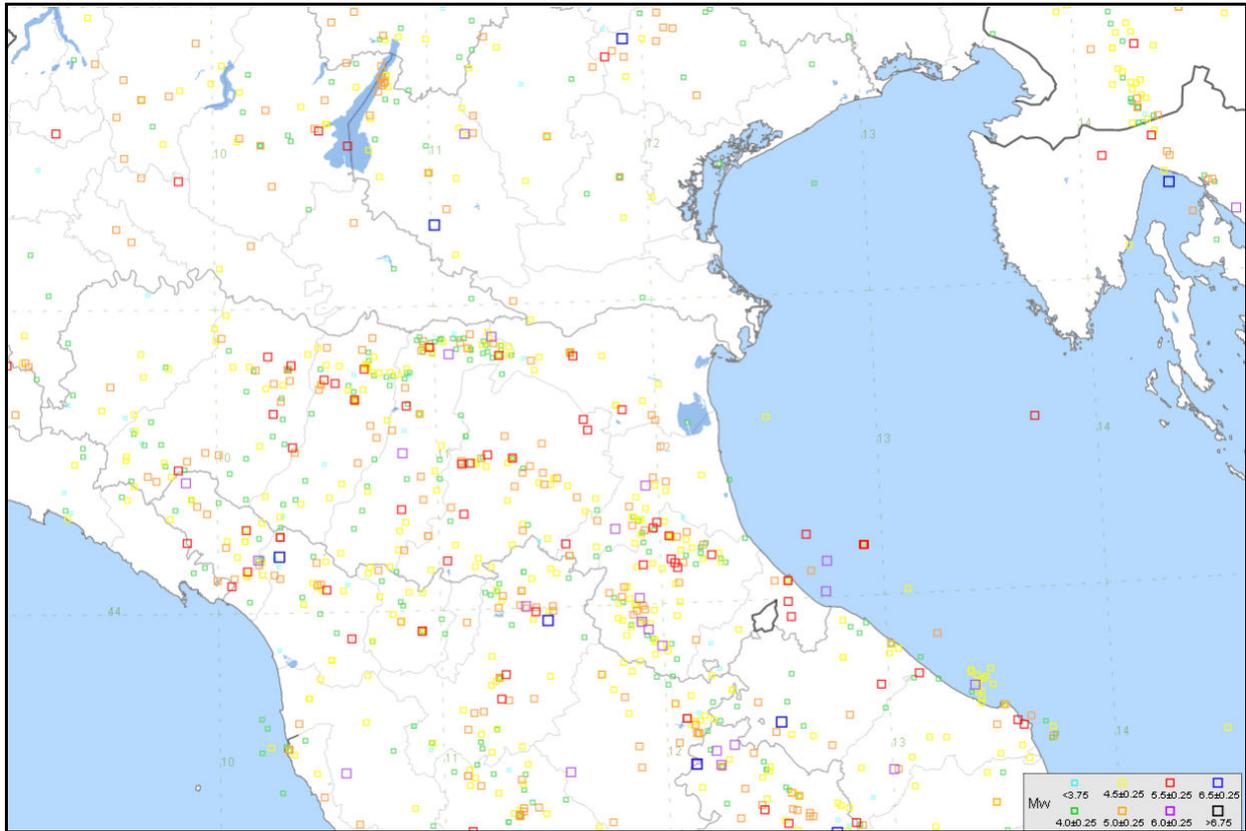
Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:
Area circolare con centro C (44.757, 11.747) e raggio 50 km
a partire dal 217/01/01 fino al 2002/12/31

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	No	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TV	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	Z59	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
51	DI	1234	3	20				FERRARA	DOM	5	70	70		44.836	11.618	A	5.17	0.30	4.60	0.49	4.99	0.42	912	G		860	51		
66	DI	1285	12	13				FERRARA	DOM	2	70	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	912	G		861	66		
84	DI	1323	2	25	19			Bologna	CFTI	5	65	55	M	44.5	11.33	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	913	G	144	755	84		
106	DI	1365	7	25	18			Bologna	CFTI	5	75	65	M	44.5	11.33	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	913	G	159	756	106		
131	DI	1410	5	9	22	30		FERRARA	DOM	3	65	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	912	G		863	131		
139	CP	1425	8	10	19			FERRARA SUD	POSS85			60		44.833	11.667	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	912	G		864	139		
142	DI	1433	5	4	8	5		Bologna	CFTI	5	70	60	M	44.5	11.33	A	5.03	0.17	4.60	0.25	4.80	0.23	913	G	180	759	142		
178	DI	1483	3	3	22			FERRARA	DOM	1	55	55		44.836	11.618	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	912	G		865	178		
203	DI	1505	5	15				BOLOGNA	DOM	1	55	55		44.498	11.34	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	913	G		866	203		
207	CP	1508	10	18	15			FERRARA SUD	POSS85			60		44.833	11.667	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	912	G		866	207		
209	DI	1509	4	19				Faentino	CFTI	5	70	70		44.32	11.87	A	5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	914	G	210	831	209		
213	DI	1512	2	8	16			VENEZIA	DOM	3	55	55		45.137	11.977	A	4.68	0.12	4.07	0.18	4.31	0.17				2009	213		
257	DI	1561	11	24	1	25		Ferrara	CFTI	5	65	55	M	44.78	11.45	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	912	G	229	867	257		
262	DI	1570	11	17	19	10		Ferrara	CFTI	60	80	75		44.82	11.63	A	5.48	0.11	5.27	0.17	5.43	0.16	912	G	231	868	262		
266	DI	1574	3	17	3	40		FINALE EMILIA	DOM	4	70	70		44.833	11.294	A	5.12	0.22	4.73	0.33	4.92	0.21	912	G		869	266		
282	DI	1591	7	10				FORLI'	DOM	6	65	65		44.4	12.038	A	5.24	0.22	4.91	0.32	5.09	0.30	912	G		832	282		
323	DI	1624	3	18	19	45		Argenta	CFTI	17	85	75		44.65	11.85	A	5.43	0.22	5.19	0.32	5.35	0.30	912	G	243	870	323		
368	CP	1666	4	14	18	58		BOLOGNA	POSS85			60		44.5	11.333	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	913	G		864	368		
389	CP	1687						CASTEL BOLOGNESE	POSS85			60		44.333	11.75	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	914	G		833	389		
393	DI	1688	4	11	11	30		ROMAGNA	DOM	36	90	90		44.39	11.942	A	5.88	0.12	5.85	0.18	5.85	0.18	912	G	266	834	393		
395	CP	1688	8	18				FUSIGNANO	POSS85			70		44.417	12	A	5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	912	G		835	395		
397	CP	1689	3	15				FUSIGNANO	POSS85			60		44.417	12	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	912	G		836	397		
416	DI	1695	2	28				FERRARA	DOM	1	55	55		44.836	11.618	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	912	G		871	416		
521	DI	1743	5	29				FERRARA	DOM	1	65	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	912	G		872	521		
606	DI	1779	6	4	7			Bolognese	CFTI	12	70	65		44.45	11.52	A	4.97	0.20	4.51	0.29	4.72	0.27	912	G	319	765	606		
609	DI	1780	2	6	4			Bolognese	CFTI	7	65	55	M	44.62	11.32	A	4.85	0.11	4.32	0.16	4.54	0.15	912	G	323	766	609		
654	DI	1787	7	16	10			Ferrara	CFTI	3	65	65		44.80	11.62	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	912	G	339	873	654		
603	DI	1796	10	22	4			Emilia orientale	CFTI	26	70	70		44.62	11.67	A	5.63	0.15	5.48	0.23	5.62	0.23	912	G	352	874	603		
692	DI	1801	10	8				BOLOGNA	DOM	1	55	55		44.498	11.34	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	913	G		767	692		
803	DI	1834	10	4	19			Bologna	CFTI	10	60	55	M	44.6	11.37	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	912	G	384	768	803		
894	CP	1854	6	16	13	25		CASTEL BOLOGNESE	POSS85			70		44.333	11.75	A	5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	914	G		845	894		
1030	DI	1878	3	12	21	26		Bolognese	CFTI	27	60	60		44.42	11.55	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	914	G	426	771	1030		
1144	DI	1889	3	8	2	47		BOLOGNA	DOM	32	60	60		44.518	11.237	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	913	G		773	1144		
1174	CP	1891	8	1	13	30		LUGO	POSS85			60		44.417	11.933	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	912	G		853	1174		
1225	DI	1895	3	23				COMACCHIO	DOM	37	65	60		44.684	11.987	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	912	G		877	1225		
1230	CP	1895	5	25	11	42	50	PAPOZZE	POSS85			60		45	12	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36				2055	1230		
1233	CP	1895	7	3				COMACCHIO	POSS85			60		44.7	12.183	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	912	A		878	1233		
1287	DI	1898	1	16	12	10	5	Romagna settent.	CFTI	73	70	65		44.65	11.77	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	912	G	452	879	1287		
1482	CP	1908	6	28	3	19	58	FINALE EMILIA SUD	POSS85			60		44.8	11.3	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	912	G		881	1482		
1499	DI	1909	1	13	45			BASSA PADANA	DOM	799	65	65		44.579	11.688	A	5.53	0.05	5.33	0.08	5.48	0.07	912	G		882	1499		
1729	DI	1922	5	24	21	17		CENTO	DOM	6	45	35		44.862	11.517	A	4.50	0.14	3.61	0.21	4.07	0.19	912	G		883	1729		
2094	DI	1956	2	20	1	29		ARGENTINA	DOM	32	55	55		44.919	11.899	A	4.98	0.07	4.52	0.10	4.73	0.09				885	2094		
2220	CP	1965	12	18	9	22	25	RUSSI	POSS85			55		44.4	12	A	4.95	0.09	4.47	0.13	4.68	0.12	912	G		857	2220		
2243	DI	1967	12	30	4	19		BASSA PADANA	DOM	40	60	60		44.604	11.997	A	5.36	0.08	5.09	0.12	5.26	0.11	912	G		887	2243		
2245	CP	1968	1	11	17	8	9	RUSSI	POSS85			50		44.4	12	A	4.58	0.20	3.92	0.29	4.17	0.27	912	G		858	2245		
2263	CP	1969	1	10	16	17	32	RUSSI	POSS85			55		44.383	12	A	4.63	0.09	4.00	0.13	4.25	0.12	912	G		859	2263		
2455	DI	1986	12	6	17	7	19	BOIDENO	DOM	604	60	60		44.879	11.324	A	4.56	0.09	4.30	0.13	4.53	0.12	912	G		9019	2456		

Numero di record estratti: 47

Tabella 2.1 – Risultati ottenuti (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/ricerca04.php>)

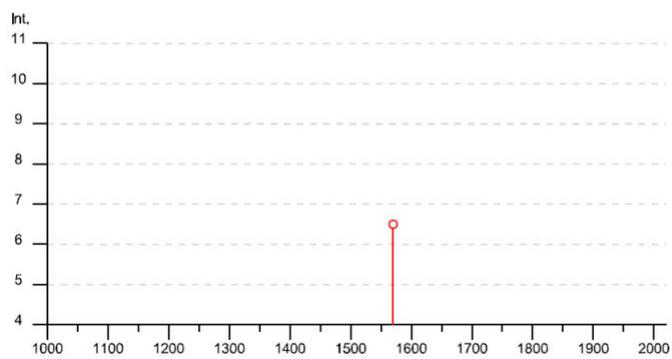
Si consulta anche il Data Base DBMI15, database Macrosismico italiano aggiornato al 2015, dove si reperisce un set omogeneo di intensità macrosismiche riportate in FIGURA 2.14 e provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e di interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000 d.C. – 2014 d.C. (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).



Voghiera

PlaceID IT_41050
 Coordinate (lat, lon) 44.757, 11.750
 Comune (ISTAT 2015) Voghiera
 Provincia Ferrara
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 8

Effetti										In occasione del terremoto del		
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw		
6-7	1570	11	17	19	10		Ferrarese	58	7-8	5.44		
3-4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04		
2-3	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43		
3-4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85		
NF	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5	4.08		
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82		
NF	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21		
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29		



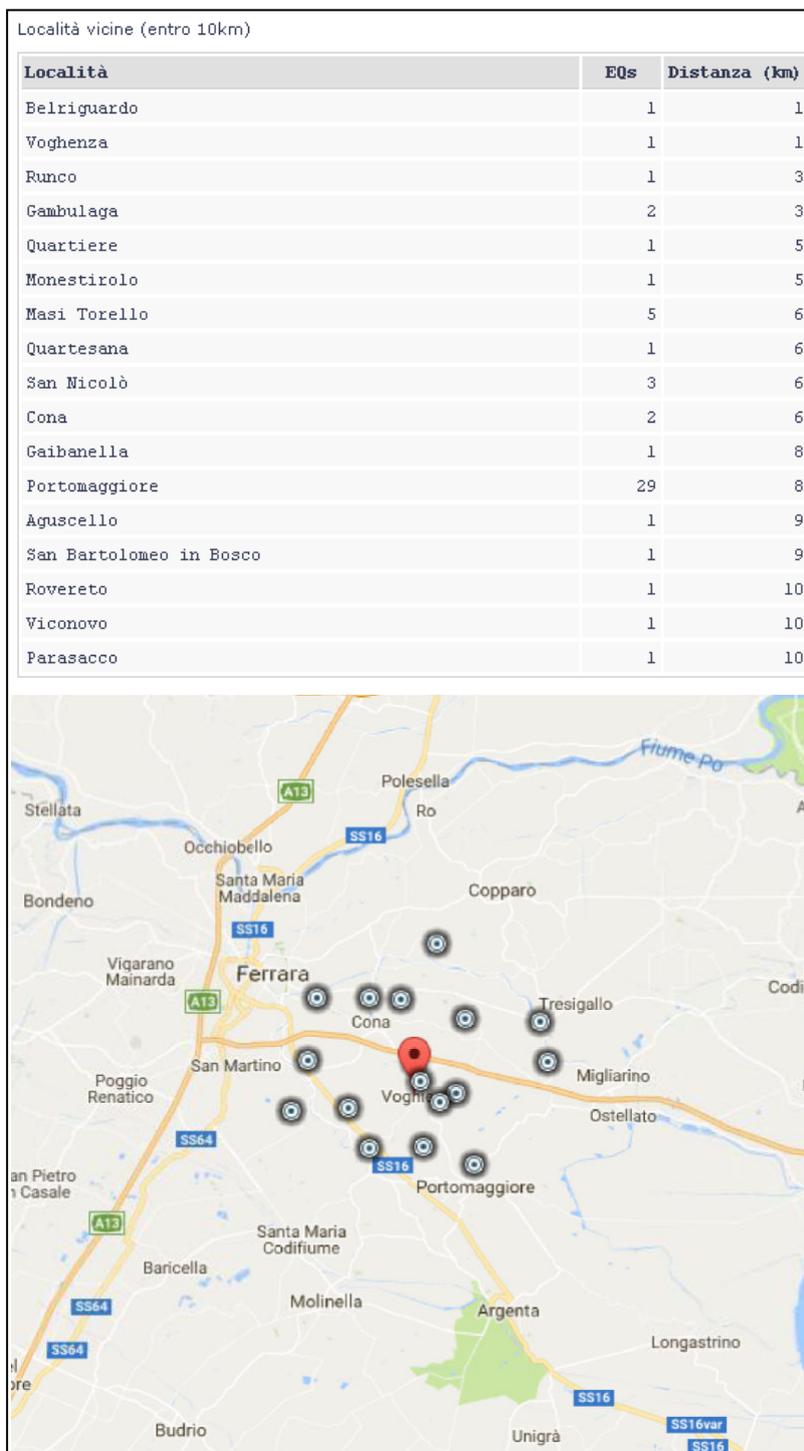


FIGURA 2.14– interrogazione Data Base DBMI15 per il comune di Voghiera.

Allo stesso modo si interroga il Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani CPTI15, che fornisce i dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali (**FIGURA 2.15**) relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4 di interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000 d.C. e 2014 d.C. (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

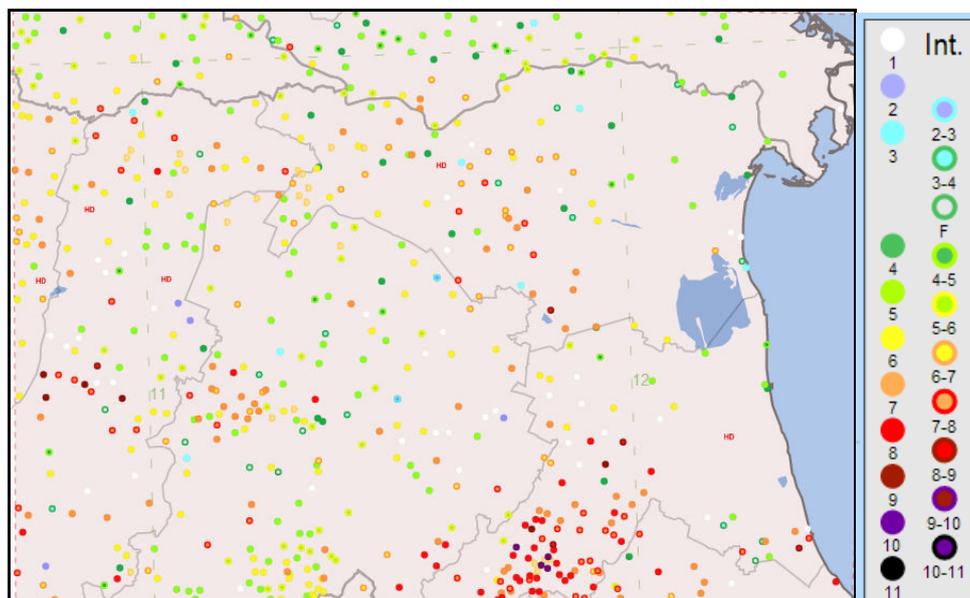


FIGURA 2.15 - <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Di seguito viene riportato l'elenco dei sismi documentati, riportati nel Catalogo dei Terremoti Italiani, di grado superiore al 3 della scala Mercalli (FIGURA 2.16). 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.

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	1896	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 Traghetti	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

FIGURA 2.16 – Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi.

Comune	Lat.	Lon.	I _{max}	M _w
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	44.74516	11.94085	8	5,6
POGGIO RENATICO	44.76571	11.48392	8	5,6
PORTOMAGGIOR	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
M _w =0,430I _{max} +2,182				

FIGURA 2.17 - Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Ferrara con stima della Magnitudo

Per quanto riguarda gli eventi sismici nel ferrarese e modenese del 2012, si sono verificati due venti principali: il primo il 20 maggio 2012, con magnitudo ML=5,9, l'epicentro è stato individuato in provincia di Modena, tra Mirandola e Finale Emilia, l'ipocentro a una profondità di circa 6.3 km. Molte scosse si sono succedute lo stesso giorno di cui due con magnitudo superiore a 5.0; il secondo nove giorni dopo, il 29 maggio 2012, con magnitudo ML=5,8, la scossa è stata localizzata vicino a Medolla, circa 10 chilometri a ovest della scossa principale del 20 maggio, ad una profondità di circa 10,20 km. Lo stesso giorno, sono state registrate numerose scosse tra le quali altre due con magnitudo superiore a 5.0. In generale, le scosse di magnitudo superiore a 5.0 sono state sette, l'ultima delle quali il 3 giugno 2012 (INGV).

In FIGURA 2.18 si possono vedere gli epicentri dei terremoti verificatisi tra maggio e giugno 2012 nella Pianura Padana.

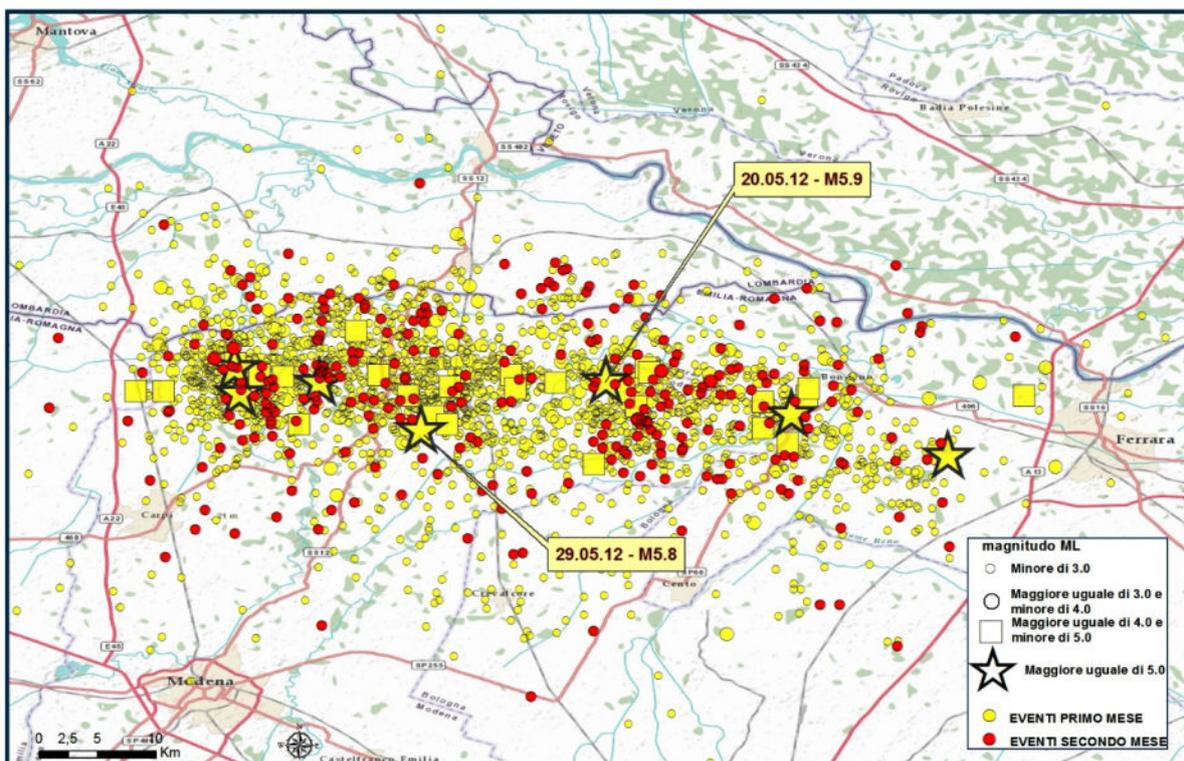


FIGURA 2.18 - Epicentri dei terremoti in Pianura Padana tra maggio e giugno 2012 (Fonte: INGV)

In **FIGURA 2.19** si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna con gli epicentri dei terremoti del maggio e giugno 2012 con $M_L > 4$, dove sono riportate due sezioni, che attraversano rispettivamente la Pianura Modenese A-A' e la Pianura Bolognese - Ferrarese B-B' con proiezioni degli ipocentri con $M > 5,0$.

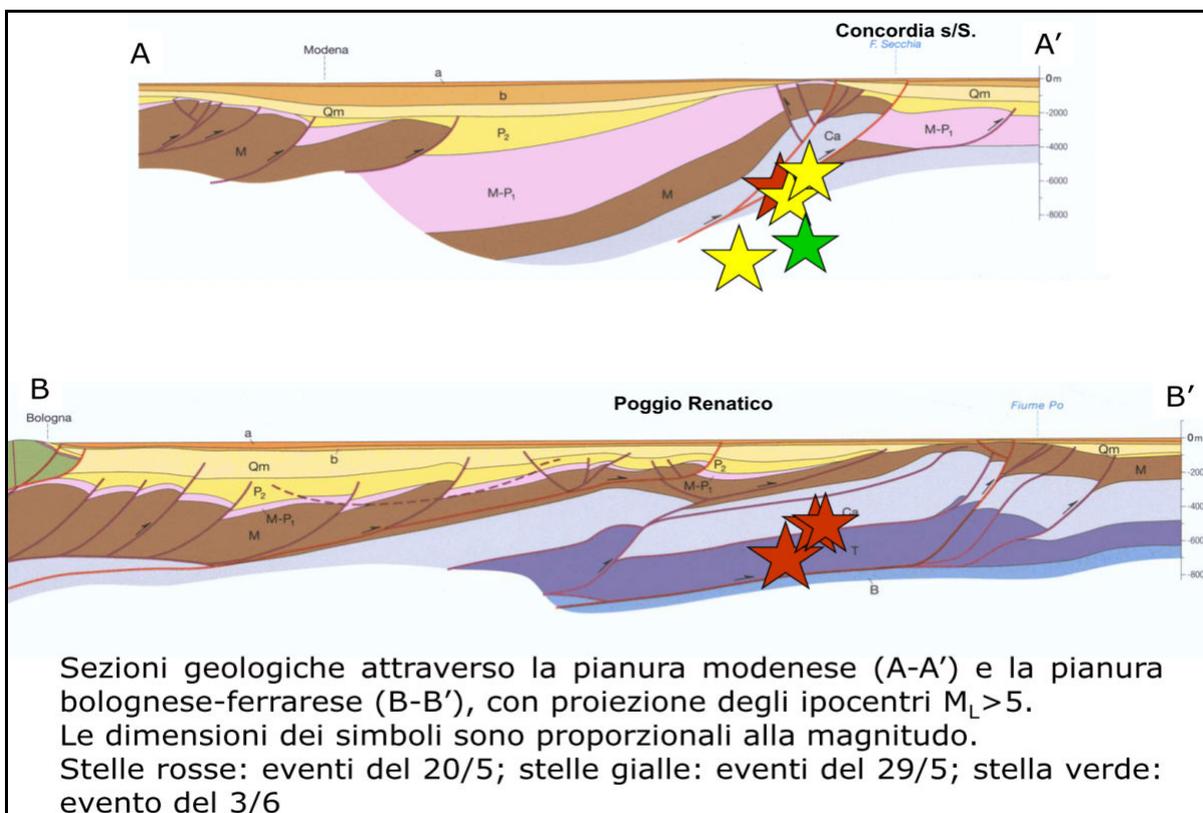
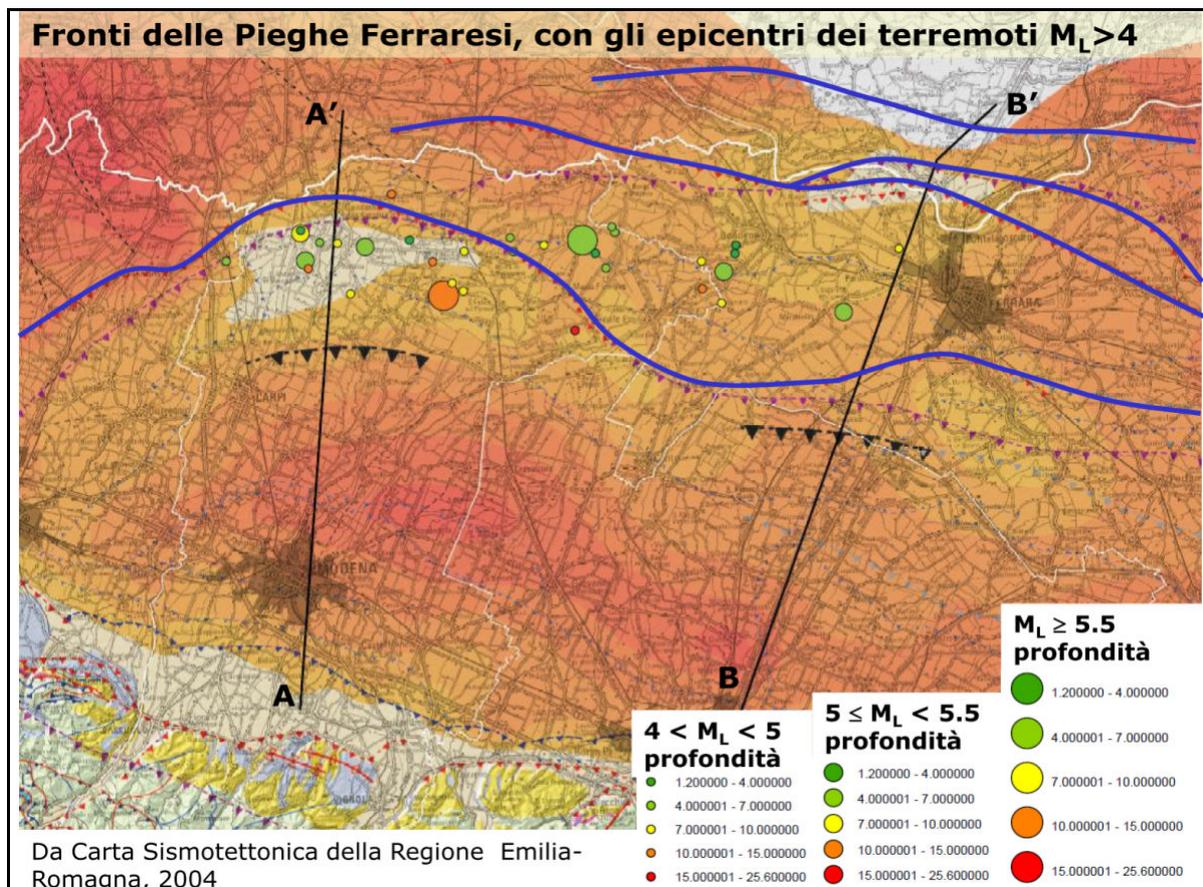


FIGURA 2.19 - Sezioni geologiche con proiezione ipocentri $M_L > 5$ (Fonte: INGV)

In **FIGURA 2.20** si può vedere una mappa epicentrale della sequenza sismica per il periodo che va dal 16 maggio 2012 al 05 novembre 2012 con indicati tutti gli eventi che si sono verificati, i dati sono anche graficati in un diagramma che ha in ascissa le date di registrazione degli eventi e in ordinata il numero giornaliero di eventi.

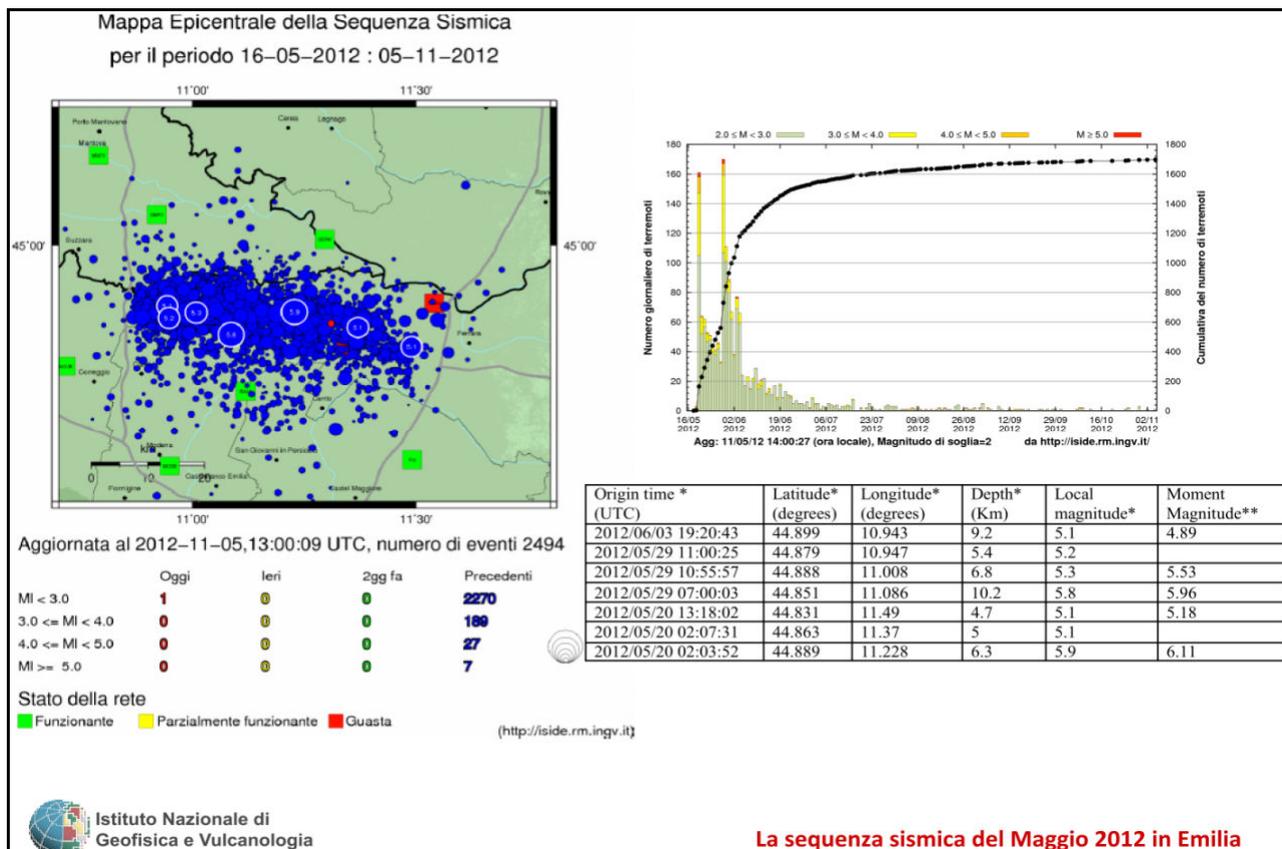


FIGURA 2.20- Mappa epicentrale della sequenza sismica per il periodo 16/05/2012 al 05/11/2012 (Fonte: INGV)

Per i terremoti più rilevanti della sequenza sono stati calcolati il meccanismo focale e la magnitudo momento (M_w) con la Tecnica del TDMT. La **FIGURA 2.21** mostra soluzioni coerenti lungo tutta la struttura, i terremoti sono avvenuti su piani di faglia orientati all'incirca Est-Ovest e con movimento compressivo in senso Nord-Sud. Il momento tensore è determinato usando la tecnica "Time Domain Moment Tensor" sviluppata all'U.C. Berkeley (Dreger and Helmbergher, 1993, Dreger 2003) che viene adottato dalla rete integrata della California (INGV).

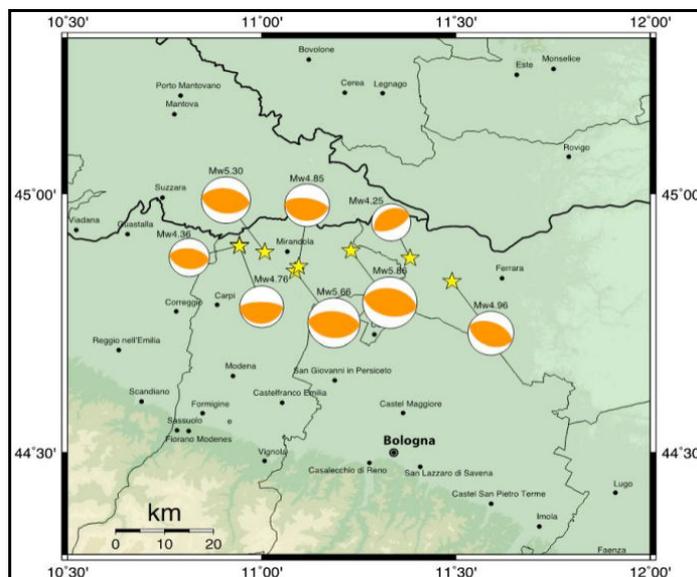


FIGURA 2.21- Meccanismi focali della sequenza (Fonte: INGV)

In **FIGURA 2.22** sono visibili le registrazioni accelerometriche della stazione di Mirandola (ubicata a 13 km dall'epicentro del terremoto) della scossa del 20 maggio 2012, l'accelerazione di riferimento, su suolo rigido e pianeggiante, attesa nei comuni più colpiti dai terremoti di maggio-giugno 2012 varia da 0,118g a 0,157g (ad es. per Mirandola $a_{grif}=0,141g$, in media sono stati osservati $FA_{PGA}=1,4-1,6$ (INGV).

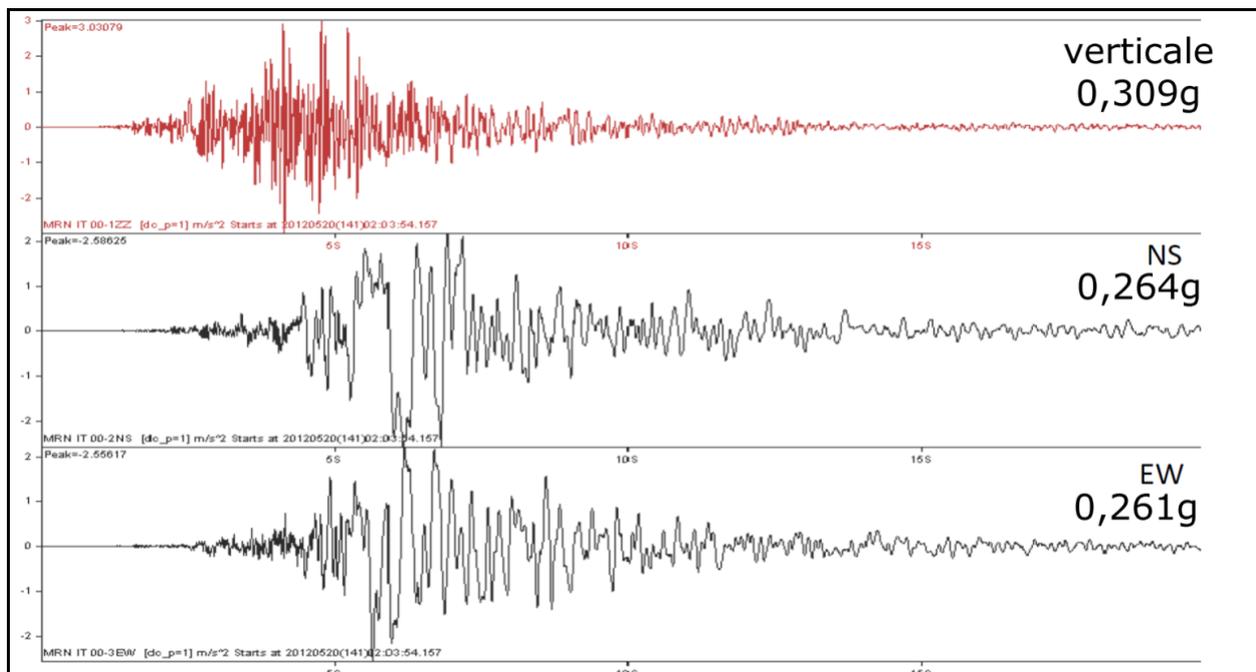


FIGURA 2.22 - Registrazioni accelerometriche stazione di Mirandola (20/05/2012)

In **FIGURA 2.23** sono visibili le registrazioni accelerometriche della stazione di Mirandola della scossa del 29 maggio 2012.

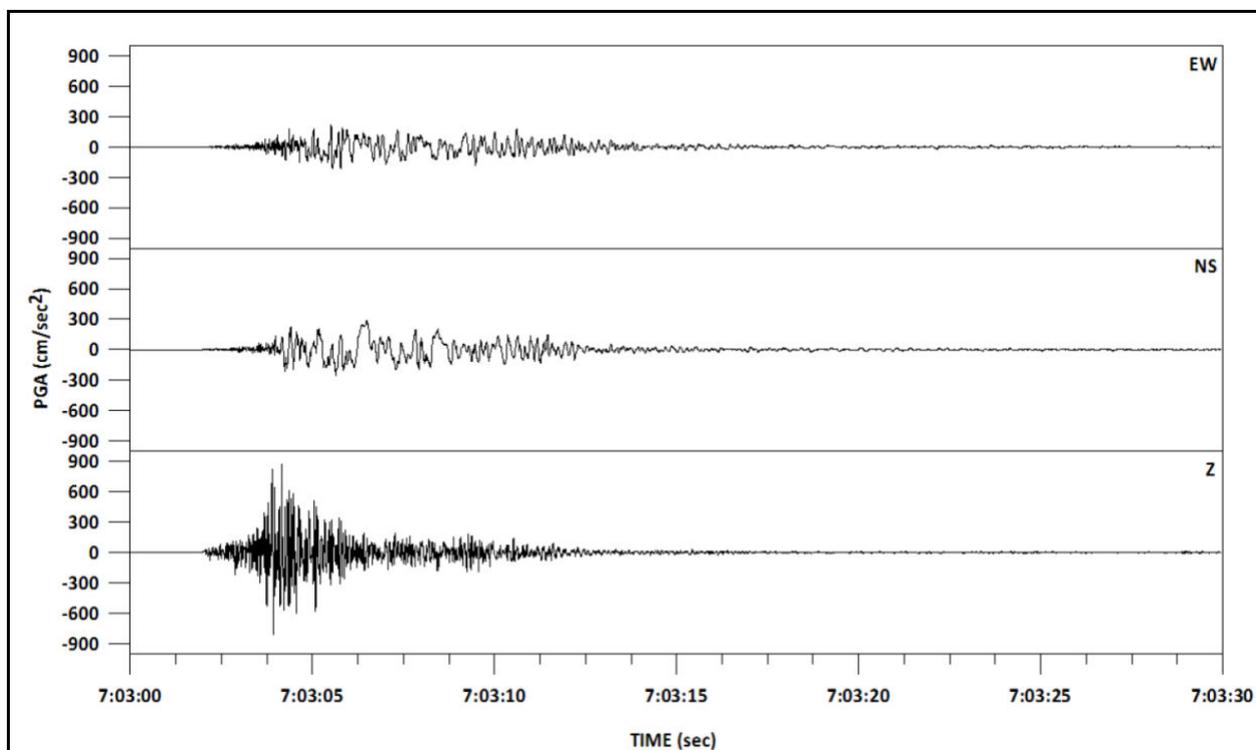


FIGURA 2.23 - registrazioni accelerometriche stazione di Mirandola (29/05/2012)

2.2.1. LA MAGNITUDO ATTESA

La magnitudo è una grandezza molto importante per la definizione della pericolosità sismica e quindi dell'azione sismica. È una grandezza che ha carattere aleatorio e come tale viene trattata negli studi di pericolosità. Analogo carattere dovrebbe quindi conservare quando utilizzata per la definizione a fini di progettazione o di studio di ms.

Un primo metodo semplice e in favore di sicurezza che può essere utilizzato per stimare quale sia il valore di magnitudo da considerare ai fini delle valutazioni, preferibilmente per le verifiche di liquefazione, per il sito o la microzona di interesse, è il seguente (Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Protezione civile):

Si considera sempre la zonazione sismogenetica (ZS9) (**FIGURA 2.24**), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax}^{50} .

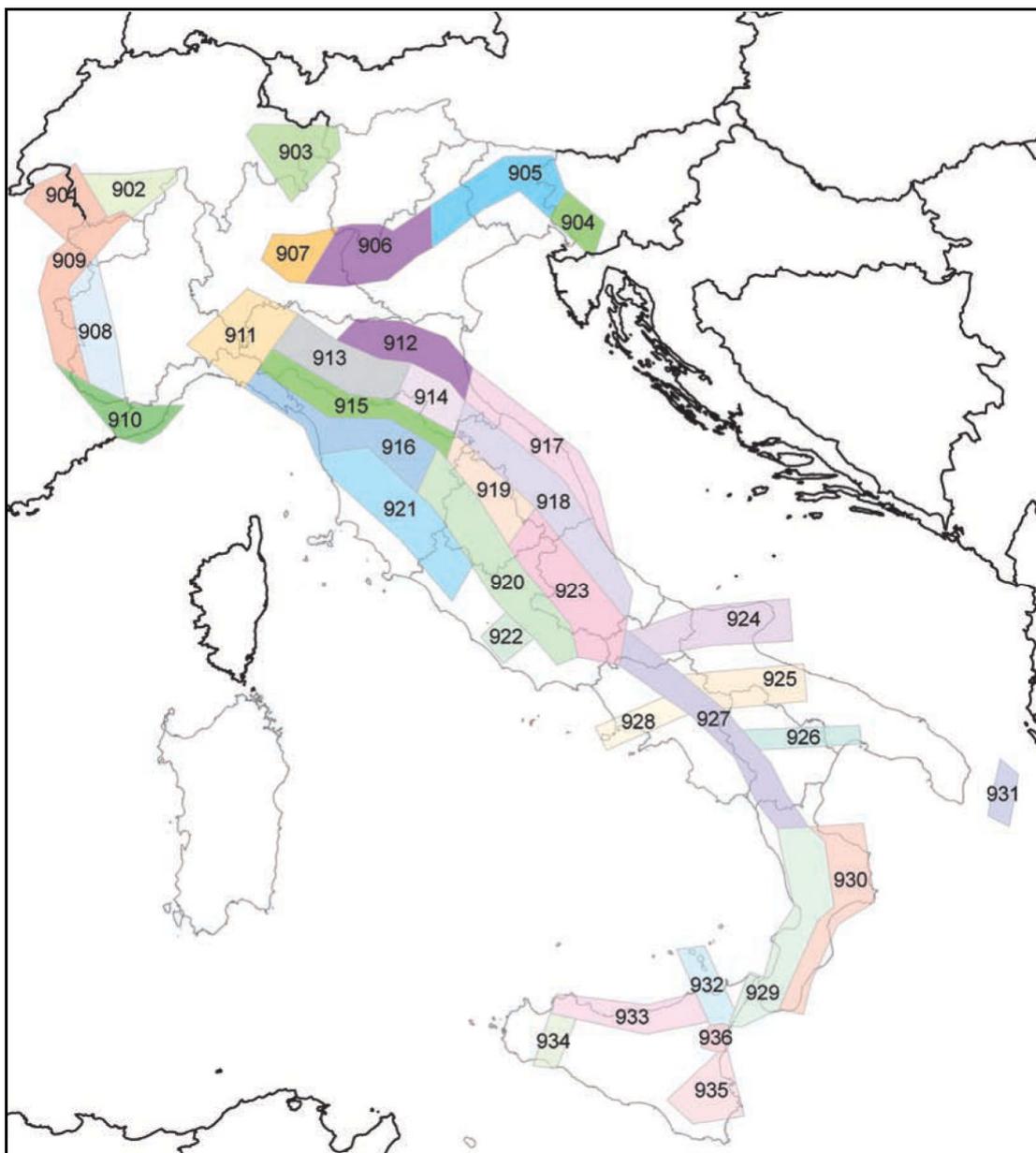


FIGURA 2.24 – Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento

Per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come m il valore di M_{wmax} (FIGURA 2.25).

Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)		
Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

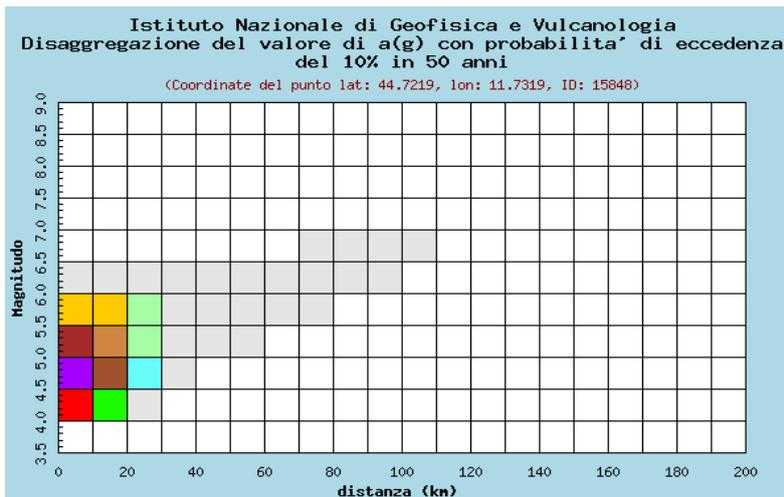
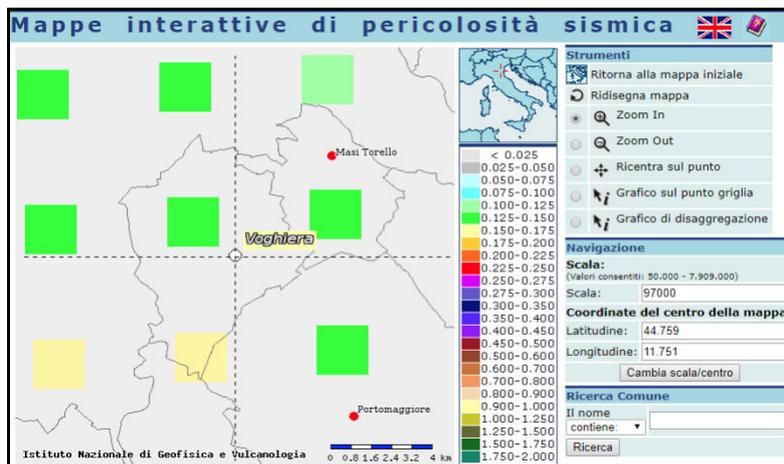
FIGURA 2.25 – Valori di M_{wmax} per le zone sismo genetiche di ZS9

Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze (R_i) dalle zone (i) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo M_i della zona è inferiore alla magnitudo fornita dalla relazione $M_s = 1+3\log(R_i)$. Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. se invece è necessaria, si assume il valore di magnitudo M_i più alto fra quelli per i quali la verifica è necessaria.

Il territorio comunale di Voghiera ricade all'interno della zona sismogenetica 912, e viene proposta come magnitudo attesa massima il valore di $M = 6,14$ (INGV, Veletti e Malensise, 2004).

Un secondo metodo per la scelta della magnitudo di progetto è quello del grafico di disaggregazione del sito dell'INGV.

L'analisi della disaggregazione dei valori di $a(g)$ riporta, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza; questa informazione è riportata sia in forma grafica sia in forma tabellare (FIGURA 2.26).



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.7219, lon: 11.7319, ID: 15848)									
	Magnitudo									
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5
0-10	0.000	15.800	27.300	14.100	6.240	0.699	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.820	9.790	8.230	5.550	0.789	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.208	1.330	2.030	2.050	0.359	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.059	0.474	0.723	0.117	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.045	0.223	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.001	0.045	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.960	9.440	0.656

FIGURA 2.26 - Grafico di disaggregazione

Per ogni nodo della griglia sono anche riportati, dopo la tabella, i valori medi di M-D- ϵ .

Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile in analisi di microzonazione.

2.3. CLASSIFICAZIONE SISMICA

L'Italia appartiene ad una zona sismicamente attiva, l'area mediterranea, che mediamente ogni otto anni è intensamente colpita da terremoti con conseguenze da gravi a catastrofiche.

Un terremoto rappresenta un rischio qualora nelle aree colpite dall'evento vi sia la presenza di edifici, costruzioni e impianti. In un'area intensamente popolata, quale l'Italia, la strategia di difesa dai terremoti è pertanto prevalentemente impostata sull'elaborazione di un'adeguata normativa sismica che predisponga i requisiti antisismici delle nuove costruzioni e gli eventuali interventi sul patrimonio edilizio già esistente in funzione della pericolosità sismica delle aree in cui essi sorgono. Una breve cronistoria della normativa italiana vede l'adozione delle prime misure legislative durante il governo borbonico a seguito dei terremoti che colpirono la Calabria nel 1783 e che causarono più di 30.000 morti.

La prima classificazione sismica italiana costituita da una lista dei comuni in cui dovevano essere applicate precise norme costruttive fu promulgata solamente dopo il terremoto del 28 dicembre 1908 che distrusse le città di Reggio Calabria e Messina, causando, si stima, più di 80.000 vittime (Slejco -Il sole 24 ore, 2003). Il Regio Decreto 18 aprile 1909 n. 193 conseguente all'evento ("*Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909. Designazione dei comuni*") riportava l'elenco dei comuni interessati da eventi sismici e soggetti al rispetto di specifiche norme tecniche per l'edificazione delle nuove costruzioni e per la riparazione di quelle danneggiate. Nell'arco di tempo compreso fra il 1908 ed il 1974 si procedette con il solo aggiornamento del primo elenco aggiungendo i nomi dei nuovi comuni danneggiati dai successivi terremoti.

La decisione di dar vita ad una nuova e più evoluta normativa sismica nazionale avvenne solo nel 1974 con la promulgazione della Legge 2/ 2/ 74 n. 64 "*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*" che stabiliva alcuni principi generali, anche di carattere tecnico, e presentava una rinnovata classificazione sismica aggiornabile qualora comprovate motivazioni tecnico scientifiche lo richiedessero.

Legge 2/ 2/ 74 n. 64

La classificazione sismica introdotta dalla Legge 2/2/74 n. 64 "*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*" **escludeva tutto il territorio del comune Voghiera** dal rischio sismico, non inserendoli in nessuna delle tre categorie, come visibile in **FIGURA 2.27**.

Studi sismologici e geologici, successivi ai terremoti del 1976 in Friuli e del 1980 in Irpinia, svolti nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica del Consiglio Nazionale delle Ricerche incrementarono e svilupparono nuove conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale, consentendo la formulazione di una proposta di classificazione sismica basata, per la prima volta in Italia, su indagini di tipo probabilistico della sismicità, con una parziale stima del rischio sismico sul territorio nazionale.

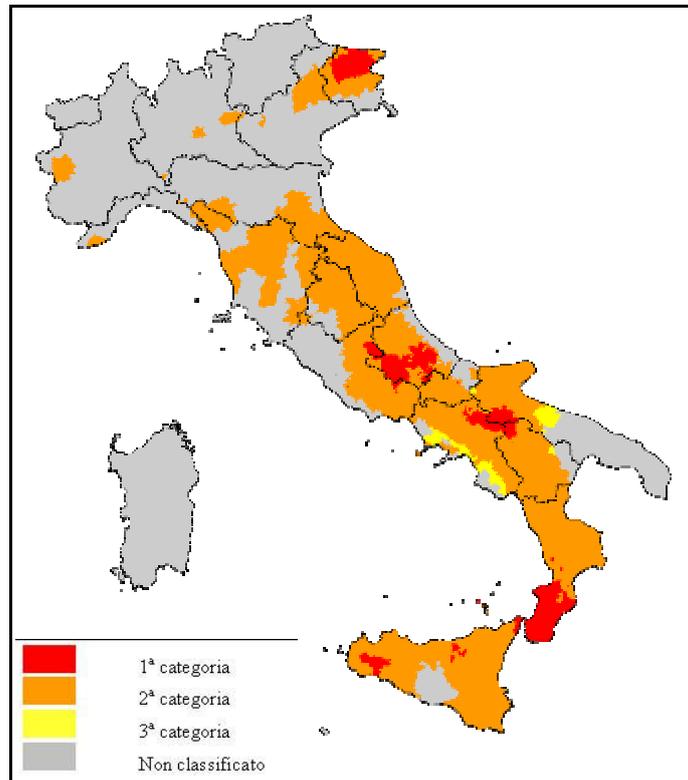


FIGURA 2.27 - Classificazione sismica secondo Legge 2/ 2/ 74 n. 64

OPCM 3274 del 20/03/2003

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata sulla G.U. del 08/05/2003, si attua la riclassificazione sismica dell'intero territorio nazionale secondo nuovi criteri che definiscono gli indicatori da considerare e le procedure da adottare ("Criteri per l'individuazione delle zone sismiche-individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone"). Tale ordinanza inserisce (OPCM 3274/2003) il Comune di Voghiera nella categoria di rischio 3 (FIGURA 2.28).

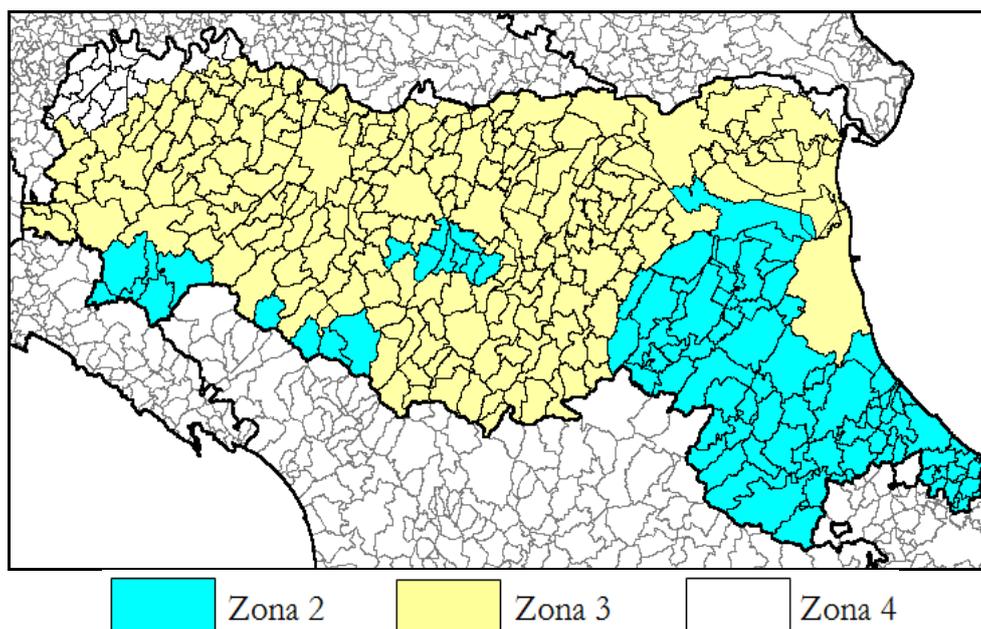


FIGURA 2.28 - Nuova zonizzazione sismica del territorio regionale, dettaglio relativo alla Regione Emilia-Romagna.

D.M. 14/09/2005

L'OPCM 3274/2003 ed il D.M. 14/09/2005 che aveva recepito l'Ordinanza, stabilivano che il territorio italiano era suddiviso in 4 zone. Le zone 1, 2 e 3, corrispondenti alle zone di sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6) della Legge 64/74, prevedevano l'applicazione di criteri antisismici con differenti livelli di severità. Nella zona 4, di nuova introduzione e corrispondente a zona con bassissima sismicità, era invece data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica.

Nella classificazione definita dai Decreti emessi fino al 1984 la sismicità era definita attraverso il "grado di sismicità" S, nella proposta di riclassificazione del Gdl del 1998 si utilizzavano 3 categorie sismiche più una categoria di Comuni non classificati (N.C.), nella classificazione 2003 la sismicità era definita mediante quattro zone, già esposte in precedenza. La corrispondenza tra queste diverse definizioni è riportata in **Tabella 2.2** e **2.3**.

Decreto fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 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 2.2 – Corrispondenza tra le definizioni di sismicità

Denominazione	Decreto fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 2003	A max
Voghiera	S = 6	Terza categoria	Zona 3	0,15g

Tabella 2.3 – Corrispondenza tra le definizioni di sismicità

OPCM 3519/2006

Secondo la classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006 (**FIGURA 2.29**) si prevede per il comune di **Voghiera** una accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T=0 e su suolo rigido ($V_{S30} > 800\text{m/sec}$), appartenente all'intervallo 0,125 – 0,150 e 0,150 – 0,175, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

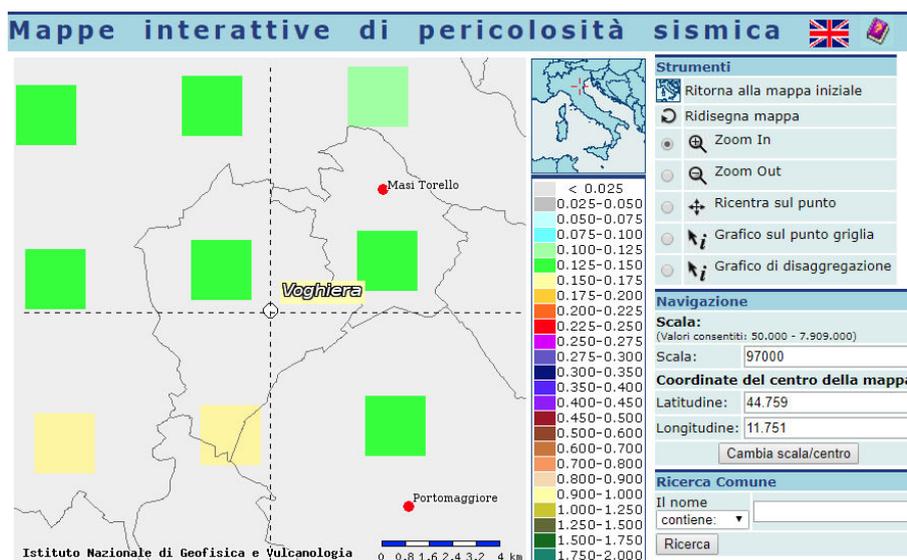


FIGURA 2.29– Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: [http:// esse1-gis.mi.ingv.it](http://esse1-gis.mi.ingv.it)

Denominazione	A max
Voghiera	0,125 – 0,175

D.M. 14/01/2008

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_s > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio “**sito dipendente**” e non più tramite un criterio di “**zona dipendente**”.

Nell'allegato B del suddetto D.M. sono forniti i valori dei parametri a_g , F_0 e T^*_C necessari per la determinazione delle azioni sismiche per 10751 punti del suolo italiano e per 9 valori del periodo di ritorno T_R (30 anni, 50 anni, 72 anni, 11 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni).

“Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007” per la Pianificazione territoriale ed urbanistica

Gli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica convergono alla riduzione del rischio sismico (art. A-2, comma 4, All. alla L.R. 20/2000) tramite una analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione urbanistica. I risultati dell'analisi della pericolosità sismica locale e della microzonazione sismica, contenuti nel quadro conoscitivo, devono essere applicati nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica (*Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007*). Si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase definisce gli scenari di pericolosità sismica locale, ovvero identifica le parti del territorio suscettibili ad effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc). L'individuazione delle aree soggette agli effetti di sito si basa essenzialmente su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato, eseguita tramite un'analisi semplificata ed un'analisi più approfondita.

Nella tabella che segue (**FIGURA 2.30**) sono riportati i valori di accelerazione massima orizzontale di picco la suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della provincia di Ferrara.

FE	Argenta	0.160
FE	Berra	0.064
FE	Bondeno	0.130
FE	Cento	0.157
FE	Codigoro	0.079
FE	Comacchio	0.103
FE	Copparo	0.092
FE	Ferrara	0.132
FE	Formignana	0.106
FE	Goro	0.063
FE	Jolanda di Savoia	0.080
FE	Lagosanto	0.097
FE	Masi Torello	0.132
FE	Massa Fiscaglia	0.098
FE	Mesola	0.062
FE	Migliarino	0.126
FE	Migliaro	0.107
FE	Mirabello	0.145
FE	Ostellato	0.133
FE	Poggio Renatico	0.155
FE	Portomaggiore	0.152
FE	Ro	0.084
FE	Sant'Agostino	0.153
FE	Tresigallo	0.114
FE	Vigarano Mainarda	0.141
FE	Voghiera	0.146

FIGURA 2.30 – accelerazioni di picco attese al bedrock secondo D.A.L. 112/2007

L'Atto di Indirizzo 112/2007 fornisce le amplificazioni sismiche sia in funzione del rapporto di accelerazione massima orizzontale PGA/PGA_0 , sia del rapporto di Intensità di Housner SI/SI_0 , per prefissati intervalli di periodi.

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decimetrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) (PIANURA 2) si devono usare le seguenti tabelle (**FIGURA 2.31**) per il calcolo dell'amplificazione sismica.

F.A. P.G.A.

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

FIGURA 2.31 – Tabelle per la stima dei fattori di amplificazione in funzione della V_{S30} .

“DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 2193, DEL 21 DICEMBRE 2015” PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA

In data 21 Dicembre 2015 è stato approvato, ai sensi dell'art. 16 della L.R. 20 del 2000, *l'Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico, denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112, attraverso la modifica degli Allegati A e A1 e la sostituzione degli Allegati A2, A3 e A4 della stessa deliberazione, con quelli facenti parte integrante della presente deliberazione, per ridefinire i criteri, le procedure e le specifiche tecniche per la micro zonazione sismica del territorio regionale.*

Nella **FIGURA 2.32** che segue sono riportati i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni punto della griglia presente nel territorio comunale di Voghiera.



FIGURA 2.32– Territorio comunale di Voghiera con griglia dei punti e rispettivi valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido

Il valore di a_{refg} relativo ad ogni sito analizzato si ottiene interpolando i valori di a_{refg} definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino.

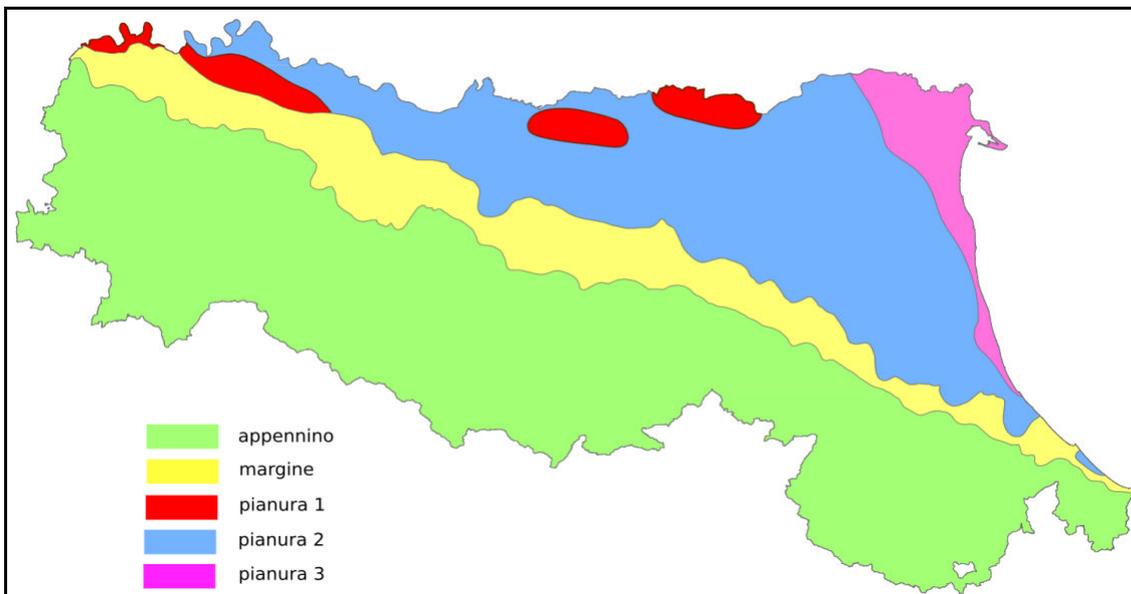
Nel territorio regionale sono stati individuati diversi ambienti geo-litologici omogenei principali relativi a:

- i) zona collinare e montana (Appennino);
- ii) pianura e zona costiera che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine).

Sulla base delle conoscenze attuali, dei dati in possesso dello scrivente il territorio comunale di Voghiera è caratterizzato da un unico ambito, PIANURA 3, secondo quanto recepito dal D.G.R. 2193 del 2015 (**FIGURA 2.33**)

Definizione: PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiori a 300m da p.c..

Infatti il territorio comunale ha substrato rigido a profondità maggiori di 300 m sempre.



PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiori a 300 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.3	1.3	1.3			
F.A. SI1	1.5	1.5	1.5			
F.A. SI2	2.3	2.3	2.2			
F.A. SI3	2.6	2.6	2.4			

Pianura 3. Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA, SI1, SI2 e SI3**.

$$\mathbf{SI1 : 0.1s \leq T_0 \leq 0.5s}$$

$$\mathbf{SI2 : 0.5s \leq T_0 \leq 1.0s}$$

$$\mathbf{SI3 : 0.5s \leq T_0 \leq 1.5s}$$

FIGURA 2.33– Localizzazione indicativa delle ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia-Romagna

Il D.G.R. 2193 del 2015, fornisce le amplificazioni sismiche sia in funzione del rapporto di accelerazione massima orizzontale PGA/PGA_0 , sia del rapporto di Intensità di Housner SI/SI_0 , per prefissati intervalli di periodi.

Fino a valori di V_{s30} compresi tra 125m/sec e 175 m/sec, il Fattore di amplificazione del rapporto di Intensità di Housner compreso tra il periodo di 0,1 sec e 0,5 sec dello spettro di risposta sismica in velocità è pari a 1,5. Nel periodo compreso tra 0,5sec e 1,0sec il F.A. va assunto pari a 2,3. Nel periodo compreso tra 0,5 sec e 1,5 sec il valore di F.A. nel rapporto di Intensità di Housner va assunto pari a 2,6.

Per valori di V_{s30} compresi tra 175m/sec e 225 m/sec, il Fattore di amplificazione del rapporto di Intensità di Housner compreso tra il periodo di 0,1 sec e 0,5 sec dello spettro di risposta sismica in velocità è pari a 1,5. Nel periodo compreso tra 0,5 sec e 1,0 sec il F.A. va assunto pari a 2,3. Nel periodo compreso tra 0,5 sec e 1,5 sec il valore di F.A. nel rapporto di Intensità di Housner va assunto pari a 2,6.

Nel territorio di Voghiera sono stati ricavati n. 19 valori di V_{s30} da misure dirette sia con cono sismico sia da stendimenti sismici, i valori ricavati appartengono a queste due categorie di suolo sismico, il valore più basso misurato è pari 161 m/sec mentre il valore più alto è pari a 213 m/sec.

Inoltre si dispone di n. 35 valori di V_{s30} ricavati da CPT e CPTU eseguite dallo scrivente e dalla Regione, attraverso correlazioni empiriche che portano a risultati del tutto analoghi alle misure dirette (si rimanda al capito 7.5 dove l'argomento viene trattato in dettaglio).

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL COMUNE DI VOGHIERA

3.1. CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE

L'evoluzione strutturale dell'ampio bacino subsidente padano, a cui appartiene il territorio del Comune di Voghiera, è connessa con la dinamica degli eventi che, in sequenze spazio-temporali diverse, hanno interessato sia il Sudalpino che l'Appennino, ed hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione. Si è avuta così la formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE; WNW-ESE e N-S, e la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione.

L'area padana orientale ad est di Modena-Nogara è caratterizzata dalle seguenti zone geologicamente distinte, come visto nel capitolo 2 di questa relazione, in successione da nord a sud:

- il fronte degli appennini;
- le pieghe Ferraresi;
- le pieghe Romagnole;
- la isoclinale padano-veneta, a stile rigido.

La zona in esame rappresenta la parte più orientale dell'arco delle pieghe appenniniche, le quali a settentrione, si accavallano in stretta successione alla monoclinale pedealpina nella zona delle Gallare e Varano.

All'arco ferrarese si affianca, nella parte a mare, l'arco delle pieghe adriatiche che si accavallano invece sulla monoclinale adriatica. Nella parte interna, e cioè meridionale, delle pieghe ferraresi e adriatiche si addossa a sua volta l'arco delle pieghe romagnole. Tutte e tre le strutture sopraindicate sono delimitate esternamente da fasci di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; internamente, cioè nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo.

Le fasi tettoniche si sono succedute fino al Pleistocene ed hanno portato a successive riprese dei piegamenti ed alla formazione di lineamenti paleogeografici variabili in successione spazio-temporale e quindi all'instaurarsi in sequenza alterna di ambienti deposizionali marini, costieri, deltizi e lagunari in relazione a locali processi di sollevamento e di subsidenza.

Durante il Pliocene medio inizia un periodo di forte subsidenza che continua sino a tutto il Quaternario basale. Nel Quaternario recente la sedimentazione prevale sulla subsidenza, ed in connessione con le regressioni marine provocate dalle glaciazioni, depositi continentali si sovrappongono ai sedimenti marini. Segue poi una nova fase trasgressiva con arretramento della linea di costa di oltre venti chilometri rispetto alla posizione attuale. Infine durante l'ultima regressione marina postflandriana, sviluppatasi in più fasi, si ebbe un progressivo spostamento verso oriente della linea di costa sino a raggiungere l'odierno assetto geomorfologico.

A causa della pluralità degli ambienti deposizionali in successione spazio-temporale, il complesso plioquaternario nel territorio del Basso Ferrarese è costituito da una alternanza di livelli sabbiosi, limosi ed argillosi o da miscele binarie o ternarie di tali litotipi.

L'assetto strutturale dei sedimenti plioquaternari è caratterizzato da blande anticlinali e sinclinali, più accentuate nella parte basale della serie, ove sono presenti anche strutture a trappola sedimentaria o tettonica, e sempre più deboli man mano che ci si avvicina alla superficie attuale.

L'andamento anticlinalico e sinclinalico fa variare lo spessore dei sedimenti plioquaternari; per esempio nella zona SW del foglio Comacchio esso va dai 2800 metri ai circa 800 metri sotto il piano campagna. Tra il Mezzano e Casal Borsetti il tetto del prepliocene è a 2800 metri, tra Longastrino ed il Mezzano meridionale c'è un alto strutturale ed il tetto è a 800 metri circa, tra Comacchio e Portogaribaldi una forte subsidenza di origine tettonica ha permesso la deposizione di uno spessore variabile fra i 3200 ed i 4800 metri circa di sedimenti (D. Vincenzi, E. Valpreda, G. Lenzi et Alii, 1989).

Sotto il comune di Voghiera la base dei sedimenti del Pliocene è compresa mediamente tra i 1000m ed i 2000m di profondità.

In **FIGURA 3.1** è visibile la diversa profondità della base dei sedimenti del Pliocene medio superiore, e i diversi tipi di fagliazioni presenti nel substrato padano.

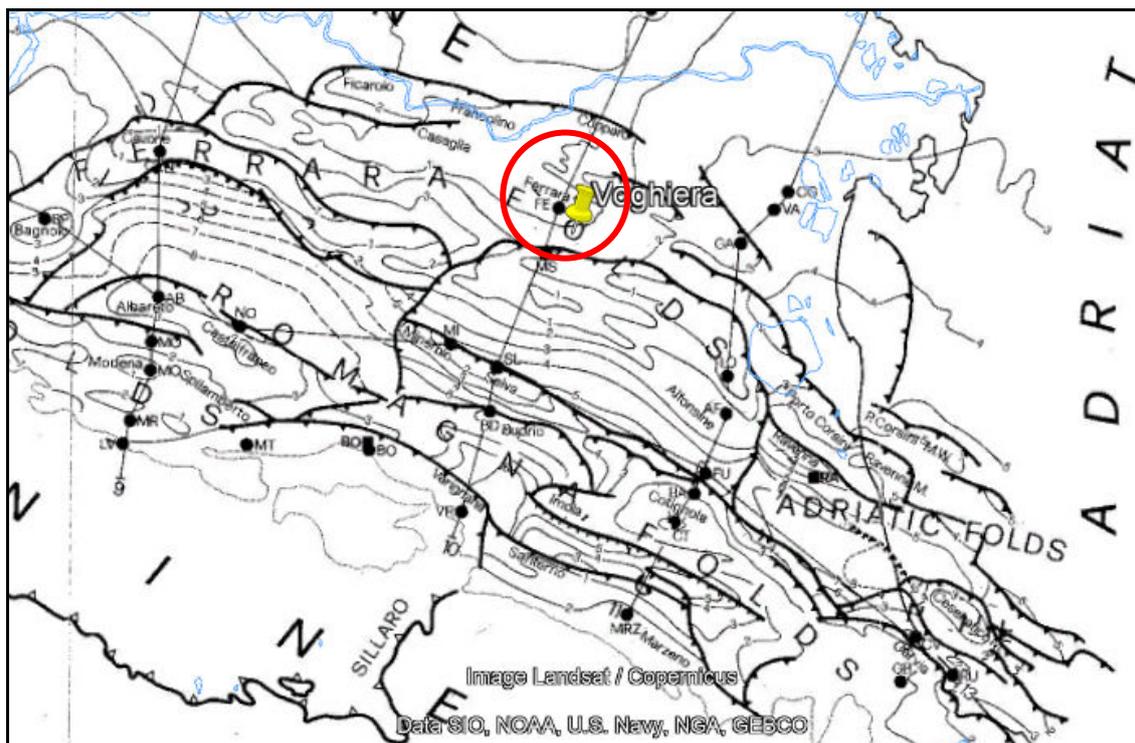


FIGURA 3.1 – *Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di fagliazioni presenti nel substrato roccioso profondo. Le isobate indicano la base dei depositi del Pliocene Superiore*

La potenza dei sedimenti quaternari nell'ambito padano è tale da dimostrare che l'area è stata soggetta a fenomeni di subsidenza fin da remoti tempi geologici; poiché recenti misure geodetiche dimostrano che l'orogene appenninico non ha ancora raggiunto una configurazione stabile, appare chiaro che è ancora presente una componente tettonica profonda della subsidenza, tanto da rappresentare attualmente il motivo più evidente di instabilità di questo territorio, anche se le cause naturali hanno ridotto, a quanto pare, notevolmente i loro effetti.

L'intervento antropico ha però accentuato questo carattere per i seguenti motivi:

- a) abbassamento della falda freatica per scopi di bonifica: tale pratica determina degli abbassamenti del suolo per effetto del costipamento dei sedimenti dovuto a semplici cause meccaniche oppure connesso con reazioni chimiche che intervengono sui componenti organici degli stessi;
- b) estrazioni eccessive di fluidi (gas ed acqua) da falde profonde delle formazioni quaternarie;
- c) imposizione sul suolo di carichi non equiparati alla portanza dei terreni;
- d) per via elettrochimica, quando si sia cambiato il chimismo delle acque di saturazione in terreni argillosi e argilloso-limosi, specialmente per l'ingressione di acque marine per emungimento forzato di falde confinate.

Si è stimato che la velocità di subsidenza tra il 1903 ed il 1950 è stata a Codigoro di 0,4 cm/anno; nel periodo 1950-'70 sarebbe passata a velocità di 4 cm/anno; dopo il '70 la subsidenza si assesta su 0,8 cm/anno.

Stesso trend ha avuto il fenomeno a Ravenna: fino al 1945 la velocità di subsidenza era di 0,3 cm/anno; successivamente tra il 1945-'85 si evidenzia una più elevata velocità di abbassamento con 1,5 cm/anno e punte di 2,0 cm/anno nel periodo 1960-'80, mentre si registrano rallentamenti negli ultimi anni.

Costante è il valore di subsidenza naturale attribuibile a cause geologiche (compattazione dei sedimenti quaternari, eustatismo ed il basculamento della parte nord-orientale della pianura Padana) che raggiunge gli 0,2-0,3 cm/anno, l'entità rimanente quindi risulta attribuibile a cause indotte.

Il movimento di basculamento della Pianura Padana vede la parte occidentale alzarsi lentamente, mentre quella orientale si sta abbassando; questo movimento avviene secondo l'asse Brescia-Genova, orientato NE-SW.

In ogni caso gli ultimi dati sull'entità della velocità di abbassamento dei suoli (e dei fondali marini e vallivi) che sono riportati da **FIGURA 3.2** a **FIGURA 3.5** (tratte dalla presentazione di Bonsignore F. -ARPA Emilia Romagna- dal titolo "Il monitoraggio della subsidenza a scala regionale in Emilia Romagna (Bologna, 3 dicembre 2007) sono più confortanti, sicuramente, rispetto a quanto riportato dal Piano Costa fatto dalla Regione Emilia Romagna "Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna" - Relazione Generale - Idroser S.p.A. 1996.

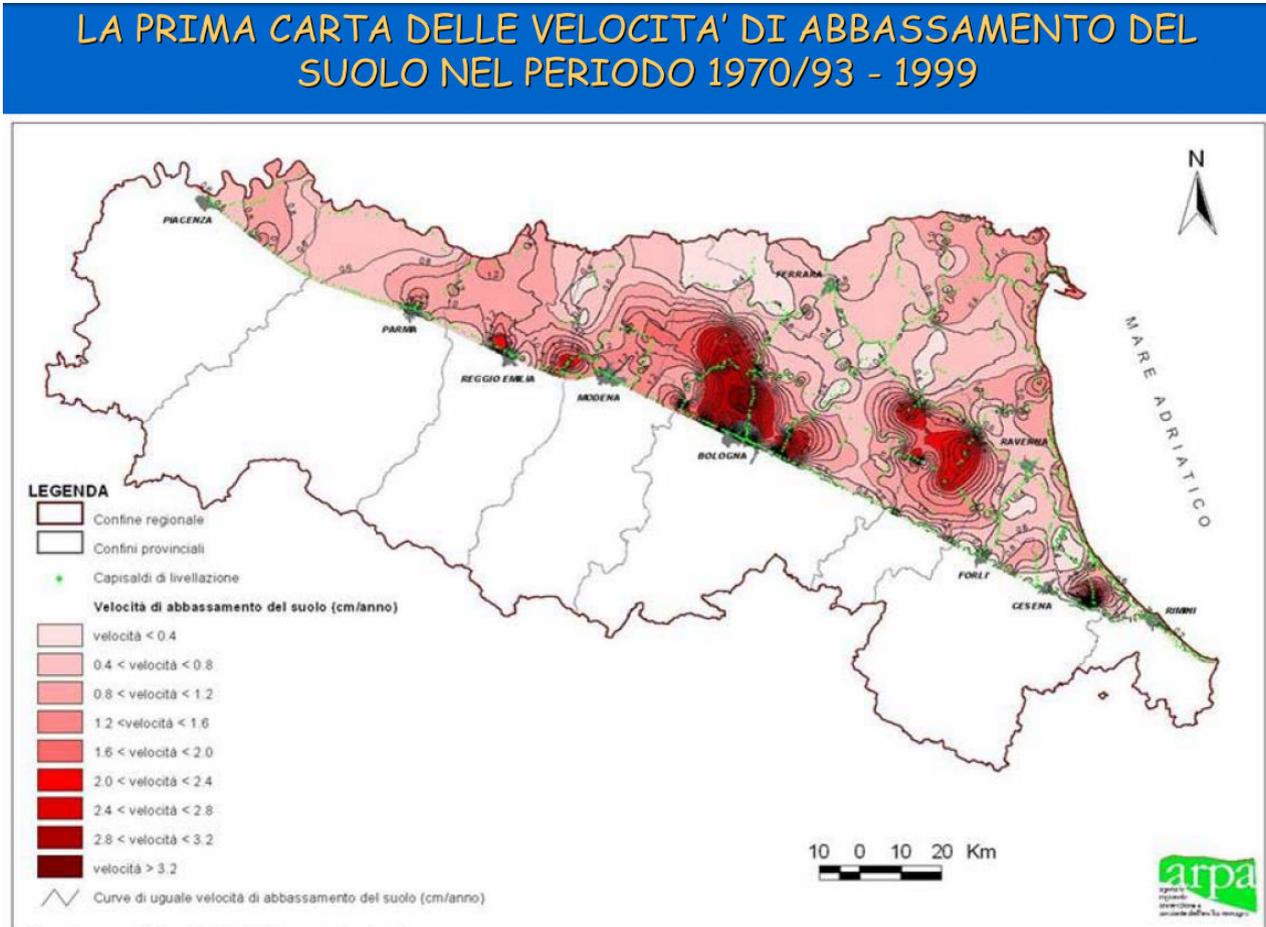


FIGURA 3.2– Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 1970/93 -1999

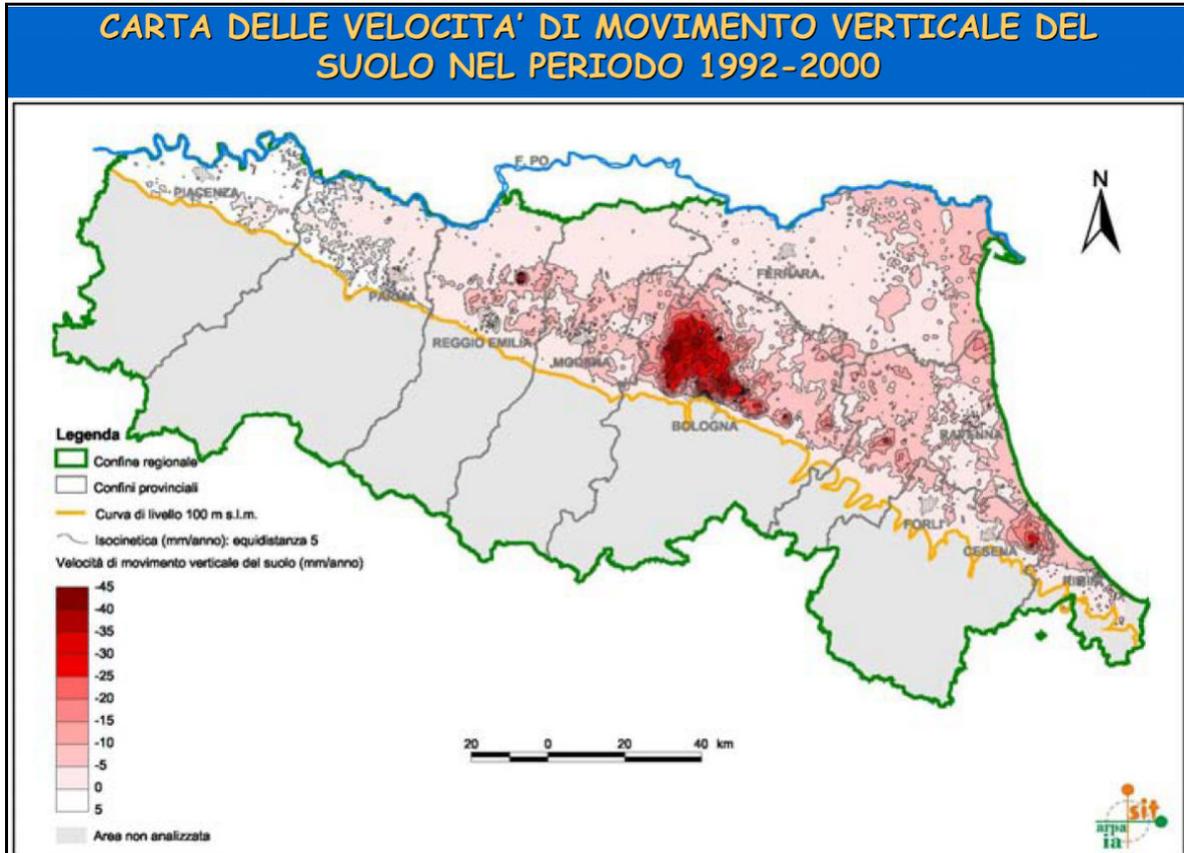


FIGURA 3.3– Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 1992-2000

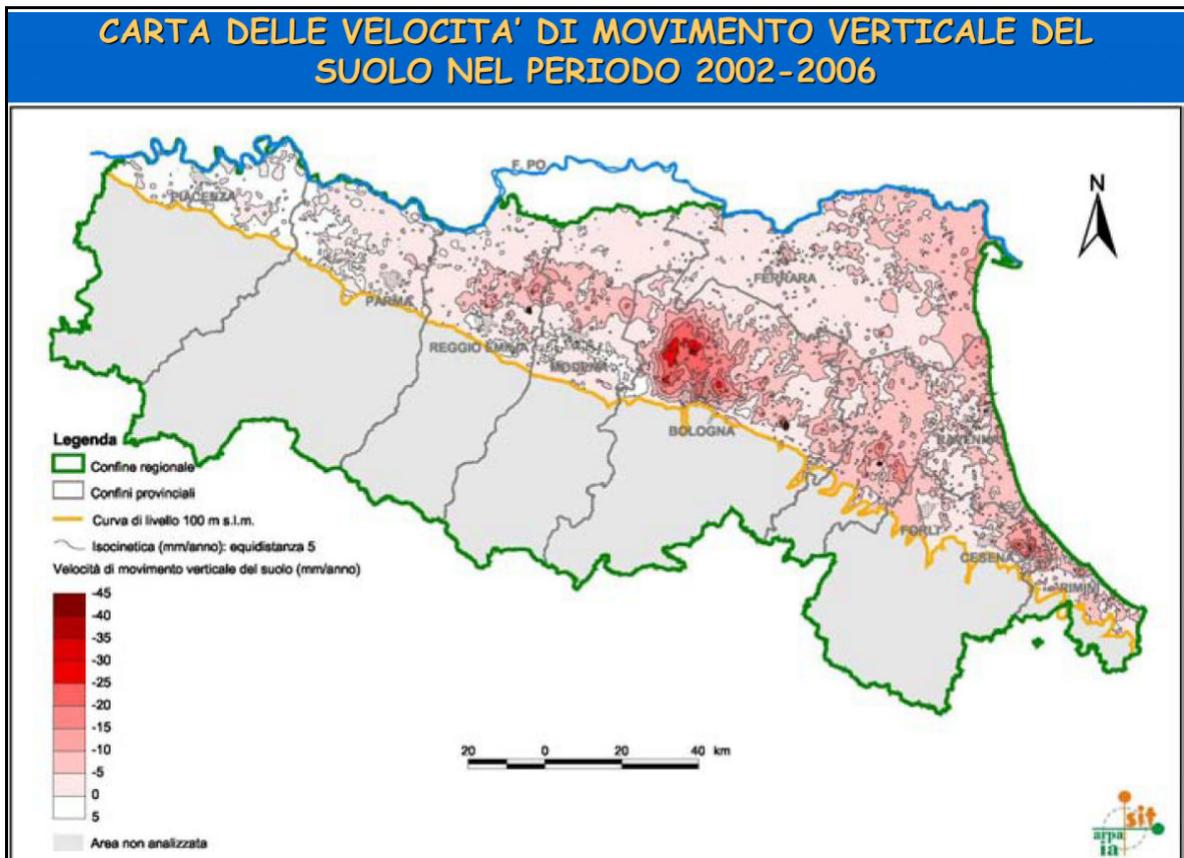


FIGURA 3.4– Mappa Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2002 - 2006

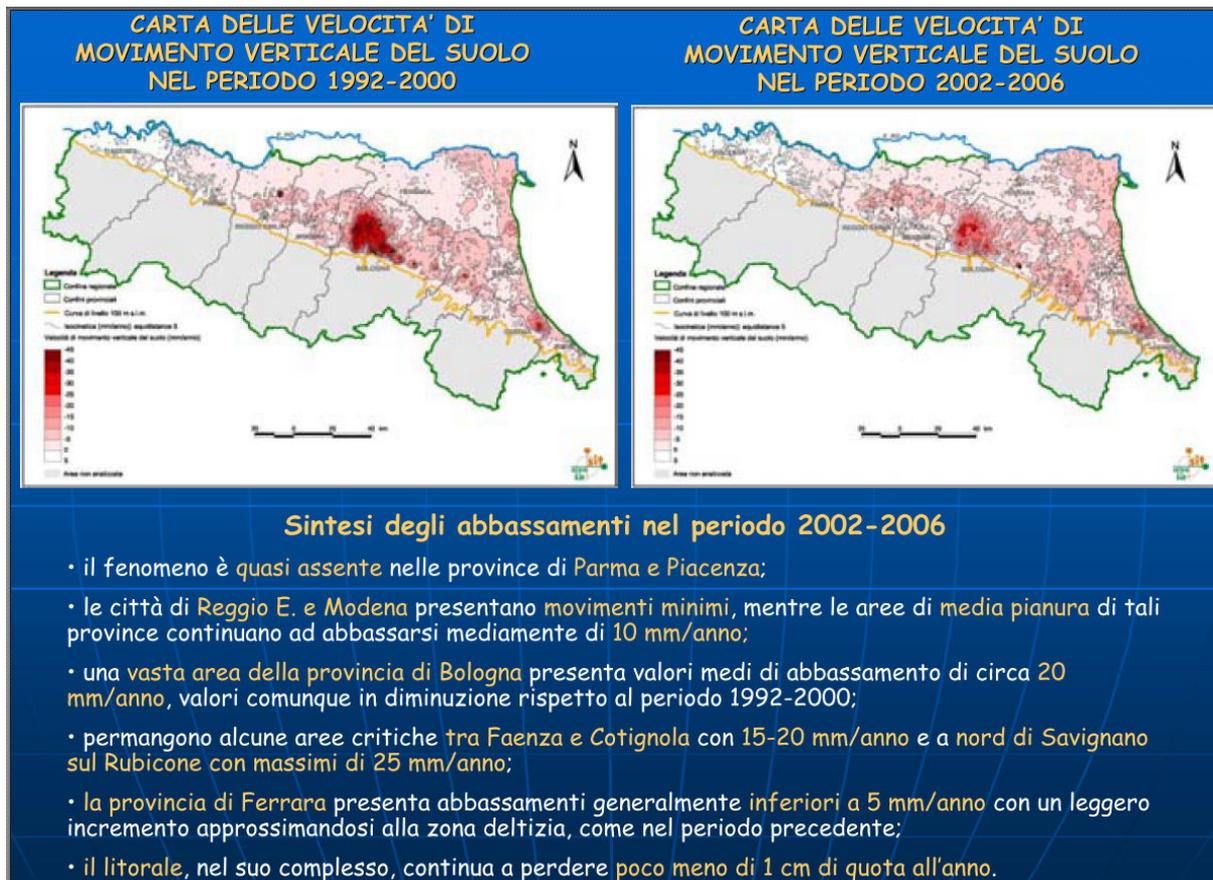


FIGURA 3.5– Sintesi delle considerazioni ottenute confrontando gli abbassamenti del periodo 1992-2000 e 2002-2006

3.2. CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA

In FIGURA 3.6 si riporta la carta della profondità in m dal p.c. dei depositi olocenici, ovvero più giovani di 10.000 anni. Gli spessori accumulati di sedimenti olocenici dipendono dal tasso di sedimentazione degli apporti fluviali e dalla subsidenza.

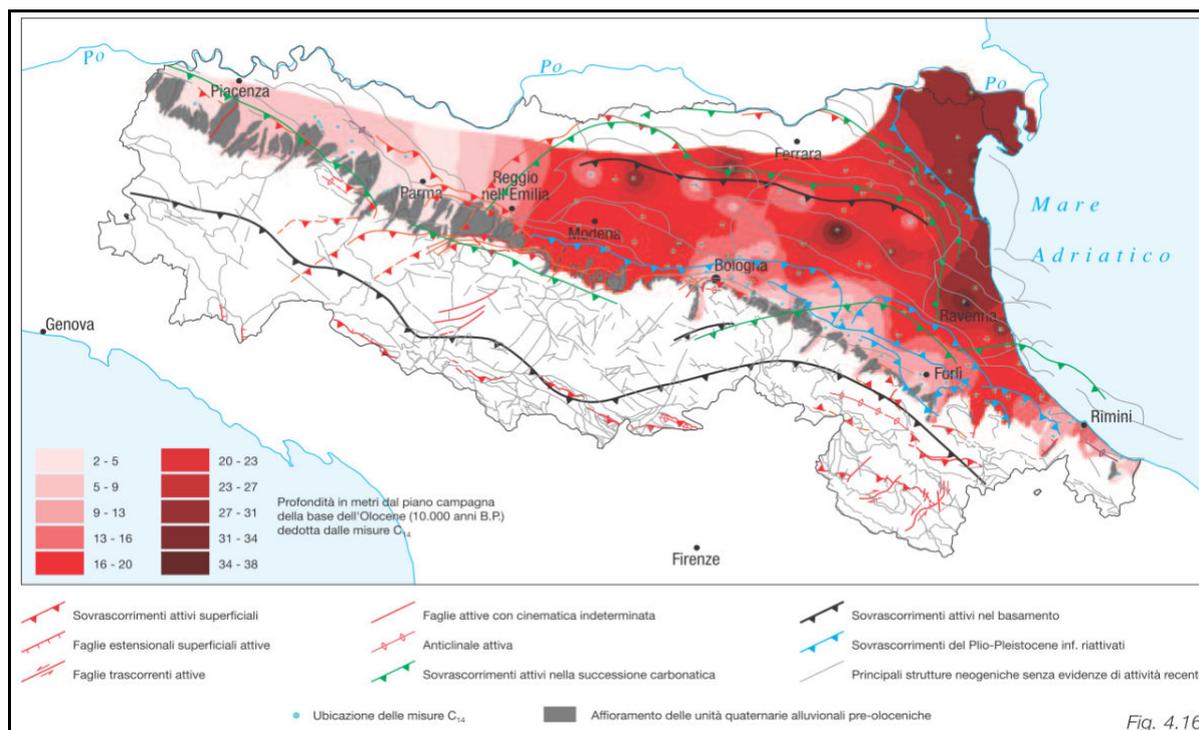


FIGURA 3.6 - Mappa della profondità della base dell'Olocene.

Come si può osservare nel dettaglio della **FIGURA 3.7** la profondità a cui cominciano i sedimenti olocenici (ovvero quelli depositatisi negli ultimi 10.000 anni dal presente), è intorno a 16/20 m. La subsidenza, la trasgressione marina flandriana e la successiva fase regressiva, gli apporti alluvionali dei fiumi olocenici legati all'antico corso del fiume Po e dei suoi mutevoli rami di foce, hanno di fatto costruito il territorio del comune di Voghiera, condizionando fortemente gli effetti di sito cosmici attesi.

Nell'asse con direttrice verticale congiungente i centri abitati principali (ducentola, Gualdo, Voghenza e Voghiera) sono presenti sedimenti sabbioso-limosi depositatisi nei paleoalvei principali. Tali paleoalvei, per le loro caratteristiche litostratigrafiche, sono stati soggetti a minore subsidenza rispetto alle piano alluvionali distali, ed emergono topograficamente sul territorio, ospitando i centri abitati più vecchi, che hanno sempre prediletto le zone alte di pianura, per sfuggire alle frequenti inondazioni che i fiumi hanno procurato a questo territorio, prima dei radicali interventi di messa in sicurezza idraulica che hanno subito nell'ultimo millennio.

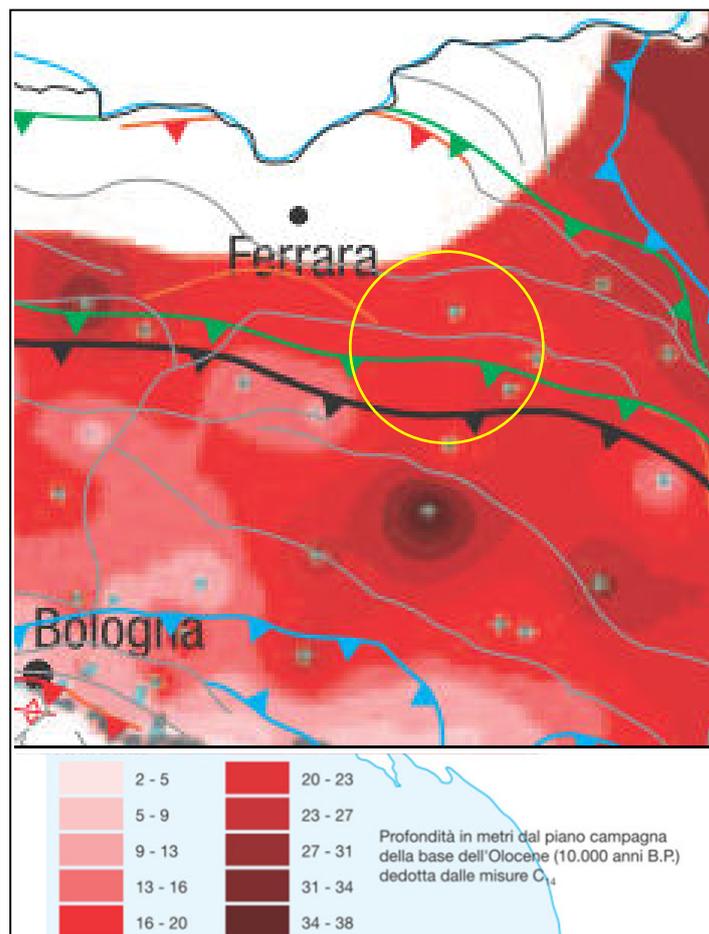


FIGURA 3.7 - particolare della carta degli spessori dell'Olocene.

L'evoluzione ambientale del territorio di Voghiera è stata condizionata prevalentemente da processi sedimentari legati ai corsi d'acqua. Essi, infatti, consentono il trasporto di ingenti quantità di sedimenti grossolani e fini, che si accumulano non solo all'interno dell'alveo, ma anche nei territori limitrofi successivamente ad eventi alluvionali. Pertanto, quando si verificano le esondazione fluviali (rotte fluviali), si formano dei depositi a forma di ventaglio per la diminuzione di energia e capacità di trasporto, con la frazione grossolana (sabbie) concentrata all'apice del ventaglio e la frazione più fine (limi ed argille) deposte più lontano.

Dunque le strutture geomorfologiche affioranti che caratterizzano il territorio comunale sono costituite da:

- paleoalvei di riempimento attivo;
- depositi di rotta e di esondazione fluviale;
- bacini interfluviali distali (piane alluvionali).

In FIGURA 3.8 si riporta lo stralcio della carta geomorfologica del comune di Voghiera.

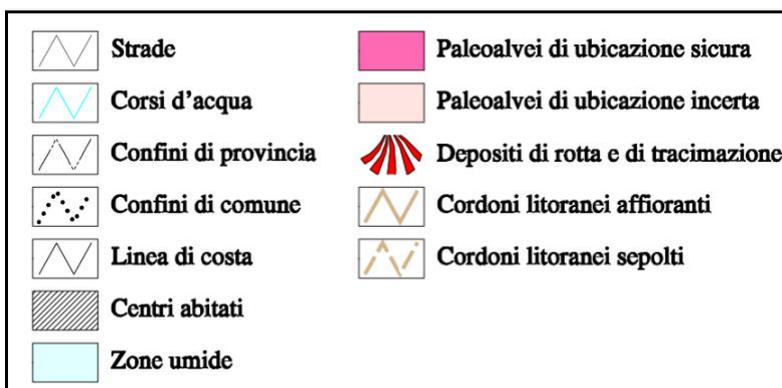
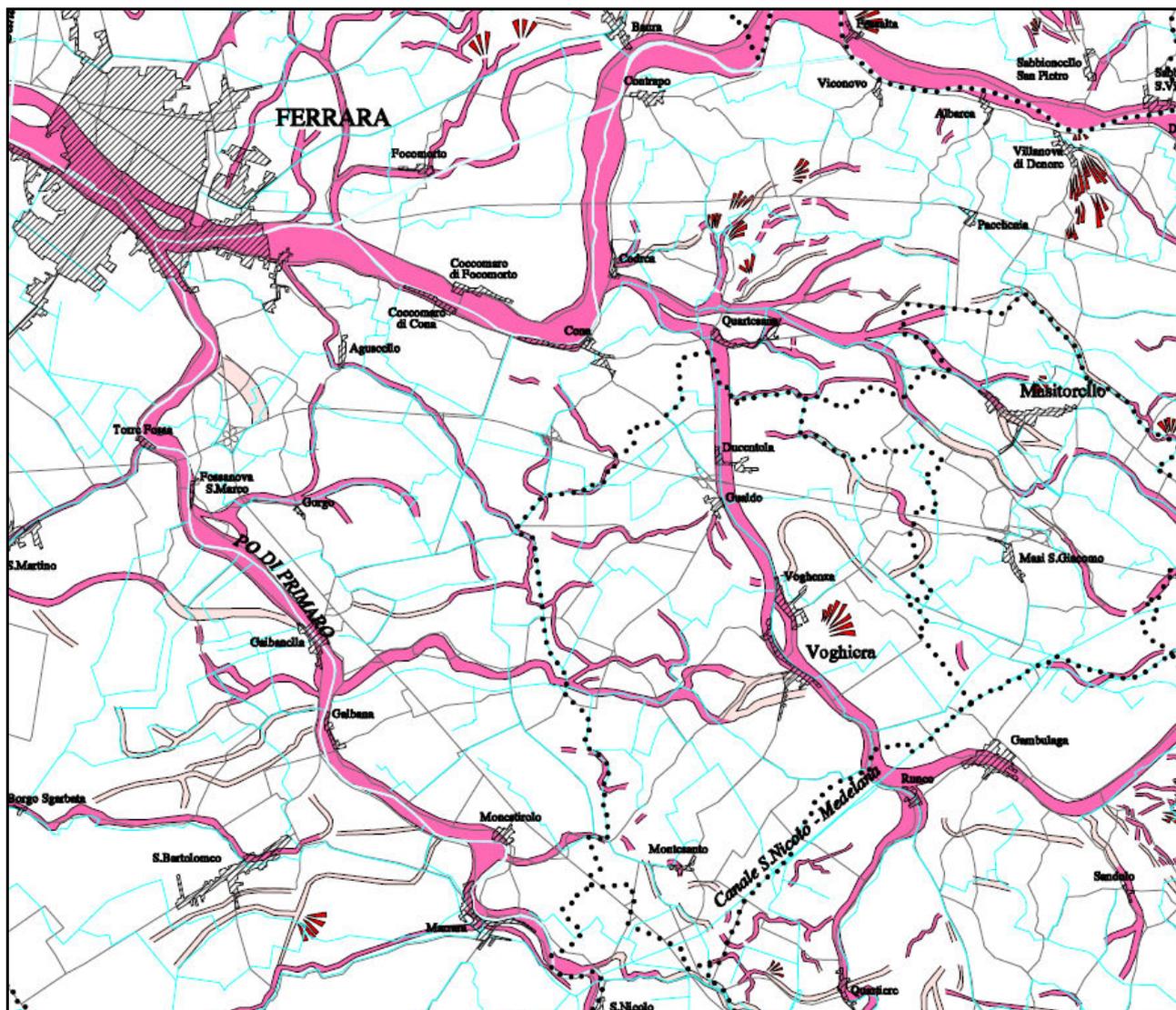


FIGURA 3.8 - Stralcio della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara

In corrispondenza dei centri abitati domina la connessione fluviale di una antica diramazione del fiume Po che si staccava dal Po di Volano a Codrea-Quartesana, e passando per Gualdo e Voghiera dirigeva verso sud (Po di Spina), dividendosi all'altezza di Runco in due rami, di cui il principale confluiva a San Vito nel fiume Padoa Eridano, poi Padovetere.

Questa è la struttura più potente per spessore e dimensioni, poiché in passato costituiva il ramo principale di foce del fiume Po. Esso passava da Bondeno per Ferrara, Codrea, Ducentola, Voghiera, Runco, Gambulaga, Dogato, Ostellato e San Giovanni di Ostellato fino al mare.

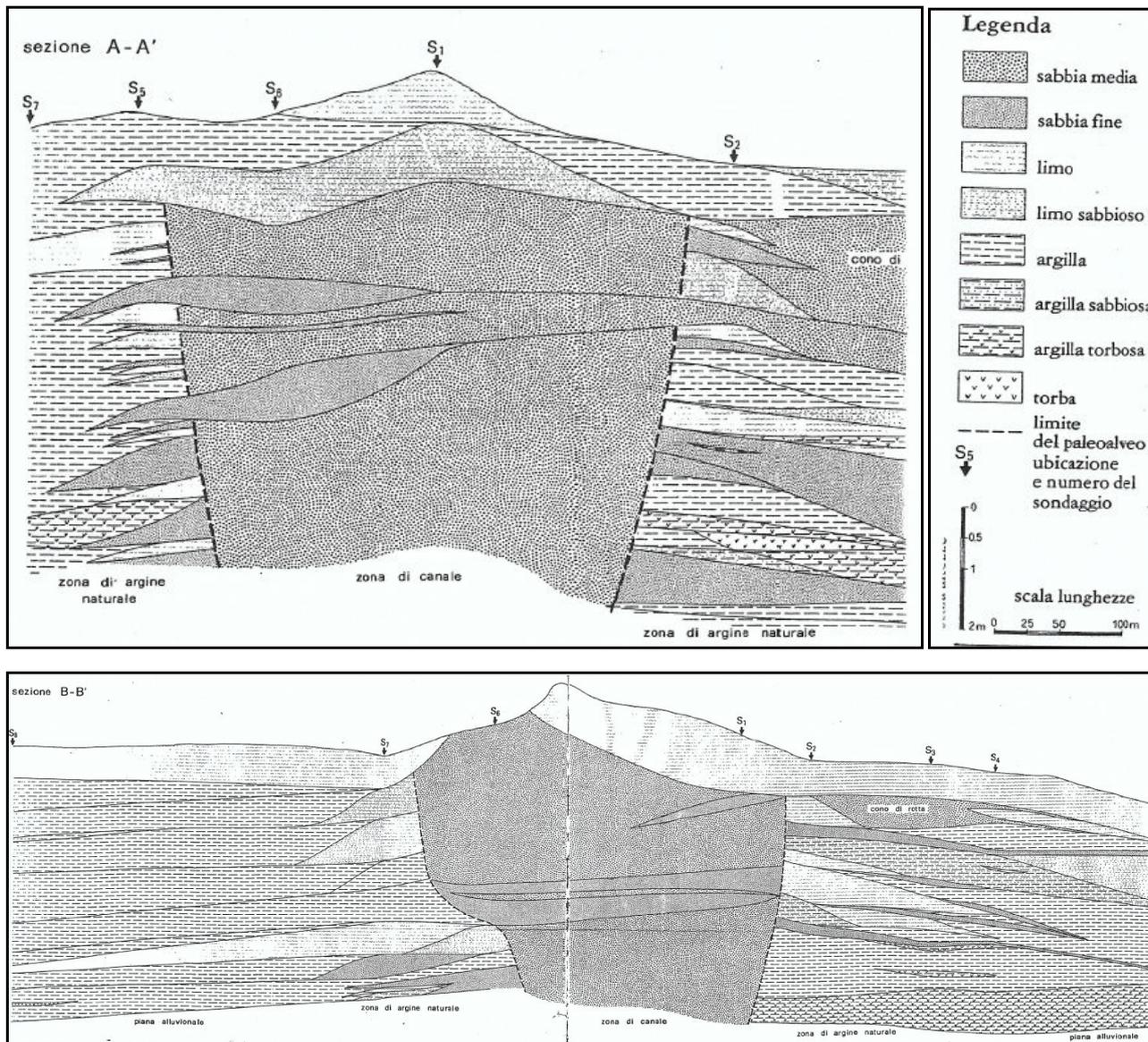


FIGURA 3.9b – Carta geomorfologica di dettaglio (M. Bondesan, G. Masè) – Sezioni

3.3. CENNI SULLA SUBSIDENZA

La subsidenza tettonica ha sempre avuto i suoi effetti nella regione di studio per la sua relazione con le strutture dell'Appennino, come già visto in precedenza.

Nei tempi geologici e storici questo fattore è stato esaltato dal costipamento naturale di quei sedimenti alluvionali, costituiti da sedimenti fini e soffici e da depositi organici, che si ossidano nel tempo.

Quando prevale però l'azione di deposito dei corsi d'acqua, che hanno tendenza ad esondare frequentemente, la subsidenza naturale può essere compensata. I fiumi che scorrono negli argini naturali, in occasione delle piene, possono scavalcarli e il materiale di esondazione si distribuisce ai lati dell'alveo.

L'accumulo è più intenso e granulometricamente più grossolano ai lati del letto del fiume dove l'energia di trasporto dell'esondazione si dissipa; allontanandosi ed espandendosi le acque trattengono in carico materiale a grana sempre più fine e sempre in minor quantità.

All'esaurirsi della piena, se il fiume non cambia corso, la zona a ridosso dell'argine sarà un pò più alta, mentre nelle zone circostanti il costipamento dei terreni fini produce un abbassamento differenziato; questo non verrà più compensato se il fiume viene poi chiuso in rigidi argini con l'intervento dell'uomo. Per quanto riguarda l'area di studio la "rotta di Ficarolo" ha spostato tanto a nord il corso del fiume che essa non ha più ricevuto gli apporti detritici, cosicché la subsidenza naturale non è più stata compensata.

Quando il livello del suolo scende sotto il livello della falda freatica si ha la formazione o, se già esistente, l'allargamento degli specchi vallivi.

Un altro meccanismo di formazione di lagune costiere è quello ben noto dell'interclusione di un'area sommersa dal mare per la formazione di un "lido" sabbioso di fronte alla costa; un classico esempio di laguna generatasi con questo meccanismo è la Laguna di Venezia. Una genesi simile è presupposta per la zona di Valle Isola delimitata a sud dalla strada provinciale via del Mare (che corre sui dossi della antica linea di costa del I-II sec. a.C.) e a nord dal cordone di dune della successiva linea di costa del I-II sec. d.C., al quale verrebbe imputata la responsabilità dell'isolamento della porzione di mare a formare una laguna; i ritrovamenti di fauna fossile nei campioni prelevati dai sondaggi depongono in questo senso: *Cerastoderma glaucum* (il *Cardium edule*), la *Cyclope neritea*, *Rissoa sp.*, *Abra sp.*, *Bittium sp.* e il *Cerithium Adanson* compaiono nei primi metri di terreno a testimoniare nell'Olocene un ambiente marino, deltizio salmastro, e di laguna o di laguna aperta con forti apporti di acqua dolce (sono tutti a guscio forte e resistente di ambiente di una certa energia, nei livelli più superficiali invece si sono trovati anche fossili più sottili, fragili, di ambienti di bassa energia, come potrebbe essere una laguna chiusa).

Specchi di acqua salmastra si formano nelle zone interdunali per via di mareggiate. Nella piana retrostante è la naturale divagazione e le rotte dei corsi d'acqua non arginati che danno origine ad allagamenti persistenti di acque dolci. La bassa pianura padana ha raccolto queste acque dall'apparato deltizio del paleo Po e dai suoi affluenti appenninici.

Già dal VI secolo d.C., quando i processi deposizionali non hanno più compensato i fenomeni di subsidenza, si verifica una progressiva ingressione di acqua marina a miselarsi e poi a sostituirsi con le acque dolci. Più prosegue la subsidenza e più si espandono gli specchi vallivi che nel XVI secolo raggiungono la loro massima estensione.

A tale espansione fa riscontro nello stesso secolo l'inizio delle opere di bonifica da parte degli Estensi, poi del Papato (XVII secolo), ma sono opere di scarsa efficacia e di limitata durata a causa dei fenomeni di subsidenza.

È solo con l'introduzione in Italia dell'idrovora meccanica (XIX sec.) che vengono realizzate opere di bonifica definitive, le acque sollevate meccanicamente vengono convogliate in mare assicurando sistematicamente l'emersione delle terre.

Si riporta in **FIGURA 3.10** lo stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara, in cui sono evidenziate in tonalità azzurra le aree sotto il livello del mare, il Comune di Voghiera non presenta aree particolarmente depresse, fatta esclusione per alcune piccole aree concentrate nella zona orientale del comune con valori tra -1,0 m e 0,0 m sul l.m.m..

Successivamente si riportano in **FIGURA 3.11** ed in **FIGURA 3.12** e **3.13** una carta storica del 1853 e due carte del 1898 in cui sono visibili gli estesi bacini vallivi di tutto il basso ferrarese, che vanno a lambire il confine orientale del comune. Nella successiva **FIGURA 3.14** si riporta una carta dei bacini di bonifica con il periodo dell'avvenuto prosciugamento, partendo dalla situazione riferita alla seconda metà del XIX sec.

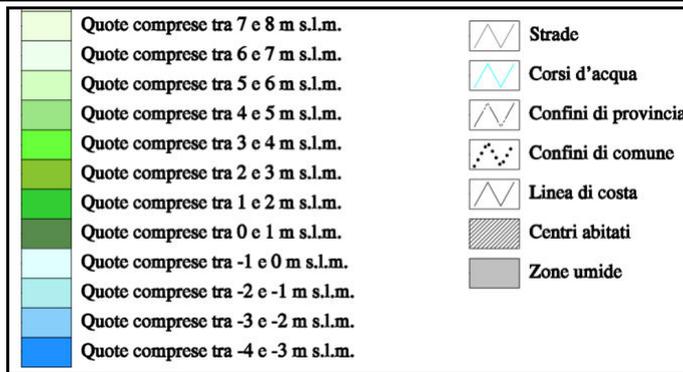
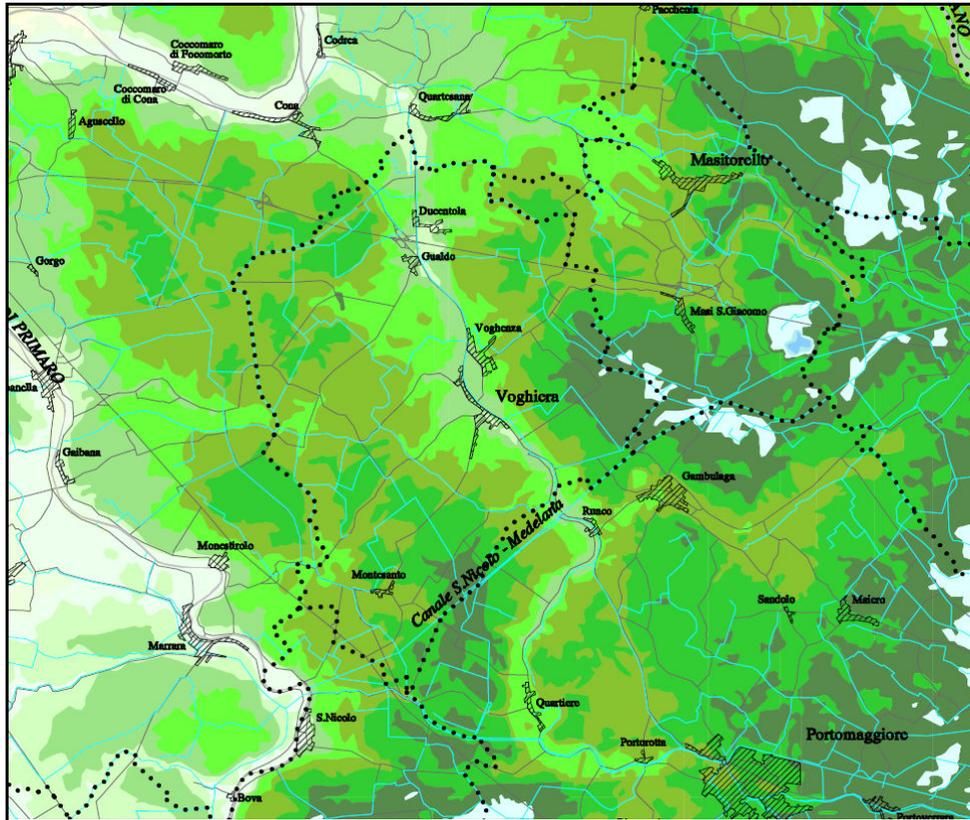


FIGURA 3.10 - Stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara

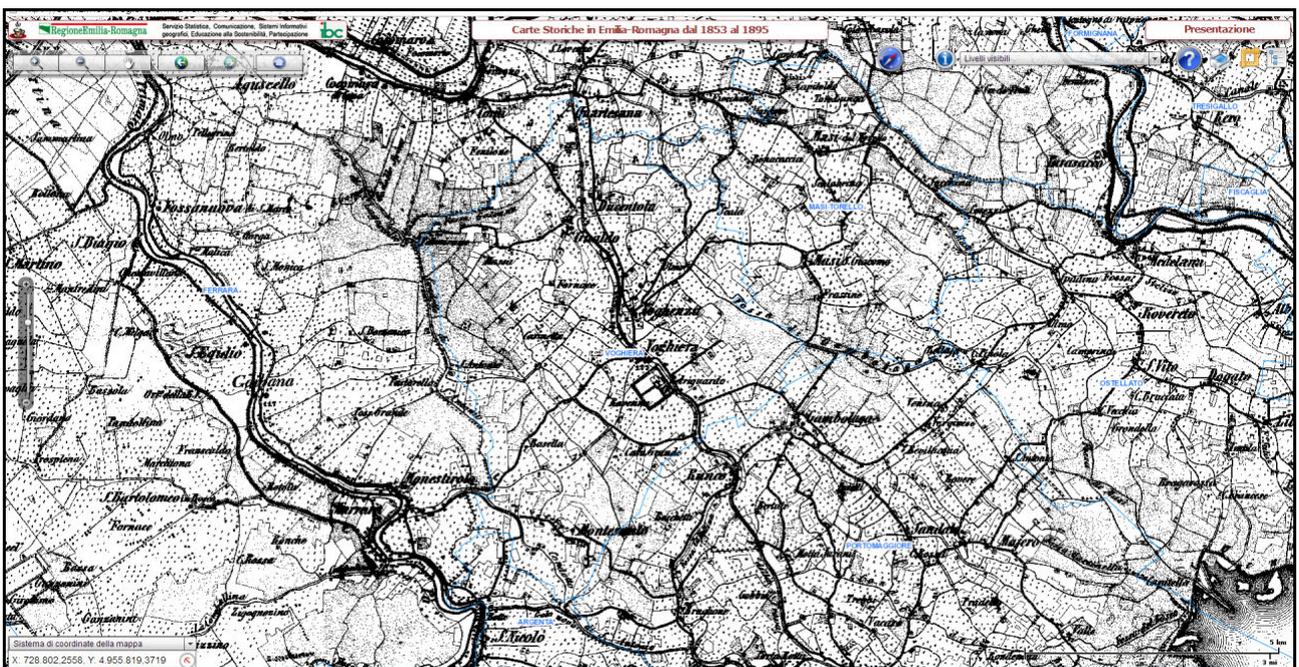


FIGURA 3.11 - Carta storica del 1853. (http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp)



FIGURA 3.12– Carta storica del 1898 (reperita su sito <http://lazarus.elte.bnl/hum/dig/konyv/topo/3felmeres.htm>)

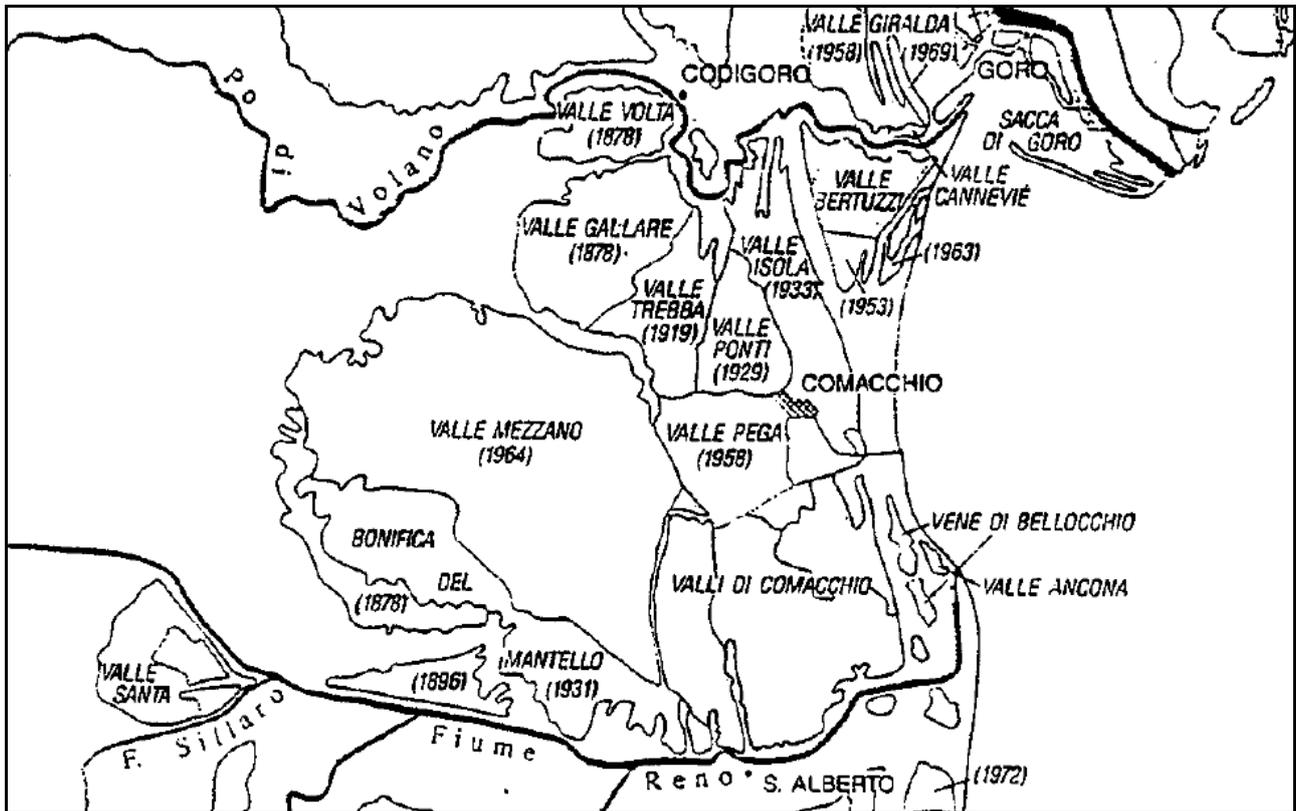


FIGURA 3.13 - Carta dei bacini di bonifica con evidenziate le date dell'avvenuto prosciugamento (M. Bondesan, 1994)

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

In questo capitolo sono descritte le diverse tipologie di indagini geognostiche effettuate sul territorio comunale di Voghiera che sono state prese in considerazione per le finalità del presente lavoro di microzonazione sismica. Si tratta in particolare di diversi tipi di indagini, sia dirette come sondaggi e pozzi, sia indirette come penetrometrie e prospezioni geofisiche da superficie.

Sono stati complessivamente analizzati i risultati di 233 indagini geognostiche. Di queste, 12 sono state appositamente realizzate per lo studio di microzonazione sismica di secondo livello, mentre le restanti 221 provengono dalla banca dati dello scrivente, dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna e dall'archivio del Comune di Voghiera. Le diverse indagini presenti sul territorio comunale sono caratterizzate da sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo, per l'eventuale perforazione di pozzi sia per acqua che per idrocarburi, da penetrometrie statiche sia a punta meccanica (CPT) sia elettrica con piezocono ed eventualmente con sismocono (CPTU e SCPTU) e da prove geofisiche da superficie con stendimenti sismici (Re.Mi., ESAC) e prove a stazione singola (HVSr).

Tutte le indagini reperite nel territorio comunale di Voghiera sono riportate nella Carta delle indagini che viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sui soli centri abitati del comune.

4.1. INDAGINI PREGRESSE

In prima battuta sono state prese in considerazione ed analizzate tutte le indagini geognostiche presenti all'interno del territorio comunale di Voghiera presenti nella banca dati dello scrivente.

Le numerose prove di repertorio della banca dati dello scrivente risultano essere 150 così suddivise:

Tipo di indagine	Numero di indagini
CPT	133
CPTU	12
ESAC	1
Re.Mi.	4
TOT.	150

Indagini di repertorio della banca dati dello scrivente

Successivamente sono state reperite tutte le indagini presenti nel territorio comunale di Voghiera della banca dati della Regione Emilia Romagna attraverso il portale cartografico del servizio Ambiente –Geologia, sismica e suoli. L'approfondito lavoro di ricerca dalla banca dati della regione ha consentito di aggiungere alle prove dello scrivente altre 52 indagini geognostiche così suddivise:

Tipo di indagine	Numero di indagini
CPT	19
CPTU	14
SCPTU	5
Sondaggio a carotaggio continuo	3
Pozzi per acqua	10
Pozzi per idrocarburi	1
TOT.	52

Indagini di repertorio della banca dati della Regione Emilia Romagna

A queste si aggiungono quelle fornite dall'amministrazione comunale.

Tipo di indagine	Numero di indagini
CPT	7
CPTU	4
SCPTU	5
Re.Mi.	1
HVSr	2
TOT.	19

Indagini di repertorio della banca dati della Regione Emilia Romagna

Le 221 indagini pregresse presenti nel territorio comunale sono state analizzate ed archiviate in una banca dati informatizzata e georeferenziata con sistema WGS84 fuso 33N (come prescritto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica del Dipartimento nazionale della Protezione Civile) in ambiente GIS ESRI, la cui struttura risponde alle specifiche per gli studi di microzonazione sismica.

Questo consente l'elaborazione degli studi di microzonazione sismica del comune, finalizzata ad una semplificazione e ad una sintesi dei contenuti principali delle caratteristiche geologiche, morfologiche, litostratigrafiche, sismiche e geotecniche e nel contempo ottenere una omogenea rappresentazione dei tematismi da parte dei soggetti realizzatori, facilitandone la lettura ed il confronto dei risultati degli studi di contesti territoriali differenti.

Per l'archiviazione dei dati si è fatto ricorso al software SoftMS versione 4.0.1, messo a disposizione dal Dipartimento nazionale della Protezione Civile (D.P.C.), attraverso il quale è possibile inserire i dati di tutte le indagini presenti nel territorio ed archivarle in tabelle costituite da un insieme di record, gerarchicamente organizzate in modo da memorizzare in maniera indipendente le informazioni legate al sito di indagine, alle prove in esso realizzate ed ai parametri tecnici di ognuna di queste.

Tutte le indagini reperite e successivamente analizzate ed archiviate presentano una buona affidabilità e sono ubicate in modo abbastanza uniforme all'interno del comune di Voghiera offrendo dunque una buona copertura areale del territorio. Per la maggior parte delle indagini, la loro ubicazione è concentrata in modo particolare nei centri abitati con una buona densità di indagini profonde a 30m da p.c. per la caratterizzazione sismica del territorio e la determinazione del valore di V_{S30} .

4.2. INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA

Per caratterizzare dal punto di vista geologico, geotecnico e sismico tutte le aree e gli edifici strategici in ambito di protezione civile e per gli ambiti di espansione proposti nel piano strutturale comunale di Voghiera sono state eseguite nuove indagini specifiche per ogni sito ritenuto strategico.

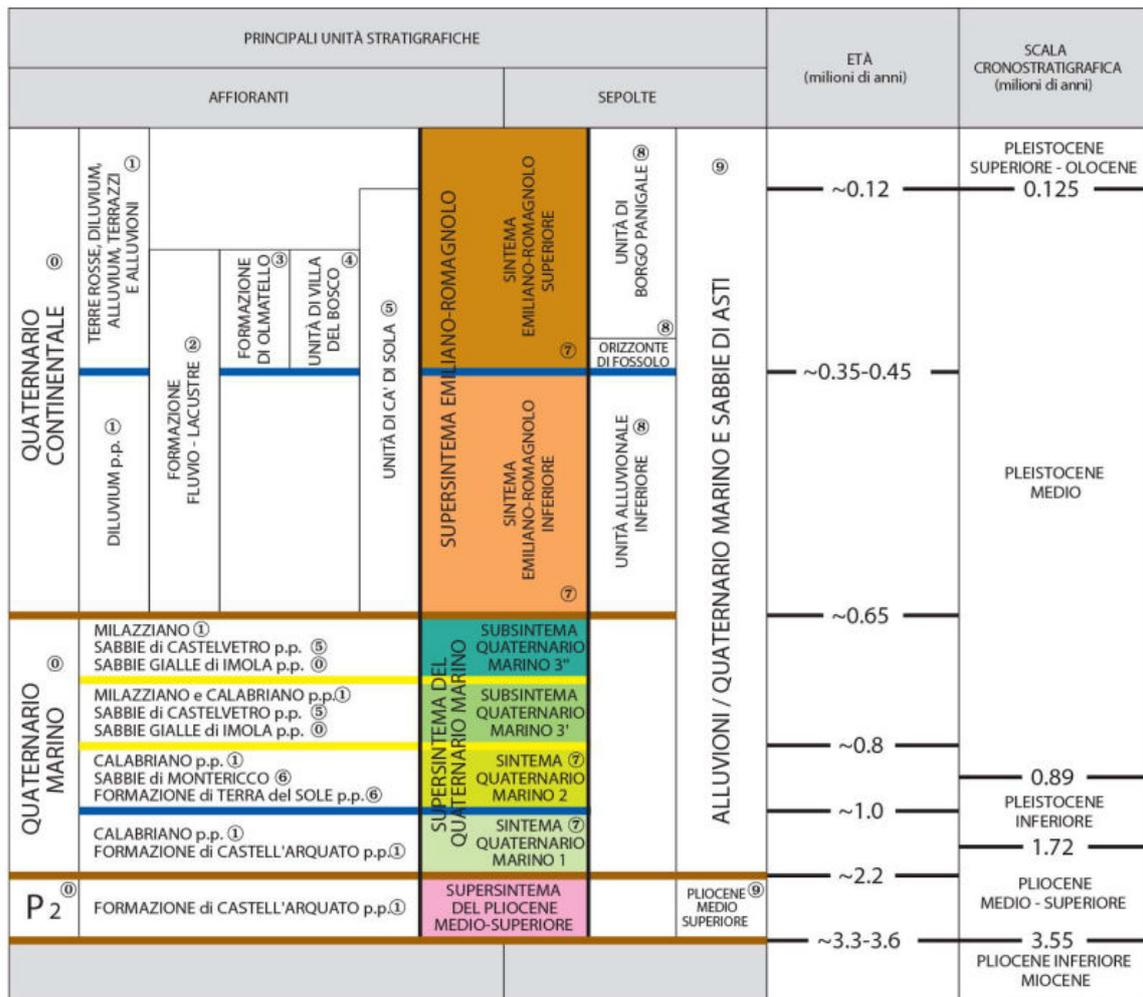
Nello specifico si sono eseguite n. 4 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono CPTU spinte tutte fino alla profondità di -20,0 m da p.c., n. 3 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono sismico SCPTU spinte tutte fino alla profondità di -30,0 m da p.c., una prova geofisica di Array sismico ESAC e n. 4 misure di microtremore a stazione singola HVSR.

N° indagine	Riferimento	Data	Lat.	Long.	Località
SCPTU MZ1	038023P215	22/11/2017	4961381	242694	Voghiera, via S.P. 29
CPTU MZ2	038023P216	22/11/2017	4964566	241834	Ducentola, Largo Massarenti
CPTU MZ3	038023P217	20/11/2017	4961174	243013	Voghiera, via S.P. 29
SCPTU MZ4	038023P218	22/11/2017	4962175	242819	Voghenza, via San Leo
SCPTU MZ5	038023P219	19/12/2017	4961205	242901	Voghenza, via S.P. 29
CPTU MZ6	038023P220	20/11/2017	4961441	242830	Voghiera, via C. Colombo
CPTU MZ7	038023P221	19/12/2017	4958175	240929	Montesanto, via U. Terracini
ESAC01	038023P228	12/01/2018	4961416	242693	Voghiera, via S.P. 29
HV01	038023P224	24/10/2017	4961392	242764	Voghiera, via S.P. 29
HV02	038023P225	24/10/2017	4961178	242860	Voghiera, via B. Buozzi
HV03	038023P226	24/10/2017	4958184	240957	Montesanto, via Cavour
HV04	038023P227	24/10/2017	4964735	241153	Gualdo, via E. Ferrari

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Poiché le prime centinaia di metri di sottosuolo dell'area indagata sono interamente formate da sedimenti di pianura alluvionale e deltizia, non litificati, non è presente un contatto netto fra unità rocciose rigide e depositi sciolti di copertura che normalmente permette di definire il concetto di substrato rigido (bedrock) in aree collinari e montuose. Le unità di sottosuolo sono caratterizzate da un aumento della rigidità graduale, ma non spazialmente uniforme, dato che superfici di non deposizione e discordanza stratigrafica possono corrispondere a bruschi aumenti di questo parametro meccanico. Tali superfici corrispondono spesso ai limiti disconformi fra Sintemi e Subsintemi e frequentemente a riflettori sismici e passaggi fra unità sismo-stratigrafiche. La buona correlazione tra i dati geologici e geofisici raccolti per il presente studio ha permesso di identificare alcune di queste superfici ed in particolare di individuare il passaggio tra i depositi del Quaternario Continentale (Qc) e quelli del Quaternario Marino (Qm) come superficie al di sotto della quale può essere definita la presenza del substrato sismico (seismic bedrock). Sulla base di inversioni congiunte tra dati stratigrafici e geofisici, per il cui dettaglio si rimanda al paragrafo 6.1, si è infatti potuto determinare che, nelle zone di alto strutturale, i depositi del Qm, presenti a profondità di almeno 250 metri, sono caratterizzati da una velocità di almeno 650 m/s, che si può supporre anche più elevata in zone di sinclinale. Sono quindi di seguito descritte in dettaglio le unità stratigrafiche che costituiscono i terreni di copertura e del sottostante substrato sismico (figura 5-1), sulla base di quanto indicato nelle note illustrative della cartografia ufficiale CARG della Regione Emilia-Romagna (ISPRA & RER, 2009).

In base alle proprietà elasto-meccaniche e alla posizione stratigrafica, le successioni inquadrare nel Supersistema Emiliano-Romagnolo (cfr. Foglio 203 "Poggio Renatico", 204 "Portomaggiore", 205 "Comacchio"), sono state qui attribuite ai "terreni di copertura".



Riferimenti Bibliografici

- ⑥ Ricci Lucchi et Al. (1982) ③ Vai (1984) - Marabini et Al. (1987) ⑥ Nuova Carta Geologica d'Italia 1:50.000
F. 218 (2002) - F. 254 (2001)
- ① Carta Geologica d'Italia 1:100.000 ④ Farabegoli (1985) ⑦ Di Dio et Al. (1997 a/b)
- ② Cremaschi (1982) ⑤ Gasperi et Al. (1987) ⑧ Amorosi & Farina (1995)
- ⑨ AGIP S.p.A. (1982)

Figura 5-1 - Schema geologico-stratigrafico regionale dei depositi quaternari di sottosuolo tratto da Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna (RER-ENI/AGIP, 1998) e recentemente rivisto ed aggiornato nella stesura delle Note Illustrative del Foglio 199 "Parma Sud". Le linee marroni indicano le discontinuità principali, mentre le blu quelle minori. Le aree tratteggiate indicano aree lacuna stratigrafica. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia - 1:50.000. Foglio 202 "San Giovanni in Persiceto".

Nella carta tettonica dell'Emilia Romagna, revisionata nel 2016, si è deciso di rappresentare la base di AES (già nella precedente edizione) e AES6 perché testimoniano le più recenti profonde modificazioni della distribuzione dei sistemi deposizionali, riconducibili all'evoluzione del bacino di sedimentazione a seguito di movimenti tettonici a scala regionale e ai cicli regressivo-trasgressivi di natura climatico-eustatica (glaciazioni). In **FIGURA 5.2** si riporta lo schema stratigrafico con evidenziate le Unconformities di riferimento.

Le *unconformities* rappresentate nella nuova Carta Sismotettonica

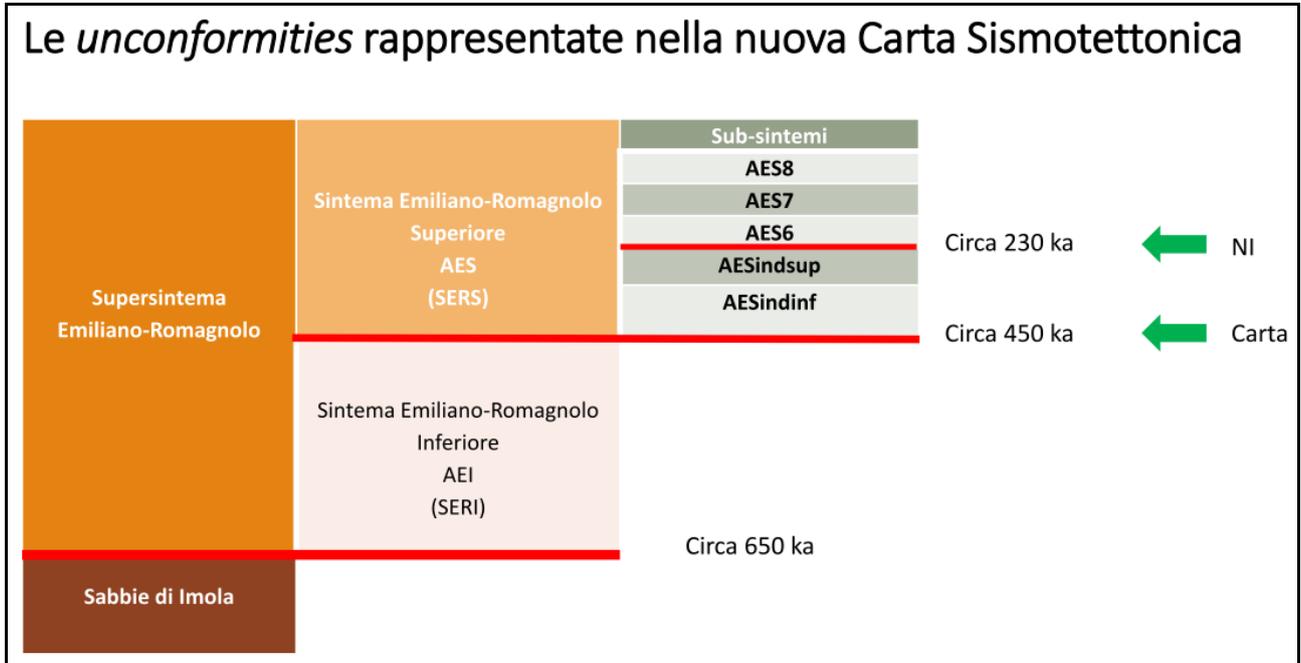


FIGURA 5.2 - schema deposizionale dell'area allo studio.

In **FIGURA 5.3** e **FIGURA 5.4** sono riportate le mappe con la profondità della base dell'AES e dell'AES6.

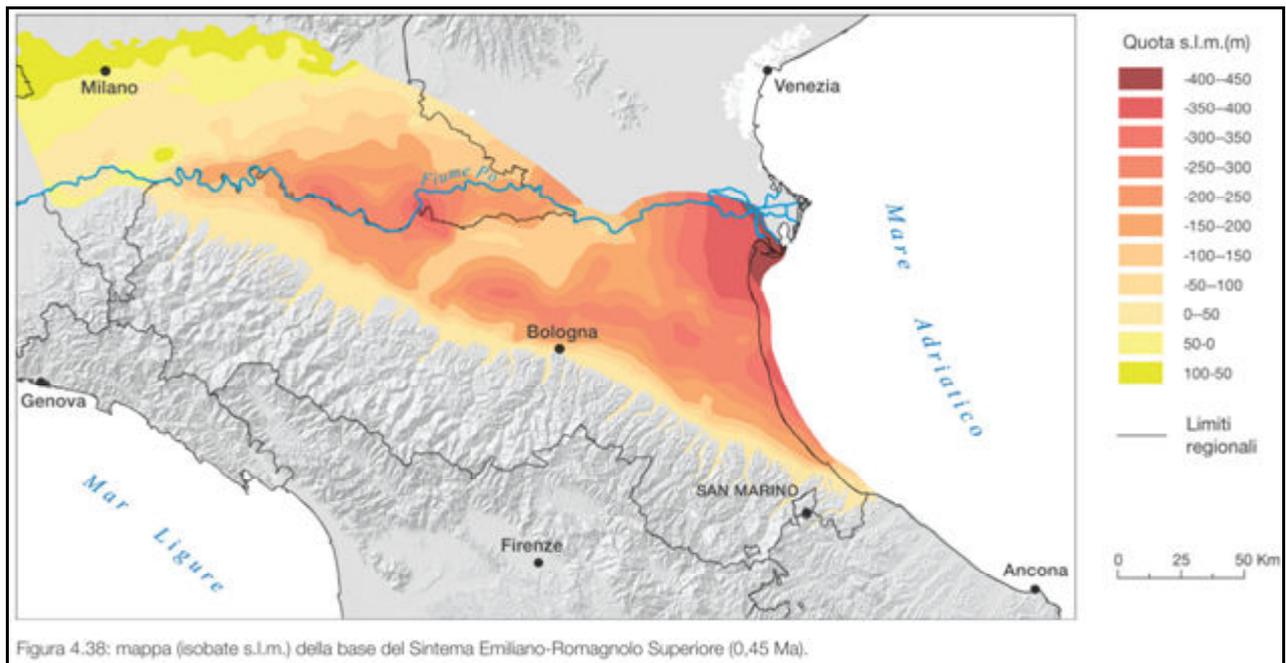


FIGURA 5.3 - profondità della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore AES.

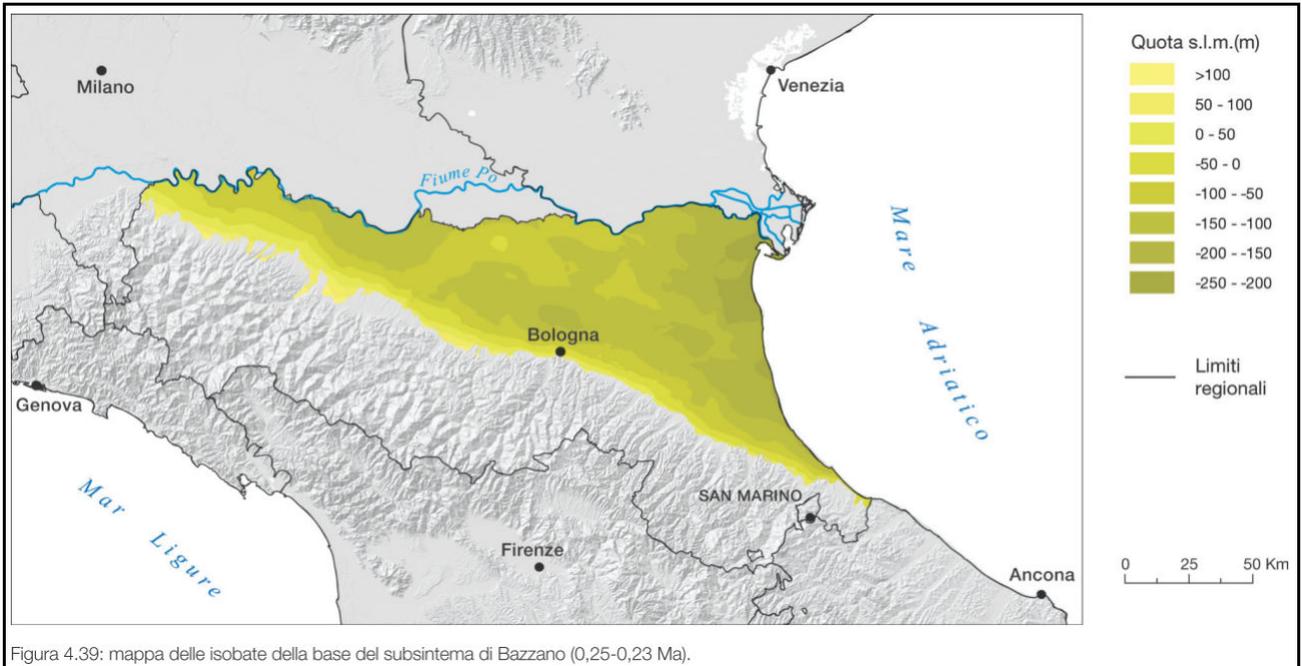
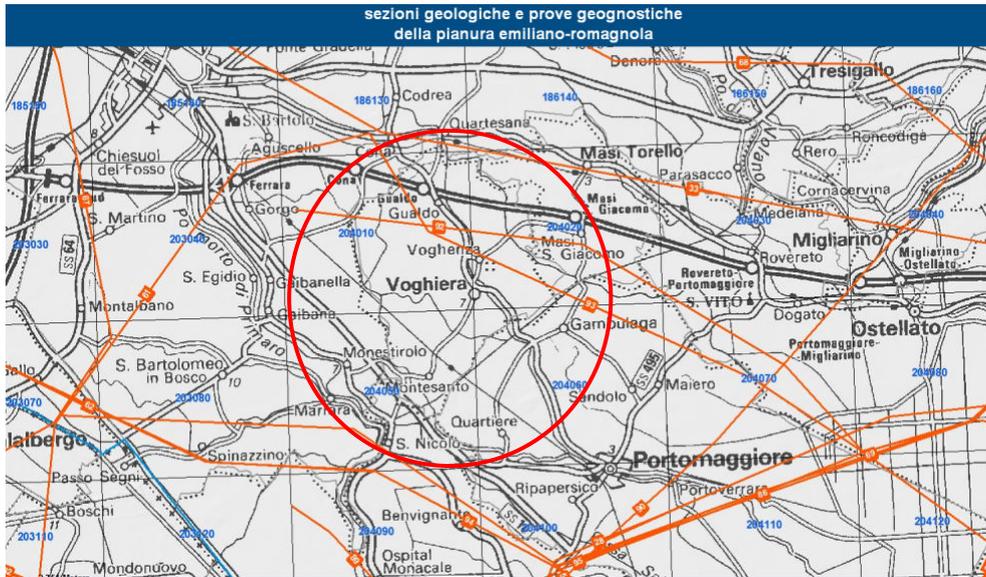


Figura 4.39: mappa delle isobate della base del subsistema di Bazzano (0,25-0,23 Ma).

FIGURA 5.4 - profondità della base del subsistema di Bazzano AES6.

Nel sito del servizio geologico e sismico della Regione Emilia Romagna è stata reperita la sezione stratigrafica Sez.093 che attraversa il territorio comunale di Voghenza, realizzata con i dati acquisiti per il progetto CARG. In essa (**FIGURA 5.5**) è stata evidenziata la suddivisione nei Subsistemi principali e le loro età.



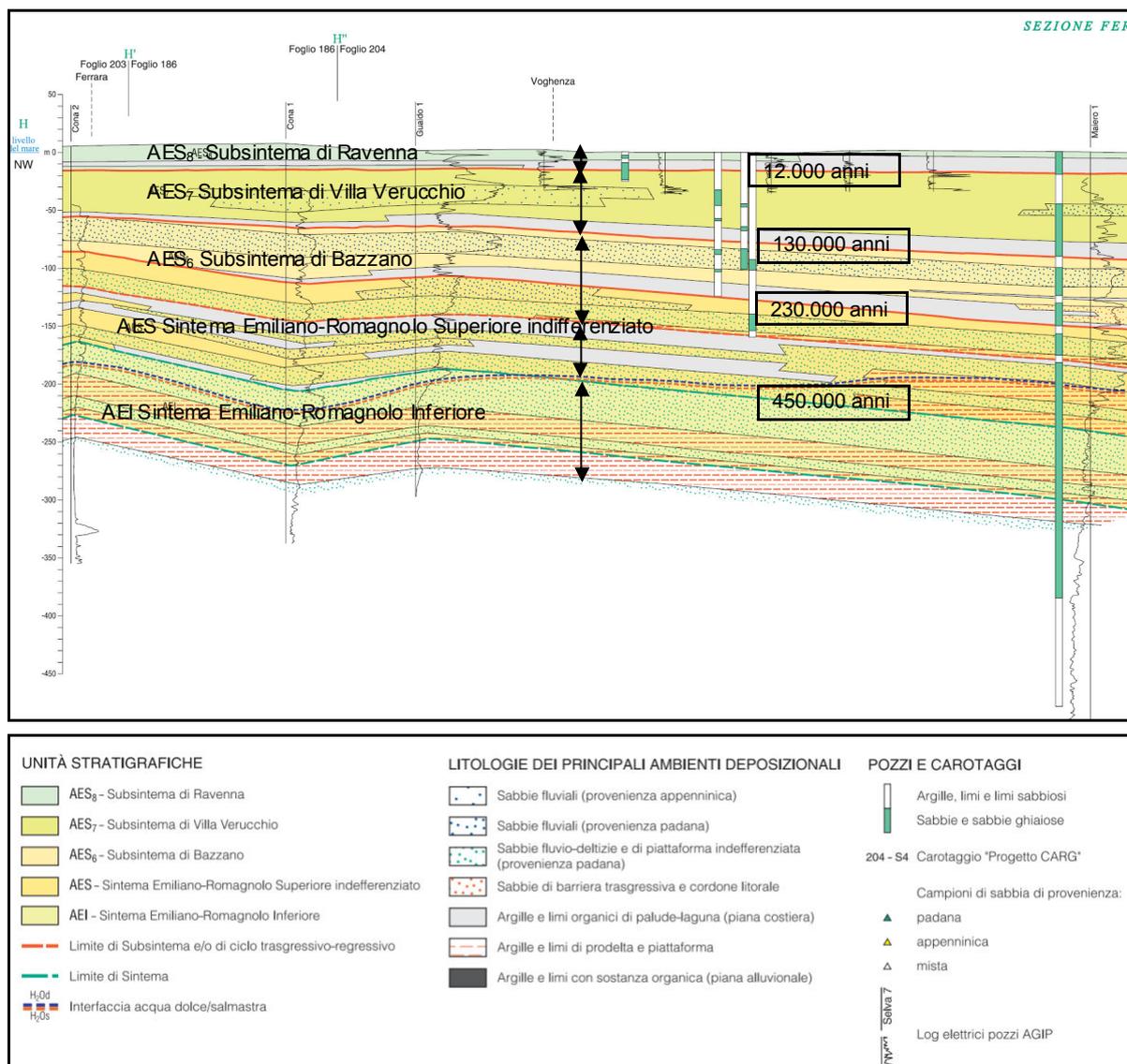


FIGURA 5.2 - *Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 300 m di profondità.*
http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/sezioni_pianura/sez093.pdf

5.1. SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

L'organizzazione stratigrafica di questi depositi registra il progressivo riempimento sedimentario di questa porzione del bacino d'avanfossa Padano in concomitanza con il sollevamento del margine appenninico ed il conseguente avanzamento verso NE dei sistemi deposizionali appenninici. Il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi et al., 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nel settore orientale, includono depositi alluvionali che passano verso est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. Il limite inferiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo affiora esclusivamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi dove è fortemente discordante sui depositi marini di età variabile tra il Miocene e il Pleistocene medio. Verso NE, la superficie di discordanza diviene sepolta e passa ad una superficie di continuità stratigrafica e/o paraconcordanza, ad eccezione delle zone di anticlinale delle pieghe ferraresi dove la discordanza è netta. Il limite superiore coincide con la superficie topografica. L'età dell'unità è compresa tra Pleistocene medio - Attuale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è suddiviso in due Sintemi distinti: quello Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e quello Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) riconosciuti e tracciati anche nelle porzioni di sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (Amorosi & Farina, 1995; Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Le analisi petrografiche e composizionali eseguite in vari Fogli della Carta Geologica d'Italia (v. ad esempio Fogli 202, 203, 204) hanno permesso di individuare l'area di

provenienza delle unità sabbiose. I corpi sabbiosi tabulari continui (decine di chilometri) con tendenza a chiudersi verso il margine appenninico, spessore pluridecametrico e granulometria medio-grossolana, registrano una provenienza alpina e di Po. I corpi sabbiosi più discontinui e sottili, di granulometria più fine, con geometrie più variabili e tendenza a saldarsi verso il margine appenninico con i corpi ghiaiosi di conoide, mostrano una chiara provenienza appenninica. Nelle sezioni geologiche profonde della cartografia ufficiale CARG della Regione Emilia-Romagna il Supersistema mostra la progradazione delle facies deposizionali alluvionali da SO verso NE ed il conseguente arretramento di quelle deltizie e marine. Due fasi principali di avanzamento delle facies deposizionali sono attribuite rispettivamente ai due Sistemi AEI e AES. Nell'area di studio il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) è dominato dalle facies marine, mentre quello superiore (AES) da facies continentali e deltizie, inizialmente formate esclusivamente da sedimenti di provenienza padana, e successivamente anche da sedimenti a provenienza appenninica, particolarmente sviluppati nella parte meridionale.

5.2. SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI)

Il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) costituisce la parte più antica del Supersistema Emiliano-Romagnolo riconosciuto nel sottosuolo dell'area di studio sulla base di sondaggi profondi, di profili sismici ENI-AGIP e delle geometrie delle unità stratigrafiche ricostruite attraverso le sezioni geologiche. Il limite inferiore coincide con quello del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Al suo interno l'unità è costituita da alternanze cicliche di prevalenti depositi di fanghi marini, argille e limi, e depositi grossolani sabbiosi organizzati spesso in sequenze di tipo coarsening-upward, di circa 30-40 metri di spessore, costituite da facies deltizie e di piattaforma del sistema padano. Lo spessore dell'unità varia arealmente a causa della subsidenza fortemente differenziale. La profondità del tetto del Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore è nell'area allo studio oltre i 150-200 m dal p.c.

Sulla base della posizione stratigrafica, l'unità è attribuita al Pleistocene Medio, cioè l'intervallo temporale compreso tra 650.000 e 350.000 anni (Regione Emilia-Romagna RER & ENI-AGIP, 1998).

5.3. SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione superiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo.

L'organizzazione dei suoi corpi sedimentari è interpretata nelle sezioni geologiche profonde (v. Allegato 1). In affioramento AES è costituito da depositi di piana deltizia ed alluvionale. Nel sottosuolo è, invece, formato da un'alternanza di depositi di ambiente deltizio, marino e continentale. Il limite inferiore del Sistema affiora solamente nelle aree più prossime al margine appenninico, ove è assai marcato e localmente può corrispondere alla base del Supersistema. In tal caso la sua base corrisponde ad una discordanza erosiva ed angolare che taglia depositi marini mio-pleistocenici. Nel sottosuolo di vasti settori di alta pianura, il limite inferiore è marcato dalla sovrapposizione di corpi ghiaiosi di conoide alluvionale su una discordanza erosiva, incisa in depositi fluviodeltizi di AEI. Procedendo verso NE, in porzioni più distali della pianura, il limite risulta meno marcato e paraconcordante. Nel sottosuolo del territorio in esame, il limite fra i due Sistemi corrisponde alla brusca sovrapposizione di sedimenti fluviali (AES) su depositi prevalentemente deltizi e marini (AEI). Lo spessore di AES varia da poche decine di metri, nei pressi della fascia pedeappenninica (es. Foglio 240 "Forlì", fino ad oltre 500 m in corrispondenza del margine costiero (es. Foglio 187 "Codigoro"). Gli spessori medi nel comune di Voghiera si aggirano sui 200-300 m procedendo da ovest verso est. La base del Sistema è attribuita, per posizione stratigrafica, al Pleistocene medio (350-450.000 anni secondo Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Il limite superiore corrisponde invece all'attuale superficie topografica ed appartiene alla parte più recente dell'Olocene.

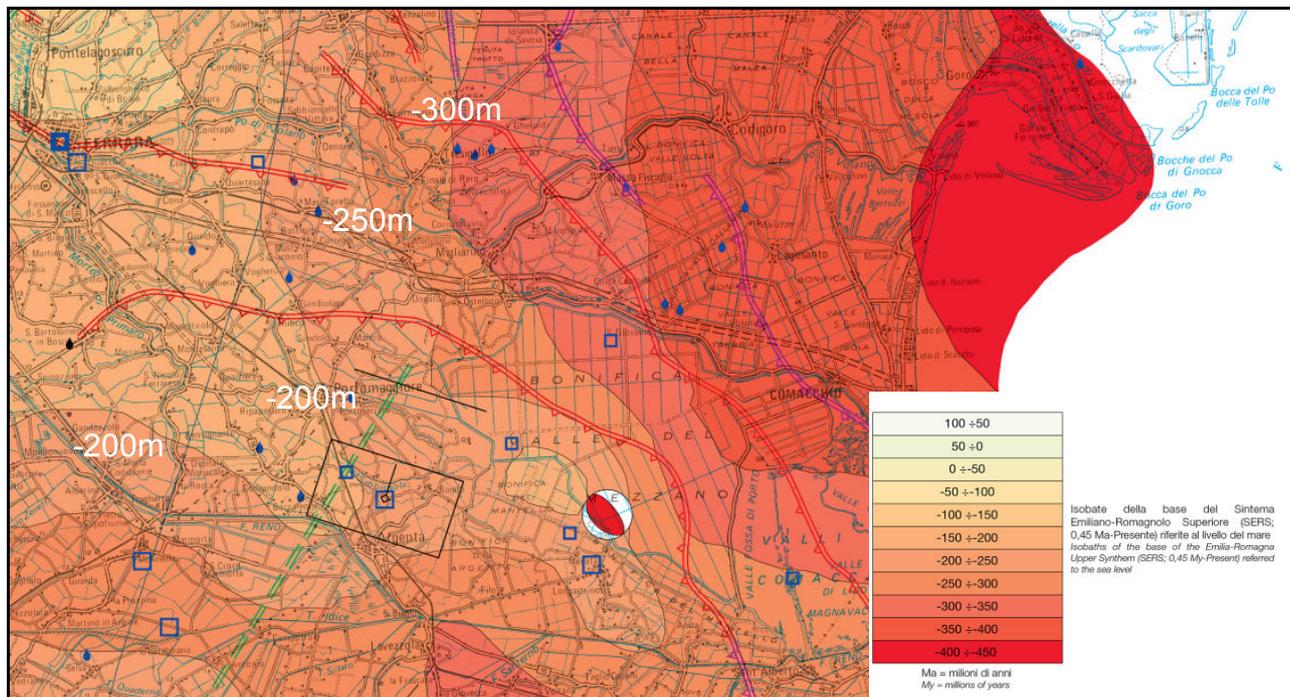


FIGURA 5.7 - Dettaglio della profondità dell'AES in m dal livello mare.

L'intero Sintema è organizzato in quattro o cinque cicli deposizionali trasgressivo- regressivi, ciascun avente uno spessore massimo di circa un centinaio di metri, in corrispondenza delle aree di sinclinale. Le facies trasgressive marino-costiere non sembrano estendersi in AES più a sud dell'allineamento Lugo-Altedo-S.Pietro in Casale, e risultano particolarmente sviluppate nella porzione meridionale e nord-orientale dell'area di studio. La porzione trasgressiva basale di ciascun ciclo è caratterizzata dalla frequente presenza di argille organiche di piana alluvionale, palude e piana costiera, con occasionali intercalazioni di sabbie litorali o fanghi salmastri.

Il limite inferiore di ciascun ciclo rappresenta una superficie di disattivazione della sedimentazione fluviale grossolana singlaciale. Nella porzione regressiva di ciascun ciclo fanghi marini e sabbie deltizie sono seguite da una spessa successione di depositi fini di piana alluvionale, in cui le sabbie di canale fluviale sono subordinate e presenti solo come corpi nastriformi isolati. Al tetto del ciclo, le sabbie di canale fluviale divengono più abbondanti, fino alla formazione di corpi sabbiosi compositi, lateralmente estesi in tutto il sottosuolo della bassa pianura ferrarese. Nell'ambito del Progetto di Cartografia Geologica Nazionale, i cinque cicli che compongono il Sintema sono stati suddivisi in 2 cicli inferiori definiti rispettivamente Subsintema di Liano (AES 4) e Subsintema di Torre Stagni (AES 5) (cfr. AES indifferenziato - Foglio 204 Portomaggiore), ed in 3 cicli superiori, inquadrati nei Subsintemi di Bazzano (AES 6), Villa Verucchio (AES 7) e Ravenna (AES 8). Nella porzione più recente del Subsintema di Ravenna, è stata ulteriormente distinta l'Unità di Modena (AES 8a), un'unità di età post-romana, definita sulla base di eventi di riorganizzazione idrografica, accelerazione dei processi sedimentari e cambiamenti nei caratteri archeologici associati alla fine dell'Impero Romano. I cicli più antichi, scarsamente noti nell'area in quanto solo raramente indagati da sondaggi geognostici di grande profondità, mostrano caratteri marini più pronunciati e registrano eventi trasgressivi maggiormente sviluppati verso l'entroterra, rispetto a quelli più recenti. Essi mostrano inoltre corpi sabbiosi fluvio-deltizi in aree più sud-occidentali rispetto a quelli dei 3 cicli più recenti. Questa evoluzione registra sia il progressivo riempimento del bacino sedimentario di Avanzofossa, sia lo spostamento verso nord degli assi depocentrali e del reticolo fluviale padano, legato al prevalere degli apporti terrigeni rispetto alla creazione di spazio di accomodamento sedimentario.

I tre Sintemi superiori (AES 6 , AES 7 , AES 8), presentano tra loro forti analogie nell'organizzazione stratigrafica. La base di ciascun ciclo, corrisponde ad una superficie erosiva incisa in sabbie fluviali singlaciali o – in aree più meridionali soggette a forti apporti appenninici – ad un paleosuolo carbonatico maturo, sviluppato su depositi continentali fini. Nell'attuale regione costiera, la porzione inferiore trasgressiva di ciascun ciclo presenta spessori di alcuni metri ed è caratterizzata da argille di piana alluvionale e palude, ricche in sostanza organica e passanti a fanghi lagunari, troncate al tetto da una superficie di rimaneggiamento trasgressivo o ravinement surface (Bruun, 1962; Swift et al., 1972; Swift, 1975; Dominguez & Wanless, 1991), a cui seguono sottili sabbie

costiere e fanghi marini. In queste aree costiere, la parte regressiva è spessa fino al centinaio di metri ed è costituita da depositi marini con evoluzione shallowing, da fanghi di prodelta e sabbie fronte deltizio, seguiti da una spessa successione di piana alluvionale. La parte superiore del ciclo è formata da sabbie grossolane di media pianura alluvionale, che passano lateralmente a sedimenti fini di pianura fredda, diffusi soprattutto nelle porzioni meridionali. Spostandosi verso il piede dell'Appennino, nei cicli sedimentari scompaiono le intercalazioni marine e la parte superiore è dominata da corpi ghiaioso-sabbiosi di riempimento di canale fluviale, che registrano lobi di conoide alluvionale ad alimentazione certamente appenninica.

5.4. SUBSINTEMA DI BAZZANO – AES 6

L'unità affiora solo nei pressi del fronte appenninico (es. Fogli 220 "Casalecchio di Reno"), mentre nella fascia costiera emiliano-romagnola, come nell'area di studio, è presente nel solo sottosuolo dove è attraversata dai sondaggi 204-S4, 204-S15, 204-S16, 204-S17 del Foglio CARG "Portomaggiore". Costituita da un ciclo completo trasgressivo-regressivo, la parte inferiore dell'unità è composta di depositi deltizi e litorali che poggiano, a volte con un forte contrasto di facies, su depositi alluvionali del ciclo sottostante. Verso sud, nei Fogli 221 "Bologna" e 222 "Lugo", le facies marino-marginali passano a facies continentali ed il limite con il ciclo sottostante diviene meno netto e più difficilmente identificabile. Nella porzione intermedia e superiore il ciclo è costituito da depositi fluvio-deltizi, organizzati generalmente in una sequenza di tipo coarsening-upward, caratterizzata al tetto dallo sviluppo di uno spesso ed esteso corpo di sabbie medio-grossolane di origine padana, deposte in ambienti di media pianura continentale fredda, verosimilmente durante la penultima glaciazione. Localmente si osserva, intercalato ai depositi alluvionali, un sottile livello di depositi fini palustri e lagunari che registra un'ingressione marina di entità minore rispetto a quella documentata alla base dell'unità. In prossimità del margine appenninico, l'unità inizia con sedimenti fini fluvio-palustri, seguiti da argille, limi e sabbie di pianura alluvionale, e superiormente da sabbie e ghiaie di conoide fluviale, che formano estesi corpi tabulari, con facies polliniche periglaciali. Spostandosi verso la fascia costiera, i fanghi fluvio-palustri passano lateralmente e verticalmente ad argille organiche lagunari, sabbie costiere e fanghi marini (es. sondaggio 223-S12 del Foglio 223 "Ravenna"). L'unità è limitata al tetto, con contatto netto, dai depositi trasgressivi marino marginali e dai depositi alluvionali fini ad essi laterali del ciclo sovrastante. Lo spessore del Subsintema varia dai 50 ai circa 100 metri. Per la posizione stratigrafica, l'unità è riferibile al Pleistocene medio. La correlazione ciclostigrafica con la scala delle fluttuazioni climatico-eustatiche di Martinson et al., (1987) suggerisce un'età fra c.a. 230.000 e 130.000 anni.

5.5. SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7

I depositi di questa unità rappresentano un ciclo trasgressivo-regressivo completo ed affiorano solamente nella fascia pedeappenninica romagnola ed emiliana (es. Foglio 256 "Rimini"). Nel resto della pianura emiliano-romagnola questi depositi sono sempre sepolti nel sottosuolo e nell'area di studio sono attraversati e descritti dai sondaggi 204-S4, 204-S15, 204-S16, 204-S17 del Foglio CARG "Portomaggiore".

La porzione inferiore trasgressiva del ciclo è costituita, nel settore nord orientale ed orientale dell'area di studio, da depositi marino-marginali che passano verso sud e verso ovest a depositi lagunari e palustri della piana deltizia e quindi a depositi alluvionali prevalentemente fini, spesso con presenza abbondante di sostanza organica. Il contatto basale di queste associazioni di facies sui depositi alluvionali di AES 6 costituisce il limite inferiore dell'unità.

Nella porzione intermedia e superiore il ciclo è costituito da alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi, limi ed argille di piana alluvionale. Questi depositi sono generalmente organizzati in sequenze di tipo coarsening-upward, caratterizzate nel settore orientale e settentrionale dallo sviluppo al tetto di corpi sabbiosi di origine padana, estesi, continui e spessi fino a 10-20 metri. Il limite superiore dell'unità viene posto, nel sottosuolo, al tetto dei depositi grossolani di canale fluviale o, verso sud, in corrispondenza del tetto dei depositi fini di piana inondabile che ne costituiscono l'equivalente laterale. In gran parte del territorio dell'Unione tale superficie è ricoperta dai depositi di piana alluvionale e deltizia e di palude/laguna, che corrispondono alla base del Subsintema sovrastante (AES 8).

Nei settori verso mare il tetto del Subsistema è definito dal contatto dei depositi trasgressivi di estuario di AES 8 sui depositi di sabbie grossolane di AES 7 riferibili all'ultima glaciazione Würmiana.

Nel sottosuolo della fascia pedeappenninica, l'organizzazione interna coarsening è del tutto analoga a quella del Subsistema sottostante. La porzione inferiore trasgressiva del ciclo è costituita da depositi fluviali che passano ad argille di palude dolce e quindi a depositi di pianura alluvionale. La parte sommitale dei cicli è caratterizzata da depositi ghiaiosi e sabbiosi, di canale fluviale e conoide alluvionale, spessi fino a 15-20 m che si sfrangiano verso valle in corpi nastriformi di canale. Sulla base di datazioni radiometriche, analisi di distribuzione pollinica ed analogie con aree limitrofe ricavate nell'ambito del progetto nazionale di cartografia geologica, il Subsistema di Villa Verucchio può essere correlato con il ciclo glacio-eustatico compreso fra gli stadi isotopici 5e (Tirreniano Auct.) e 2, della curva isotopica dell'ossigeno di Martinson et al., (1987). Sulla base di queste considerazioni, il Subsistema è attribuito all'intervallo compreso fra c.a. 125.000 anni e c.a. 17.000 anni BP (Pleistocene superiore).

5.6. SUBSISTEMA DI RAVENNA – AES 8

Il Subsistema forma la parte sommitale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore e comprende i sedimenti affioranti e formanti le prime decine di metri di sottosuolo dell'area di studio. Esso è attraversato dalla maggioranza delle indagini della Banca Dati Geognostica Regionale e dunque risulta il deposito Quaternario meglio noto dell'intera pianura emiliano-romagnola. I depositi di AES 8 poggiano in contatto netto sui corpi di canale e di tracimazione fluviale del ciclo sottostante e costituiscono la porzione trasgressiva e quella iniziale regressiva di un ciclo simile a quelli precedenti, ma incompleto poiché ancora attualmente in corso di evoluzione deposizionale.

Nell'area di studio i depositi affioranti del Subsistema sono in gran parte costituiti da argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose da tracimazione fluviale. Le alluvioni distali sono prevalentemente costituite da sedimenti di bassa energia idrodinamica (argille e limi); poi si distinguono paleoalvei principali costituiti da sabbie di riempimento di canale di piana deltizia del fiume Po riconducibili principalmente al corso di una antica diramazione del fiume Po che si staccava dal Po di Volano a Codrea-Quartesana, e passando per Gualdo e Voghiera dirigeva verso sud (Po di Spina), dividendosi all'altezza di Runco in due rami, di cui il principale confluiva a San Vito nel fiume Padoa Eridano, poi Padovetere.

A ridosso dei paleoalveo principale, appena citato, vi sono delle aree di transizione in cui sono presenti coperture fini su paleoalvei minori di divagazione dei corsi d'acqua principali, e su depositi di rotta fluviale.

Nei terreni affioranti sono ovunque assenti suoli maturi, a causa della recente bonifica e della messa a coltura di molte aree.

Sulla base dei dati radiometrici 14 C, l'età del Subsistema è compresa fra c.a. 13.450 anni (B.P. non calibrata) e l'attuale, e corrisponde all'ultima fase di rapida risalita eustatica e di miglioramento climatico che si sviluppa a partire dal tardo Pleistocene fino a tutto l'Olocene.

Nella **FIGURA 5.8** si riporta la carta delle Isobate della base dell'Olocene. Lo spessore del Subsistema varia da 16 a circa 20 metri dal p.c..

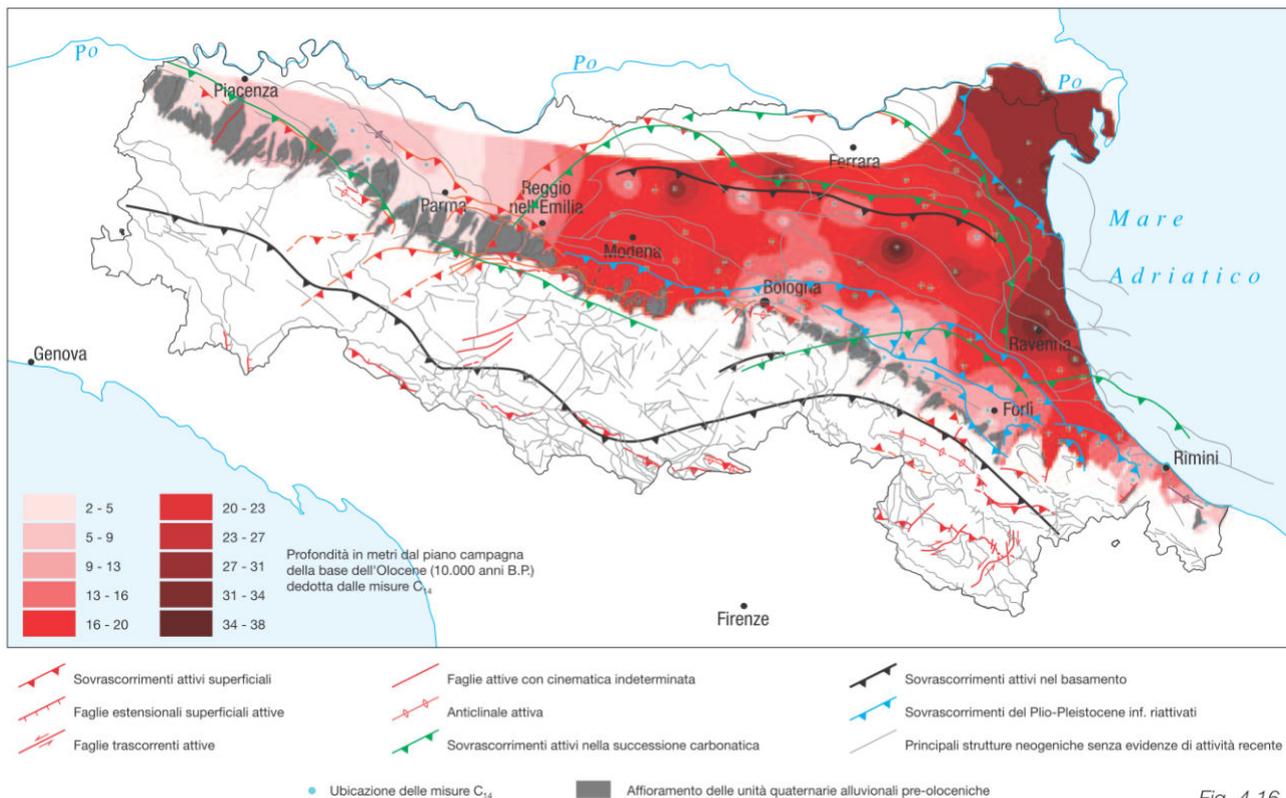


Fig. 4.16

FIGURA 5.8 - Spessore dei sedimenti olocenici appartenenti al Subsistema di Ravenna AES 8.

Nella **FIGURA 5.9** si riporta una sezione geologica di dettaglio dei primi 10m di terreno in cui si può osservare che il comune è interessato per quasi tutta la sua estensione areale dal Subsistema di Ravenna AES8, e solo nella zona meridionale, in corrispondenza di Montestanto, dalla Unità di Modena AES 8a.

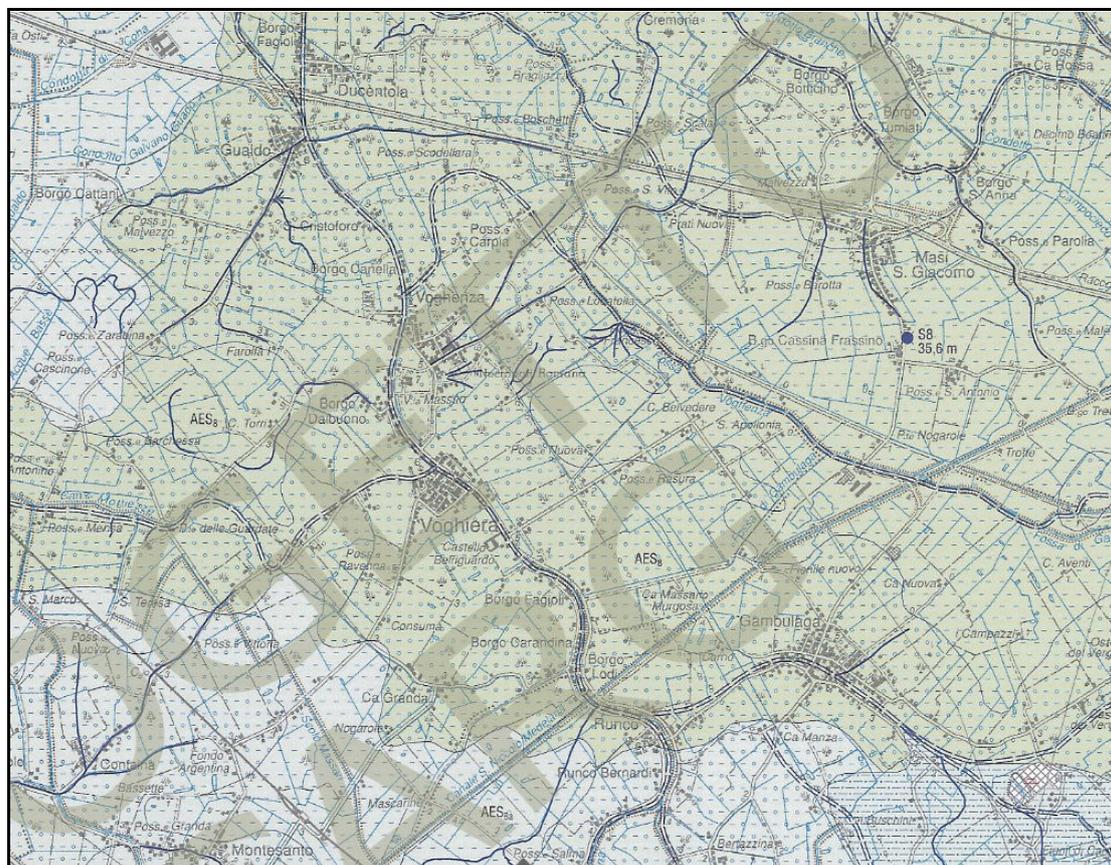


FIGURA 5.9 - Ubicazione della sezione geologica riportata nella seguente figura.

http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/204_PORTOMAGGIORE/Foglio.html

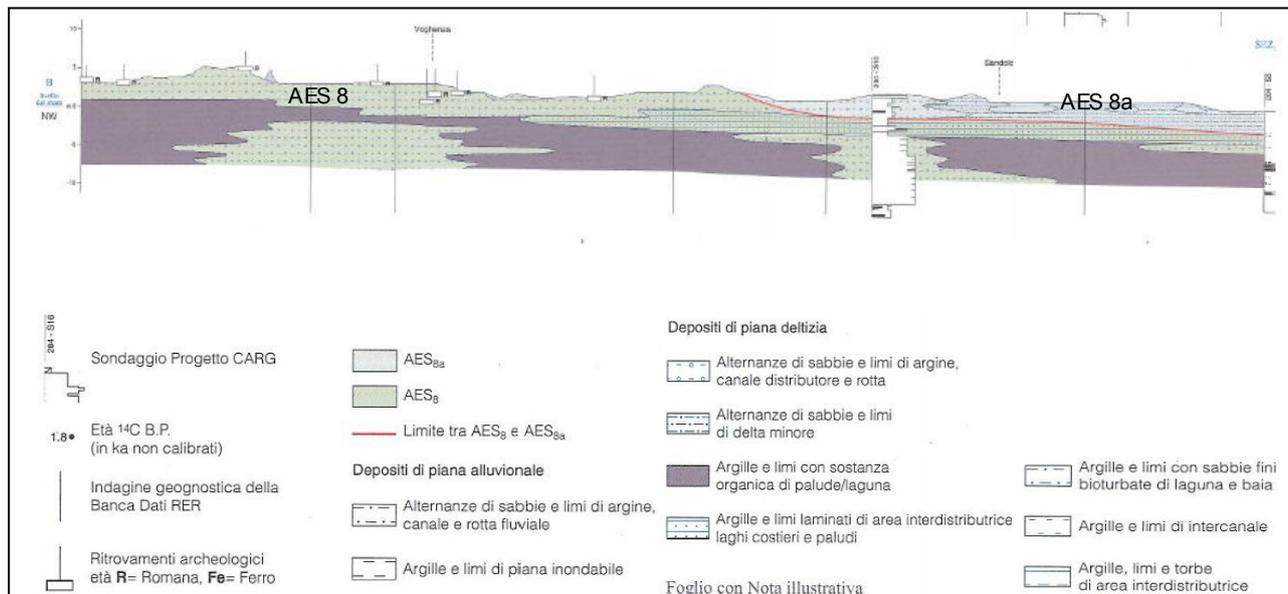


FIGURA 5.10 - Sezione geologica compresa tra Voghiera e Sandolo.

http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/204_PORTOMAGGIORE/Foglio.htm

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

6.1. CAUSE SCATENANTI PER LA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

Negli studi di microzonazione sismica di II livello, ed in particolare nella carta delle M.O.P.S. (Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica), si individuano quelle diverse aree suscettibili di effetti locali. In particolare nel comune di Voghiera si sono individuate i seguenti effetti locali:

- zone suscettibili di amplificazioni stratigrafica locale;
- zone suscettibili di instabilità per deformazioni permanenti del territorio dovuti principalmente alla liquefazione in presenza di importanti spessori di terreni granulari saturi nei primi 20 m da piano campagna.

Va però affermato che mentre è certa la presenza dei caratteri predisponenti alla liquefazione delle sabbie (depositi di sabbie limose di deposizione recentissima, sature, che stanno nei fusi liquefacibili), minore certezza può essere affidata alla stima delle cause scatenanti la liquefazione delle sabbie, ovvero la stima delle energie sismiche attese. In ogni caso il comune di voghiera ricade nelle fasce di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive dell'Emilia Romagna (**FIGURA 6.1**).

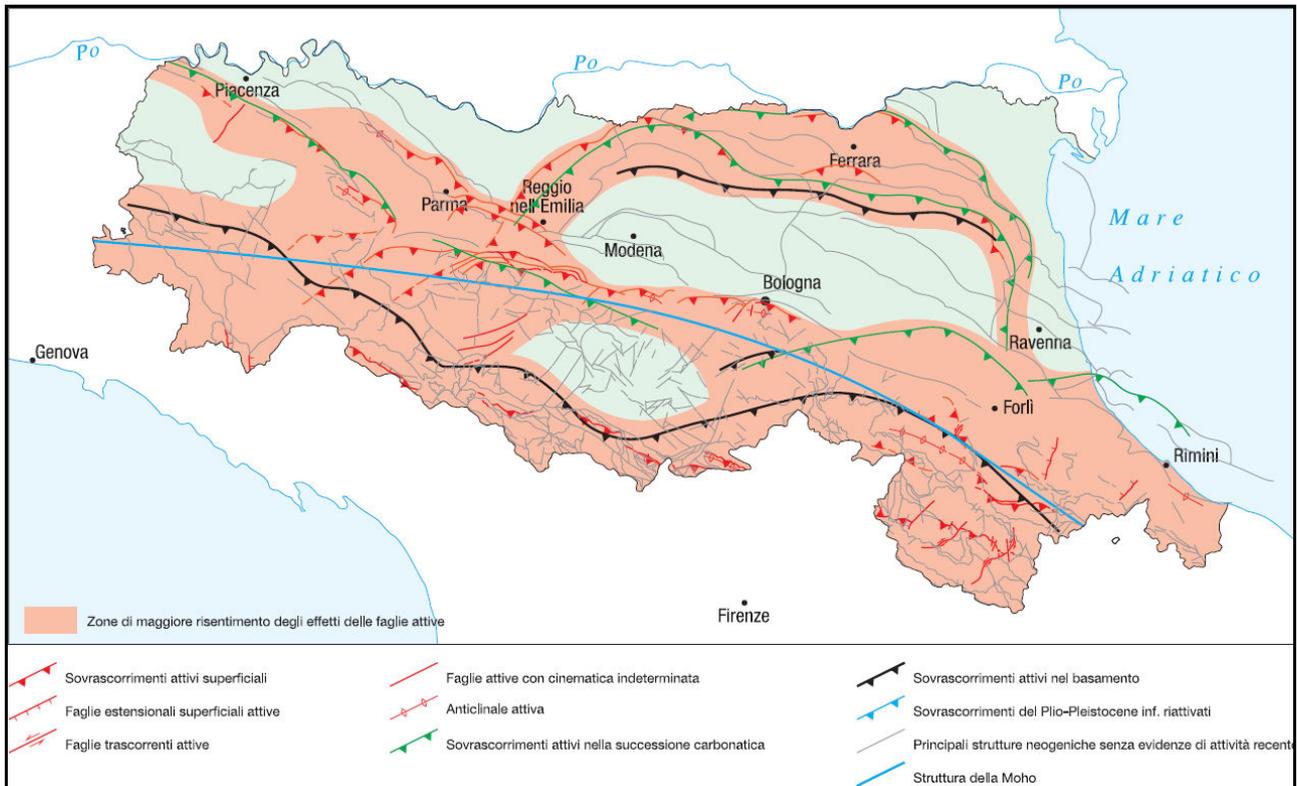


FIGURA 6.1 - Ubicazione del comune di Voghiera, all'interno delle fasce di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive.

In teoria le accelerazioni sismiche superiori a 0,10g, sono possibili in tutto il territorio comunale, in quanto le accelerazioni al bedrock sono tali, che moltiplicate per i fattori di amplificazione sismica ricavabili dagli abachi della DGR 2193/2015 superano il valore di ag. oltre il quale sono attesi i fenomeni di amplificazione sismica (**FIGURA 6.2**).



FIGURA 6.2 - Valori di accelerazione di picco su suolo rigido secondo la DGR 2193/2015).

I fattori di amplificazione per la P.G.A., come visto nel capitolo 2, sono di circa F.A.=1,3.

PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiori a 300 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.3	1.3	1.3			
F.A. SI1	1.5	1.5	1.5			
F.A. SI2	2.3	2.3	2.2			
F.A. SI3	2.6	2.6	2.4			

Pianura 3. Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA, SI1, SI2 e SI3**.

È però da considerare che recenti studi (Tento, Martelli, Marcellini 2015), evidenziano che in terreni ove il bedrock sismico ($V_s > 800m/sec$, **FIGURA 6.3**) è profondo oltre i 300m dal p.c. e i valori di V_{s30} sono molto bassi, i valori dei fattori di amplificazione sismica sono prossimi all'unità (**FIGURA 6.4**).



Consiglio Nazionale delle Ricerche

**ISTITUTO PER LA DINAMICA DEI PROCESSI
AMBIENTALI**

Unità Organizzativa di Supporto - MILANO

Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna

A. Tento¹, L. Martelli², A. Marcellini¹

Milano, settembre 2015

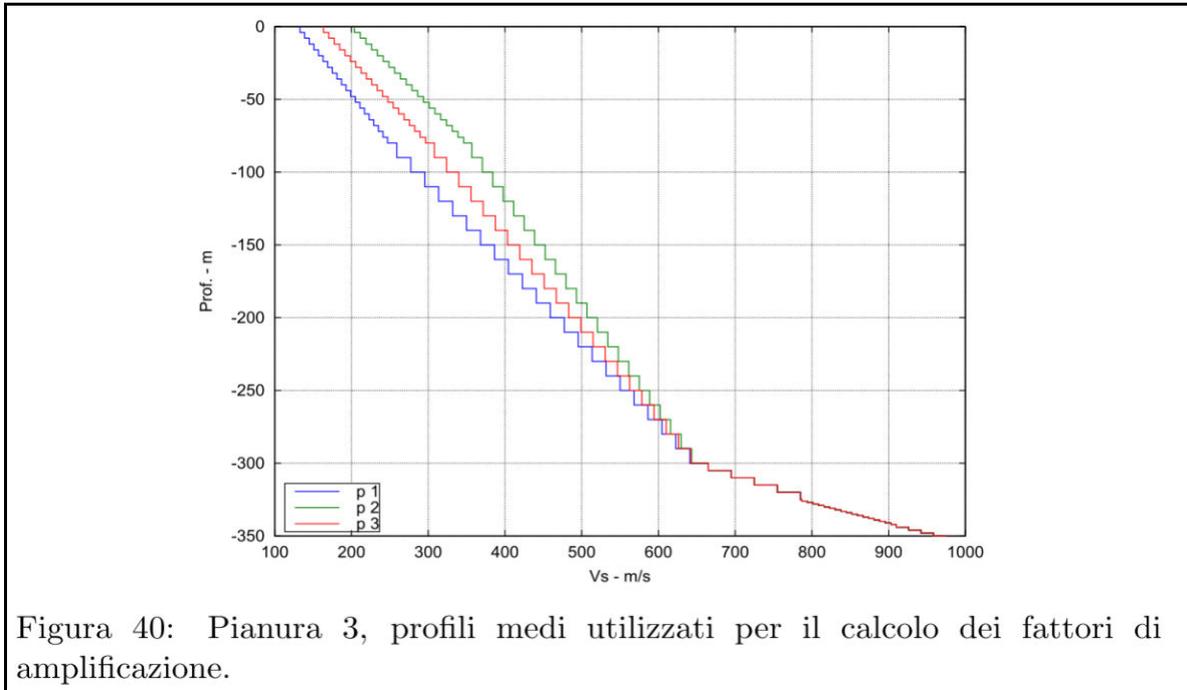


FIGURA 6.3 - Profilo di Vs con bedrock sismico oltre i 300m di profondità

Prof.	V_{s30} m/s	FA PGA	FA SI1	FA SI2	FA SI3
p1	152	1.1	1.2	2.3	2.6
p2	227	1.3	1.5	2.2	2.4
p3	185	1.3	1.4	2.3	2.6

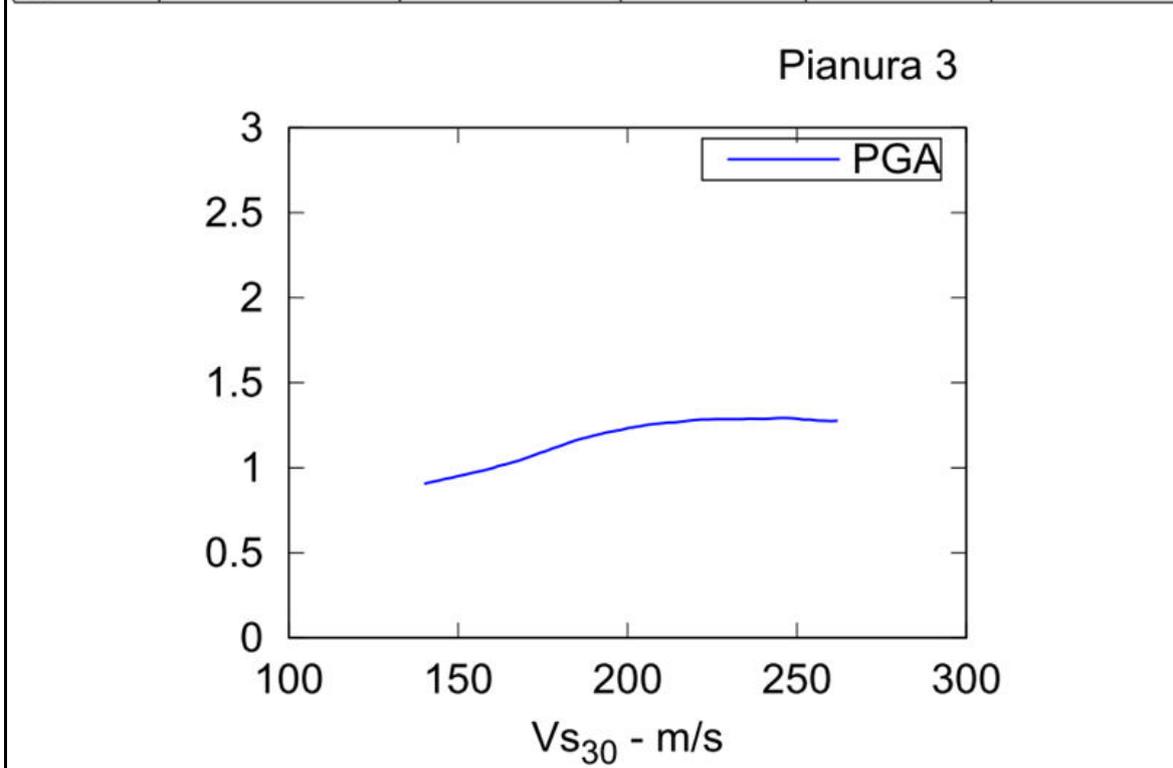


FIGURA 6.4 - Per valori di V_{s30} compresi tra 152 m/sec e 185 m/sec il fattore di amplificazione sismica F.A. per la P.G.A. varia tra 1,1 e 1,3, mantenendosi intorno a 1,3 per valori di V_{s30} superiori a 185m/sec.

Tutto ciò dimostra un certo grado di incertezza sulla possibile determinazione delle azioni sismiche di scuotimento che possono potenzialmente interessare i terreni comunali di Voghiera. Per chi affronterà il terzo livello di approfondimento della microzonazione sismica il maggior dato di incertezza deriverà dal calcolo delle energie sismiche per quantificare le "cause scatenanti".

6.2. DISTRIBUZIONE E DIMENSIONI DELLE FORME GEOMORFOLOGICHE

Gli studi di microzonazione sismica di II livello definiscono le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.). Queste microzone di fatto identificano degli ambiti geologici e geomorfologici che possono avere dei limiti piuttosto netti rispetto alle aree confinanti o piuttosto sfumati. Quindi l'esercizio della perimetrazione risulta del tutto teorico, poiché si basa su indicazioni provenienti dall'interpretazione delle ortofoto, dalle quote assolute dei piani campagna e dalle informazioni desumibili dalle indagini geologiche raccolte nello studio. La densità delle indagini non potrà mai essere esaustiva per la delimitazione di una microzona.

Quindi uno studio di microzonazione sismica non potrà mai sostituire uno studio dettagliato per la progettazione esecutiva di un'opera, per la quale dovranno sempre essere previste adeguate indagini in qualità e numero per verificare puntualmente, oltre gli aspetti geotecnici classici, quelli legati agli effetti di sito cosismici.

Il numero delle verticali indagate deve essere sempre tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio, secondo i dettami delle NTC.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

I temi principali della microzonazione sismica di Voghiera sono:

- amplificazione stratigrafica;
- potenziale instabilità per liquefazione delle sabbie sature.

Il terzo livello di approfondimento praticamente si rende necessario in tutto il territorio.

Prima di affrontare la potenziale instabilità per la liquefazione delle sabbie sature, nel terzo livello occorrerà studiare il tema dell'amplificazione stratigrafica e della Risposta Sismica Locale.

A titolo solo esemplificativo si ipotizza di adottare un fattore di amplificazione pari a $F.A.=1,3$, come previsto dagli abachi della DGR 2193/2015. La PGA è quella del reticolo della DGR. All'interno di tutto il comune di Voghiera conservativamente si adotta, per queste analisi, la magnitudo $M_w=6,14$.

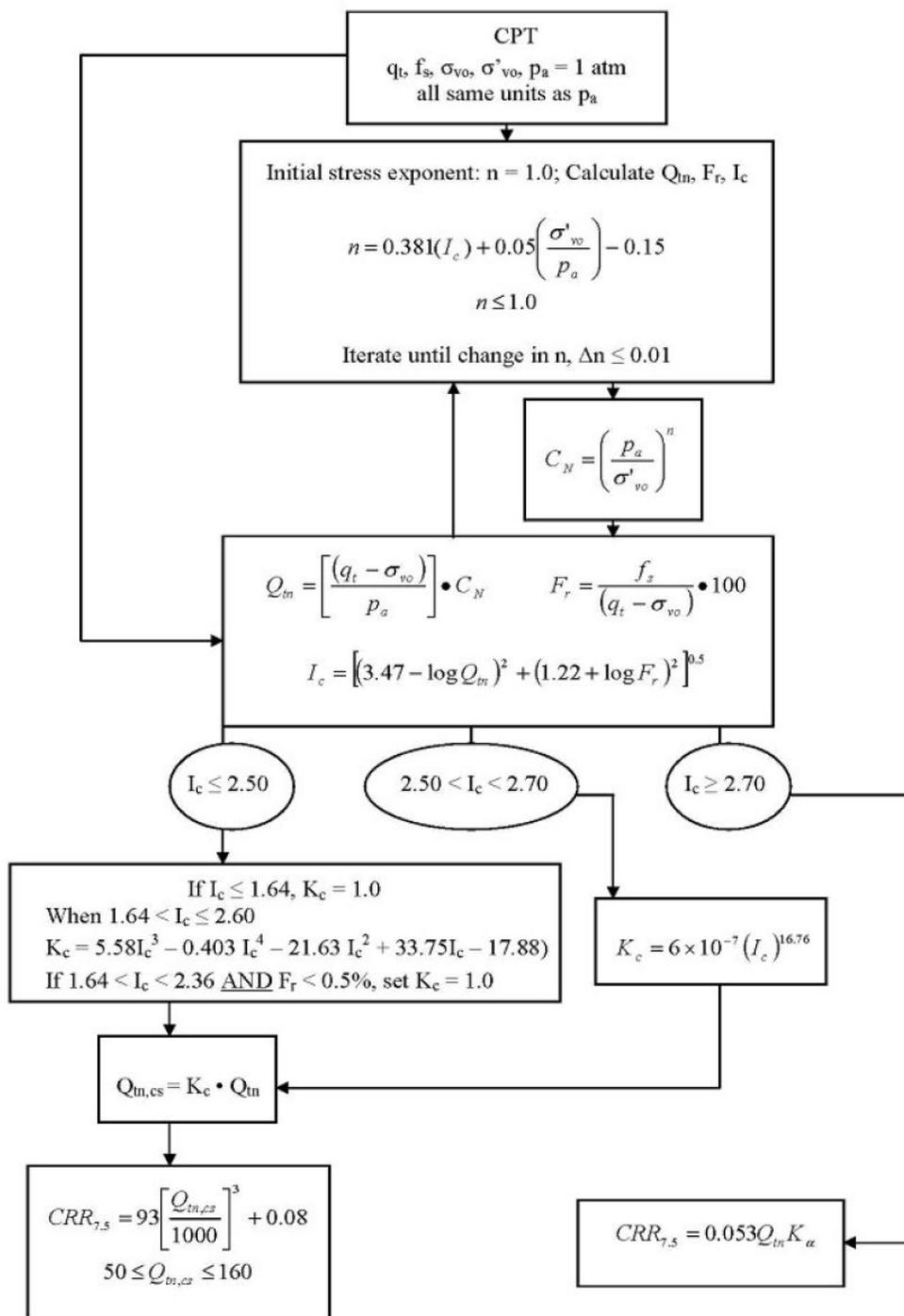
Tra i vari metodi proposti nella geotecnica sismica, che si basano su prove speditive come le penetrometrie, si esclude il metodo di Boulanger & Idriss 2014, in quanto dall'esperienza diretta dello scrivente, per applicarlo correttamente, si dovrebbero eseguire delle analisi granulometriche sulle sabbie attraversate dalle CPTU, allo scopo di misurare il contenuto in fine FC reale nelle sabbie e poter tarare il metodo, come richiesto dagli autori, per i terreni locali. In mancanza delle granulometrie, non si riesce ad applicare il fattore di correzione del contenuto in fine C_{FC} , la cui non determinazione può portare a risultati non affidabili. Solo a titolo esemplificativo e di confronto verrà presentata più avanti una tabella con i valori di IPL stimati con i due diversi metodi.

Si opta per adottare ufficialmente i risultati del metodo più consolidato e condiviso a livello internazionale, ovvero il metodo ROBERTSON (2010), che è una evoluzione del metodo NCEER.

- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, October, pp 817-833
- Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, *Symposium in honor of professor I. M. Idriss*, SAN diego, CA

Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (all soils), Robertson (2010)

Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. This procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart¹:



¹ P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009

Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

Calculation of the Liquefaction Potential Index (LPI) is used to interpret the liquefaction assessment calculations in terms of severity over depth. The calculation procedure is based on the methodology developed by Iwasaki (1982) and is adopted by AFPS.

To estimate the severity of liquefaction extent at a given site, LPI is calculated based on the following equation:

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0,5z) \times F_L \times dz$$

where:

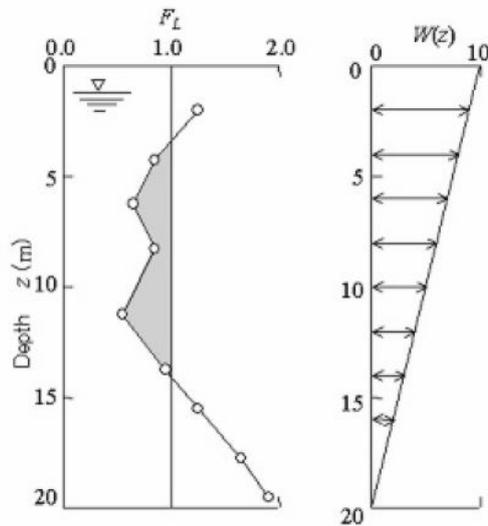
$F_L = 1 - F.S.$ when F.S. less than 1

$F_L = 0$ when F.S. greater than 1

z depth of measurement in meters

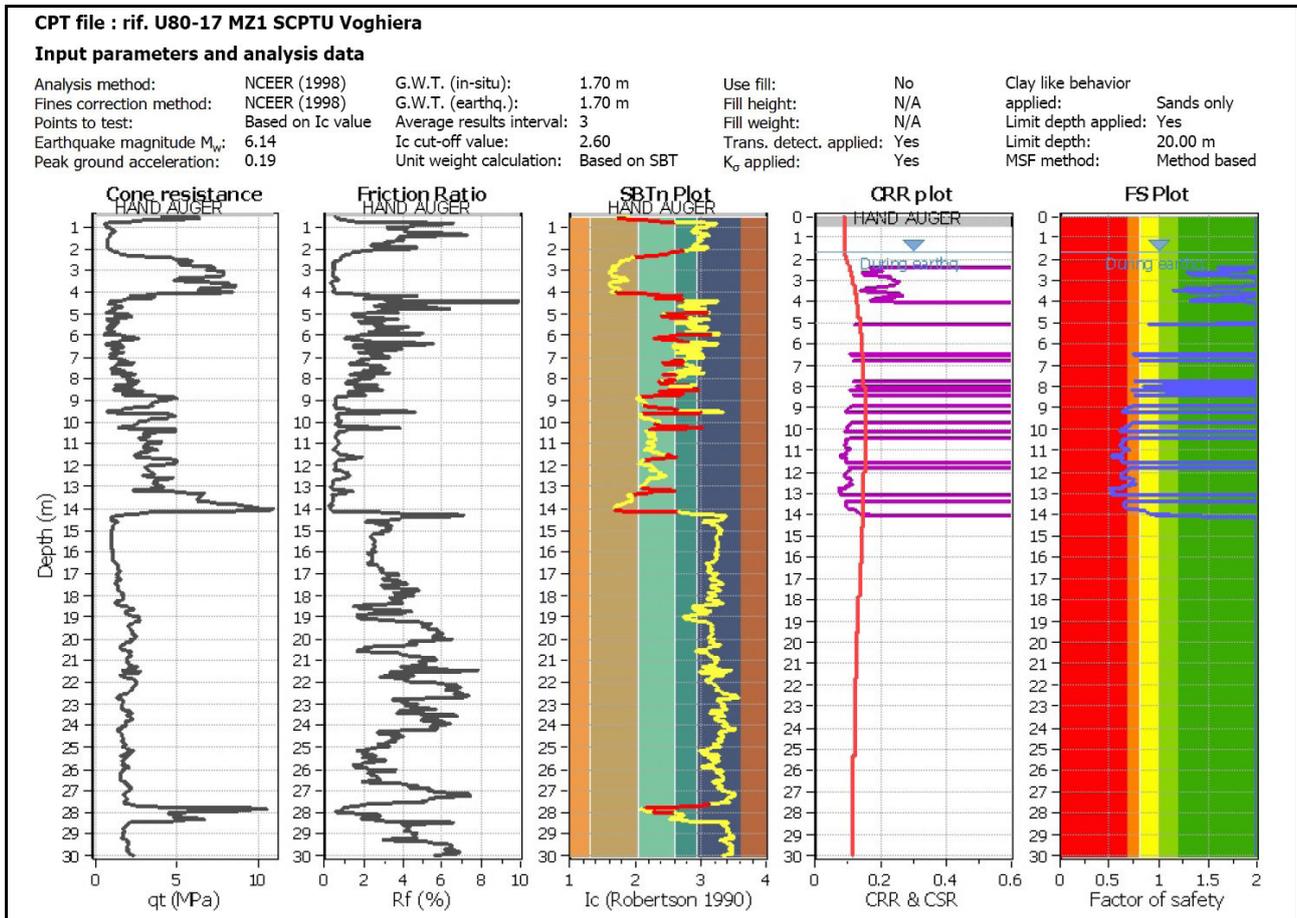
Values of LPI range between zero (0) when no test point is characterized as liquefiable and 100 when all points are characterized as susceptible to liquefaction. Iwasaki proposed four (4) discrete categories based on the numeric value of LPI:

- LPI = 0 : Liquefaction risk is very low
- $0 < LPI \leq 5$: Liquefaction risk is low
- $5 < LPI \leq 15$: Liquefaction risk is high
- LPI > 15 : Liquefaction risk is very high

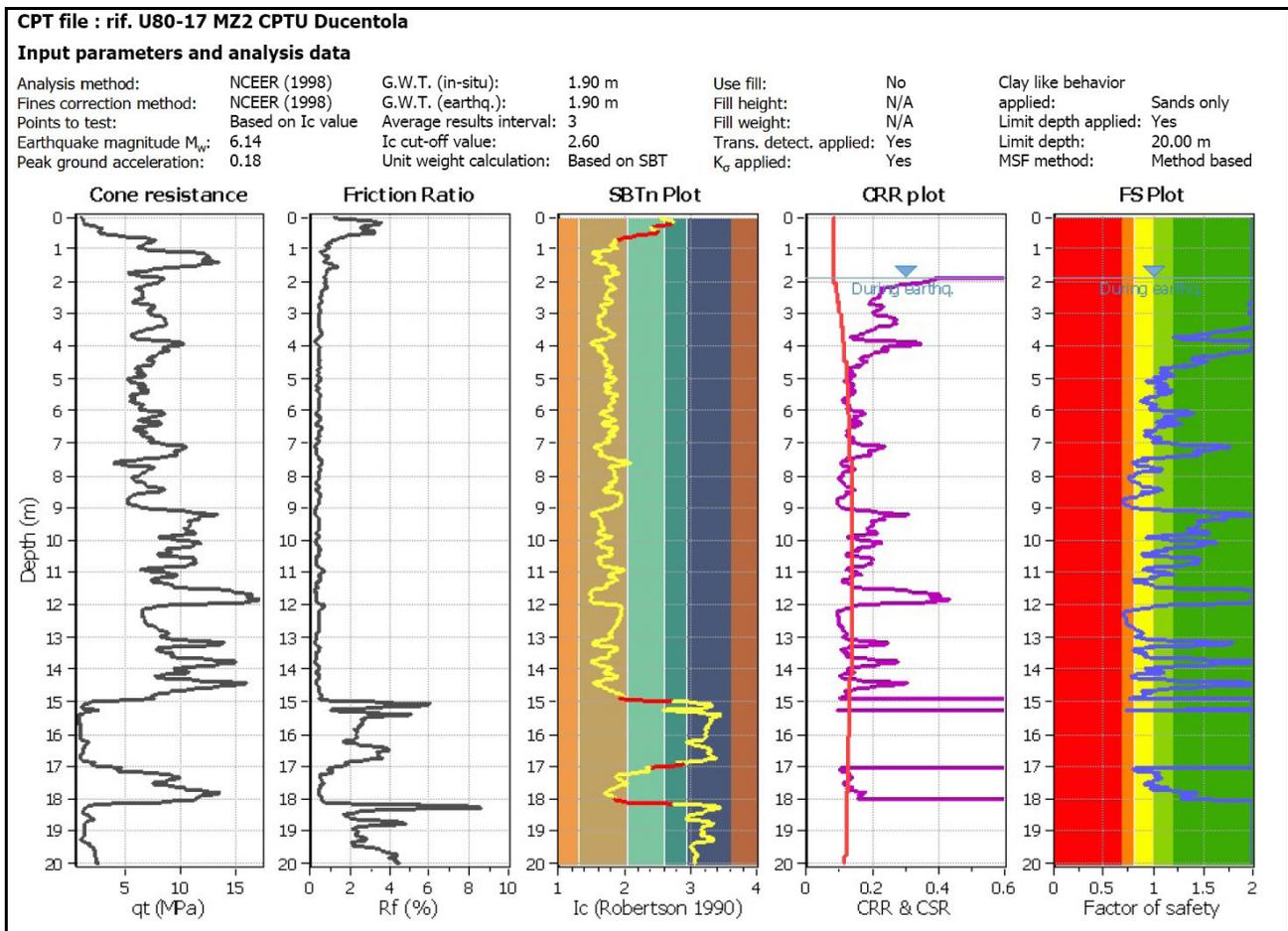


Graphical presentation of the LPI calculation procedure

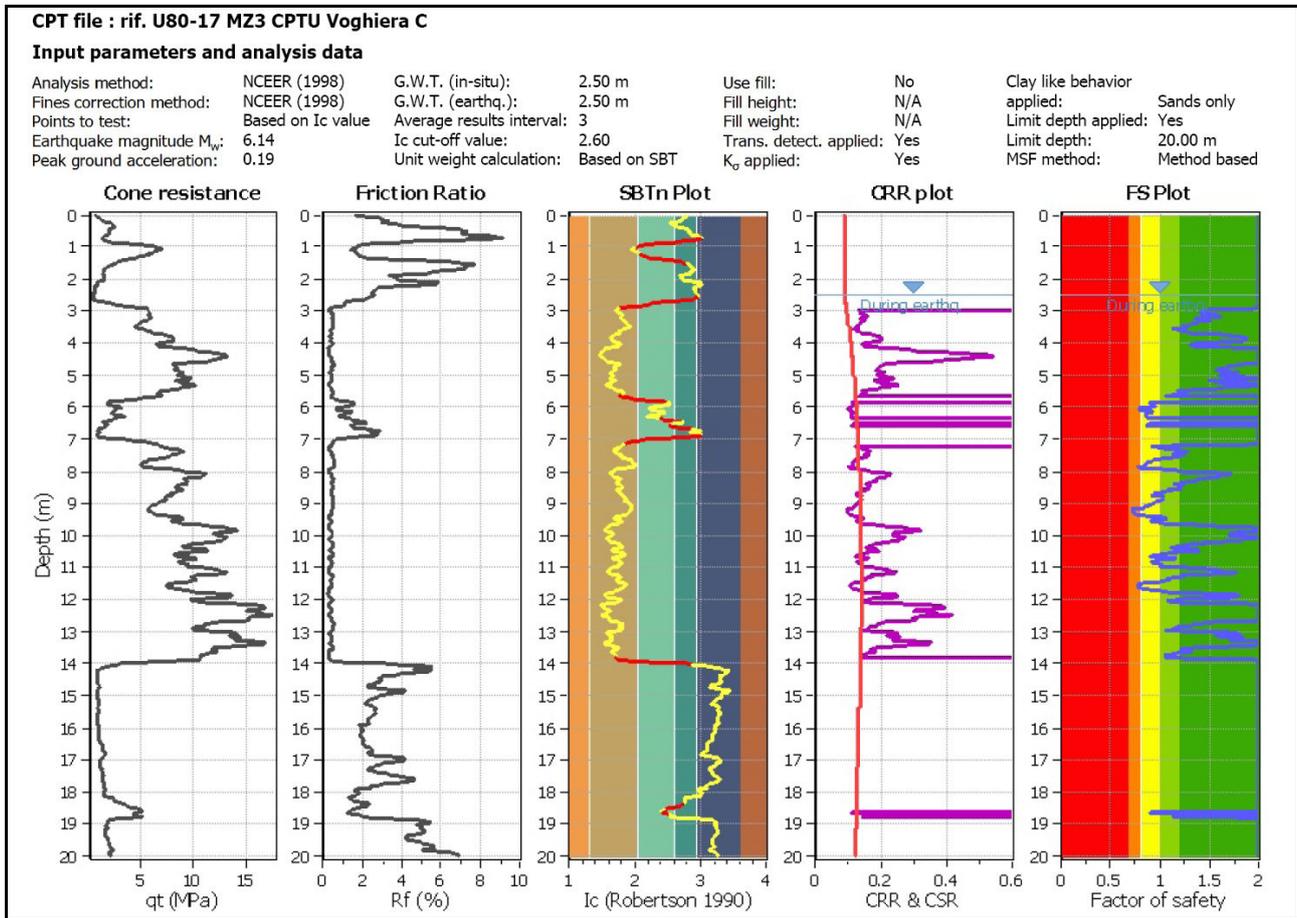
Vengono analizzate le 07 prove CPTU e SCPTU effettuate per questo studio di microzonazione sismica di II Livello. Nell'incertezza della stima delle cause scatenanti, procedendo con le approssimazioni sopra esposte, si ricava:



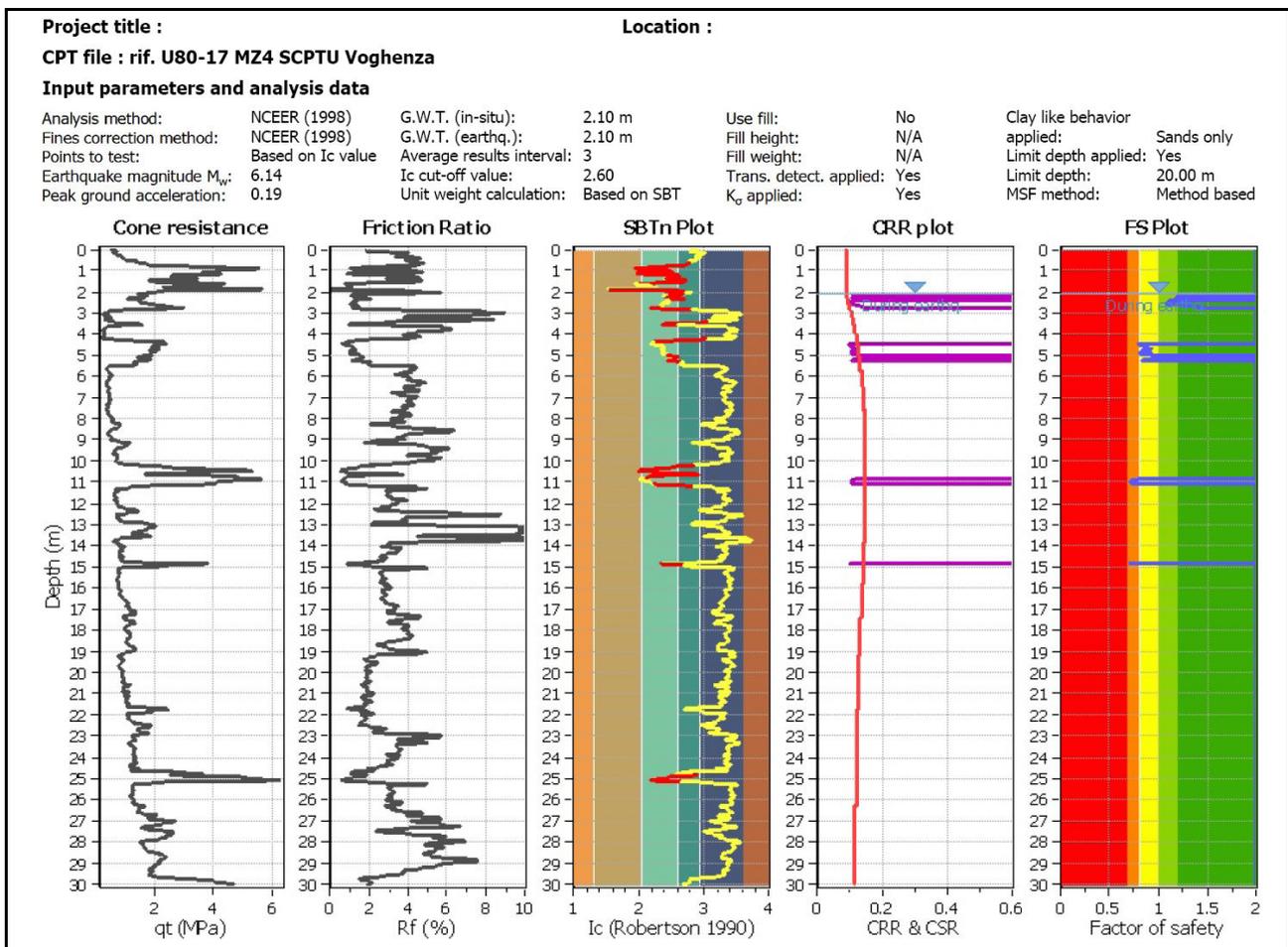
rif. U80-17 MZ1 SCPTU



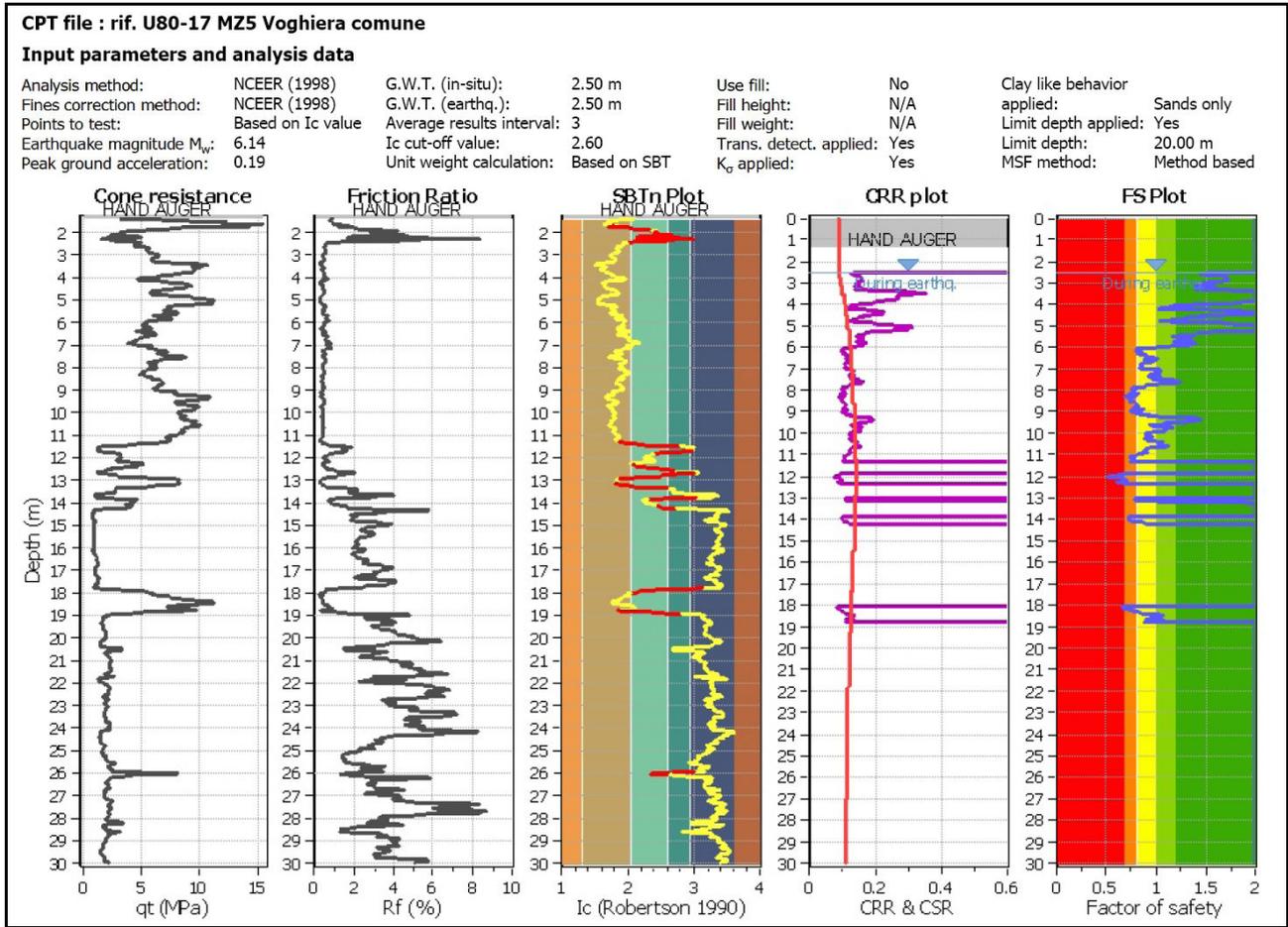
rif. U80-17 MZ2 CPTU



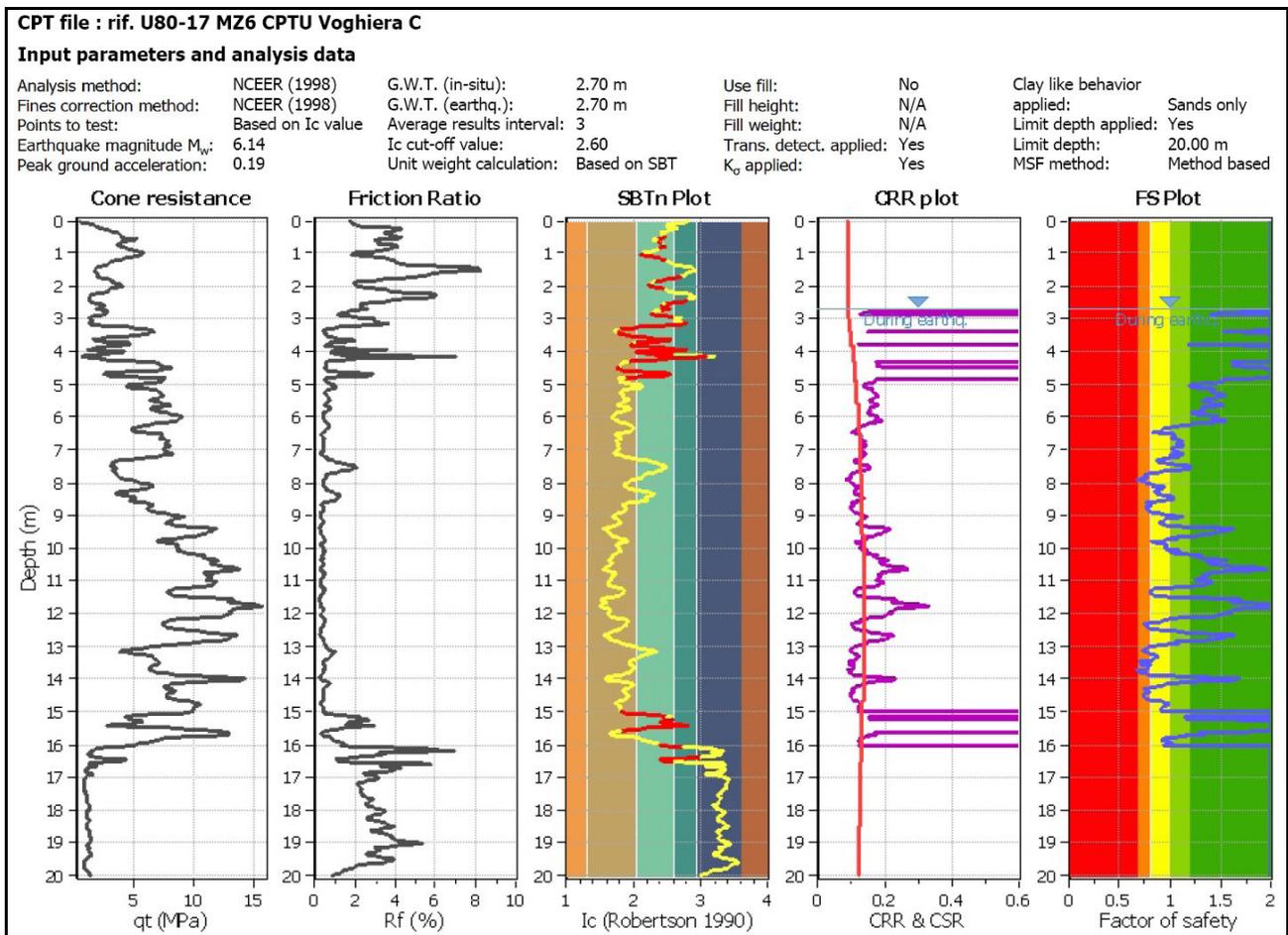
rif. U80-17 MZ3 CPTU



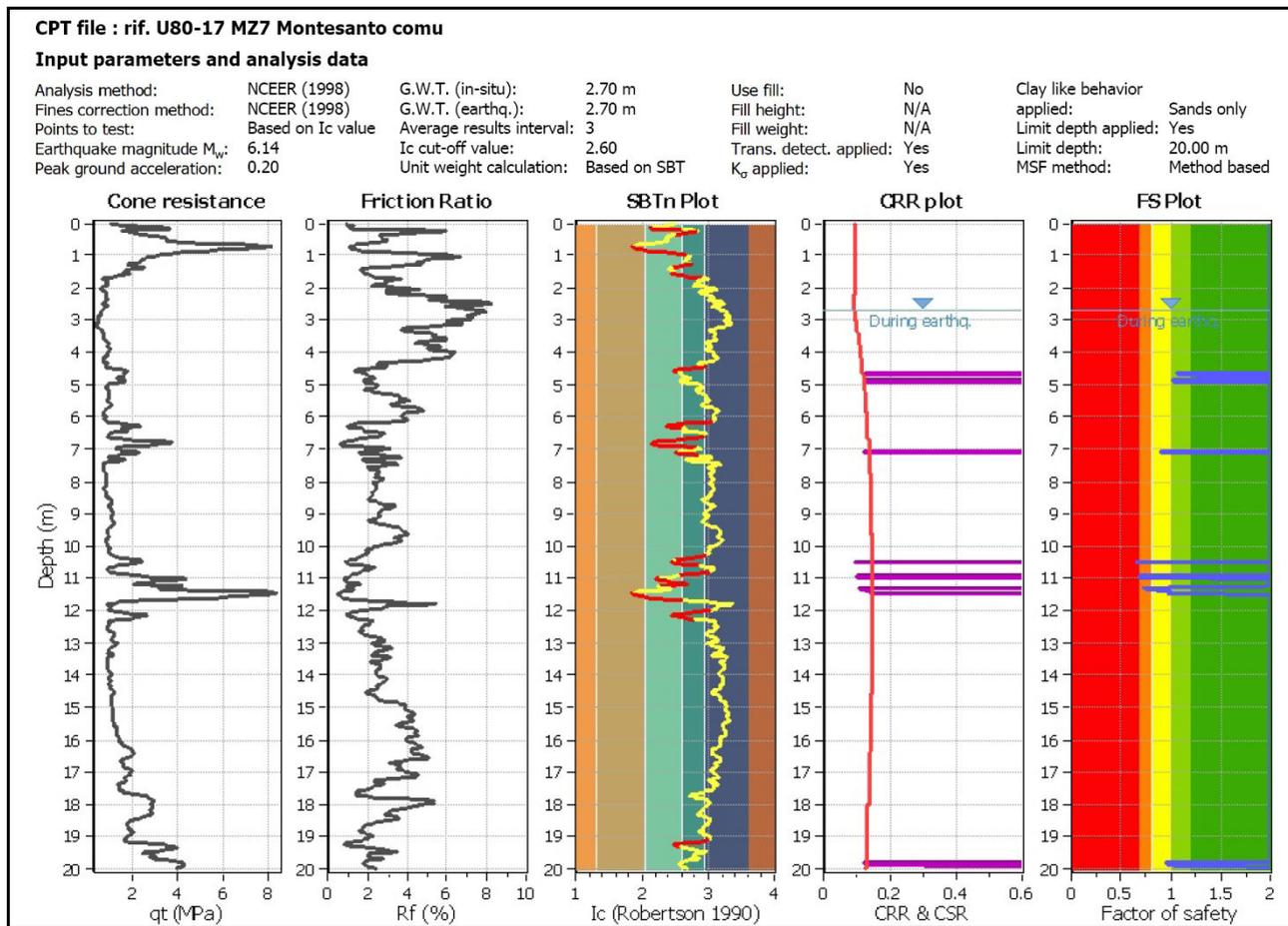
rif. U80-17 MZ4 CPTU



rif. U80-17 MZ5 CPTU



rif. U80-17 MZ6 CPTU



rif. U80-17 MZ7 CPTU

In **Tabella 7.1** sono sintetizzati i risultati dell'indice del potenziale di liquefazione ottenuto per le indagini considerate con magnitudo di 6,14. In **Tabella 7.2** si riporta la classificazione dell'indice del potenziale di liquefazione dei terreni.

PROVE	ACCELERAZIONE P.G.A.	FALDA (m da p.c)	I.P.L. F.S.=1,2
Rif. U80-17 MZ1 SCPTU	0,19g	-1,70	5,67
Rif. U80-17 MZ2 SCPTU	0,18g	-1,90	3,02
Rif. U80-17 MZ3 SCPTU	0,19g	-2,50	1,51
Rif. U80-17 MZ4 SCPTU	0,19g	-2,10	0,99
Rif. U80-17 MZ5 SCPTU	0,19g	-2,50	4,35
Rif. U80-17 MZ6 SCPTU	0,19g	-2,70	3,12
Rif. U80-17 MZ1 SCPTU	0,20g	-2,70	0,29

Tabella 7.1– Indice del potenziale di liquefazione con magnitudo 6,14

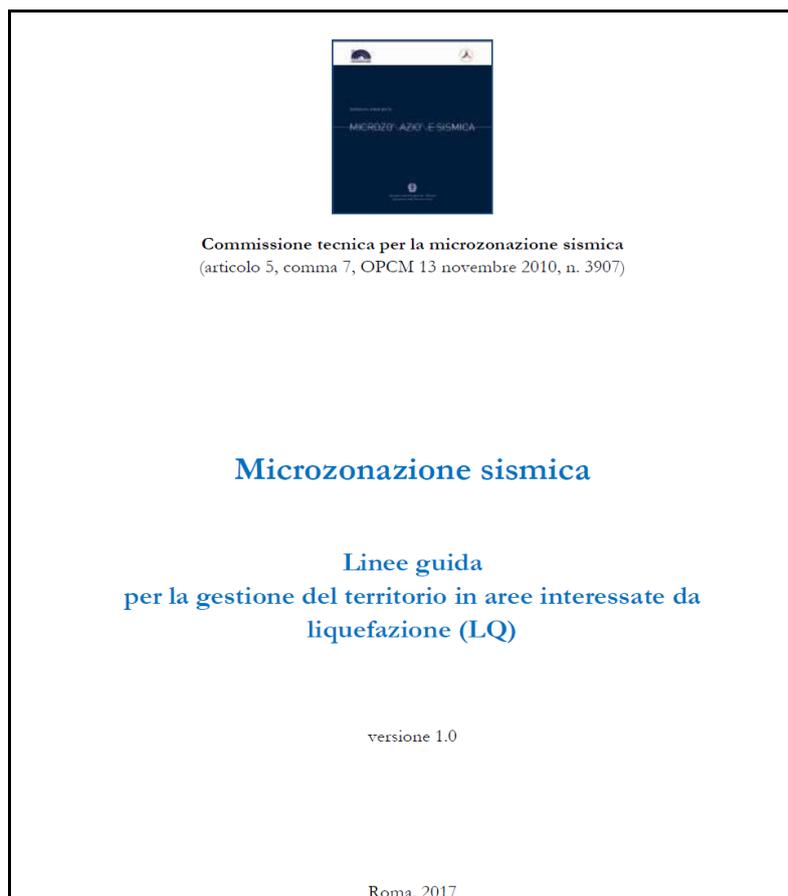
Potenziale Liquefazione I_{PL}	Classificazione
$I_{PL} = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_{PL} \leq 2$	Basso
$2 < I_{PL} \leq 5$	Moderato
$5 < I_{PL} \leq 15$	Alto
$I_{PL} \geq 15$	Molto Alto

Tabella 7.2– Classificazione indice potenziale liquefazione

Nel 2017 sono state elaborate dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale le linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate dalla Liquefazione. In esse sono contenute le mappe con indicati i valori di magnitudo momento da utilizzare per le analisi della liquefazione delle sabbie negli studi di microzonazione sismica finanziati dal DPCN.

Come si può vedere nello stralcio di mappa riportato in **FIGURA 7.1**, il comune di Voghiera viene indicato tra quelli per i quali le analisi della liquefazione negli studi di microzonazione sismica dovrebbero essere condotti con Mw pari a 5,47.

Codlstat	Denominazione	Nfelt	Irif	Mrif	Drif
8038007	Copparo	22	7	5.46	17
8038008	Ferrara	117	7	5.61	25
8038009	Formignana	5	7	5.46	18
8038012	Masi Torello	4	7	5.46	13
8038016	Mirabello	3	7	5.46	14
8038017	Ostellato	14	7	5.47	14
8038018	Poggio Renatico	9	7	5.61	22
8038019	Portomaggiore	25	7	5.47	7
8038020	Ro	9	7	5.46	17
8038021	Sant'Agostino	7	7	6.69	64
8038022	Vigarano Mainarda	7	7	5.14	10
8038023	Voghiera	7	7	5.47	15



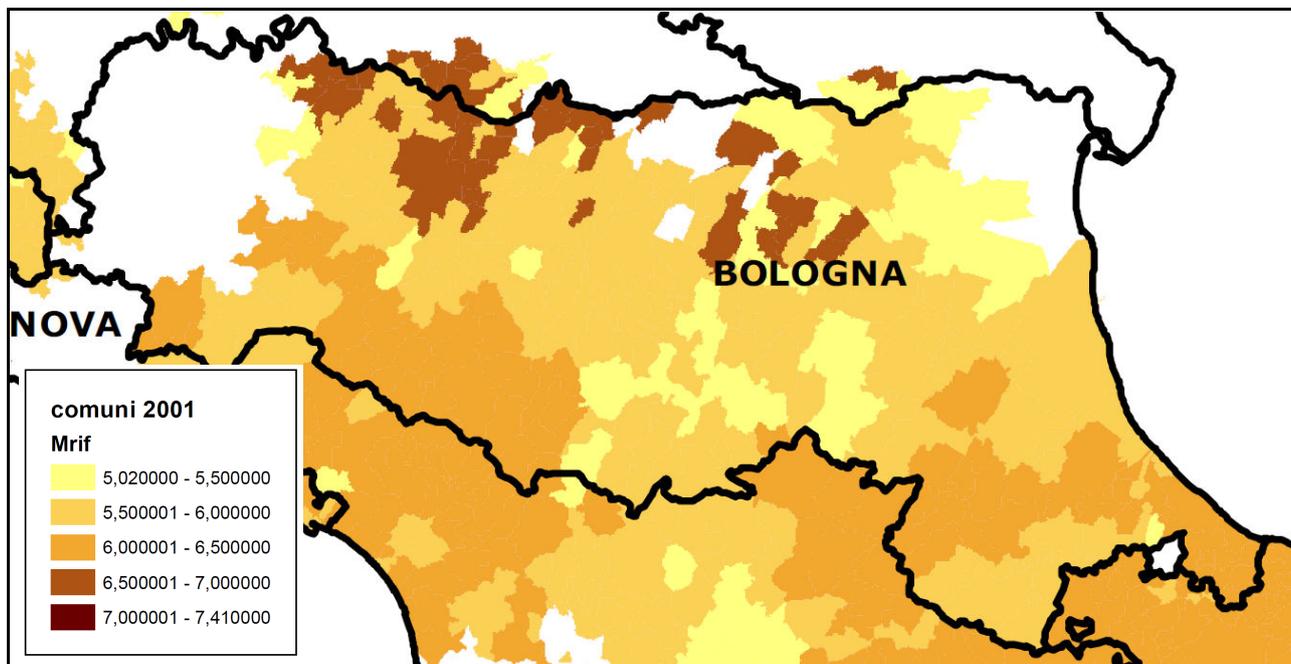


FIGURA 7.1 - Magnitudo di riferimento per ogni comune al fine della analisi del rischio di liquefazione negli studi di microzonazione sismica.

È stata dunque condotta anche un'analisi della resistenza alla liquefazione delle sabbie con questa magnitudo di riferimento relativa alle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) del dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

In **Tabella 7.3** sono sintetizzati i risultati dell'indice del potenziale di liquefazione ottenuto per le indagini considerate con magnitudo di 5,47. In ogni caso questa proposta del DPCN è ancora al vaglio degli esperti e potrebbe subire modifiche importanti. E' riportata l'analisi condotta solo a scopo esemplificativo.

PROVE	ACCELERAZIONE P.G.A.	FALDA (m da p.c)	I.P.L. F.S.=1,2
Rif. U80-17 MZ1 SCPTU	0,19g	-1,70	1,93
Rif. U80-17 MZ2 SCPTU	0,18g	-1,90	0,14
Rif. U80-17 MZ3 SCPTU	0,19g	-2,50	0,03
Rif. U80-17 MZ4 SCPTU	0,19g	-2,10	0,03
Rif. U80-17 MZ5 SCPTU	0,19g	-2,50	0,31
Rif. U80-17 MZ6 SCPTU	0,19g	-2,70	0,08
Rif. U80-17 MZ1 SCPTU	0,20g	-2,70	0,04

Tabella 7.3 – In dice del potenziale di liquefazione con magnitudo 5,47

In **Tabella 7.4** si riportano i risultati dell'analisi della resistenza alla liquefazione delle sabbie condotta attraverso diverse metodologie di calcolo per diverse prove penetrometriche statiche a punta elettrica CPTU eseguite su tutto il territorio del comune di Voghiera, nei principali centri abitati. Le due diverse metodologie di calcolo considerate in questo studio sono NCEER – Robertson (1998) e Idriss & Boulanger (2014) rispettivamente con magnitudo 6,14 e 5,47.

	M=5,47		M=6,14	
	I _L I&B2014	I _L NCEER	I _L I&B2014	I _L NCEER
Rif. U80-17 MZ1 Voghiera	6,24	1,93	7,94	5,67
Rif. U80-17 MZ2 Ducentola	10,64	0,14	14,93	3,02
Rif. U80-17 MZ3 Voghiera	6,71	0,03	9,93	1,51
Rif. U80-17 MZ4 Voghenza	1,64	0,03	2,17	0,99
Rif. U80-17 MZ5 Voghiera	9,84	0,31	13,48	4,35
Rif. U80-17 MZ6 Voghiera	7,88	0,08	12,24	3,12
Rif. U80-17 MZ7 Montesanto	0,62	0,04	0,80	0,29
rif. U05-18 CPTU1 Gualdo Cavallini	0,02	0,00	0,25	0,02
rif. U05-18 CPTU2 Gualdo Cavallini	0,30	0,00	0,78	0,09
rif. U12-13 CPTU1 Gualdo Brunelli	0,68	0,01	1,20	0,47
rif. U33-16 CPTU1 Voghiera Folletti	0,09	0,00	0,22	0,01
rif. U53-14 CPTU1 Voghenza Marzola	2,06	0,02	2,51	1,50
rif. U54-16 CPTU1 Voghiera Marzola	2,21	0,00	3,22	0,92
rif. U55-15 CPTU1 Ducentola Coletti	1,29	0,00	2,11	0,46
rif. U60-17 CPTU1 Voghiera Montanari	0,72	0,00	1,96	0,20
rif. U76-16 CPTU1 Gualdo Guidetti	0,01	0,00	0,02	0,02
rif. U78-15 CPTU1 Voghiera Scuole	0,09	0,00	0,43	0,22
rif. U79-13 CPTU1 Voghenza Felloni	0,20	0,00	0,25	0,14
rif. U48-12 CPTU1 Montesanto Boarini	0,00	0,00	0,03	0,00
SCPTU1 Gualdo Asilo Nido	0,44	0,00	1,17	0,15
CPTU1 Voghiera Municipio	0,43	0,00	2,43	0,04
SCPTU1 Voghiera Scuole elementari	0,26	0,00	0,70	0,10
CPTU1 Voghiera Carabinieri	2,01	0,04	3,51	1,83

Tabella 7.4 – *Indice del potenziale di liquefazione attraverso i 2 metodi NCEER – Robertson (1998) e Idriss & Boulanger (2014)*

Come è possibile notare dai valori calcolati con le due diverse metodologie, per tutte le indagini analizzate, si perviene a risultati molto diversi tra loro. Alcune prove mostrano valori del potenziale di liquefazione alto utilizzando il metodo Idriss & Boulanger (2014) mentre con il metodo NCEER – Robertson (1998) i valori rientrano con valori del potenziale di liquefazione da moderato a basso.

Il metodo di Idriss & Boulanger (2014) a parere dello scrivente non va utilizzato senza applicare il fattore di correzione del contenuto in fine C_{FC} , che prevede una analisi granulometrica in laboratorio delle sabbie in valutazione, quindi la semplice prova penetrometrica non è sufficiente per fare le analisi del rischio di liquefazione con il metodo, così come descritto dagli autori.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Le carte tematiche realizzate in questo studio sono state redatte in base al D.G.R. 2193/2015 e agli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.0b.

La cartografia tecnica regionale di base per questo studio è stata reperita dal Geo-Portale della Regione Emilia Romagna.

I limiti comunali digitalizzati nelle carte sono stati reperiti dal Geo-Portale della Regione Emilia Romagna mentre i perimetri urbani sono stati reperiti dal geoportale della Regione Emilia Romagna e sommati ai perimetri del territorio urbanizzato del RUE del PSC di Voghiera.

I dati vettoriali e raster rappresentati nella cartografia realizzata sono definiti e proiettati nel sistema di riferimento WGS84 UTM33N.

8.1. CARTA DELLE INDAGINI

La Carta delle indagini viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sui soli centri abitati del comune.

In questa carta sono rappresentate tutte le indagini presenti nel territorio comunale di Voghiera, sia quelle della banca dati dello scrivente, sia quelle reperite dalla banca dati della Regione Emilia Romagna, sia quelle fornite dall'Amministrazione Comunale.

In aggiunta alle indagini reperite da questi archivi sono state realizzate nuove indagini geognostiche e geofisiche a ridosso degli edifici strategici e nelle aree strategiche del Piano di Protezione Civile del comune di Voghiera, come da proposta metodologica di contratto. Le nuove indagini sono nello specifico 4 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPIU, 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono sismico SCPTU, una prova geofisica profonda ESAC e 4 misure di microtremori a stazione singola HVSr.

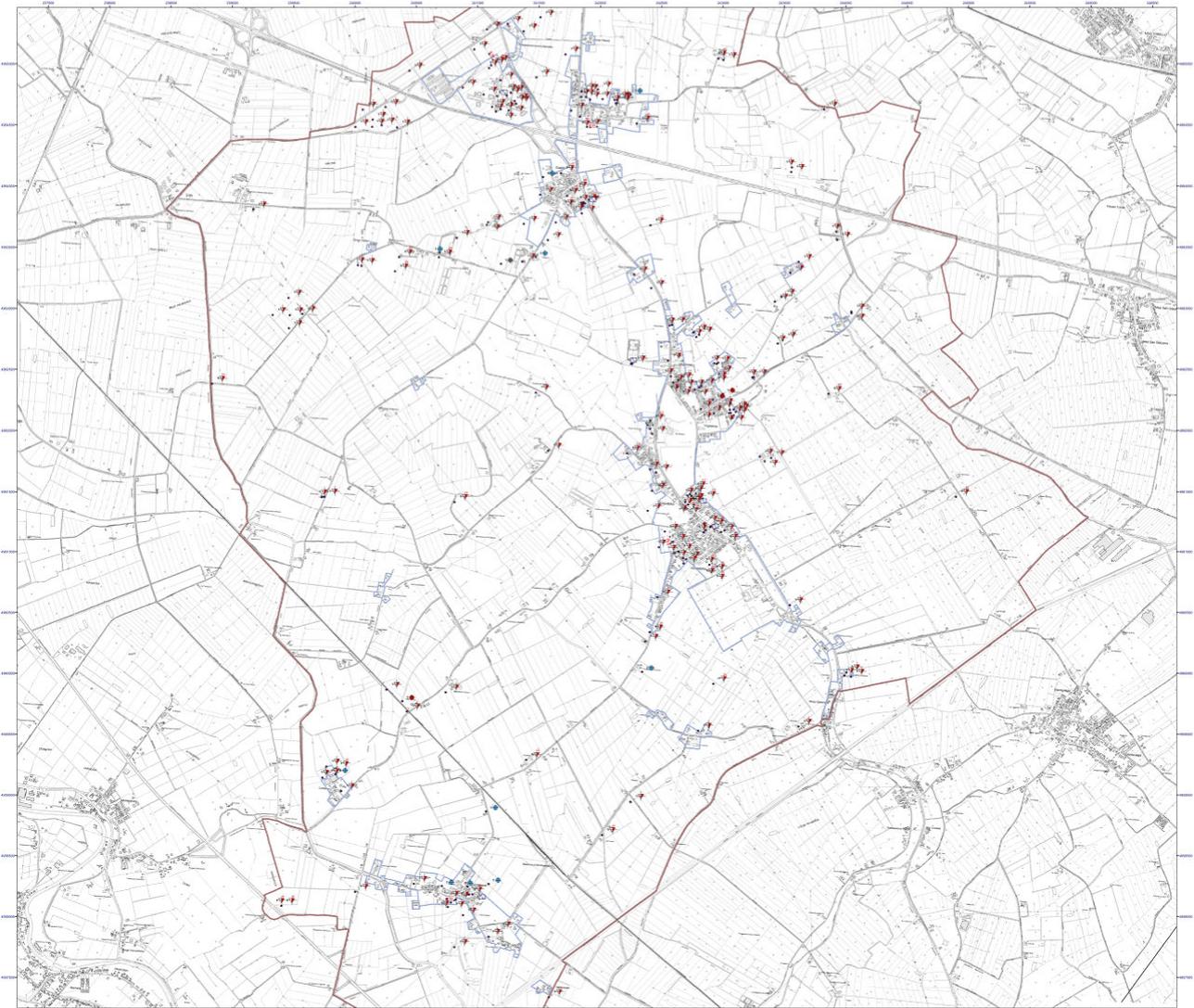
Le indagini totali presenti nel territorio risultano essere 233, così suddivise: n. 159 prove penetrometriche statiche CPT, n. 34 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPIU, n. 13 prove penetrometriche statiche con punta elettrica con piezocono e sismocono SCPTU, n. 3 sondaggi a carotaggio continuo, n. 2 array sismici ESAC, n. 5 prove geofisiche Re.Mi., n. 6 misure di microtremore a stazione singola Re.Mi., n. 10 pozzi per acqua e n. 1 pozzo per idrocarburi.

Si possiede dunque una discreta conoscenza del territorio comunale soprattutto dei centri abitati dato che la maggior parte delle indagini si concentra in queste aree.

Per ogni indagine realizzata corrisponde una diversa simbologia di rappresentazione, riportata nella legenda della tavola, come richiesto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.0b.:

- *1  Sondaggio a carotaggio continuo
- *1  Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- *1  Prova penetrometrica statica con piezocono
- *1  Pozzo per acqua
- *1  Pozzo per idrocarburi
- *1  Prova penetrometrica con cono sismico
- *1  Stazione microtremore a stazione singola
- *1  Array sismico, ESAC/SPAC

RM ● ● ● ● RM REMI



8.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA

La Carta geologico-tecnica viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sul centro abitato del comune.

In questa carta vengono suddivise le unità geologico-litotecniche distinte per spessori di minimo 3 m di terreni di copertura. Questa suddivisione è stata fatta sulla base delle unità geomorfologiche presenti nel territorio sovrapposte alle diverse prove geologiche sito-specifiche riportate nella carta delle indagini.

La suddivisione dei diversi litotipi in classi predefinite permette di identificare situazioni geologiche e litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale. Per descrivere la litologia dei terreni è stato utilizzato l'Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985), un sistema di classificazione dei suoli utilizzato sia in ingegneria sia in geologia, che può essere applicato alla maggioranza dei materiali non consolidati ed è composto da una sigla formata da 2 lettere. Indicazioni importanti, soprattutto sulla geometria 2D dei corpi litologici, sono fornite dalle identificazioni degli ambienti genetico-deposizionali.

Nello specifico per questa carta sono state utilizzate le seguenti litologie dei terreni di copertura e i diversi ambienti genetico-deposizionali in cui si sono depositati, come richiesto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.0b.:

LITOLOGIE

- SM: sabbie limose, miscela di sabbia e limo e limo;
- CL: argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile.

AMBIENTI GENETICO-DEPOSIZIONALI

- es: ambiente fluvio-lacustre, argine/barre/canali;
- pi: ambiente fluvio-lacustre, piana inondabile;

SMes Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine e di canale

CLpi Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile

Attraverso questa suddivisione è possibile osservare dalla carta come il territorio comunale di Voghiera sia così suddiviso: in corrispondenza del paleoalveo del fiume Po di Spina, che attraversa gli abitati di Ducentola, Gualdo, Voghenza e Voghiera, con direttrice nord sud, ci sono sabbie limose, miscela di sabbia e limo e limo di ambiente fluvio-lacustre di argine e di canale; nella maggior parte delle aree distali, rispetto a questa importante unità geologica, ci sono argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile di ambiente ambiente fluvio-lacustre, piana inondabile.

In questa carta vengono inoltre rappresentati gli elementi geologici ed idrogeologici e nello specifico sono riportati tutti i pozzi sia per acqua che per idrocarburi presenti nel territorio con la rispettiva profondità di perforazione e se ha raggiunto o meno il substrato geologico.

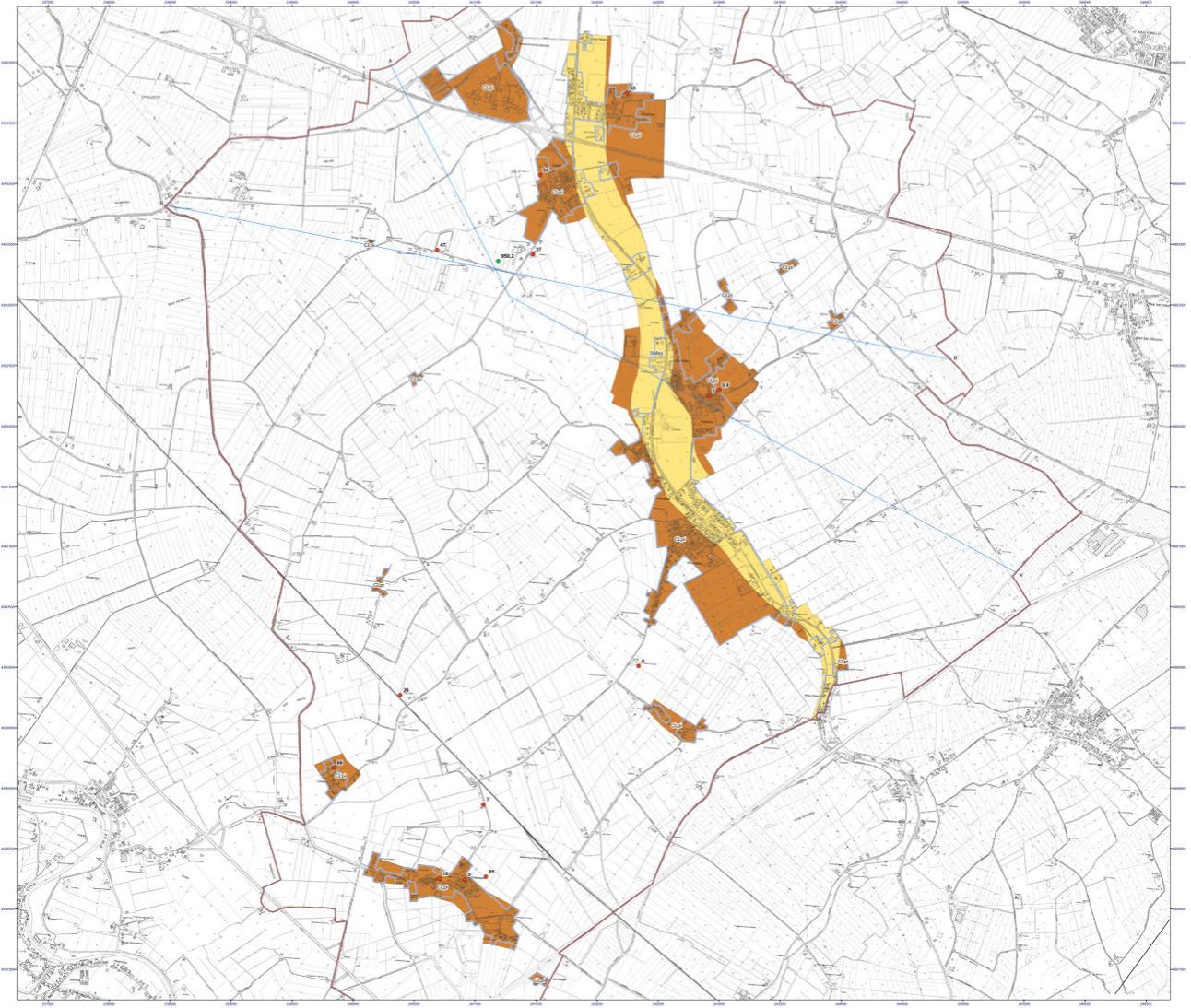
La carta geologico-tecnica mostra inoltre le tracce di sezioni geologiche significative e rappresentative del modello del sottosuolo reperite dall'archivio della Regione Emilia Romagna. Le sezioni geologiche profonde reperite sono la 092 e la 093.

Elementi geologici e idrogeologici

 **950,2** Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)

 **47** Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)

A  **A'** Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo



8.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI f_0 DEL TERRENO

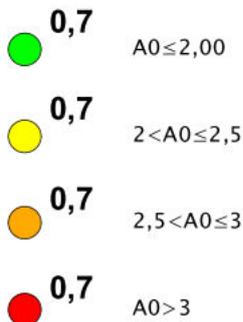
La Carta delle indagini viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sui soli centri abitati del comune.

In questa carta sono rappresentate tutte le misure di microtremore a stazione singola presenti nel territorio comunale. Le prove HVSR vengono rappresentate da un simbolo di diverso colore in funzione all'ampiezza massima rilevata con la prova; se minore a 3 di colore bianco se maggiore o uguale a 3 con colore rosso.

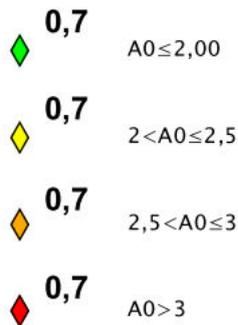
Inoltre vengono suddivise le diverse aree in funzione alle classi di frequenza; se la frequenza di risonanza del terreno è minore o uguale a 1Hz oppure se è compresa tra 1 Hz e 2Hz.

Punti di misura della frequenza

Misure di microtremore a stazione singola di nuova esecuzione

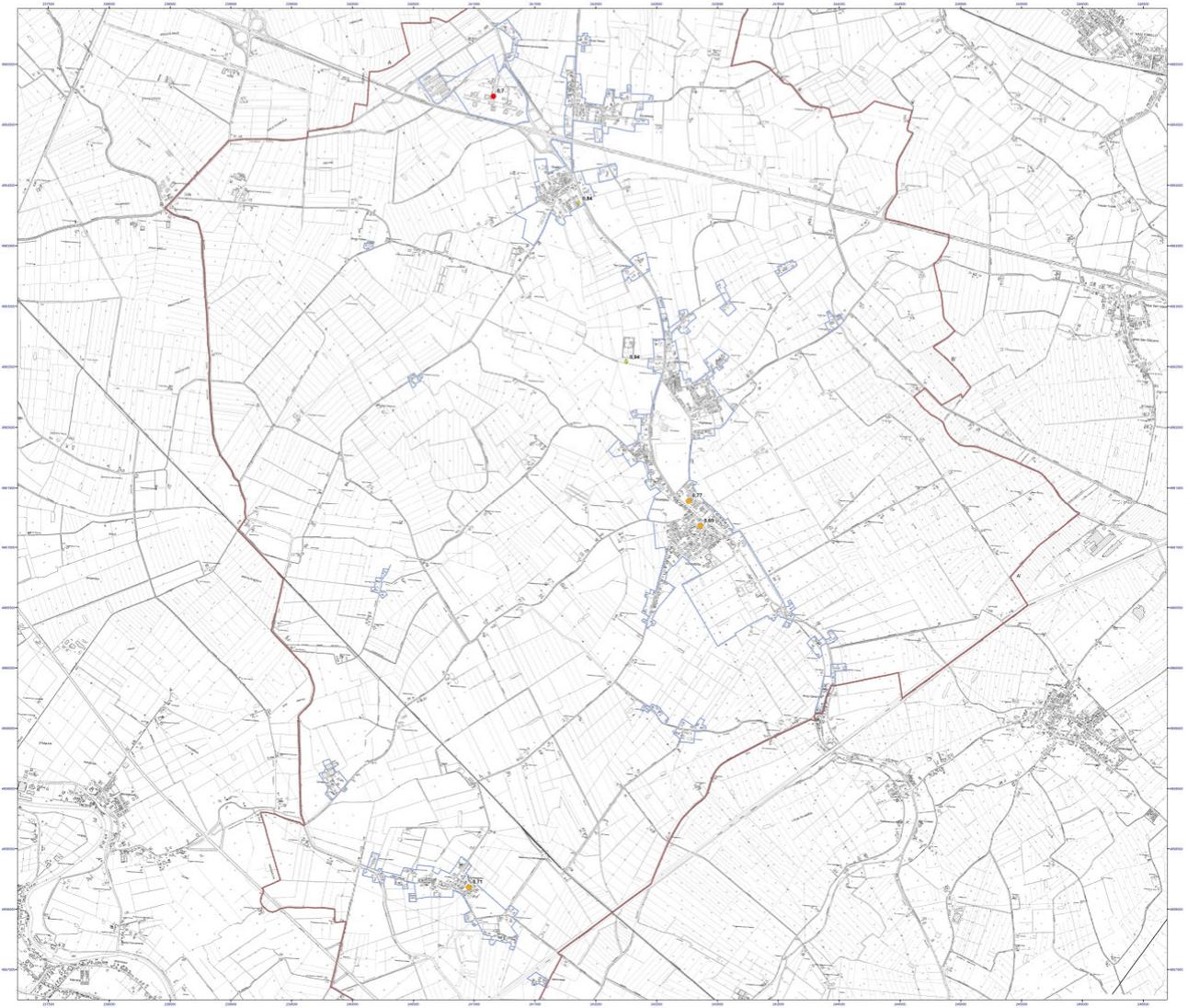


Misure di microtremore a stazione singola da archivio



Il colore del simbolo indica differenti classi di ampiezza

Dalla carta emerge che tutto il territorio del comune di Voghiera è rappresentato da frequenze fondamentali comprese tra 0,70 e 0,94 Hz.



8.4. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sui soli centri abitati del comune.

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) è costruita sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni e alle instabilità sismiche già riportati nella carta geologico tecnica e sulla base delle indagini presenti sul territorio.

In questa carta sono state suddivise le diverse aree in funzione della diversa stratigrafia rilevata con le rispettive prove sito-specifiche e sulla base delle conoscenze geologico-litotecniche acquisite con la carta geologico tecnica.

Sono dunque emerse 5 diverse zone stabili suscettibili di amplificazioni locali rappresentate con un codice differente che va dal 2001 al 2005. La suddivisione fatta è stata basata sulla presenza o assenza di corpi sabbiosi alle diverse profondità di spessori più o meno importanti con terreni di copertura argilloso limosi di origine alluvionale caratterizzati da spessori variabili.

La legenda della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica è stata così suddivisa:

- **30502001** porzioni di territorio caratterizzate dalla presenza di paleoalvei importanti sub-affioranti con tetto delle sabbie compreso tra piano campagna e -4,0 metri da piano campagna con spessore maggiore di 5 metri caratterizzato da un addensamento in graduale aumento con la profondità seguito da terreni argilloso limosi e limoso argillosi con lenti di sabbia e sabbia limosa dello spessore variabile più in profondità;

- **30502002** porzioni di territorio immediatamente esterne al paleoalveo principale e interessate dalle divagazioni secondarie del medesimo, caratterizzate da un primo strato di terreni di copertura di 1-4 metri di argille e limi di consistenza media di origine alluvionale, seguito da depositi di paleoalveo secondario, sabbioso e sabbioso limoso, di spessore inferiore a 6 metri, a cui seguono terreni argillosi e argilloso limosi consistenti a cui si possono intervallare banchi sabbiosi e sabbioso limosi di spessore variabile;

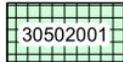
- **30502003** porzioni di territorio in transizione tra la zona dei paleoalvei e le pianure alluvionali, caratterizzate da un primo intervallo di depositi argilloso limosi e limoso argillosi di consistenza variabile di spessore maggiore di 4 metri, seguito da corpi di paleoalveo minore con spessore del corpo sabbioso minore di 5 metri a cui seguono depositi argilloso limosi e limoso argillosi di consistenza in generale aumento con la profondità alternati a banchi sabbiosi e sabbiosi limosi mediamente addensati;

- **2004** porzioni di territorio caratterizzate da un primo intervallo di almeno 15 metri di terreni argilloso limosi e limoso argillosi talvolta di origine organica e torbe caratterizzati da un diverso grado di consistenza da bassa a medio alta all'aumentare della profondità con possibile presenza di corpi lenticolari sabbioso limosi dello spessore decimetrico, seguiti da depositi di paleoalveo minori con tetto delle sabbie e spessore metrico variabile, generalmente moderatamente addensati;

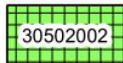
- **2005** porzioni di territorio caratterizzate da terreni in prevalenza argilloso limosi e limoso argillosi a consistenza variabile da bassa a moderata e con presenza variabile di terreni torbosi o argille organiche nei primi 20 metri da piano campagna; talvolta è possibile la presenza di corpi lenticolari dello spessore inferiore al metro di limi sabbiosi e sabbie fini limose.

N.B. Va sottolineato come in corrispondenza delle zone MOPS 30502001, 30502002 e 30502003 in diversi tratti del territorio comunale si è in presenza di strutture geomorfologiche dossive (topograficamente rilevate) che possono essere potenzialmente interessate da fenomeni di lateral spreading. A parere dello scrivente sarebbe indicato negli standard di rappresentazione cartografica delle microzonazioni sismiche evidenziare queste aree rispetto a quelle ove le sabbie liquefacibili interessano porzioni di territorio orizzontali.

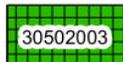
Zone di attenzione per instabilità



Porzioni di territorio caratterizzate dalla presenza di paleoalvei importanti sub-affioranti con tetto delle sabbie compreso tra piano campagna e -4,0 metri da piano campagna con spessore maggiore di 5 metri caratterizzato da un addensamento in graduale aumento con la profondità seguito da terreni argilloso limosi e limoso argillosi con lenti di sabbia e sabbia limosa dello spessore variabile più in profondità



Porzioni di territorio immediatamente esterne al paleoalveo principale e interessate dalle divagazioni secondarie del medesimo, caratterizzate da un primo strato di terreni di copertura di 1-4 metri di argille e limi di consistenza media di origine alluvionale, seguito da depositi di paleoalveo secondario, sabbioso e sabbioso limoso, di spessore inferiore a 6 metri, a cui seguono terreni argillosi e argilloso limosi consistenti a cui si possono intervallare banchi sabbiosi e sabbioso limosi di spessore variabile

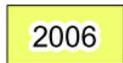


Porzioni di territorio in transizione tra la zona dei paleoalvei e le piane alluvionali, caratterizzate da un primo intervallo di depositi argilloso limosi e limoso argillosi di consistenza variabile di spessore maggiore di 4 metri, seguito da corpi di paleoalveo con spessore del corpo sabbioso minore di 5 metri a cui seguono depositi argilloso limosi e limoso argillosi di consistenza in generale aumento con la profondità alternati a banchi sabbiosi e sabbiosi limosi mediamente addensati

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Porzioni di territorio caratterizzate da un primo intervallo di almeno 15 metri di terreni argilloso limosi e limoso argillosi talvolta di origine organica e torbe caratterizzati da un diverso grado di consistenza da bassa a medio alta all'aumentare della profondità con possibile presenza di corpi lenticolari sabbioso limosi dello spessore decimetrico, seguiti da depositi di paleoalveo minori con tetto delle sabbie e spessore metrico variabile, generalmente moderatamente addensati



Porzioni di territorio caratterizzate da terreni in prevalenza argilloso limosi e limoso argillosi a consistenza variabile da bassa a moderata e con presenza variabile di terreni torbosi o argille organiche nei primi 20 metri da piano campagna; talvolta è possibile la presenza di corpi lenticolari dello spessore inferiore al metro di limi sabbiosi e sabbie fini limose

Punti di misura di rumore ambientale



Stazione microtremore a stazione singola con indicazione del valore di f_0

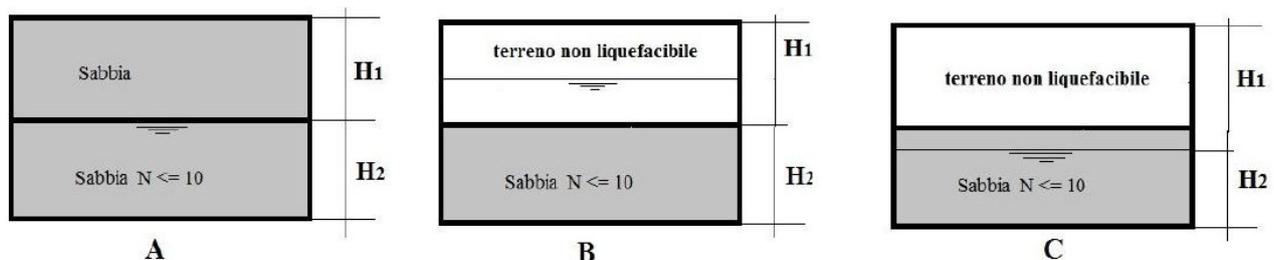
La suddivisione in zone omogenee in prospettiva sismica ha voluto rimarcare questi concetti:

(30502001) Ci sono aree in cui sono presenti depositi sabbiosi olocenici saturi legati ai corpi principali dei paleoalvei che attraversano il territorio comunale, ovvero il paleoalveo del Po di Spina. Questi sono i più vulnerabili alla liquefazione delle sabbie, per via degli spessori delle sabbie e sabbie limose presenti.

(30502002) Poi vi sono le zone attigue al corpo principale del paleoalveo ove sono presenti paleodivagazioni del fiume principale con depositi sabbiosi di canale o depositi di rotta fluviale con il tetto posto a quote comprese tra -4m ed il p.c.. In questa fascia cominciano a rivestire una certa importanza le coperture alluvionali fini coesive, non liquefacibili.

Perché la scelta di 4m di spessori non liquefacibili come discriminante tra zone 2002 e 2003?

Ishihara (1985), sulla base di numerosi casi analizzati, ha individuato tre situazioni possibili generalizzando il problema come sistema bistrato, strato superiore – strato inferiore, secondo lo schema riportato di seguito.



Secondo l'abaco proposto in **FIGURA 8.1** è possibile, in base allo spessore dello strato liquefacibile, e alla accelerazione, risalire allo spessore dello strato non liquefacibile necessario affinché non si abbiano ripercussioni in superficie per i sottostanti fenomeni di liquefazione.

Per accelerazioni massime di 0,2g, si constata che già con 3 m di spessore di terreni non liquefacibili sovrastanti, possono esserci più metri di sabbie liquefacibili, senza che si abbiano significative ripercussioni in superficie. Conservativamente si aumenta a 4m questo spessore e lo si usa come discriminante per la suddivisione delle zone omogenee in prospettiva sismica.

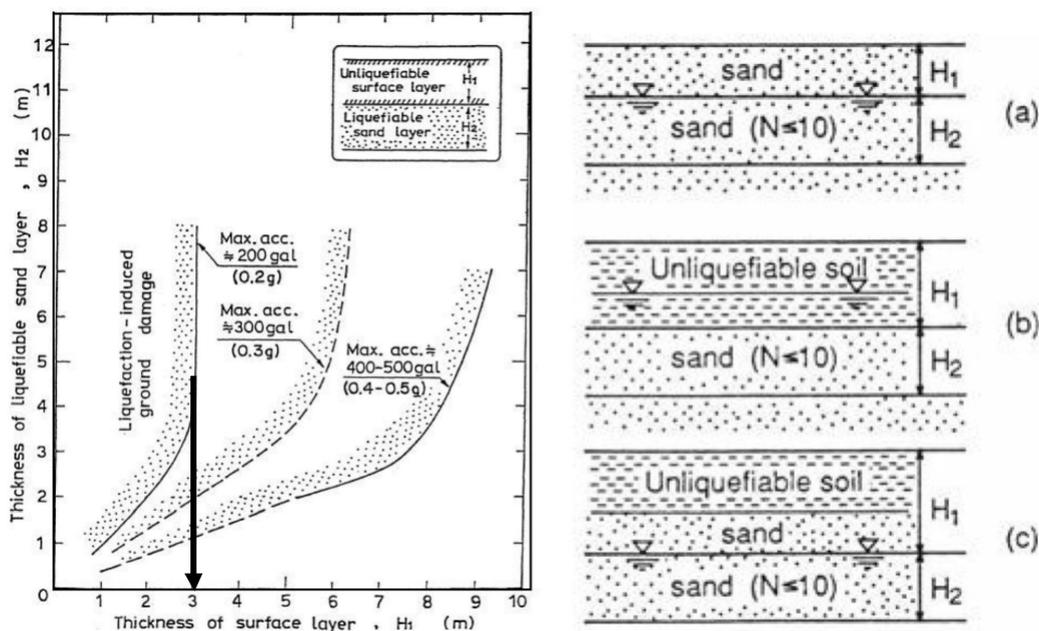


Figure 1. Proposed boundary curves for surface manifestation of liquefaction induced damage (Ishihara, 1985)

FIGURA 8.1– Abaco per la stima dello spessore di terreno non liquefacibile necessario per non avere ricadute significative in superficie.

Meriterebbe un adeguato studio e ricerca la caratterizzazione dello strato non liquefacibile sovrastante quello liquefacibile. In particolare laddove si hanno terreni con buone coesioni non drenate la protezione è maggiore rispetto a dove i sedimenti hanno bassa resistenza al taglio in condizioni non drenate. Dove le coperture hanno buoni valori di coesione non drenata, le teorie di Ishihara (1985) possono essere giudicate "fondate" ed applicabili.

(30502003) Allontanandosi dal paleoalveo principale, in zone sempre raggiunte dalle alluvioni del fiume, possono essere presenti paleoalvei minori il cui tetto è posto a profondità maggiori di -4m dal p.c. e generalmente hanno spessore minore. Le ripercussioni in superfici di eventuali liquefazioni delle sabbie sottostanti diventa meno significative.

(2004) In posizione distale rispetto ai paleoalvei principali vi sono pianie alluvionali dove nei primi 15m non sono presenti depositi sabbiosi con spessori significativi. Mentre la liquefazione è un effetto di sito potenzialmente atteso, di fatto non sono attesi danni dipendenti da esso in superficie. I pianie campagna sono topograficamente più bassi per via della subsidenza differenziata.

(2005) In questa fascia dominano i sedimenti limoso argillosi organici di ambiente palustre. Eventuali strati sabbiosi sono molto profondi, oltre -15m dal p.c..

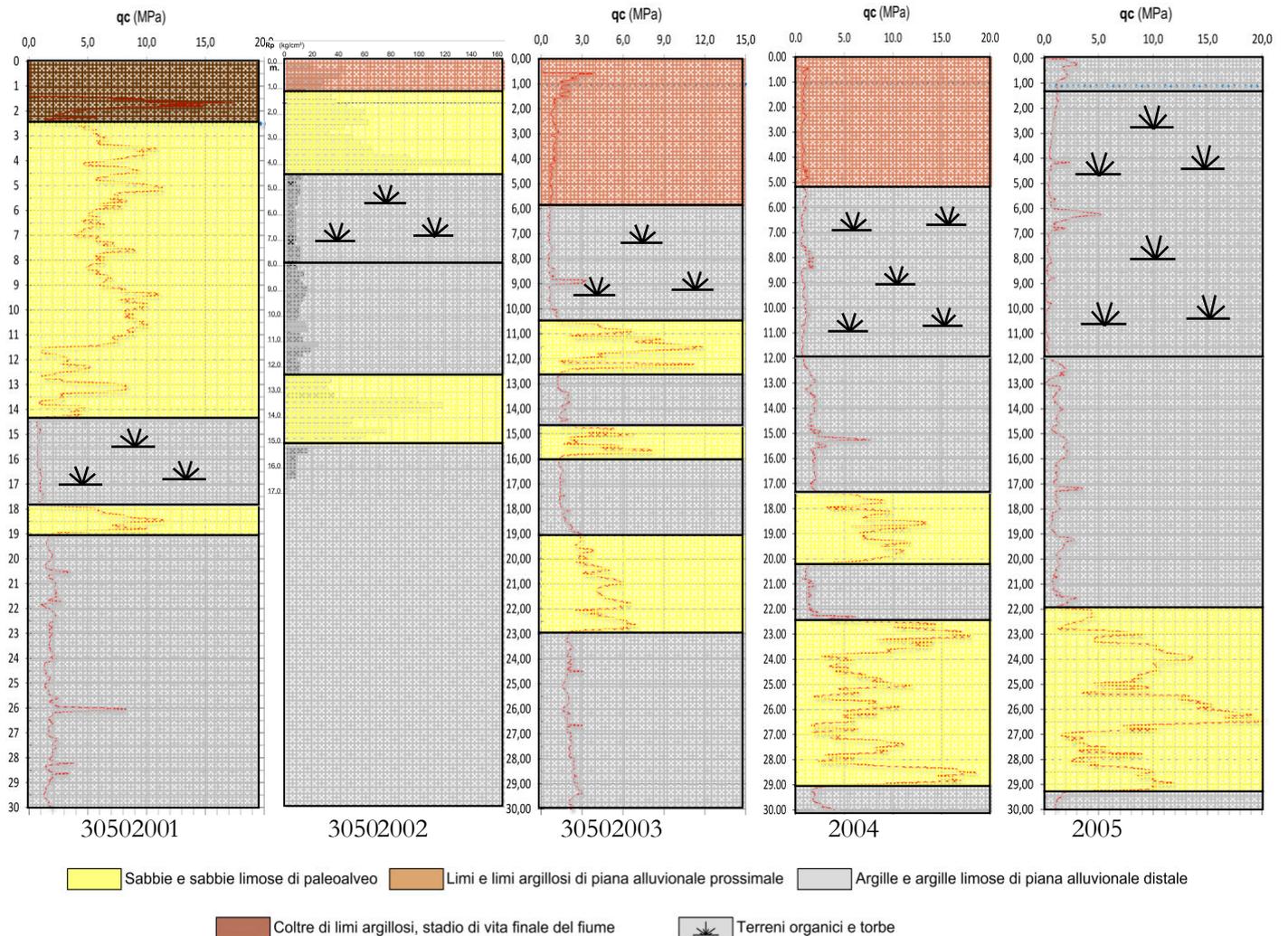


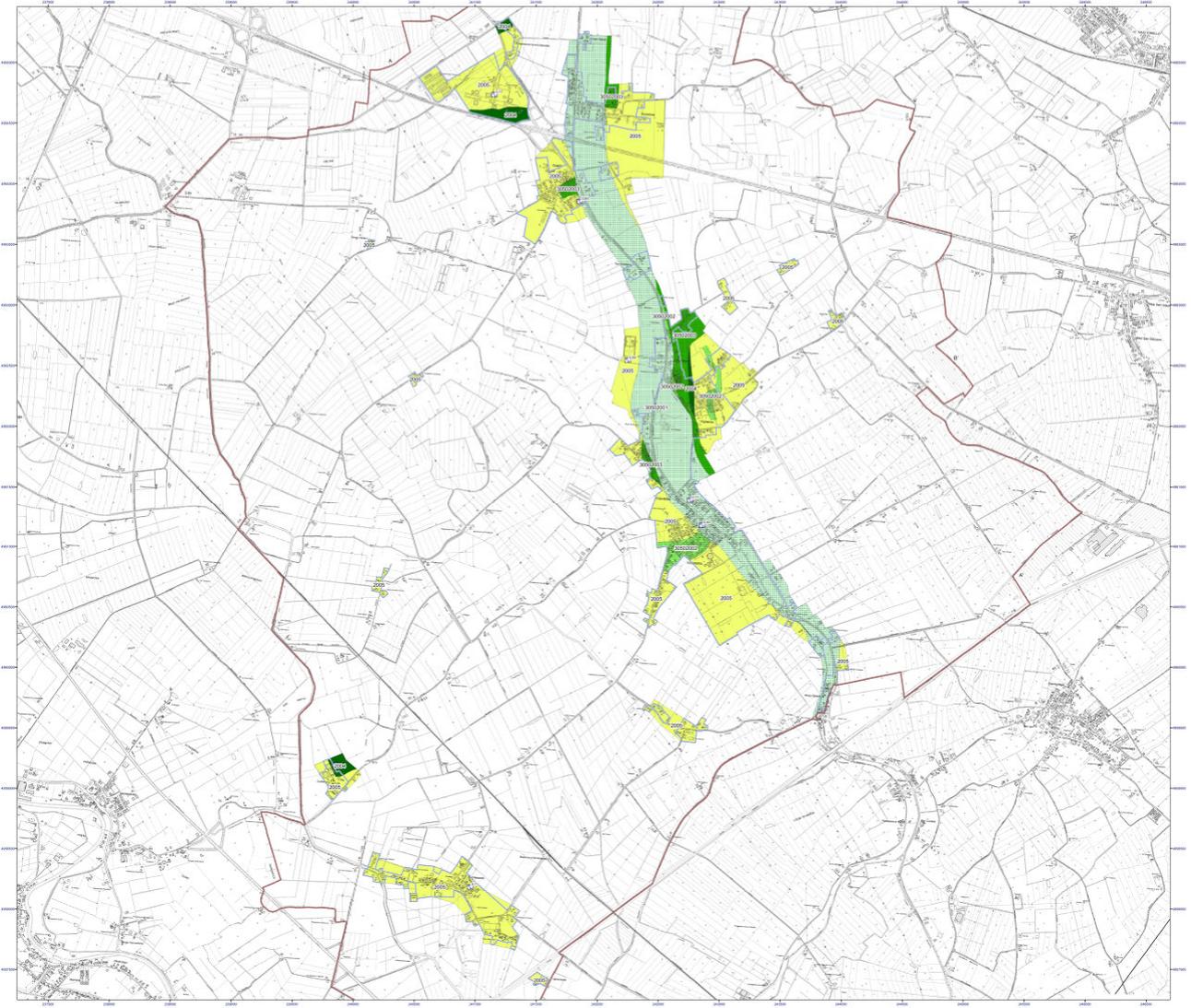
FIGURA 8.2 – Colonne litostratigrafiche sintetiche rappresentative della microzona alla quale fanno riferimento

Nella stessa carta delle MOPS sono state identificate tutte quelle zone di attenzione che, per presenza di intervalli sabbiosi plurimetrici nei primi 20 m da p.c., risultano potenzialmente liquefacibili.

Le zone di attenzione per liquefazione, identificate con il codice ZA LQ, sono quelle nelle quali gli studi di micro zonazione sismica di primo livello hanno verificato l'esistenza delle seguenti condizioni predisponenti (punto 1 e punto 2) e cause scatenanti (punto 3 e punto 4):

1. terreni sabbiosi
2. falda a profondità inferiore a 15m
3. Mw attesa al sito >5
4. Accelerazioni massime in superficie (PGA) >0.1g.

Nello specifico le zone di attenzione per fenomeni di potenziale liquefazione, per via della stratigrafia con presenza di banchi sabbiosi, sono tutte quelle aree della carta caratterizzate dalle zone suscettibili di amplificazioni locali con il codice 30502001, 30502002 e 30502003.

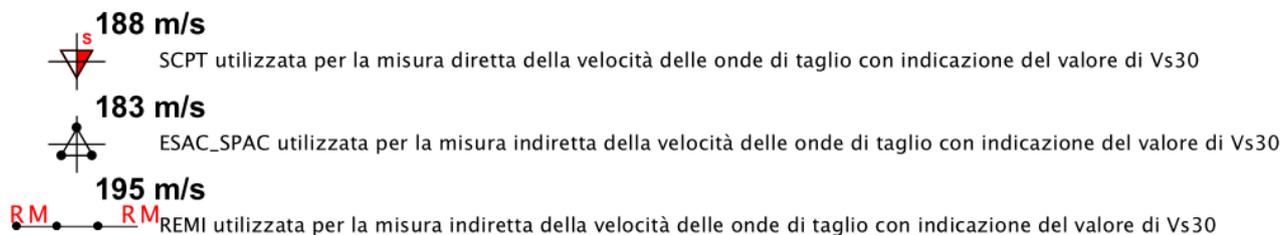


8.5. CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs)

La Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sui soli centri abitati del comune.

In questa carta vengono riportati i valori di Vs30 ricavati attraverso i valori diretti mediante sismocono e indagini geofisiche ESAC e Re.Mi.

Punti di misura della velocità delle onde di taglio



Tutte le indagini profonde presenti nel territorio comunale sono dunque caratterizzate dal valore di Vs30 riportato affianco alla prova.

Il parametro Vs30 rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell'onda di taglio "S" nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

dove,

Vs30 : velocità media ponderata delle onde di taglio "S",

hi : spessore dello strato iesimo,

Vi : velocità delle onde di taglio "S" nello strato iesimo.

I valori di Vs30 sono stati calcolati in diversi modi:

- Misure dirette mediante sismocono;
- Prove geofisiche

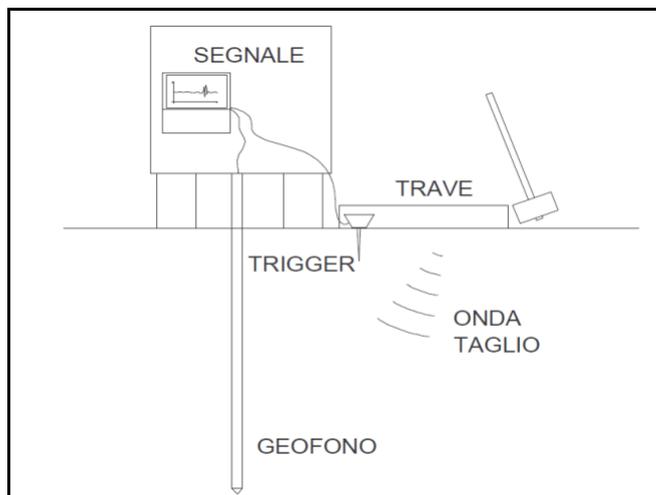
Nel territorio di Voghiera sono stati ricavati n. 19 valori di Vs30 da misure dirette sia con cono sismico sia da stendimenti sismici, il valore più basso misurato è pari 163 m/sec mentre il valore più alto è pari a 213 m/sec.

È possibile dunque osservare che nelle zone in cui si hanno stratigrafie caratterizzate da terreni in prevalenza sabbiosi, i valori di Vs30 sono relativamente alti contraddistinti in alcune zone da valori che superano i 200 m/s; mentre nelle aree in cui la stratigrafia delle prove è caratterizzata da terreni in prevalenza coesivi i valori di Vs30 sono notevolmente più bassi.

Misure dirette mediante sismocono

La prova consiste nell'inserire sulla punta elettrica della prova penetrometrica statica con punta elettrica dei ricevitori (geofoni) che con opportuna strumentazione e una sorgente di onde in superficie possono essere misurati, a profondità diverse (SCPTU), fino alla profondità di -30,00 m da p.c., i tempi di arrivo delle onde sismiche fra la superficie (sorgente) ed i ricevitori (in profondità), analogamente a quanto avviene con il metodo geofisico cosiddetto "downhole".

In base ai tempi di arrivo conoscendo la distanza tra la sorgente ed il ricevitore si può calcolare la velocità delle onde sismiche ed in particolare delle onde di taglio (V_s).



Rappresentazione grafica della prova penetrometrica con piezocono sismico

Indagini geofisiche

Le tecniche geofisiche comunemente utilizzate per la determinazione di tale parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- prove in foro singolo (Down-Hole) o doppio (Cross-Hole),
- sismica di superficie (rifrazione e riflessione) con energizzazione di onde polarizzate (SH),
- tecniche mediante onde superficiali "R" e "L" (SASW, MASW e Microtremori Re.Mi., SPAC, MSPAC ed ESAC).

Le prime richiedono l'esecuzione di un sondaggio per permettere la determinazione del parametro. Le seconde, più costose, forniscono risultati di elevata qualità ma sono facilmente influenzate da rumori antropici che ne degradano le caratteristiche. Le ultime sono realizzate, ad eccezione della tecnica SASW, con procedure operative simili a quelle impiegate nella sismica a rifrazione.

Le prove geofisiche adottate in questo studio appartengono alla terza categoria e vengono caratterizzate con applicazione della tecnica dei microtremori (Autocorrelazione Spaziale Migliorato "ESAC") che permette di ottenere con minor costo di processo il profilo verticale della velocità media delle onde di taglio "S" e contemporaneamente di raggiungere profondità superiori a 30 m favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock sismico - così come definito dalla normativa ($V_s > 800$ m/s) - coadiuvando contemporaneamente l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica ($V_{S2} \times \rho$) dei terreni investigati.

Attraverso l'analisi delle onde superficiali "tipo Rayleigh R", che costituiscono un particolare tipo di onde superficiali trasmesse sulla superficie libera di un mezzo omogeneo ed isotropo, si ricava indirettamente la velocità delle onde di taglio "S" secondo l'equazione

$$V_R = \left(\frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) \times V_S$$

Dove:

$$V_R \cong 0.92 V_S$$

V_R: velocità di fase dell'onde Rayleigh

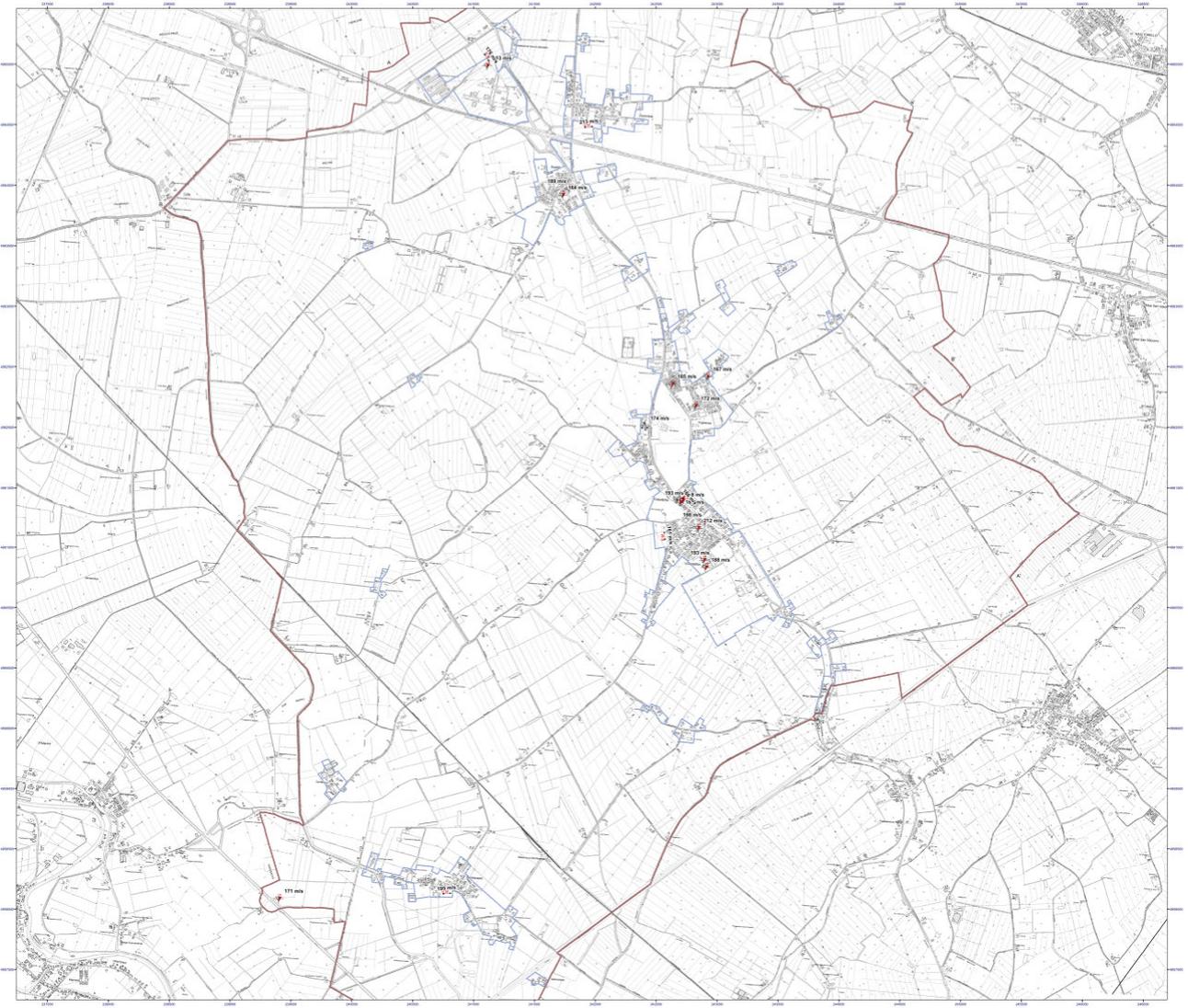
V_S: velocità di propagazione dell'onda di taglio

ρ: rapporto di Poisson

L'analisi delle tracce sismiche registrate è consistita nell'applicazione di una trasformata bi-dimensionale di tipo *p-f* (*p*=slowness "1/velocità"-*f*=frequenza "Hz"/McMechan e Yedlin, 1981) che analizza la variazione nel tempo dell'energia di propagazione del segnale sismico lungo tutte le direzioni rispetto alla linea sismica. Il risultato di tale analisi rappresenta il cosiddetto spettro di potenza da cui si ottiene in prima battuta la curva di dispersione sperimentale delle onde "R" e successivamente, attraverso una procedura di modellazione numerica, la determinazione delle velocità delle onde di taglio "S".

Le indagini geofisiche utilizzate per la determinazione dei valori di Vs30 sono caratterizzate da una tecnica chiamata dei microtremiti mediante la quale vengono registrate onde passive di sottofondo attraverso uno stendimento di geofoni lineare equidistanziati.

Le prove geofisiche realizzate permettono di ottenere con minor costo di processo il profilo verticale della velocità media delle onde di taglio "S" e contemporaneamente di raggiungere profondità superiori a 30 m favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock - così come definito dalla normativa (*V_s*>800 m/s) – e l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica (*V_{Sxρ}*) dei terreni investigati.



In realtà un altro metodo più frequentemente utilizzato per il calcolo della V_{S30} è quello da correlazione empirica con le prove penetrometriche statiche.

Questo metodo ha permesso di ricavare attraverso prove CPT e CPTU eseguite dallo scrivente e dalla Regione ulteriori 35 valori di V_{S30} che portano a risultati del tutto analoghi alle misure dirette.

Correlazione empirica da penetrometrie

Il metodo più frequentemente utilizzato è quello da correlazione empirica con le prove penetrometriche statiche.

Dapprima vi è una suddivisione tra le prove svolte dallo scrivente e quelle estrapolate dall'archivio della Regione Emilia Romagna.

In letteratura esistono numerose correlazioni empiriche tra le misure di q_c e di V_{S30} anche se il livello deformativo indotto nel terreno dalla penetrazione della punta penetrometrica provoca la rottura del materiale mentre le onde di taglio si propagano senza intaccare la struttura del terreno in condizioni di deformazioni praticamente elastiche. La correlazione utilizzata è stata proposta da Andrus et al. (2001) ed utilizza valori di q_c e di V_{S30} normalizzati rispetto allo stato tensionale, in questa formula non viene tenuto conto dell'attrito laterale f_s e viene introdotto un coefficiente correttivo per l'età del deposito che viene indicato con ASF.

Questo coefficiente viene utilizzato per tenere conto delle diverse caratteristiche di deformabilità e tessitura dei terreni risalenti al periodo Pleistocenico rispetto ai più recenti depositi Olocenici.

La correlazione è la seguente:

$$V_{S1} = ASF \cdot A \cdot (q_{c1N})^\alpha$$

dove:

$$q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \left(\frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.5}$$

resistenza alla punta normalizzata alla tensione verticale;

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.25}$$

velocità corretta per tenere in conto lo stato tensionale verticale;

ASF per depositi Olocenici = 1 (quali sono i depositi presenti nella pianura ferrarese alle profondità indagate) come suggerito da ANDRUS et al.;

A e α sono coefficienti empirici da calibrare sulla base delle misure di q_c e di V_S disponibili;

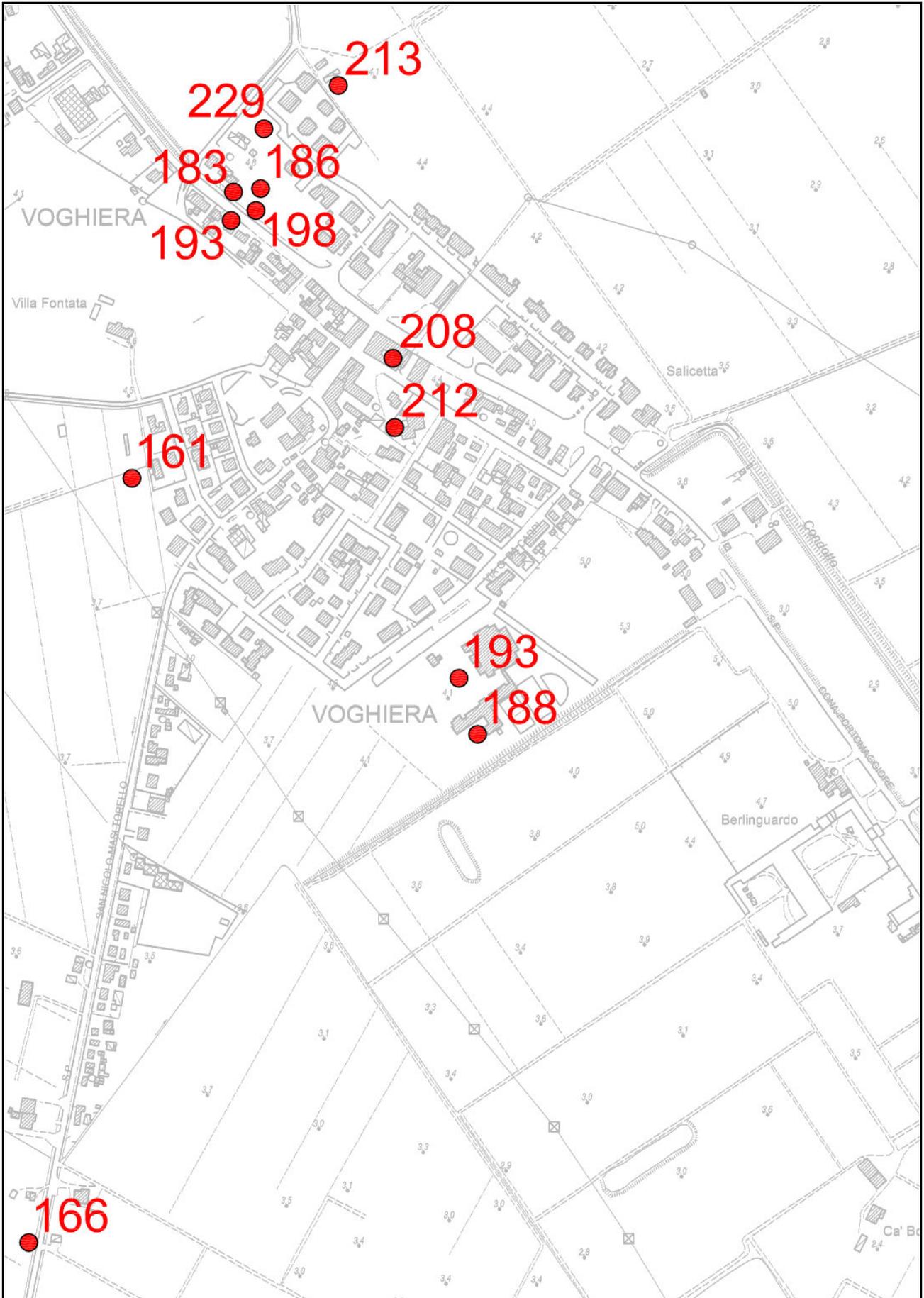
p_a = pressione atmosferica.

Nella **Tabella 8.1** sono riportati i coefficienti A e α .

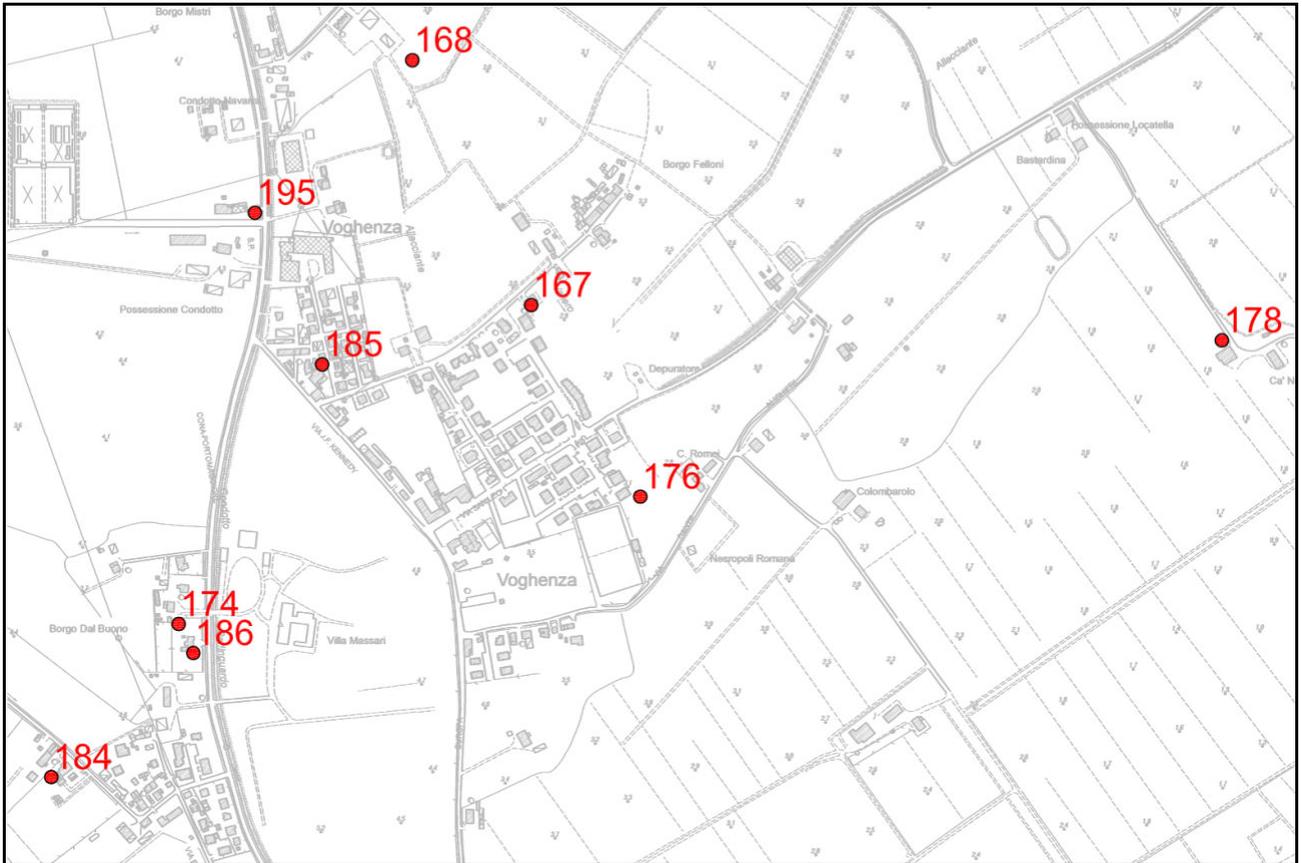
	Argilla	Limo	Sabbia
A	80.64	77.83	53.64
α	0.28	0.24	0.33

Tabella 8.1 – Coefficienti A (m/s) e α

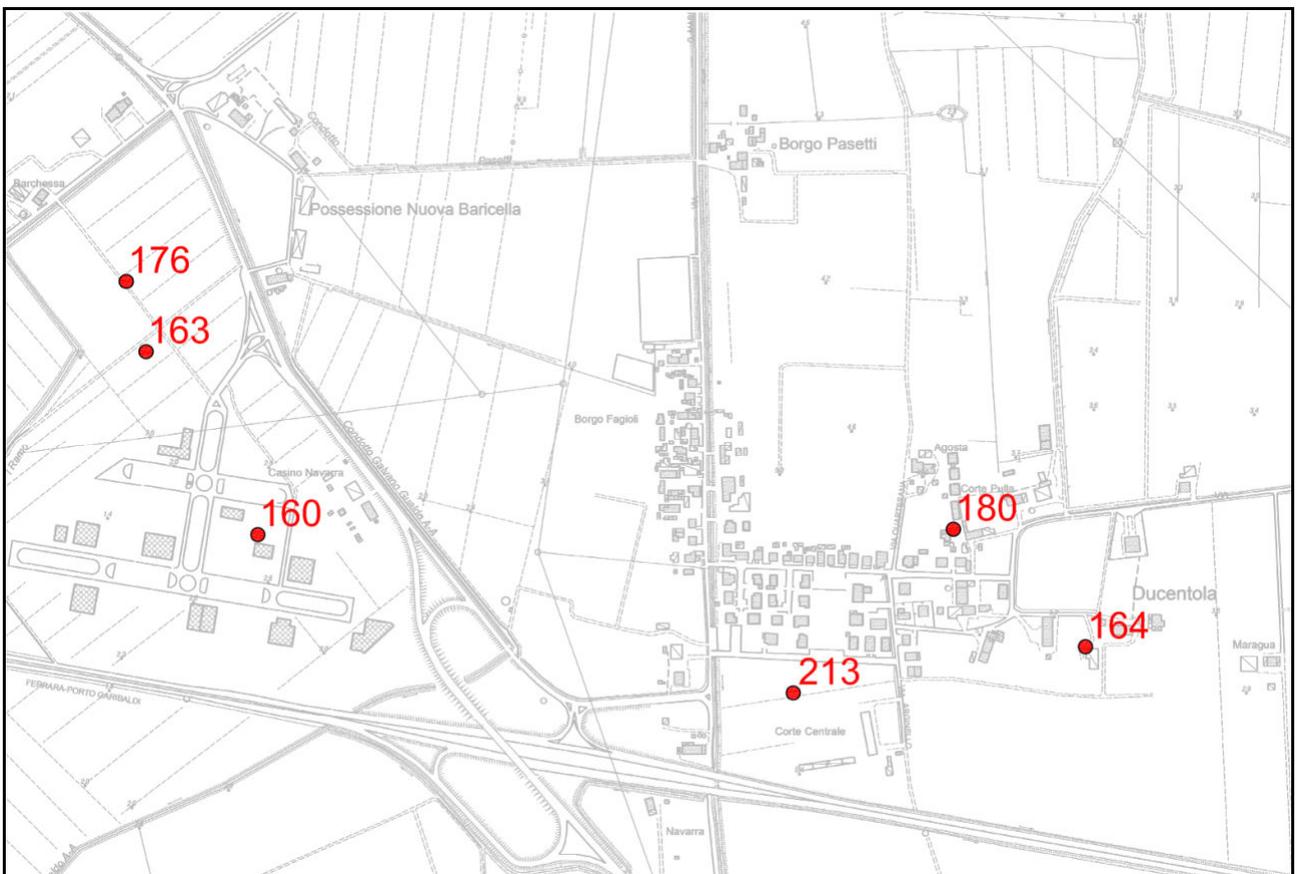
Nelle figure seguenti si riportano le misure di V_{S30} calcolati con la correlazione empirica.



Voghiera



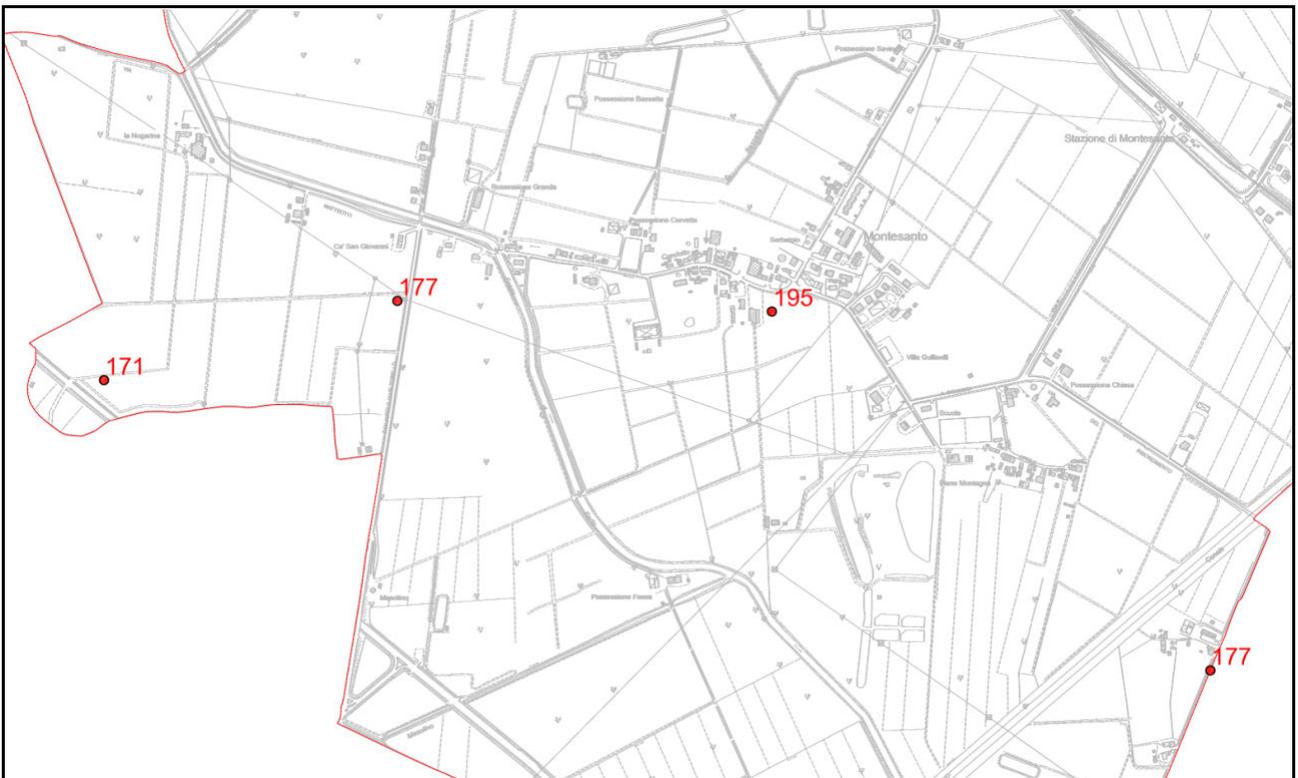
Voghenza



Ducentola



Gualdo



Montesanto

8.6. CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Le Carte di microzonazione sismica – Valore del fattore di amplificazione $F_{A_{PGA}}=PGA/PGA_0$, Valore del fattore di amplificazione $F_{A_{SI}}=SI/SI_0$, espressi nell'intervallo di periodo prefissati $F_{A_{0,1-0,5s}}$, $F_{A_{0,5-1,0s}}$ e $F_{A_{0,5-1,5s}}$ vengono riprodotte in scala 1:10.000 e sono focalizzate sui soli centri abitati del comune.

In queste carte sono riportati i fattori di amplificazione in termini di accelerazione PGA/PGA_0 e in termini di intensità spettrale (Intensità di Housner) SI/SI_0 del territorio comunale di Fiscaglia.

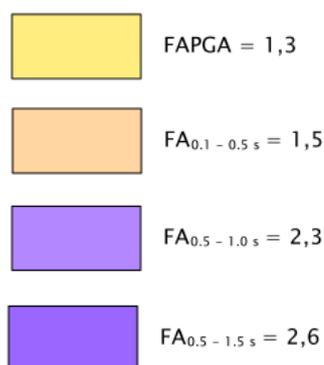
In queste carte vengono evidenziati i fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito in condizioni sismiche; vengono dunque caratterizzate tutte le zone del comune in cui si verifica amplificazione sismica.

Dove sussistono le condizioni per cui si possano avere effetti di sito (presenza dei fattori predisponenti), non necessariamente si possono verificare effetti connessi al rischio sismico, se non ci sono eventi sismici di intensità sufficiente (presenza dei fattori scatenanti).

Per la valutazione del fattore di amplificazione sismica si è fatto ricorso al D.G.R. 2193 del 2015 della Regione Emilia Romagna, in cui all'allegato A2 (punti A2.1.2) vengono mostrate le tabelle e le formule che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di intensità di Housner (SI/SI_0).

Per la realizzazione di questa tavola vengono prese come riferimento le tabelle relative al capitolo A2.1.2 Pianura Padana e costa Adriatica di PIANURA 3.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



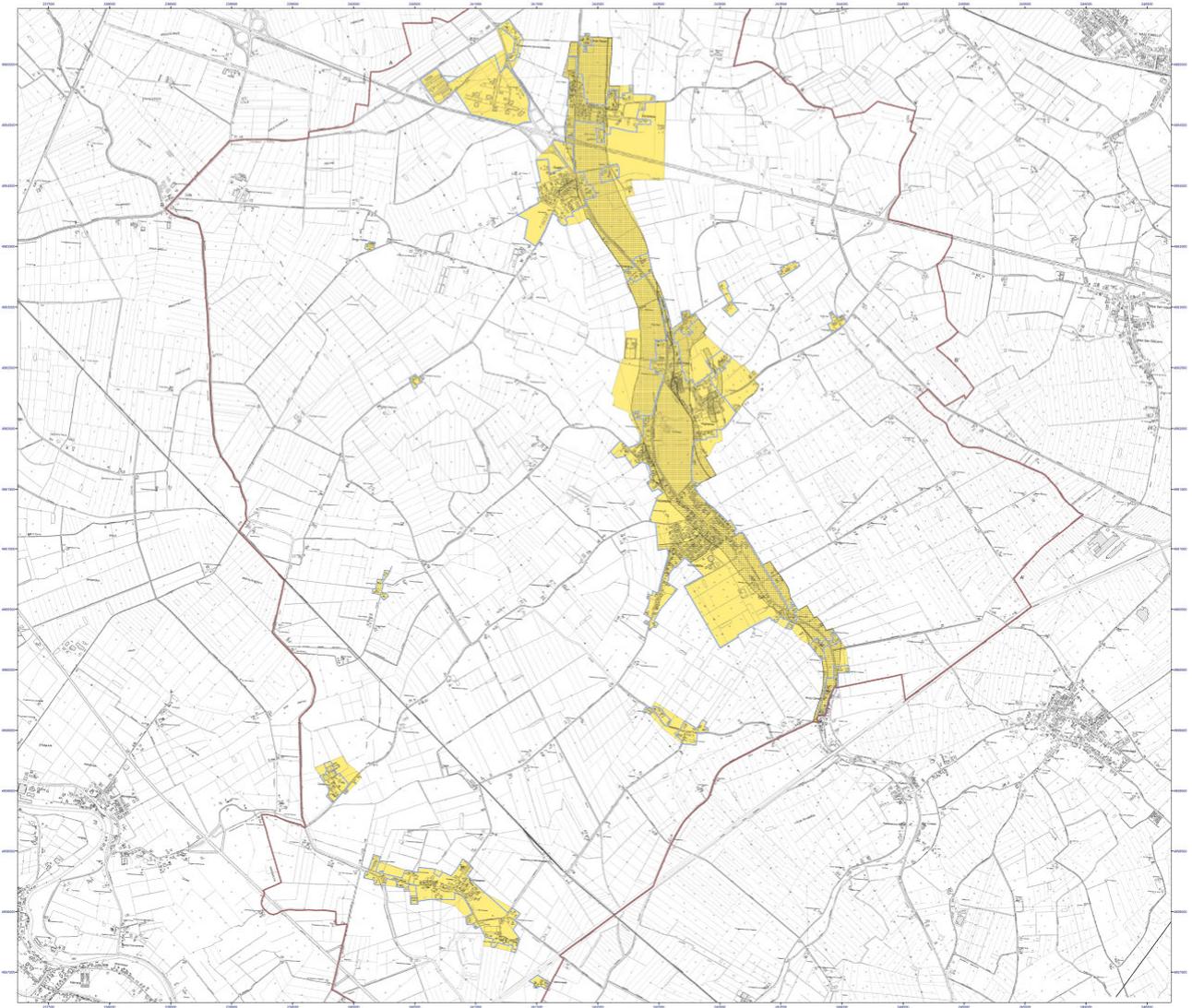
Nelle stesse carte vengono identificate tutte quelle zone di attenzione per instabilità che, per presenza di amplificazione sismica locale, risultano potenzialmente liquefacibili, in questo caso presenti in tutto il territorio comunale.

Zone di attenzione per instabilità

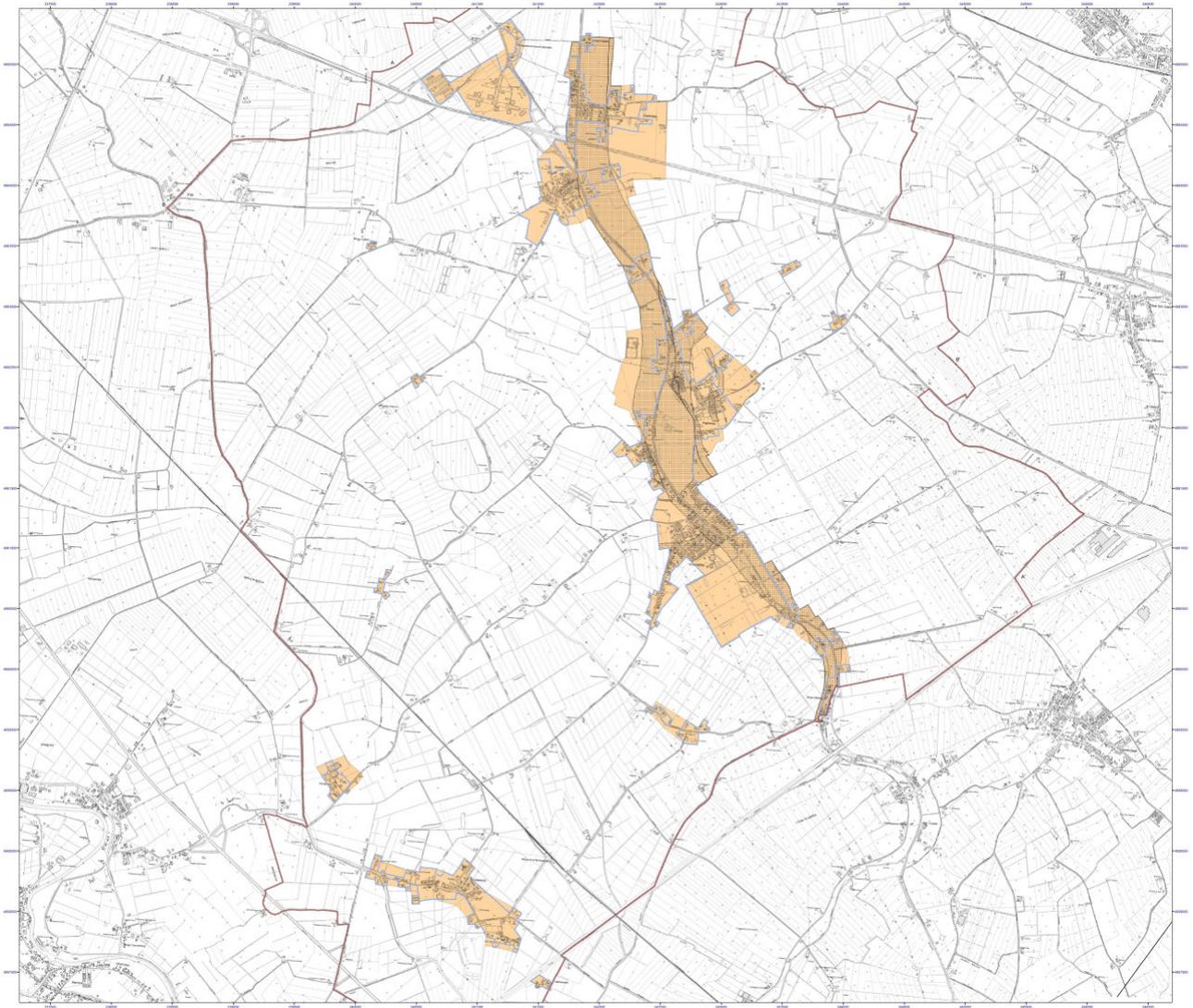


In questa carta si osserva come il territorio comunale di Voghiera è stato caratterizzato da ambiti di PIANURA 3 per via della presenza di elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati e substrato rigido profondo più di 300 m dal p.c..

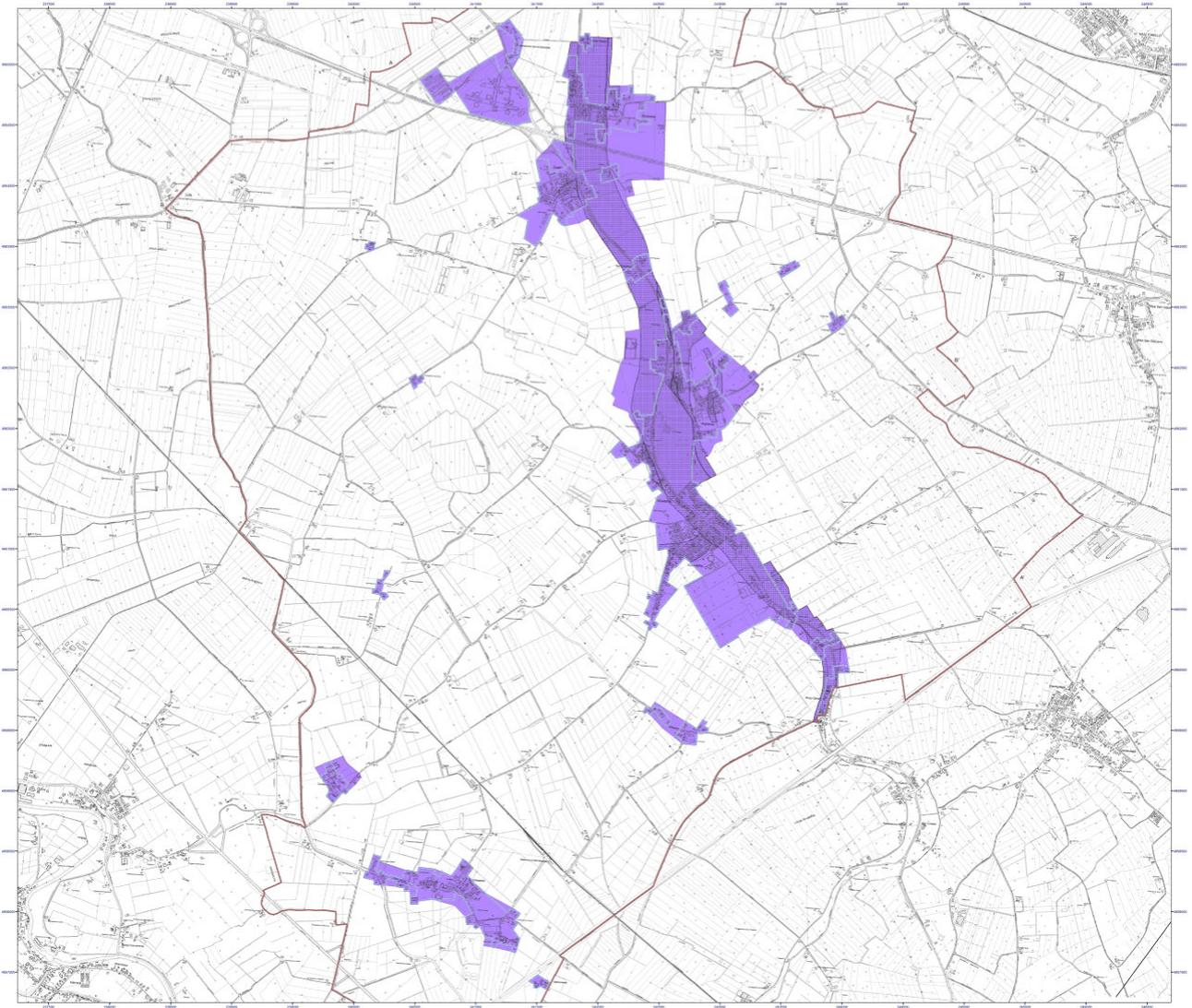
Il territorio comunale è rappresentato generalmente da valori di V_{s30} comprese tra 140 m/s e 231 m/s e dunque il fattore di amplificazione sismica in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) $F_{a.P.G.A.}$ risulta essere di 1,3, in termini di rapporto di intensità di Housner (SI/SI_0 – tra 0,1s e 0,5s) $F_{a.0,1-0,5s}$ risulta essere di 1,5, in termini di rapporto di intensità di Housner (SI/SI_0 – tra 0,5s e 1,0s) $F_{a.0,5-1,0s}$ risulta essere di 2,3 e in termini di rapporto di intensità di Housner (SI/SI_0 – tra 0,5s e 1,5s) $F_{a.0,5-1,5s}$ risulta pari a 2,6.



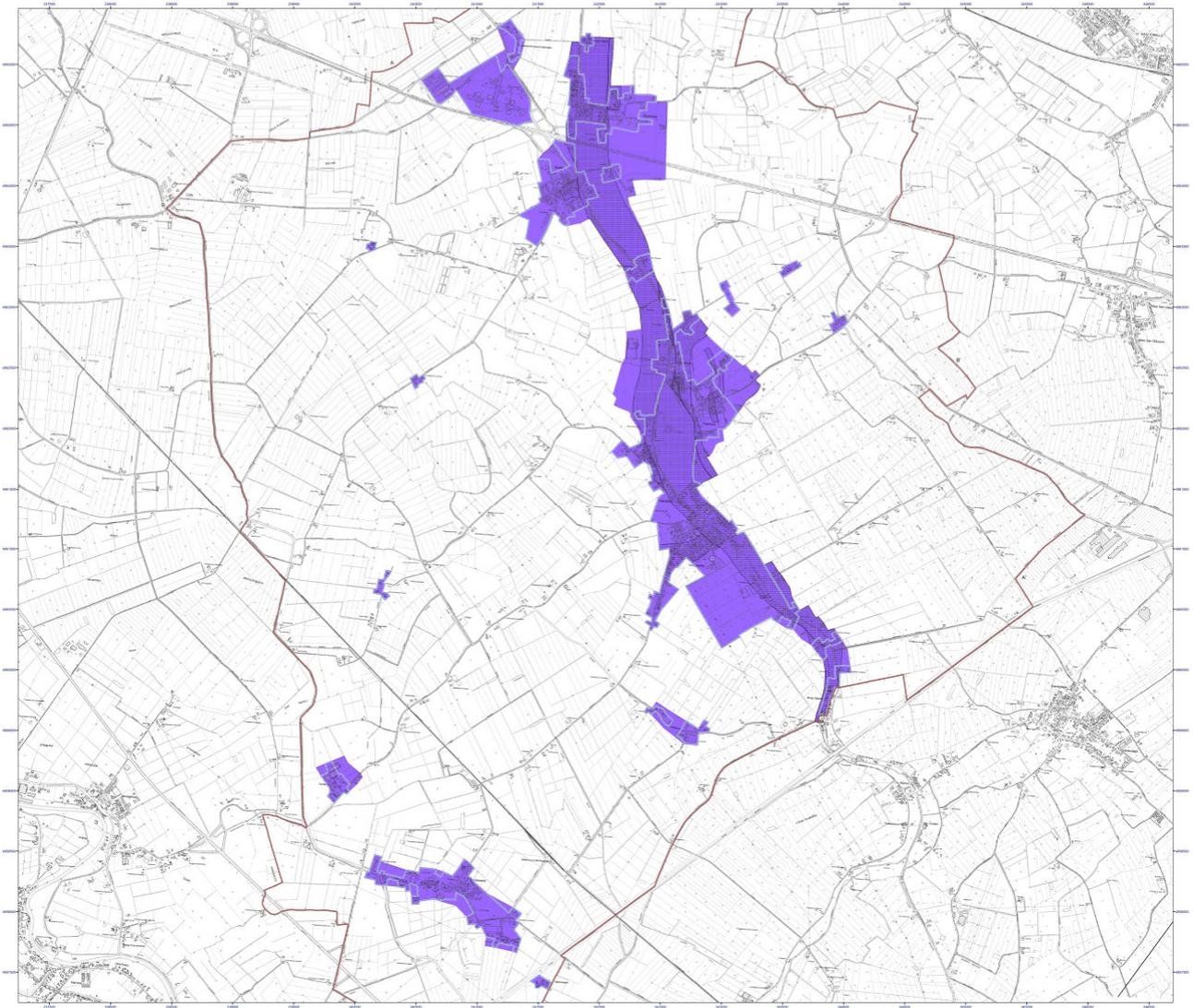
F.a.P.G.A.



F.a.0,1-0,5s



F.a.0,5-1,0s



F.a.0,5-1,5s

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Nel comune di Voghiera sono documentati danni da eventi sismici passati. In corrispondenza degli eventi del maggio 2012 si è riscontrato un lieve danno alla Chiesa della Natività di Maria Vergine Voghiera, con lesione sulla prima arcata dx e sx di separazione tra le navate, a causa dell'azione di trazione della facciata, che evidentemente ha oscillato con un periodo diverso rispetto il resto della struttura. Le due arcate attigue alla facciata sono oggi ancora puntellate con centine in legno e travoni. Il campanile è distaccato dal corpo della chiesa e questo ha evitato eventuali ulteriori danni.

Breve Cenno storico sulla chiesa di Voghiera

"La chiesa di Voghiera, (sec. XII) è menzionata nei privilegi del 1187 concessi dal pontefice Gregorio VIII al vescovo Stefano di Ferrara.

Era una pieve capitolare in cui officiavano il parroco e quattro canonici. Nel sec. XVII la pieve aveva sotto di sé le parrocchie di Voghenza, Gambulaga, Ranco, Montesanto, Masi San Giacomo, Gualdo e Ducentola. La chiesa si arricchì nei secoli di opere di insigni pittori, nel 1598 vi celebrò la messa il pontefice Clemente VIII.

Di particolare suggestione entrando nella chiesa è l'abside affrescata che rappresenta la Vergine Maria, posta al centro e attorno a lei una coreografia di personaggi che reggono ciascuno un cartiglio abbinato ad un oggetto che ne rappresenta visivamente l'iscrizione. E' un modello iconografico che richiama tre opere attribuite al Garofalo e/o altri pittori della sua bottega, opere conservate alla pinacoteca Capitolina di Roma ed a Brera.

La funzione didattica del dipinto, che propone una interpretazione in chiave Mariana di alcuni passi dell'Antico Testamento secondo la versione della Vulgata, è evidente nella rappresentazione dei simboli floreali o architettonici: la fontana; la città; il tempio, affidati alle figure armonicamente disposte nella parte sinistra dell'affresco."

fonte: <http://www.voghieraonline.it/203/la-chiesa-della-nativita-di-maria-vergine>



Si riportano ora brevi descrizioni di danni documentati in occasione di terremoti passati a Voghiera, reperiti nel catalogo storico dei terremoti on line:

<http://storing.ingv.it/cfti/cfti4/quakes/00755.html#>

Theories and observations

Subito dopo la scossa il Duca commissionò una serie di studi a vari scienziati, ferraresi e non, per avere una spiegazione scientifica del terremoto che compensasse l'immagine negativa che scaturiva tanto dall'interpretazioni religiose. Anche le teorie naturalistiche furono però contrarie alla casa Estense, indicando nell'estesa opera di bonifica la causa principale dei terremoti: i terreni secchi e compatti dopo il prosciugamento impedirono infatti ai venti sotterranei l'esalzione graduale attraverso le paludi, come ricorda Buoni (1). La teoria dei venti ebbe tuttavia una smentita plateale nei giorni di dicembre del 1571: dopo una forte tempesta di vento i filosofi e gli astrologi preconizzarono la fine dei terremoti, mentre la sera stessa vi fu una scossa assai forte che terrorizzò la popolazione e ridicolizzò i filosofi (2). Numerose osservazioni sul manifestarsi del terremoto sono contenute nel passo di Buonaiuto de Rossi (3), testimone degli eventi. Dei Rossi annotò sia la natura ondulatoria delle scosse, prima in direzione Est-Ovest, poi Nord-Sud, sia la maggiore intensità e frequenza dei terremoti nelle ore notturne. Osservazioni sparse anche in Ligorio: nella relazione sui danni alla villa di Belriguardo, Ligorio notò che erano state rovinare le stesse parti di casa già colpite dalle scosse del 1561, arrivando alla conclusione che il terremoto ritorna sempre nei medesimi punti. Per questo, come osservava anche nelle case romane, gli antichi non abbatterono i muri danneggiati ma ne costruivano altri accanto, di modo che i venti sotterranei trovassero uno sfogo tra le pareti senza rovinare l'edificio.

Note

(1)

Buoni G.A.

Del terremoto, dialogo di I.A. Buoni medico ferrarese distinto in quattro giornate.

Modena 1571

(2)

Biblioteca Comunale Ariostea di Ferrara, Manoscritti, cl.I, 294, Memoria de' gran Terremoti, e Ruine causate da

Major earthquake effects

Le fonti ferraresi ricordano concordemente una lunga serie di scosse iniziata nelle prime ore del 17 novembre e continuata per tutta la giornata. Le quattro più forti sono ricordate con precisione oraria: la prima avvenne alle ore 9:30 italiane (1:40 GMT ca.) e causò il crollo di molti merli, terrazzini e comignoli, che cadendo danneggiarono molti tetti. Numerose repliche si susseguirono durante la stessa notte e nella mattinata successiva; fra queste le più forti furono quella delle ore 20 italiane (12:10 GMT ca.), che scosse violentemente le case, lesionando leggermente le murature, e quella delle ore 24 (16:10 GMT ca.), che causò il crollo di comignoli e cornicioni e gravi lesioni nelle murature. La scossa principale avvenne alle ore 3 (19:10 GMT ca.), colpì edifici già notevolmente lesionati e sconnessi e causò i danni più gravi. A Ferrara fu danneggiata soprattutto la parte medievale della città, dove alcuni edifici crollarono totalmente e quasi tutti gli altri subirono caduta di muri e tetti, lesioni e sconnessioni di pareti, che resero in gran parte inagibili sia gli edifici pubblici, sia le abitazioni private. I danni maggiori riguardarono gli edifici sviluppati in altezza: chiese, campanili, palazzi con soffitti a volta. Le scosse colpirono soprattutto gli edifici posti all'estremità delle vie, che non erano sostenuti da altre costruzioni. Diversi dettagli si hanno anche sull'edilizia privata: risulta danneggiato circa il 40% delle abitazioni. Fuori dalla città, in un raggio di circa 15-20 km, notevoli danni subirono circa 30 paesi e villaggi della campagna, dei quali sono documentati soprattutto i danni agli edifici religiosi. La scossa fu sentita in una vasta area comprendente le principali città emiliane, Milano, Padova e Venezia a nord; Pesaro a sud. Il quadro complessivo degli effetti è cumulativo delle scosse del 17 novembre. Numerosissime e frequenti furono le repliche ricordate e descritte dalle fonti fino ai primi mesi del 1572; qualche scossa fu avvertita anche nel 1573 e nel 1574.

Effects on the environment

Effetti di liquefazione del terreno nell'area urbana di Ferrara e nelle immediate vicinanze (in alcuni casi con emissione di fumi o con fuoriuscita di sabbie bollenti) e apertura di fessure con fuoriuscita di "una schiuma nera". Presso Stellata il Po subì un temporaneo arresto del flusso delle acque; il loro innalzamento e il successivo rapido abbassamento causarono danni ai mulini.

24 novembre 1570: Ferrara, 2 scosse alle 20 con 30 repliche durante la notte; danni nelle ville del contado a Bondeno, Boschetto e Ficarolo, dove fece 11 morti (17).

25 novembre 1570: Ferrara, scossa alle 15 e 12 scosse durante la notte, alle 3, 5, 13 (18).

26 novembre 1570: Ferrara, si sentirono scosse alle 16 e alle 23 (19).

27 novembre 1570: Ferrara, scosse alle 16 e alle 20, con 7 repliche durante la notte (20).

28 novembre 1570: 5 scosse alle 15, alle 22 e alle 23 (21).

29 novembre 1570: scosse alle 15 e 24, e alle 3 e 13 della notte (22).

30 novembre 1570: Ferrara, furono contate 36 scosse (23); 3 scosse alle 16 e alle 13 della notte (24).

1 dicembre 1570: Ferrara, continuazione delle scosse (25); replica con risentimento nelle ville circostanti di Bondeno, Ficarolo e Vico, dove l'acqua fuoriuscì dai pozzi (26).

2 dicembre 1570: Ferrara, avvertite 20 scosse (27).

3 dicembre 1570: Ferrara, avvertite 5 o 6 scosse (28); alle 14, 15, 19, 23 e alle 3, 5, 11 della notte; cadde il resto del muro di S. Giovanni Battista (29).

4 dicembre 1570: Ferrara, replica non molto violenta (30); scosse alle 15, 18 e alle 24 (31).

5 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 15, 18, 23 (32); scossa violenta e rovine a Belriguardo (33).

6 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 15, 18 e 23 (34).

7 dicembre 1570: Ferrara, ore 20 GMT scossa molto forte lunga un «Avemaria» che fece tremare le case (35); 5 scosse durante la notte (36); una scossa pericolosa (37).

8 dicembre 1570: Ferrara, ore 8 GMT, 20-25 scosse (38). Ligorio (39) ricorda anche una scossa di risentimento a Montesanto.

9 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 14, 15, 21 e 10 scosse durante la notte. Danni alla villa ducale di Belriguardo, rovinata negli stessi punti danneggiati dal terremoto del 1561; si ruppe inoltre la torre dell'orologio, i soffitti di alcune camere e parti delle logge (40).

10 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 15, 22, e durante la notte 3 scosse alle 2 e alle 11 (41).

29 novembre 1570: scosse alle 15 e 24, e alle 3 e 13 della notte (22).
30 novembre 1570: Ferrara, furono contate 36 scosse (23); 3 scosse alle 16 e alle 13 della notte (24).
1 dicembre 1570: Ferrara, continuazione delle scosse (25); replica con risentimento nelle ville circostanti di Bondeno, Ficarolo e Vico, dove l'acqua fuoriuscì dai pozzi (26).
2 dicembre 1570: Ferrara, avvertite 20 scosse (27).
3 dicembre 1570: Ferrara, avvertite 5 o 6 scosse (28); alle 14, 15, 19, 23 e alle 3, 5, 11 della notte; cadde il resto del muro di S. Giovanni Battista (29).
4 dicembre 1570: Ferrara, replica non molto violenta (30); scosse alle 15, 18 e alle 24 (31).
5 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 15, 18, 23 (32); scossa violenta e rovine a Belriguardo (33).
6 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 15, 18 e 23 (34).
7 dicembre 1570: Ferrara, ore 20 GMT scossa molto forte lunga un «Avemaria» che fece tremare le case (35); 5 scosse durante la notte (36); una scossa pericolosa (37).
8 dicembre 1570: Ferrara, ore 8 GMT, 20-25 scosse (38). Ligorio (39) ricorda anche una scossa di risentimento a Montesanto.
9 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 14, 15, 21 e 10 scosse durante la notte. Danni alla villa ducale di Belriguardo, rovinata negli stessi punti danneggiati dal terremoto del 1561, si ruppe inoltre la torre dell'orologio, i soffitti di alcune camere e parti delle logge (40).
10 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 15, 22, e durante la notte 3 scosse alle 2 e alle 11 (41).
11 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 14, 15, 23 (42).
12 dicembre 1570: Ferrara, 3 scosse alle 15 e alle 23 e 3 scosse alle 11 della notte (43).
13 dicembre 1570: Ferrara, ore 23 GMT scossa forte che causò danni alle mura (44); scosse avvertite alle 14, 24 e alle 3, 8, 13 della notte (45).
14 dicembre 1570: Ferrara, avvertite 3 o 4 scosse ogni ora (46), ore 19, scossa modesta, alle ore 23 scossa molto forte; rimasero danneggiati palazzo Tassoni e la chiesa di S. Andrea. Passeri (47) precisa che la scossa più lunga avvenne alle ore 6, e alle 22 GMT una minore fu sentita anche a Castelbolognese e San Pietro in Casale.
15 dicembre 1570: Ferrara, 4-5 scosse fino alle ore 9 GMT (48); Ligorio (49) ne menziona due alle 14 e alle 19; scosse di risentimento avvertite anche a San Pietro in Casale, Castelbolognese e Bologna.

16 dicembre 1570: Ferrara, 11 scosse dalle 3 alle 11 della notte (50).
17 dicembre 1570: Ferrara, fra le 5 e le 6 GMT avvertite alcune repliche (51); una scossa avvertita alle 17 GMT (52); 4 scosse durante la notte (53).
18 dicembre 1570: Ferrara, replica alle 14 GMT con più di 60 scosse fino alla mattina (54); numerose scosse alle 18 GMT (55); scosse alle 15, 19, 22 del giorno e alle 3, 7, 12 della notte (56).
19 dicembre 1570: Ferrara, numerose scosse (57).
20 dicembre 1570: Ferrara, 2 scosse alle 17 e 19, e 9 scosse durante la notte (58).
21 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 14 e alle 24 (59).
22 dicembre 1570: Ferrara, 5 o 6 scosse leggere dalle 14 GMT con repliche fino alla mattina del giorno successivo (60).
23 dicembre 1570: Ferrara, scosse leggere fino alle 3 (61); Ligorio (62) ricorda repliche alle 17, 18, 23.
24 dicembre 1570: Ferrara, scosse leggere fino alle 15 GMT (63); 3 scosse alle 12 (64).
25 dicembre 1570: Ferrara, tre scosse alle 6 GMT, la prima forte e le altre due meno intense (65); 2 scosse alle 10 e alle 13 (66).
26 dicembre 1570: Ferrara, 3 scosse deboli tra le 16 e le 17 avvertite anche a Massalombarda e Belriguardo (67).
27 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 7 e alle 8 della notte ricordate, con danni a Focomorto (68).
28 dicembre 1570: Ferrara, alle 4 GMT avvertite forti scosse (69); scosse alle 5 e 8 della notte, e alle 13 (70).
29 dicembre 1570: Ferrara, scosse leggere al vespro (16.50 GMT) (71); scosse alle 13 e alle 14 (72).
30 dicembre 1570: Ferrara, 3 scosse alle 16 e altre nella notte alle 5, 11 e alle 13 (73).
31 dicembre 1570: Ferrara, scosse leggere alle ore 13 GMT (74); Ligorio (75) menziona scosse alle 21 e alle 10 della notte e segnala che queste scosse causarono danni a un lazzaretto per malati di peste situato a Boschetto.
1 gennaio 1571: Ferrara, scosse avvertite alle 10, 13 e 15 (76).
2 gennaio 1571: scossa molto violenta avvertita nella villa di Ronco, a 10 miglia da Ferrara; la scossa causò l'apertura del canale da Comacchio a Belriguardo (77).
3 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 4, 5 e 7 della notte; tre altre repliche tra le 10 e le 13, una delle quali molto forte venne sentita anche a Imola, Faenza e Lugo (78).
4 gennaio 1571: Ferrara, alle 4 GMT due forti scosse e alle 22 altre non specificate (79).
5 gennaio 1571: Ferrara, 2 scosse (80).
6 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 7, 9, 11 (81); due repliche molto forti alle 22 GMT spinsero quelli che erano rientrati a rifugiarsi nuovamente in campagna (82).

- 21 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 14 e alle 24 (59).
22 dicembre 1570: Ferrara, 5 o 6 scosse leggere dalle 14 GMT con repliche fino alla mattina del giorno successivo (60).
23 dicembre 1570: Ferrara, scosse leggere fino alle 3 (61); Ligorio (62) ricorda repliche alle 17, 18, 23.
24 dicembre 1570: Ferrara, scosse leggere fino alle 15 GMT (63); 3 scosse alle 12 (64).
25 dicembre 1570: Ferrara, tre scosse alle 6 GMT, la prima forte e le altre due meno intense (65); 2 scosse alle 10 e alle 13 (66).
26 dicembre 1570: Ferrara, 3 scosse deboli tra le 16 e le 17 avvertite anche a Massalombarda e Belriguardo (67).
27 dicembre 1570: Ferrara, scosse alle 7 e alle 8 della notte ricordate, con danni a Focomorto (68).
28 dicembre 1570: Ferrara, alle 4 GMT avvertite forti scosse (69); scosse alle 5 e 8 della notte, e alle 13 (70).
29 dicembre 1570: Ferrara, scosse leggere al vespro (16.50 GMT) (71); scosse alle 13 e alle 14 (72).
30 dicembre 1570: Ferrara, 3 scosse alle 16 e altre nella notte alle 5, 11 e alle 13 (73).
31 dicembre 1570: Ferrara, scosse leggere alle ore 13 GMT (74); Ligorio (75) menziona scosse alle 21 e alle 10 della notte e segnala che queste scosse causarono danni a un lazzaretto per malati di peste situato a Boschetto.
1 gennaio 1571: Ferrara, scosse avvertite alle 10, 13 e 15 (76).
2 gennaio 1571: scossa molto violenta avvertita nella villa di Ronco, a 10 miglia da Ferrara; la scossa causò l'apertura del canale da Comacchio a Belriguardo (77).
3 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 4, 5 e 7 della notte; tre altre repliche tra le 10 e le 13, una delle quali molto forte venne sentita anche a Imola, Faenza e Lugo (78).
4 gennaio 1571: Ferrara, alle 4 GMT due forti scosse e alle 22 altre non specificate (79).
5 gennaio 1571: Ferrara, 2 scosse (80).
6 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 7, 9, 11 (81); due repliche molto forti alle 22 GMT spinsero quelli che erano rientrati a rifugiarsi nuovamente in campagna (82).
7 gennaio 1571: Ferrara, scosse molto forti alle 5 GMT (83); Ligorio (84) ricorda scosse alle 5 e 13, e una molto forte alle 11.
8 gennaio 1571: Ferrara, 8 scosse alle 5, cadde parte della chiesa di S. Andrea (85).
9 gennaio 1571: Ferrara, 4 scosse alle 2 della notte (86).
10 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 22, 23, 24; alle 5 della notte fu avvertita anche a Piacenza, Fidenza e Parma (87).
- 1 giugno 1571: scossa che fece tremare il camerino della cancelleria (131).
13 giugno 1571: Ferrara, scossa avvertita alle 16 GMT (132).
7 agosto 1571: Ferrara, scossa che causò la rottura di un erpice nel Duomo (133).
25 agosto 1571: Ferrara, scossa molto forte alle 5.20 (134); la scossa causò la caduta del muro della chiesa degli Angeli (135).
14 novembre 1571: Ferrara, scosse alle ore 19 e alle 24 GMT (136).
16 novembre 1571: Ferrara, scossa alle 6 GMT, seguita da 5 o 6 repliche fino alle 22 GMT (137).
24 dicembre 1571: Ferrara, scossa avvertita alle 2 GMT (138).
28 dicembre 1571: Ferrara, scossa avvertita alle 23 GMT (139).
1 gennaio 1572: Ferrara, 2 scosse alle 14 GMT (140); secondo Canigiani (141) alle 15 GMT.
17 gennaio 1572: 2 scosse alle 0.30 e 1.45 GMT (142).
20 gennaio 1572: Ferrara, scossa avvertita alle 1 GMT (143).
1 marzo 1572: Ferrara, scossa alle 24 GMT (144).
10 marzo 1572: Ferrara, scossa alle 19.40 GMT (145).
21 marzo 1572: Ferrara, scosse leggere (146).
4 giugno 1572: Ferrara, scossa leggera tra le 5 e le 6 GMT sentita anche a Parma, dove fece cadere alcuni comignoli, a Modena, Finale Emilia, Stellata e San Felicesul Panaro (147).
12 luglio 1572: Ferrara, scossa di solo risentimento (148).
4 agosto 1572: Ferrara, scossa leggera alle 5.45 GMT (149).
5 settembre 1572: Ferrara, scossa non lieve alle 19.45 GMT (150).
23 settembre 1572: Ferrara, scossa molto forte alle 22.30 GMT (151).
25 settembre 1572: Ferrara, da mezzogiorno al tramonto 6 scosse (152).
23 dicembre 1572: Ferrara, tre scosse forti alle 2.30 fecero tremare le case a Ferrara, meno forte la scossa delle 8 GMT (153); apertura di crepe nel palazzo estense di Belriguardo (154).
6 gennaio 1573: Ferrara, scossa alle 20 GMT (155).
22 gennaio 1573: 2 scosse forti avvertite fra le 12 e le 13 GMT (156); De Robertis (157) ne ricorda una anche alle 10.30 GMT.
24 gennaio 1573: Ferrara, scossa avvertita alle 13.30 GMT (158).
2 dicembre 1573: scosse di risentimento avvertite a Mantova e Verona.
13 dicembre 1573: Ferrara, scossa forte avvertita alle 1 GMT (159).
14 dicembre 1573: Ferrara, scossa avvertita alle 17 GMT (160).
21 dicembre 1573: Ferrara, scossa alle 20 GMT (161).

Ligorio Pirro, *Libro di diversi terremoti*, a cura di E. Guidoboni (Edizione nazionale delle opere di Pirro Ligorio, *Libri delle antichità*, Torino, volume 28, codice Ja.II.15). Roma 2005

Dalle descrizioni di Pirro Ligorio si possono cogliere importanti indicazioni su come il sottosuolo in occasione degli eventi del 1570-1574 abbia dato luogo ad effetti che sono stati visti anche durante gli eventi del 2012. La descrizione dei "venti sotterranei" che "cercano sfogo" hanno tutta l'aria di essere le fuoriuscite di gas metano naturale, presente nei nostri terreni, e rilevati abbondantemente nel 2012, come a Maiero di Portomaggiore, dove per alcuni giorni dopo il sisma del 20 maggio ci fu fuoriuscita di gas metano da fessure nel terreno, gas presente anche a modeste profondità in questa zona.

" . . .

dalle piazze si sentivano le altissime vociferazioni, et per tutto pareva sentire cose che profundasero, et nell'aere quel vapore che uscì fuori della terra s'accese in fiamma, et cadeva nebbia puzzulente di vapore d'acqua rarefatto, et spento dal ventoso et igneo et ventoso et secco. Bollevano l'acque del Po fiume, bollevano quelle del Castello Tialdo, et quel del castello vecchio, et strepitavano, esso bello edificio del castello vecchio quantunque sia fabrica per grossezza di muri et per saldezza dell'opera lateritia, tremò grandemente, ricevette grandissimo danno dalla parte di dentro di uno degli appartamenti, la quale parte per l'altro terremoto già nove anni sono fece alcuni resentimenti, ma non sendo curato anzi fu perturbato da qualche fabrica che lo incarco in questo terremoto ha lasciato da una parte il muro didentro cadere, et tirato atterra alcune stanze; nel resto delli danni ricevuti, sono facili et rimediabili, per che il moto l'ha scosso per tre lati, et a quello appartamento che cadde solo duoi ragazzi vi morirono mentre stavano a' fare colatione, non havendo seguitati gli altri ch'erano saltati fuori et questi erano duoi servidori del Conte Scipione Sacrato. Sendo partiti lo principe et la principessa con tutta la corte già, questo luogo patì come ppatirono tutte le

Venerdì fu tutto di pioggia, tirò il terremoto alle quattordici, alle quindici, alle sedici. Piovento anchor' la notte alle tre hore l'una dopo l'altra, all'hore sette si senti, et all'undici, et alle dodici fu molte volte sentito, ma più aspramente alluogho chiamato Montesanto, paese bonificato dalle core et valli ove fece grandissimo terrore agli habitatori delle Ville. Sabato, fu pioggia la matina, il dì sole, si senti il moto portentoso alle quattordice, alle quindice hore et alle ventuno. La Notte sendo oscura, tirò diece volte, ma debolmente, come lontano, et a mezzodi rinovò l'antiche piaghe già saldate, a Belriguardo Magnificentissima Villa della Magna Casa d'Este a' dieci miglia discosto dalla città, et aperse appuntino tutte le vecchie crepature state riserrate et riboccate, le quali furono fatte nell'anni passati di un altro terremoto che tirò nove anni sono; così dunque questa grandissima fabrica scuotendosi hora, rovinarono alcuni caminihe, sfondarono i tetti delle camere dipintecolla favola di Esioke et quella delle Sibylle, et degli huomini illustri, ove si vedono alcune aperture vecchie rescoperte, sconquassò la torre di esso luogo dell'Horiolo, et smosse alcune parti delle loggie et portichi di ambeduoi cortili, gittò atterra le merlature delle muraglie che circondano et serrano esso grande edificio; ma li danni, che haveva havuti nelli sudetti nove anni pprima, da un altro accidente simile haveva alcune lesioni malamente ristaurate, là onde da questa nuova scossione sono state aperte nelle medesime parti: et questo luogho anchora è uno delli bonificati dalli principi Estensi, et levati l'antichi stagni, atti già dal Vecchio Ramo del pò, che vi passava. Chi bene consiera dunque in questo luogho dove spirò una volta il terremotovi è spirata l'altra pper le medesime fenditure, tal che donde passa una volta ritorna a' passarvi un'altra: et vedesi che una volta facendo danni nei cammini et nelli merli, et nelle camere et nelle loggie, così etiandio quest'altra ha fatto il medesimo, ha mosse le medesime loggie nelli istessi luoghi delli grandi inchiostri, et tirato atterra i merli, et i camini che superavano l'altissimo edificio, tal che dovunque sono state paludi il terremoto vi concorre. Domenica fu nella matina pioggia, ma debole, et il terremoto si fece sentire alle quidici alle ventidue

Si può concludere che il territorio di Voghiera è stato interessato da eventi sismici che hanno procurato danni, e questo è documentato nelle fonti scritte arrivate a noi. Dunque è una pericolosità nel territorio comunale di cui tenerne in debito conto, incentivando la cultura delle prevenzione con l'adeguamento sismico degli edifici e delle infrastrutture.

10. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Albarello D., Castellaro S., (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In "Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica", *Ingegneria sismica*, a. XXVIII, n. 2.
- Amorosi A., (1997a) - Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sedimentary Geology*, 109: 135-153.
- Amorosi A., (1997b) - Miocene shallow-water deposits of the northern Apennines: A stratigraphic marker across a dominantly turbidite foreland-basin succession. *Geologie en Mijnbouw*, v. 75, p. 295-307.
- Amorosi A. & Farina M., (1995) - Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (Northern Italy). *Giornale di geologia*, 57: 3-16.
- ASTM, (1985) - Classification of Soils for Engineering Purposes. Annual Book of ASTM Standards, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, 1985, pp. 395-408.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P., (1990) - Structural model of Italy - Sheet n. 1, in: Castellarin A., Coli M., Dal Piaz G.V., Sartori R., Scandone P., Vai G.B. (Eds.), *Structural model of Italy*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Tanini C. and Vannucci G., (2004) - Seismotectonic Map of the Emilia-Romagna Region, 1:250.000. Regione Emilia-Romagna - CNR.
- Boccaletti M., Martelli L., (Coords) (2004) - Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna scala 1:250.000 e note illustrative. SELCA, Firenze.
- BONDESAN M., MASE' G., 1984. Geomorfologia del territorio di Voghenza e Voghiera. In "Voghenza: una necropoli di età romana nel territorio ferrarese", pp. 11-21, Ferrara.
- Bruun P., (1962) - Sea-level rise as a cause of shore erosion. *American Society of Civil Engineers Proceedings, Journal of the Waterways and Harbors Division* 88, 117-130
- Burrato P., Ciucci F., Valensise G., (2003) - An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting. *ANNALS OF GEOPHYSICS* 46.
- Burrato P., Vannoli P., Fracassi U., Basili R., Valensise G., (2012) - Is blind faulting truly invisible Tectonic-controlled drainage evolution in the epicentral area of the May 2012, Emilia-Romagna earthquake sequence (Northern Italy). *ANNALS OF GEOPHYSICS* 55.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 187-Codigoro. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2005) - Foglio 199-Parma Sud. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 203-Poggio Renatico. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 204-Portomaggiore. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 205-Comacchio. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 202-San Giovanni in Persiceto. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2005) - Foglio 240-241 Forlì-Cervia. APAT-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Castellaro S., (2012) - H/V: un contributo oltre Vs30. Tecniche spedite per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici, a cura di Marco Mucciarelli, ARACNE editrice, 448 pp.
- Castellaro S. e Mulargia F., (2011) - Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.

- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., (2006) - CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://csi.rm.ingv.it>
- Cerrina Feroni A., Ottria G., Martinelli P., Martelli L., Catanzariti R., (2002) - Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, 1:250.000. SELCA, Firenze.
- Commissione tecnica MS3907, (2014) - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS vers. 3.0.
http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_3.0_open.pdf.
- Correggiari A., Field M.E., Bortoluzzi G., Ligi M., and Penitenti D., (1992b) - Ridge and swale morphology on the North Adriatic epicontinental shelf. *Rapport CIESM* 33:125.
- D.A.L. Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02 febbraio 2007 - Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della LR 20/2000 per Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. *Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna* n. 64 del 17/05/2007.
- D.C.P. Provincia di Ferrara n. 32 del 29/05/2014 - Variante al PTCP della Provincia di Ferrara: ambiti produttivi sovracomunali e sistema infrastrutturale, contenente una Relazione di Quadro Conoscitivo inerente la sismicità in Provincia di Ferrara;
- D.G.R. Emilia-Romagna n. 1919/2013: Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/13 a favore degli Enti locali.
- DISS Working Group, (2015) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>. INGV 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Di Dio G. & L. Caporale - "Un modello fisico tridimensionale della conoide alluvionale del Fiume Reno per la gestione degli acquiferi e lo studio della subsidenza." BRIGHENTI G. & MESINI E. (a cura di), *Problemi di Geoingegneria: estrazione di fluidi e subsidenza*, *GEOfluid* 98 (1998): 67-76
- Dominguez J.M.L. & Wanless H.R., (1991) - Facies architecture of a falling sea-level strandplain, Doce river coast, Brazil. In: Swift djp and oertel gf (Eds), *Shelf Sandstone Bodies (special issue)*. *Int Assoc Sedimentol* 14: 259-289.
- Emergeo Working Group, (2013) - Liquefaction phenomena associated with the Emilia earthquake sequence of May–June 2012 (Northern Italy). *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.*, 13, 935-947.
- Farabegoli E., Onorevoli G., Ruffino C., Costantini B., (1997) - Subsurface structure of southern Po Plain Quaternary deposits (Ravenna Province, Italy). *Special publication*, Bologna University-Agip (Eds.) 12.
- Galli P., Castenetto S., Peronace E., (2012a) - Terremoti dell'Emilia - Maggio 2012. Rilievo macrosismico MCS speditivo. Rapporto finale. 15 giugno 2012, <http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf>.
- Galli P., Castenetto S., Peronace E., (2012b) - The MCS macroseismic survey of the Emilia 2012 earthquakes. *Annals of Geophysics* Vol. 55, No 4.
- Gruppo di Lavoro MPS, (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il DPC, INGV, Milano-Roma, pp 65 + 5 appendici.
- Gruppo di Lavoro MS, (2008) -Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e CD-rom. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G., (2007) - CFII4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and the Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- Idriss I. M., Boulanger R. W., (2008) - Soil Liquefaction during earthquakes. MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, 469 pp.
- ISIDe Working Group, (INGV, 2010) - Italian Seismological Instrumental and parametric database. <http://iside.rm.ingv.it>

- Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokida K., Yasuda S., (1978) - A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan". 3rd International conference on microzonation, San Francisco, pp. 885-896.
- Locati M., Camassi R. & Stucchi M. (eds.), (2011) - DBMI11, the 2011 version of the Italian Macro seismic Database. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.
- L.R. Emilia-Romagna n. 19 del 30 ottobre 2008 - Nome per la riduzione del rischio sismico. Bollettino Ufficiale Regione Emilia-Romagna n. 44 del 12 marzo 2010.
- Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Romani M., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi G., Madiati C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G., Brammerini F., Speranza E., Conte C., Di Salvo G., Giuffrè M., Zuppiroli M., Guidi F., Vona V., Manicardi A., Mengoli B., Ugoletti C., Ricci L., (2013) - Microzonazione Sismica dell'area epicentrale del terremoto della pianura emiliana del 2012 (Ord. 70/2012). Atti 32° Convegno Nazionale Gngts, Trieste. Isbn: 978-88-902101-7-4.
- Meletti C. & Valensise G. (a cura di), (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Mulargia F. e Castellaro S.; 2007: Single station passive seismic stratigraphy to almost 2 km depth, Roma, GNGTS.
- Mucciarelli M. (a cura di), (2012) - Tecniche sveditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici.
- N.T.C., (2008) - Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008. Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, www.cslp.it, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- O.P.C.M. 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord.
- Picotti V., Pazzaglia F.J., (2008) - A new active tectonic model for the construction of the Northern Apennines mountain front near Bologna (Italy). *Journal of Geophysical Research*, 113(B8), pp. 1-24.
- Pieri M. & Groppi G., (1975) - The structure of the base of the Pliocene-Quaternary sequence in the subsurface of the Po and Veneto Plains, the Pedepennine Basin and the Adriatic Sea. *Structural model of Italy*, Quaderni de "La Ricerca Scientifica" 90, 409-415.
- Pieri M. & Groppi G., (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). C.N.R., Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl., 414, 1-13.
- Regione Emilia-Romagna Ordinanza n. 29 del 28 agosto 2012 - Criteri e modalità di assegnazione di contributi per la riparazione e il ripristino immediato di edifici e unità immobiliari ad uso abitativo danneggiati dagli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e temporaneamente o parzialmente inagibili.
- Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, (1998) - Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ufficio geologico – ENI-Agip, Divisione Esplorazione & Produzione. SELCA, Firenze, pp 120.
- Ricci Lucchi F., (1986) - The Oligocene to Recent foreland basins of the northern Apennines. In: Allen, P., Homewood, P. (Eds.), *Foreland basins*. Blackwell Scientific, Oxford, pp. 105-139.
- Ricci Lucchi F., Colalongo M.L., Cremonini G., Gasperi G., Iaccarino S., Papani G., Raffi S., Rio D., (1982) - Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico. In: Cremonini G., Ricci Lucchi F. (Eds.). *Guida alla Geologia del margine appenninico-padano* Pitagora-Technoprint, Bologna, pp. 17-46.
- Robertson P.K. & Wride C.E., (1998) - Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the CPT. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, No. 3.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M., (2011) - CPTI11, La versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, Milano Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11>.
- Sieberg A., (1930) - *Geologie der Erdbeben*. Handbuch der Geophysik, 2(4), 552-555
- Sonmez H., (2003) - Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environ Geology* 44(7), 862-871.

- Strobbia C., (2003) - Surface Wave Methods: acquisition, processing and Inversion. PhD dissertation, Politecnico di Torino, 317 pp.
- Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F., Azzaro R., (2007) - DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. Quad. Geofis. 49, 38 (in Italian), available at <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>.
- Swift D.J.P., (1975) - Barrier-island genesis: evidence from the central Atlantic shelf, eastern USA. *Sedimentary Geology* 14, 1–43.
- Swift D.J.P., Kofoed J.W., Saulsbury F.B., Sears P.C., (1972) - Holocene evolution of the shelf surface, central and southern Atlantic shelf of North America. In: Swift, D.J.P., Duane, D.B., Pilkey, O.H. (Eds.), *Shelf Sediment Transport: Process and Pattern*, Stroudsburg, Pennsylvania. Dowden Hutchinson & Ross, Stroudsburg, PA, pp. 499–574.
- Toscani G., Burrato P., Di Bucci D., Seno S., Valensise G., (2009) - Plio-Quaternary tectonic evolution of the Northern Apennines thrust fronts (Bologna-Ferrara section, Italy): seismotectonic implications. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 128.
- Veronese T., (2014) - Esperienze nei territori colpiti dal sisma dell'Emilia (maggio 2012) - Casi di studio, *Il Geologo dell'Emilia-Romagna*, n. 50.
- Veronese T., Romagnoli M., (2014) - Considerazioni sulla valutazione del rischio di liquefazione indotta da sisma, sui terreni della bassa pianura padana. *Il Geologo dell'Emilia-Romagna*.