



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



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

MICROZONAZIONE SISMICA

Il Livello di Approfondimento

Relazione Illustrativa

Regione Emilia–Romagna
Comune di Masi Torello (Fe)



Regione: Emilia Romagna	Soggetto realizzatore Dott. Geol. Thomas Veronese Collaboratori: Dott. Geol. Luca Lunghi Dott.ssa Geol. Sara Franciosi Indagini Geofisiche: ENVIA S.r.l. Cartografia: Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli	Data: Gennaio 2023
--	--	---

Gruppo di lavoro:

Microzonazione sismica di II livello:

Responsabile incaricato Dott. Geol. Thomas Veronese

Collaboratori Dott. Geol. Sara Franciosi
Dott. Geol. Luca Lunghi

Indagini geofisiche e interpretazione dati geofisici
ENVIA s.r.l.

Indagini geologiche in situ:
Dott. Geol. Thomas Veronese

Cartografia e progetto GIS:
Dott. Geol. Claudia Tomassoli

INDICE:

1.	INTRODUZIONE.....	2
1.1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
1.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1.	ASSETTO TETTONICO.....	7
2.2.	TERREMOTI STORICI E MAGNITUDO.....	17
2.2.1.	LA MAGNITUDO ATTESA.....	27
2.3.	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	31
	Legge 2/ 2/ 74 n. 64.....	31
	OPCM 3274 del 20/03/2003.....	32
	D.M. 14/09/2005.....	33
	OPCM 3519/2006.....	33
	D.M. 14/01/2008.....	34
	"Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007" per la Pianificazione territoriale ed urbanistica.....	34
	"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 2193, DEL 21 DICEMBRE 2015" PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA.....	35
	"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE N. 630 DEL 29 APRILE 2019.....	38
	"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 476 DEL 20 APRILE 2021 (E DGR INTEGRATIVA N. 564/2021).....	38
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL COMUNE DI MASI TORELLO.....	39
3.1.	CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE.....	39
3.2.	CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA.....	43
3.3.	CENNI SULLA SUBSIDENZA.....	47
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	53
4.1.	INDAGINI PREGRESSE.....	53
4.2.	INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	54
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	55
5.1.	SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO.....	59
5.2.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI).....	60
5.3.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES).....	60
5.4.	SUBSINTEMA DI BAZZANO – AES 6.....	62
5.5.	SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7.....	62
5.6.	SUBSINTEMA DI RAVENNA – AES 8.....	63
6.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	65
6.1.	CAUSE SCATENANTI PER LA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE.....	65
6.2.	DISTRIBUZIONE E DIMENSIONI DELLE FORME GEOMORFOLOGICHE.....	70
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	71
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	76
8.1.	CARTA DELLE INDAGINI.....	76
8.2.	CARTA GEOLOGICO TECNICA.....	78
8.3.	CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI F_0 DEL TERRENO.....	82
8.4.	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA.....	83
8.5.	CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (V_s).....	92
	Misure dirette mediante sismocono.....	93
	Indagini geofisiche.....	93
	Correlazione empirica da penetrometrie.....	94
8.6.	CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE.....	97
9.	CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	108
10.	BIBLIOGRAFIA.....	112

1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'amministrazione comunale di Masi Torello 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. 476 del 12 aprile 2021 Aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017), di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630" e sua integrazione D.G.R. n. 564 del 26/04/2021.

I fondi per questo studio sono stanziati dalla REGIONE EMILIA-ROMAGNA - Atti amministrativi - GIUNTA REGIONALE - Atto del Dirigente a firma unica DETERMINAZIONE - Num. 1899 del 03/02/2022 BOLOGNA, come segue.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA Atti amministrativi GIUNTA REGIONALE Atto del Dirigente DETERMINAZIONE Num. 1899 del 03/02/2022 BOLOGNA	
Proposta:	DPG/2022/2028 del 02/02/2022
Struttura proponente:	SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI DIREZIONE GENERALE CURA DEL TERRITORIO E DELL'AMBIENTE
Oggetto:	O.C.D.P.C. 780/2021: APPROVAZIONE SECONDO ELENCO DEGLI ENTI LOCALI DESTINATARI DEI CONTRIBUTI PER STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE DI EMERGENZA, IN ATTUAZIONE DELLA DELIBERA DI GIUNTA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA N. 1885 DEL 15/11/2021
Autorità emanante:	IL RESPONSABILE - SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI
Firmatario:	SERGIO MONTI in qualità di Responsabile di servizio
Responsabile del procedimento:	Sergio Monti

L'incarico è conferito con Numero RDO MEPA 3074498, STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO E ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA, di cui alla Delibera di Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 1885/2021" CUP J22C21002620006. Affidamento diretto (Art. 36, c. 2, lett. A, D.Lgs. 50/2016) con determinazione n. 52/LL.PP. del 19/07/2022; CIG 9091480E9F e CUP B19J21015280006.

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.

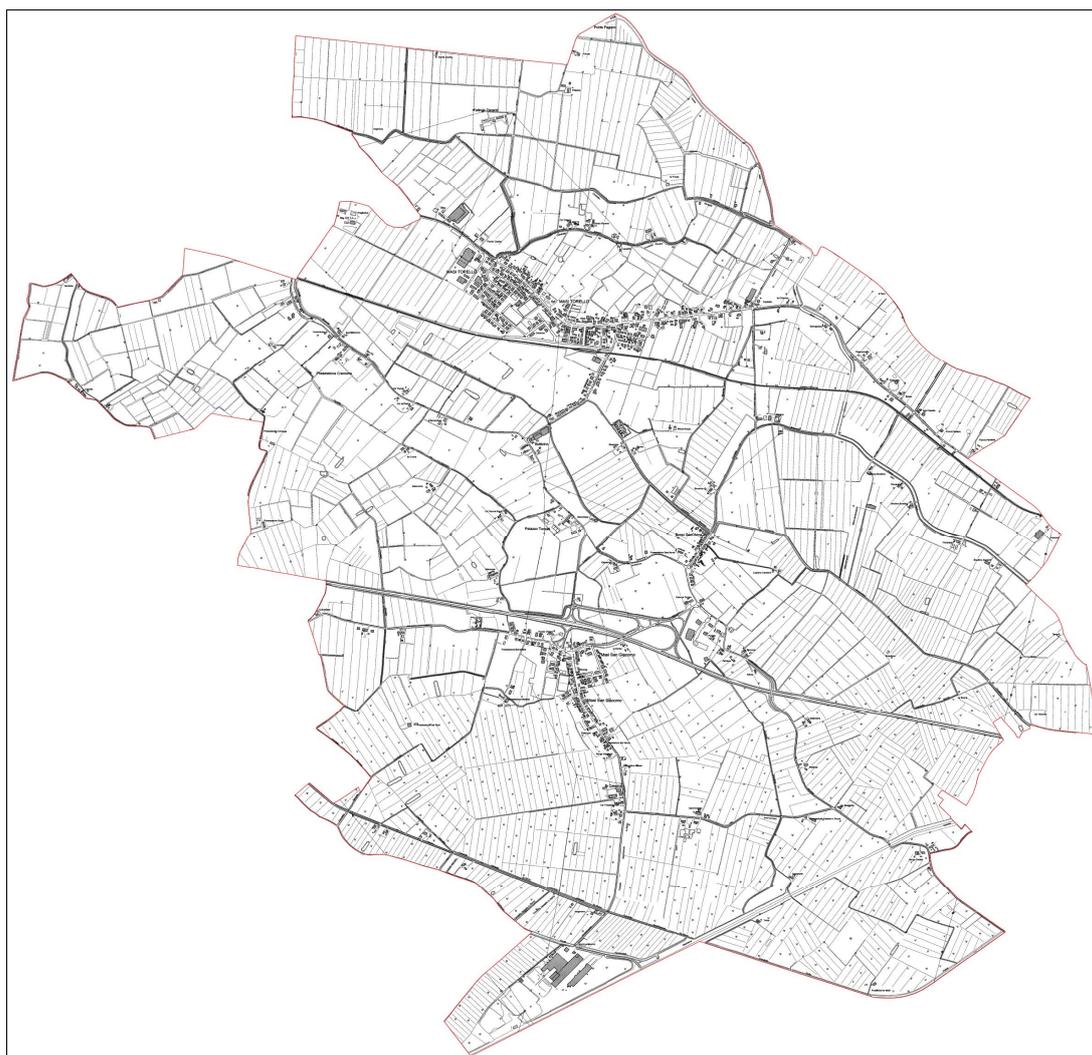
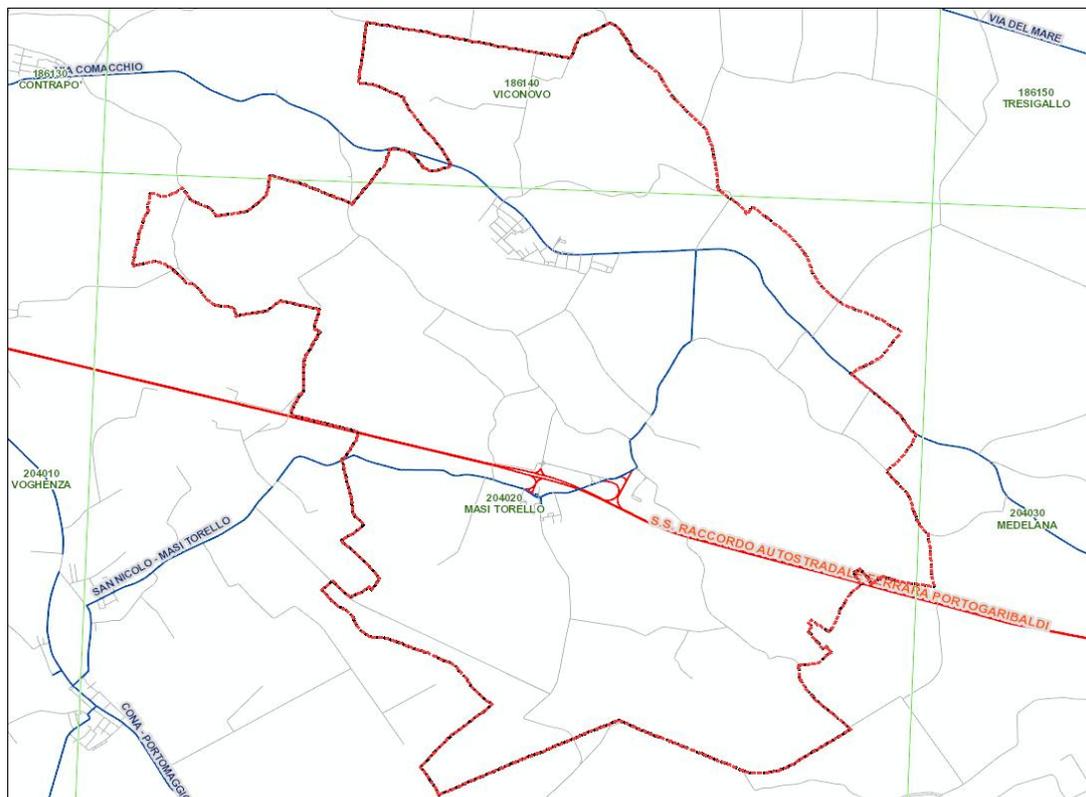
Le modalità tecniche di esecuzione e di applicazione della microzonazione sismica sul territorio italiano sono definite dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Masi Torello è compreso nella seguente cartografia:

- Scala 1: 50.000: Foglio 186 Copparo e Foglio 204 Portomaggiore,
- Scala 1: 25.000: Foglio 186 SO Copparo e Foglio 204 NO Portomaggiore.
- Scala 1: 5.000: Foglio 186140 Viconovo, 204020 Masitorello e 204030 Medelana.





TERRITORIO COMUNALE DI MASI TORELLO - provincia di Ferrara

1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2”, redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015), da qui in avanti “Standard MS 4.2”.
- “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.
- Deliberazione 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.
- Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 630/2019 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).
- Deliberazione della Giunta Regionale 12 aprile 2021, N. 476 Aggiornamento dell’ “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630
- Deliberazione della Giunta Regionale 26 aprile 2021, N. 566 “Approvazione dei criteri per l'attribuzione, la concessione e la liquidazione di contributi per studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei comuni caratterizzati da una pericolosità sismica a_g inferiore a 0,125g”.
- Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2245/2018 “Approvazione dei criteri per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei comuni caratterizzati da una pericolosità sismica A_g inferiore a 0,125g in attuazione dell'art. 8 della L.R. N. 19/2008, approvazione allegati A1 e A2.”
- L.R. 30/10/2008 n. 19 “Norme per la riduzione del Rischio Sismico”
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 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 Ministero e dei Trasporti 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”, pubblicato sulla G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018, suppl. ord. n. 8.
- Microzonazione sismica Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazione Versione 2.0, redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica DPCN.

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 Masi Torello 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).

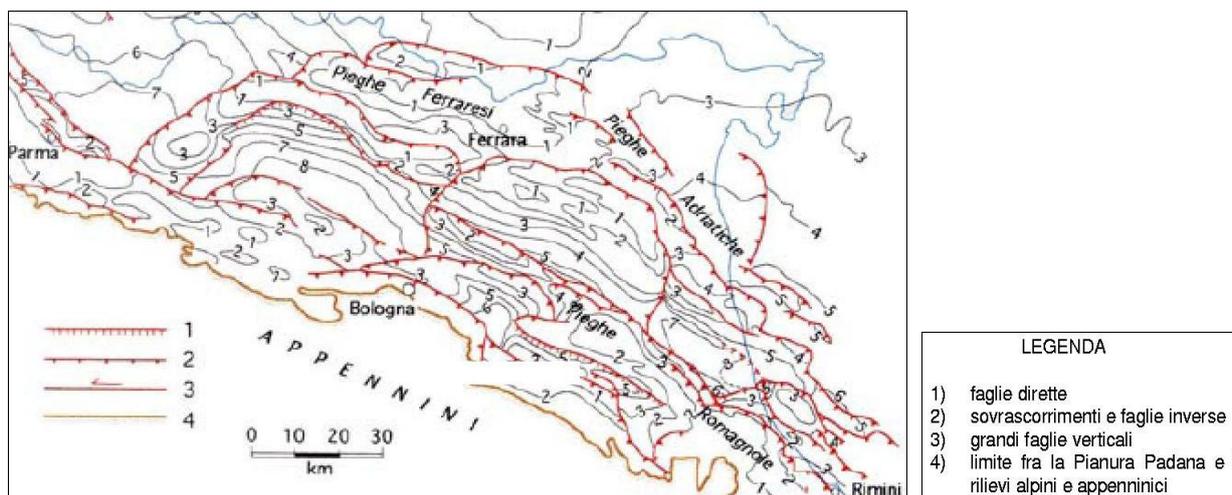


FIGURA 2-1 - Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di fatturazioni presenti (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992)

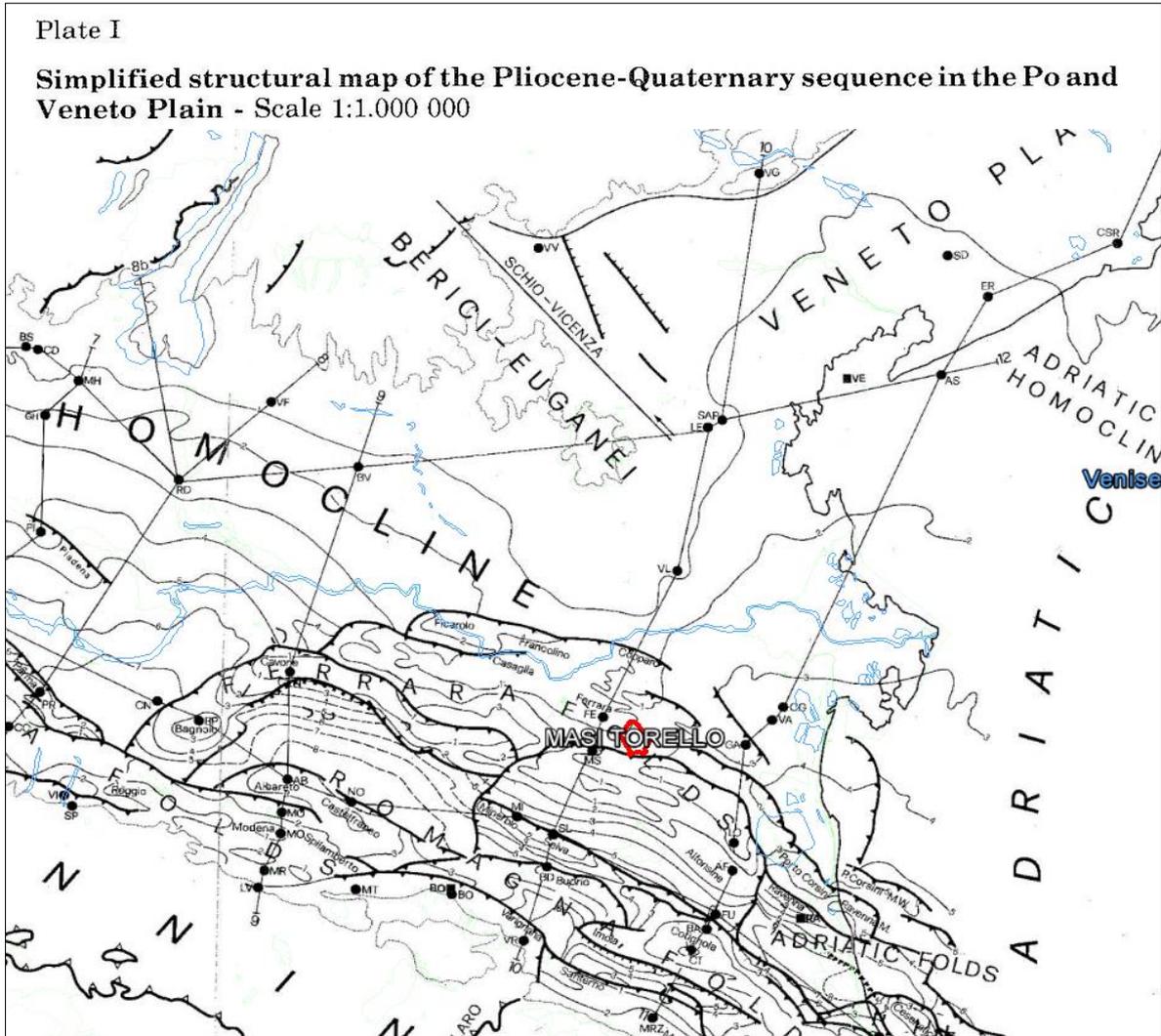


FIGURA 2-2 - Mappa strutturale semplificata della sequenza Pliocenico-Quaternaria della Pianura Padana

In FIGURA 2.3, 2.4 e 2.5, si riportano i 3 stralci delle Sezioni Geologiche n° 10 e 11.

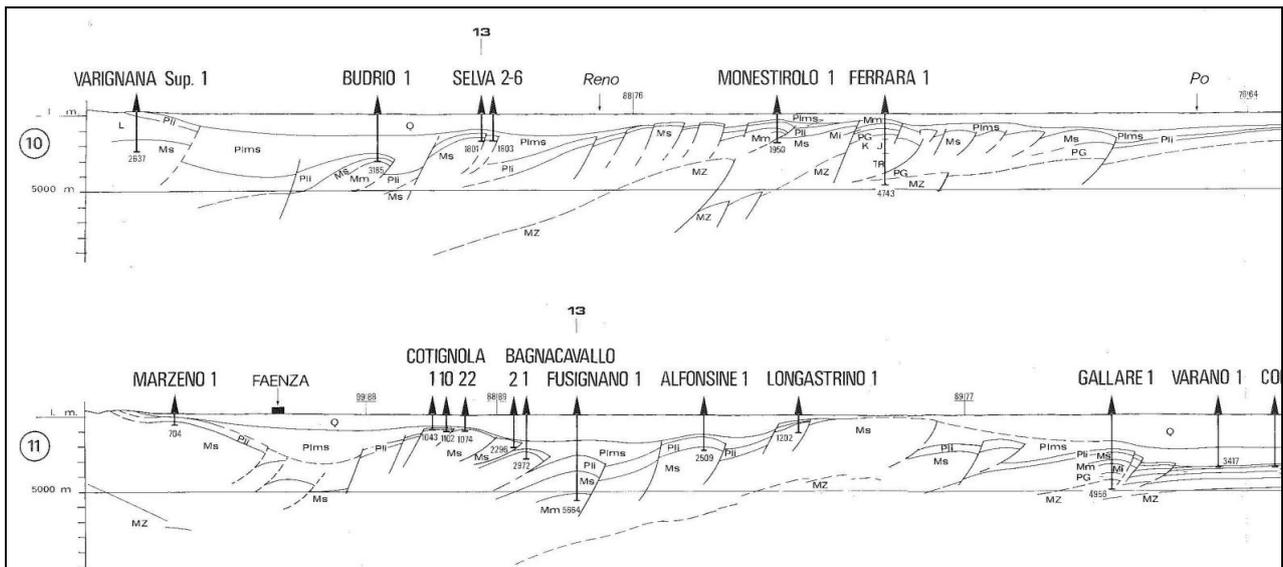


FIGURA 2-3 - Sezione geologica n° 10 e n°11 tra le quali si colloca il territorio comunale di Masi Torello - Primo tratto a sud

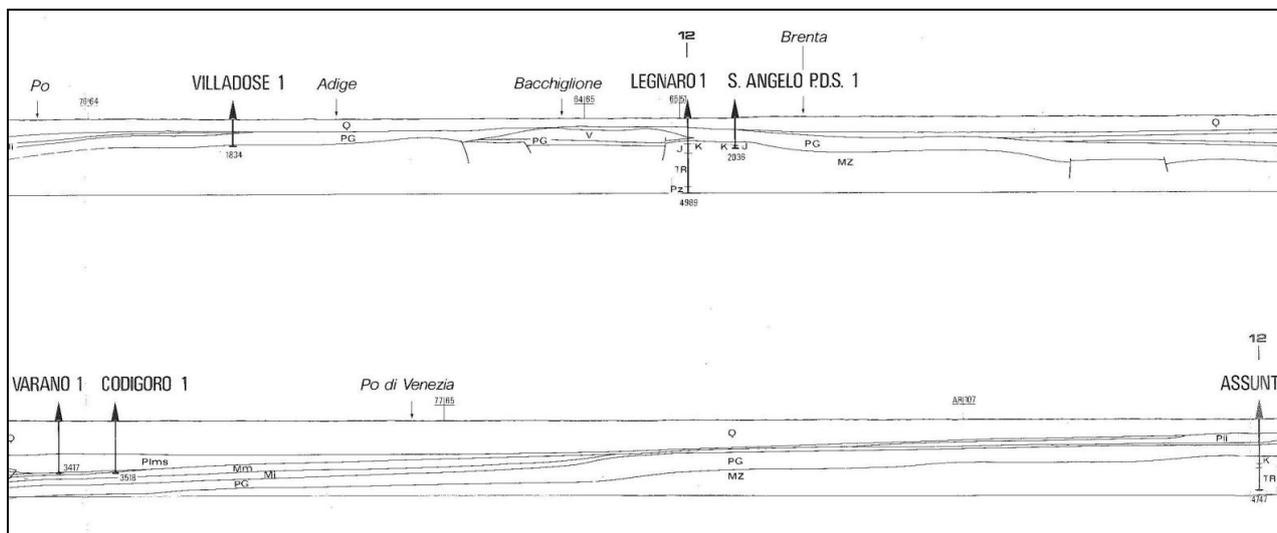


FIGURA 2-4 – Sezione geologica n° 10 e n° 11 tra le quali si colloca il territorio comunale di Masi Torello - secondo tratto centrale

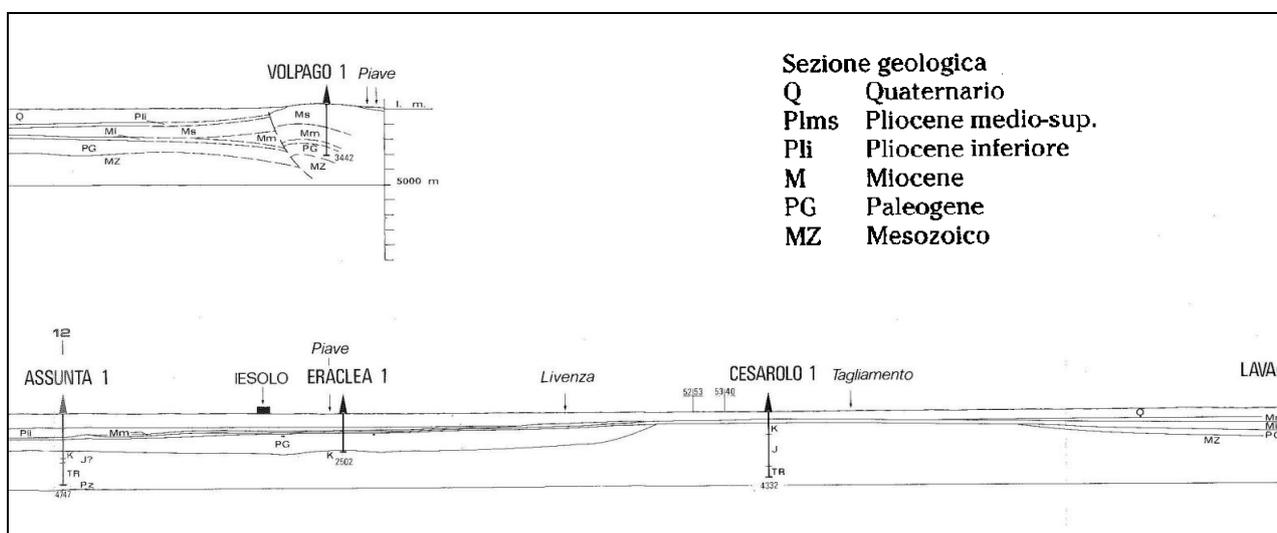


FIGURA 2-5 – Sezione geologica n° 10 e n° 11 tra le quali si colloca il territorio comunale di Masi Torello - terzo tratto a nord

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

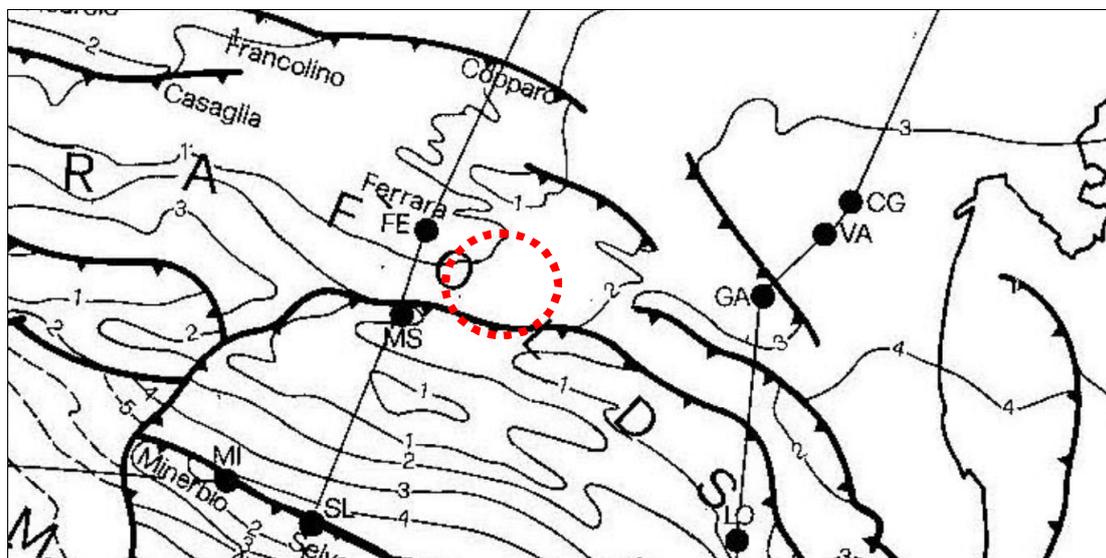


FIGURA 2-6 – Particolare della carta strutturale

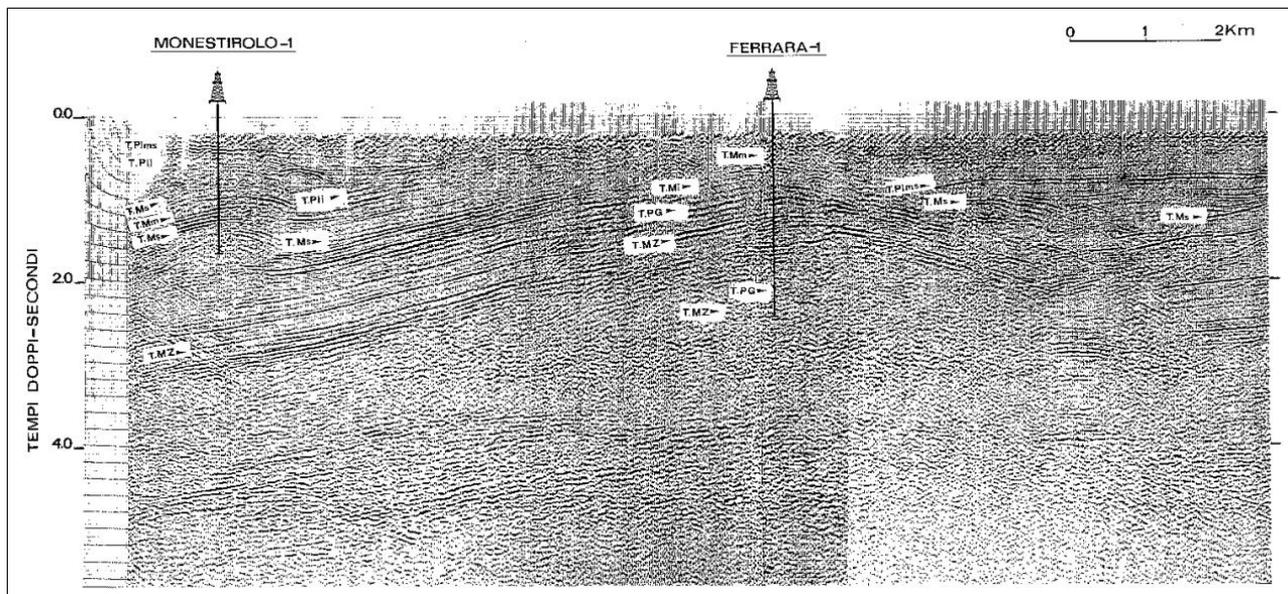


FIGURA 2-7 – Particolare della sezione ricostruita con le indagini geofisiche e le stratigrafie dei pozzi di esplorazione

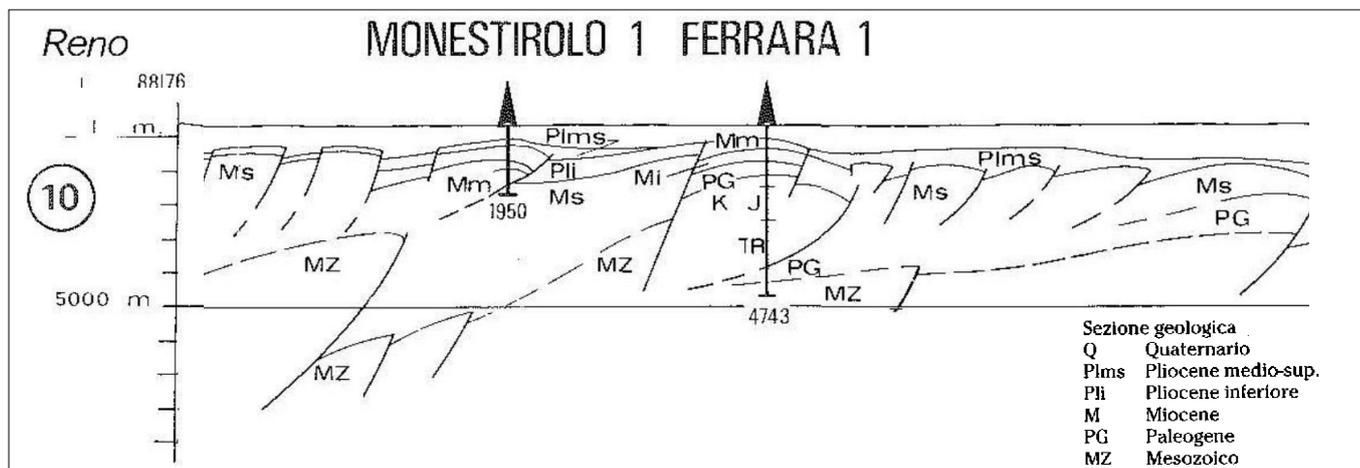


FIGURA 2-8 – Ricostruzione dettagliata dell'assetto tettonico strutturale sotto il territorio comunale. Si notino le due anticlinali su cui sono state fatte le perforazioni del pozzo Monestirolo 1 e Ferrara 1. Si notino le importanti faglie che hanno dislocato i sedimenti del Pliocene medio superiore, dimostrando la loro recente attività.

Nella FIGURA 2.9 viene riportata una versione più dettagliata della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe 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).

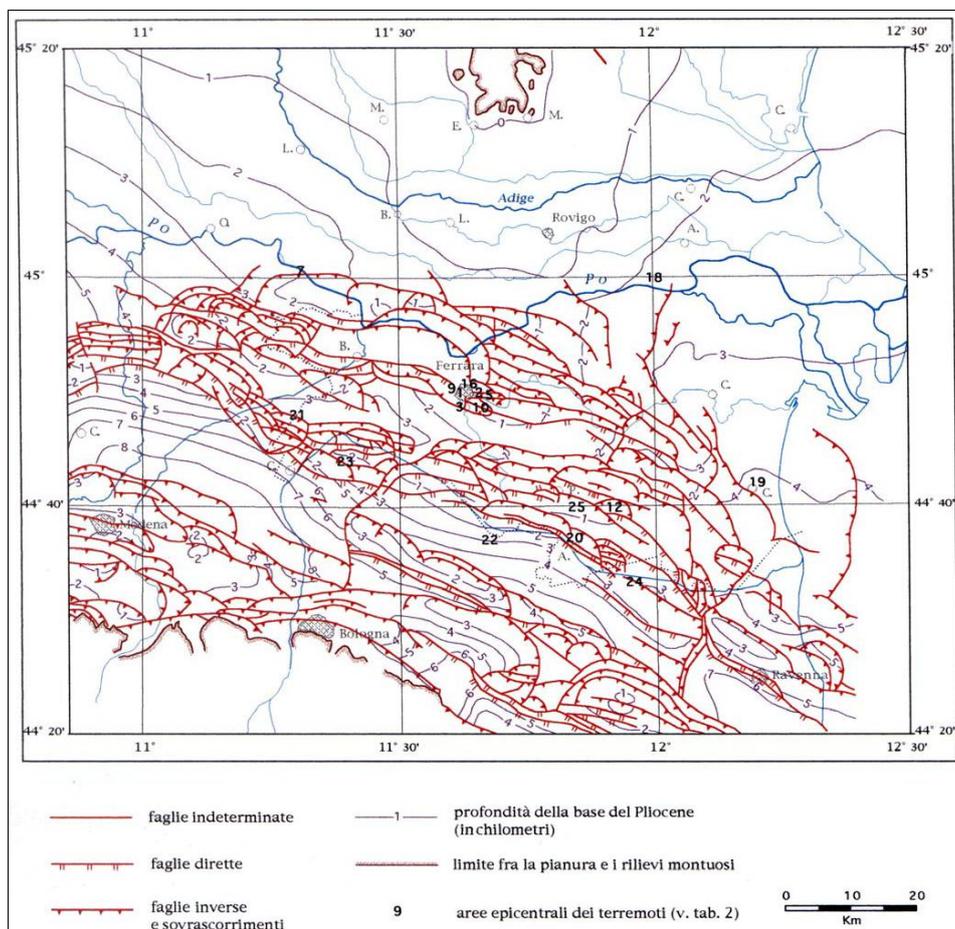


FIGURA 2-9 – Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR, 1992)

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 Pieghe Emiliane e Ferraresi (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.

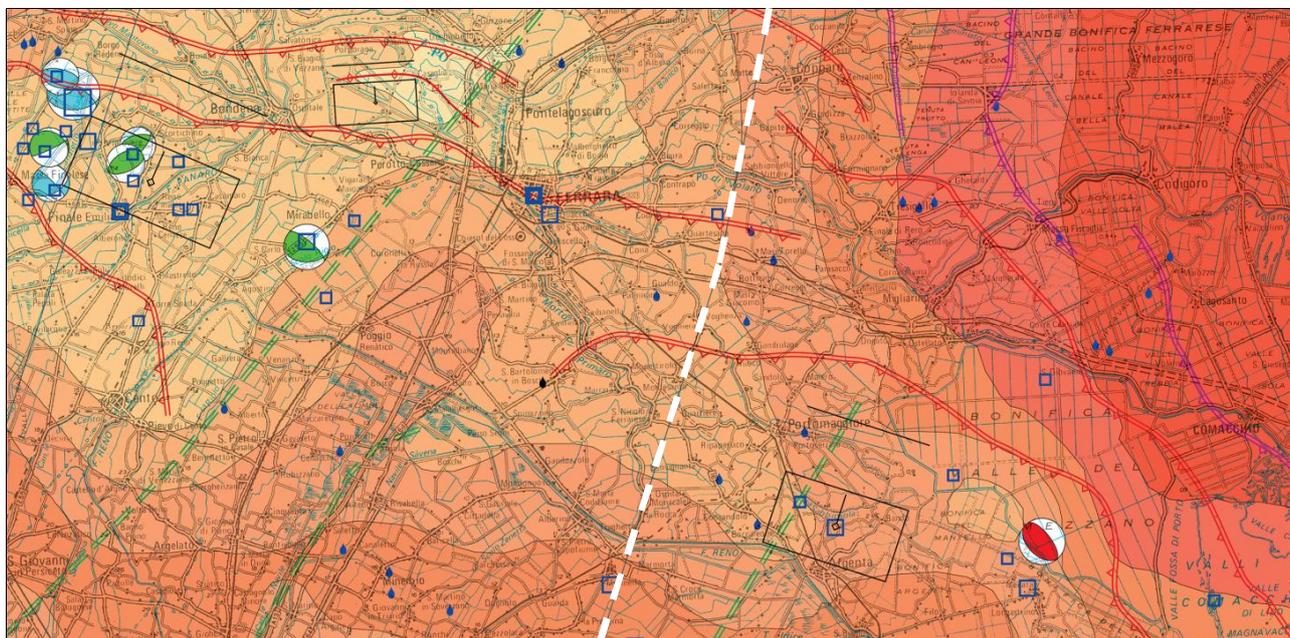
Nel 2017 è stata pubblicata la nuova Carta Tettonica dell'Emilia Romagna e aree limitrofe, a cura del gruppo di lavoro del Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna, costituito da:

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 2.10 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	



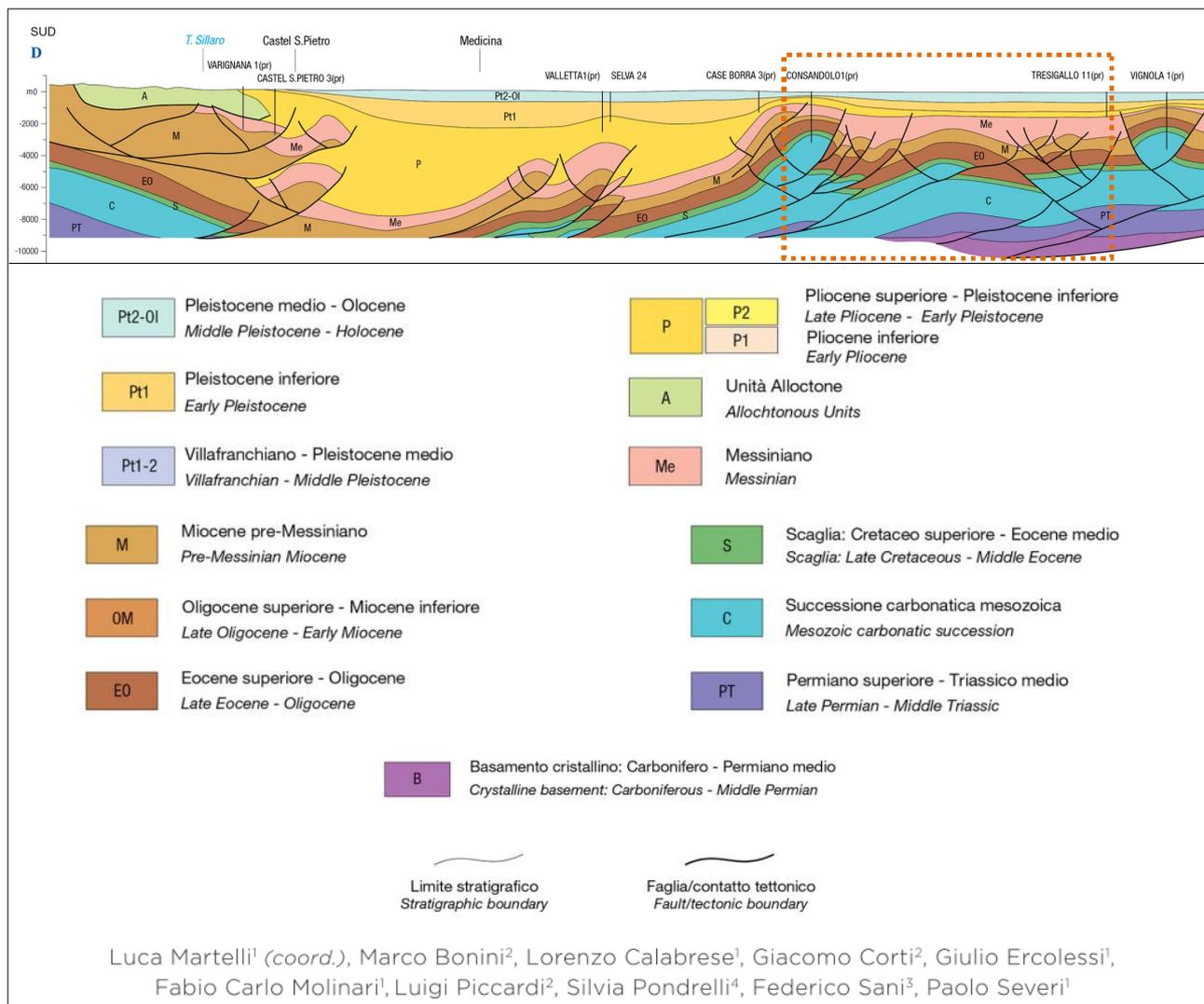


FIGURA 2-10 – Stralcio della Carta tettonica dell'Emilia Romagna e aree limitrofe - 2017 centrata su Masi Torello

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 2.11) dell'Emilia Romagna. Essa è riportata nelle Note illustrative allegate alla Carta Sismotettonica pubblicata nel 2004.

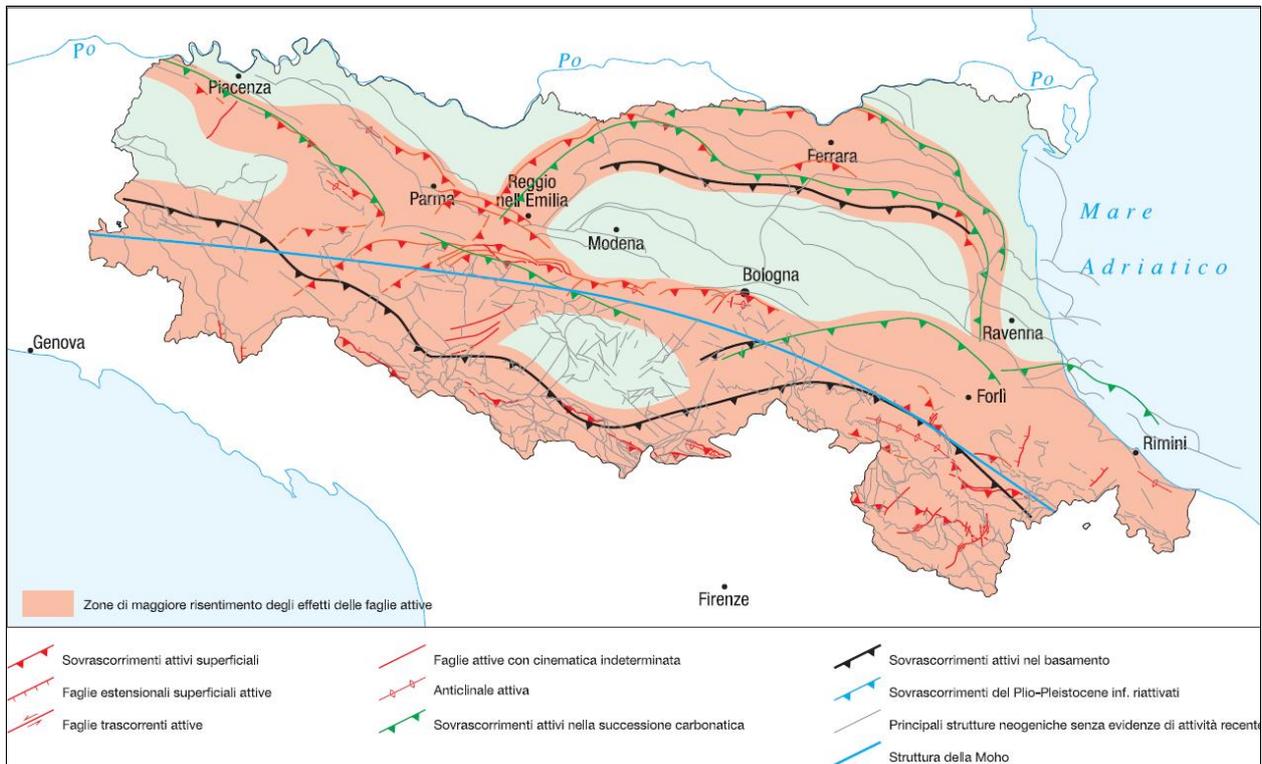


FIGURA 2-11 – Carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive

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 Masi Torello ricade dentro la Zona 912, caratterizzata da un valore di Mw_{max} pari a 6.14 (FIGURA 2.12 e FIGURA 2.13).

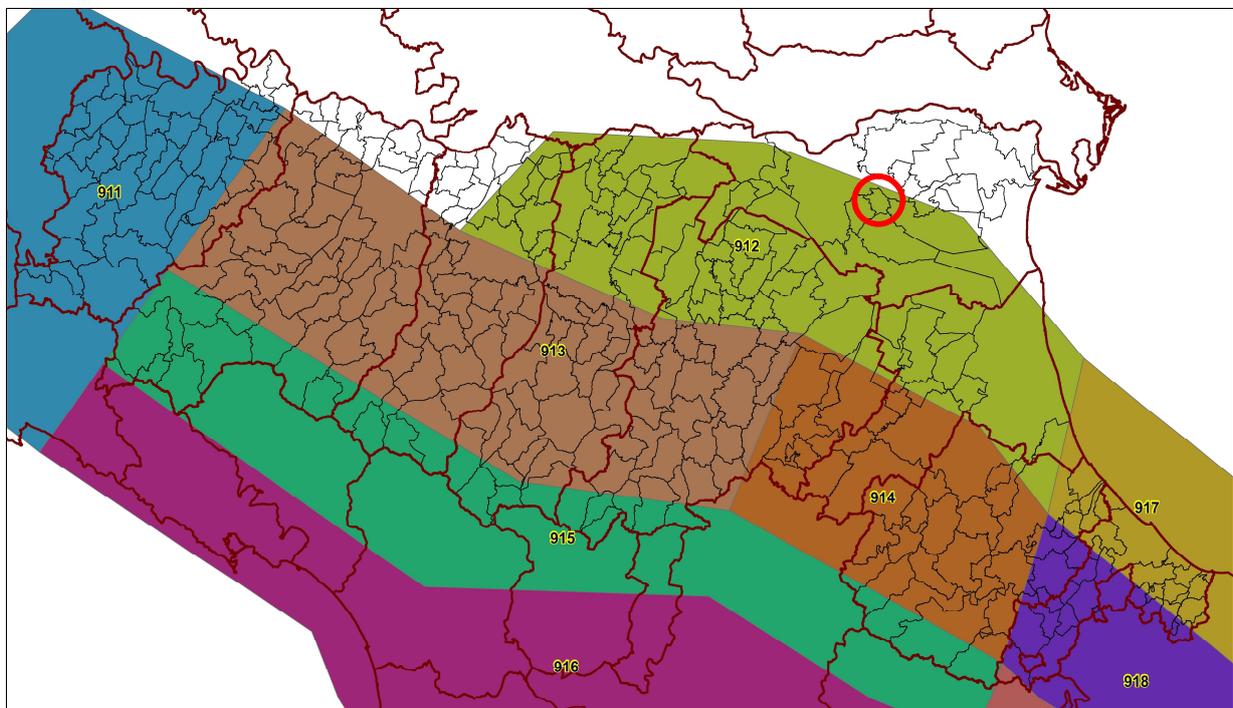


FIGURA 2-12 – Aree sismogenetiche in Emilia Romagna

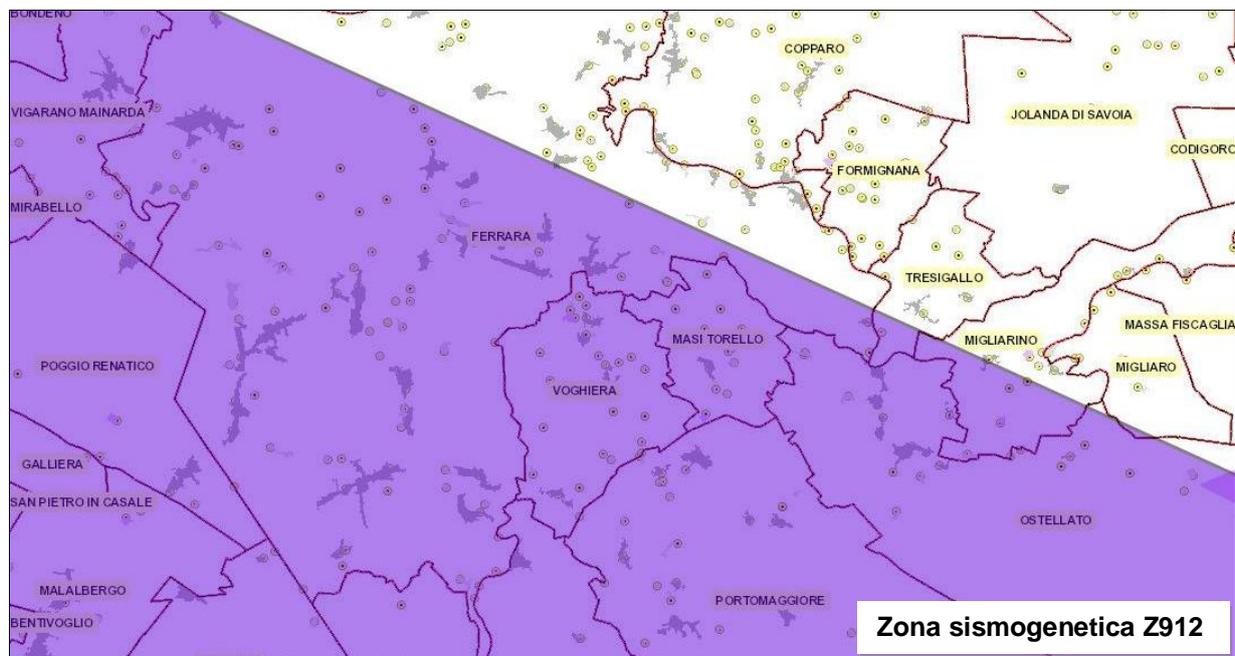


FIGURA 2-13 – Zoommata aree sismogenetiche in Emilia Romagna con evidenziato territorio comunale di Masi Torello

Il database DISS (DISS Working Group, 2015) indica che il territorio comunale di Masi Torello si colloca ai margini meridionali della struttura sismogenetica composta orientata approssimativamente ESE-WNW e denominata Poggio Rusco-Migliarino (ITCS050) (FIGURA 2.14 e FIGURA 2.15) 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.

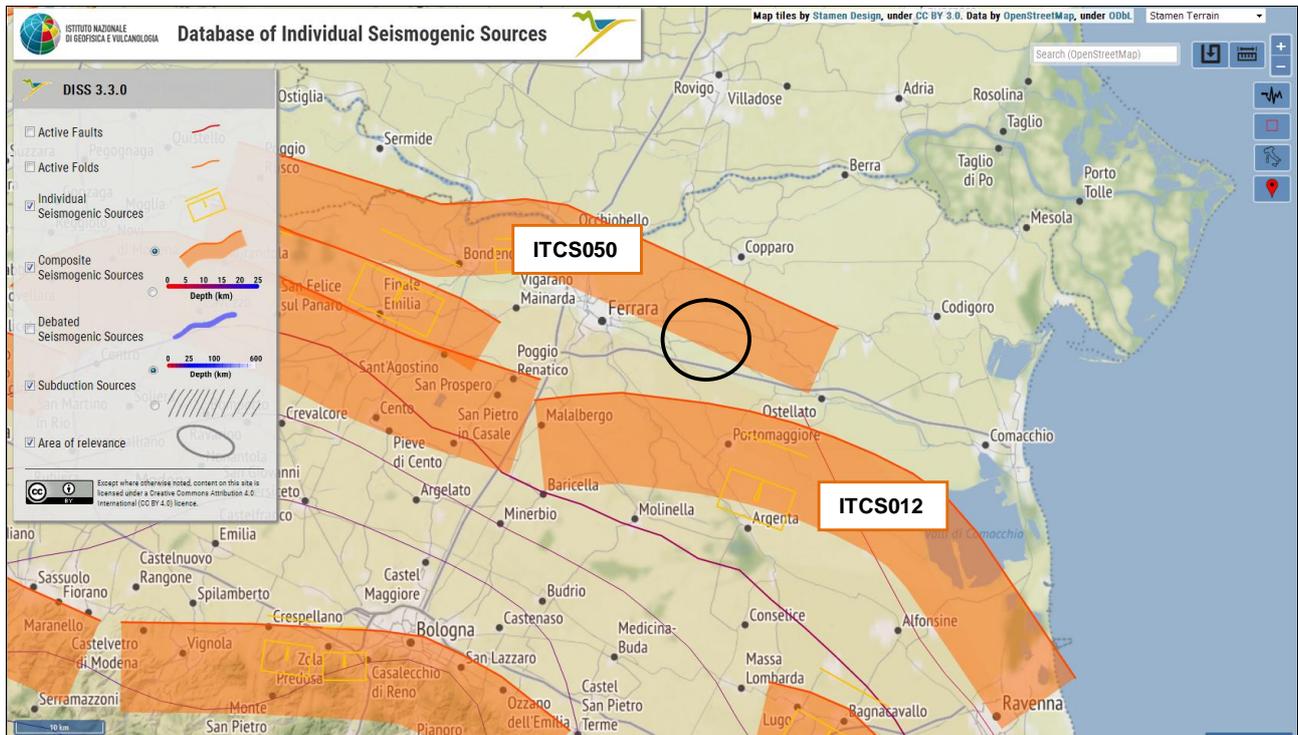


FIGURA 2-14 – Mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.3.0.
(<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>)

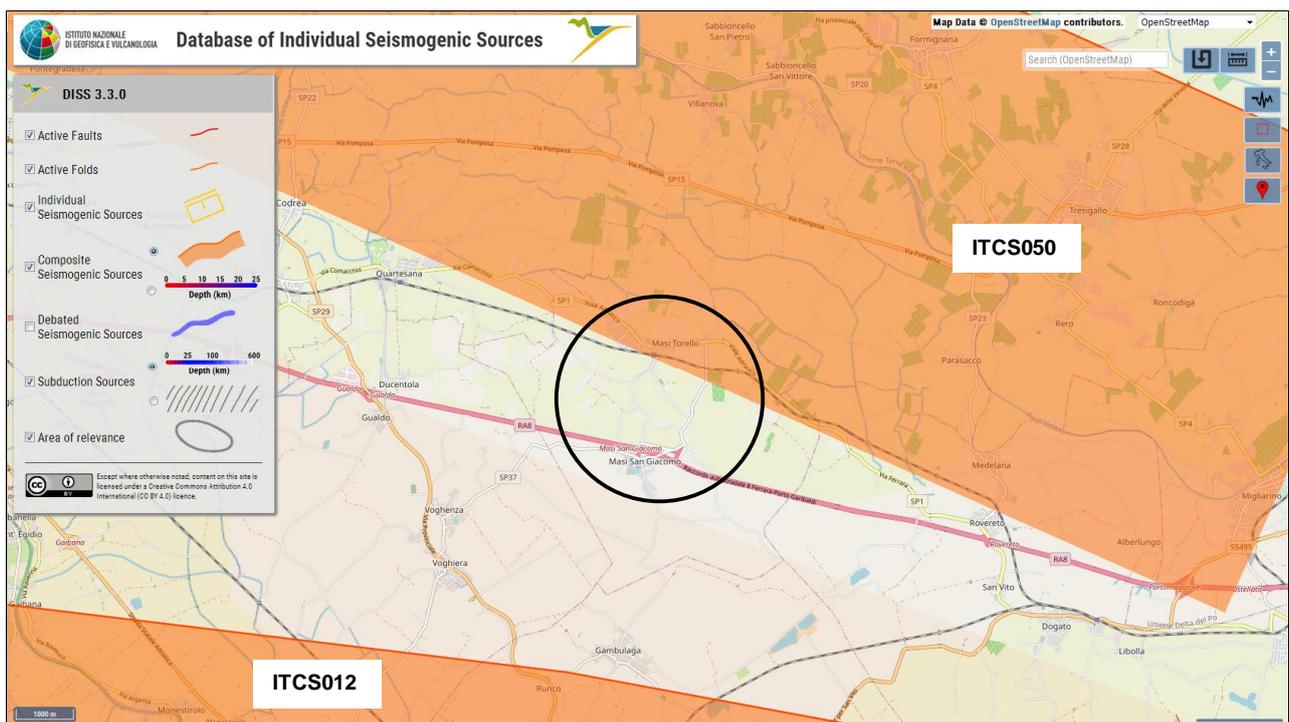


FIGURA 2-15 – Zoommata sul comune della mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.3.0.
(<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>)

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 Masi Torello, selezionando un raggio di 50 km, selezionando gli eventi con magnitudo $3,92 < Mw > 7,41$ (FIGURA 2.16) si ottiene la Tabella 2.1.

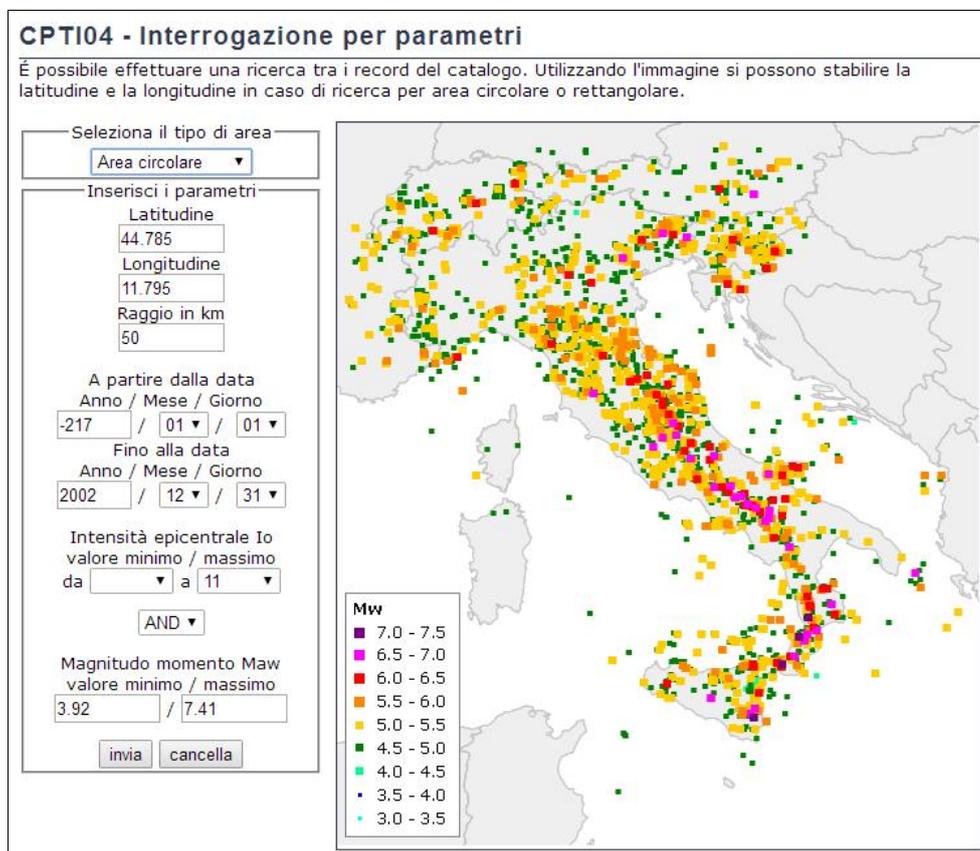


FIGURA 2-16 – Criteri di interrogazione adottati

CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

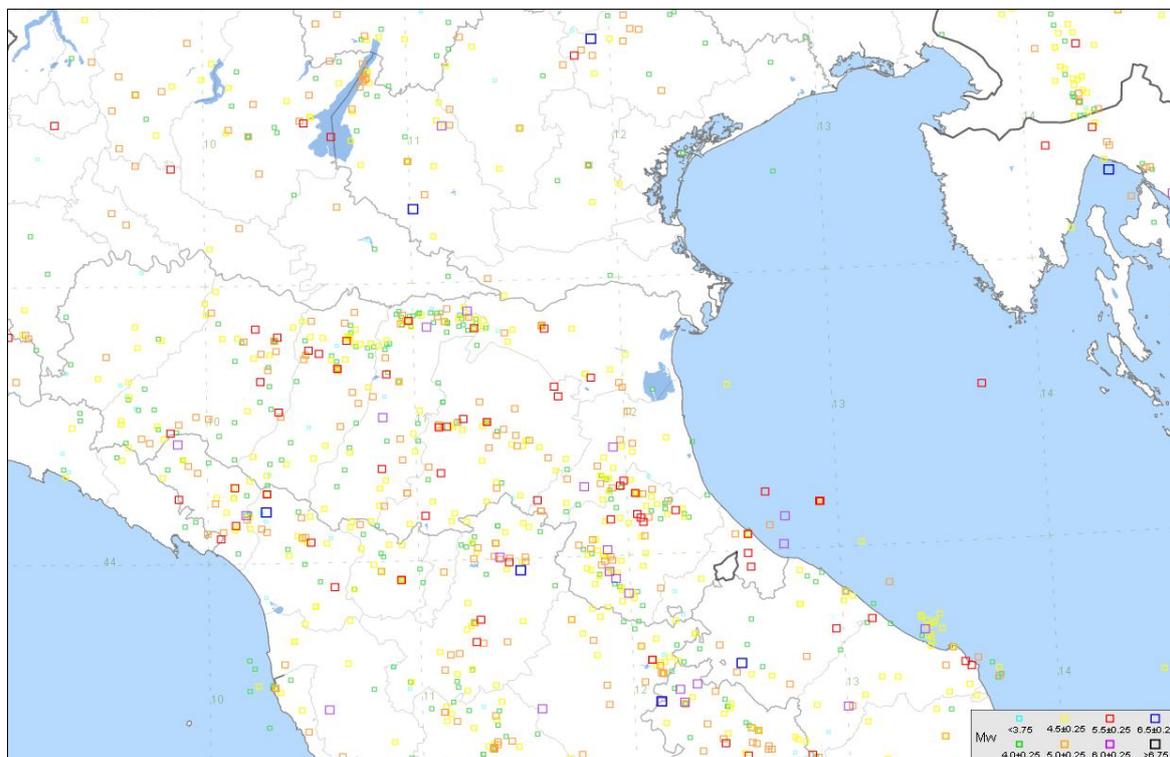
Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (44.785, 11.795) 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	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Mep	Dep	ZS9	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
51	DI	1234	3	20				FERRARA	DOM	5	70	70		44.836	11.618	A	5.17	0.30		4.80	0.45		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	CFII	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	CFII	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	POSS5			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	CFII	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	16				Bologna	DOM	1	55	55		44.498	11.34	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	913	G	763	203	
207	CP	1508	10	18	15			FERRARA SUD	POSS5			60		44.833	11.667	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G	866	207	
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	CFII	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	CFII	60	80	75		44.82	11.63	A	5.48	0.11		5.27	0.17		5.48	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	0.31	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	CFII	17	85	75		44.65	11.85	A	5.48	0.22		5.19	0.32		5.35	0.30	912	G	243	870	323
368	CP	1666	4	14	18	58		Bologna	POSS5			60		44.5	11.333	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G	764	368	
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	POSS5			70		44.417	12		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	912	G	835	395	
397	CP	1689	3	15				FUSIGNANO	POSS5			60		44.417	12		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	23				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	1773	6	4	7			Bolognese	CFII	12	70	65		44.45	11.52	A	4.97	0.20		4.51	0.29		4.72	0.27	914	G	319	765	606
609	DI	1780	2	6	4			Bolognese	CFII	7	65	55	M	44.62	11.32	A	4.95	0.11		4.32	0.16		4.54	0.15	912	G	323	766	609
654	DI	1787	7	16	10			Ferrara	CFII	3	65	55	M	44.83	11.62	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	339	873	654
683	DI	1796	10	22	4			Emilia orientale	CFII	26	70	70		44.62	11.67	A	5.63	0.15		5.48	0.23		5.62	0.23	912	G	352	874	683
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	CFII	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
1030	DI	1878	3	12	21	26		Bolognese	CFII	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
1174	CP	1891	8	1	13	30		LUGO	POSS5			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	FAOZZE	POSS5			60		45	12		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36			2055	1230	
1233	CP	1895	7	3				COMACCHIO	POSS5			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.	CFII	73	70	65		44.65	11.77	A	5.03	0.33		4.60	0.45		4.80	0.45	912	G	452	879	1287
1482	CP	1908	6	28	3	19	58	FINALE EMILIA SUD	POSS5			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	5.83	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		3.81	0.21		4.07	0.19	912	G	883	1729	
2094	DI	1956	2	20	1	29		ARGENTA	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	POSS5			55		44.4	12		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	POSS5			50		44.4	12		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	POSS5			55		44.383	12		4.63	0.09		4.00	0.13		4.25	0.12	912	G	859	2263	
2455	DI	1986	12	6	17	7	19	BONDENO	DOM	604	60	60		44.879	11.334	A	4.56	0.09		4.30	0.13		4.53	0.12	912	G	9019	2455	

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 2.17 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/>).



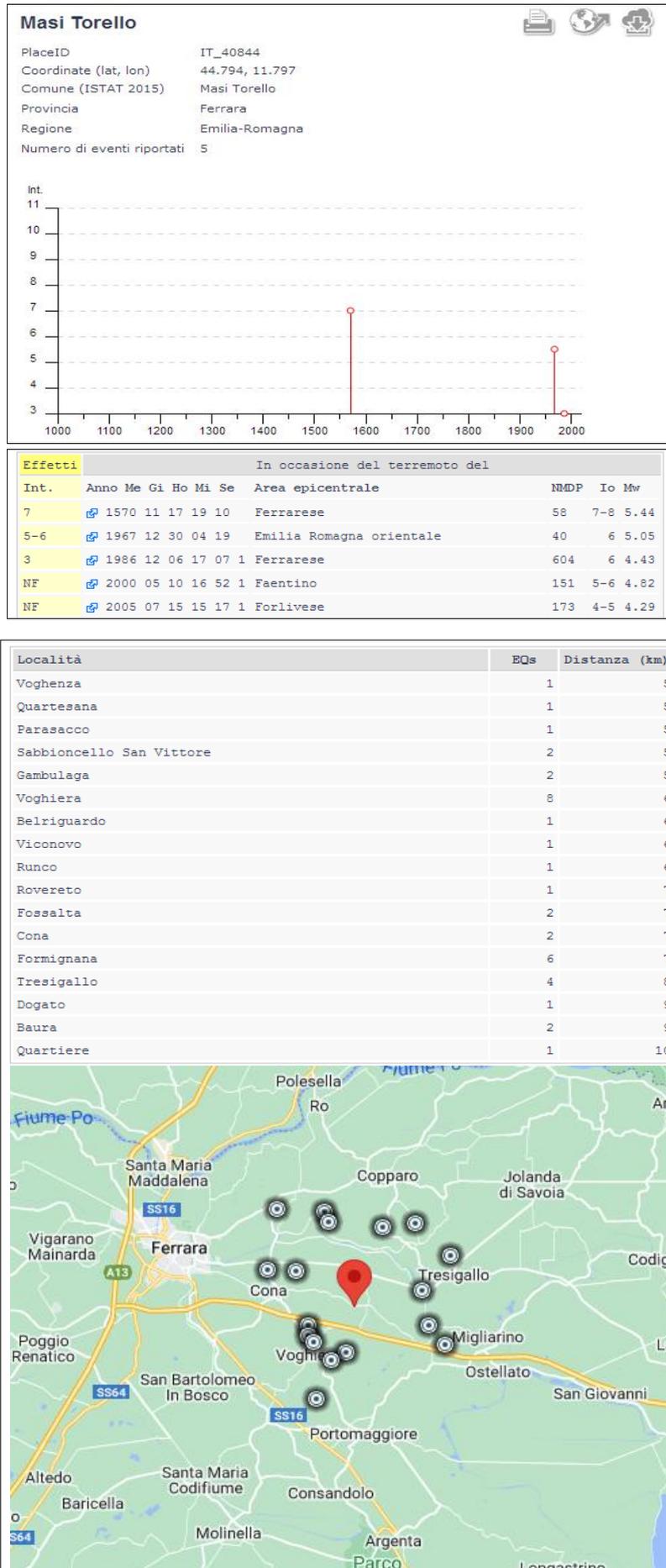


FIGURA 2-17 – interrogazione Data Base DBMI15 per il comune di Masi Torello.

Allo stesso modo si interroga il Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani CPTI15, che fornisce i dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali (FIGURA 2.18) 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/>).

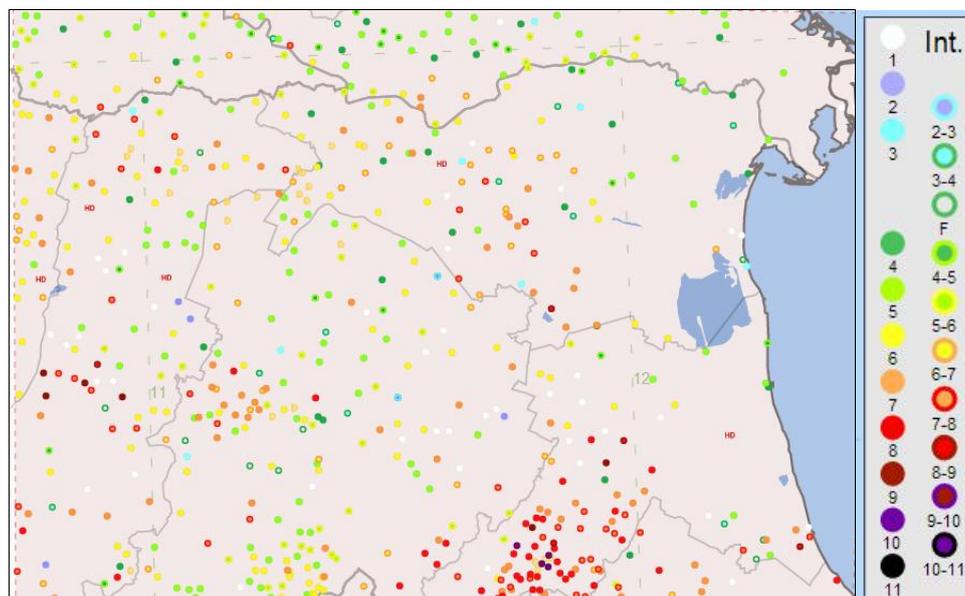


FIGURA 2-18 – <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Di seguito viene riportato l'elenco dei sismi documentati, riportati nel Catalogo dei Terremoti Italiani, di grado superiore al 3 della scala Mercalli (FIGURA 2.19). 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	1898	gennaio	16	44,617	11,833	Argenta	7	Camassi-Stucchi, 1997
21	1908	giugno	28	44,800	11,300	fra Cento e Finale Emilia	6	Camassi-Stucchi, 1997
22	1909	gennaio	13	44,617	11,667	presso Tragheto	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
23	1922	maggio	24	44,733	11,383	Cento	3,5	Camassi-Stucchi, 1997
24	1956	febbraio	20	44,567	11,950	a Sud di Filo di Argenta	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
25	1967	dicembre	30	44,667	11,833	fra Argenta e Portomaggiore	6	Camassi-Stucchi, 1997

FIGURA 2-19 – 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 2-20 – 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=5,90, 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=5,80, 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 2.21 si possono vedere gli epicentri dei terremoti verificatisi tra maggio e giugno 2012 nella Pianura Padana.

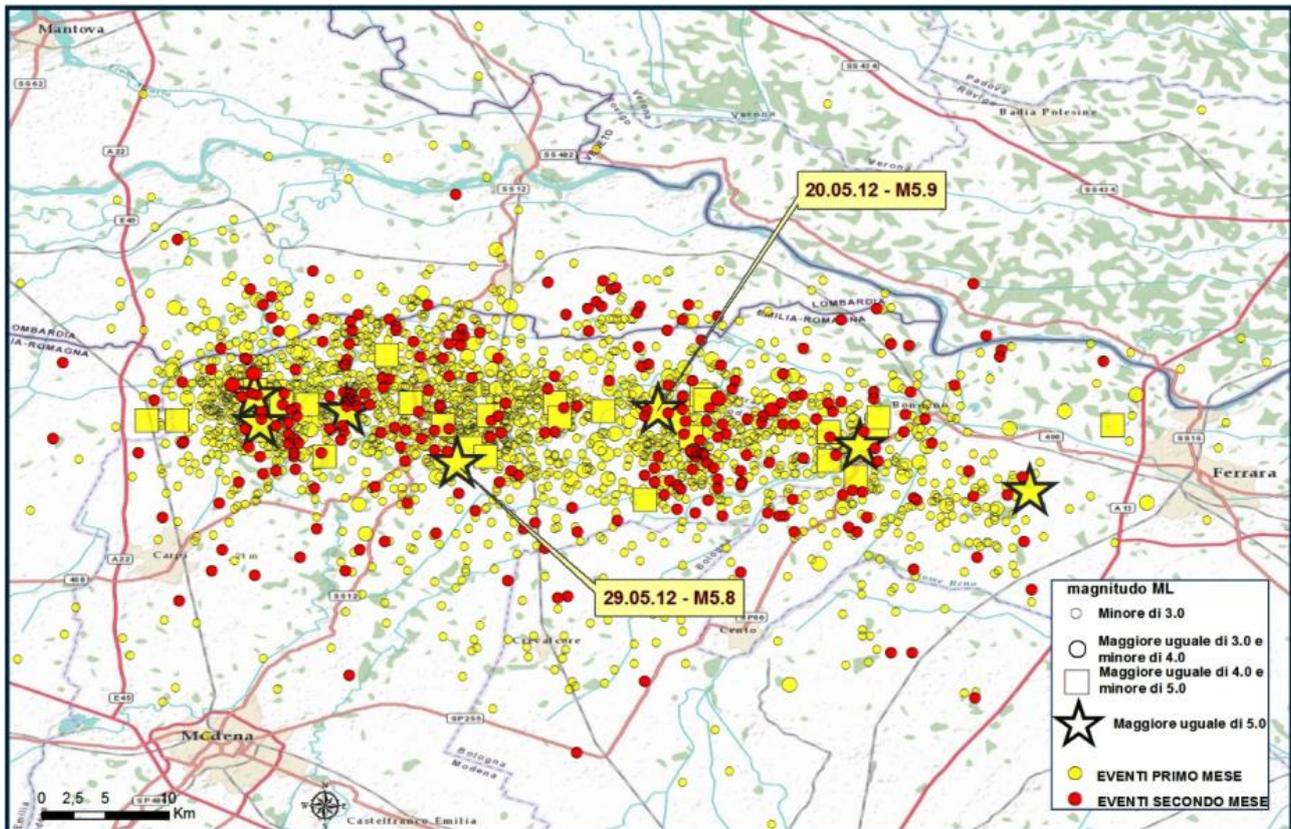


FIGURA 2-21 – Epicentri dei terremoti in Pianura Padana tra maggio e giugno 2012 (Fonte: INGV)

In FIGURA 2.22 si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna con gli epicentri dei terremoti del maggio e giugno 2012 con $ML > 4$, 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 $M > 5,0$.

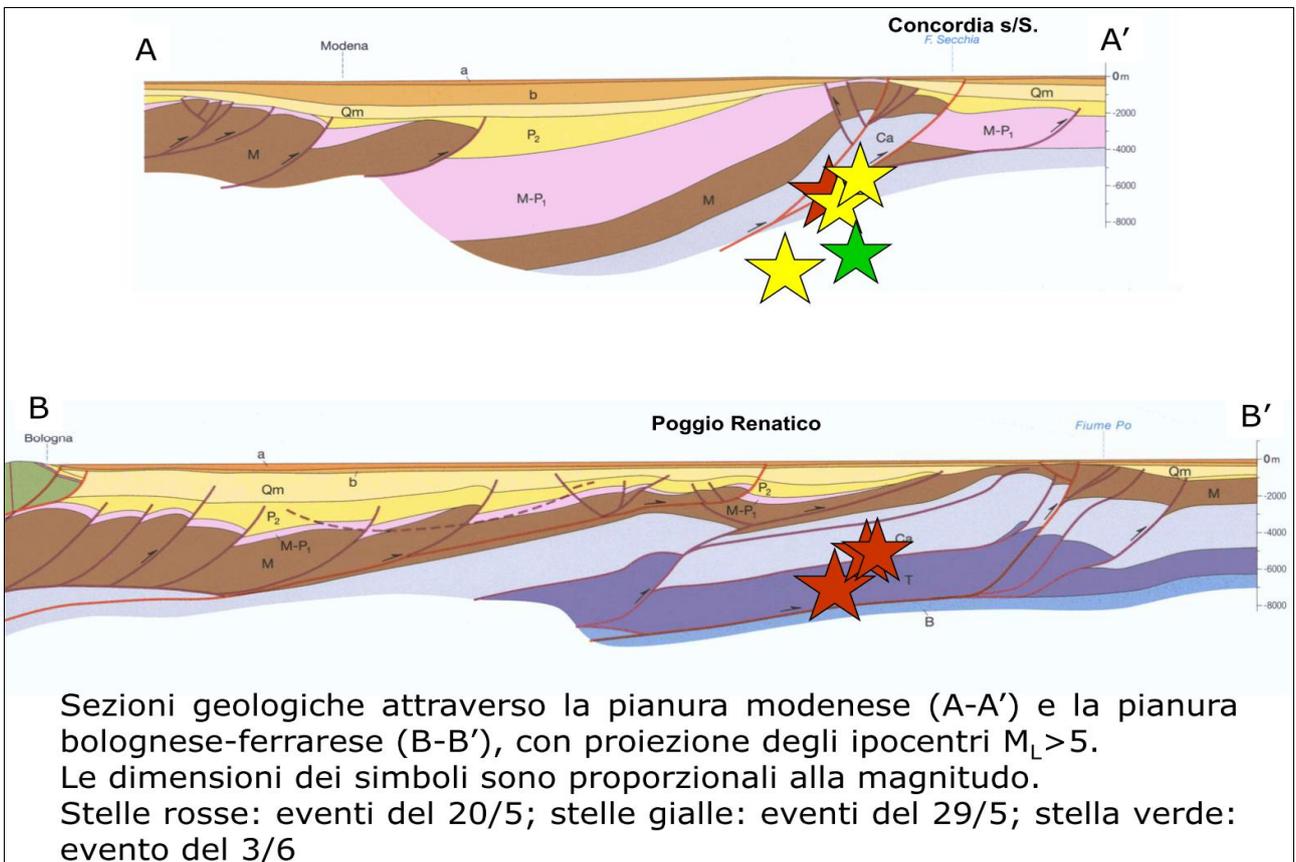
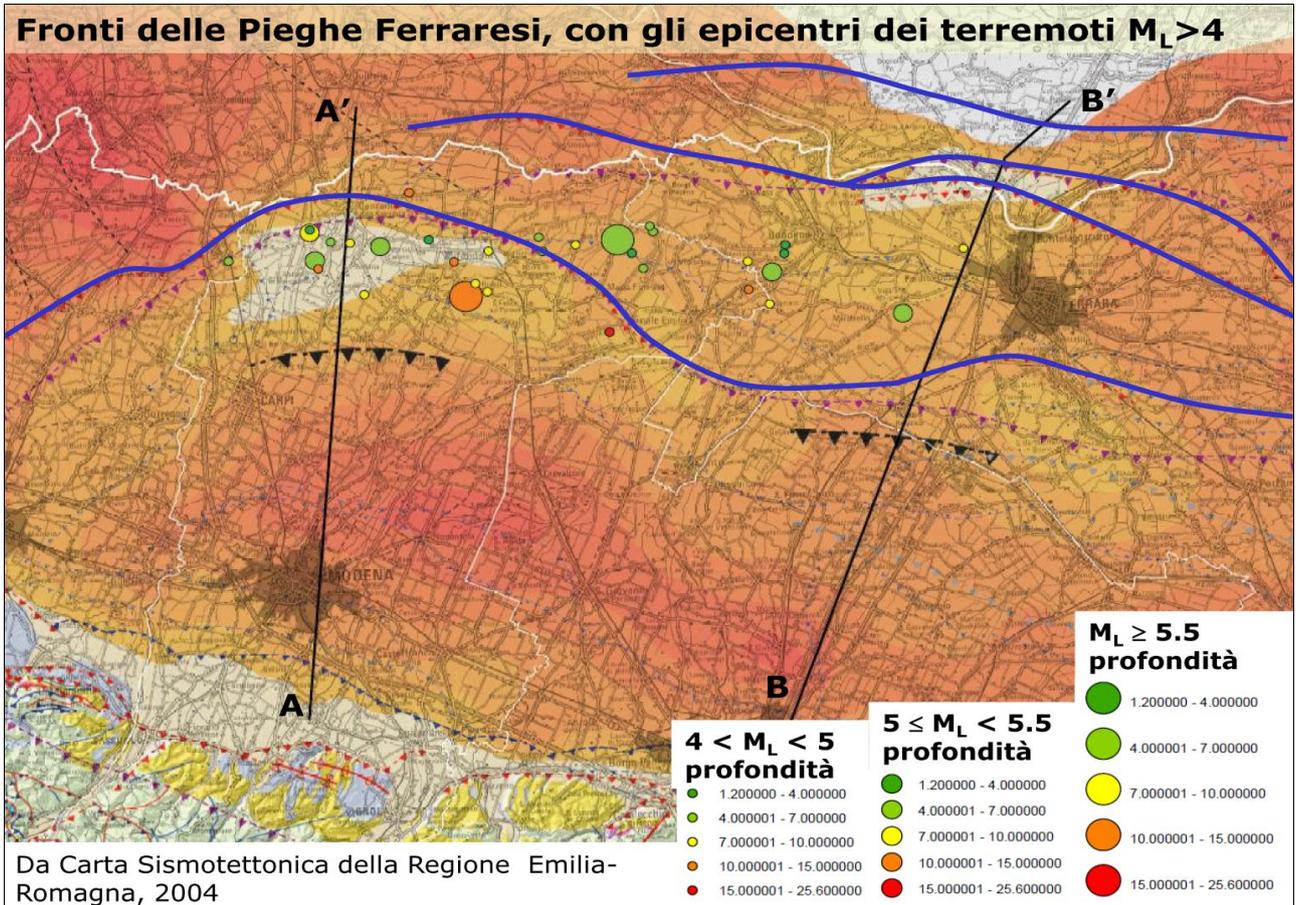


FIGURA 2-22 – Sezioni geologiche con proiezione ipocentri $M_L > 5$ (Fonte: INGV)

In FIGURA 2.23 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.

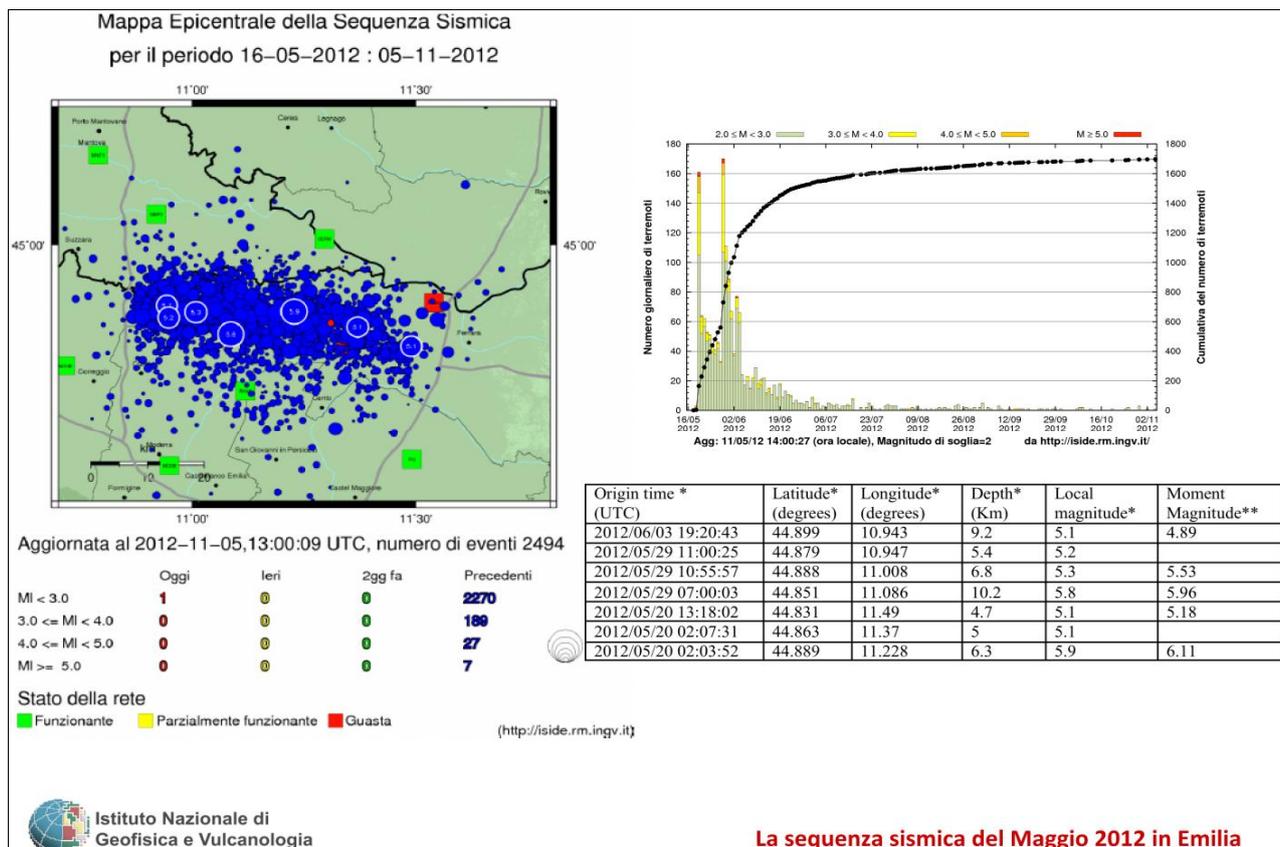


FIGURA 2-23 – Mappa epicentrale della sequenza sismica per il periodo 16/05/2012 al 05/11/2012 (Fonte: INGV)

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 2.24 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).

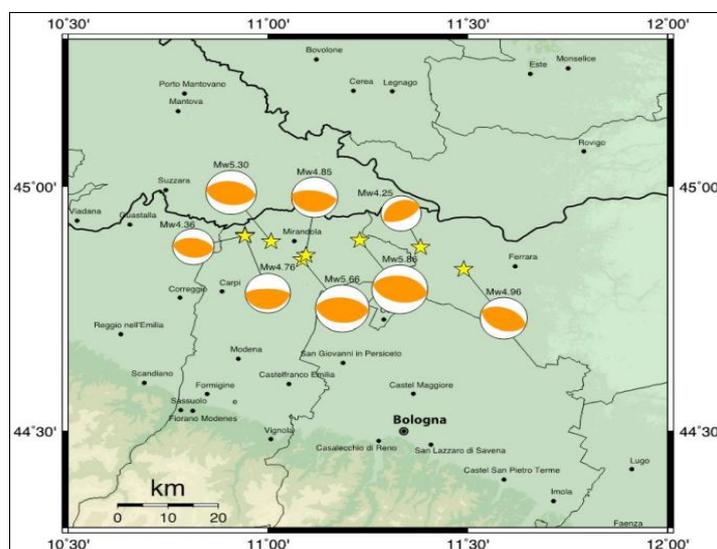


FIGURA 2-24 – Meccanismi focali della sequenza (Fonte: INGV)

In FIGURA 2.25 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).

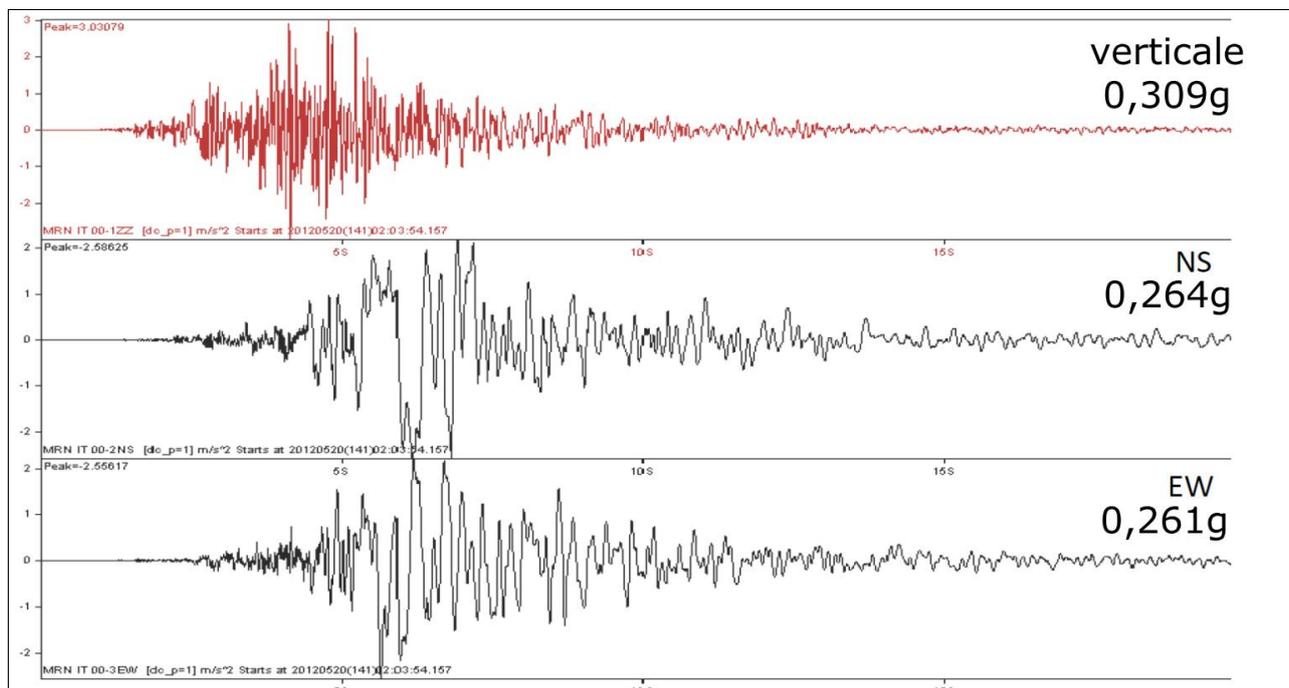


FIGURA 2-25 – Registrazioni accelerometriche stazione di Mirandola (20/05/2012)

In FIGURA 2.26 sono visibili le registrazioni accelerometriche della stazione di Mirandola della scossa del 29 maggio 2012.

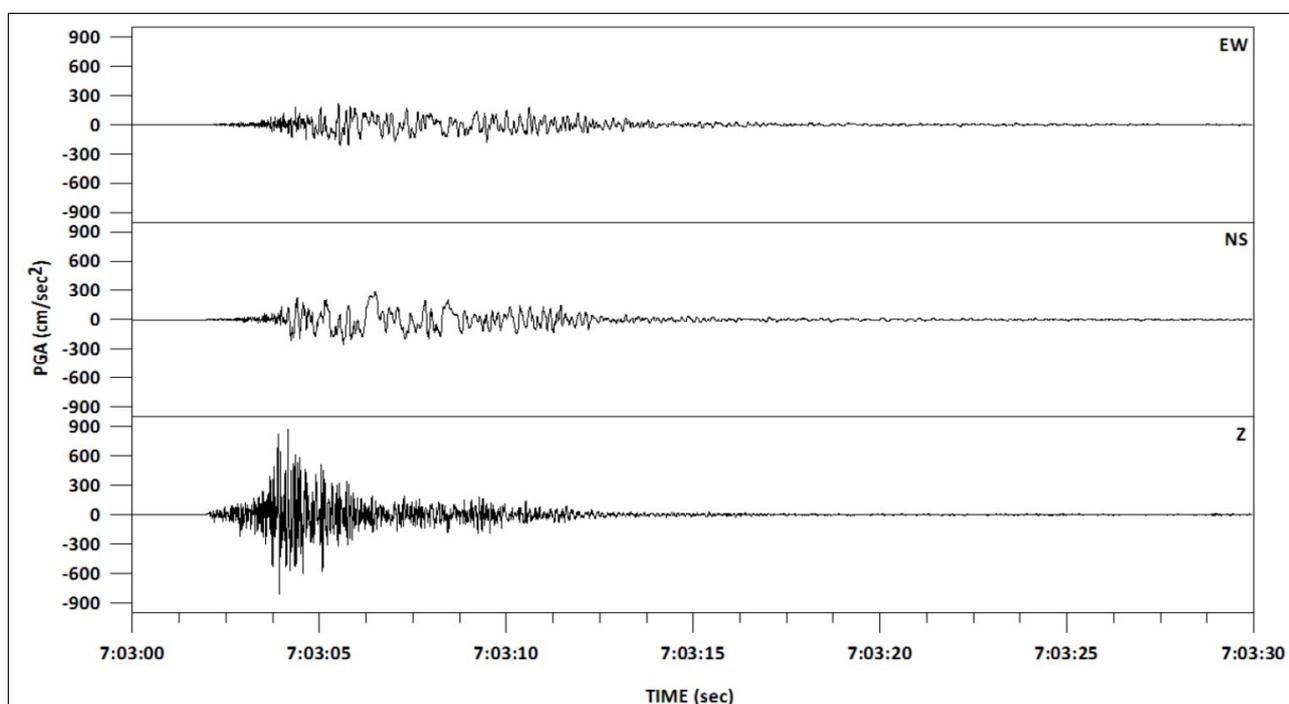


FIGURA 2-26 – registrazioni accelerometriche stazione di Mirandola (29/05/2012)

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 2.27), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax} .

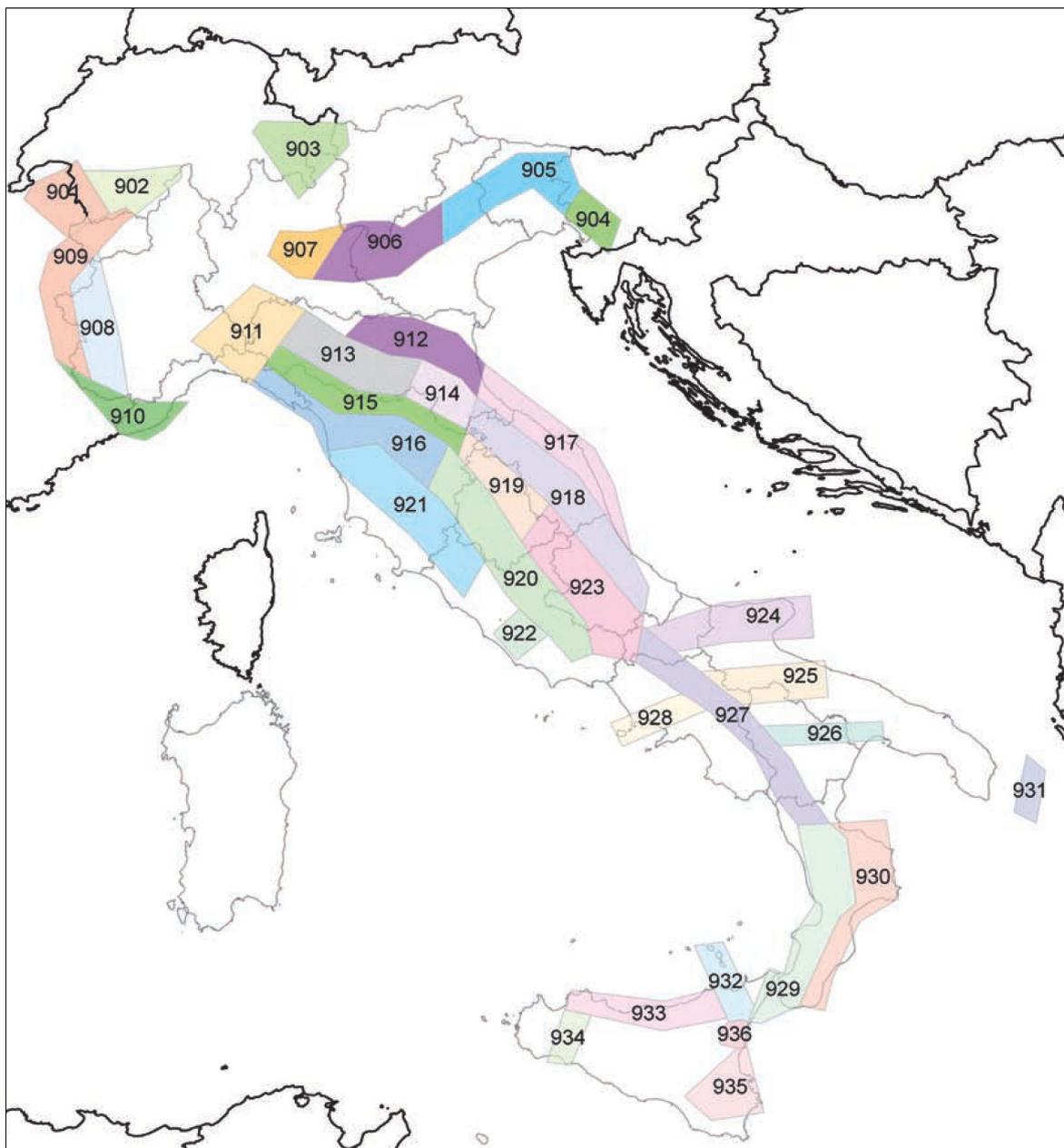


FIGURA 2-27 – Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento

Per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come m il valore di M_{wmax} (FIGURA 2.28).

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 2-28 – 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 Masi Torello ricade all'interno della zona sismogenetica 912 (FIGURA 2.29), e viene proposta come magnitudo attesa massima il valore di $M = 6,14$ (INGV, Veletti e Malensise, 2004).

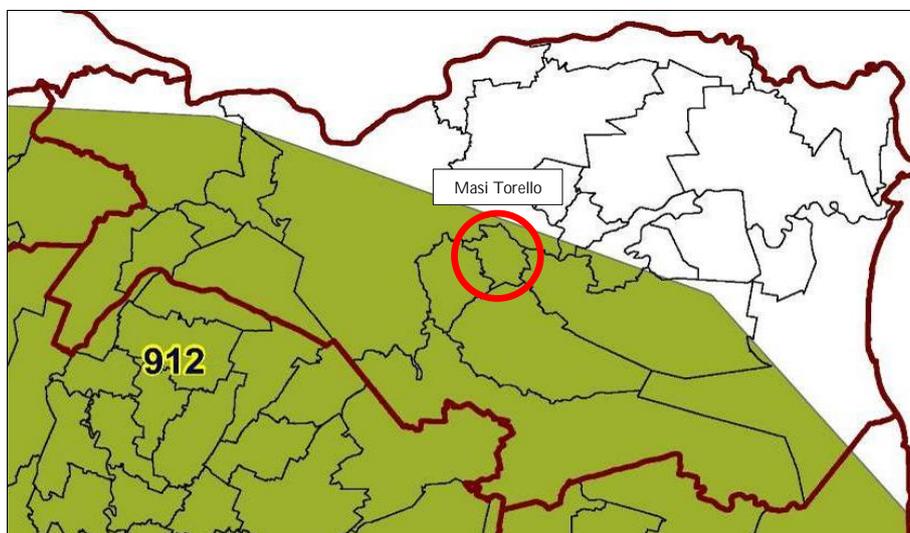
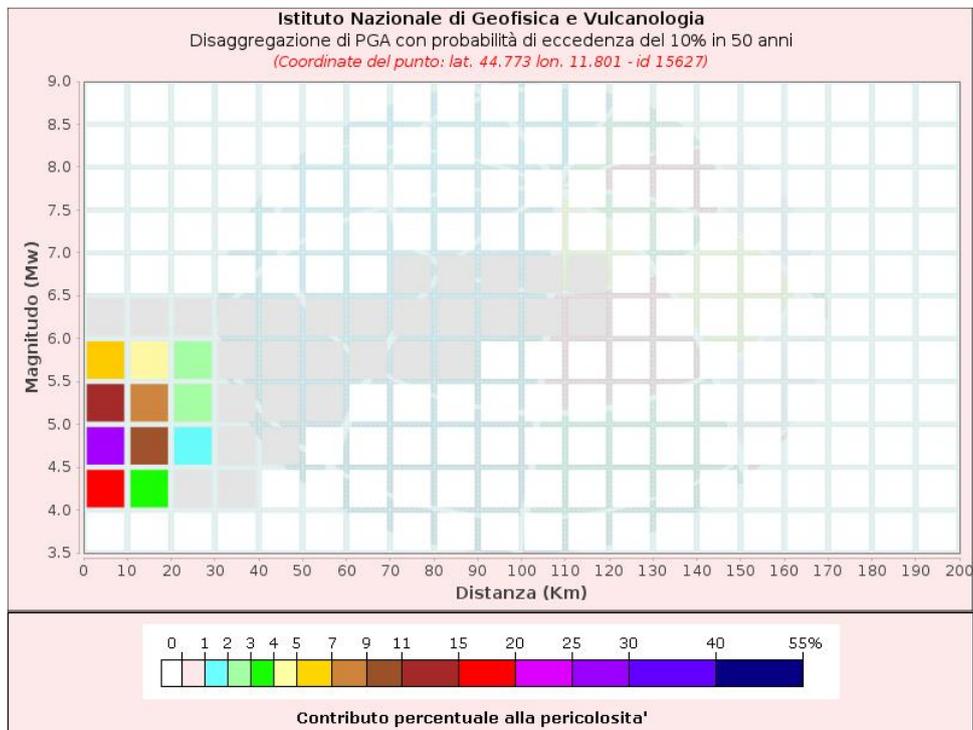
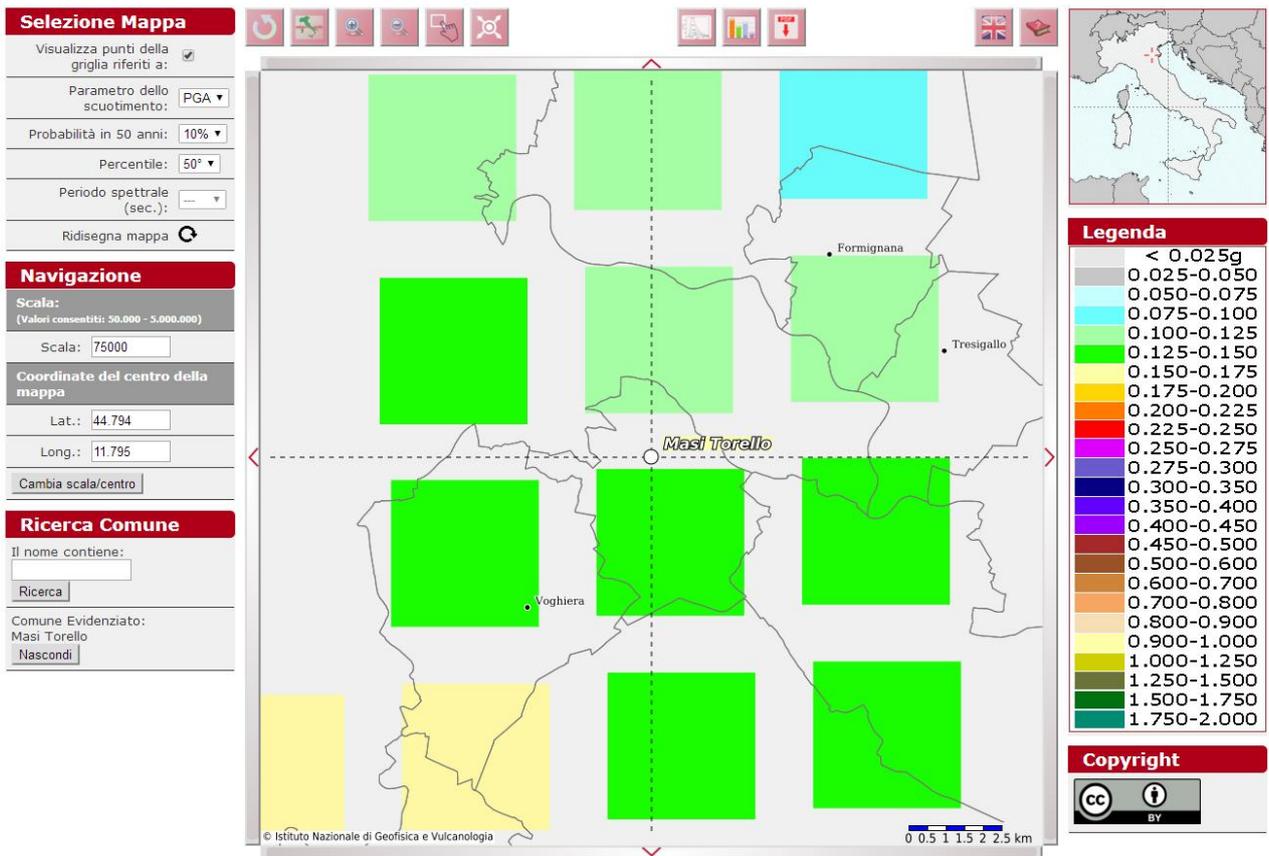


FIGURA 2-29 – Mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale

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 2.30).

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.773 lon. 11.801 - id 15627)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	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	8.5- 9.0
0-10	0.0000	16.7000	27.3000	13.0000	5.4300	0.5870	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.9300	9.5500	7.5600	4.8300	0.6650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.4280	1.9300	2.4900	2.3000	0.3910	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0001	0.2170	0.7490	0.9790	0.1850	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0014	0.1470	0.3790	0.0638	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0086	0.1160	0.0245	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0235	0.0106	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0074	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0082	0.0031	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.95	9.91	0.525

FIGURA 2-30 – 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 Masi Torello dal rischio sismico, non inserendoli in nessuna delle tre categorie, come visibile in FIGURA 2.31.

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.

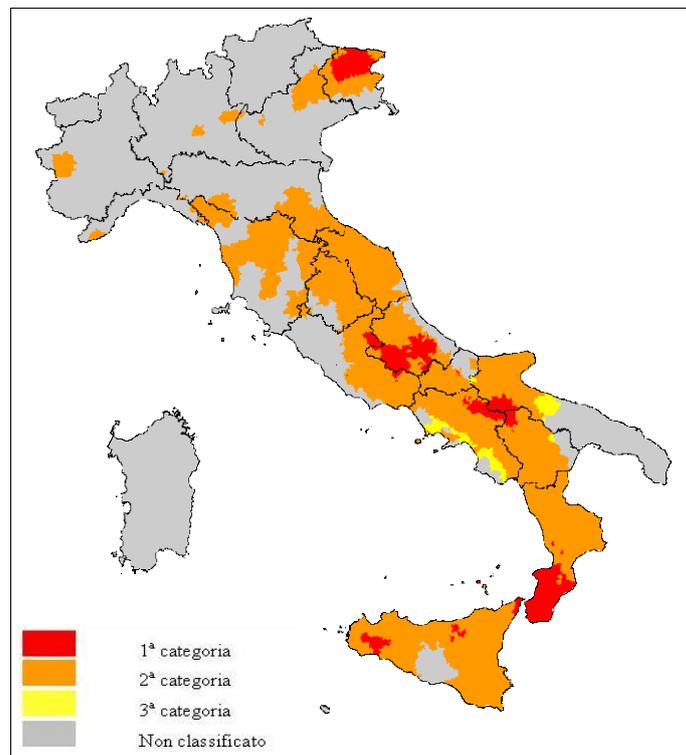


FIGURA 2-31 – Classificazione sismica secondo Legge 2/ 2/ 74 n. 64

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 Masi Torello nella categoria di rischio 3 (FIGURA 2.32).

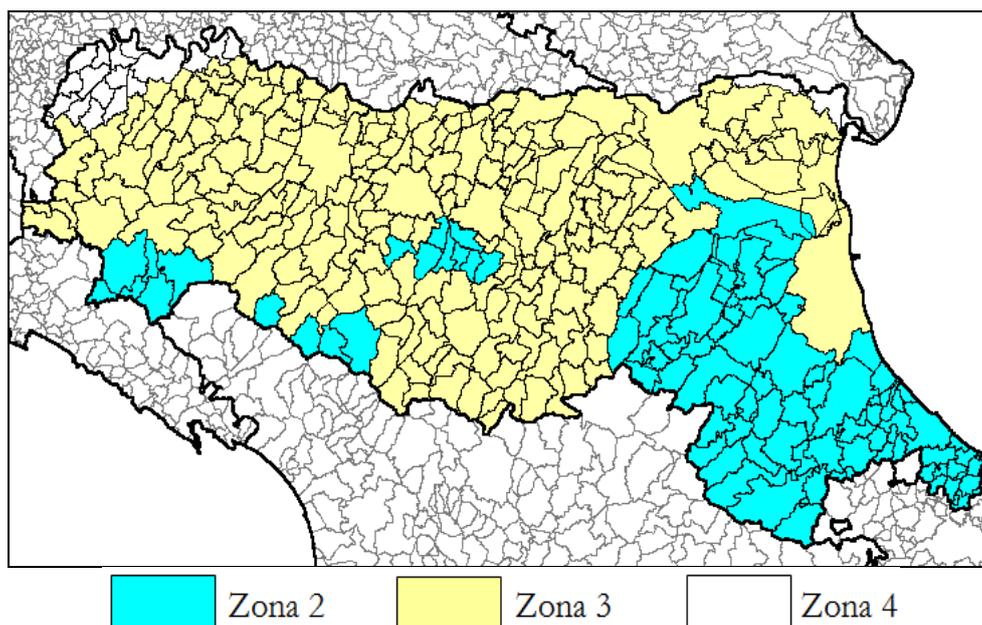


FIGURA 2-32 – Nuova zonizzazione sismica del territorio regionale, dettaglio relativo alla Regione Emilia-Romagna.

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
Masi Torello	$S = 6$	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 2.33) si prevede per il comune di Masi Torello 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 0,125–0,150g e 0,150–0,175g, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

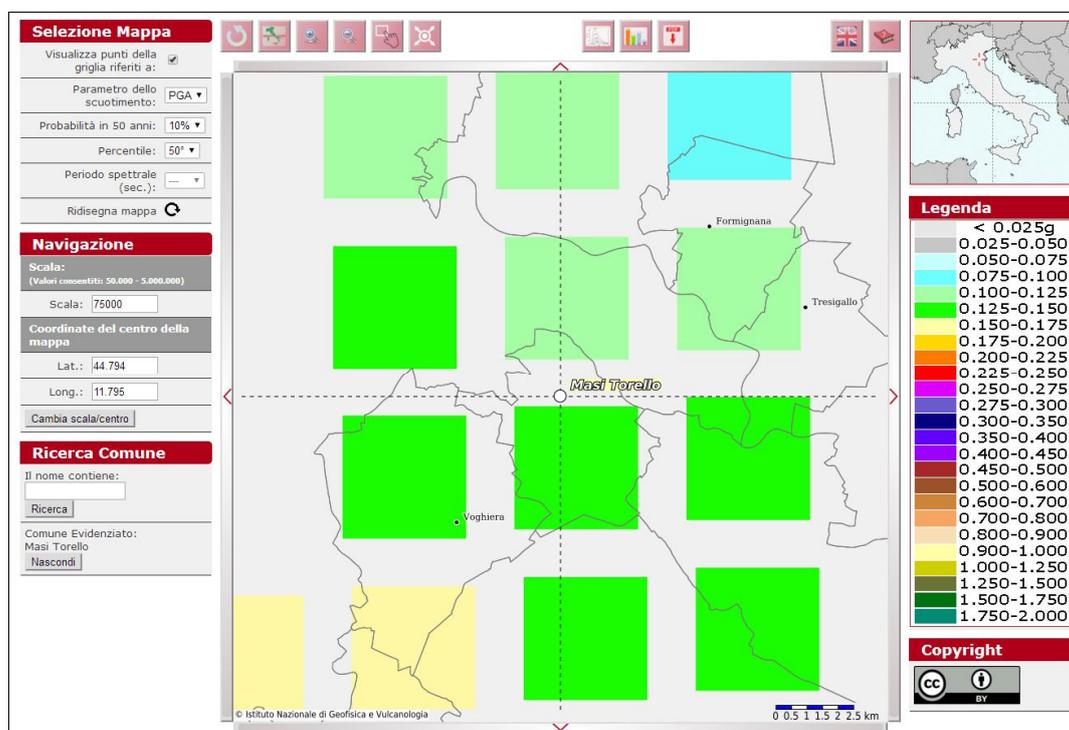


FIGURA 2-33 – Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGVA – S1. fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Denominazione	A max (g)
Masi Torello	0,125 – 0,150

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, 111 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 2.34) 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 2-34 – 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 2.35) 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 2-35 – 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 2.36 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 Masi Torello.



FIGURA 2-36 – Territorio comunale di Masi Torello con griglia dei punti e rispettivi valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido espressa in g

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.

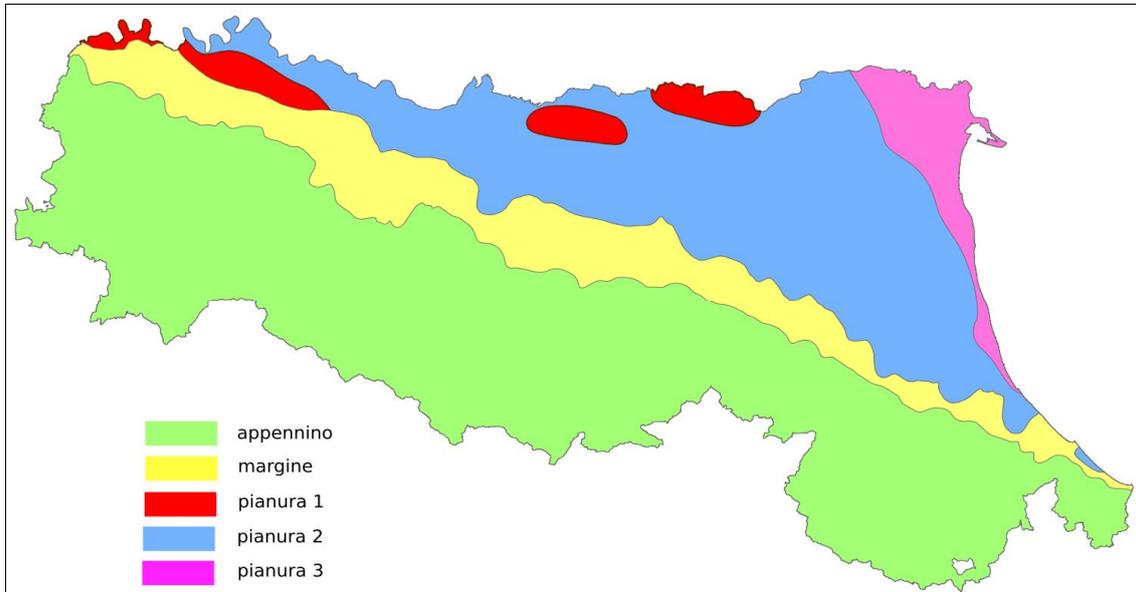
Nel territorio regionale sono stati individuati diversi ambienti geo-litologici omogenei principali relativi a:

- 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 Masi Torello è caratterizzato da un unico ambito, PIANURA 3, secondo quanto recepito dal D.G.R. 2193 del 2015 (FIGURA 2.37)

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**.

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

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

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

FIGURA 2-37 – 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.

Per valori di V_{s30} compresi tra 125m/sec e 175 m/sec (Prima Colonna della Tabella) e tra 175m/sec e 225 m/sec (Seconda Colonna della Tabella), 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.

Nel territorio di Masi Torello sono stati ricavati n. 6 valori di V_{s30} sia da misure dirette con cono sismico sia da indagini geofisiche di superficie con 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 192 m/sec.

Inoltre si dispone di n. 15 valori di V_{s30} ricavati da penetrometrie 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).

“DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE N. 630 DEL 29 aprile 2019

In data 29 Aprile 2019 è stato approvato, l'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di micro zonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).

Una delle novità principali di questo Atto di coordinamento tecnico è l'introduzione del nuovo parametro di pericolosità sismica che tiene conto degli spettri in accelerazione e degli intervalli di periodo del modo di vibrare principale delle diverse strutture che insediano su un territorio, in modo che la pericolosità sismica non si basi solo sulle accelerazioni spettrali di picco per un determinato periodo, ma per un intervallo di periodo.

Viene prescritto in più, rispetto alla precedente DGR, di produrre una carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s²), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di $ASI_{UHS} / \Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz (cartella Allegato_4.zip) disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (v. anche Allegato A4).

Nel caso di analisi di terzo livello di approfondimento, occorrerà eseguire delle analisi di risposta sismica locale, gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno $TR = 475$ anni con smorzamento $\zeta = 5\%$ e le mappe di amplificazione in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, S11, S12, S13, HSM e H0408, H0711, H0515, ovvero lo scuotimento in accelerazione (cm/s²) atteso al sito per gli intervalli di periodi $0,4s \leq T \leq 0,8s$, $0,7s \leq T \leq 1,1s$ e $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

“DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 476 DEL 20 APRILE 2021 (e DGR integrativa n. 564/2021)

In data 20 Aprile 2021 è stato approvato l'Aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017) di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630.

La novità più importante di questi Atti di coordinamento è riferito al nuovo strumento per l'estrazione degli accelerogrammi di riferimento per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello di approfondimento, che sono ora disponibili sulla piattaforma WebGIS:

<http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html>

realizzata da EUCENTRE.

Dalla piattaforma è possibile scaricare l'input sismico selezionato per ciascun nodo del reticolo di riferimento per il territorio dell'Emilia-Romagna considerato dalle NTC08 (D.M. 14.01.2008) e NTC18 (D.M. 17.01.2018).

L'input sismico è disponibile per i periodi di ritorno di 101, 475 e 975 anni ed è espresso in termini di un gruppo di 7 accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC08/18.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL COMUNE DI MASI TORELLO

3.1. CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE

L'evoluzione strutturale dell'ampio bacino subsidente padano, a cui appartiene il territorio del Comune di Masi Torello, 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 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 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 Masi Torello 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 fagliezioni presenti nel substrato padano.

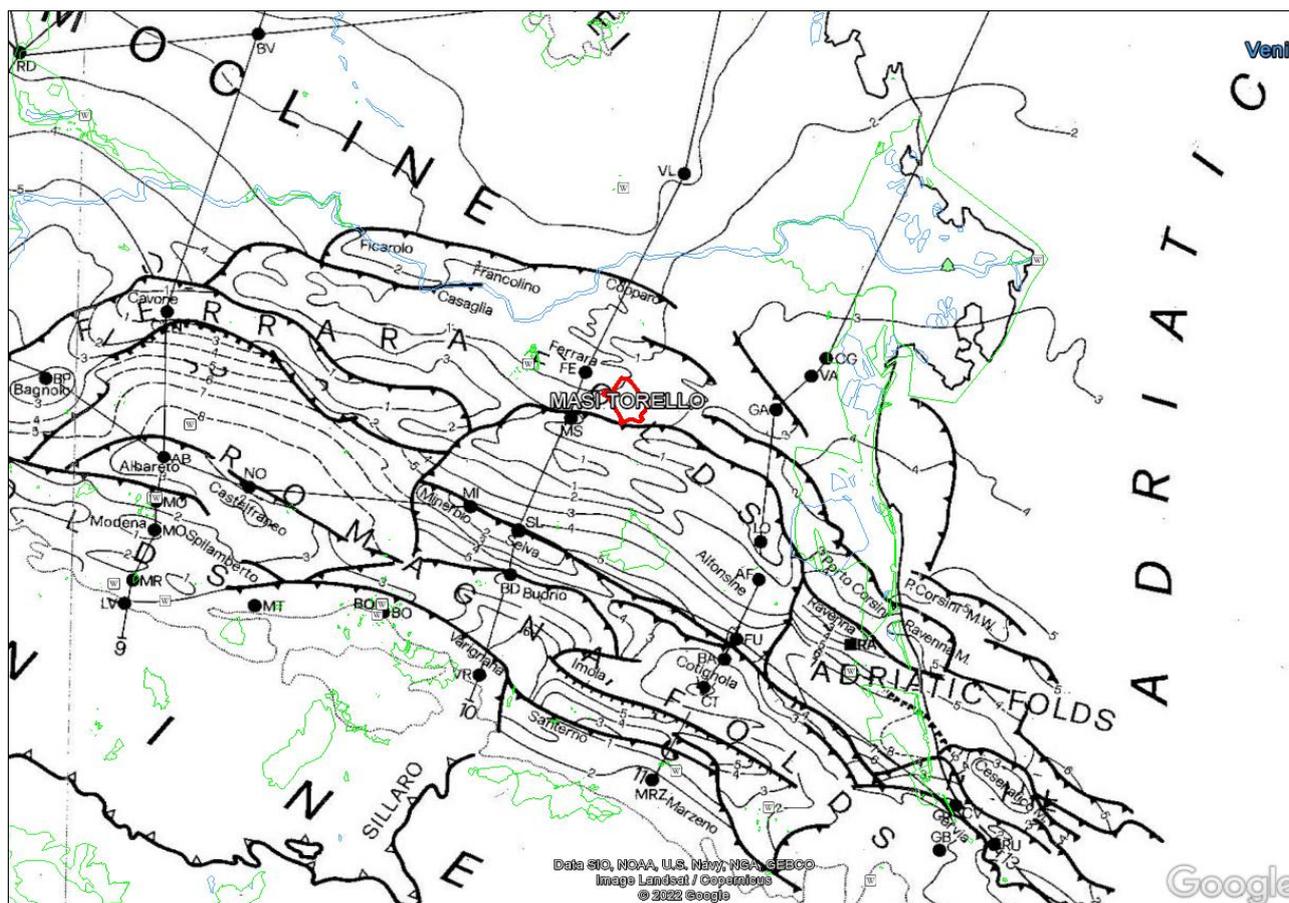


FIGURA 3-1 – Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di fagliezioni presenti nel substrato roccioso profondo.
Le isobate indicano la base dei depositi del Pliocene Superiore

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:

- 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;
- estrazioni eccessive di fluidi (gas ed acqua) da falde profonde delle formazioni quaternarie;
- imposizione sul suolo di carichi non equiparati alla portanza dei terreni;
- 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.

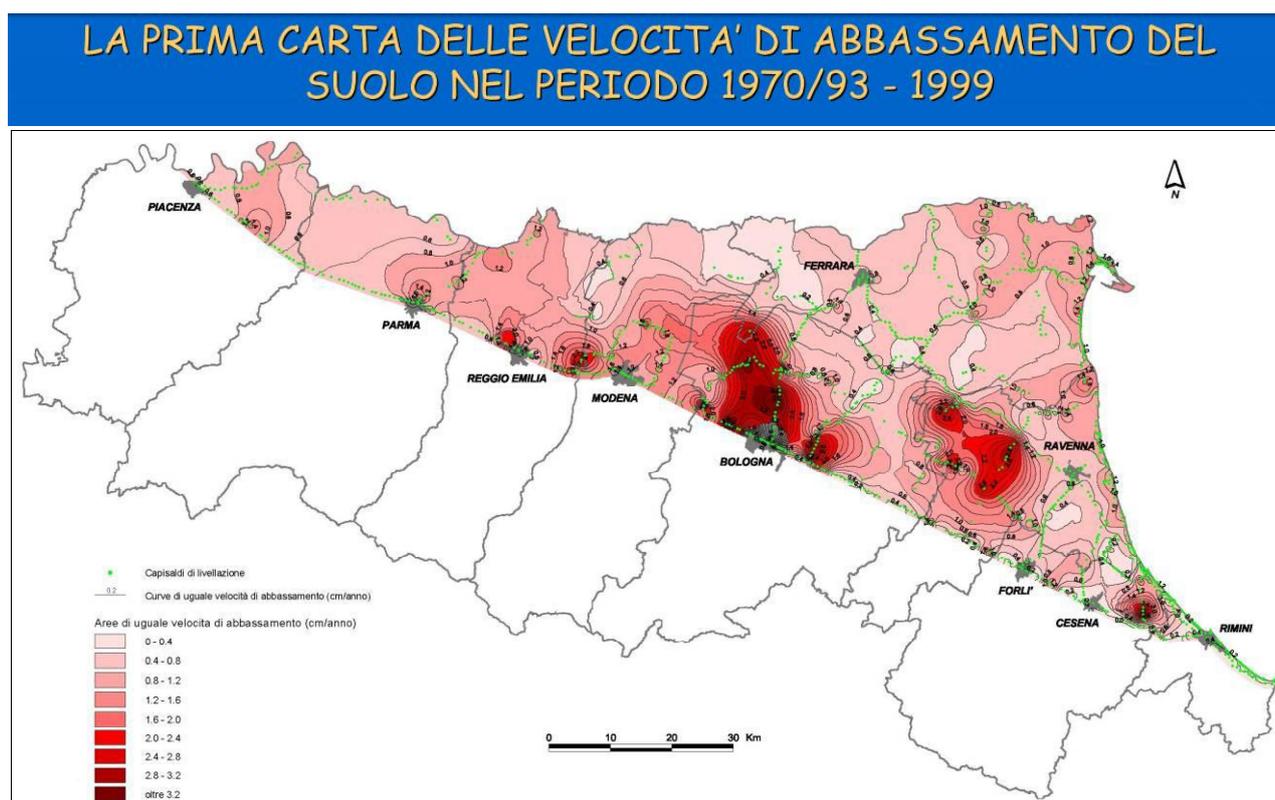


FIGURA 3-2 – Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 1970/93 -1999

CARTA DELLE VELOCITA' DI MOVIMENTO VERTICALE DEL SUOLO NEL PERIODO 1992-2000

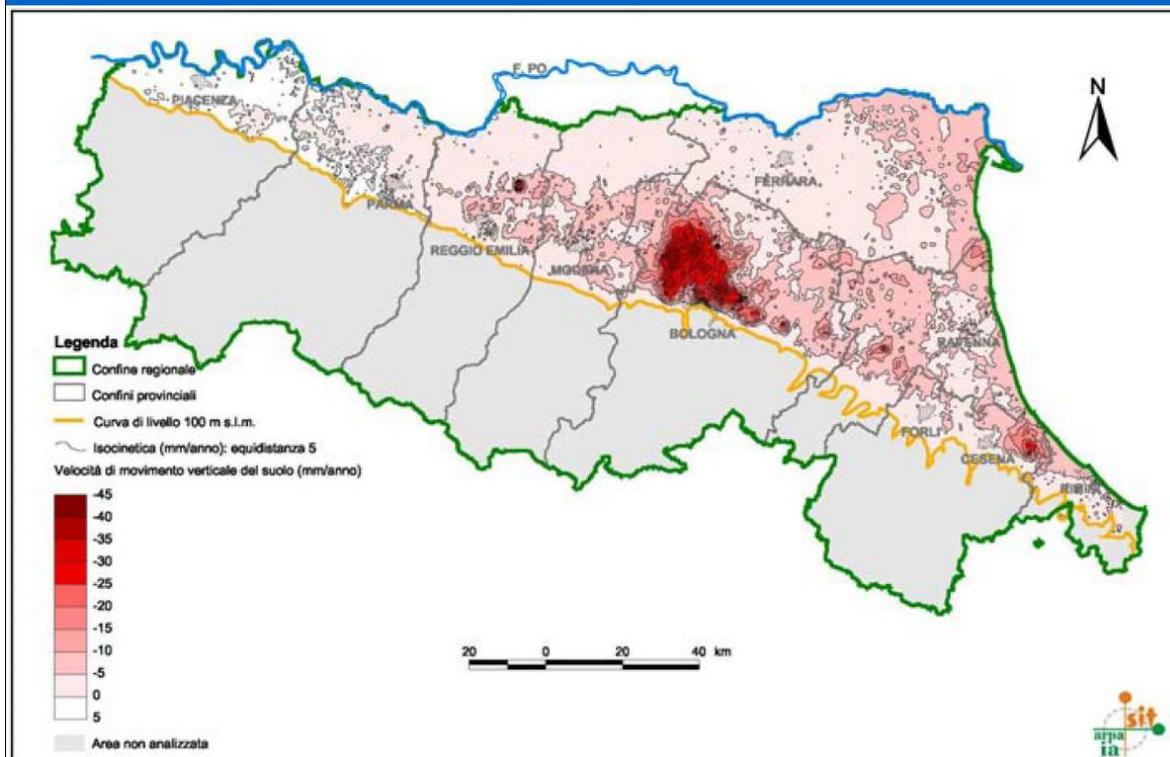


FIGURA 3-3 – Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 1992-2000

CARTA DELLE VELOCITA' DI MOVIMENTO VERTICALE DEL SUOLO NEL PERIODO 2002-2006

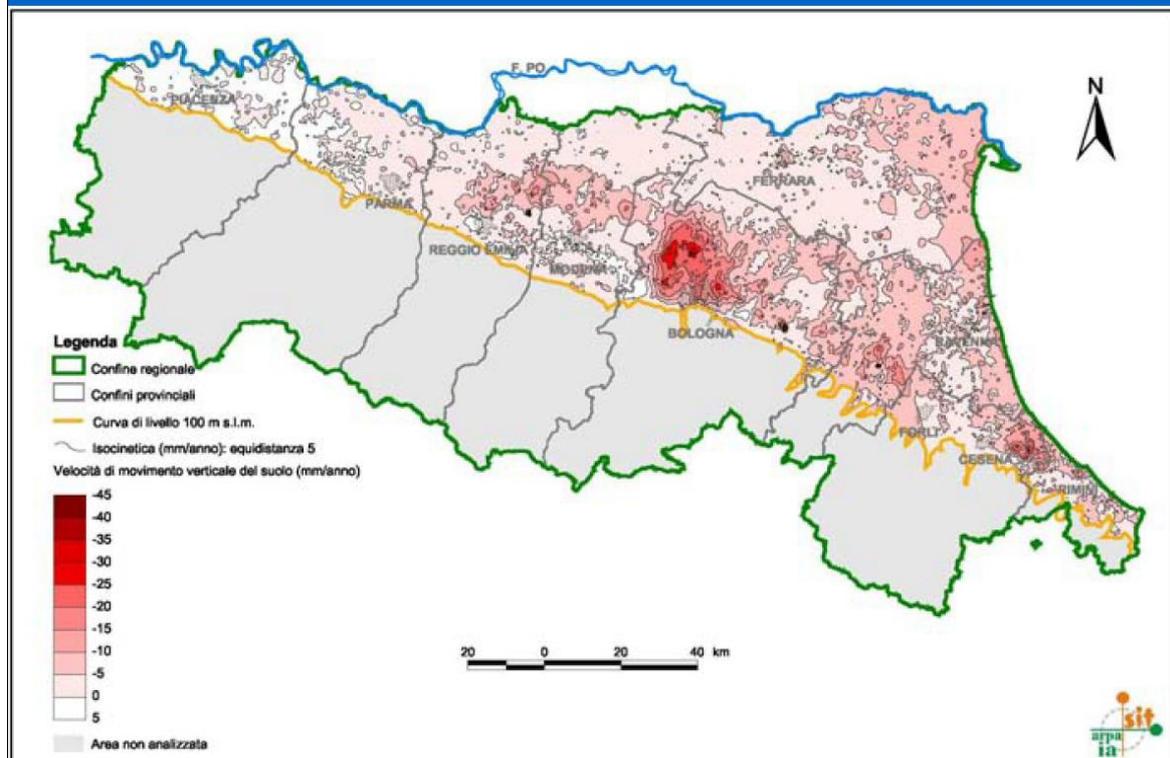


FIGURA 3-4 – Mappa Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2002 – 2006

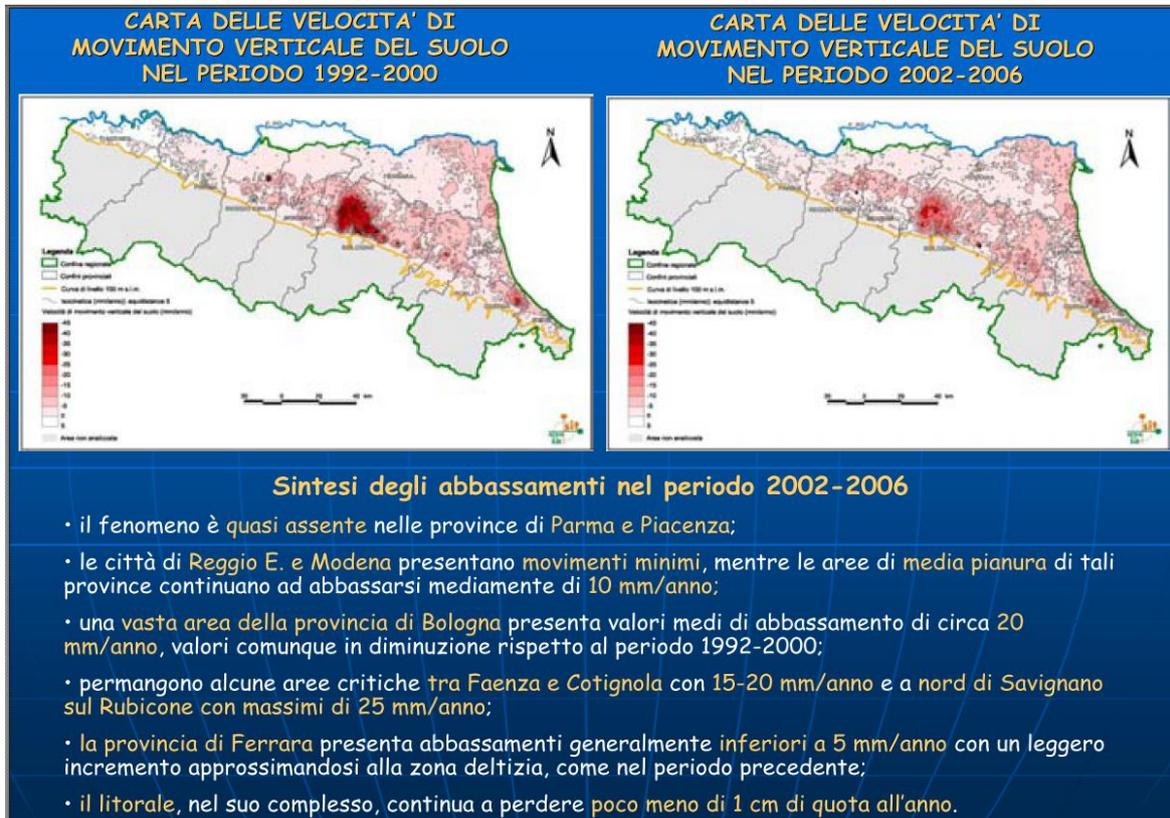


FIGURA 3-5 – Sintesi delle considerazioni ottenute confrontando gli abbassamenti del periodo 1992-2000 e 2002-2006

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.

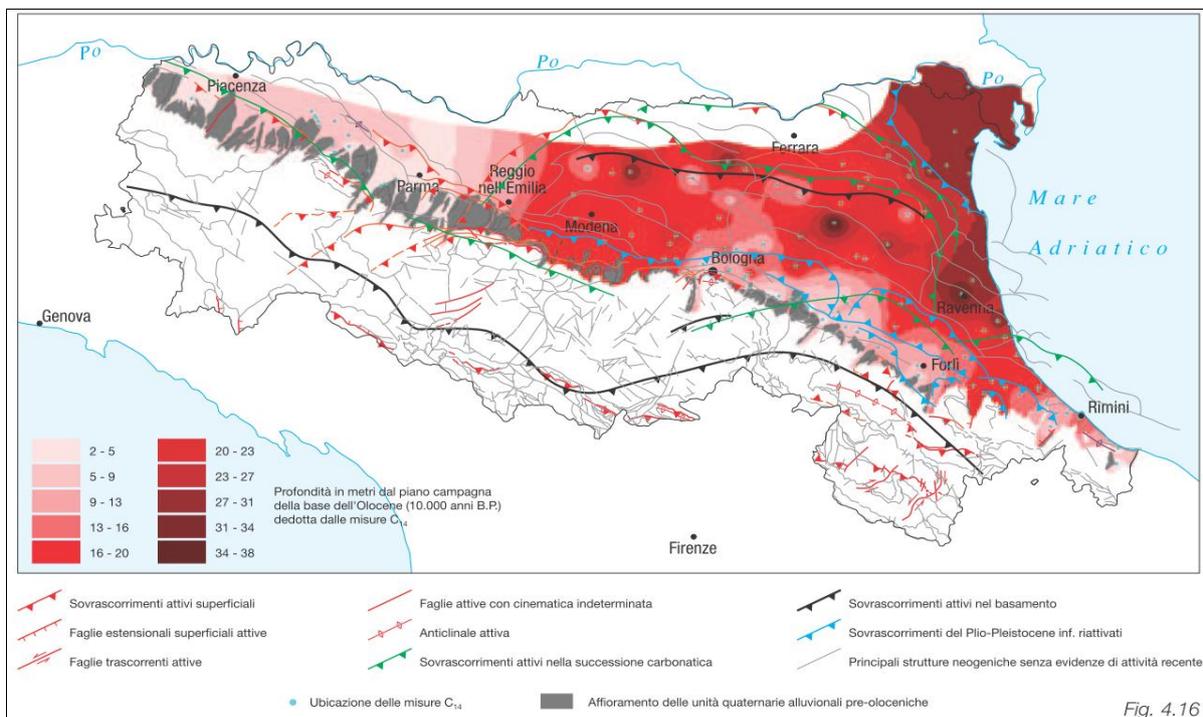


FIGURA 3-6 – Mappa della profondità della base dell'Olocene.

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 Masi Torello, condizionando fortemente gli effetti di sito cosismici attesi.

Nell'asse con direttrice verticale congiungente i centri abitati principali (Masi San Giacomo, Borgo Sant'Anna e Masi Torello) 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.

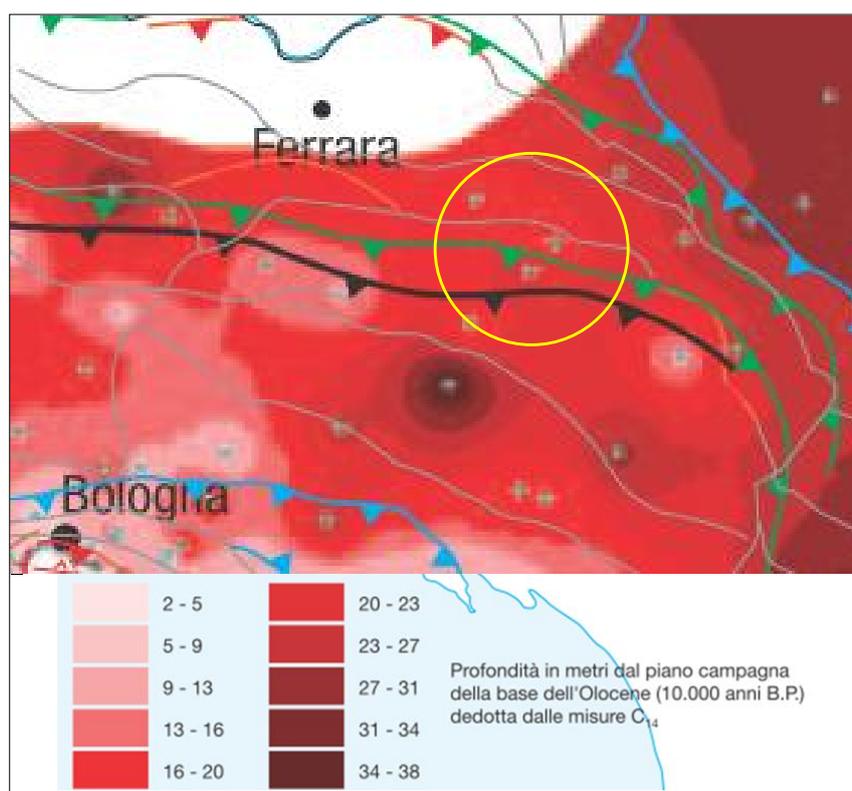


FIGURA 3-7 – Particolare della carta degli spessori dell'Olocene

L'evoluzione ambientale del territorio di Masi Torello 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.

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 Masi Torello.

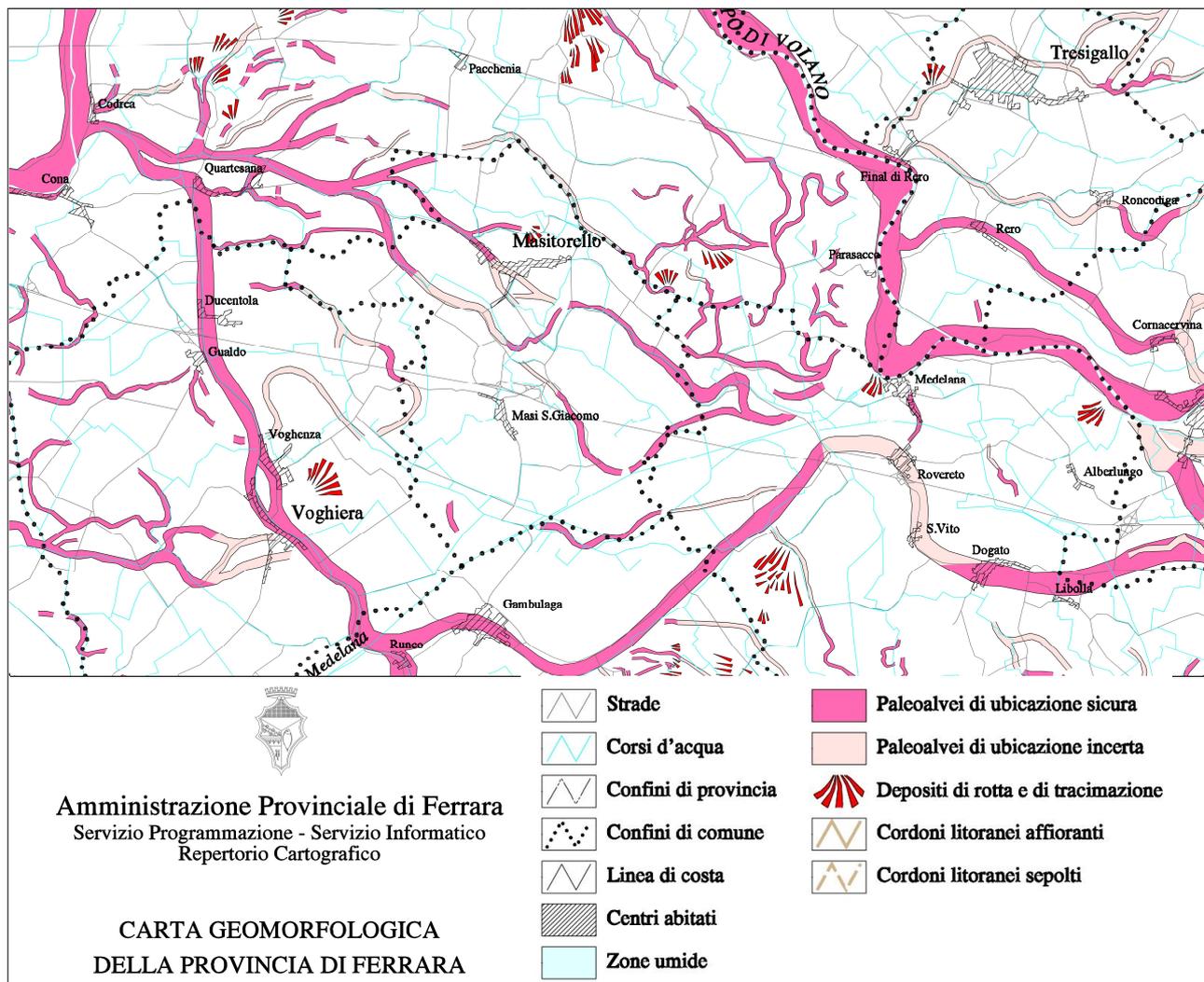


FIGURA 3-8 – Stralcio della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara

Il territorio comunale di Masi Torello ricade in un'area di catino interfluviale tra il dosso del paleovalveo del Po di Spina, ad ovest del comune, antica diramazione fluviale che si staccava dal Po di Volano a Codrea-Quartesana, e passando per Voghiera dirigeva verso sud, dividendosi all'altezza di Runco in due rami, di cui il principale confluiva a San Vito nel fiume Padoa Eridano, poi Padovetere e il dosso del paleovalveo del Po di Volano, ad est del comune.

Il dosso del paleovalveo del Po di Spina 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. Di fatto, le sue caratteristiche geomorfologiche indicano la presenza di un corso d'acqua di notevoli dimensioni con un canale molto simile a quello del Po attuale. Anche il Po di Volano, a monte e a valle del punto di origine presenta in profondità un canale di dimensioni considerevoli e simili a quest'ultimo.

A ridosso e sopra i paleovalvei prevalgono generalmente sedimenti di alta energia idrodinamica, in quanto le correnti dei fiumi sono in grado di portare via i termini argillosi e limosi; allontanandosi dalle linee di flusso principali delle correnti, le acque di esondazione, trasportavano in regime di bassa energia idrodinamica solamente sedimenti fini quali argille limose e argille.

In corrispondenza di via Garisenda per poi continuare in via Sant'Anna a Borgo Sant'Anna è stato rilevato un ramo di paleovalveo secondario, che si staccava dal paleovalveo del Po di Spina, più a nord all'altezza di Quartesana e attraversava il comune passando tra gli abitati di Masi Torello e Masi San Giacomo (FIGURA 3.9), per poi passare nella piccola zona artigianale di Masi San Giacomo.

Allontanandosi dai dossi si entra nelle piane alluvionali distali vere e proprie, che nel caso in esame, consistevano in zone caratterizzate da sedimenti tipici di ambienti deposizionali di bassa energia idrodinamica.

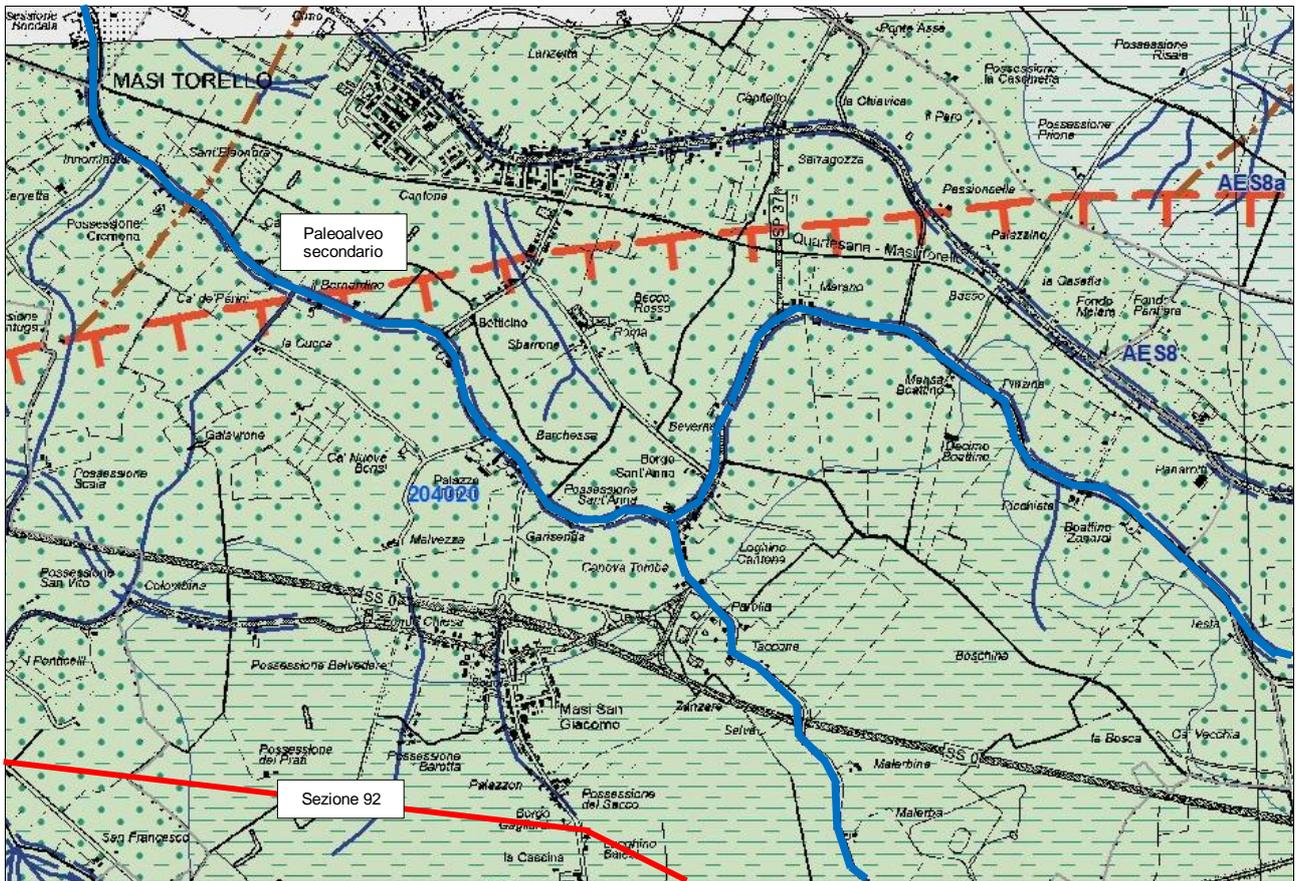


FIGURA 3-9 – Carta geomorfologica di dettaglio RER

In FIGURA 3.10 si riporta una sezione geologica superficiale passante poco più a sud dell'abitato di Masi San Giacomo.

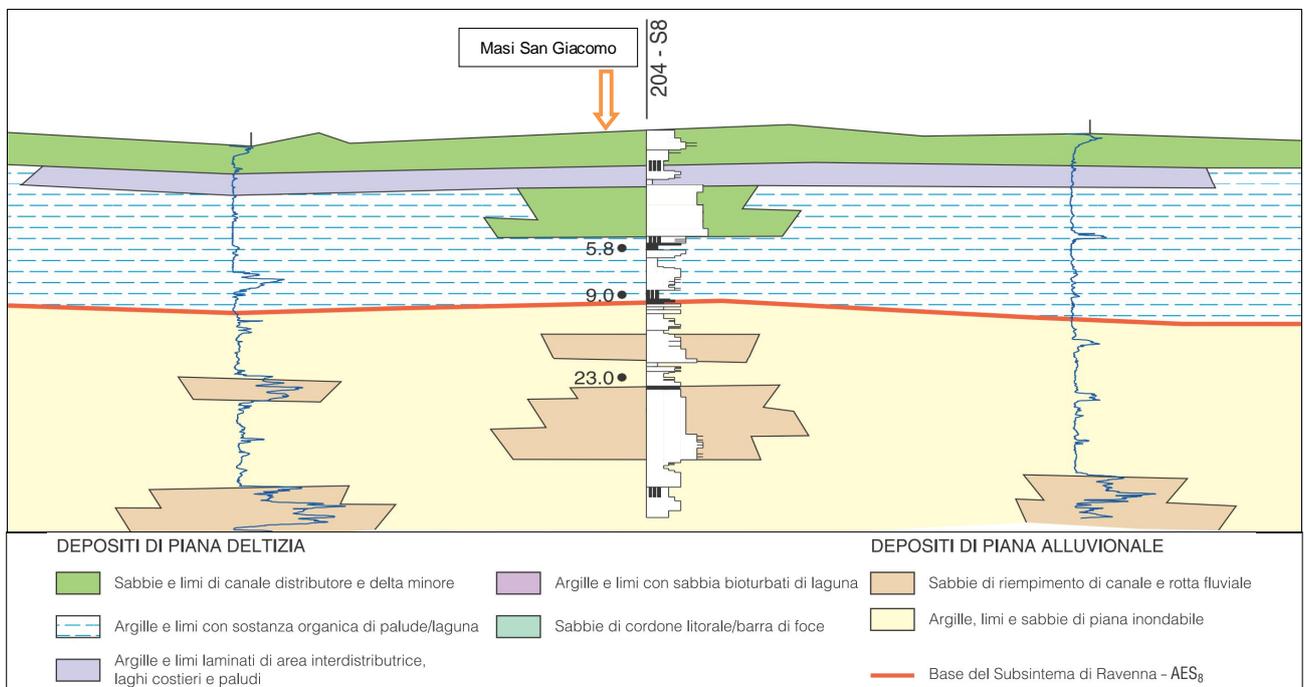


FIGURA 3-10 – Sezione geologica 92 RER

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, cosicchè 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 miscelarsi 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 3.11 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 Masi Torello non presenta aree particolarmente depresse, fatta esclusione per alcune piccole aree concentrate nella zona meridionale ed orientale del comune con valori tra -1,0 m e 0,0 m sul l.m.m..

Successivamente si riportano in FIGURA 3.12 una carta storica del 1853 ed in FIGURA 3.13 due carte del 1814 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.

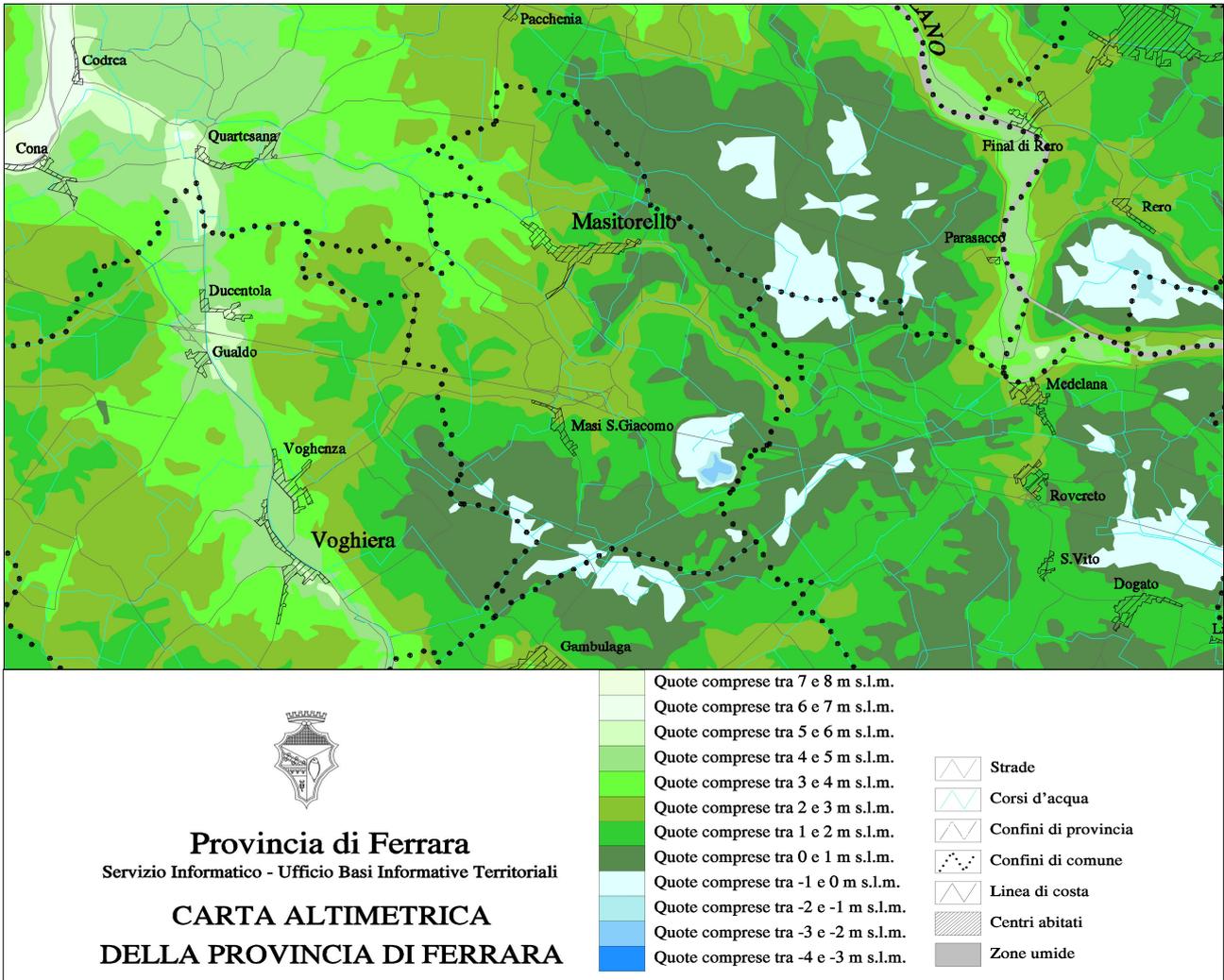


FIGURA 3-11 – Stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara

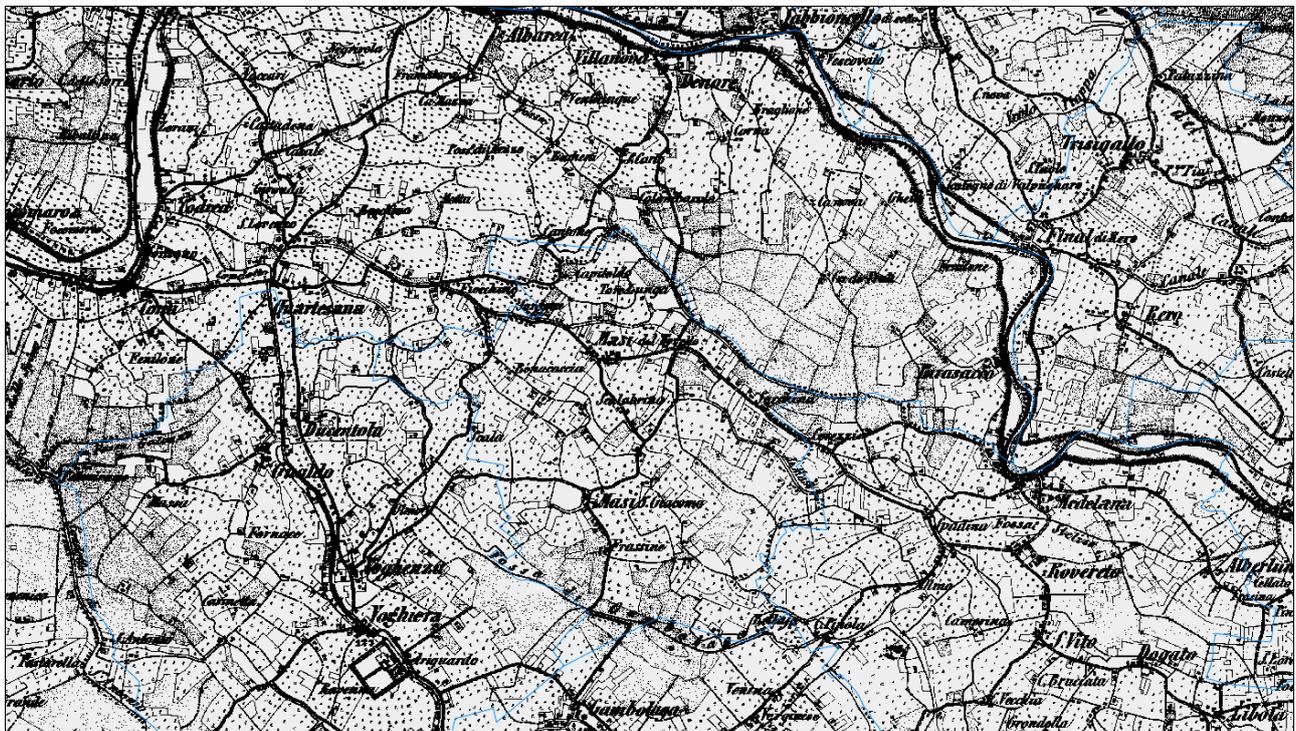


FIGURA 3-12 – Carta storica del 1853 (http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp)



FIGURA 3-13 – Carta storica del 1814 (reperita su sito http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp)

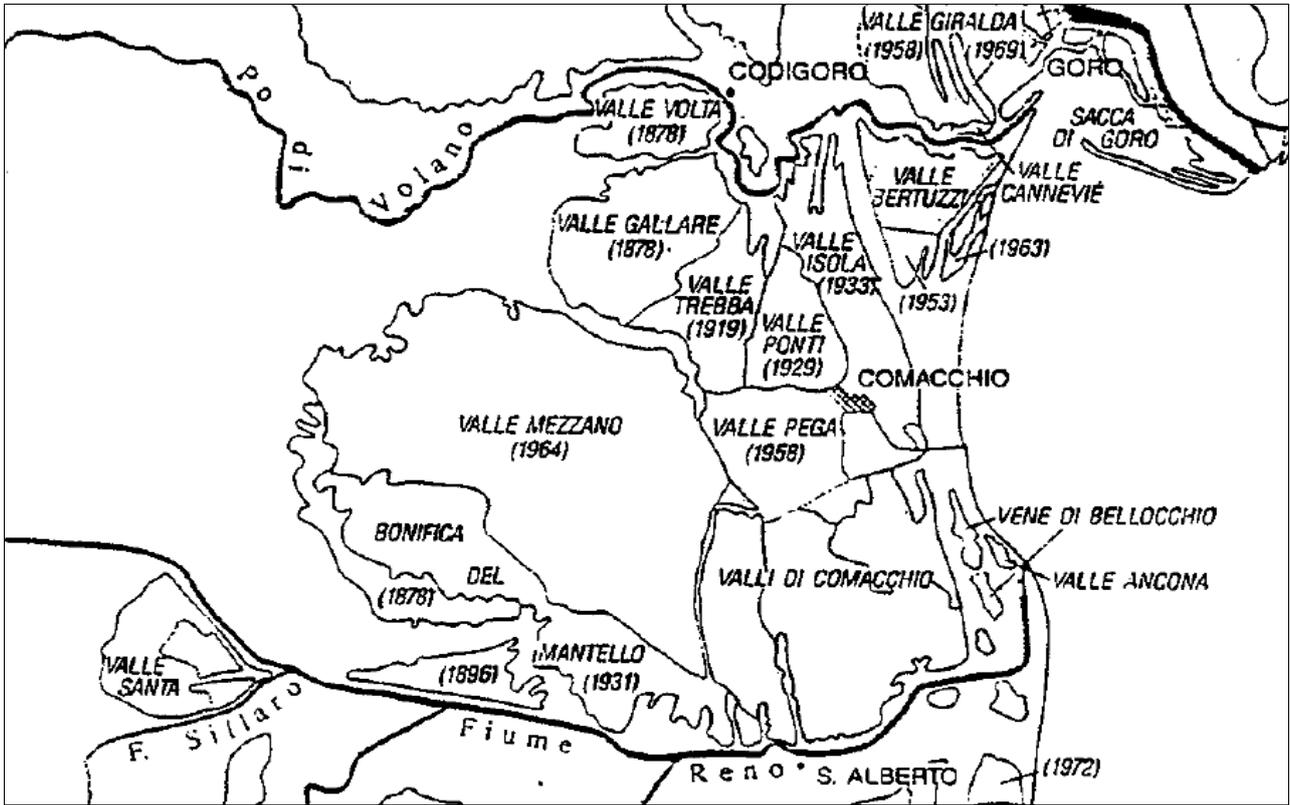


FIGURA 3-14 – Carta dei bacini di bonifica con evidenziate le date dell'avvenuto prosciugamento (M. Bondesan, 1994)

Quindi il territorio ha subito una grande trasformazione nell'arco di 100 anni (tra il 1850 ed il 1958 a seguito delle bonifiche. In FIGURA 3.15 ed in FIGURA 3.16 tale trasformazione appare in tutta la sua evidenza.

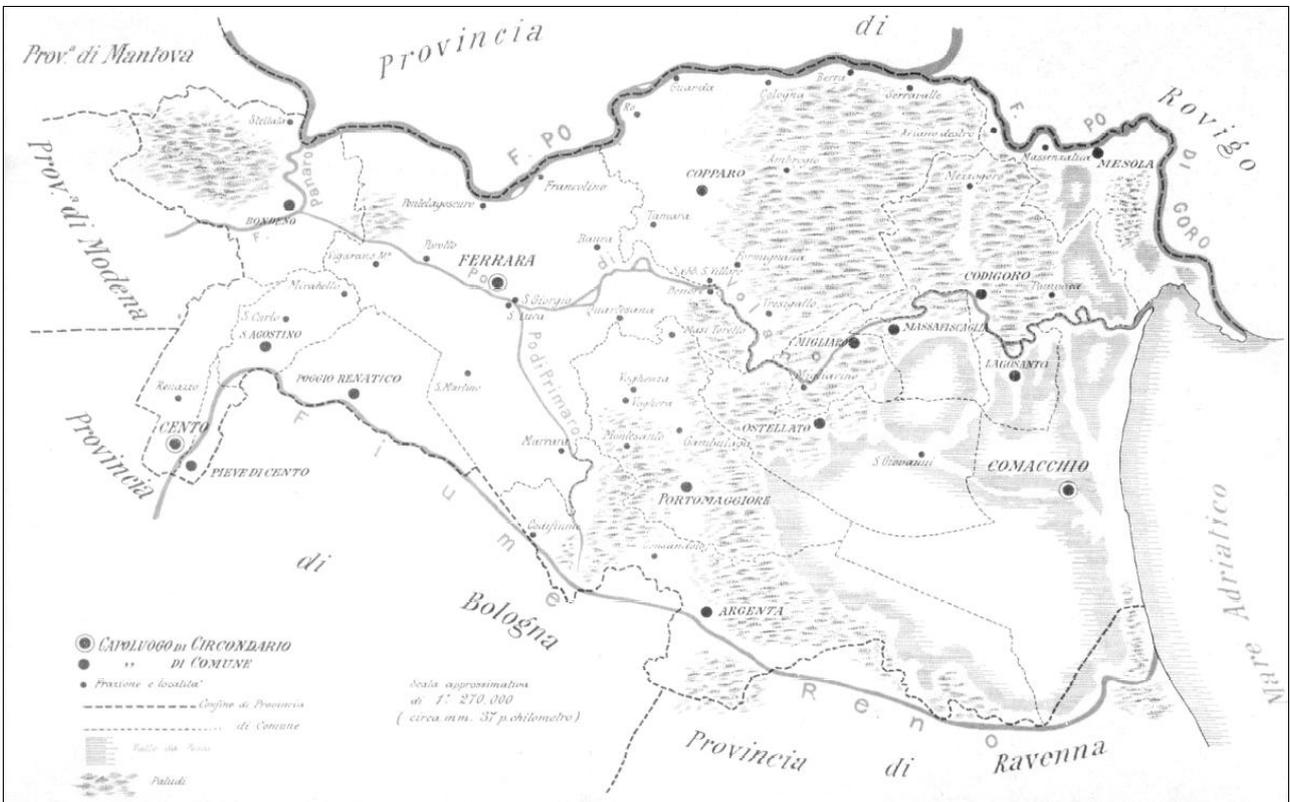


FIGURA 3-15 – La provincia di Ferrara a metà dell'800 prima delle Bonifiche meccaniche (da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)

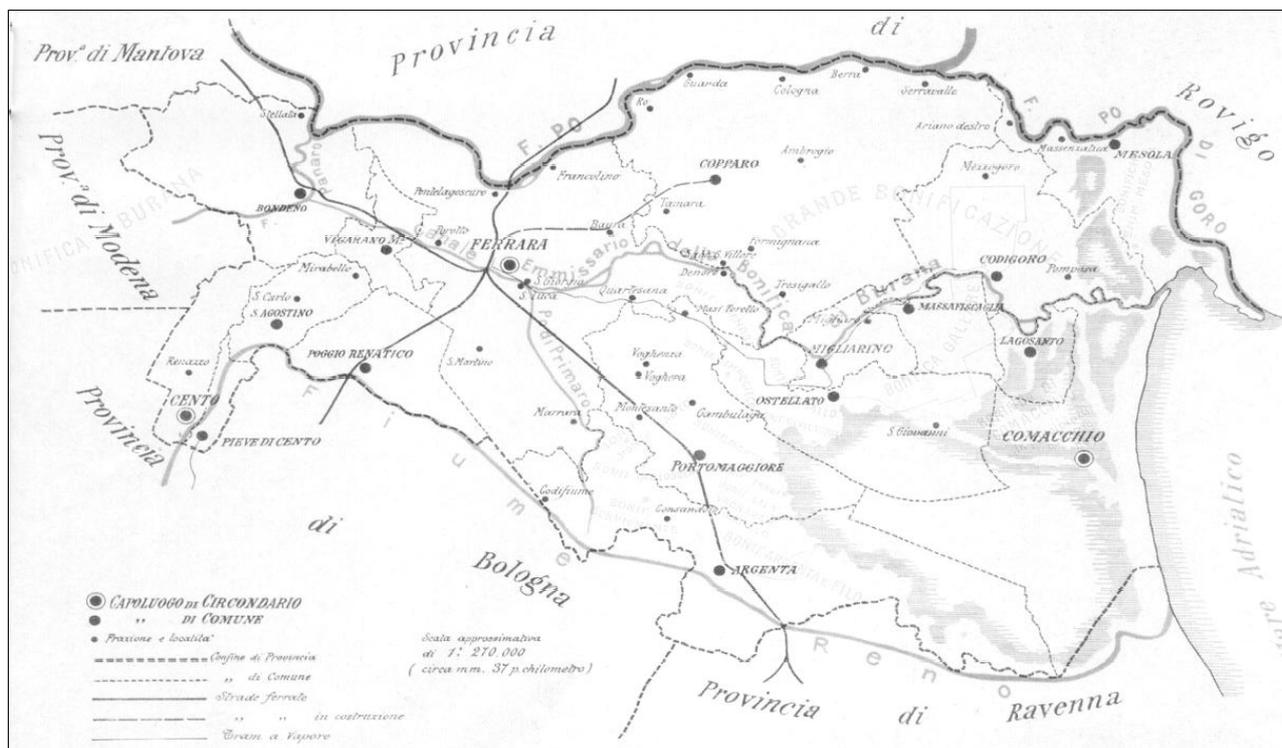


FIGURA 3-16 – La provincia di Ferrara dopo le Bonifiche ottocentesche
(da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)

In FIGURA 3.17 si riporta l'ultima carta della velocità di abbassamento dei suoli pubblicata da ARPA nel 2017, inerente il monitoraggio nel periodo 2011-2016. Da questo studio emerge generalmente una riduzione generalizzata della velocità di abbassamento rispetto ai periodi monitorati precedentemente.

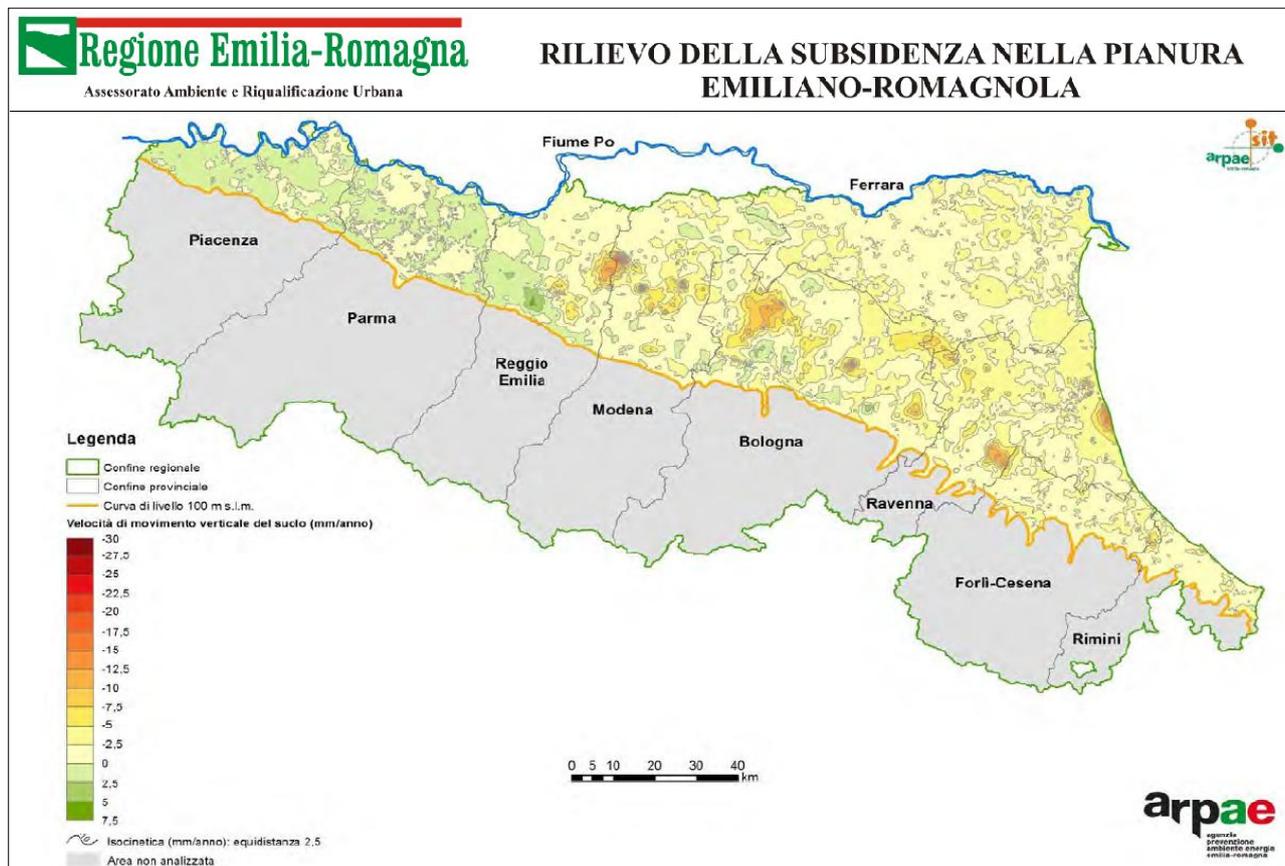


FIGURA 3-17 – Carta della velocità di abbassamento dei suoli nel periodo 2011-2016.

In FIGURA 3.18 si riporta la mappa delle curve isocinetiche dell'ARPAE e in FIGURA 3.19 una zoommata della stessa mappa, ove l'interrogazione evidenzia queste velocità di abbassamento. I dati riportati sono i più aggiornati, e denotano una riduzione delle velocità di abbassamento rispetto ai monitoraggi precedenti, le cui motivazioni sono ancora tutte da comprendere.

Nel dettaglio si può apprezzare come le velocità di movimento verticale del terreno nel periodo 2011-2016 siano comprese tra -2,5 mm/anno e 0 mm/anno praticamente in tutto il territorio comunale di Masi Torello.

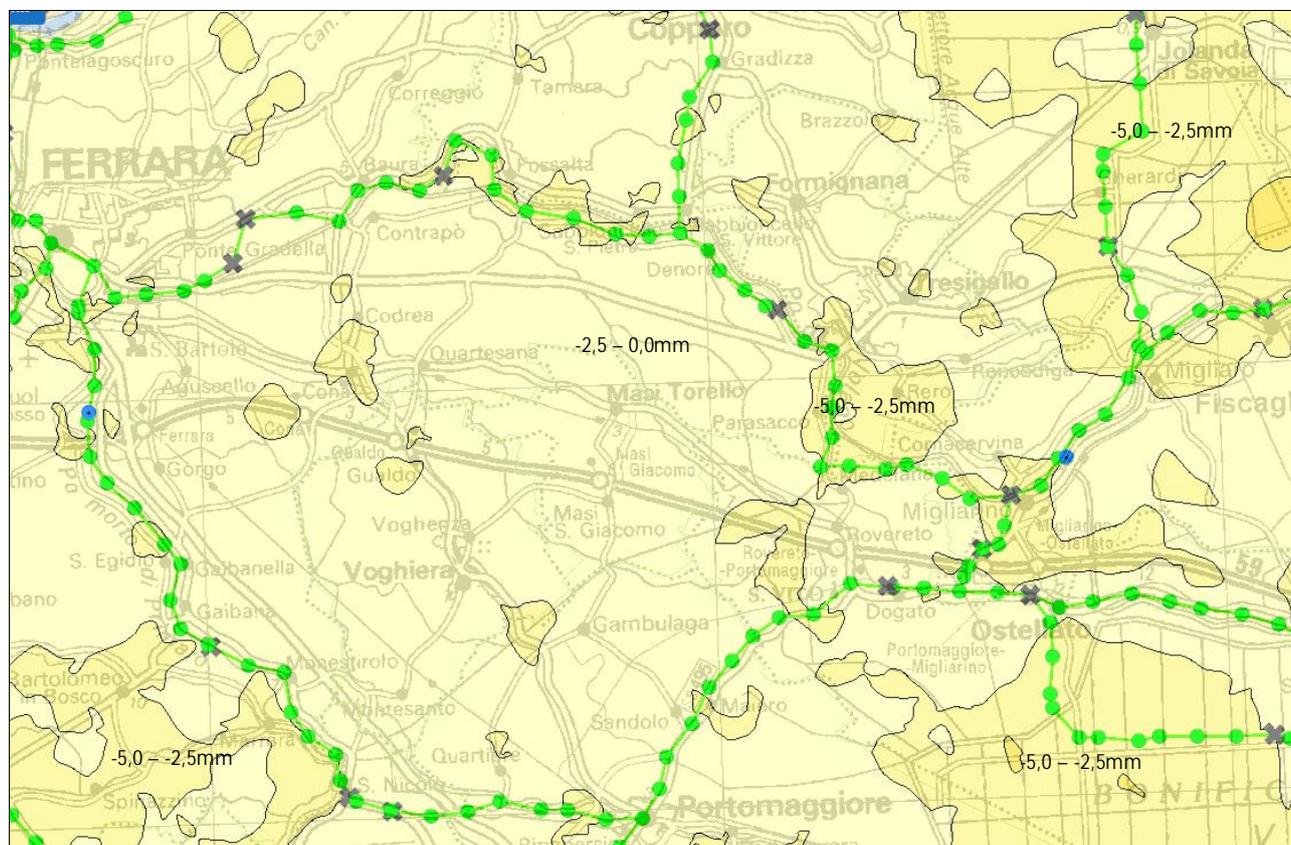


FIGURA 3-18 – Mappa delle curve di uguale velocità di abbassamento periodo 2011/2016 espresse in mm/anno.

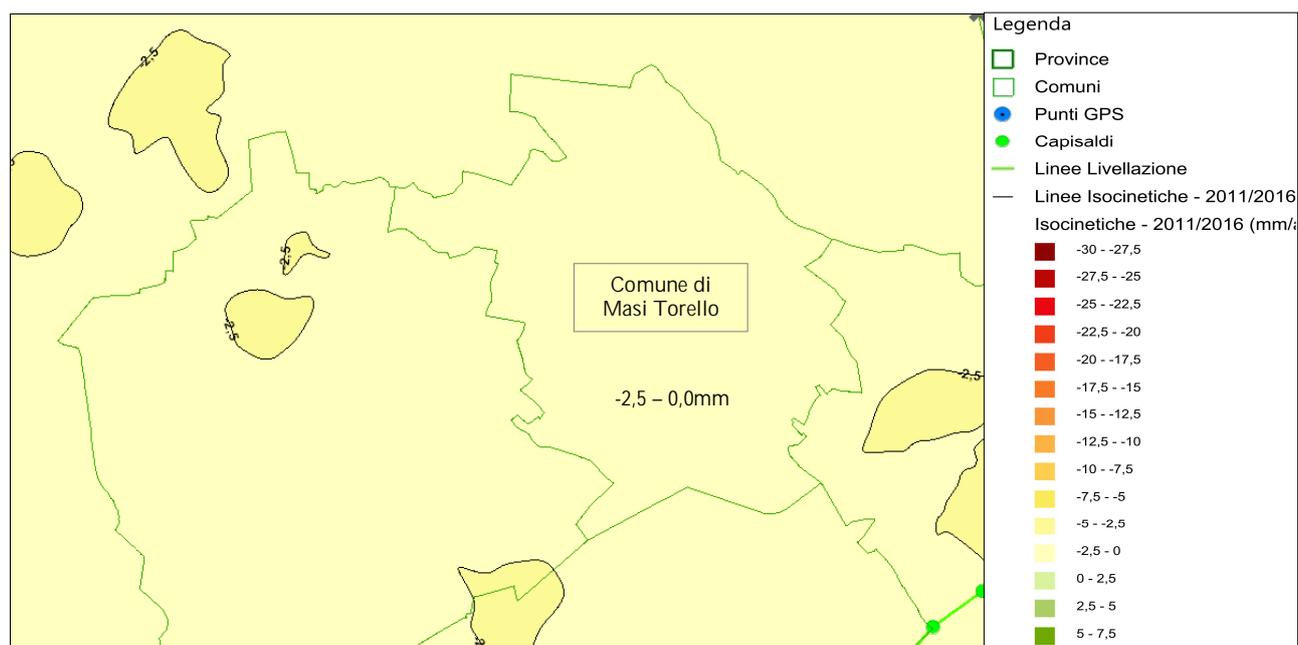


FIGURA 3-19 – Zoom della Mappa sul comune di Masi Torello - La velocità di abbassamento è compresa tra -2,5 e 0 mm annui.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

In questo capitolo sono descritte le diverse tipologie di indagini geognostiche effettuate sul territorio comunale di Masi Torello 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 208 indagini geognostiche. Di queste, 9 sono state appositamente realizzate per lo studio di microzonazione sismica di secondo livello, mentre le restanti 199 provengono dalla banca dati dello scrivente, dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna e dall'archivio del Comune di Masi Torello. 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).

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 Masi Torello presenti nella banca dati dello scrivente e della regione Emilia Romagna. Nella Tabella 4.1 che segue è indicato il numero delle indagini reperiti nella banca dati personale dello scrivente, quelle reperite dalla banca dati regionale e quelle di nuova esecuzione fatte appositamente per questo studio.

	Indagini Puntuali	Numero indagini Banca dati Veronese	Numero indagini bibliografiche RER	Numero indagini bibliografiche COMUNE	Numero Totale di indagini
BANCA DATI GEOL. VERONESE, COMUNE E REGIONE	CPT	11	37	69	117
	CPTU	10	9	7	26
	SCPTU	3	-	1	4
	SPT	-	-	-	-
	Sondaggio continuo	1	1	2	4
	Sondaggio a distruzione	-	-	-	-
	Pozzi acqua	-	8	-	8
	Pozzi idrocarburi	-	-	-	-
	HVSR	2	-	5	7
	E.S.A.C.	1	-	-	1
	REMI	-	-	1	1
	S.E.V.	-	31	-	31
TOTALE	28	86	85	199	
NUOVE INDAGINI	CPTU	6			
	SCPTU	1			
	HVSR	2			
	TOTALE	9			
STRATIGRAFIA SMS	32				

Tabella 4.1 - Indagini complessive analizzate in questo studio

Le 198 indagini puntuali con le 32 Stratigrafie della Zona MS Teorica, l'indagine lineare pregressa e le 9 indagini puntuali di nuova realizzazione presenti nel territorio comunale sono state analizzate ed archiviate in una banca dati informatizzata e georeferenziata con sistema WGS84 UTM 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 Soft_MS versione 4.2.0, 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 Masi Torello 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 Masi Torello sono state eseguite nuove indagini specifiche per ogni sito ritenuto strategico.

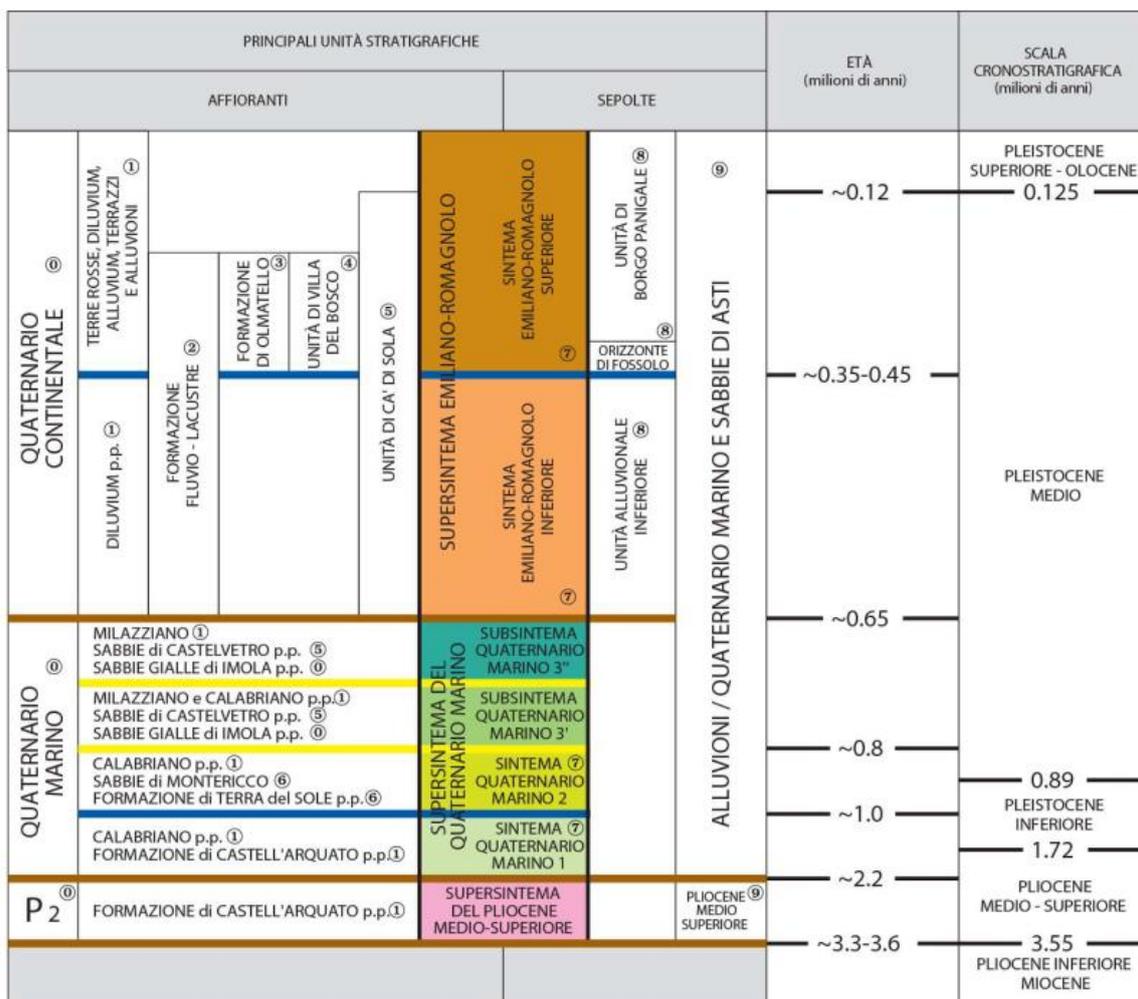
Nello specifico si sono eseguite n. 6 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono CPTU spinte tutte fino alla profondità di -20,0 m da p.c., n. 1 prova penetrometrica statica a punta elettrica e piezocono sismico SCPTU spinta fino alla profondità di -30,0 m da p.c. e n. 2 misure di microtremore a stazione singola HVSR.

N° indagine	Riferimento	Data	Lat.	Long.	Località
CPTU1	038012P228	28/09/2022	4965650	245912	Masi Torello, viale Adriatico S.P.1
CPTU2	038012P229	27/09/2022	4965130	247380	Masi Torello, viale Adriatico S.P.1
CPTU3	038012P230	28/09/2022	4965120	247045	Masi Torello, viale Adriatico S.P.1
CPTU4	038012P231	13/10/2022	4964620	246589	Masi Torello, via Roma
SCPTU5	038012P232	05/10/2022	4963510	247046	Borgo Sant'Anna, via Garisenda
CPTU6	038012P233	27/09/2022	4962920	246408	Masi San Giacomo, via Monsignor G. Cerioli
CPTU7	038012P234	27/09/2022	4962770	246184	Masi San Giacomo, via T. Tasso
HV01	038012P236	03/10/2022	4962920	246218	Masi San Giacomo, via Monsignor G. Cerioli
HV02	038012P235	03/10/2022	4964380	246831	Masi Torello, Cimitero

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.

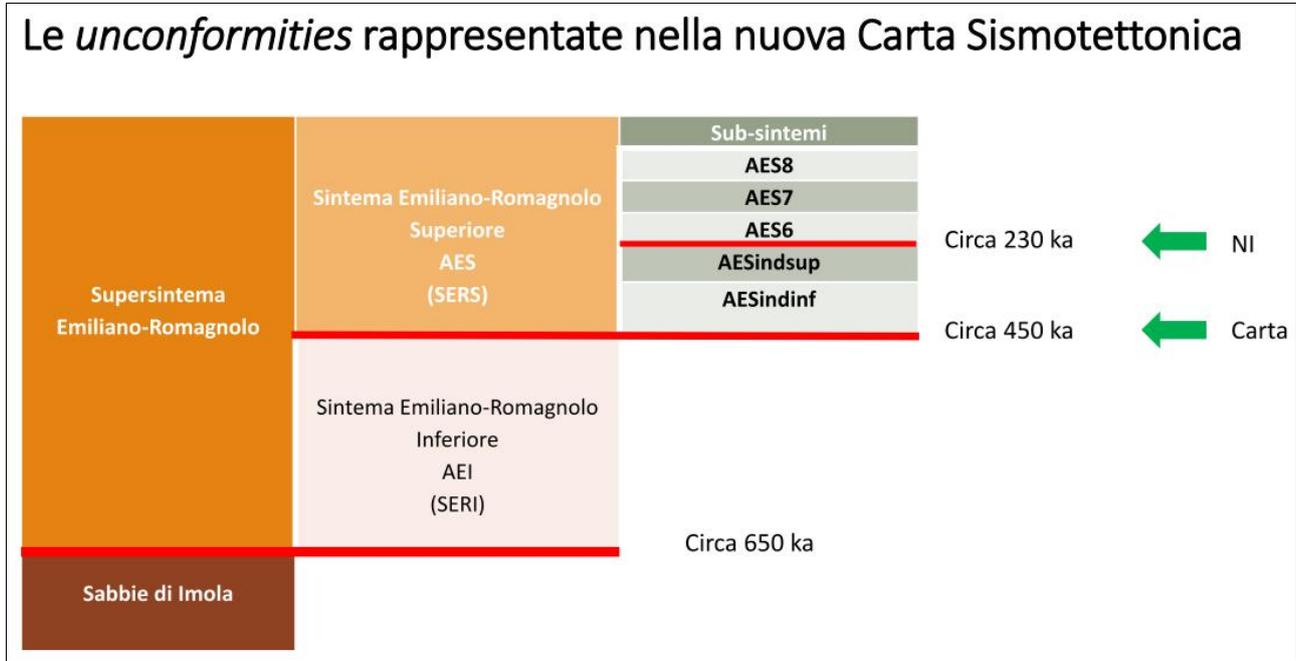


FIGURA 5.2 - schema deposizionale dell'area allo studio.

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

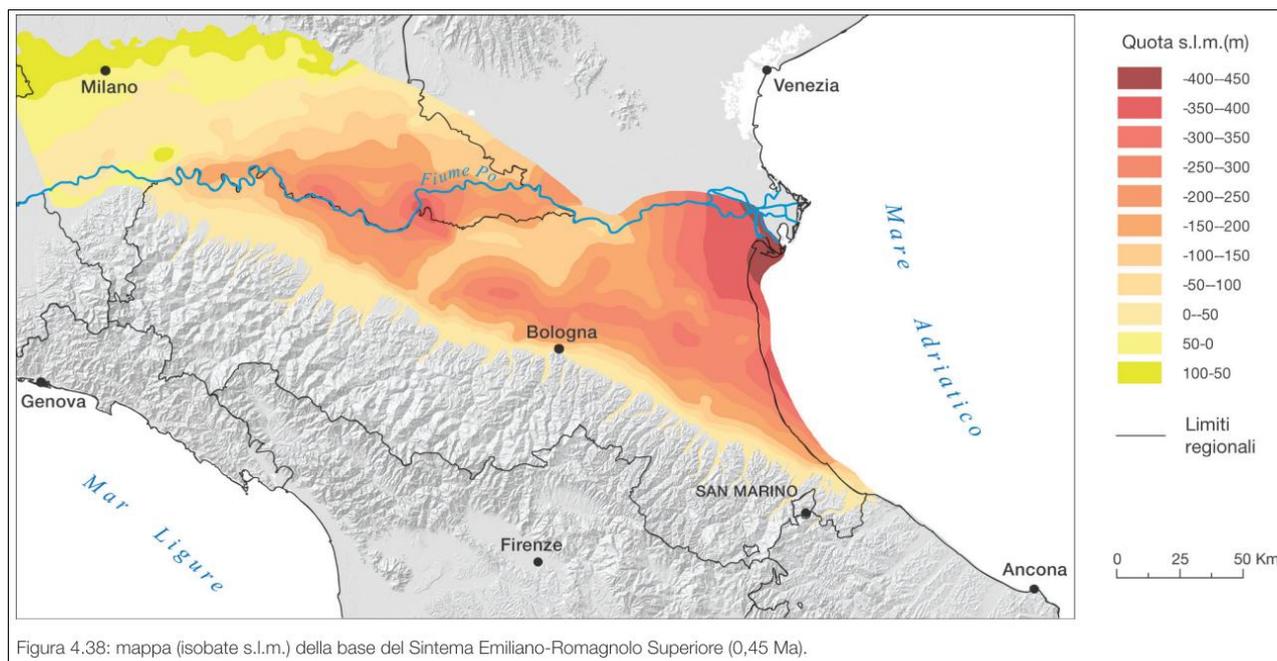


FIGURA 5.3 - profondità della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore AES.

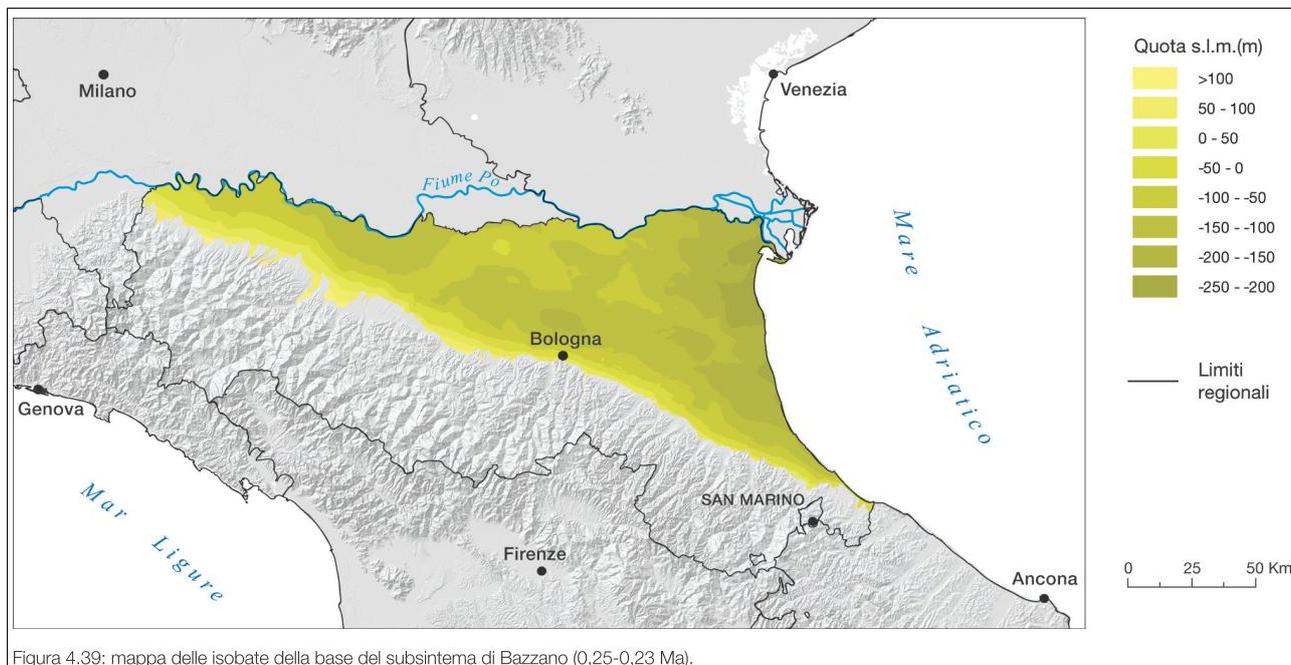
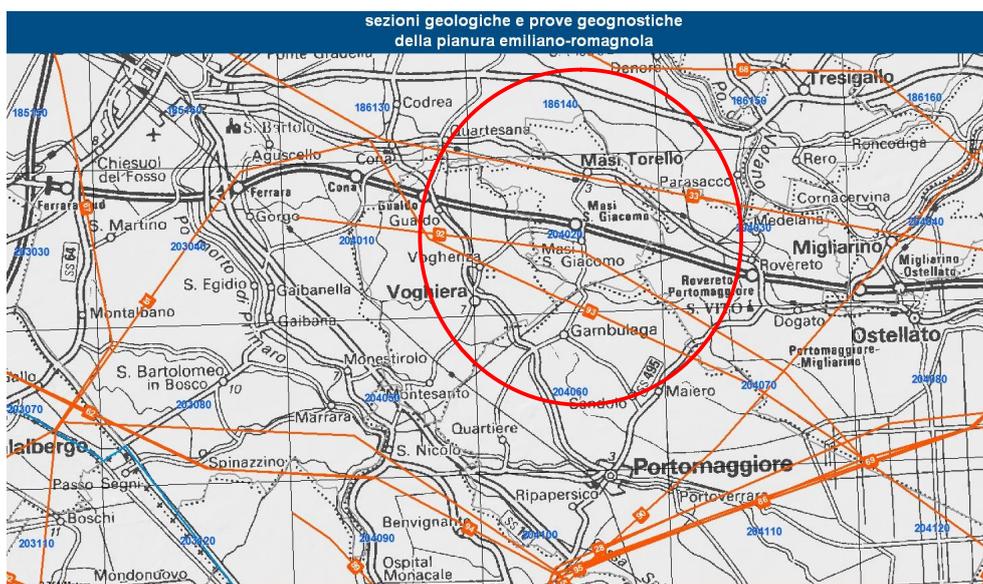


Figura 4.39: mappa delle isobate della base del subsistema di Bazzano (0,25-0,23 Ma).

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 Masi Torello, 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.



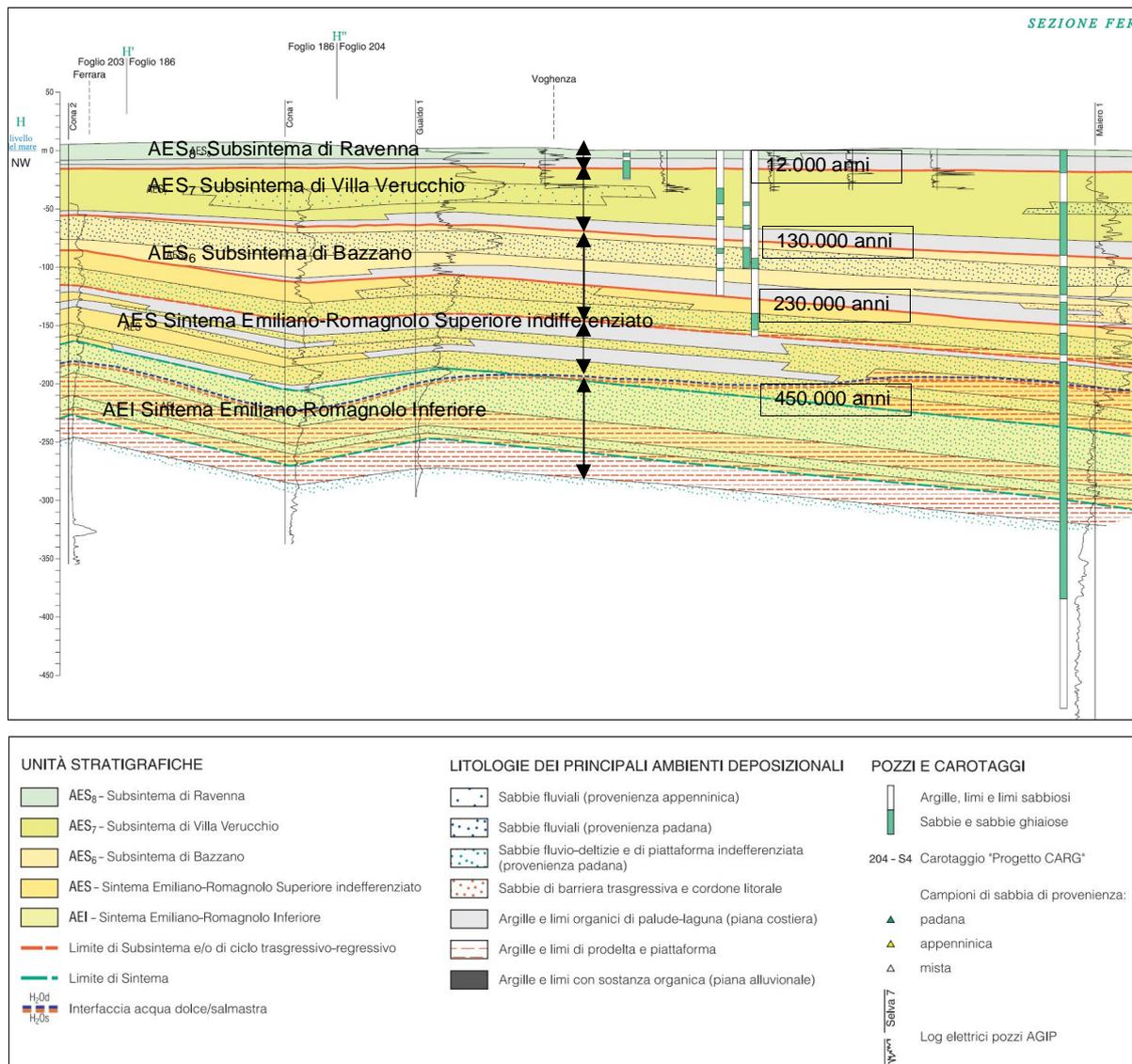


FIGURA 5.2 - Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 300m di profondità.
http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/sezioni_pianura/sez093.pdf

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 Supersistema 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 Supersistema 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 Supersistema Emiliano-Romagnolo è suddiviso in due Sistemi 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 pluridecamentrico 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. SITEMA 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. SITEMA 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 Masi Torello 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.

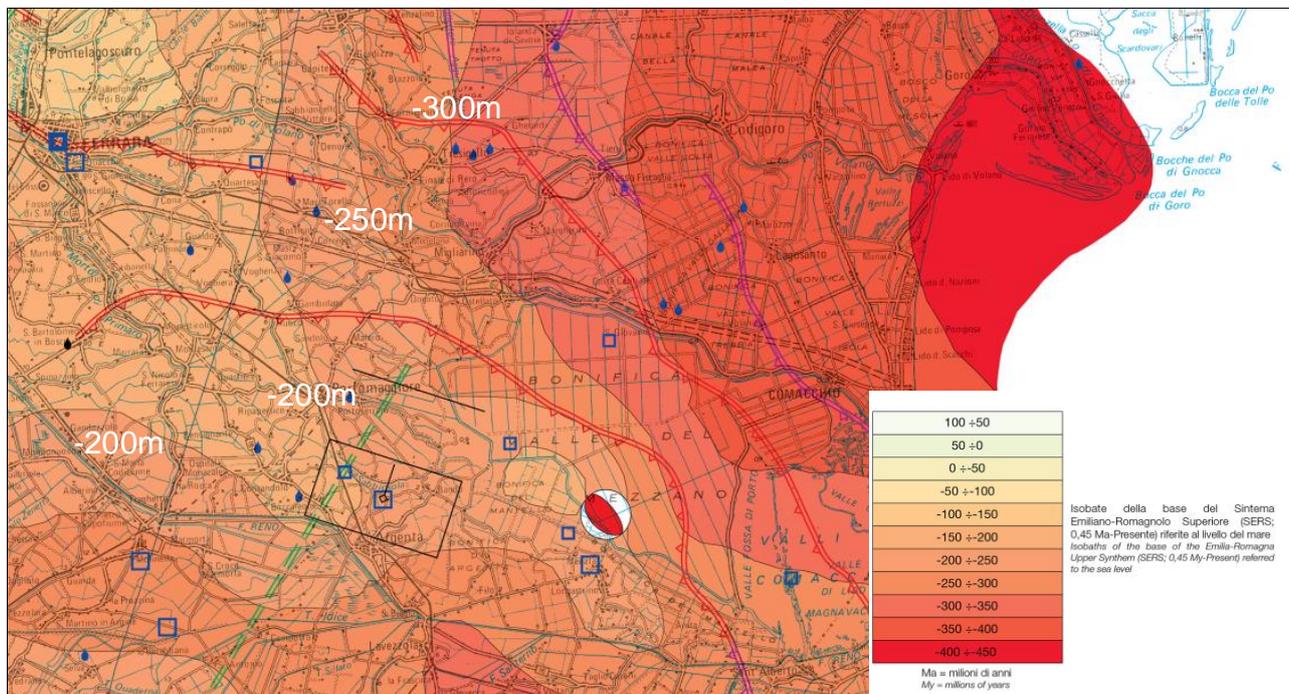


FIGURA 5.7 - Dettaglio della profondità della base dell'AES in m dal livello mare.

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 Avanfossa, 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 spesso 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 ciclostratigrafica 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 Subsistema 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 nastroforni 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.

Nel territorio comunale di Masi Torello, alla luce dei dati analizzati, non sembra esserci traccia di importanti paleoalvei fluviali nei primi 20m di profondità, qui dominano principalmente sedimenti alluvionali distali.

A ridosso del 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..

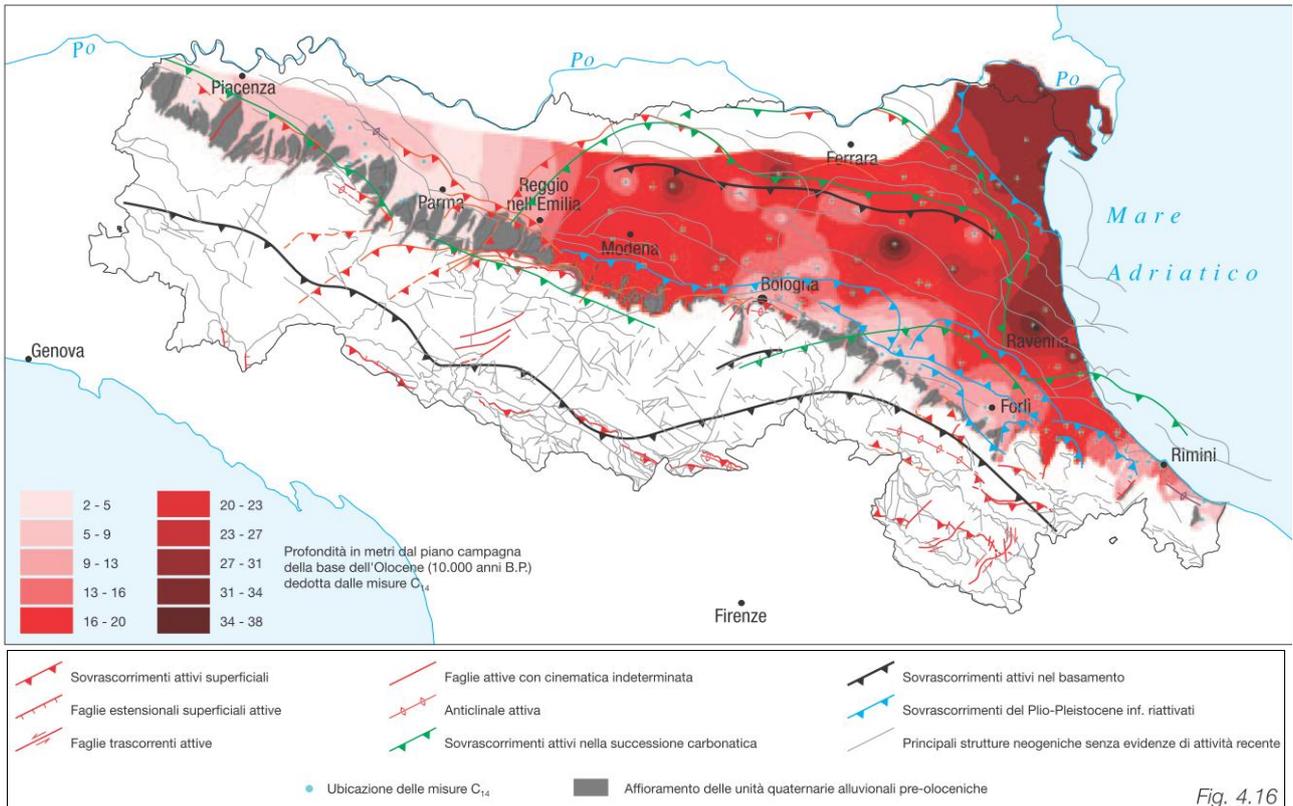


FIGURA 5.8 - Spessore dei sedimenti olocenici appartenenti al Subsistema di Ravenna AES 8.

Nella FIGURA 5.9 si riporta l'ubicazione delle sezioni geologiche riportate poi in FIGURA 5.10, che attraversano il territorio comunale di Masi Torello.

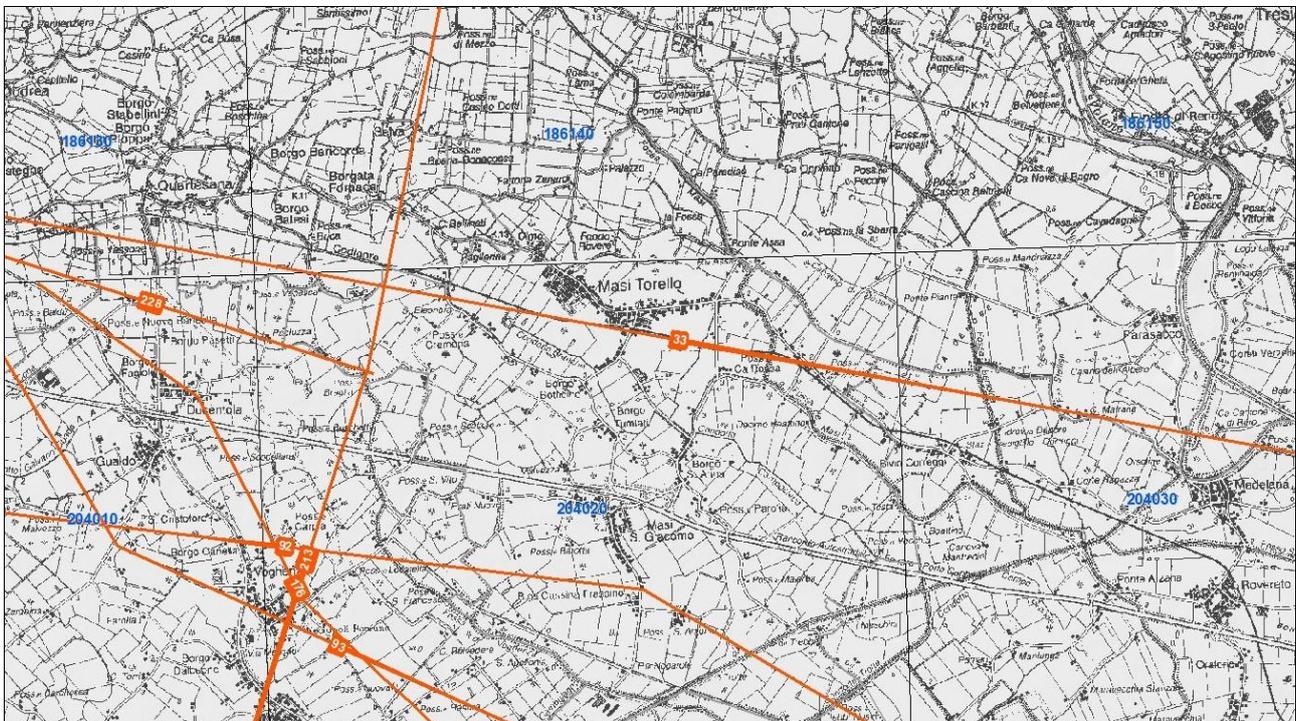


FIGURA 5.9 - Ubicazione della sezione geologica riportata nella seguente figura.
http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/204_PORTOMAGGIORE/Foglio.html

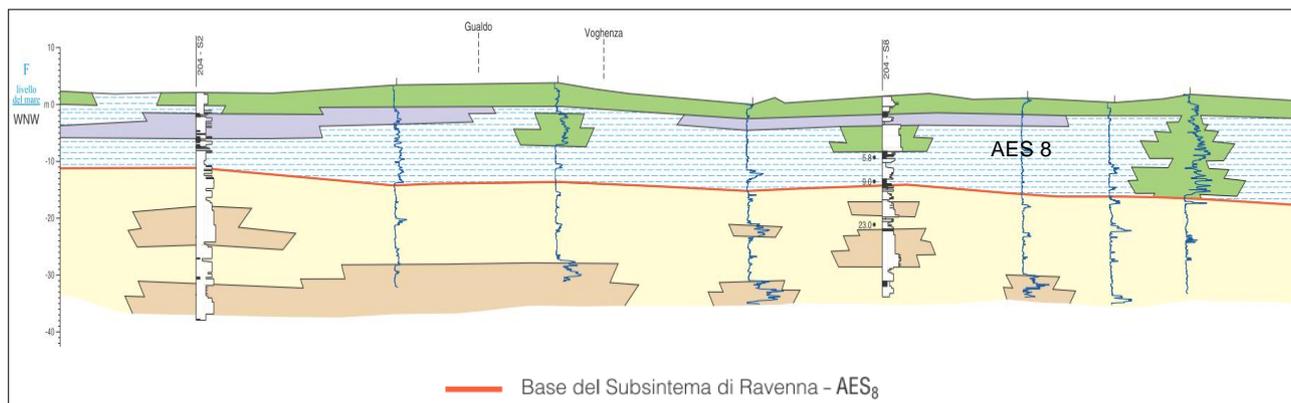


FIGURA 5.10 - Sezione geologica compresa tra Masi Torello e Voghiera.
(http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp)

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 Masi Torello 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 spessori tutto sommato ridotti 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 Masi Torello ricade nelle fasce di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive dell'Emilia Romagna (FIGURA 6.1).

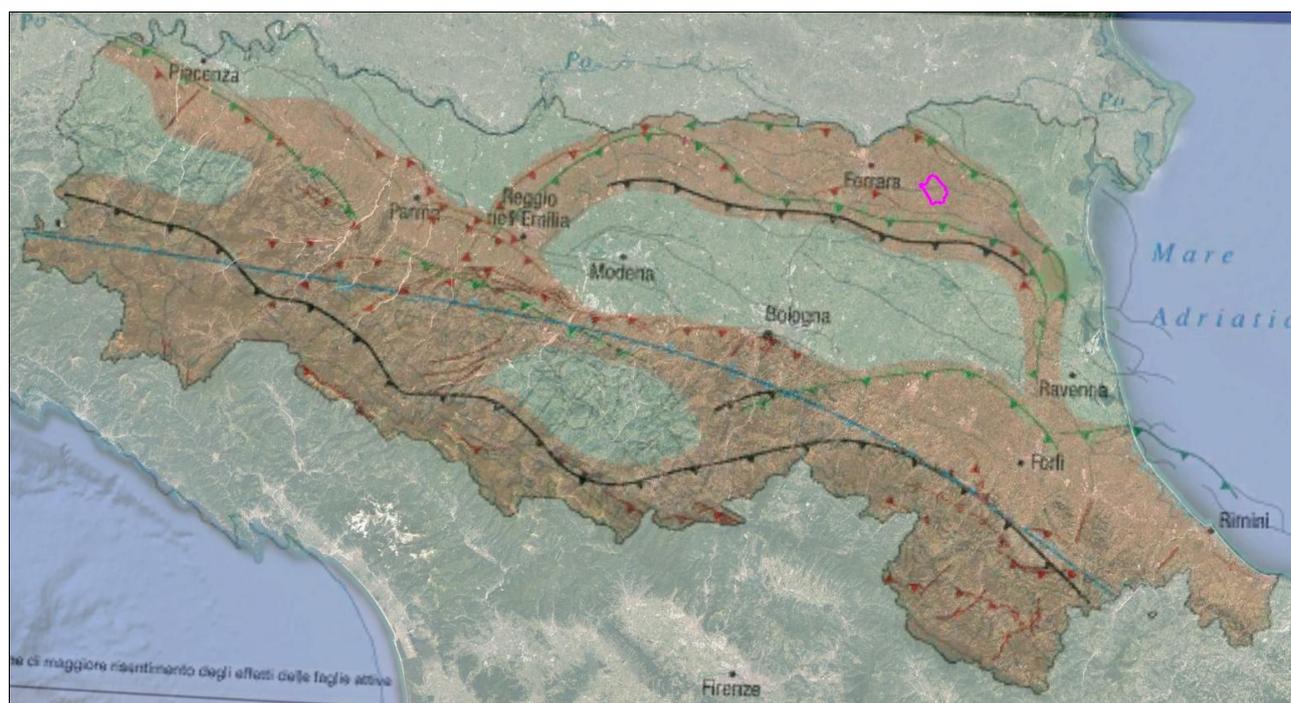


FIGURA 6.1 - Ubicazione del comune di Masi Torello, all'interno delle fasce di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive.

In teoria le accelerazioni sismiche al bedrock sono già superiori a 0,10g, come riportato dagli abachi della D.G.R. n. 476 del 12 aprile 2021 (FIGURA 6.2).

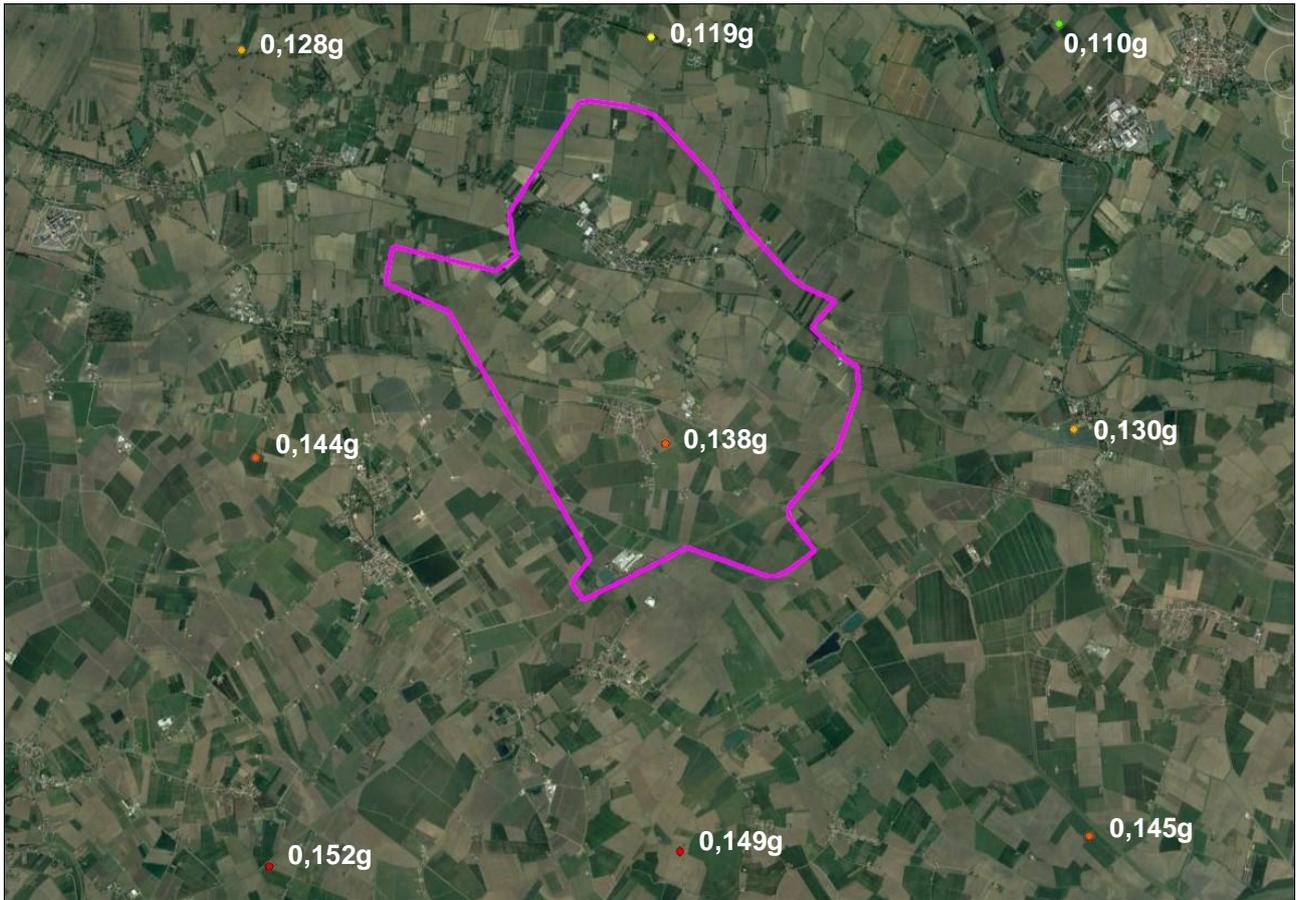


FIGURA 6.2 - Valori di accelerazione di picco su suolo rigido (Bedrock sismico) secondo la D.G.R. n. 476 del 12 aprile 2021.

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**.

Sulla base delle amplificazioni stratigrafiche, i valori delle accelerazioni di picco in superficie diventano quelli riportati nella FIGURA 6.3:

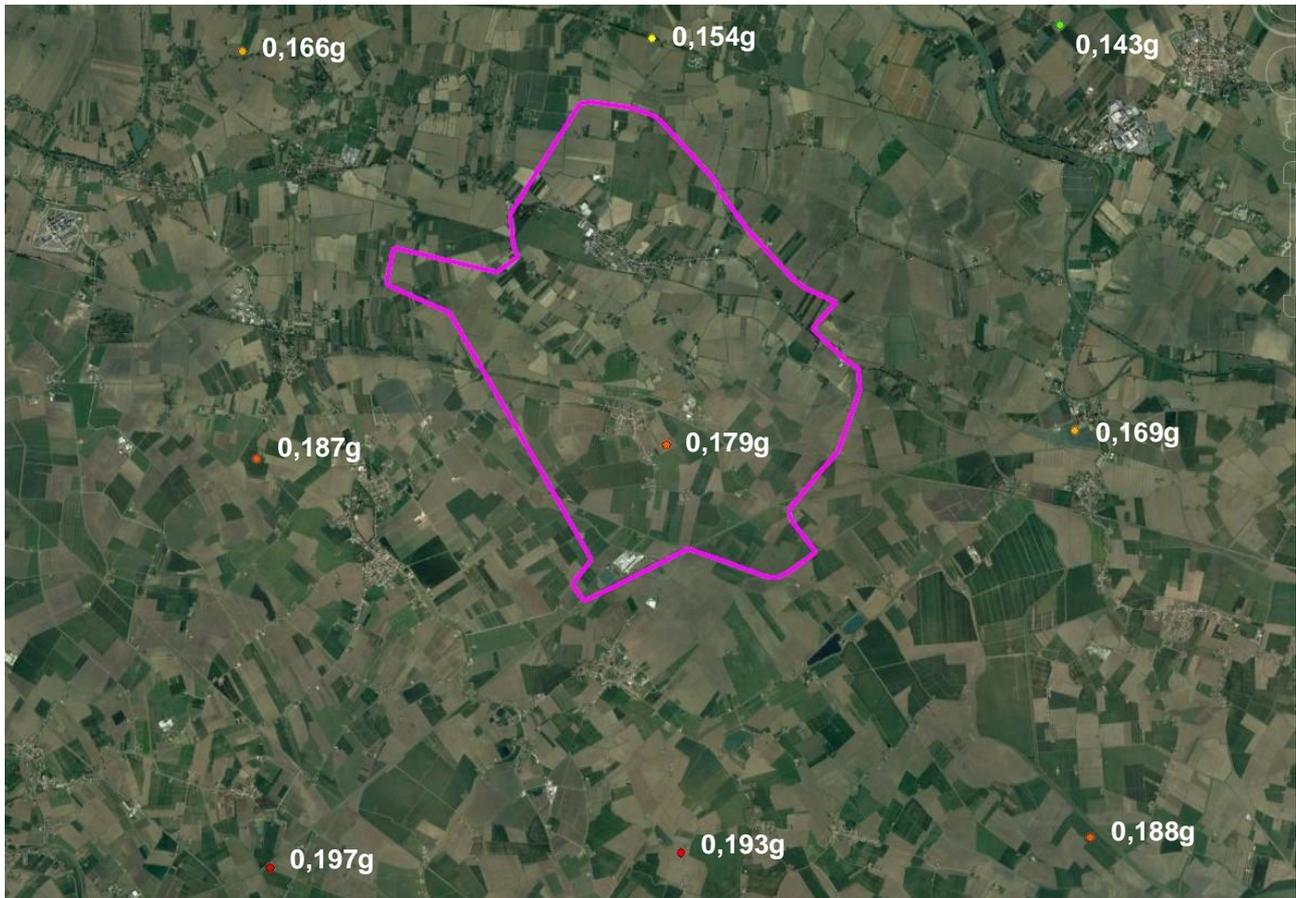


FIGURA 6.3 - Valori di accelerazione di picco in superficie secondo la D.G.R. n. 476 del 12 aprile 2021.

È però da considerare che recenti studi (Tento, Martelli, Marcellini 2015), evidenziano che in terreni ove il bedrock sismico ($V_s > 800\text{m/sec}$, FIGURA 6.4) 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 6.5).



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

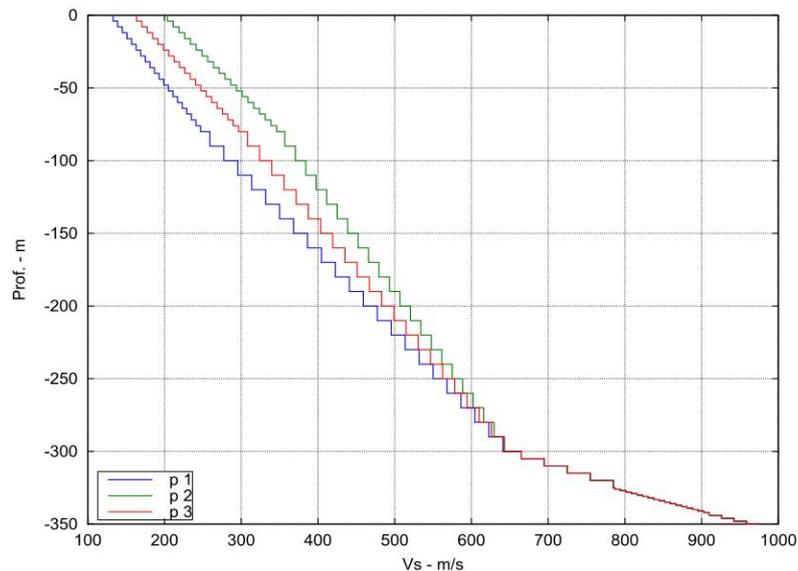


Figura 40: Pianura 3, profili medi utilizzati per il calcolo dei fattori di amplificazione.

FIGURA 6.4 - 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

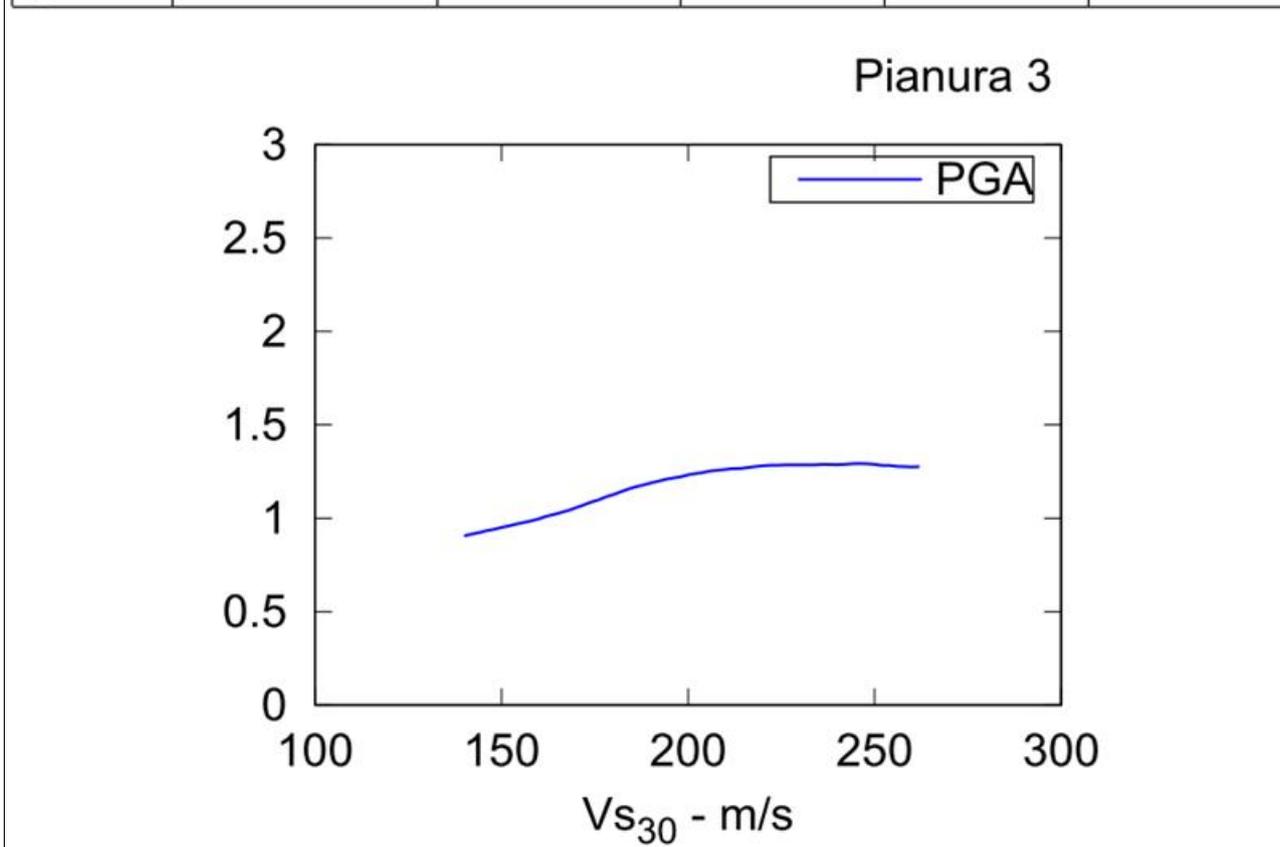


FIGURA 6.5 - Per valori di V_{s30} compresi tra 152 m/sec e 185 m/sec il fattore di amplificazione sismica F.A. per la P.G.A. varia tra 1,1 e 1,3, mantenendosi intorno a 1,3 per valori di V_{s30} superiori a 185m/sec.

Tutto ciò dimostra un certo grado di incertezza sulla possibile determinazione delle azioni sismiche di scuotimento che possono potenzialmente interessare i terreni comunali di Masi Torello. 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".

La definizione della pericolosità di base è oggetto di molti studi, e i più recenti stanno rivedendo al rialzo i valori di PGA al bedrock sismico per il tempo di ritorno che oggi convenzionalmente viene adottato nella Pianificazione Territoriale.

Si veda il particolare la pubblicazione "*Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale - proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche*", a cura del gruppo di lavoro ZS-PS RER: L. Martelli, G. Ercolessi, F. Sani, M. Bonini, G. Corti, M. Santulin, A. Tamaro, A. Rebez, D. Slejko (Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Scienze della Terra, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Geoscienze e Georisorse Firenze, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano c/o OGS, Trieste, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, progetto grafico e impaginazione Simonetta Scappini Stampa Centro Stampa Regione Emilia-Romagna - settembre 2017

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

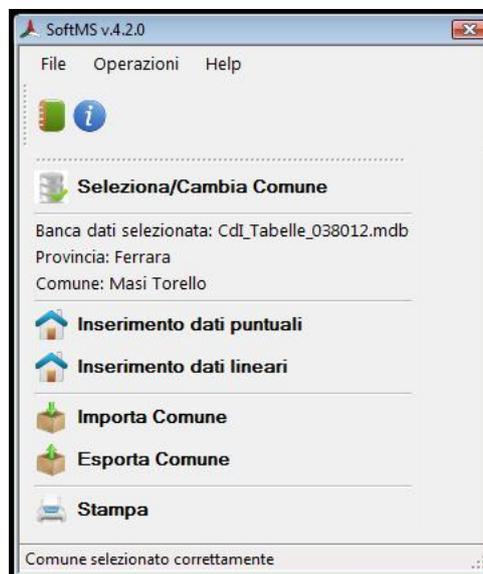
Una parte consistente di questo lavoro è quello dell'archiviazione di tutte le indagini bibliografiche raccolte e di nuova realizzazione appositamente eseguite per questo studio, in apposito database protetto, attraverso il Soft_MS Vers. 4.2.0 del Dipartimento di Protezione Civile Nazione.

Soft_MS Vers. 4.2.0 è uno strumento per l'inserimento dei dati relativi alle indagini degli studi di microzonazione sismica così come previsto dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

Questo apposito software è in grado di mettere a sistema tutte le indagini a disposizione archiviandole in un database protetto contenente tutte le caratteristiche di ogni singola prova, suddivise in puntuali e lineari.

All'avvio del Soft_MS Vers. 4.2.0 si procede con l'inserimento di nuovi set di dati selezionando la Regione, Provincia e il Comune in cui si intende procedere all'inserimento dei dati. Il software in automatico genera i codici identificativi di quel Comune selezionato; nel caso specifico per il Comune di Masi Torello il codice identificativo è 08 (identificativo Regione), 038 (identificativo Provincia) e 012 (identificativo Comune).

Successivamente appare la schermata in cui è possibile scegliere la tipologia di dati da inserire, se puntuali oppure lineari.



Selezionando l'inserimento di un nuovo set di dati relativi ad indagini puntuali appare la schermata compilativa in cui inserire tutte le caratteristiche di ogni singola prova.

In prima battuta andranno inserite le caratteristiche del sito: Indirizzo, Coordinate (sistema di riferimento WGS84 UTM33N), Modalità utilizzata per identificare le coordinate (C.T.R. 1:5.000) e rispettivo foglio identificativo, Quota (in m s.l.m.) e data dell'indagine.

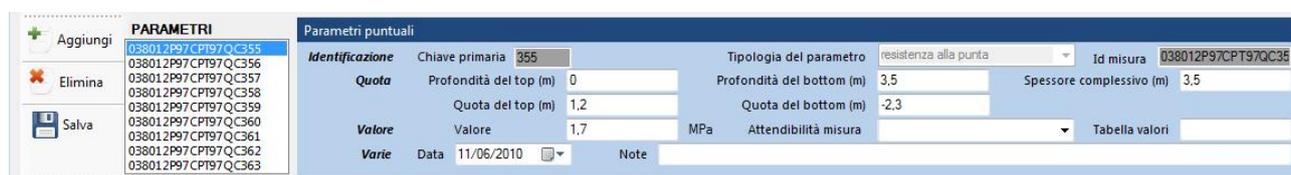
Una volta salvati i dati di riferimento del sito si passa all'inserimento dell'indagine: Classe dell'indagine (Elaborazioni, Geofisica, Geologia, Geotecnica di laboratorio, Geotecnica in sito ed Idrogeologia), Tipo di indagine, Precedente identificativo (se l'indagine proviene da un precedente archivio), Profondità e Quota del Top (Tetto dell'indagine in m), Profondità e Quota del Bottom (Letto dell'indagine in m), Data dell'indagine e in

fine deve essere caricato il documento in PDF della prova (ubicazione indagine e certificato di prova) denominato esattamente con il suo codice identificativo (Id Indagine).



Infine per una selezione di prove, data la mole di lavoro, sono stati inseriti i Parametri. Per ogni tipologia di indagine vengono dunque richiesti i rispettivi parametri inerenti a quella prova. Per esempio per i sondaggi vengono inserite le litologie alle rispettive profondità, per le prove CPTU vengono richiesti l'inserimento di dati quali la coesione, angolo di attrito, resistenza alla punta, resistenza laterale e pressione dell'acqua, per le prove SCPTU i parametri di Vs e Vp alle diverse profondità, ecc

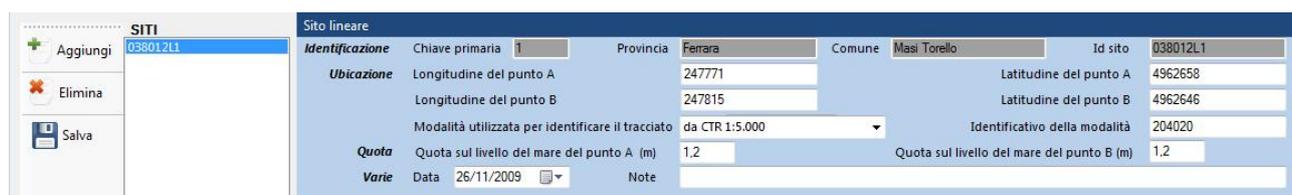
Viene riportato un esempio di inserimento dei parametri di una prova penetrometrica con cono sismico SCPTU, nel quale viene inserito per ogni metro di profondità il valore di velocità delle onde S, la Quota del Top e del Bottom in m e la data.



Con il medesimo principio sono stati inseriti i dati lineari, per cui selezionando l'inserimento di un nuovo set di dati relativi ad indagini lineari appare la schermata compilativa in cui inserire tutte le caratteristiche di ogni singola prova.

Anche per questa tipologia di inserimento dati verranno richieste le informazioni del Sito, il Tipo di indagine e i Parametri della prova.

Per l'inserimento dei dati del sito vengono richieste le Coordinate del punto A e quelle del punto B (sistema di riferimento WGS84 UTM33N), Modalità utilizzata per identificare le coordinate (C.T.R. 1:5.000) e rispettivo foglio identificativo, Quota (in m s.l.m.m.) e data dell'indagine



Una volta salvati i dati del sito si passa all'inserimento dell'indagine: Classe dell'indagine (Geolettrica, Geofisica e Geologia), Tipo di indagine, Precedente identificativo (se l'indagine proviene da un precedente archivio), Data dell'indagine e in fine deve essere caricato il documento in PDF della prova (ubicazione indagine e certificato di prova) denominato esattamente con il suo codice identificativo (Id Indagine).



Per l'inserimento dei Parametri, per quanto concerne il set di dati Lineari, sono state utilizzate tutte le indagini a disposizione nel territorio comunale di Masi Torello, dato il numero più contenuto.

Nel comune di Masi Torello è presente un'unica indagine Lineare con classe dell'indagine Geofisica a tipologia REMI, per cui per sono stati inseriti i parametri di Vs alle diverse profondità, inserendo la quota del Top e del Bottom in m s.l.m.m. l'attendibilità della misura e la data.

The screenshot shows a software interface with a left sidebar containing a list of parameters under the heading 'PARAMETRI'. The main area is titled 'Parametri lineari' and contains the following fields:

- Identificazione:** Chiave primaria (1), Tipologia del parametro (velocità onde S), Id misura (038012L1REMI1VS1)
- Quota:** Profondità del top (m) (0), Profondità del bottom (m) (1), Spessore complessivo (m) (1), Quota del top (m) (1,2), Quota del bottom (m) (0,2)
- Valore:** Valore (147) m/s, Attendibilità misura (Alta (affidabile interpretabile))
- Varie:** Data (26/11/2009), Note

All'inserimento di ogni singola indagine, sia puntuale che lineare, il Soft_MS 4.2.0 attribuisce un codice identificativo sia del sito (Id Sito), sia dell'indagine (Id Indagine), sia dei parametri (Id Misura).

La compilazione del Soft_MS 4.2.0 per il comune di Masi Torello è avvenuta per le 240 indagini presenti nel territorio suddivise in 239 puntuali e 1 lineare, come segue:

	Indagini Puntuali	Numero indagini Banca dati Veronese	Numero indagini bibliografiche RER	Numero indagini bibliografiche COMUNE	Numero Totale di indagini
BANCA DATI GEOL. VERONESE, COMUNE E REGIONE	CPT	11	37	69	117
	CPTU	10	9	7	26
	SCPTU	3	-	1	4
	SPT	-	-	-	-
	Sondaggio continuo	1	1	2	4
	Sondaggio a distruzione	-	-	-	-
	Pozzi acqua	-	8	-	8
	Pozzi idrocarburi	-	-	-	-
	HVSR	2	-	5	7
	E.S.A.C.	1	-	-	1
	REMI	-	-	1	1
	S.E.V.	-	31	-	31
TOTALE	28	86	85	199	

NUOVE INDAGINI	CPTU	6
	SCPTU	1
	HVSR	2
	TOTALE	9

STRATIGRAFIA SMS	32
------------------	----

Per questa nuova versione del Soft_MS 4.2.0 sono stati anche inseriti i Metadati relativi alla consegna del lavoro, così come richiesto dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

La tabella "Metadati" viene utilizzata per archiviare le informazioni di metadato riguardanti l'insieme dei dati e delle attività relativi al singolo studio di microzonazione sismica per quel determinato comune.

La tabella dei Metadati, così come richiesto, è stata compilata come segue:

The screenshot shows a software window titled 'Metadati' with a toolbar containing 'Cancella' and 'Salva' buttons. The interface is divided into several sections:

- Informazioni sui metadati:**
 - ID Metadato: 038012M1
 - Responsabile del metadato: geol. Thomas Veronese
 - e-mail Responsabile del metadato: t.veronese@studio-sst.it
 - Sito Responsabile del metadato: www.geologothomasveronese.it
 - Data del metadato: 01/09/2022
- Informazioni sul dato:**
 - Proprietario del dato: Regione Emilia-Romagna
 - e-mail Proprietario del dato: segrgeol@regione.emilia-romagna.it
 - Sito Proprietario del dato: http://ambiente.regione.emilia-romagna.it
 - Data del dato: 01/09/2022
 - Descrizione dato: Studi di Microzonazione sismica di II Livello
 - "Punto di contatto" del dato: Comune di Masi Torello
 - e-mail "Punto di contatto": protocollo@cert.comune.masitorello.fe.it
 - Sito "Punto di contatto": www.comune.masitorello.fe.it
- Classificazioni, vincoli e copertura:**
 - Scala: 5000
 - Estensione: Ovest (243097,305297418), Est (4960532,66991687), Sud (249632,054849819), Nord (4967329,93913492)
- Qualità:**
 - Precisione del dato (errore in metri): 0,2
 - Genealogia del dato: Banca Dati Regione Emilia Romagna, Banca dati Comune e Banca dati Geol. Veronese

Una volta archiviata tutta la mole di dati reperiti, si è proceduto ad analizzare il territorio e comprenderne gli aspetti più influenti per la risposta sismica del medesimo, nei diversi settori pseudo omogenei in cui è suddivisibile.

I temi principali della microzonazione sismica di Masi Torello sono:

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

L'amplificazione stratigrafica, calcolata da D.G.R. 476/2021 e sua integrazione D.G.R. 566/2021 è chiara. Attraverso le indagini analizzate si è potuto classificare il territorio comunale e procedere al calcolo dei fattori di amplificazione tramite abachi regionali, già analizzati nel paragrafo 2.3.

Nel terzo livello di approfondimento si comprenderà l'entità di eventuali problemi di liquefazione delle sabbie poichè li, tali problemi, saranno quantificati in termini numerici attraverso l'indice del potenziale di liquefazione e classificati.

E' ovvio che se avvengono terremoti con energie e quindi tempi di ritorno più alti rispetto a quelli convenzionali per gli studi di microzonazione sismica, oppure se avvengono nel giro di pochi minuti, più sismi importanti, che provocano una somma delle relative sovrappressioni neutre interstiziali indotte, qui ci sono tutti i caratteri predisponenti per l'effetto di sito della liquefazione.

Comunque nella progettazione come nella pianificazione territoriale occorre scegliere delle soglie di eventi per cui progettare in modo sostenibile per la comunità, sarebbe bello e utile progettare opere ordinarie che resistano ad eventi estremi, ma non sarebbe sostenibile economicamente e socialmente.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Le carte tematiche realizzate in questo studio sono state redatte in base alle disposizioni della D.G.R. n. 476 del 12 aprile 2021 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 Masi Torello. In alcuni tratti le linee sono state tirate inglobando anche piccole porzioni di aree non urbanizzate, preferendo talvolta di eccedere, pur di regolarizzare i tratti.

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.

In questa carta sono rappresentate tutte le indagini presenti nel territorio comunale di Masi Torello, 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, come da proposta metodologica di contratto. Le nuove indagini sono nello specifico 6 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU, 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono sismico SCPTU e 2 misure di microtremori a stazione singola HVSR.

Le indagini totali presenti nel territorio risultano essere 208, così suddivise: n. 117 prove penetrometriche statiche CPT, n. 26 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU, n. 4 prove penetrometriche statiche con punta elettrica con piezocono e sismocono SCPTU, n. 4 sondaggi a carotaggio continuo, n. 1 array sismici ESAC, n. 1 prova geofisica Re.Mi., n. 7 misure di microtremore a stazione singola HVSR., n. 8 pozzi per acqua e n. 31 sondaggi elettrici verticali.

	Indagini Puntuali	Numero indagini Banca dati Veronese	Numero indagini bibliografiche RER	Numero indagini bibliografiche COMUNE	Numero Totale di indagini
BANCA DATI GEOL. VERONESE, COMUNE E REGIONE	CPT	11	37	69	117
	CPTU	10	9	7	26
	SCPTU	3	-	1	4
	SPT	-	-	-	-
	Sondaggio continuo	1	1	2	4
	Sondaggio a distruzione	-	-	-	-
	Pozzi acqua		8	-	8
	Pozzi idrocarburi	-	-	-	-
	HVSR	2	-	5	7
	E.S.A.C.	1	-	-	1
	REMI	-	-	1	1
	S.E.V.	-	31	-	31
TOTALE	28	86	85	199	
NUOVE INDAGINI	CPTU	6			
	SCPTU	1			
	HVSR	2			
	TOTALE	9			
STRATIGRAFIA SMS		32			

Tabella 8.1

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 4.2.:

Legenda	
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica
	Prova penetrometrica statica con cono sismico e piezocono
	Prova penetrometrica statica con piezocono
	Stazione microtremore a stazione singola
	Sondaggio a carotaggio continuo
	Sondaggio a distruzione di nucleo
	Verticale virtuale lungo tomografia elettrica
	Pozzo per acqua
	Prova penetrometrica in foro (SPT)
	Stratigrafia zona MS (teorica)
	Prova REfractionMIcrotremors
	Confine dell'area oggetto dello studio di MS
	Confine Comunale ISTAT

8.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA

La Carta geologico-tecnica viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sulle aree oggetto di studio di micro zonazione sismica concordate con l'amministrazione comunale.

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.

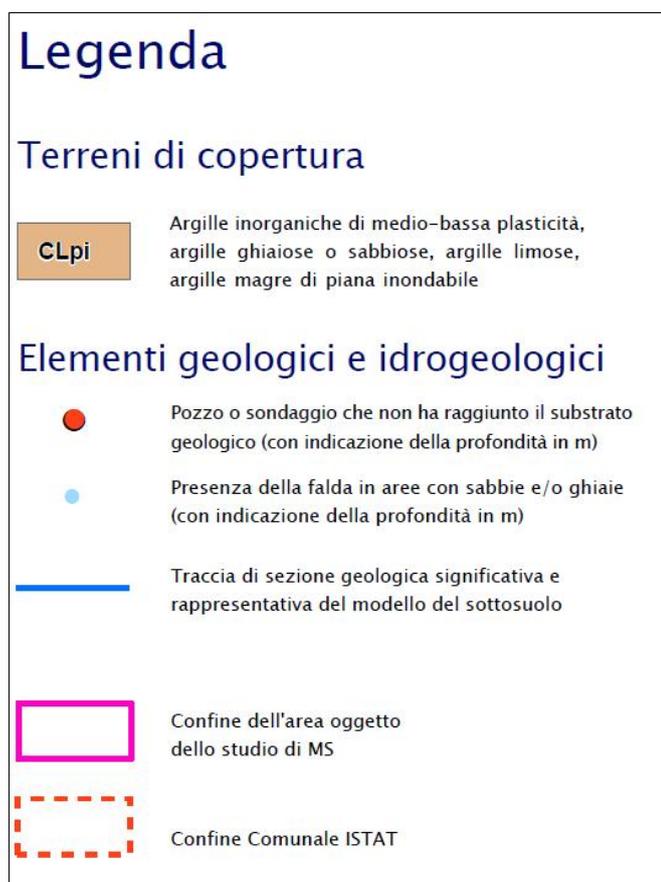
Nello specifico per questa carta sono state utilizzate le seguenti litologie dei terreni di copertura e i diversi ambienti genetico-deposizionali in cui si sono depositati, come richiesto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.2.:

LITOLOGIE

- CL: argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile.

AMBIENTI GENETICO-DEPOSIZIONALI

- pi: ambiente fluvio-lacustre, piana inondabile;



Il territorio comunale di Masi Torello è sostanzialmente omogeneo nei primi tre metri di spessore, che sono quelli che vanno analizzati per la redazione della carta geologico tecnica. Dominano i sedimenti come le argille inorganiche di medio-bassa plasticità, le argille limose e limi argillosi. Infatti l'ambiente genetico de posizionale è riconducibile ad una piana inondabile.

Le fasi deposizionali oloceniche più recenti hanno visto la sovrapposizione di sedimenti alluvionali distali di piana alluvionale inondabile. La piana alluvionale su cui sorge Masi Torello è stata alimentata negli ultimi millenni dai sedimenti distali del Po di Ferrara (che passava per Codrea, Voghiera, Gambulaga, San Vito, Ostellato) e dal Po di Volano (che passava per Codrea, Baura, Sabbioncello S. Vittore, Final di Rero), come visibile in FIGURA 8.1. Non sono presenti paleoalvei affioranti che possano aver deposto in superficie strati sabbiosi.

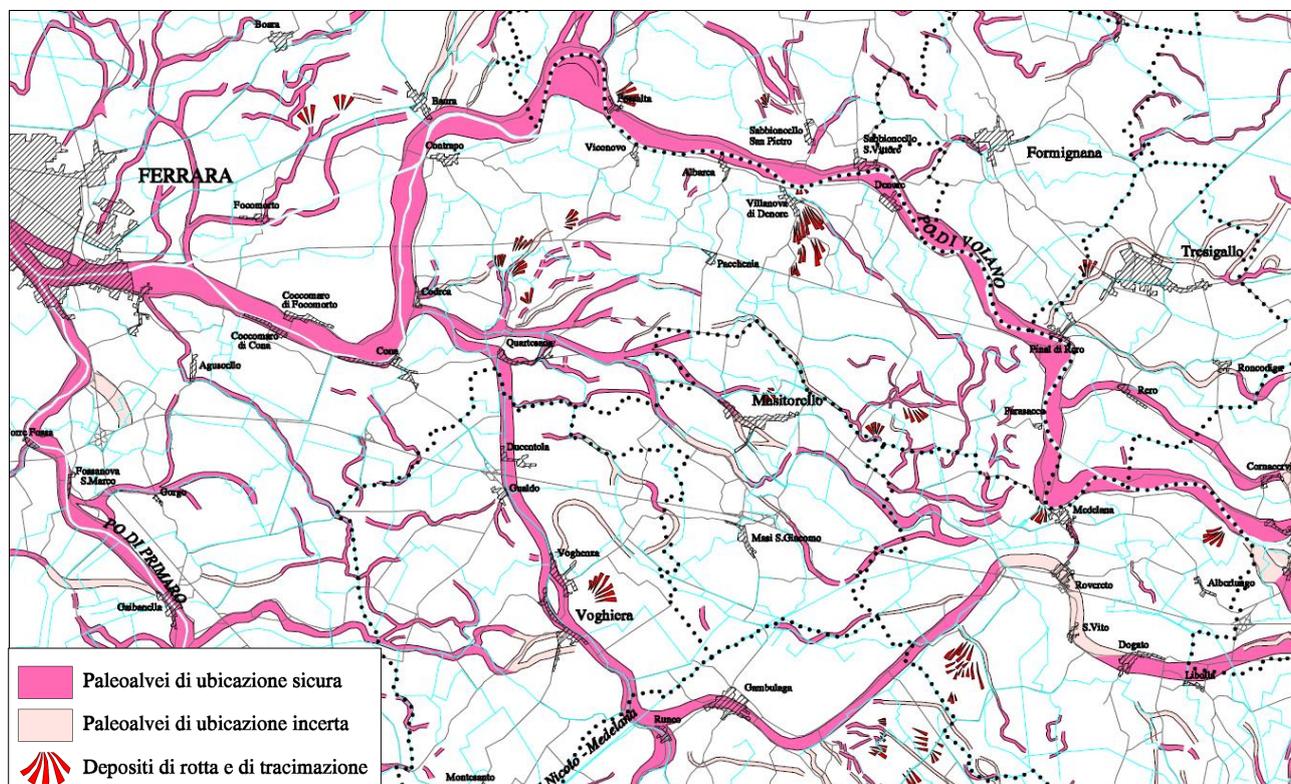
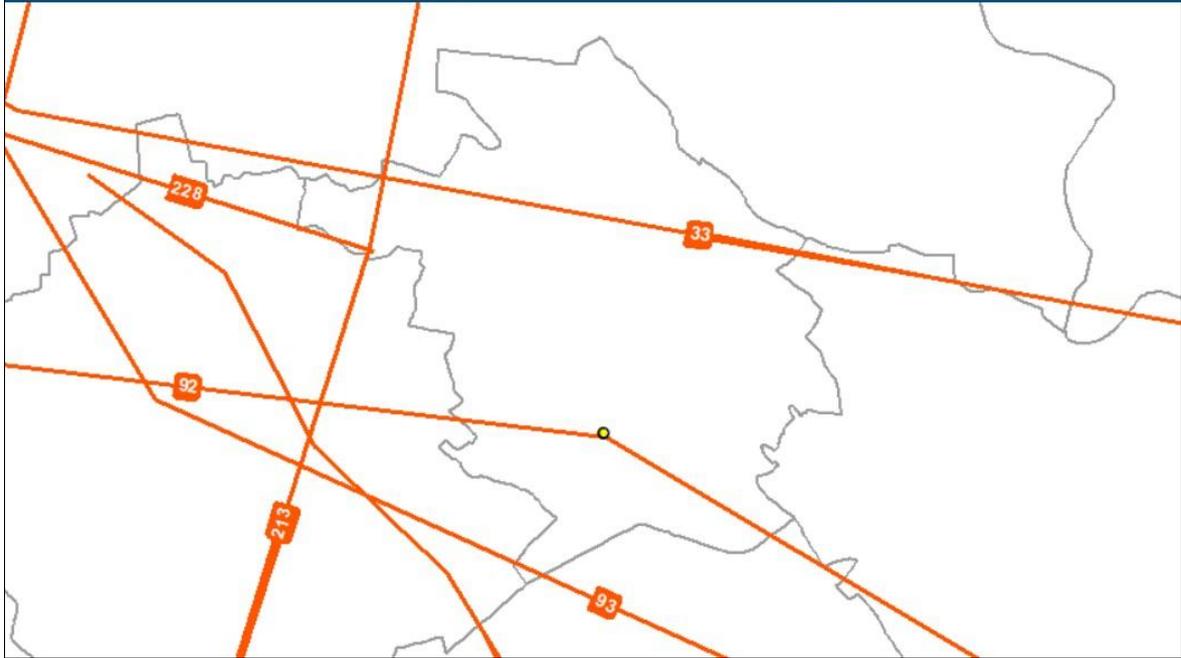


FIGURA 8.1 – stralcio carta geomorfologica della provincia di Ferrara

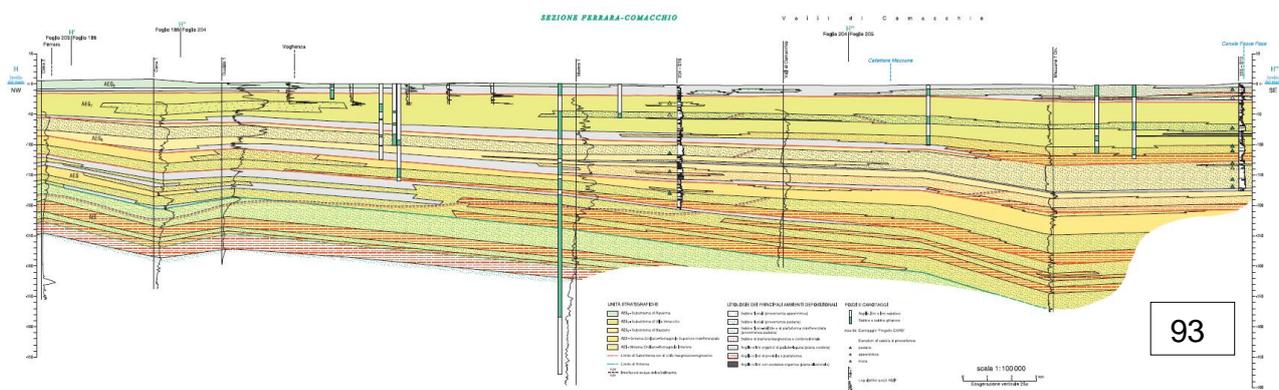
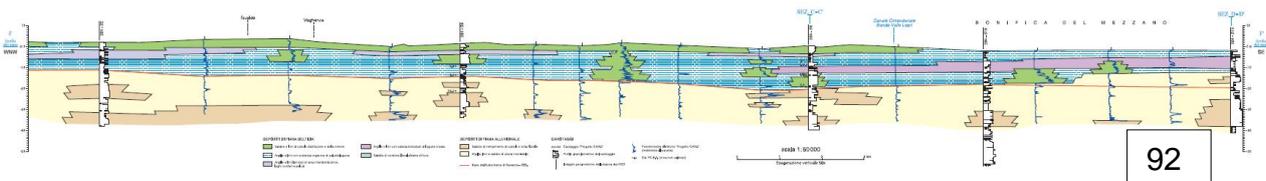
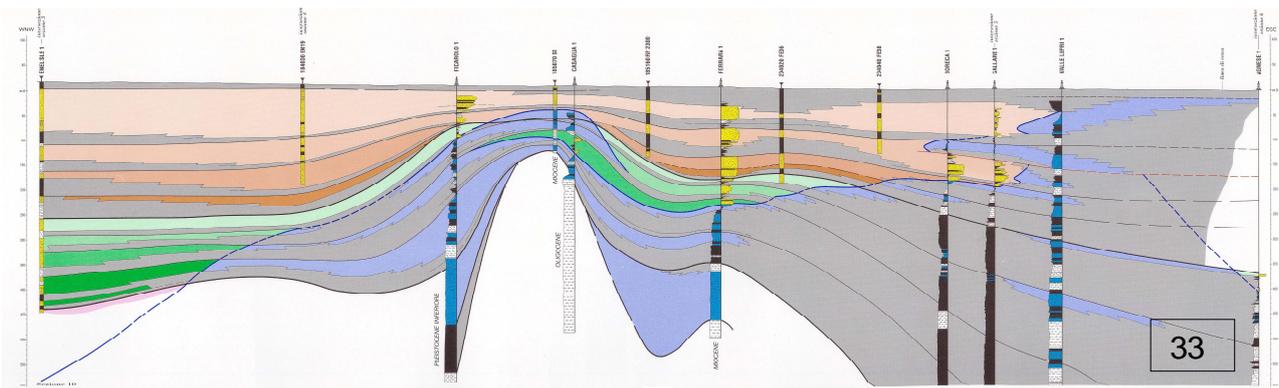
Nella Carta Geologico Tecnica vengono inoltre rappresentati gli elementi geologici ed idrogeologici e nello specifico sono riportati tutti i pozzi sia per acqua che per idrocarburi presenti nel territorio con la rispettiva profondità di perforazione e se ha raggiunto o meno il substrato geologico.

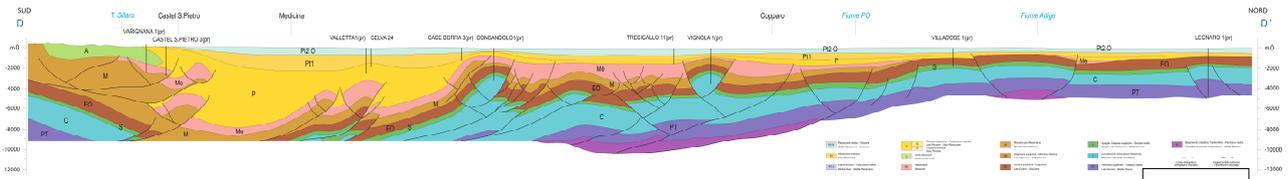
La carta geologico-tecnica mostra inoltre le tracce di sezioni geologiche significative e rappresentative del modello del sottosuolo reperite dall'archivio della Regione Emilia Romagna. Le sezioni geologiche profonde reperite sono la 033, la 092, la 093, la 213 e la 228.

sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano-romagnola



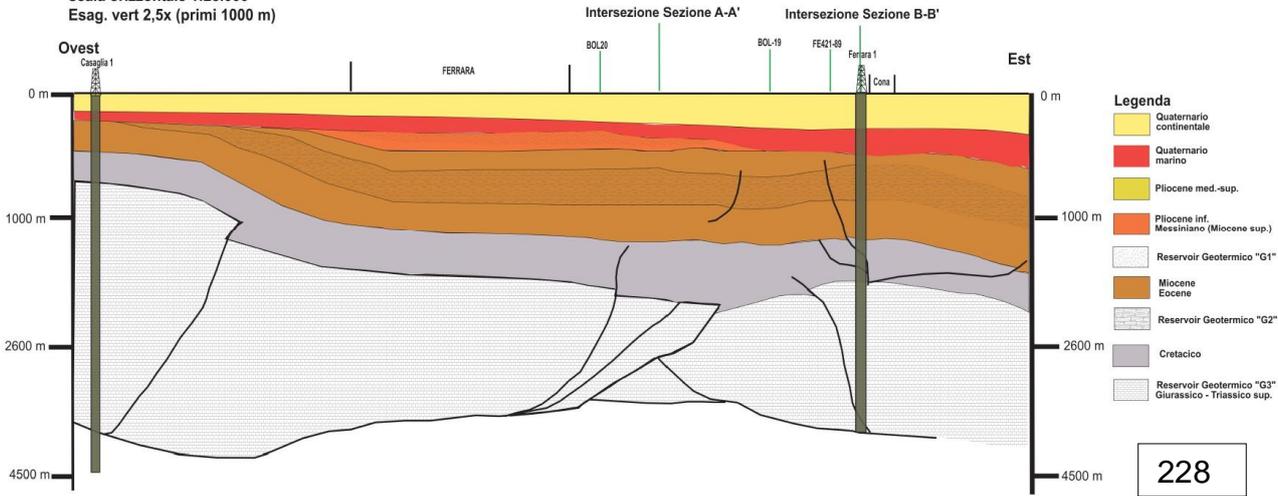
Sezioni geologiche passanti per il territorio comunale di Masi Torello





213

Sezione C-C' - Profilo sismico BOL-18
scala orizzontale 1:25,000
Esag. vert 2,5x (primi 1000 m)



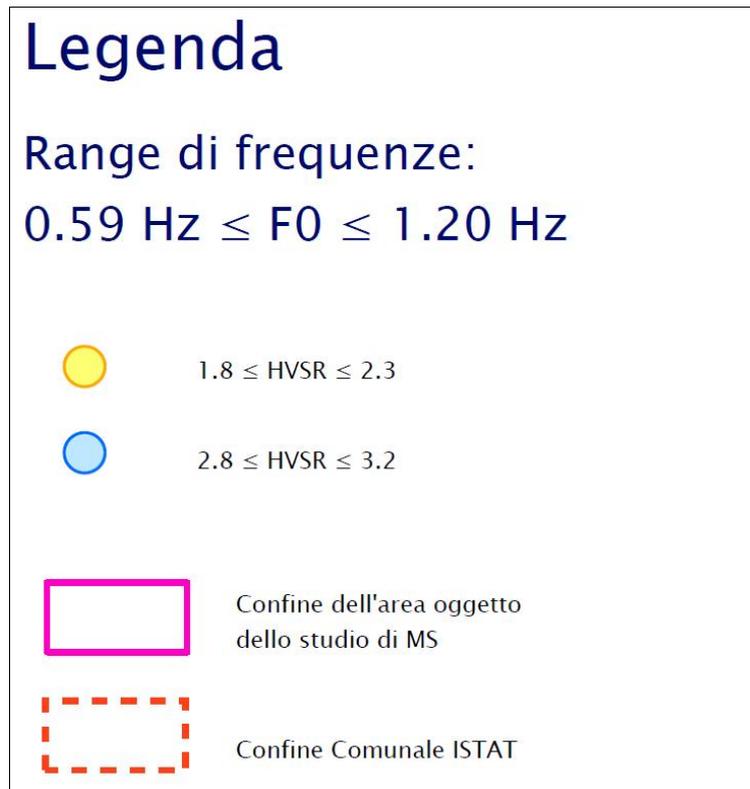
228

8.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI f_0 DEL TERRENO

La Carta delle indagini viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sulle aree oggetto di studio di micro zonazione sismica, concordate con l'amministrazione comunale.

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.



Dalla carta emerge che tutto il territorio del comune di Masi Torello è rappresentato da frequenze fondamentali comprese tra 0,59 e 1,02 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 interessa anch'essa le aree di studio della micro zonazione sismica concordate con l'amministrazione comunale.

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 4 diverse zone stabili suscettibili di amplificazioni locali rappresentate con un codice differente che va dal 2001 al 2004. 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. Il codice 3050 che si antepone ai codici precedenti indica la presenza dei caratteri predisponenti alla liquefazione delle sabbie, quindi potenziale instabilità per liquefazione.

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

MOOPS 30502001

SABBIE E SABBIE LIMOSE CON TETTO TRA P.C. E -3,0 M DA P.C. E CON SPESSORE MAGGIORE A 1,0 M

MOOPS 30502002

SABBIE E SABBIE LIMOSE CON TETTO TRA -3,0 M DA P.C. E -10,0 M DA P.C. E CON SPESSORE MAGGIORE A 3,0 M

MOOPS 30502003

SABBIE E SABBIE LIMOSE CON TETTO TRA -3,0 M DA P.C. E -10,0 M DA P.C. E CON SPESSORE MINORE A 3,0 M

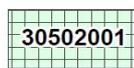
MOOPS 2004

ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI FINO A -10,0 M DA P.C. CON RARI INTERVALLI SABBIOSI E SABBIOSO LIMOSI POCO SPESSI, MINORI DI 1,0 M

N.B. Va sottolineato come la quasi totalità delle aree di studio ricadano nelle MOPS 30502002, 30502003 e 2004. Solo a Masi San Giacomo, nell'area produttiva, sembra esserci l'attraversamento dell'unico paleoalveo superficiale che potenzialmente può dare ripercussioni in superficie a causa della liquefazione (MOPS 30502001).

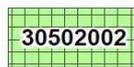
Legenda

Zone di attenzione per instabilità



ZA_{LQ} – Zona di Attenzione per Liquefazione – Zona 1

Sabbie e sabbie limose con tetto tra p.c. e -3,0 m da p.c. e con spessore maggiore a 1,0 m



ZA_{LQ} – Zona di Attenzione per Liquefazione – Zona 2

Sabbie e sabbie limose con tetto tra -3,0 m da p.c. e -10,0 m da p.c. e con spessore maggiore a 3,0 m



ZA_{LQ} – Zona di Attenzione per Liquefazione – Zona 3

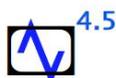
Sabbie e sabbie limose con tetto tra -3,0 m da p.c. e -10,0 m da p.c. e con spessore minore a 3,0 m

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zona 2004: argille limose e limi argillosi fino a -10,0 m da p.c. con rari intervalli sabbiosi e sabbioso limosi poco spessi, minori di 1,0 m

Punti di misura di rumore ambientale



Punto di misura ambientale con indicazione del valore F0



Confine dell'area oggetto dello studio di MS



Confine Comunale ISTAT

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

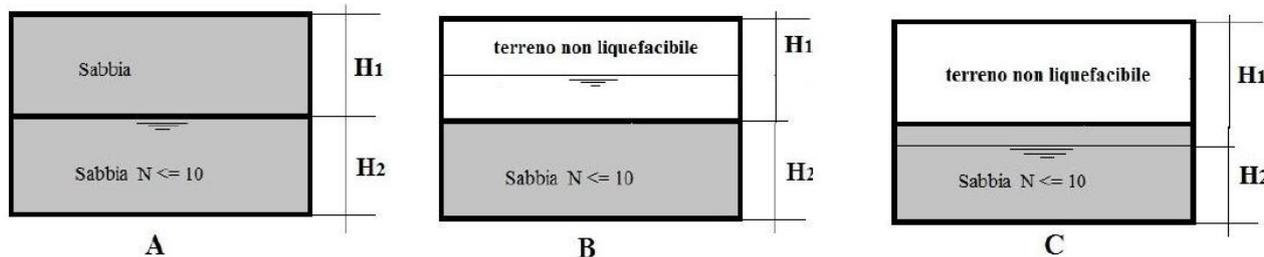
(2001) Ci sono rare aree in cui sono presenti depositi sabbiosi olocenici saturi legati ai corpi principali dei piccoli paleovalvi che attraversano il territorio comunale. Questi sono i più vulnerabili agli effetti della liquefazione delle sabbie, per via dei ridotti spessori delle croste coesive al tetto.

In tutti gli altri casi non sembrano esserci pericolosità particolari, per via o della profondità del tetto delle sabbie o per i ridotti spessori degli strati sabbiosi rilevati.

Il territorio comunale di Masi Torello non è dunque attraversato da importanti strutture di paleo alvei, e quindi non è attraversato da importanti depositi sabbiosi.

Perché la scelta di 3m di spessori non liquefacibili come discriminante tra zone 2001 e le altre?

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 8.2 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 veda FIGURA 6.3), 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. Si usa dunque questo spessore come discriminante per la suddivisione delle zone omogenee in prospettiva sismica.

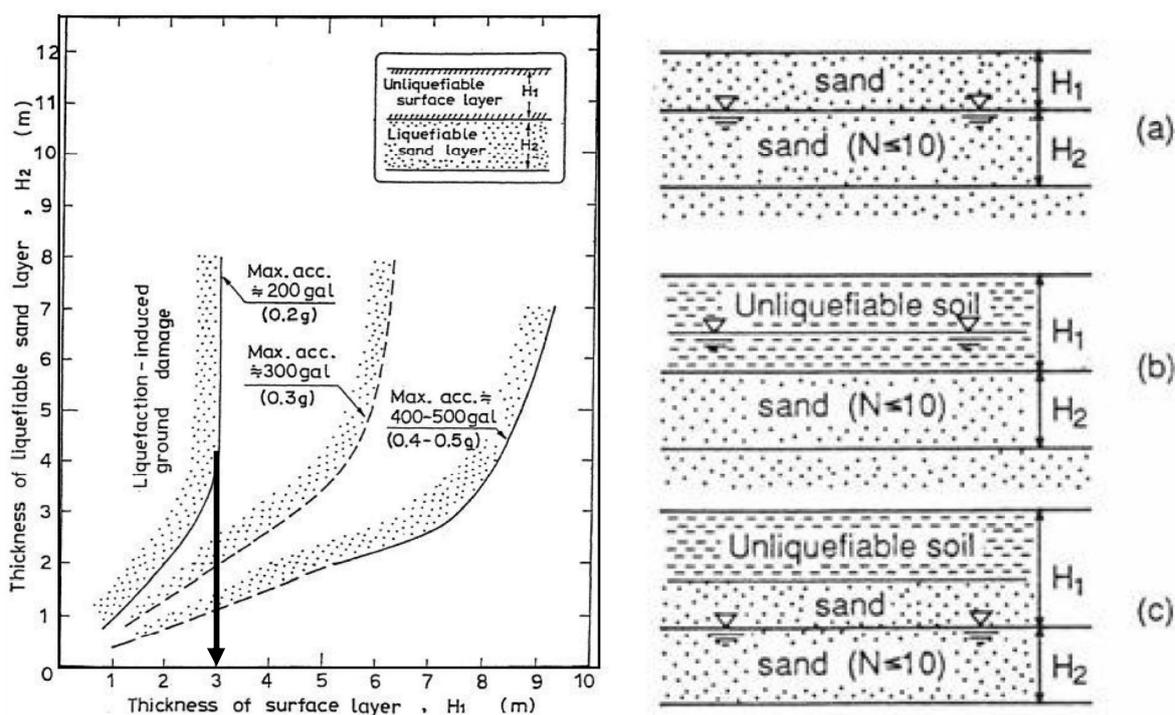


Figure 1. Proposed boundary curves for surface manifestation of liquefaction induced damage (Ishihara, 1985)

FIGURA 8.2 – Abaco per la stima dello spessore di terreno non liquefacibile necessario per non avere ricadute significative in superficie.

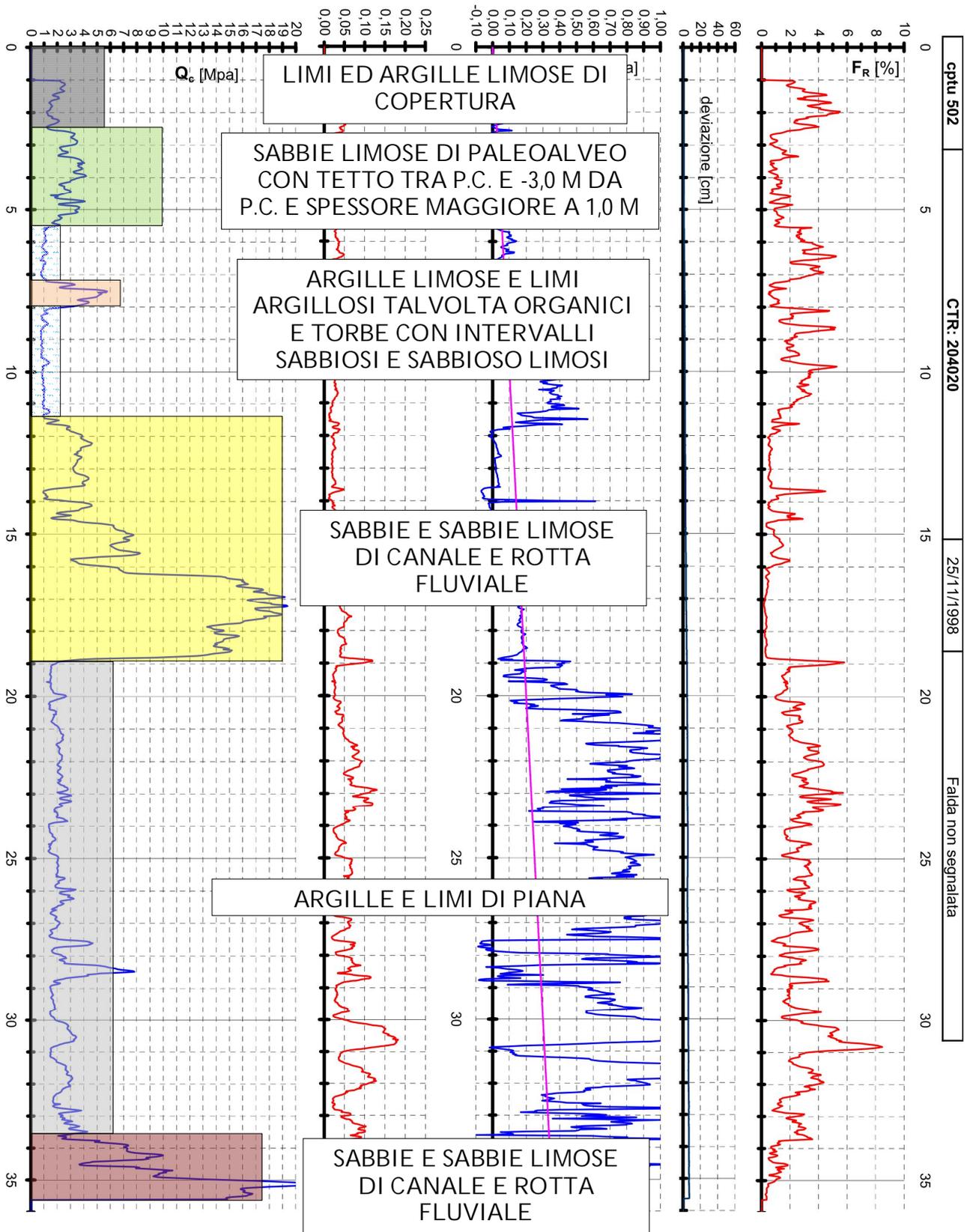
Meriterebbe un adeguato studio e ricerca la caratterizzazione dello strato non liquefacibile sovrastante quello liquefacibile. In particolare laddove si hanno terreni con buone coesioni non drenate la protezione è maggiore rispetto a dove i sedimenti hanno bassa resistenza al taglio in condizioni non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

(2002) presenza di sabbie e sabbie limose sature, con tetto dello strato compreso tra -3m e -10m dal p.c. e con spessore maggiore di 3m.

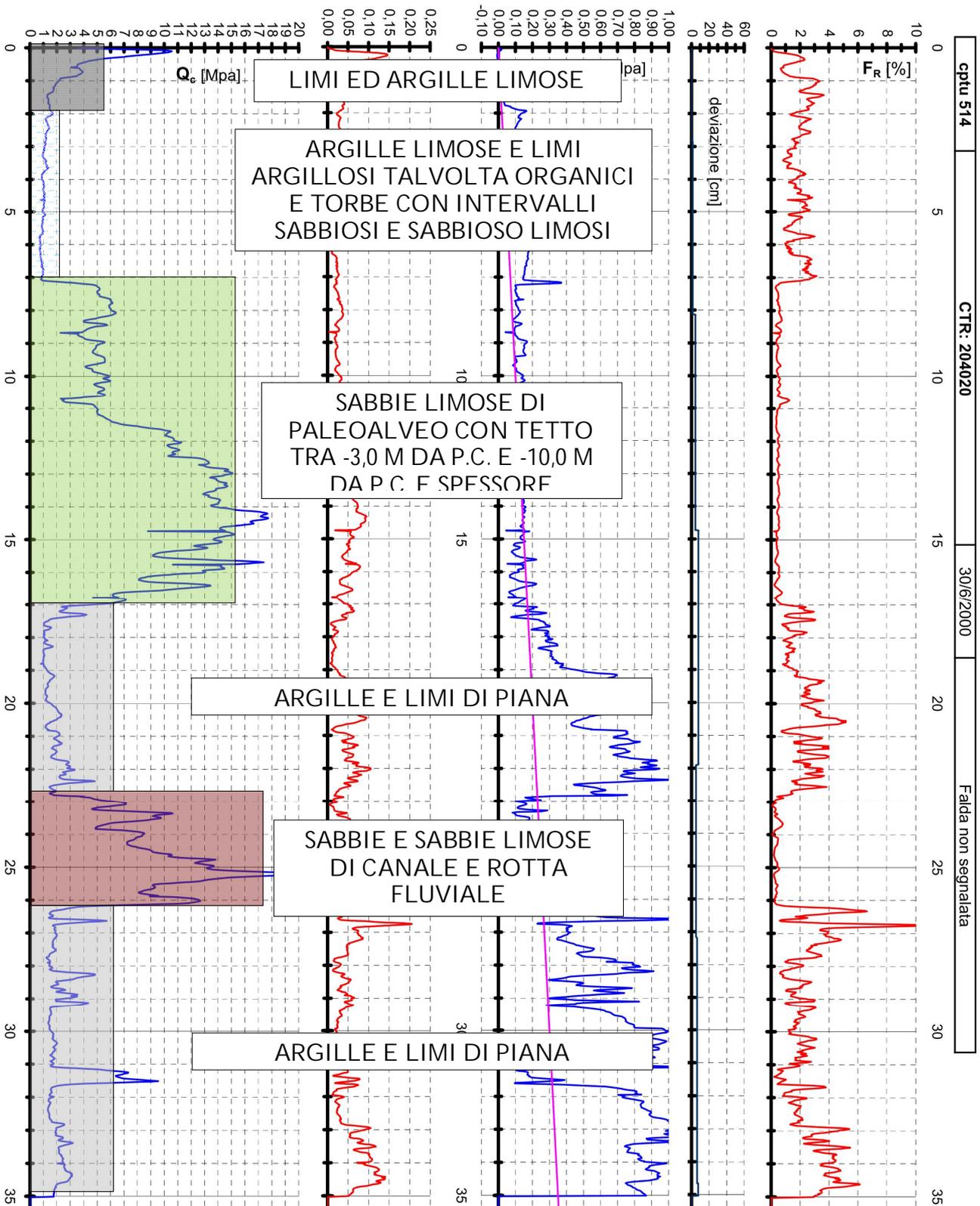
(2003) presenza di sabbie e sabbie limose sature, con tetto dello strato compreso tra -3m e -10m dal p.c. e con spessore minore di 3m.

(2004) In questa fascia dominano i sedimenti limoso argillosi e argilloso limosi organici di ambiente palustre. Eventuali strati sabbiosi nei primi 10m sono molto sottili (inferiori ad 1m di spessore), altri strati sabbiosi di spessore maggiore possono essere profondi, oltre -15m dal p.c. (sono molto poche le indagini geologiche che superano i 10m di profondità, per cui spesso mancano informazioni stratigrafiche alle profondità comprese tra -10m e -20m).

In FIGURA 8.3 si riportano le colonne lito-stratigrafiche sintetiche rappresentative delle successioni di sedimenti che costituiscono i primi 30 metri nelle diverse zone MOPS individuate nel territorio comunale di Masi Torello.



MOOPS 2001



MOOPS 2002

Dott. Geologo Thomas Veronese

Via Romea, 80 - 44023 Vaccolino (FE)
Tel. 0533/97105 Tel. mob. 0335/5240380

Rifer. 84-10

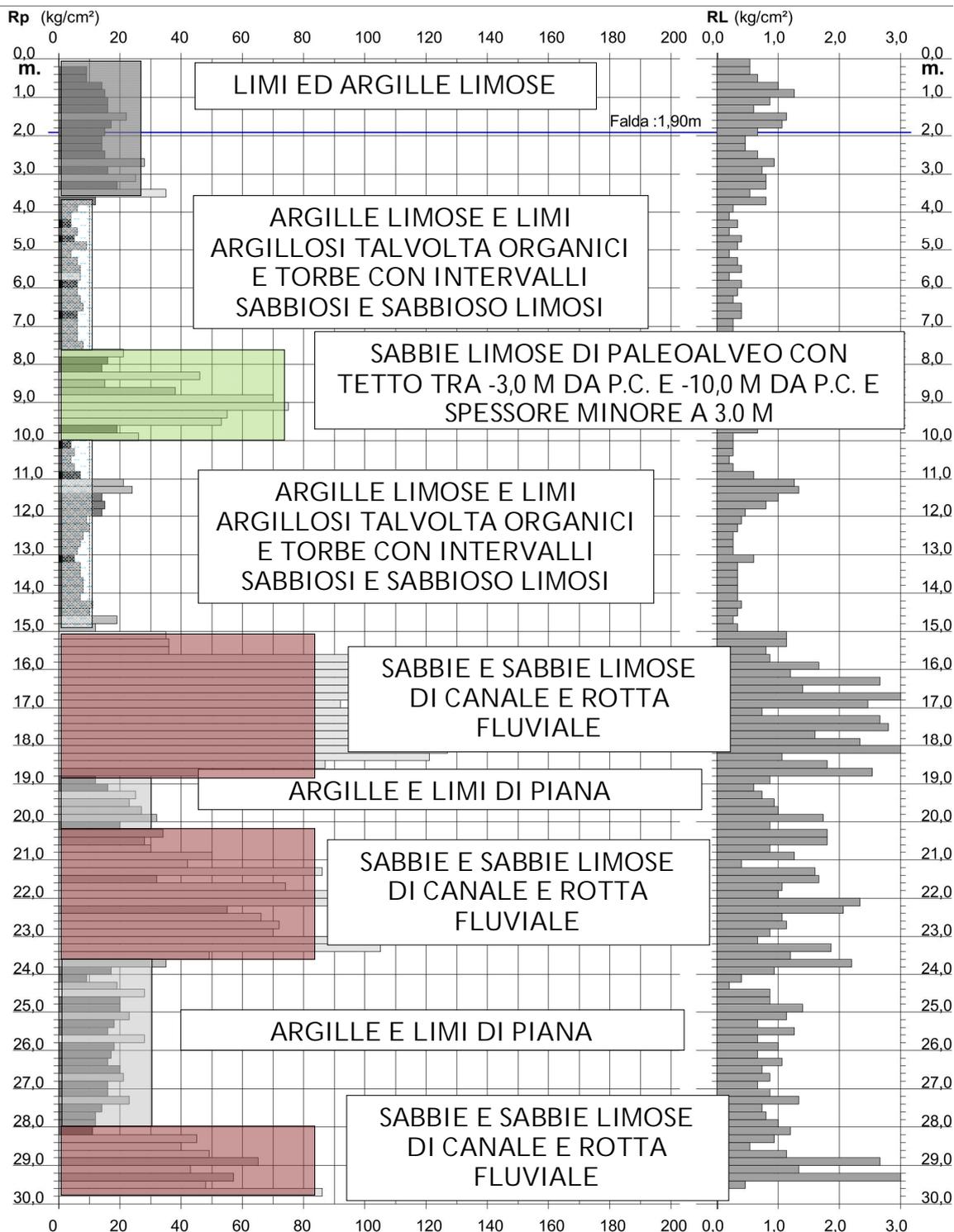
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-028

- committente : BIOGAS.IT
- lavoro : Capannone agricolo
- località : Masi Torello (FE)

- data : 11/06/2010
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,90 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



MOOPS 2003

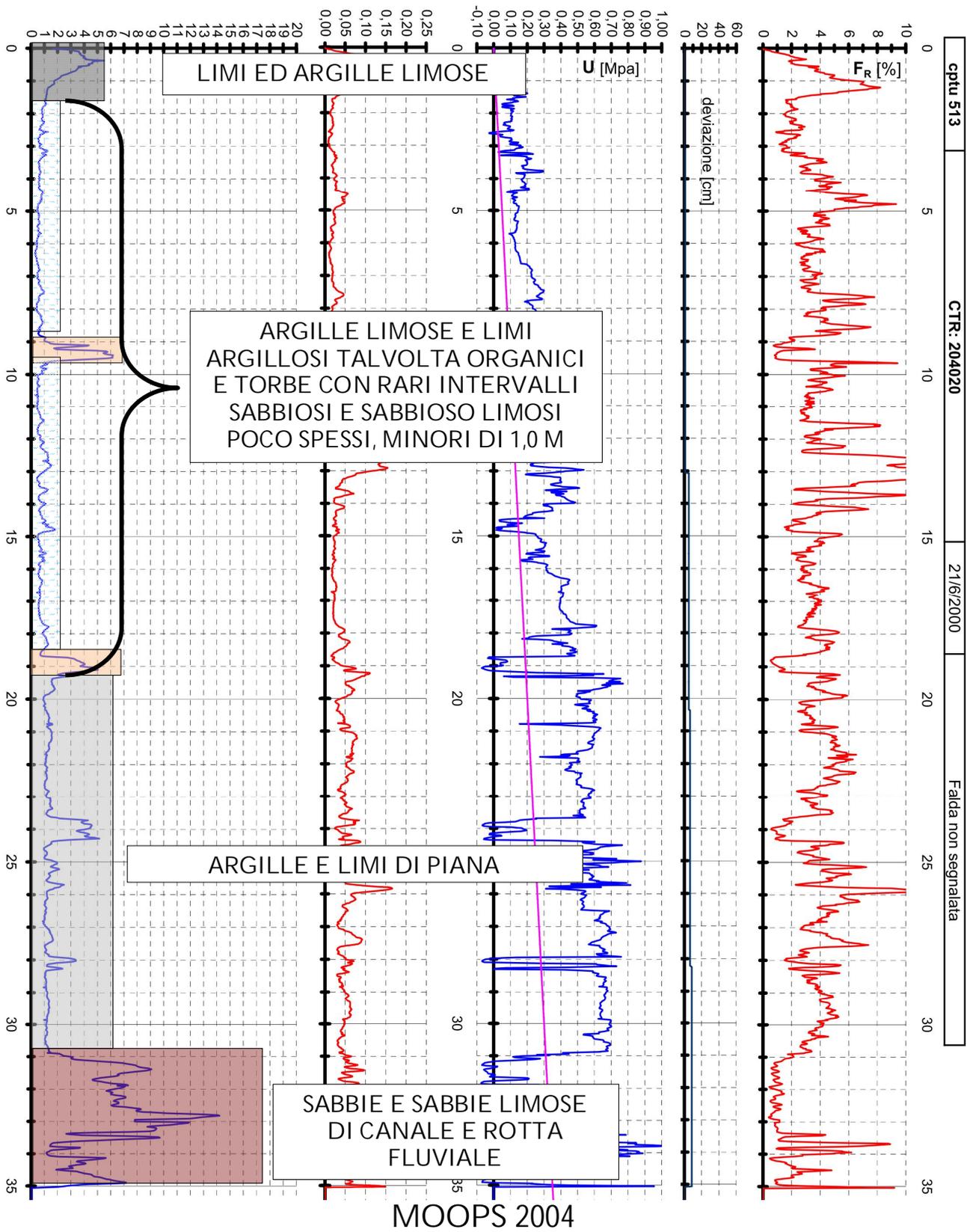


FIGURA 8.3 – Colonne litostratigrafiche sintetiche rappresentative della microzona alla quale fanno riferimento

Nella stessa carta delle MOPS sono state identificate tutte quelle zone di attenzione che, per presenza di intervalli sabbiosi plurimetrici nei primi 15 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 sulle aree oggetto di studio di micro zonazione sismica concordate con l'amministrazione comunale.

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



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:

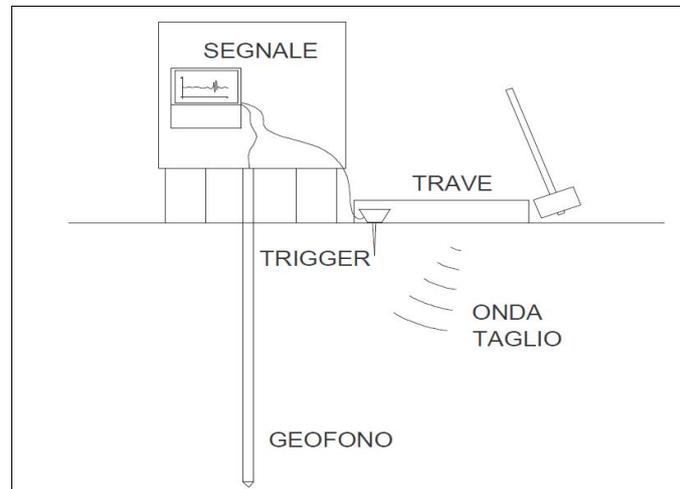
- Misure dirette mediante sismocono;
- Prove geofisiche

Nel territorio di Masi Torello sono stati ricavati n. 6 valori di Vs30 da misure dirette sia con cono sismico sia da stendimenti sismici, il valore più basso misurato è pari 161 m/sec mentre il valore più alto è pari a 192 m/sec.

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 ($VS2 \times \rho$) 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 (Vs>800 m/s) - e l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica (VSxρ) dei terreni investigati.

In realtà un altro metodo più frequentemente utilizzato per il calcolo della Vs30 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 Vs30 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 qc e di Vs30 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 qc e di Vs30 normalizzati rispetto allo stato tensionale, in questa formula non viene tenuto conto dell'attrito laterale fs 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;

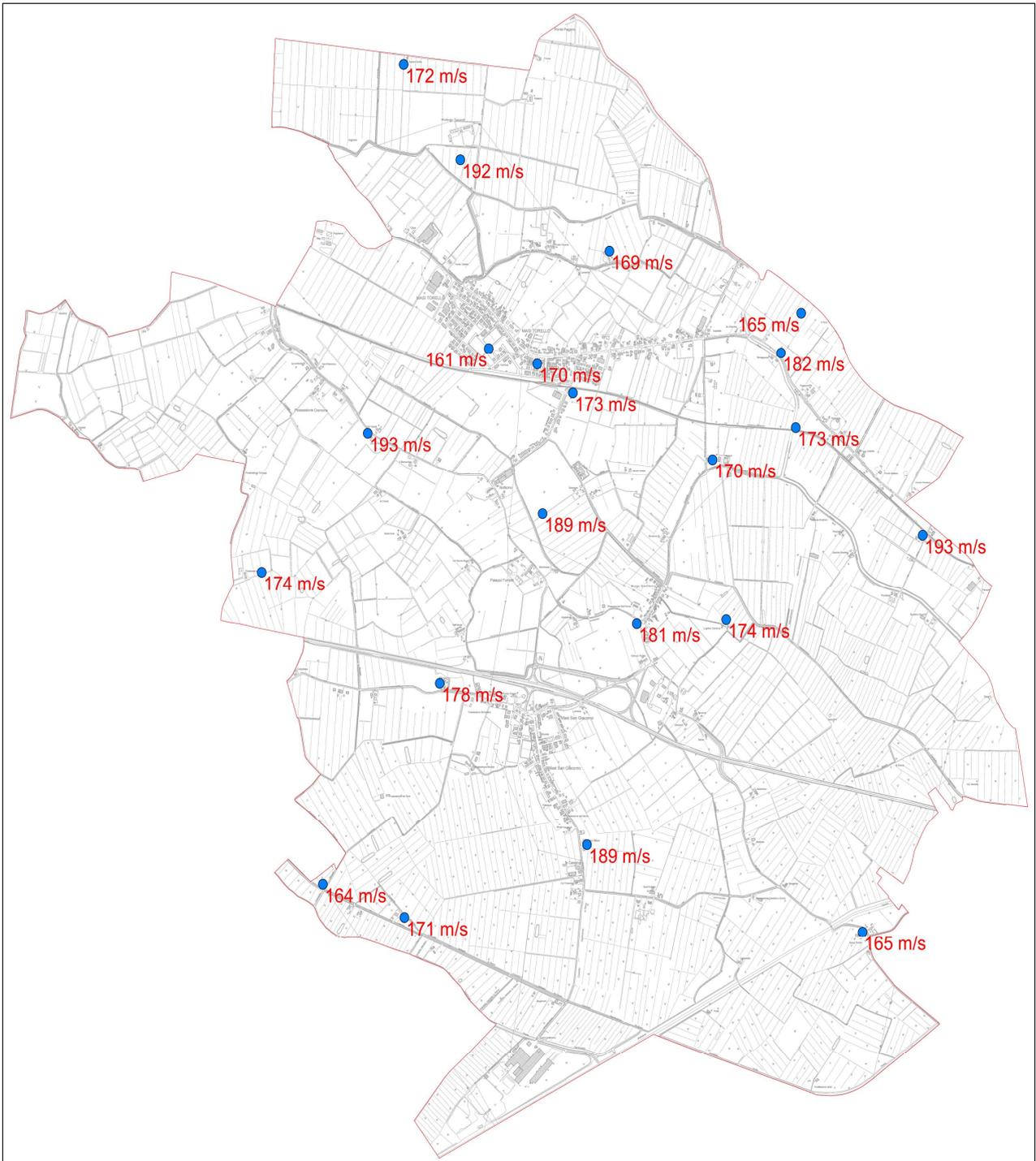
p_a = pressione atmosferica.

Nella Tabella 8.2 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 8.2 – Coefficienti A (m/s) e α

Nella figura seguente sono riportate le misure di V_{S30} calcolate sia con correlazioni empiriche sia con prove con cono sismico SCPTU e sia con prove geofisiche per tutto il territorio comunale di Masi Torello.



Valori di Vs30 nel territorio comunale di Masi Torello

8.6. CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Le Carte di microzonazione sismica – Valore del fattore di amplificazione $F_{PGA}=PGA/PGA_0$, Valore del fattore di amplificazione $F_{SA}=SA/SA_0$, espressi nell'intervallo di periodo prefissati $FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,4-0,8s}$, $FA_{0,7-1,1s}$ e $FA_{0,5-1,5s}$, Valore del fattore di amplificazione $F_{SI}=SI/SI_0$, espressi nell'intervallo di periodo prefissati $FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,5-1,0s}$ e $FA_{0,5-1,5s}$ vengono riprodotte in scala 1:10.000.

Le definizioni date dalla D.G.R. 476/2021 sono:

Il fattore di amplificazione (F) è dato dal rapporto tra spettro di risposta elastico di output, alla superficie del suolo in esame, e spettro di risposta elastico di input, al suolo di riferimento (rigido e pianeggiante, classe di sottosuolo A delle NTC 2018), per prefissati intervalli di periodi T, calcolati per un tempo di ritorno $T_R=475$ anni e smorzamento $\zeta=5\%$:

$F_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;

$FA = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T: SA1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SA2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$, SA3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$, SA4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;

$FH = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T: SI1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SI2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$, SI3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

In queste carte vengono quantificati i fattori di amplificazione sismica che quel territorio provoca al moto sismico, per via della sua condizioni stratigrafica.

Si osserva come il territorio comunale di Lagosanto 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 161 m/s e 192 m/s.

Vengono dunque rappresentati gli ambiti di studio con indicati i vari valori di amplificazione sismica calcolati.

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 questo è importante in questi territori a bassa sismicità comprendere comunque gli effetti di amplificazione sismica, per stabilire se possono o meno indurre fenomeni di instabilità. Queste carte sono fondamentali negli studi di Microzonazione sismica.

Per la valutazione del fattore di amplificazione sismica si è fatto ricorso al D.G.R. 476 del 2021 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.

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.

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 inferiore a 300 m da p.c.;

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$),
SA4 ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Le legende delle carte dei fattori di amplificazione sono molto semplici e sono risultate essere monocolori per tutti gli ambiti urbanistici di studio.

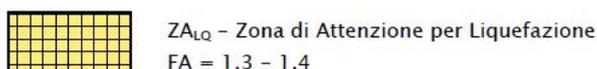
Nelle stesse carte vengono identificate tutte quelle zone di attenzione per instabilità che, per presenza di amplificazione sismica locale, risultano potenzialmente liquefacibili.

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone di attenzione per instabilità



Carta F.A. P.G.A.

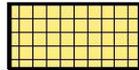
Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA = 1.3 - 1.4

Zone di attenzione per instabilità



ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazione
FA = 1.3 - 1.4

Carta F.A. S.A.1

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA = 2.1 - 2.2

Zone di attenzione per instabilità



ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazione
FA = 2.1 - 2.2

Carta F.A. S.A.2

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA = 2.5 - 3.0

Zone di attenzione per instabilità



ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazione
FA = 2.5 - 3.0

Carta F.A. S.A.3

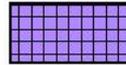
Legenda

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali



FA = 2.3 - 2.4

Zone di attenzione per instabilità



ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazione
FA = 2.3 - 2.4

Carta F.A. S.A.4

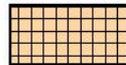
Legenda

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali



FA = 1.5 - 1.6

Zone di attenzione per instabilità



ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazione
FA = 1.5 - 1.6

Carta F.A. S.I.1

Legenda

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali



FA = 2.3 - 2.4

Zone di attenzione per instabilità



ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazione
FA = 2.3 - 2.4

Carta F.A. S.I.2

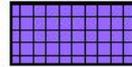
Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA = 2.5 - 3.0

Zone di attenzione per instabilità



Z_{A_{LQ}} - Zona di Attenzione per Liquefazione

FA = 2.5 - 3.0

Carta F.A. S.I.3

Per questo livello di approfondimento viene richiesta anche la carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s²), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s ≤ T ≤ 0,5s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di ASI_{UHS}/ΔT, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nella FIGURA 8.4.

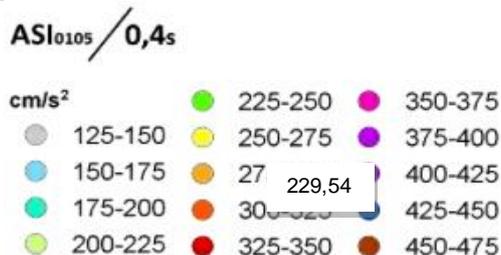
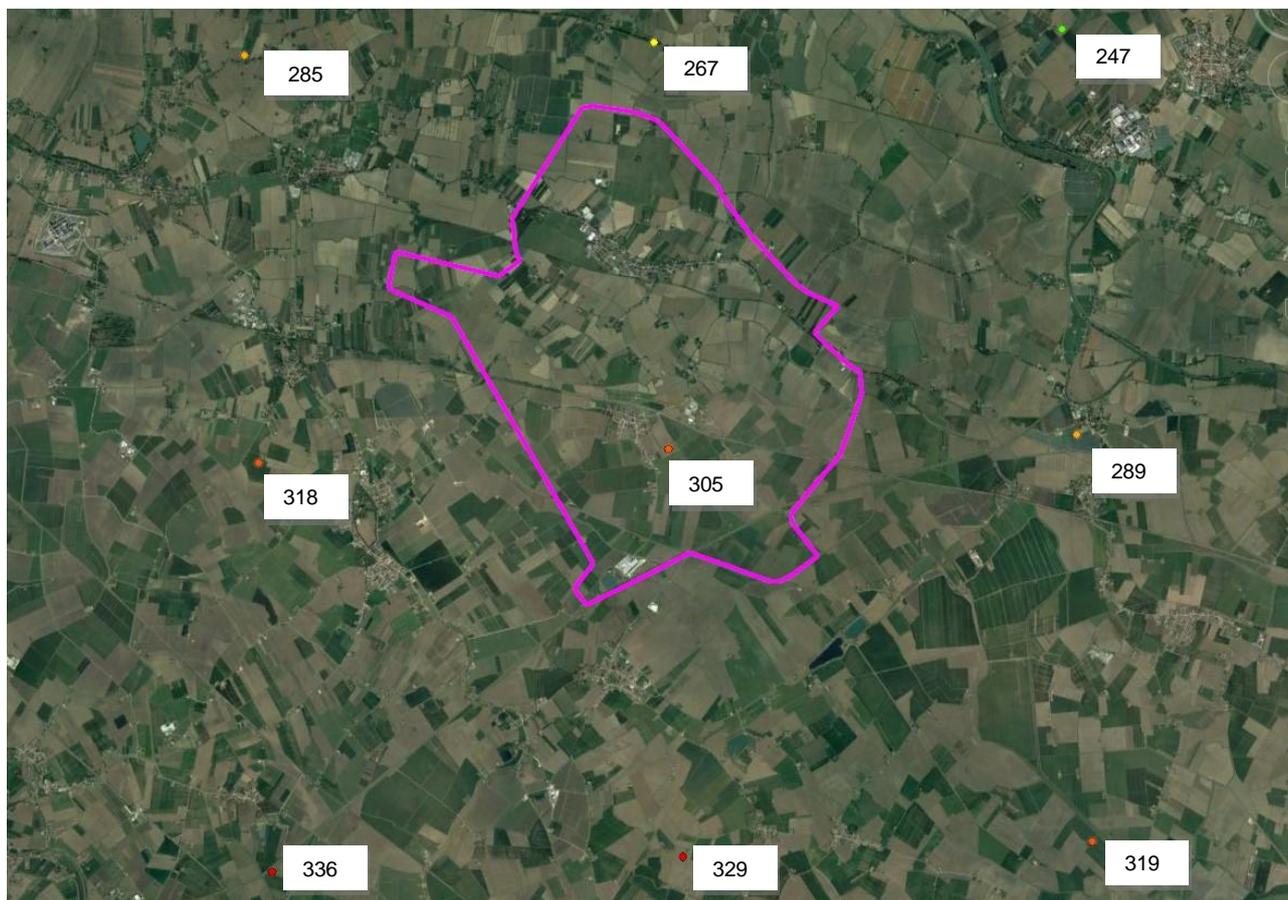


FIGURA 8.4 - distribuzione dei valori ASI_{0,1-0,5}/0,4sec

Le mappe di microzonazione sismica rappresentano il rischio sismico locale attraverso fattori di amplificazione, vale a dire valori relativi, e le mappe di rischio sismico di riferimento non considerano gli effetti locali che possono derivare da condizioni geologiche e morfologiche locali. Per l'implementazione di politiche per ridurre il rischio sismico, le autorità responsabili della gestione del territorio hanno bisogno di mappe realistiche di pericolosità sismica comparabili su scala nazionale.

Grazie ai dati disponibili sulla geologia e al rischio sismico e alle procedure indicate dalle linee guida regionali e nazionali, è possibile produrre, in modo rapido ed economico, mappe del rischio sismico del sito su qualsiasi scala. L'uso del parametro H_{SM} per questa mappatura consente di considerare sia il rischio sismico di riferimento sia gli effetti locali e rende i risultati finali comparabili su scala nazionale; pertanto, consente una classificazione realistica del pericolo sismico applicabile a tutte le scale.

In FIGURA 8.5 si riporta lo schema per la mappatura del rischio sismico del sito secondo le linee guida italiane per la microzonazione sismica (SM Working Gruppo, 2015; CTMS, 2017c), adottato nella DGR 630/2019.

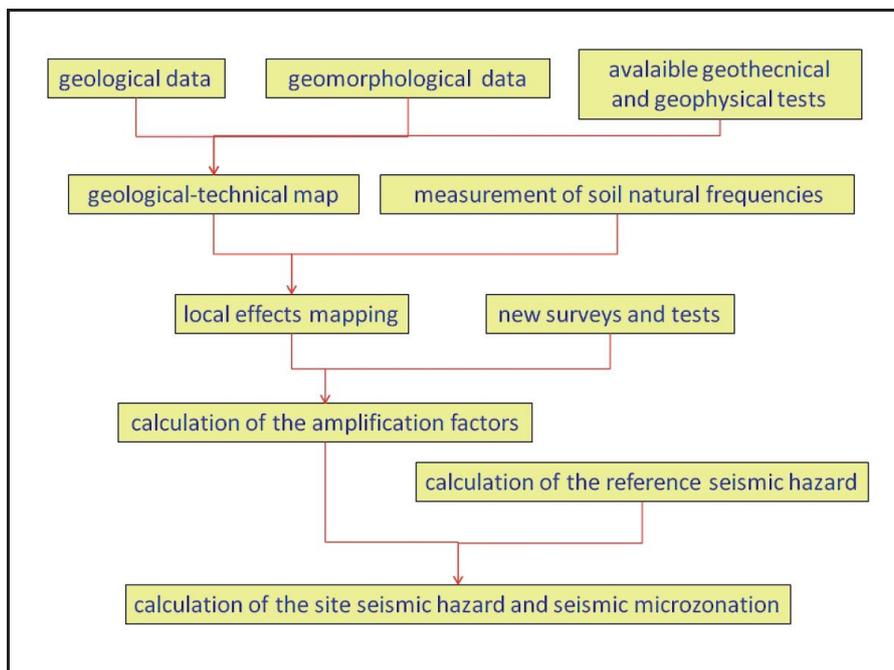


FIGURA 8.5 - Schema per la mappatura del rischio sismico del sito secondo le linee guida italiane per la microzonazione sismica (SM Working Gruppo, 2015; CTMS, 2017c)

Con l'introduzione del parametro H_{SM} si è scelto di sviluppare mappe che tenessero in conto del rischio sismico derivato dalla interazione tra il moto sismico e la presenza di edifici con determinati modo di vibrare. Si è scelto l'intervallo compreso tra 0,1sec e 0,5sec in quanto è stato calcolato essere il più significativo possibile per la realtà edilizia della Regione Emilia Romagna (FIGURA 8.6).

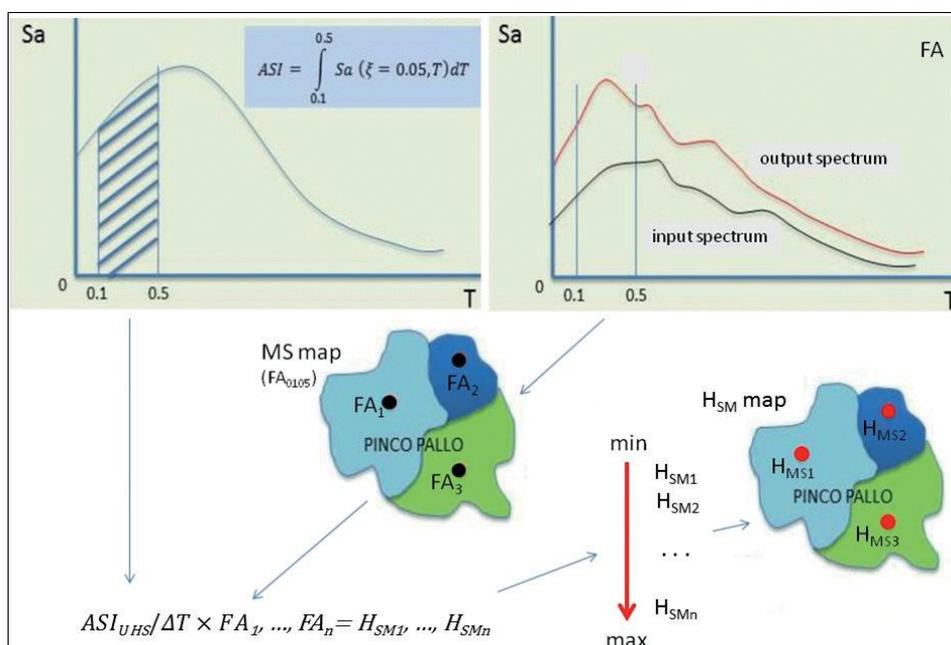


FIGURA 8.6 - Schema per il calcolo del parametro HSM e mappatura HSM

Non ci sono sulla normativa regionale delle classi di rischio in cui suddividere il territorio. Una ipotesi è stata proposta da Naso et Alii (giugno 2019):

"Il parametro H_{SM} può essere discretizzato in classi in modo semiquantitativo, relativo al livello di squotimento, il potenziale danno agli edifici e l'intensità strumentale. Le possibili soglie delle classi per i valori H_{SM} proposti da Naso et Alii (2019) possono variare da "basso-molto basso", "moderato-basso", Pericolo sismico da "moderato", "alto", a "molto alto". In Tabella 8.2 si riporta la recente proposta di classificazione.

Table 1 - Possible thresholds for H_{SM} and others physical parameters.

seismic hazard	low-very low	moderate-low	moderate	high	very high
H_{SM} (cm/s ²)	≤ 180	180 < H_{SM} ≤ 340	340 < H_{SM} ≤ 650	650 < H_{SM} ≤ 1240	> 1240
potential damage	none - very light	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
instrumental intensity	≤ VI	VII	VIII	IX	≥ X

Tabella 8.1

Come visibile in FIGURA 8.7, nel territorio comunale di Masi Torello tutte le fasce individuate appartengono al rischio "moderato".

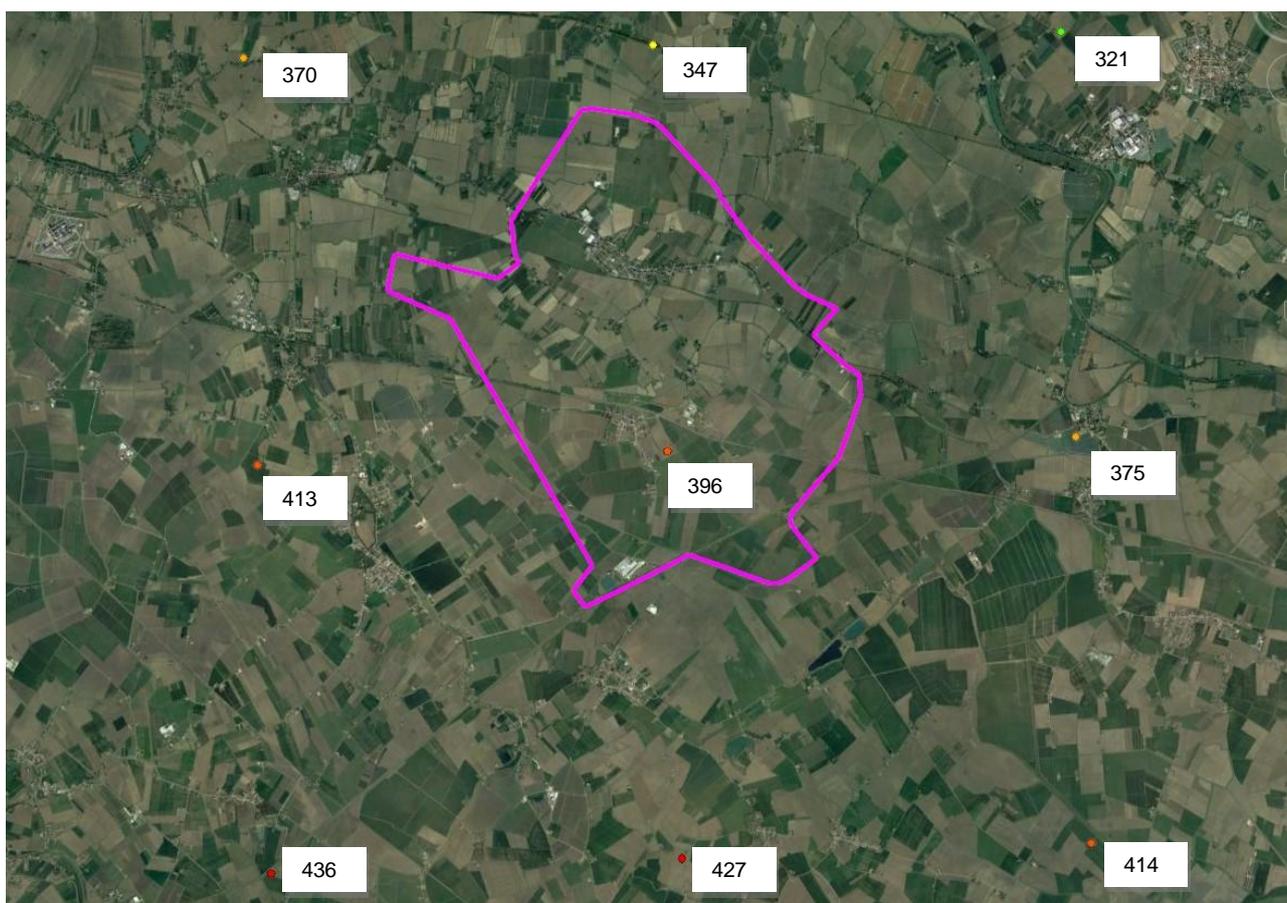


FIGURA 8.7 - distribuzione dei valori $H_{SM(0,1-0,5sec)}$ espressi in cm/sec².

Al fine di ricondurre l'insieme delle microzone sismiche ad ambiti omogenei di comportamento sismico e, quindi, al fine di favorire anche il processo di definizione delle strategie e delle modalità di mitigazione del rischio, si è ritenuto opportuno stabilire delle classi di valori di H_{SM} , da attribuire alle microzone stesse.

Le classi proposte si basano su scale di intensità macrosismica, MCS (Sieberg, 1930) ed EMS-98 (Grunthal, 1998), costruite su ipotesi di ingegneria delle strutture e collegate al danno degli edifici, che si adattano bene allo scopo di utilizzo del parametro H_{SM} come indicatore di pericolosità sismica per fini urbanistici.

Non esistendo una relazione diretta tra le scale macrosismiche e H_{SM} , si è deciso di utilizzare la Peak Ground Acceleration (PGA) come parametro di collegamento. I dati sperimentali utilizzati per validare la proposta di classificazione di H_{SM} sono anch'essi legati al danno degli edifici; questo rafforza la scelta di utilizzare le scale macrosismiche come riferimento per costruire le classi.

La FIGURA 8.8 mostra un diagramma di flusso che descrive la metodologia di definizione e di validazione delle classi H_{SM} .

La definizione è basata su relazioni di letteratura tra la scala di Intensità macrosismica MCS (Sieberg, 1930) e la PGA e su una relazione tra PGA e H_{SM} , costruita ad hoc. La procedura di validazione si basa invece su dati sperimentali di risposta sismica di edifici durante eventi reali. Elaborando tali dati sono state ottenute relazioni empiriche tra H_{SM} e la misura sperimentale di un parametro di danno fisico (spostamento di interpiano, MIDR) che sono state infine utilizzate per calibrare e convalidare i valori delle soglie delle classi.

In Mori et al. (2020) è riportata la metodologia di dettaglio della costruzione delle classi.

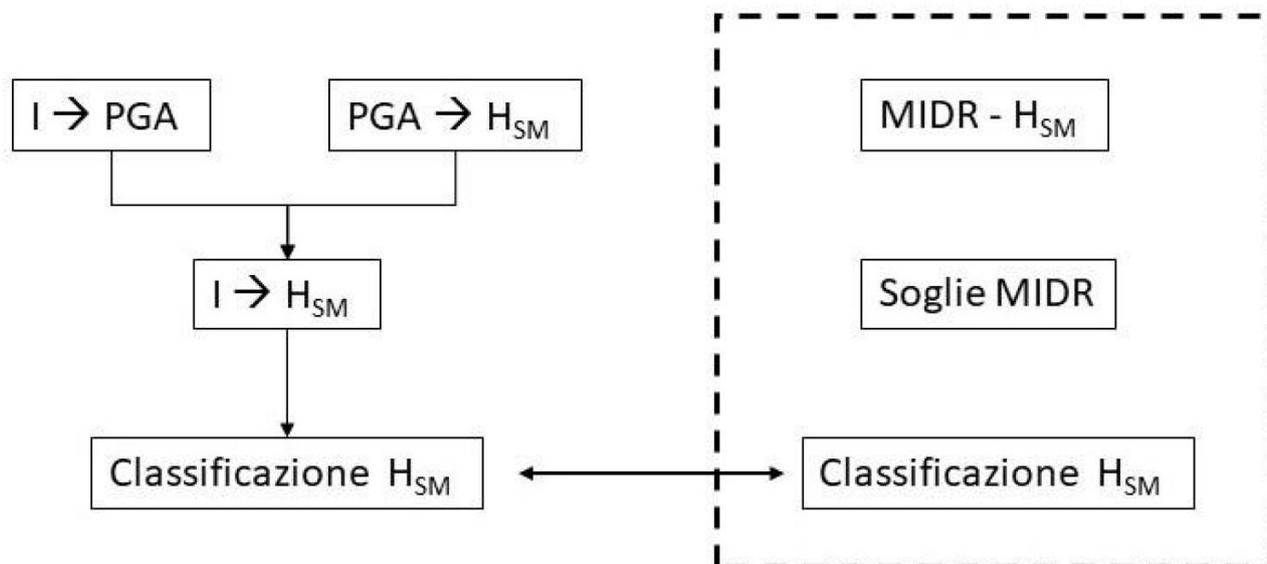


FIGURA 8.8 - Metodologia di definizione delle soglie delle classi di H_{SM} e validazione

In Tabella 8.2 è riportata la classificazione di H_{SM} (g).

Intervalli di periodo	Classificazione H_{SM} [g]			
	Basso (ZS_{4SM})	Medio (ZS_{3SM})	Alto (ZS_{2SM})	Molto alto (ZS_{1SM})
$T1_{(0.1-0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86
$T2_{(0.4-0.8)}$	≤ 0.14	0.15-0.34	0.35-0.55	≥ 0.56
$T3_{(0.7-1.1)}$	≤ 0.09	0.10-0.22	0.23-0.35	≥ 0.36

Tabella 8.2 - Classificazione di H_{SM} (g) per i 3 intervalli di periodo.

In FIGURA 8.9 si riporta una immagine satellitare con i valori della griglia H_{SM} espressi in g per il territorio comunale di Masi Torello, in cui è possibile notare che i valori di H_{SM} (g) vanno da 0,35 g a nord est del comune a 0,41 g a sud ovest del territorio comunale.

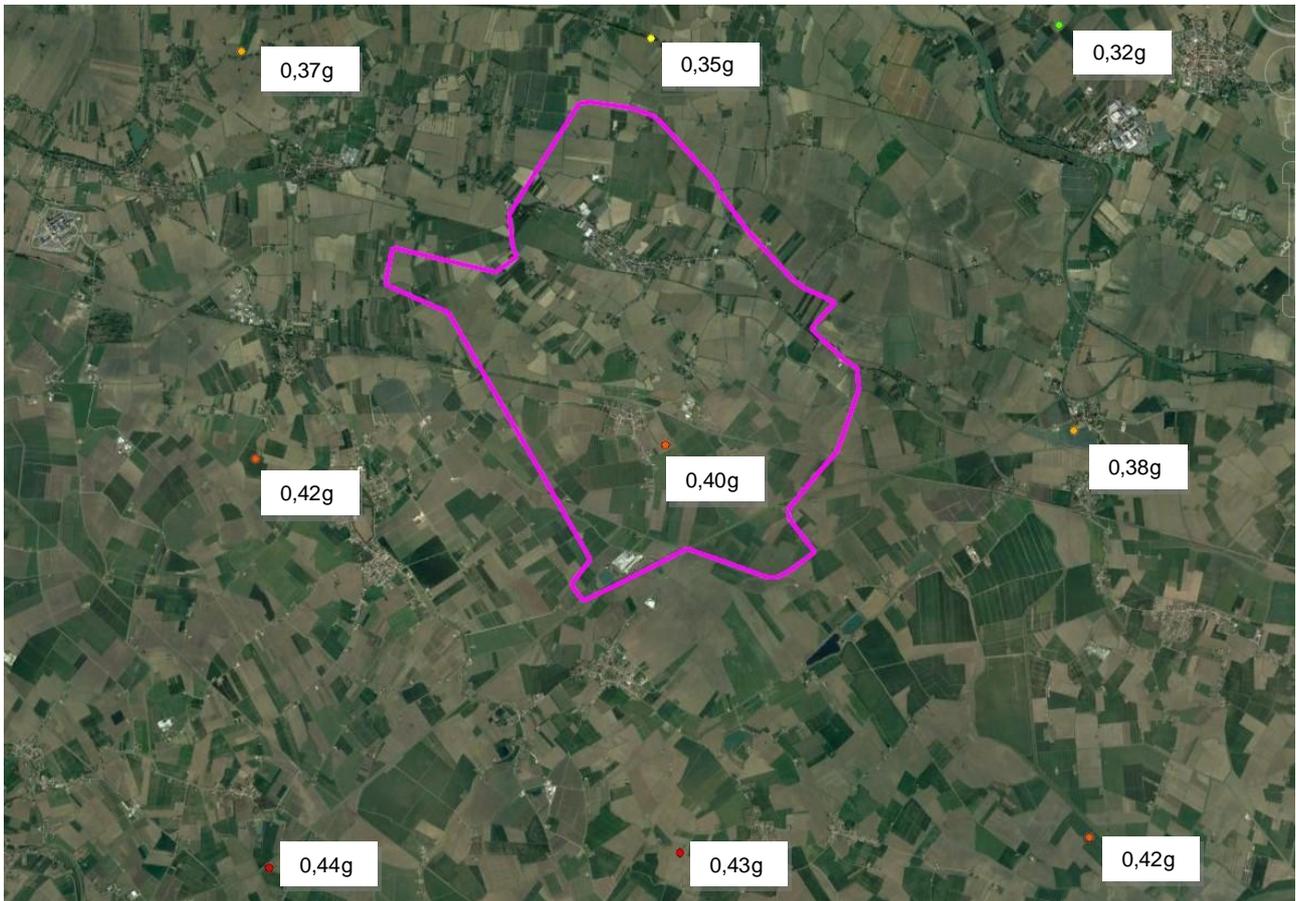


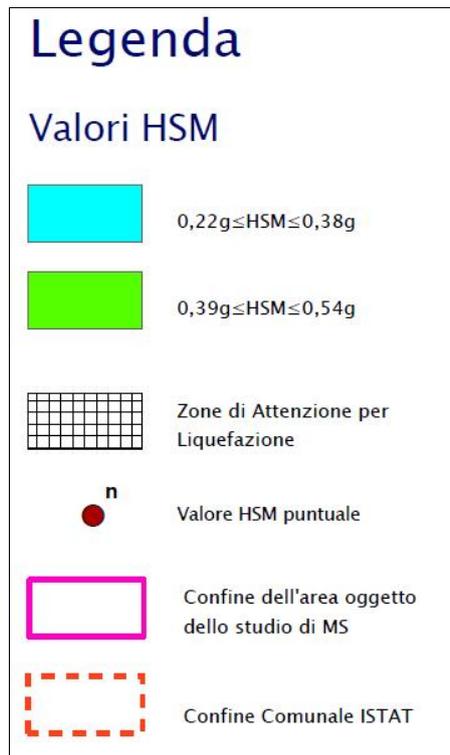
FIGURA 8.9 - distribuzione dei valori $H_{SM(0,1-0,5sec)}$ (g)

Anche con questa classificazione, riportata in Tabella 8.3, il rischio sismico per strutture che hanno periodi compresi tra 0,1sec e 0,5sec è dunque "medio". Per convenzione nella microzonazione sismica si studiano edifici con periodo compreso tra 0,1sec e 0,5sec.

Intervalli di periodo	Classificazione H_{SM} [g]			
	Basso (ZS_{4SM})	Medio (ZS_{3SM})	Alto (ZS_{2SM})	Molto alto (ZS_{1SM})
$T_{1(0.1-0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86

Tabella 8.3 - Classificazione di H_{SM} (g) per il comune di Masi Torello

Si riporta la leganda della carta degli H_{SM} espressi in g per il territorio comunale di Lagosanto, in cui è possibile notare che il territorio comunale ricade in due fasce, quella individuata nell'intervallo 0,22 g - 0,38 g e quello individuata nell'intervallo 0,39g e 0,54g.



9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Nel comune di Masi Torello sono documentati danni da eventi sismici passati, occorsi durante il terremoto del 17 novembre del 1570. Altre tracce non sono state rinvenute nella consultazione del catalogo storico dei terremoti.

A seguito del terremoto del 17 novembre 1570 a Ferrara, si trova un accenno alla chiesa danneggiata di San Leonardo a Masi Torello. Ne fa cenno il Marzola, quando fa il resoconto di tutti i danni alle strutture dedicate al culto della religione cattolica.

Marzola M., Per la storia della Chiesa Ferrarese nel secolo 16 (1497-1590), vol.2. Torino 1976

"Masi Torello-Chiesa di San Leonardo. Tectum tabulis, aut lapidibus tegi. Suggestum resarciri et pingi."

Masi Torello-Chiesa di San Leonardo Il tetto è da ricoprire con tavolette o pietre. La tribuna è da riparare e dipingere

http://www.cftilab.it/file_repository/pdf_T/000095-060053_T.pdf

Di seguito si riporta l'impressionante sequenza sismica che interessò Ferrara ed i territori circostanti, dal 1570 al 1574 (<https://storing.ingv.it/cfti/cfti4/quakes/00755.html#>).

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.

Full Chronology Of The Earthquake Sequence

La prima scossa avvenne il 17 novembre alle ore 9:30 italiane (1:40 GMT ca.); a Ferrara causò il crollo di circa 600 tra merli, terrazzini e comignoli, che cadendo causarono gravi danni alle coperture (1). Durante la notte e il giorno successivo furono avvertite numerose repliche; le più violente avvennero alle ore 20 italiane (12:10 GMT ca.) e alle ore 24 (16:10 GMT ca.) e causarono lesioni e sconnessioni delle murature. La scossa principale avvenne alle ore 3 della notte (19:10 GMT ca.) e causò danni molto gravi agli edifici di Ferrara, già lesionati e sconnessi dalle scosse precedenti. La scossa ebbe una vasta area di risentimento, dalle ville circostanti Argenta (2), Cento (3), Canal Novo, Papozze, Villanova e Crispino (4), Codigoro (5), alle altre città emiliane: Passeri (6) ricorda che il terremoto fu sentito anche a Finale Emilia, Bondeno, Portomaggiore, Modena e Reggio Emilia; secondo Ligorio (7) e Canigiani (8) anche a Mantova, Venezia, Verona e Bologna.

18 novembre 1570: Ferrara, 3 di notte (9); Ligorio (10) ricorda scosse anche alle 5, 11, 13 e 14.

19 novembre 1570: Ferrara, 3 scosse alle 15 e alle 17, con repliche alle 5, 8, 12, 13, 14 della notte (11).

20 novembre 1570: Ferrara, scosse avvertite alle 15, 18, 22, e alle 5 e alle 13 della notte (12).

21 novembre 1570: Ferrara, scosse alle 16 e alle 20 della notte (13).

22 novembre 1570: Ferrara, scosse alle 16, 19, 20, con repliche alle 2 e alle 11 della sera (14).

23 novembre 1570: Ferrara, ore 21, ripresa delle scosse forti come quelle del 16 novembre (15); scosse molto forti alle 3, 5 e alle 11 della notte, che danneggiarono il Castelnovo, la facciata di S.Domenico, e molti merli delle mura, verso porta dell'Amore (16).

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).

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).
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).
11 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 23 e durante tutta la notte, caddero alcune parti già lesionate del Duomo (88).
12 gennaio 1571: Ferrara, scossa forte alle 8 GMT (89); scosse alle 21 e alle 5, 2, 12, 14, 15 (90).
13 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 19 e alle 21 (91).
14 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 7 di notte e alle 11, 14 e 15 (92).
15 gennaio 1571: Ferrara, 2 scosse alle 11 e alle 12 (93).
16 gennaio 1571: Ferrara, lievi scosse 19 e alle 6 della notte (94).
17 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 7, 8 e alle 12 della notte; repliche alle 19, 20 e alle 6 della notte (95).
18 gennaio 1571: Ferrara, 4 scosse alle 7 e alle 15 (96).
19 gennaio 1571: Ferrara, scossa alle 15 (97).
20 gennaio 1571: Ferrara, scossa alle 2 della notte (98).
21 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 8 con repliche dopo l'alba.
22 gennaio 1571: Ferrara, scossa debole alle 17 (99).
23 gennaio 1571: Ferrara, numerose scosse alle 6, 10, 11, 12, 13 e 14 (100).
24 gennaio 1571: Ferrara, 2 scosse alle 2 di notte, con repliche alle 4, 6, 7, 10, 14 (101).
25 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 7 e alle 13 (102).
26 gennaio 1571: Ferrara, 2 scosse alle 7 e alle 16 (103).
27 gennaio 1571: Ferrara, scossa alle 18 GMT (104).
29 gennaio 1571: Ferrara, alle 1.20 GMT scossa lunga e forte con 12-14 repliche minori fino alla mattina (105).
30 gennaio 1571: Ferrara, 2 forti scosse alle 1.50 e 2.50 GMT che spinsero i cittadini ad abbandonare nuovamente le case (106); inoltre 5 repliche minori alle 18.45 GMT (107).
31 gennaio 1571: Ferrara, scosse alle 7.50 e 9.50 GMT (108); altre scosse alle 13.45 e 14.45 GMT (109).
1 febbraio 1571: Ferrara, scossa molto forte alle 4,50 GMT e replica alle 13.45 (110).
2 febbraio 1571: Ferrara, scossa alle 5.50, riportata da Canigiani (111) che la giudica la più forte dal mese di dicembre.
6 febbraio 1571: Ferrara, 7 scosse (112); una scossa forte alle 12 GMT, seguita da una minore e da 2 altre forti alle 17 GMT (113).
13 febbraio 1571: Ferrara, scossa molto forte tra le 22.30 e le 23.30 GMT (114).
15 febbraio 1571: Ferrara, una scossa molto forte avvertita alle 23.45 (115); Canigiani (116) ricorda 8 o 10 scosse.
25 febbraio 1571: Ferrara, scossa alle 6 GMT (117).
5 marzo 1571: Ferrara, scossa molto forte avvertita a Vigarano e Palantone (118).
11-12 aprile 1571: Ferrara, 3 scosse alle 24 GMT, una particolarmente forte (119).
16 aprile 1571: Ferrara, scosse forti alle 16 GMT (120).
17 aprile 1571: Ferrara, scossa avvertita durante l'omelia (121).
21 aprile 1571: Ferrara, scossa molto forte avvertita alle 5.15 GMT (122); De Robertis (123) la ricorda come la maggiore dopo la prima del 17 novembre dell'anno precedente.
30 aprile 1571: Ferrara, scosse avvertite la notte a Bondeno e Stellata, dove la popolazione fuggì dalle case (124).
1 maggio 1571: Ferrara, 4 scosse (125).
24 maggio 1571: Ferrara, alle 16.30 due scosse lievi e una più forte alle 18.40 (126); una molto forte alle 23 (127).
25 maggio 1571: Ferrara, scossa alle 6 GMT (128); replica alle 20.20 GMT (129).
31 maggio 1571: Ferrara, 3 scosse lievi (130).
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).
24 febbraio 1574: scossa molto forte tra le 5 e le 6 GMT, che danneggiò alcune case (162).
29 febbraio 1574: Ferrara, alle 0.20 GMT piccola scossa (163).
6-7 maggio 1574: Ferrara, scossa molto forte tra le 23.50 e le 0.20 GMT che rovinò molte case (164).
29 maggio 1574: Ferrara, scossa debole avvertita alle 2 GMT (165).

A seguito degli eventi sismici del 2012 non risultano esserci stati danni in comune di Masi Torello.

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.
- Massimo Baglione, Daniele Bottero, Fabrizio Brammerini, Sergio Castenetto, Iolanda Gaudiosi, Luca Martelli, Federico Mori, Massimiliano Moscatelli, Andrea Motti, Giuseppe Naso, Pierpaolo Tiberi, Daniele Spina "Microzonazione sismica - *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazione* Versione 2.0 " anno 2022.
- 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 Masi Torello. 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 speditive 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 Geingegneria: 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) - CFTI4Med, 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 Macroseismic Database. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.
- L.R. Emilia-Romagna n. 19 del 30 ottobre 2008 - Norme 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 speditive 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/CPTI>.
- 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.
- *Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale - proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche".*, a cura del gruppo di lavoro ZS-PS RER: L. Martelli, G. Ercolessi, F. Sani, M. Bonini, G. Corti, M. Santulin, A. Tamaro, A. Rebez, D. Slejko (Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Scienze della Terra, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Geoscienze e Georisorse Firenze, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano c/o OGS, Trieste, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, progetto grafico e impaginazione Simonetta Scappini Stampa Centro Stampa Regione Emilia-Romagna - settembre 2017