



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



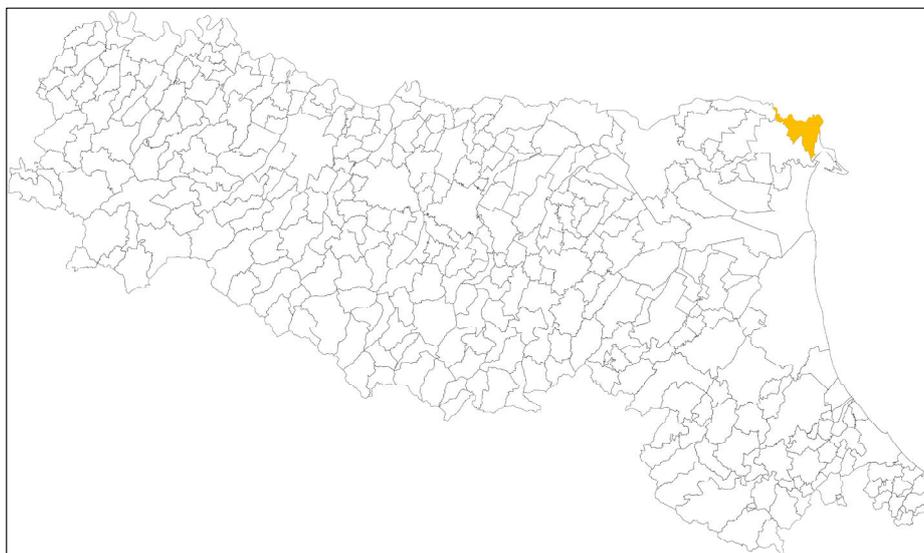
**CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME**

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di Mesola (Fe)



| | | |
|--|--|--|
| Regione: Emilia Romagna | Soggetto realizzatore Dott. Geol. Thomas Veronese Collaboratori: Dott. Geol. Luca Lunghi Dott.ssa Geol. Sara Franciosi Indagini geofisiche: Prof. Nasser Abu Zeid Cartografia: Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli C.L.E.: Ing. Stefano Beltrami | Data: Febbraio 2020 |
|--|--|--|

Gruppo di lavoro:

Microzonazione sismica di II livello:

Dott. Geol. Thomas Veronese

Analisi della Condizione Limite di Emergenza

Dott. Ing. Alessio Colombi

Indagini geofisiche e interpretazione dati geofisici

Dott. geol. Nasser Abu Zeid

Indagini geologiche in situ:

Dott. Geol. Thomas Veronese

Cartografia e progetto GIS:

Dott. geol. Claudia Tomassoli

Collaboratori

Dott. Geol. Sara Franciosi

Dott. Geol. Luca Lunghi

INDICE:

| | | |
|-----------|--|------------|
| 1. | INTRODUZIONE | 2 |
| 1.1. | INQUADRAMENTO GEOGRAFICO | 3 |
| 1.2. | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 4 |
| 2. | DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO..... | 5 |
| 2.1. | ASSETTO TETTONICO | 5 |
| 2.2. | TERREMOTI STORICI E MAGNITUDO | 16 |
| 2.2.1. | LA MAGNITUDO ATTESA..... | 22 |
| 2.3. | CLASSIFICAZIONE SISMICA | 27 |
| | Legge 2/ 2/ 74 n. 64..... | 27 |
| | OPCM 3274 del 20/03/ 2003 | 28 |
| | D.M. 14/09/ 2005..... | 29 |
| | OPCM 3519/2006..... | 29 |
| | D.M. 14/01/2008 "nuove NTC" e successivo D.M. 17/02/ 2018 "aggiornamento delle NTC"..... | 30 |
| | "Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007" per la Pianificazione territoriale ed urbanistica..... | 30 |
| | "DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 2193, DEL 21 DICEMBRE 2015" PER LA PLANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA..... | 31 |
| | "DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 1164, DEL 23 LUGLIO 2018" AGGIORNAMENTO DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DI PRIMA APPLICAZIONE DEI COMUNI DELL'EMILIA ROMAGNA | 33 |
| | "DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 630, DEL 29 APRILE 2019" PER LA PLANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA..... | 34 |
| 2.4. | CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE | 39 |
| 2.5. | CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA | 41 |
| 2.6. | CENNI SULLA SUBSIDENZA..... | 47 |
| 3. | DATI GEOTECNICI E GEOFISICI..... | 53 |
| 3.1. | INDAGINI PREGRESSE..... | 53 |
| 3.2. | INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA..... | 54 |
| 4. | MODELLO DEL SOTTOSUOLO | 56 |
| 4.1. | SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO..... | 61 |
| 4.2. | SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI)..... | 62 |
| 4.3. | SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)..... | 62 |
| 4.4. | SUBSINTEMA DI BAZZANO – AES 6..... | 64 |
| 4.5. | SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7..... | 64 |
| 4.6. | SUBSINTEMA DI RAVENNA – AES 8 E UNITA' DI MODENA – AES8A..... | 65 |
| 5. | INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE..... | 69 |
| 5.1. | CAUSE SCATENANTI PER LA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE | 69 |
| 5.2. | DISTRIBUZIONE E DIMENSIONI DELLE FORME GEOMORFOLOGICHE..... | 72 |
| 6. | METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI..... | 73 |
| 7. | ELABORATI CARTOGRAFICI | 78 |
| 7.1. | CARTA DELLE INDAGINI | 78 |
| 7.2. | CARTA GEOLOGICO TECNICA | 80 |
| 7.3. | CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI F ₀ DEL TERRENO | 82 |
| 7.4. | CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA..... | 84 |
| 7.5. | CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs)..... | 93 |
| | Correlazione empirica da penetrometrie..... | 94 |
| | Misure dirette mediante sismocono..... | 95 |
| | Indagini geofisiche | 95 |
| 7.6. | CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE | 97 |
| 8. | CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI | 105 |
| 9. | BIBLIOGRAFIA..... | 106 |

1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'amministrazione comunale di Mesola si redige lo studio di Microzonazione sismica di 2 livello e analisi della Condizione Limite per l'emergenza (CLE), di cui all'O.C.D.P.C. 293/2015 e D.C.D.P.C. del 14 dicembre 2015 (Determinazione N° 806 Registro Generale del 18/07/2019 Registro del Settore N°. 271 del 18/07/2019).

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.

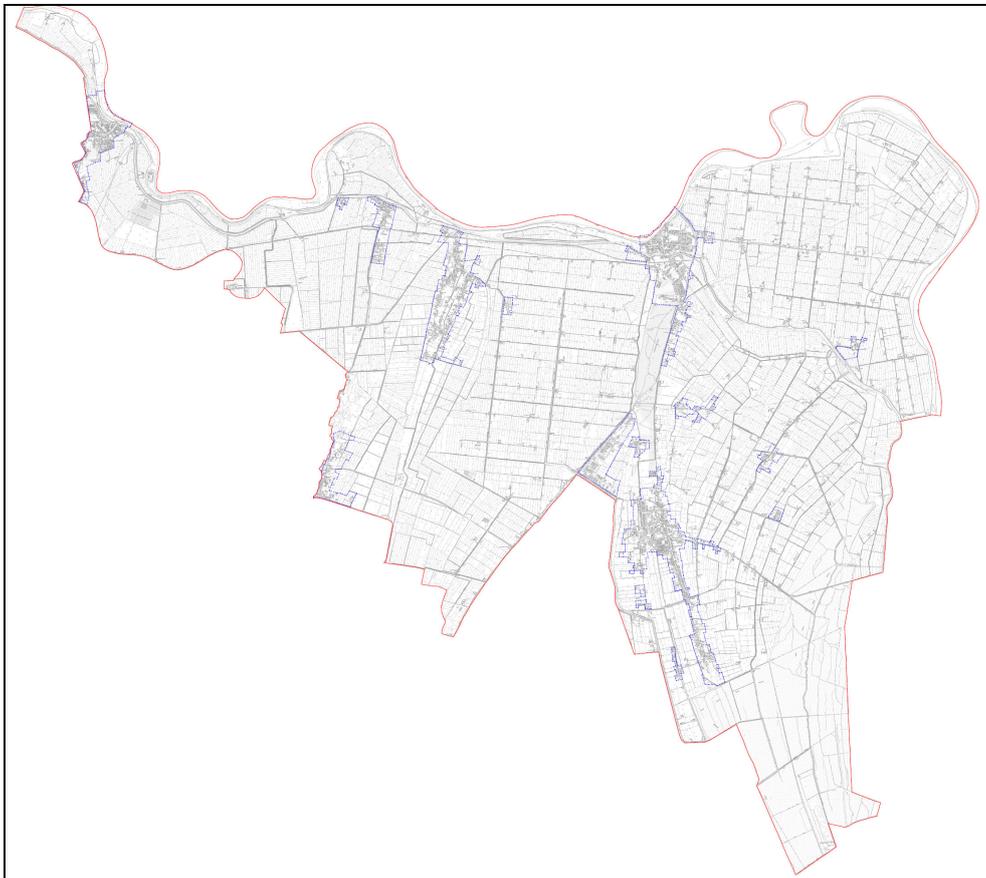
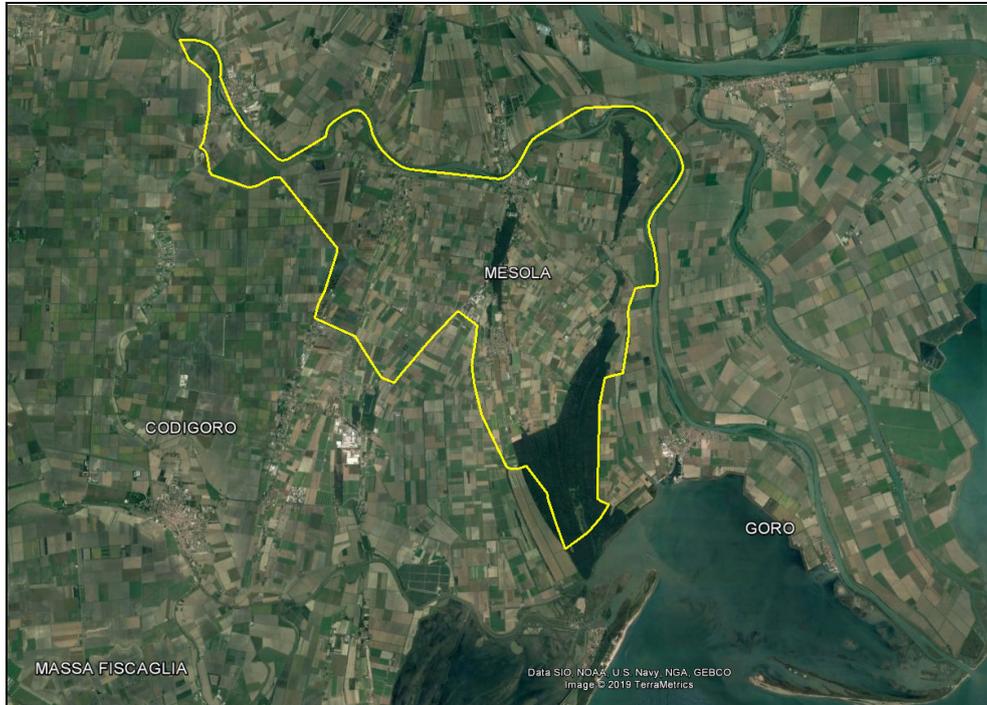
Le modalità tecniche di esecuzione e di applicazione della microzonazione sismica sul territorio italiano sono definite dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Mesola è compreso nella seguente cartografia:

- Scala 1: 50.000: Foglio 187 Codigoro.
- Scala 1: 25.000: Foglio 187 SE Goro, Foglio 187 SO Codigoro, Foglio 187 NO Serravalle,.

Il comune di Mesola confina a nord con il Po di Goro, ad est con il Comune di Goro, a sud e sud ovest con il Comune di Codigoro, a nord ovest con il comune di Jolanda di Savoia.



TERRITORIO COMUNALE DI MESOLA - provincia di Ferrara

1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.1”, redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015), da qui in avanti “Standard MS 4.1”.
- “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 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 Ag 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.

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 fasci di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; internamente, cioè nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo.

Le fasi tettoniche si sono succedute 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). 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).

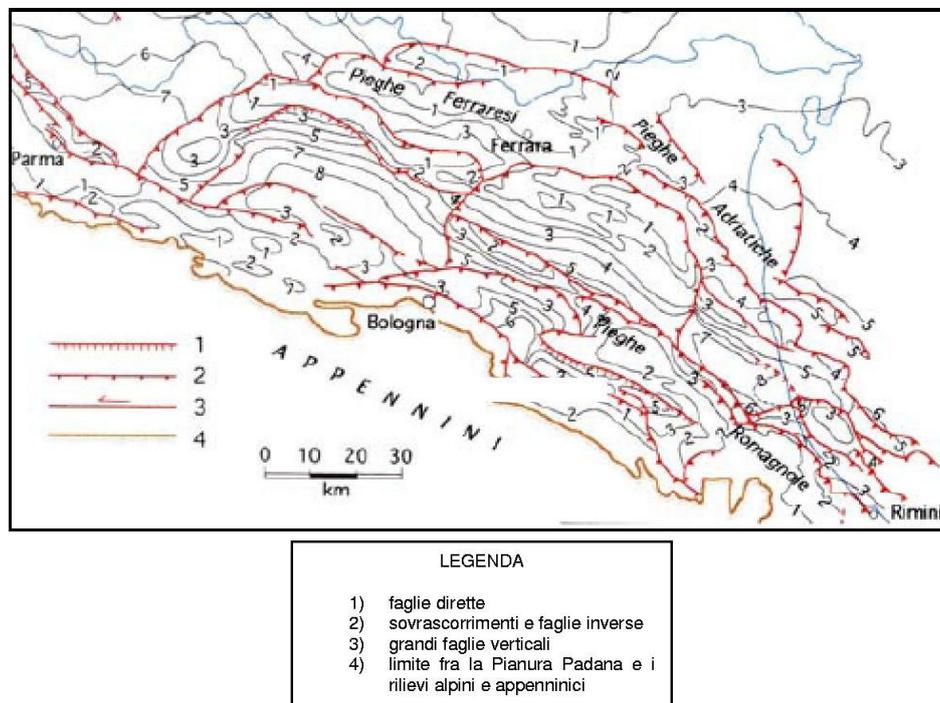


Figura 2-1 - Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di fatturazioni presenti (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992)

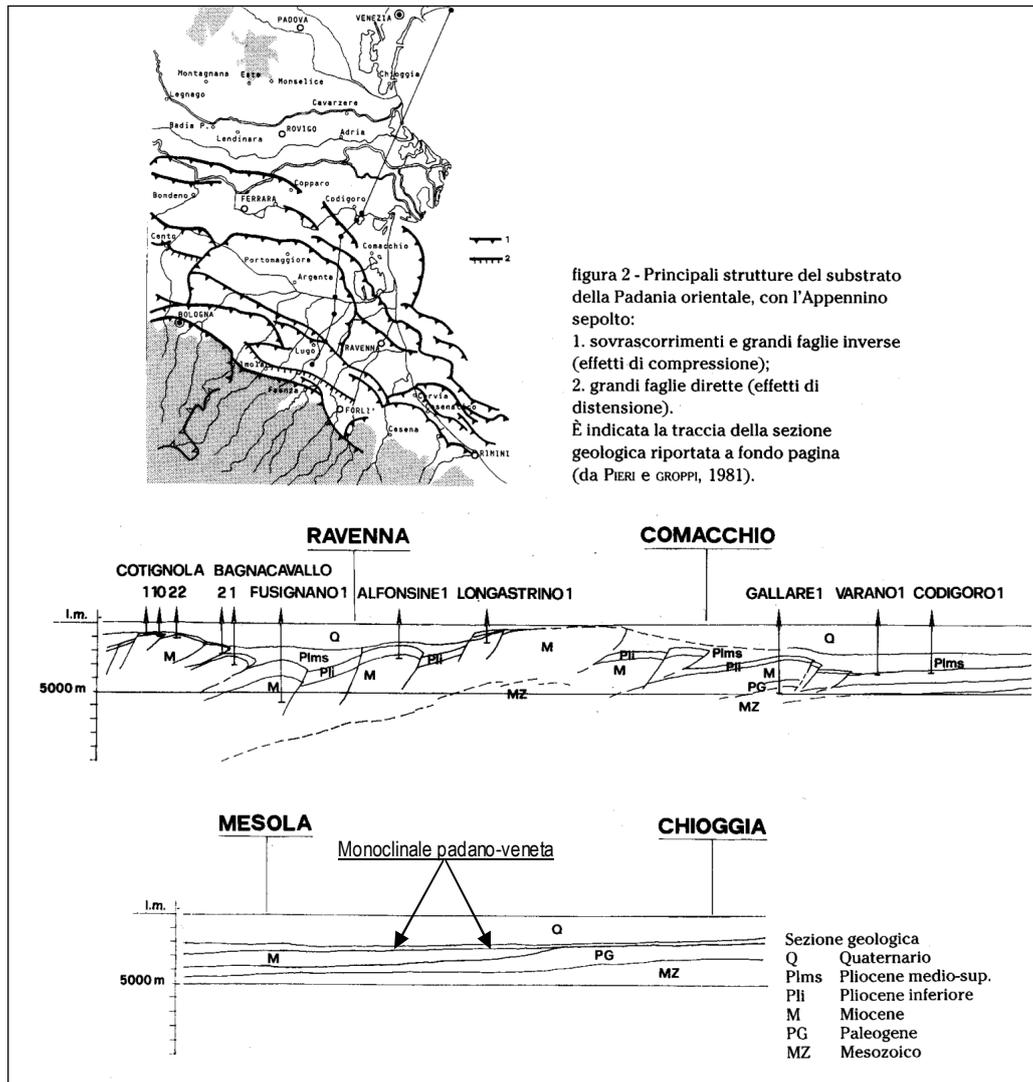


Figura 2-2 - Inquadramento geologico strutturale dell'area deltizia

Nella **FIGURA 2.3** 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).

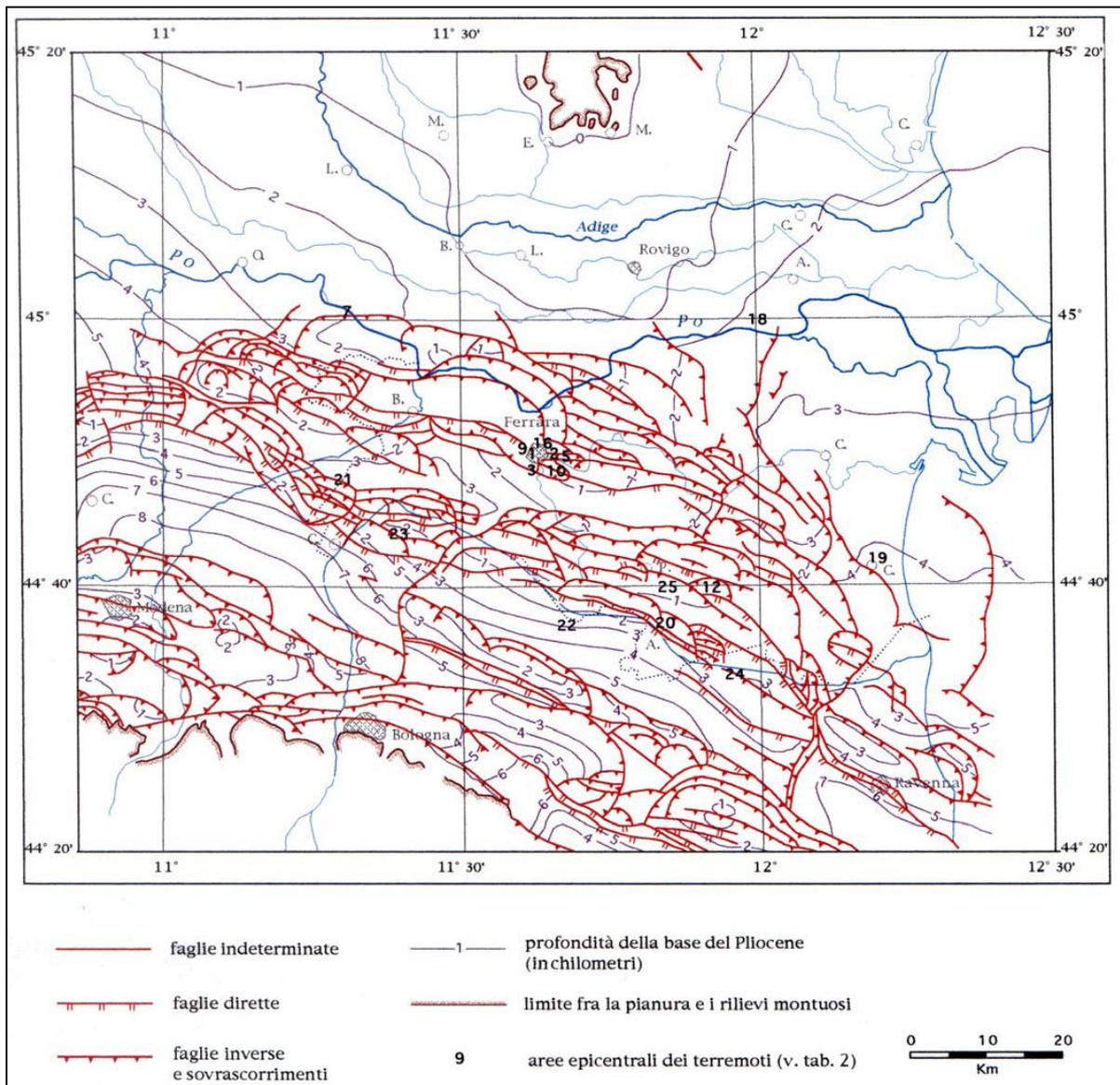


Figura 2-3 - Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR,1992)

Nella **FIGURA 2.4** viene riportato lo schema tettonico tratto dalla carta sismotettonica dell'Emilia Romagna; in **FIGURA 2.5** è riportato uno stralcio centrato sull'area allo studio della mappa sismotettonica dell'Emilia Romagna (anno 2004) e un sezione passante in prossimità del comune di Mesola (**FIGURA 2.6**).

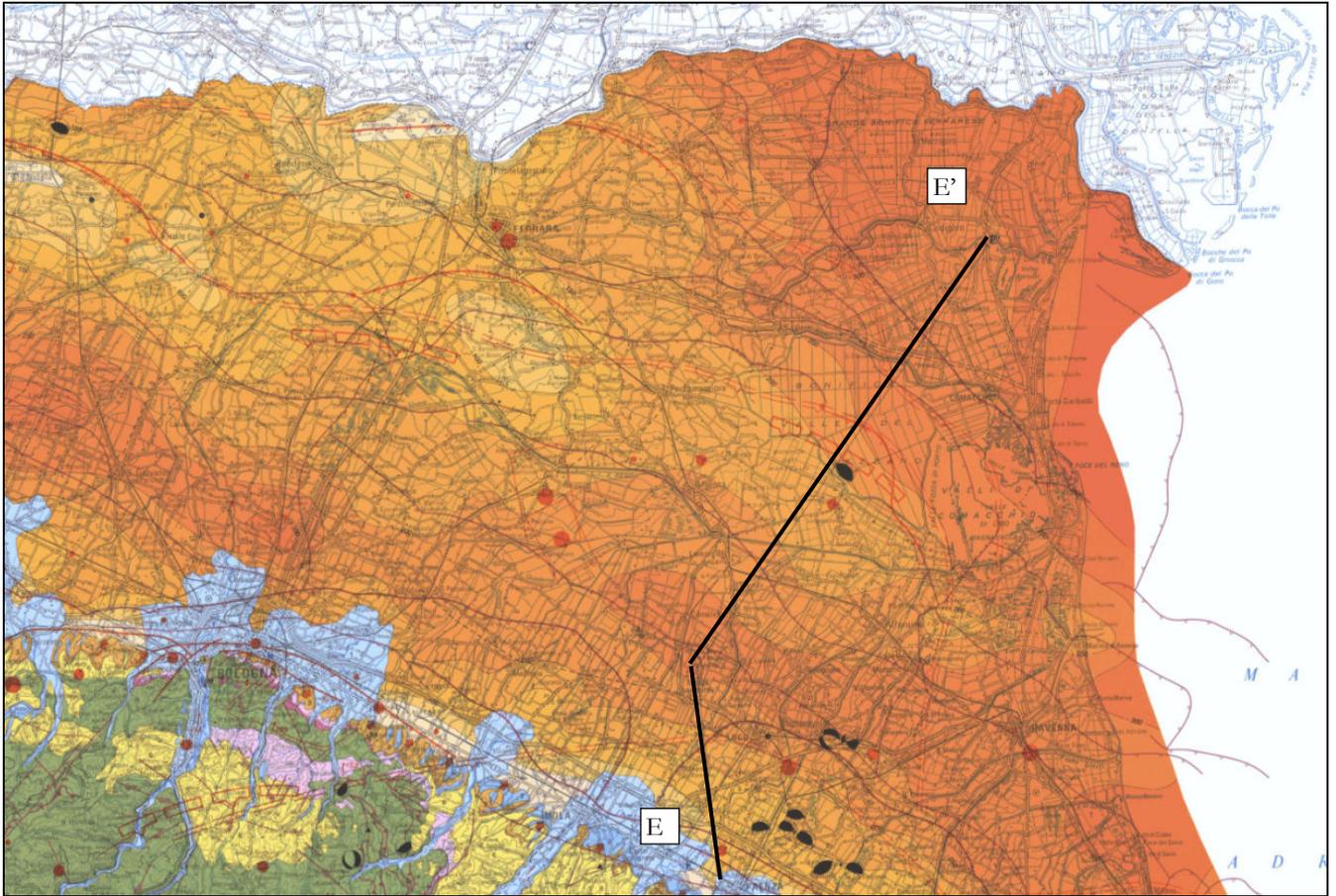


Figura 2-5 - Carta Sismotettonica Regione Emilia Romagna e ubicazione della sezione geologica E-E' riportata di seguito
(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

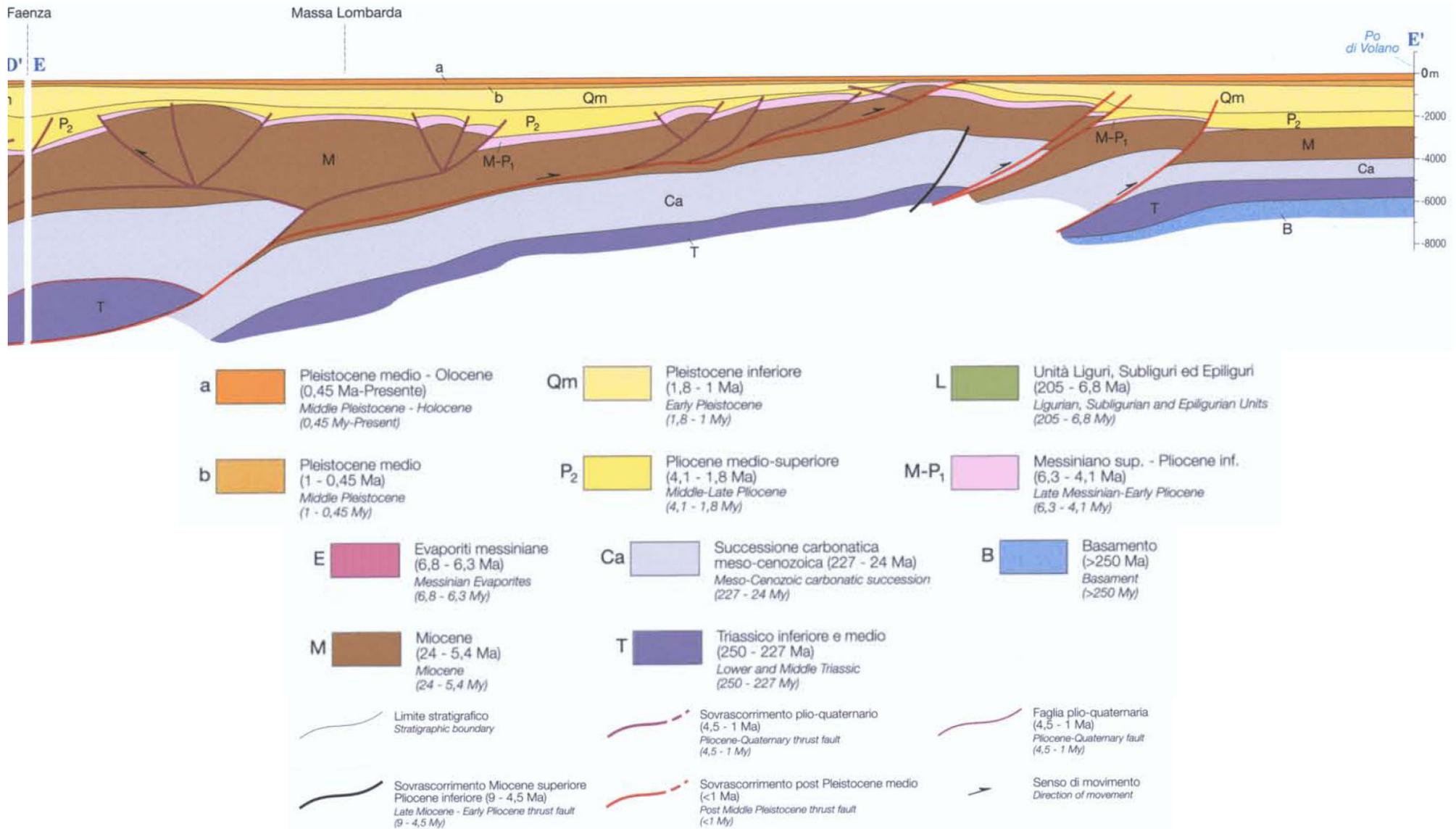


Figura 2-6 – Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E'
(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

In **FIGURA 2.7** viene riportato uno stralcio della nuova carta sismotettonica dell'Emilia Romagna (anno 2017) con ubicata una sezione di interesse. Nella **FIGURA 2.8** è riportata invece stralcio della Sezione D-D' che passa poco ad ovest del comune di Mesola.

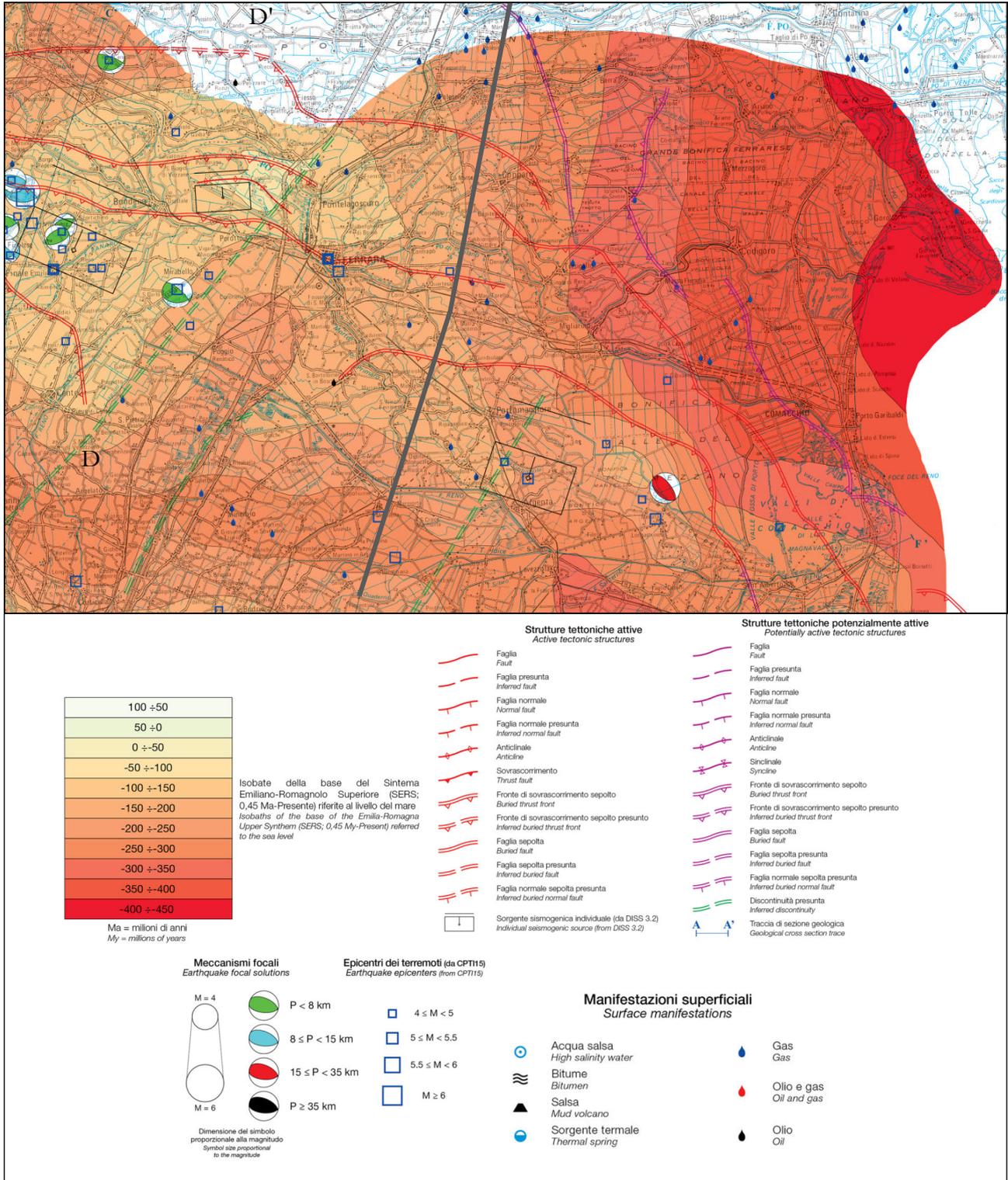


Figura 2-7. - stralcio centrato sul comune di Mesola della nuova carta sismotettonica dell'Emilia Romagna (anno 2017).
(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2016).

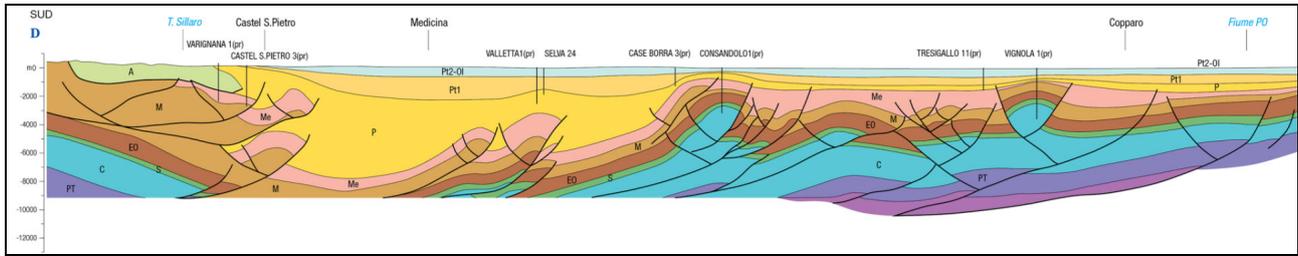


Figura 2-8 - stralcio della Sezione D-D' che passa poco ad ovest del comune di Mesola
(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2016).

Come si può notare in **FIGURA 2.7** la base del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (450.000 anni dal presente) si colloca a profondità comprese tra -350m ad ovest fino a -450m di profondità ad est del territorio comunale. Alcune informazioni in più verranno rese nel capitolo 5, ove si proporrà il modello del sottosuolo locale.

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.

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

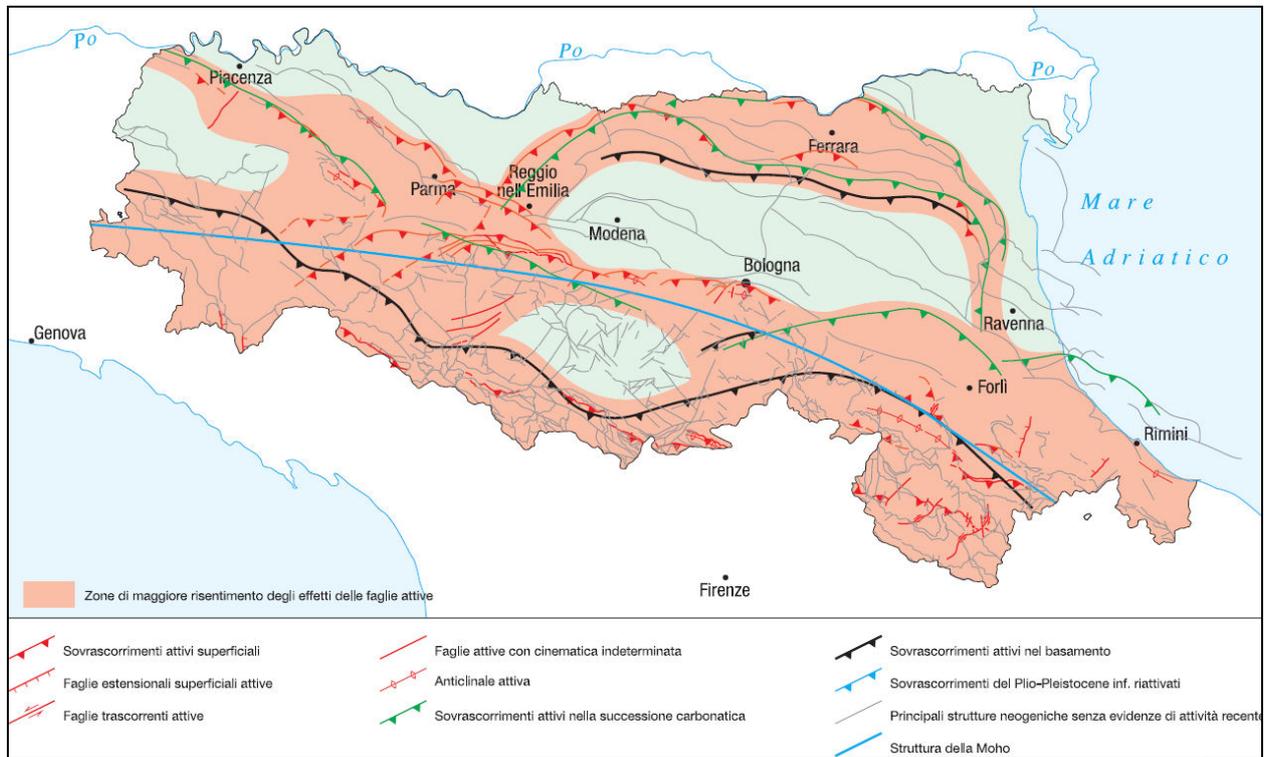


Figura 2-9 - Carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive
(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

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 Mesola ricade al di fuori delle zone sismogenetiche, la più vicina è la Zona 912, caratterizzata da un valore di $M_{w,max}$ pari a 6.14 (FIGURA 2.10).

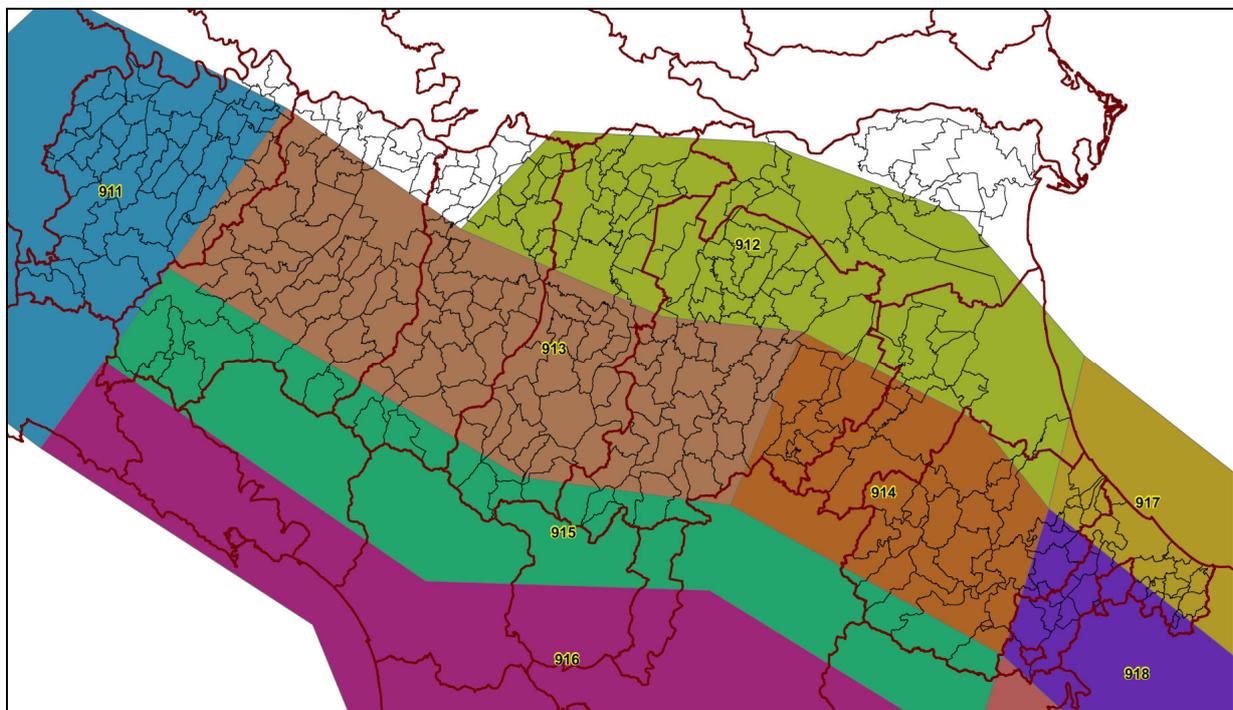


Figura 2-10 - Aree sismogenetiche in Emilia Romagna

Il database DISS (DISS Working Group, 2015) indica che il territorio comunale di Mesola si colloca esternamente alla struttura sismogenetica composta orientata approssimativamente ESE-WNW e denominata Poggio Rusco-Migliarino (ITCS050)(FIGURA 2.11).

Subito a sud è presente la struttura sismogenetica composta denominata Malalbergo-Ravenna (ITCS012)

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

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

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

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

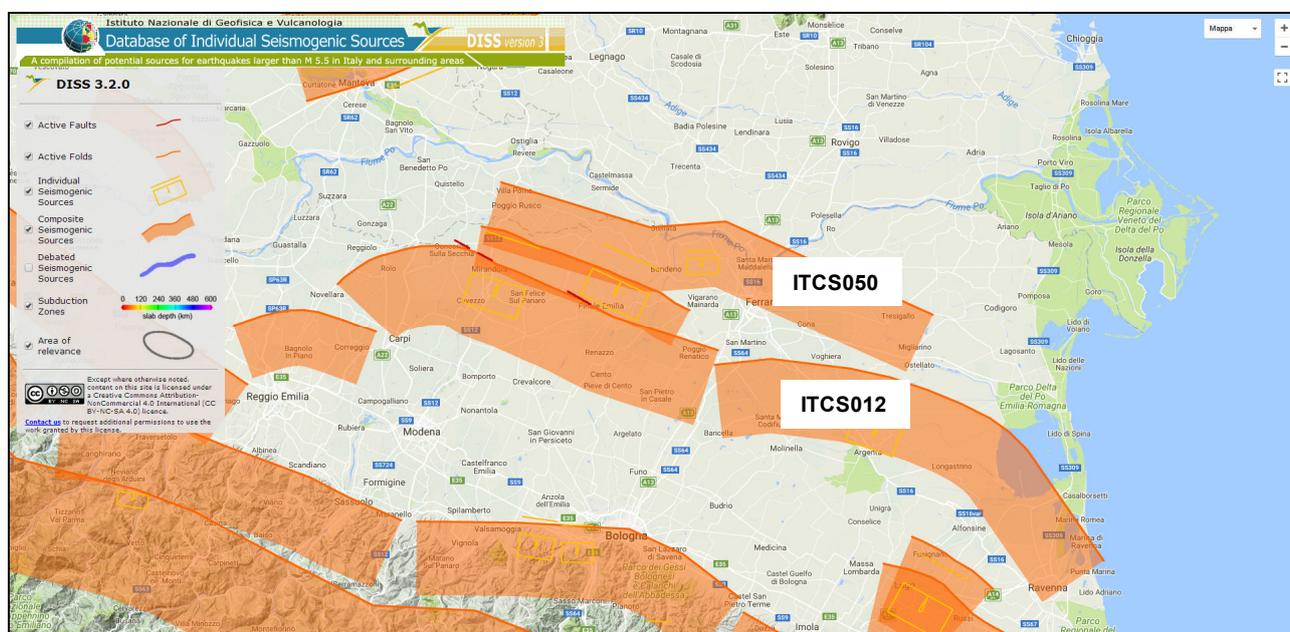


Figura 2-11 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.2.0. (<http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>)

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 Mesola, selezionando un raggio di 50km, selezionando gli eventi con magnitudo $M_w > 3,92$ (FIGURA 2.12) si ottiene la **Tabella 2.1**.

CPTI04 - Interrogazione per parametri

È possibile effettuare una ricerca tra i record del catalogo. Utilizzando l'immagine si possono stabilire la latitudine e la longitudine in caso di ricerca per area circolare o rettangolare.

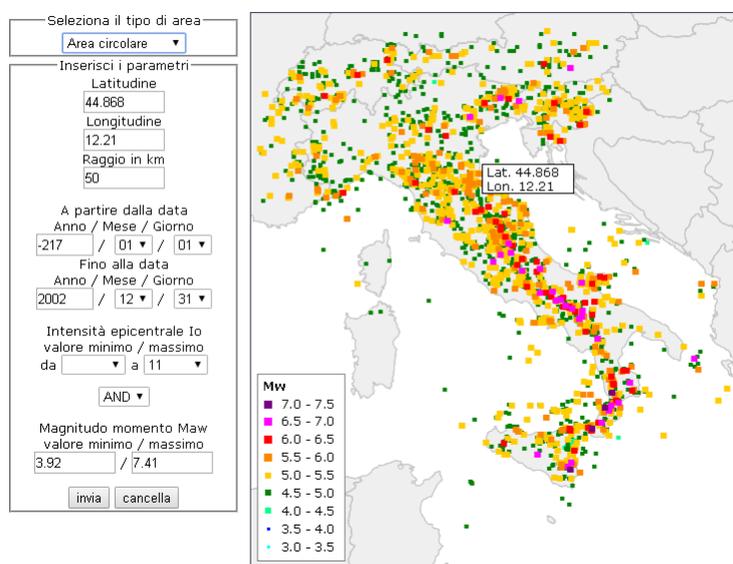


Figura 2-12 - Criteri di interrogazione adottati

CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (44.869, 12.206) e raggio 50 km
a partire dal 217/01/01 fino al 2002/12/31

| N | Tr | Anno | Me | Gi | Or | Mi | Se | RE | Rt | Np | Inoc | Io | TI | Lat | Lon | TL | Maw | Daw | TW | Mas | Das | TS | Msp | Bsp | Z59 | TZ | Ncft | Nnt | Ncpt |
|------|----|------|----|----|----|----|----|------------------|-------|----|------|----|----|--------|--------|----|------|------|----|------|------|----|------|------|-----|----|------|------|------|
| 51 | DI | 1234 | 3 | 20 | | | | FERRARA | DOM | 5 | 70 | 70 | | 44.836 | 11.618 | A | 5.17 | 0.30 | | 4.80 | 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 | |
| 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 | POS85 | | | 60 | | 44.833 | 11.667 | A | 4.83 | 0.26 | | 4.30 | 0.39 | | 4.53 | 0.36 | 912 | G | 864 | 139 | |
| 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 | |
| 207 | CP | 1508 | 10 | 18 | 15 | | | FERRARA SUD | POS85 | | | 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 | |
| 262 | DI | 1570 | 11 | 17 | 19 | 10 | | Ferrara | CFPI | 60 | 80 | 75 | | 44.82 | 11.63 | A | 5.48 | 0.11 | | 5.27 | 0.17 | | 5.43 | 0.16 | 912 | G | 231 | 868 | 262 |
| 323 | DI | 1624 | 3 | 18 | 19 | 45 | | Argentina | CFPI | 17 | 85 | 75 | | 44.65 | 11.85 | A | 5.43 | 0.22 | | 5.19 | 0.32 | | 5.35 | 0.30 | 912 | G | 243 | 870 | 323 |
| 416 | DI | 1695 | 2 | 28 | | | | FERRARA | DOM | 1 | 55 | 55 | | 44.836 | 11.618 | A | 4.63 | 0.13 | | 4.00 | 0.20 | | 4.25 | 0.19 | 912 | G | 871 | 416 | |
| 521 | DI | 1743 | 5 | 29 | | | | FERRARA | DOM | 1 | 65 | 65 | | 44.836 | 11.618 | A | 5.03 | 0.33 | | 4.60 | 0.49 | | 4.80 | 0.45 | 912 | G | 872 | 521 | |
| 654 | DI | 1787 | 7 | 16 | 10 | | | Ferrara | CFPI | 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 |
| 1225 | DI | 1895 | 3 | 23 | | | | COMACCHIO | DOM | 37 | 65 | 60 | | 44.684 | 11.987 | A | 4.83 | 0.26 | | 4.30 | 0.39 | | 4.53 | 0.36 | 912 | G | 877 | 1225 | |
| 1230 | CP | 1895 | 5 | 25 | 11 | 42 | 50 | PAPOZZE | POS85 | | | 60 | | 45 | 12 | | 4.83 | 0.26 | | 4.30 | 0.39 | | 4.53 | 0.36 | | | 2055 | 1230 | |
| 1233 | CP | 1895 | 7 | 3 | | | | COMACCHIO | POS85 | | | 60 | | 44.7 | 12.183 | | 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. | CFPI | 73 | 70 | 65 | | 44.65 | 11.77 | A | 5.03 | 0.33 | | 4.60 | 0.49 | | 4.80 | 0.45 | 912 | G | 452 | 879 | 1287 |
| 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 | |
| 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 | |

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 2.13** 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/>).

L'elenco dei terremoti (indicati con intensità epicentrale e magnitudo) che hanno avuto risentimenti nel territorio di Mesola, sono poi diagrammati in funzione dell'Intensità massima che sono state osservate a causa di quei terremoti (**FIGURA 2.14**).

Mesola

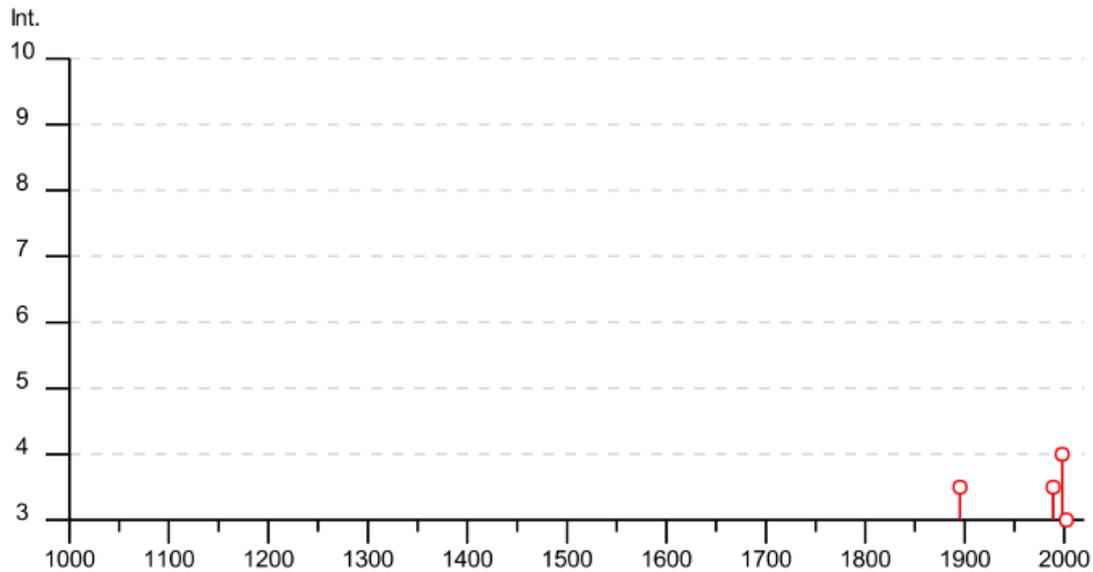
| | |
|----------------------------|----------------|
| PlaceID | IT_40865 |
| Coordinate (lat, lon) | 44.921, 12.230 |
| Comune (ISTAT 2015) | Mesola |
| Provincia | Ferrara |
| Regione | Emilia-Romagna |
| Numero di eventi riportati | 8 |

| Effetti | | In occasione del terremoto del | | | | | | | | | |
|---------|------|--------------------------------|----|----|----|----|-----------------------------|------|-----|------|--|
| Int. | Anno | Me | Gi | Ho | Mi | Se | Area epicentrale | NMDP | Io | Mw | |
| 3-4 | 1895 | 05 | 25 | 12 | 42 | | Villanova Marchesana | 11 | 4-5 | 3.98 | |
| NF | 1898 | 01 | 16 | 13 | 10 | | Romagna settentrionale | 110 | 6 | 4.59 | |
| NF | 1898 | 03 | 09 | 11 | 43 | | Romagna settentrionale | 68 | 6 | 4.59 | |
| NF | 1986 | 12 | 06 | 17 | 07 | 1 | Ferrarese | 604 | 6 | 4.43 | |
| NF | 1987 | 05 | 02 | 20 | 43 | 5 | Reggiano | 802 | 6 | 4.71 | |
| 3-4 | 1989 | 09 | 13 | 21 | 54 | 0 | Prealpi Vicentine | 779 | 6-7 | 4.85 | |
| 4 | 1998 | 03 | 26 | 16 | 26 | 1 | Appennino umbro-marchigiano | 409 | | 5.26 | |
| 3 | 2002 | 11 | 02 | 10 | 57 | 4 | Ferrarese | 79 | 4 | 4.21 | |

Figura 2-13

https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/

L'elenco dei terremoti (indicati con intensità epicentrale e magnitudo) che hanno avuto risentimenti nel mesolano, sono poi diagrammati in funzione dell'Intensità massima che sono state osservate a causa di quei terremoti a Mesola (**FIGURA 2.14**).



https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/

Figura 2-14

Come si può notare le intensità macrosismiche massime osservate in Mesola sono $I_{max}=4$.

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

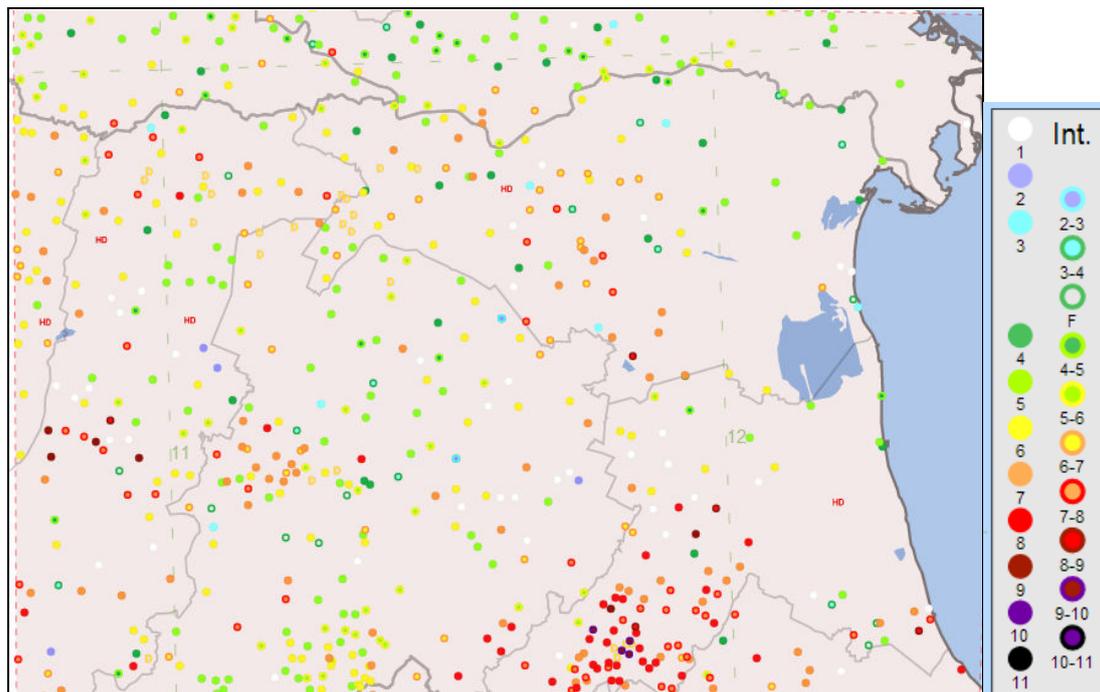


Figura 2-15

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

Di seguito viene riportato l'elenco dei sismi documentati avvenuti nel ferrarese (**FIGURA 2.16**). Sono riportati gli eventi sismici documentati, a cominciare dal XIII secolo. Le informazioni derivano dagli studi effettuati da Ferrari et al. 1980, Postpisch, 1985, Boschi et al. 1995, Boschi et al. 1997, Camassi, Stucchi, 1996. Gli eventi sono stati attribuiti al giorno in cui si è prodotta la scossa più violenta (sono molti i casi di sciami di scosse sismiche e scosse di assestamento). Le coordinate geografiche della zona epicentrale sono date in gradi sessadecimali, le intensità massime sono espresse in gradi della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

| Evento N° | Anno | mese | giorno | zona epicentrale | | zona epicentr. località | Intensità | Bibliogr. |
|--------------|------|----------|--------|------------------|--------|-----------------------------|-----------|-----------------------|
| | | | | lat. | long. | | | |
| 1 | 1234 | marzo | 20 | 44,833 | 11,617 | Ferrara | 7 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 2 | 1285 | dicembre | 13 | 44,833 | 11,650 | Ferrara | 6,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 3 | 1346 | febbraio | 22 | 44,817 | 11,617 | poco a S di Ferrara | 7,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 4 | 1410 | giugno | 9 | 44,833 | 11,617 | Ferrara | 6,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 5 | 1425 | agosto | 10 | 44,833 | 11,667 | poco a E di Ferrara | 6 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 6 | 1483 | marzo | 3 | 44,817 | 11,650 | poco a SE di Ferrara | 5,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 7 | 1487 | gennaio | 11 | 45,03 | 11,30 | a NW di Ferrara | 5 | Boschi et al., 1995 |
| 8 | 1508 | ottobre | 18 | 44,833 | 11,667 | poco a E di Ferrara | 6 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 9 | 1561 | novembre | 24 | 44,833 | 11,600 | Ferrara | 6,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 10 | 1570 | novembre | 18 | 44,817 | 11,650 | Ferrara | 8 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 11 | 1594 | ottobre | 3 | 44,83 | 11,62 | Ferrara | 5 | Boschi et al., 1997 |
| 12 | 1624 | marzo | 18 | 44,667 | 11,917 | a NE di Argenta | 8,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 13 | 1695 | febbraio | 28 | 44,833 | 11,617 | Ferrara | 5,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 14 | 1743 | maggio | 29 | 44,823 | 11,650 | Ferrara | 6,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 15 | 1787 | luglio | 16 | 44,83 | 11,62 | Ferrara | 6,5 | Boschi et al., 1997 |
| 16 | 1787 | luglio | 26 | 44,843 | 11,633 | Ferrara | 6,5 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 17 | 1895 | marzo | 23 | 44,700 | 12,183 | Comacchio | 6 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 18 | 1895 | maggio | 25 | 45,000 | 12,000 | Serravalle-Papozze | 6 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 19 | 1895 | luglio | 3 | 44,700 | 12,183 | Comacchio | 6 | Camassi-Stucchi, 1997 |
| 20 | 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 2-16 - Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi.

| Comune | Lat. | Lon. | Imax | Mw |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------|------------|
| ARGENTA | 44.61459 | 11.83658 | 9 | 6,1 |
| ARGENTA | 44.61459 | 11.83658 | 9 | 6,1 |
| BONDENO | 44.88857 | 11.41666 | 8 | 5,6 |
| CENTO | 44.72685 | 11.28937 | 7 | 5,2 |
| CODIGORO | 44.83096 | 12.10568 | <= 6 | 4,8 |
| COMACCHIO | 44.69444 | 12.18290 | 7 | 5,2 |
| COPPARO | 44.89391 | 11.82986 | 8 | 5,6 |
| FERRARA | 44.83559 | 11.61842 | 8 | 5,6 |
| FORMIGNANA | 44.84187 | 11.85894 | 8 | 5,6 |
| JOLANDA DI SAVOIA | 44.88518 | 11.97726 | 7 | 5,2 |
| LAGOSANTO | 44.76249 | 12.13965 | 7 | 5,2 |
| MASI TORELLO | 44.79369 | 11.79704 | 8 | 5,6 |
| MASSA FISCAGLIA | 44.80818 | 12.01334 | 7 | 5,2 |
| MESOLA | 44.92060 | 12.23033 | <= 6 | 4,8 |
| MIGLIARINO | 44.77058 | 11.93149 | 8 | 5,6 |
| MIRABELLO | 44.82534 | 11.46031 | 8 | 5,6 |
| OSTELLATO | 44.74516 | 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 |

Mw=0,430Imax+2.182

Tabella 2.2 - Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Ferrara con stima della Magnitudo

In FIGURA 2.17 sono riportati gli epicentri dei principali terremoti ($M_w \geq 4$) che hanno interessato l'Emilia Romagna. In FIGURA 2.18 è riportata la mappa degli epicentri verificatisi nella Regione Emilia Romagna, raggruppati in funzione della profondità degli ipocentri, ovvero la suddivisione è per sismi verificatisi a profondità inferiore a 8 km, per profondità comprese tra 8 e 15 km, per profondità comprese tra 15 e 35 km e per profondità maggiori di 35 km.

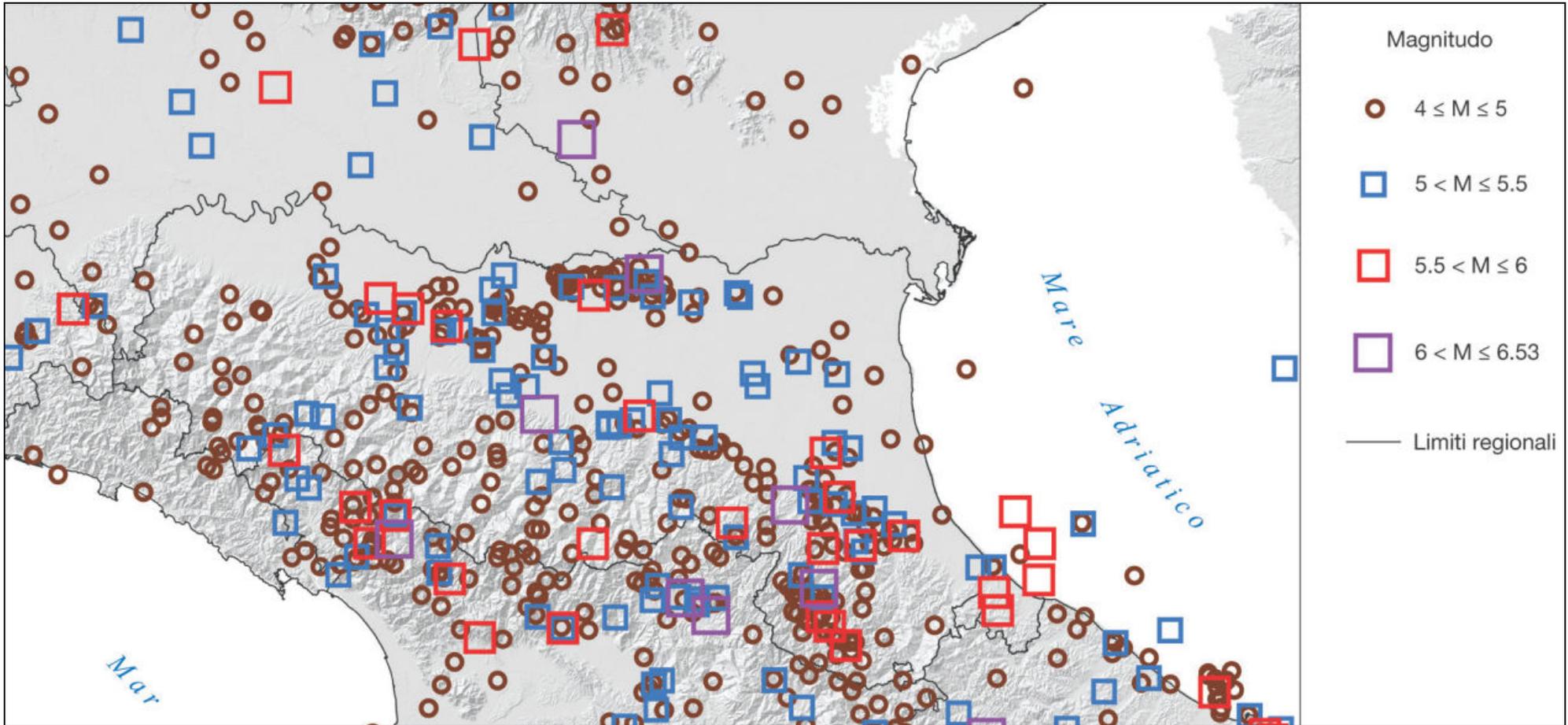
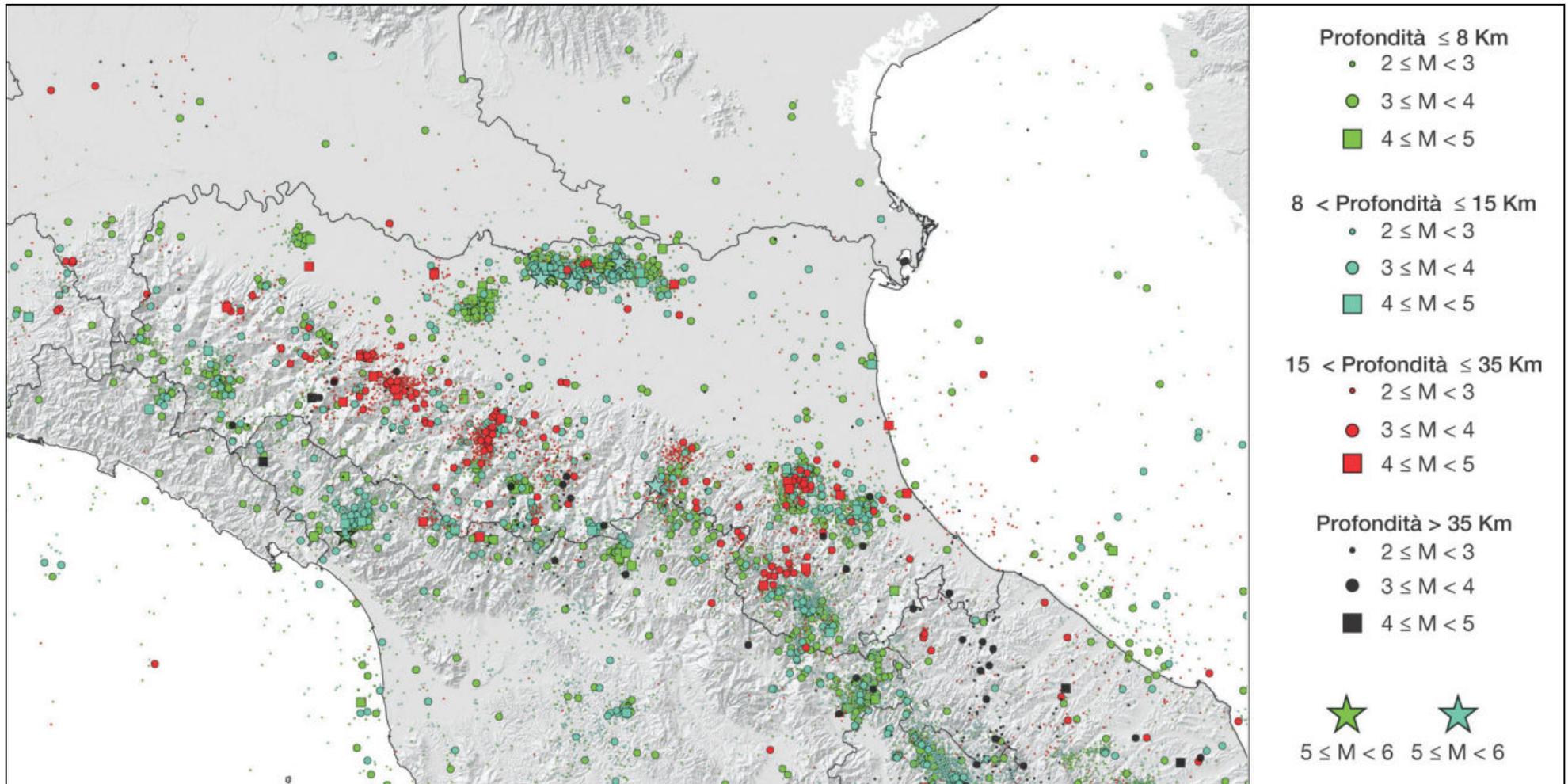


Figura 3.1: epicentri dei principali terremoti ($M_w \geq 4$) che hanno interessato l'Emilia-Romagna dall'anno 1000 al 2014 (Rovida et al., 2016; ISIDe Working Group, 2015); dimensione e colore del simbolo sono rappresentativi della magnitudo (v. legenda).

Figura 2-17 - Ubicazione magnitudo dei principali sismi ($M_w \geq 4$) che hanno interessato la regione Emilia Romagna (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2016).



mappa dei terremoti strumentali $M_W \geq 2$; la dimensione del simbolo è proporzionale alla magnitudo, il colore indica la profondità ipocentrale.

Figura 2-18 - mappa degli epicentri verificatisi nella Regione Emilia Romagna, raggruppati in funzione della profondità degli ipocentri, ovvero la suddivisione è per sismi verificatisi a profondità inferiore a 8 km, per profondità comprese tra 8 e 15 km, per profondità comprese tra 15 e 35 km e per profondità maggiori di 35 km.

(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2016).

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.

A) La pubblicazione di un autorevole studio sulla valutazione del potenziale di liquefazione sulla costa emiliano-romagnola da parte del Prof. Vannucchi e del Prof. Facciorusso dell'Università di Firenze.

Esempio di valutazione del potenziale di liquefazione su scala regionale secondo l'approccio deterministico e probabilistico

Johann Facciorusso,* Giovanni Vannucchi*

RIVISTA ITALIANA DI GEOTECNICA 2/2009

ove nella zona più settentrionale, esterna alle zone sismogenetiche, viene stimata una Magnitudo momento massima compresa tra 5,0 e 5,3 (FIGURA 2.19).

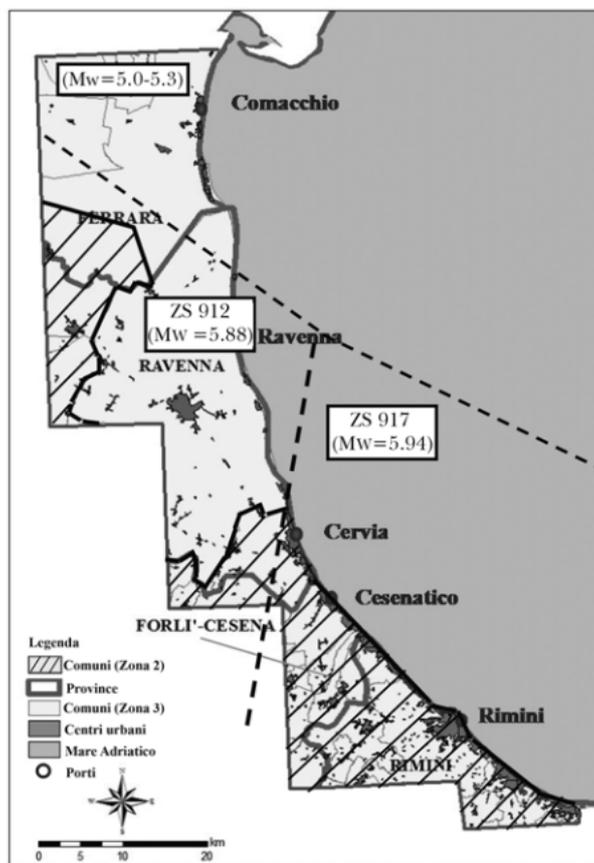


Fig. 2 – Delimitazione dell'area di studio, definizione della magnitudo attesa M_w (le zone sismogenetiche sono delimitate con una linea tratteggiata) e classificazione dei Comuni ivi ricadenti secondo la classificazione sismica nazionale.

Fig. 2 – Investigated area and moment magnitude, M_w , of expected seismic event.

Figura 2-19

B) La consultazione del catalogo storico dei terremoti

Mesola

PlaceID IT_40865
Coordinates (lat, lon) 44.921, 12.230
Municipality (ISTAT 2015) Mesola
Province Ferrara
Region Emilia-Romagna
No. of reported earthquakes 8

| Effects | | Reported earthquakes | | | | | | | | | |
|---------|------|----------------------|----|----|----|----|-----------------------------|------|-----|------|--|
| Int. | Year | Mo | Da | Ho | Mi | Se | Epicentral area | NMDP | Io | Mw | |
| 3-4 | 1895 | 05 | 25 | 12 | 42 | | Villanova Marchesana | 11 | 4-5 | 3.98 | |
| NF | 1898 | 01 | 16 | 13 | 10 | | Romagna settentrionale | 110 | 6 | 4.59 | |
| NF | 1898 | 03 | 09 | 11 | 43 | | Romagna settentrionale | 68 | 6 | 4.59 | |
| NF | 1986 | 12 | 06 | 17 | 07 | 1 | Ferrarese | 604 | 6 | 4.43 | |
| NF | 1987 | 05 | 02 | 20 | 43 | 5 | Reggiano | 802 | 6 | 4.71 | |
| 3-4 | 1989 | 09 | 13 | 21 | 54 | 0 | Prealpi Vicentine | 779 | 6-7 | 4.85 | |
| 4 | 1998 | 03 | 26 | 16 | 26 | 1 | Appennino umbro-marchigiano | 409 | | 5.26 | |
| 3 | 2002 | 11 | 02 | 10 | 57 | 4 | Ferrarese | 79 | 4 | 4.21 | |

Figura 2-20 - https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/

L'elenco dei terremoti (indicati con intensità epicentrale e magnitudo) che hanno avuto risentimenti nel territorio di Mesola, sono poi diagrammati in funzione dell'Intensità massima che sono state osservate a causa di quei terremoti a Mesola (**FIGURA 2.21**).

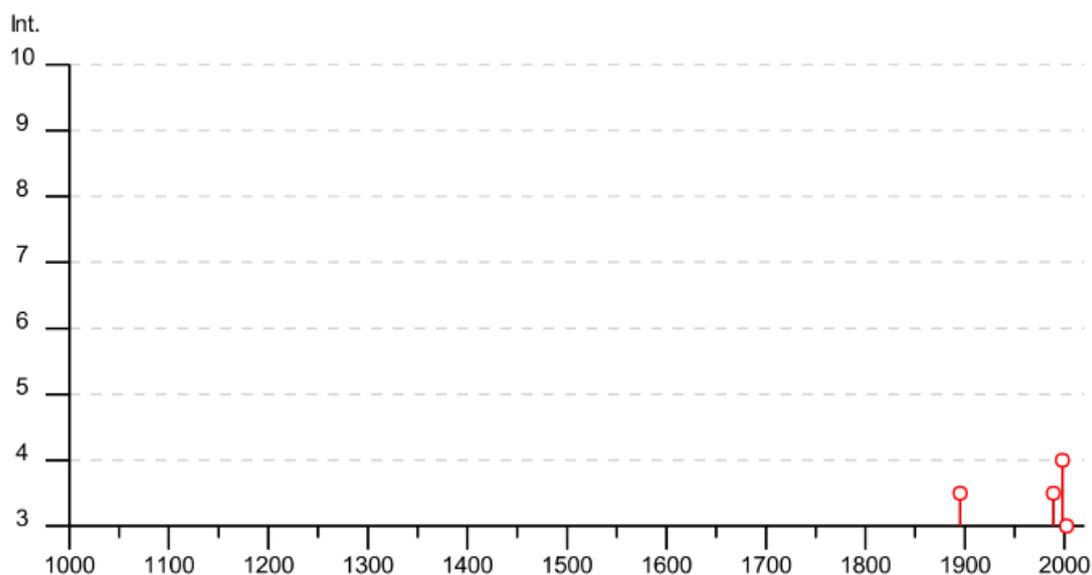


Figura 2-21 - https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/

Come si può notare le intensità macrosismiche massime osservate in Mesola sono $I_{max}=4$. Cautelativamente lo si fa rientrare nei territori con I_{max} minore o uguale a 6. Utilizzando una nota correlazione empirica tra intensità e magnitudo momento si può stimare la magnitudo massima attesa a Mesola (lo stesso calcolo viene condotto per Codigoro e Comacchio).

| Comune | lat | lon | I_{max} | M_w |
|-----------|----------|----------|-----------|-------|
| Mesola | 44,9206 | 12,23033 | ≤ 6 | 4,8 |
| Codigoro | 44,83096 | 12,10568 | ≤ 6 | 4,8 |
| Comacchio | 44,69444 | 12,1829 | 7 | 5,2 |

$M_w=0,430I_{max}+2,182$ per terremoti superficiali dell'Appennino

Tabella 2.3

Quindi per Mesola sono attese magnitudo inferiori a $M_w < 5$.

Appare dunque ragionevole e cautelativo adottare magnitudo momento $M_w=5,3$.

C) Si valuta anche il grafico della disaggregazione sul sito dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, riportato in **FIGURA 2.22**.

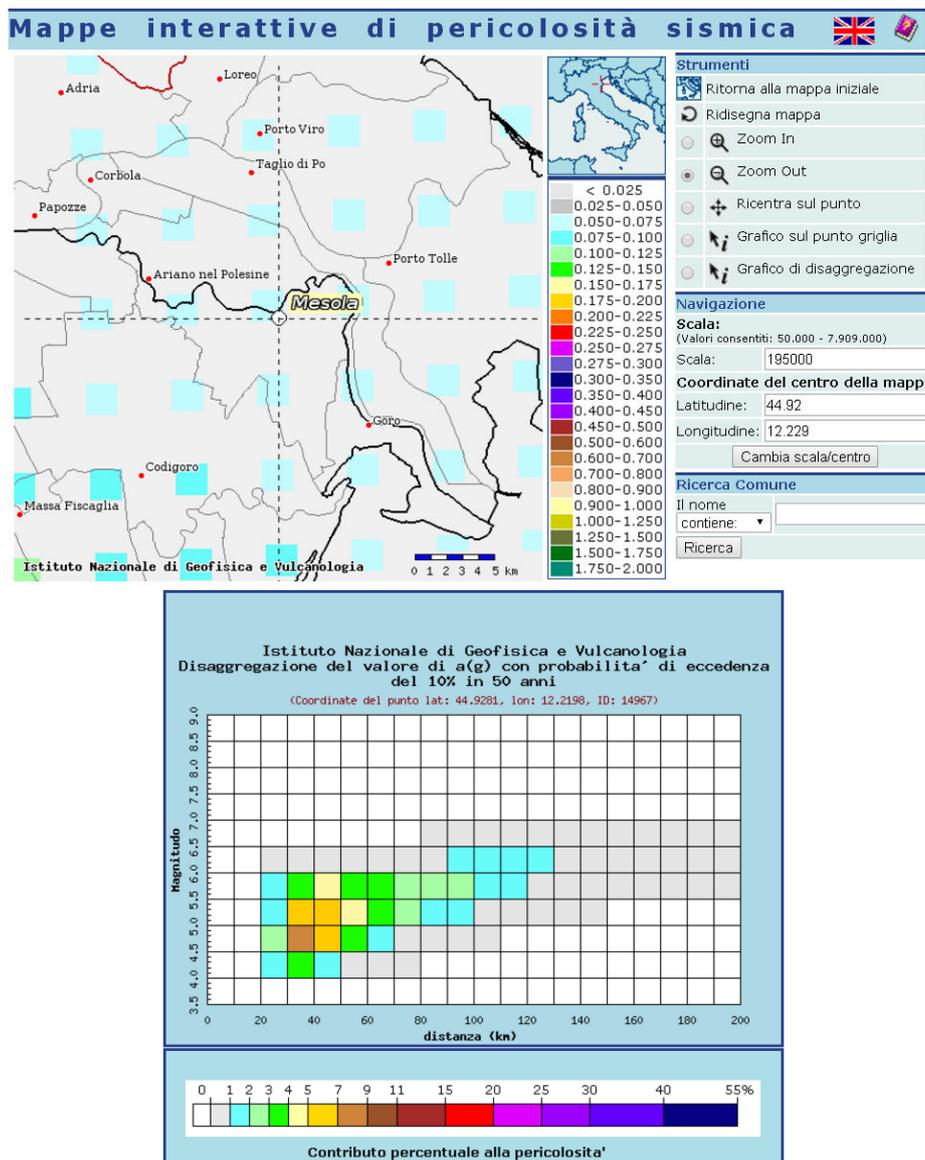


Figura 2-22

Come si può notare la maggiore probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni viene fornita da terremoti compresi tra magnitudo $M_w=4,5$ e $M_w=5$, con distanza epicentrale compresa tra 30km e 40km (**Tabella 2.4**).

| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.9281, lon: 12.2198, ID: 14967) | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Magnitudo | | | | | | | | | | |
| | 3,5-4,0 | 4,0-4,5 | 4,5-5,0 | 5,0-5,5 | 5,5-6,0 | 6,0-6,5 | 6,5-7,0 | 7,0-7,5 | 7,5-8,0 | 8,0-8,5 | 8,5-9,0 |
| 0-10 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 10-20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20-30 | 0.000 | 1.310 | 2.860 | 1.960 | 1.080 | 0.136 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 30-40 | 0.000 | 3.140 | 7.740 | 6.190 | 3.940 | 0.539 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 40-50 | 0.000 | 1.950 | 5.730 | 5.560 | 4.170 | 0.629 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 50-60 | 0.000 | 0.911 | 3.470 | 4.100 | 3.580 | 0.589 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 60-70 | 0.000 | 0.254 | 1.920 | 3.040 | 3.050 | 0.504 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 70-80 | 0.000 | 0.007 | 0.828 | 2.390 | 2.530 | 0.307 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 80-90 | 0.000 | 0.000 | 0.322 | 1.950 | 2.540 | 0.921 | 0.122 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 90-100 | 0.000 | 0.000 | 0.079 | 1.370 | 2.360 | 1.400 | 0.229 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 100-110 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.730 | 1.830 | 1.420 | 0.244 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 110-120 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.310 | 1.300 | 1.390 | 0.258 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 120-130 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.099 | 0.810 | 1.190 | 0.235 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 130-140 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.022 | 0.457 | 0.839 | 0.170 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 140-150 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.247 | 0.576 | 0.119 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 150-160 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.174 | 0.566 | 0.131 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 160-170 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.083 | 0.383 | 0.097 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 170-180 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.033 | 0.242 | 0.067 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 180-190 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.011 | 0.140 | 0.043 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 190-200 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.050 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| Valori medi | | |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo | Distanza | Epsilon |
| 5.350 | 62.700 | 1.630 |

Tabella 2.4

Dunque appare ragionevole e cautelativo anche in questo caso adottare una magnitudo momento $M_w=5,3$.

D) Consultando le recenti linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione, a cura del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale, si ricava che nei territori del comune di Mesola (così come per Codigoro e Comacchio, **FIGURA 2.23**) sono attese magnitudo inferiori a 5, per cui non serve procedere alle valutazioni per la liquefazione delle sabbie (per eventi convenzionalmente adottati con tempi di ritorno di 475 anni, propri degli studi di microzonazione sismica).

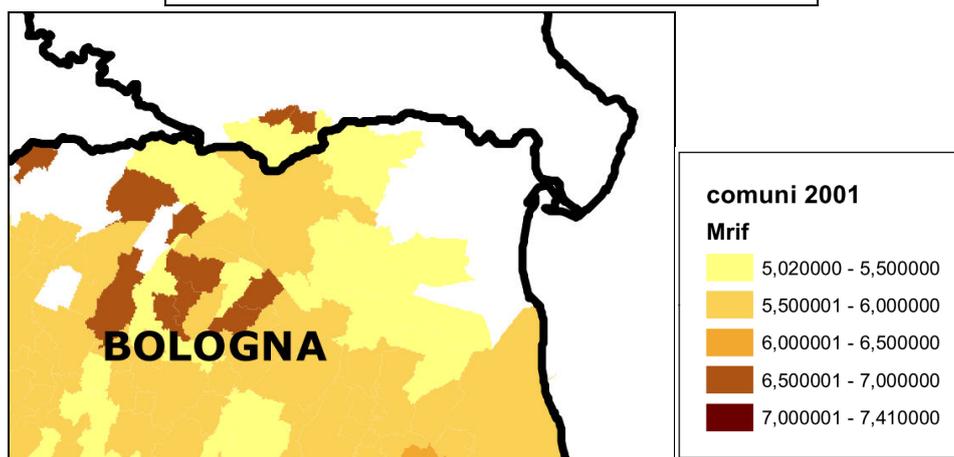
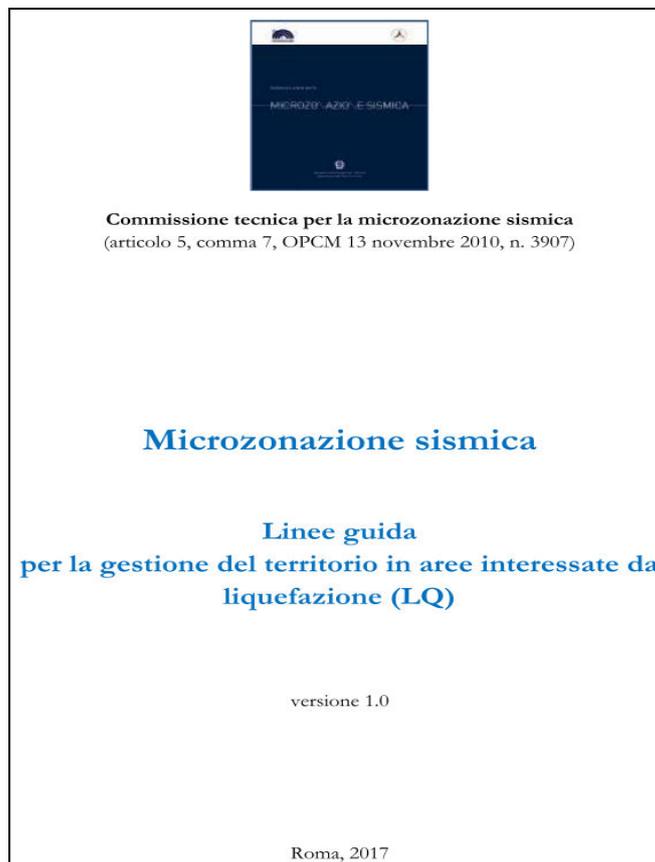


Figura 2-23

Per essere cautelativi anche in questo caso si conferma che si può adottare la magnitudo $M_w=5,3$.

Certo è che sarebbe auspicabile uno studio definitivo ed una norma che lo recepisca, ove si indichi ai professionisti la magnitudo attesa da utilizzare nella pianificazione territoriale e negli studi di microzonazione sismica, per le valutazioni sulla liquefazione delle sabbie in corrispondenza dei nodi per i quali sono indicate le accelerazioni al bedrock.

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 Mesola dal rischio sismico, non inserendoli in nessuna delle tre categorie, come visibile in **FIGURA 2.24**.

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.

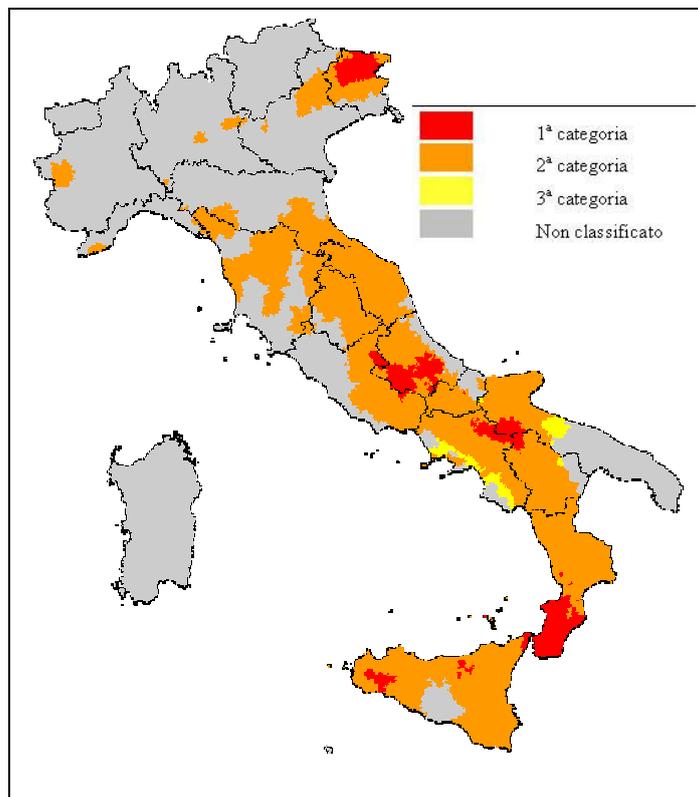


Figura 2-24 - *Classificazione sismica secondo Legge 2/ 2/ 74 n. 64*

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 Mesola nella categoria di rischio 4 (FIGURA 2.25).

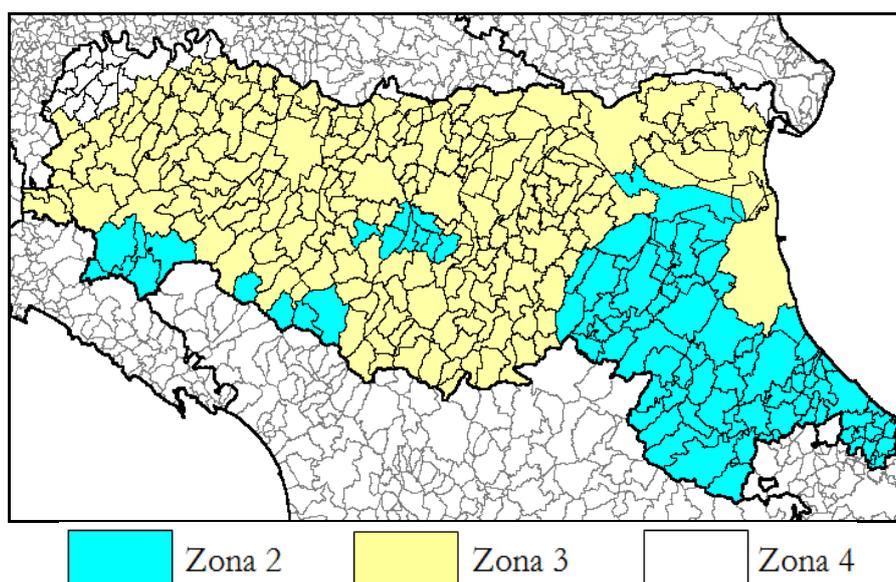


Figura 2-25 – *Nuova zonizzazione sismica del territorio regionale, dettaglio relativo alla Regione Emilia-Romagna.*

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 2.5** e **2.6**.

| 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 2.5 – Corrispondenza tra le definizioni di sismicità

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

Tabella 2.6 – Corrispondenza tra le definizioni di sismicità

OPCM 3519/2006

Secondo la classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006 (**FIGURA 2.26**) si prevede per il comune di **Mesola** 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 0,05 – 0,75, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

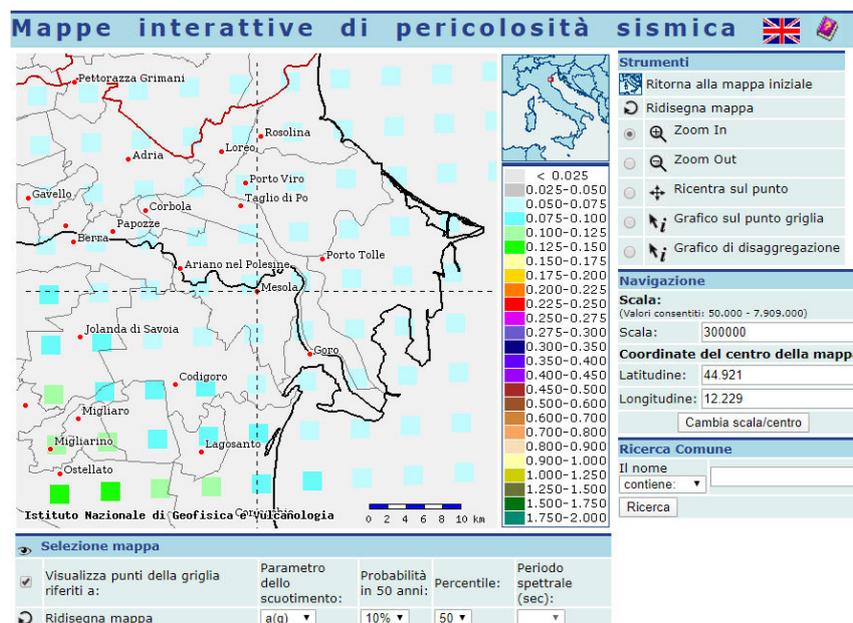


Figura 2-26 – Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

| Denominazione | A max |
|---------------|---------------|
| Mesola | 0,050 – 0,075 |

D.M. 14/01/2008 "nuove NTC" e successivo D.M. 17/02/2018 "aggiornamento delle NTC"

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

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

Da questo punto di vista il D.M. 17/02/2018 non ha apportato aggiornamenti, e si conferma la validità dell'Allegato B.

"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 2.27**) 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 2-27 – 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 2.28**) 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 2-28– 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 2.29** 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 Mesola.



Figura 2-29 – Territorio comunale di Mesola con griglia dei punti e rispettivi valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido

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

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

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

Sulla base delle conoscenze attuali, dei dati in possesso dello scrivente, e delle prove ESAC profonde a disposizione, si può affermare che il comune di Mesola è caratterizzato da un unico ambito, PIANURA 3, secondo quanto recepito dal D.G.R. 2193 del 2015.

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 300m sempre.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nel territorio di Mesola generalmente i valori attesi di V_{s30} dovrebbero appartenere a queste due categorie di suolo sismico.

“DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 1164, DEL 23 LUGLIO 2018” AGGIORNAMENTO DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DI PRIMA APPLICAZIONE DEI COMUNI DELL'EMILIA ROMAGNA

Con questa delibera di Giunta Regionale è stato approvato l'aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna, con riferimento al passaggio di 20 Comuni dalla zona 4 alla zona 3, tra cui Goro.

| | | | |
|---------|-------|-------------------|---|
| Ferrara | 38001 | Argenta | 2 |
| Ferrara | 38002 | Berra | 3 |
| Ferrara | 38003 | Bondeno | 3 |
| Ferrara | 38004 | Cento | 3 |
| Ferrara | 38005 | Codigoro | 3 |
| Ferrara | 38006 | Comacchio | 3 |
| Ferrara | 38007 | Copparo | 3 |
| Ferrara | 38008 | Ferrara | 3 |
| Ferrara | 38009 | Formignana | 3 |
| Ferrara | 38010 | Jolanda di Savoia | 3 |
| Ferrara | 38011 | Lagosanto | 3 |
| Ferrara | 38012 | Masi Torello | 3 |
| Ferrara | 38014 | Mesola | 3 |

| | | | |
|---------|-------|-------------------|---|
| Ferrara | 38017 | Ostellato | 3 |
| Ferrara | 38018 | Poggio Renatico | 3 |
| Ferrara | 38019 | Portomaggiore | 3 |
| Ferrara | 38020 | Ro | 3 |
| Ferrara | 38022 | Vigarano Mainarda | 3 |
| Ferrara | 38023 | Voghiera | 3 |
| Ferrara | 38024 | Tresigallo | 3 |
| Ferrara | 38025 | Goro | 3 |
| Ferrara | 38027 | Fiscaglia | 3 |
| Ferrara | 38028 | Terre del Reno | 3 |

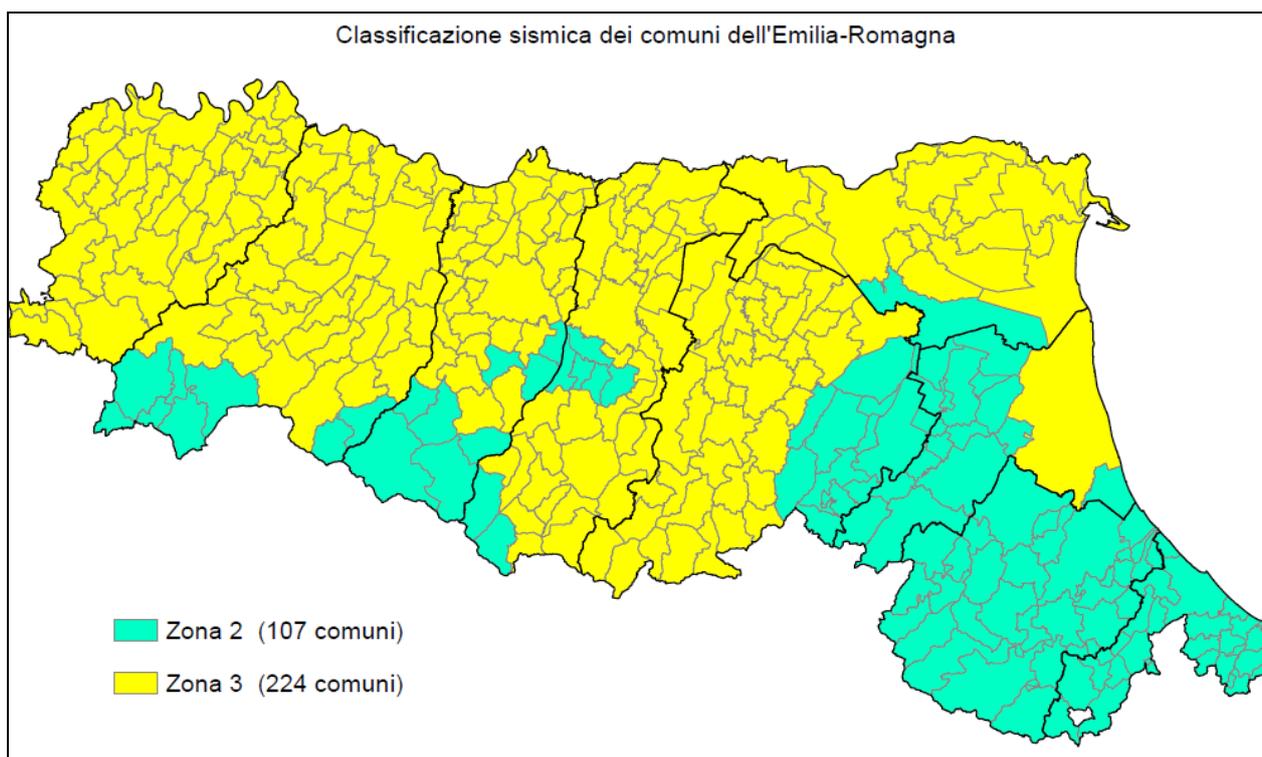


Figura 2-30 - Mappa regionale di nuova classificazione sismica dei comuni DGR 1164, del 23/07/2018

“DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 630, DEL 29 APRILE 2019” PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA

In data 29 aprile 2019 è stato approvato, ai sensi degli artt. 22 e 49 della L.R. 24/2017, *Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica*.

Si è valutato che i valori di Vs30 sono sempre stati misurati compresi tra 150m/sec e 224 m/sec.

Si propongono anche cinque profili di Vs profondi (ubicazione in **FIGURA 2.31**) di cui 4 reperiti tra i dati bibliografici ed uno eseguito per questi studi, dove si evidenzia che il valore della velocità di propagazione delle onde S fino a 300m di profondità è di molto inferiore agli 800 m/sec (**FIGURA 2.32**).

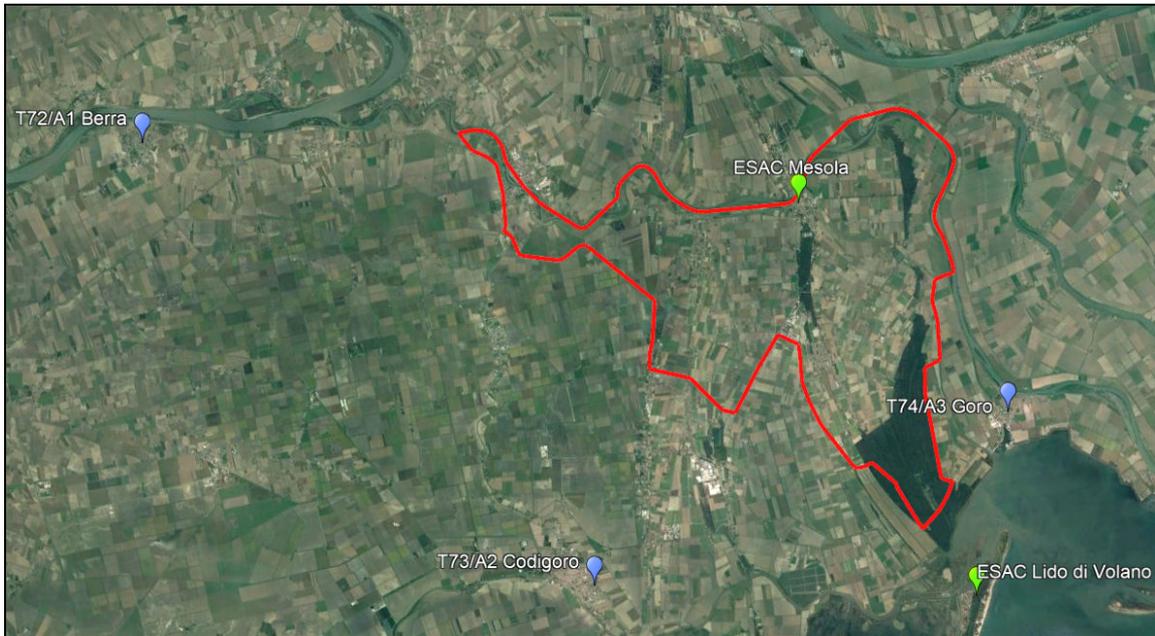
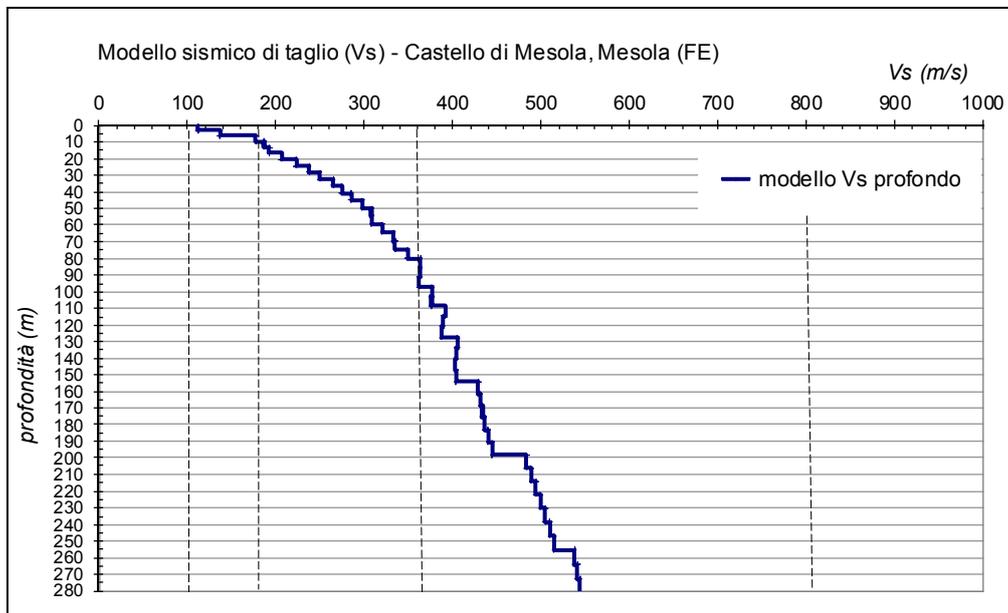
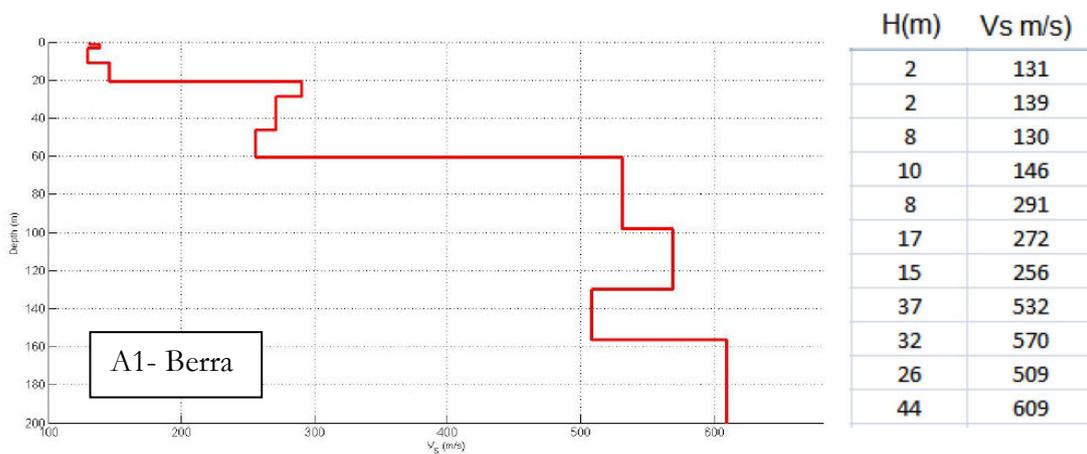


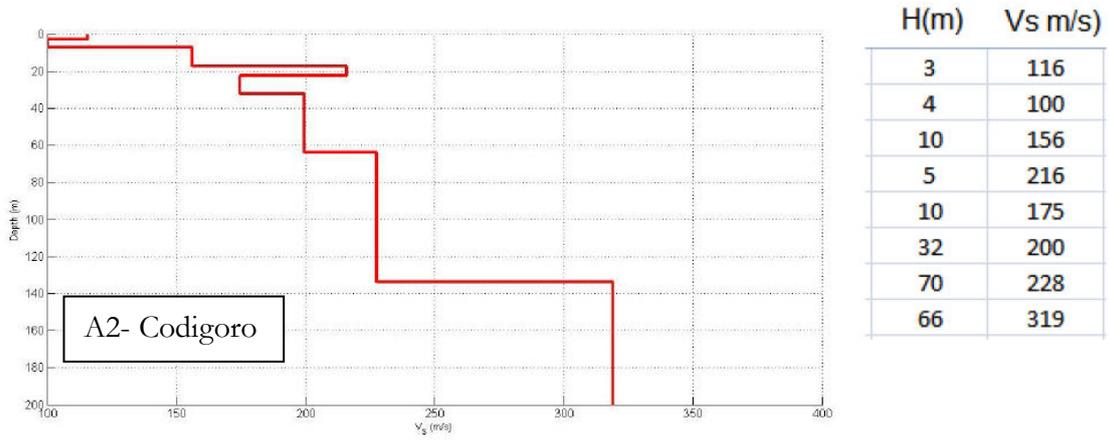
Figura 2-31 Ubicazione dei quattro profili di Vs profondi.



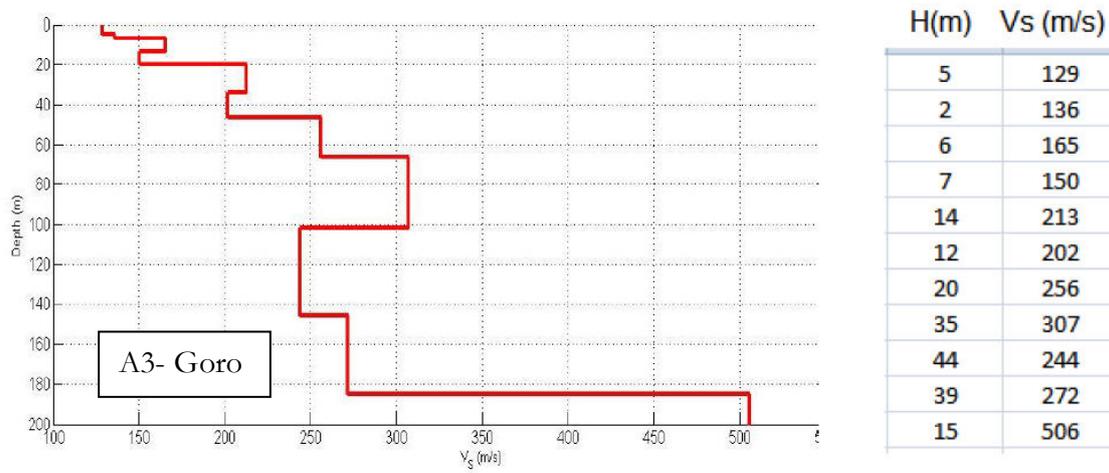
Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico. In base al modello sismico è stata determinata la VS30 che risulta pari a $180 \text{ m/s} \pm 5 \text{ m/s}$.



Miglior Profilo Vs in termini di correlazione tra curve sperimentali e teoriche. **Vs30 = 160 m/s; Classe di suolo NTC08 tipo D**



Miglior Profilo Vs in termini di correlazione tra curve sperimentali e teoriche. **Vs30 = 150 m/s; Classe di suolo NTC08 tipo D**



Miglior Profilo Vs in termini di correlazione tra curve sperimentali e teoriche. **Vs30 = 165 m/s; Classe di suolo NTC08 tipo D**

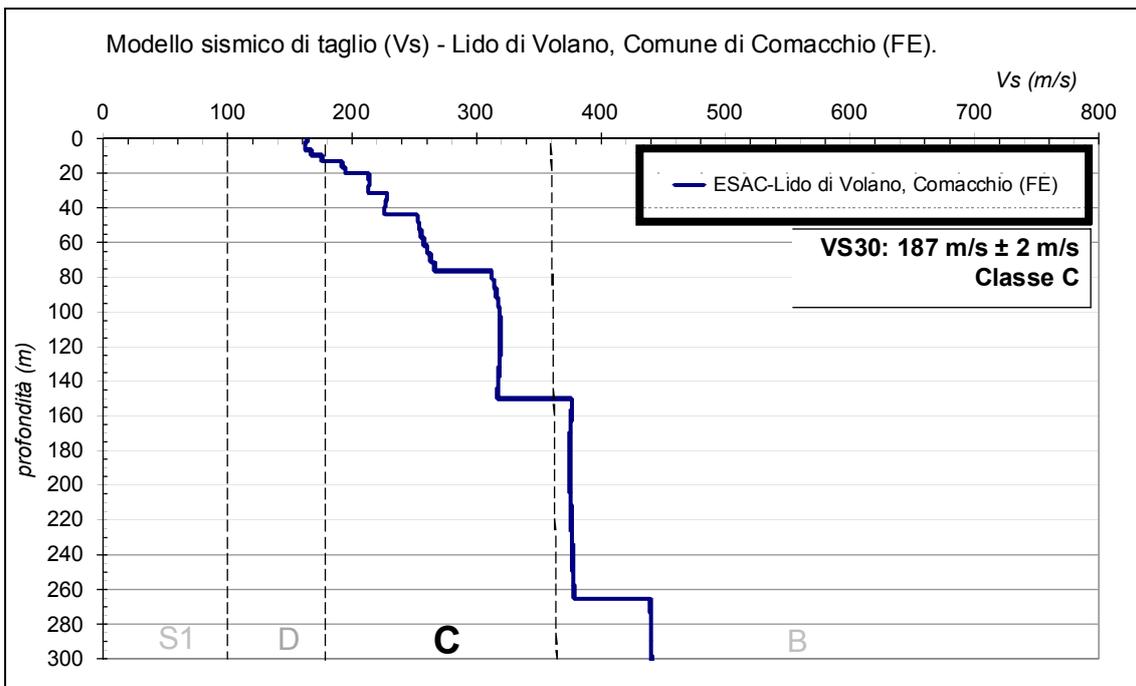


Figura 2-32 - Profili di Vs profondi.

Conoscendo quindi che il bedrock sismico è in questo settore di Pianura Padana molto profondo, si può assumere che qui ci si trova nelle condizioni di "Pianura 3", ove il substrato rigido è a profondità non inferiore a 300m dal p.c.; in queste condizioni il fattore di Amplificazione Stratigrafica atteso, secondo gli Abachi della DGR 630/2019, è sempre $FA_{PGA}=1,3$.

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 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** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Questo implica che si possono calcolare i valori di PGA in superficie (comprensivi dunque del fattore di amplificazione stratigrafica). I risultati del calcolo sono riassunti nella **FIGURA 2.33**.



Figura 2-33 - Accelerazioni PGA in superficie

Come si può notare nel territorio comunale sono attese accelerazioni sismiche in superficie sempre inferiori a 0,10g.

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. Quindi non è detto che prossimamente si debbano rivedere al rialzo questi valori di pga.

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. Ervolessi, 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

2.4. CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE

L'evoluzione strutturale dell'ampio bacino subsidente padano, a cui appartiene il territorio del Comune di Mesola, 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 Mesola la base dei sedimenti del Pliocene è mediamente maggiore di 3000/3500m di profondità.

In **FIGURA 2.34** è visibile la diversa profondità della base dei sedimenti del Pliocene medio superiore, e i diversi tipi di faglie presenti nel substrato padano.

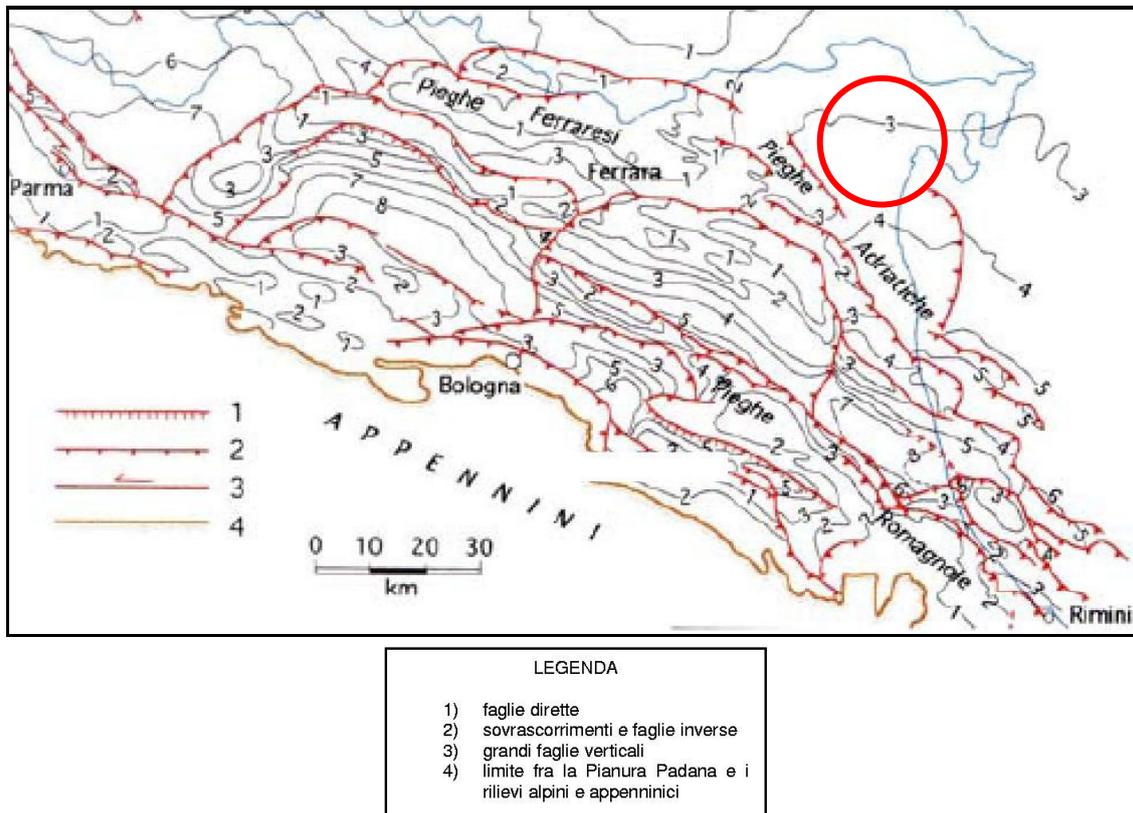


Figura 2-34 – *Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di fatturazioni presenti nel substrato roccioso profondo. Le isobate indicano la base dei depositi del Pliocene Superiore*

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

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

Si è stimato che la velocità di subsidenza tra il 1903 ed il 1950 è stata nella vicina 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.

2.5. CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA

In **FIGURA 2.35** 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, dalla subsidenza e dalla variazione climatica in uscita dall'ultima glaciazione che ha indotto un progressivo innalzamento del livello del mare.

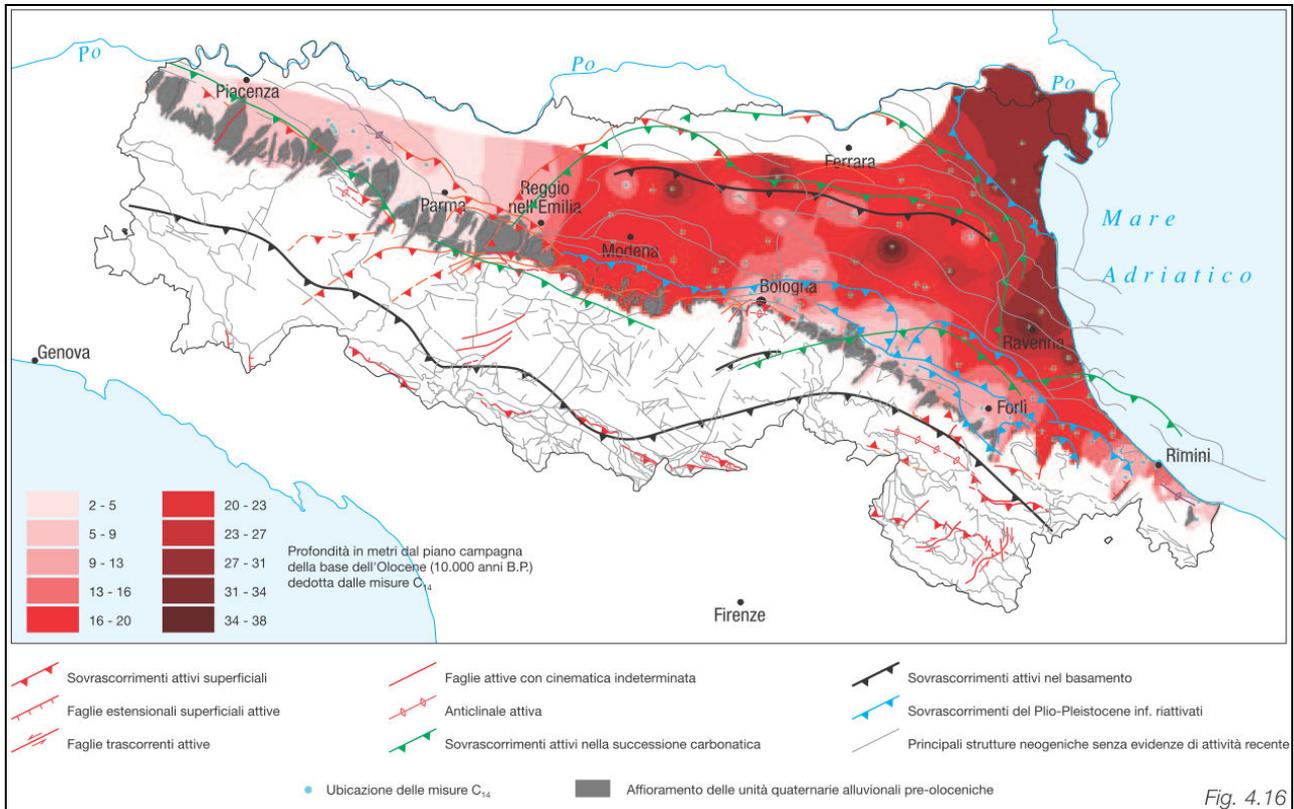


Figura 2-35- *Mappa della profondità della base dell'Olocene.*

Come si può osservare nella **FIGURA 2.35** la profondità a cui cominciano i sedimenti olocenici (ovvero quelli depositatisi negli ultimi 10.000 anni dal presente), varia da 31m a 34m. 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 Mesola, condizionando fortemente gli effetti di sito cosismici attesi.

In **FIGURA 2.36** si riporta una sezione geologica a cura del prof. Bondesan M. et alii (1999), in cui si evidenzia molto bene la situazione stratigrafica nella quale si legge molto bene l'evoluzione e la storia geologica recente del territorio.

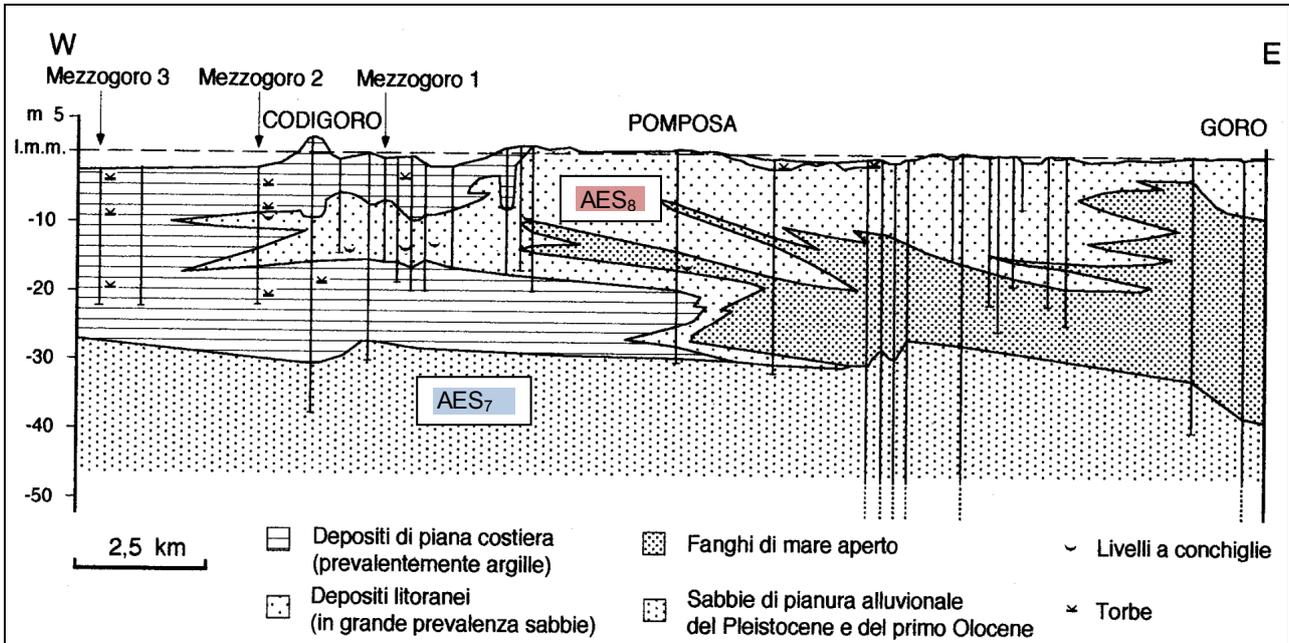


Figura 2-36 – profilo o sezione geologica del tratto compreso a est da Goro e a ovest dal bacino di Bonifica compreso tra Mezzogoro e Italba (Tratto da “Nuovi dati stratigrafici paleoambientali e di cronologia radiometrica sul ciclo trasgressivo-regressivo olocenico nell’area deltizia padana”, *Annali dell’Università di Ferrara, Bondesan et alii, 1999*).

Di seguito invece una sezione del progetto CARG passante per Goro, Bosco Mesola e Italba, ove sono rappresentati gli stessi depositi deltizi e litorali recenti AES8 sui depositi alluvionali continentali AES7.

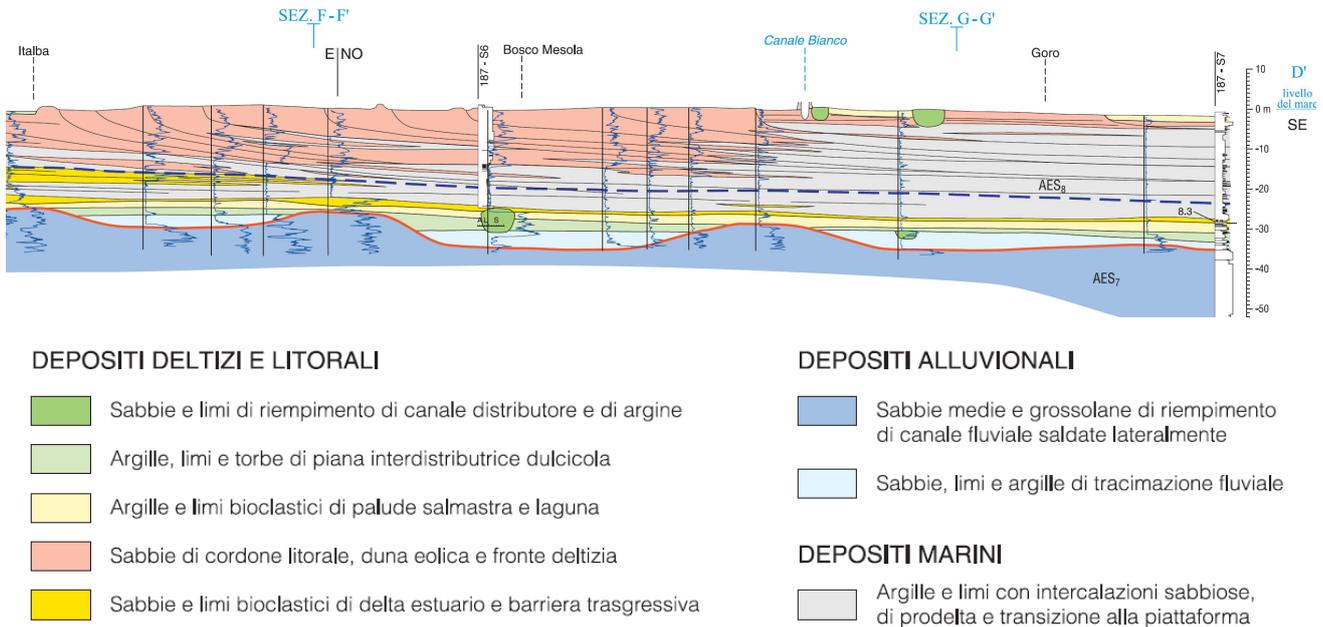


Figura 2-37 - profilo o sezione geologica del progetto CARG passante per il territorio comunale di Mesola

Di seguito si riportano due dettagliate cartografie associate al Foglio Geologico 1:50.000 n.187 Codigoro - Progetto CARG, in cui sono ben evidenziati (FIGURA 2.38) le isobate del tetto delle sabbie litorali, denominate Subsistema di Ravenna (AES₈) e (FIGURA 2.39) le isobate del tetto delle Sabbie alluvionali del fiume Po - Subsistema di Villa Verucchio (AES₇).

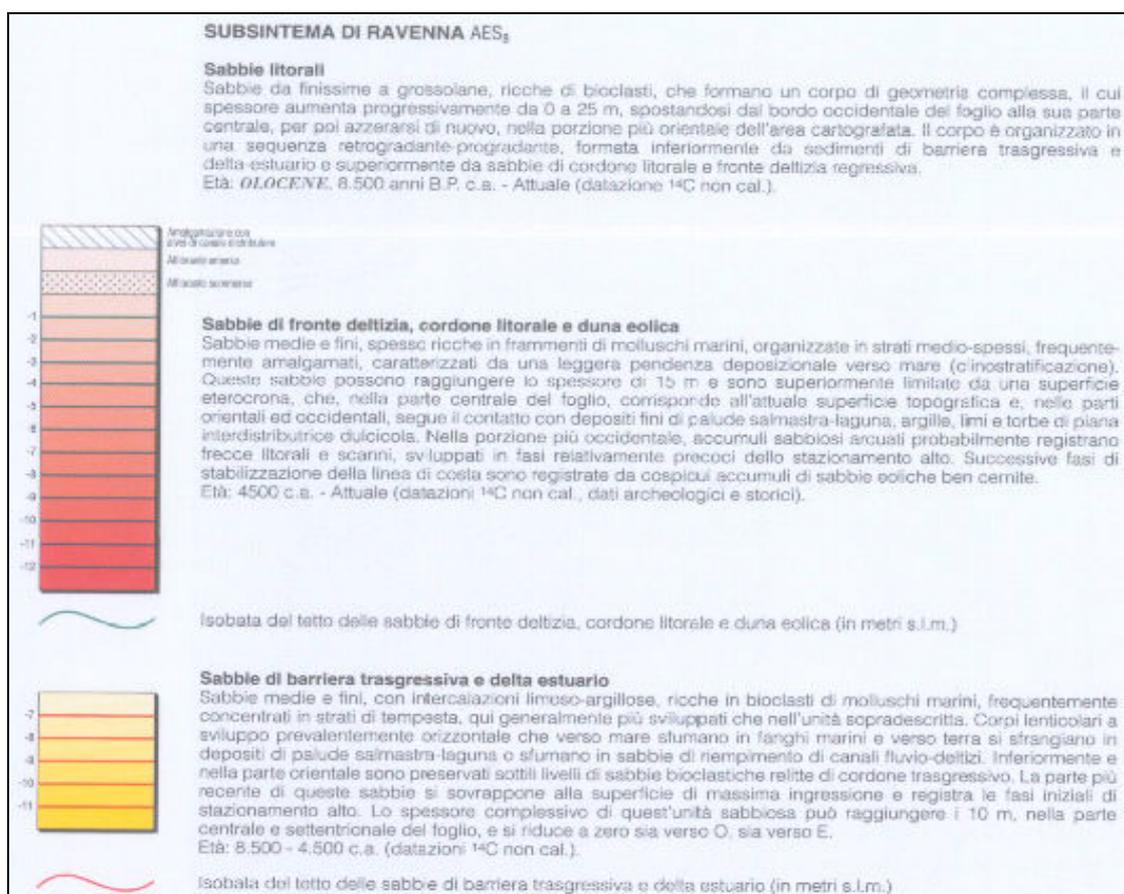
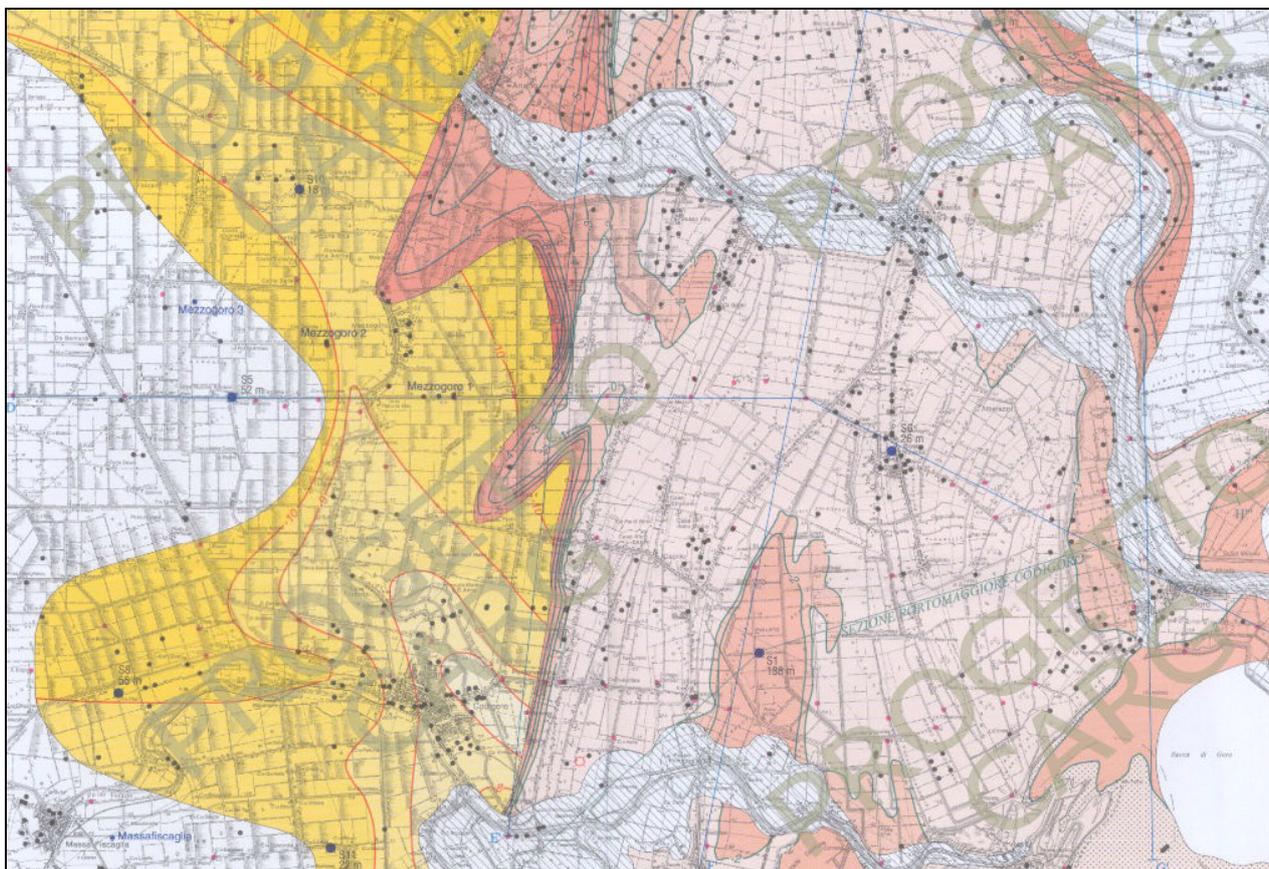


Figura 2-38 - TETTO DELLE SABBIE LITORALI - SUBSISTEMA DI RAVENNA (AES₂)
http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/187_CODIGORO_SOTTO/Foglio.html

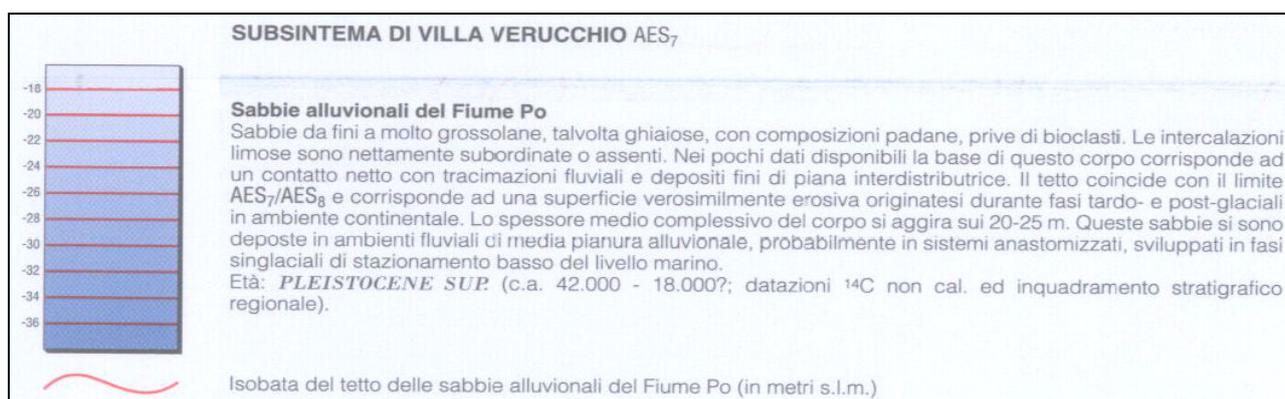
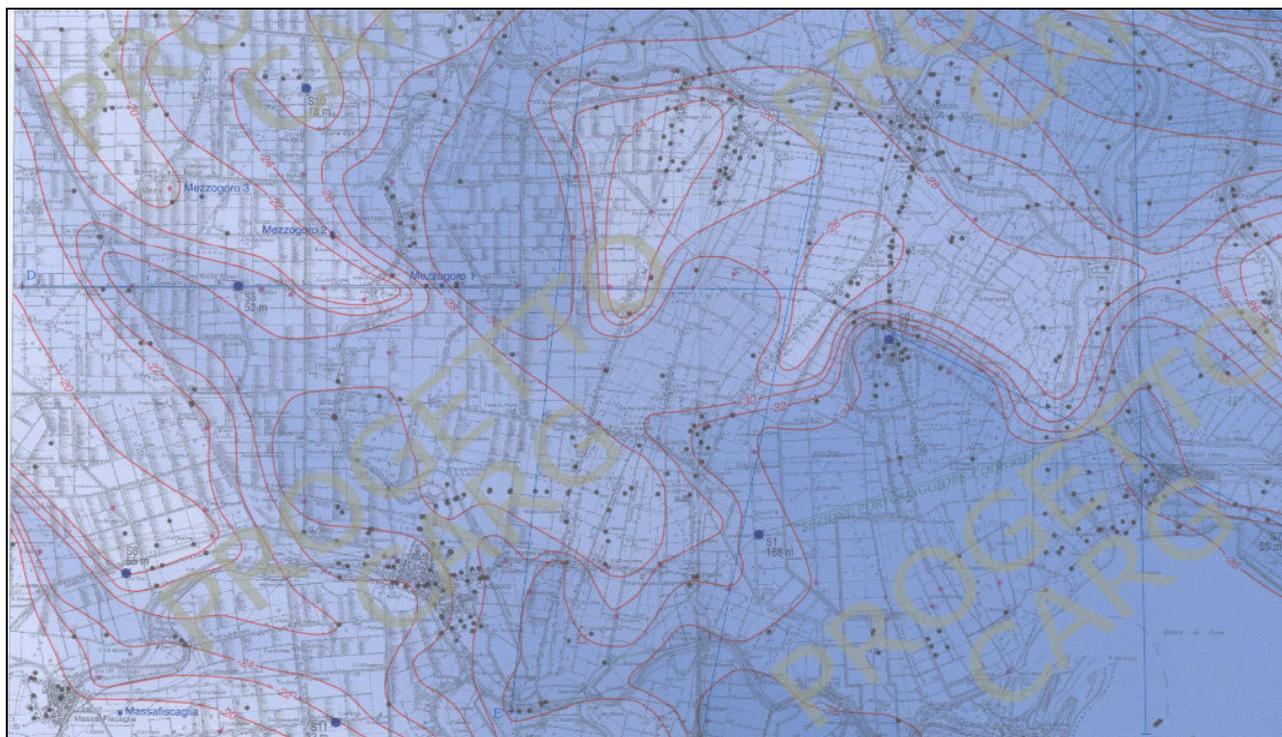


Figura 2-39 - TETTO DELLE SABBIE ALLUVIONALI DEL FIUME PO - SUBSISTEMA DI VILLA VERUCCHIO (AES₇)
http://www.isprambiente.gov.it/Media/cary/187_CODIGORO_SOTTO/Foglio.html

L'evoluzione ambientale del territorio di Mesola 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. Il territorio in esame è spesso caratterizzato anche da depositi torbosi dovuti alla formazione di ambienti paludosi e di bacini allagati delimitati fisicamente da argini naturali sempre più alti rispetto alle campagne circostanti più depresse. Dall'allineamento Pontemaodino, Pontelangorino, Italba, Massenzatica emergono i primi depositi di battigia in affioramento e si protraggono fino al mare. Le strutture geomorfologiche affioranti che caratterizzano il territorio comunale sono costituite da:

- paleovalvi di riempimento attivo;
- paleovalvi di riempimento passivo;
- depositi di rotta e di esondazione fluviale;
- bacini interfluviali distali (piane alluvionali e depositi palustri);
- allineamenti di paleodune e depositi di battigia.

A ridosso del corso del paleoalveo del Po di Volano si sviluppano tutte quelle strutture legate ai fenomeni di esondazione (depositi di rotta fluviale).

In **FIGURA 2.40** si riporta lo stralcio della carta geomorfologica fra il Po e le valli di Comacchio, in cui si inserisce il comune di Mesola. In **FIGURA 2.41** si riporta stralcio della carta geomorfologica della provincia di Ferrara.

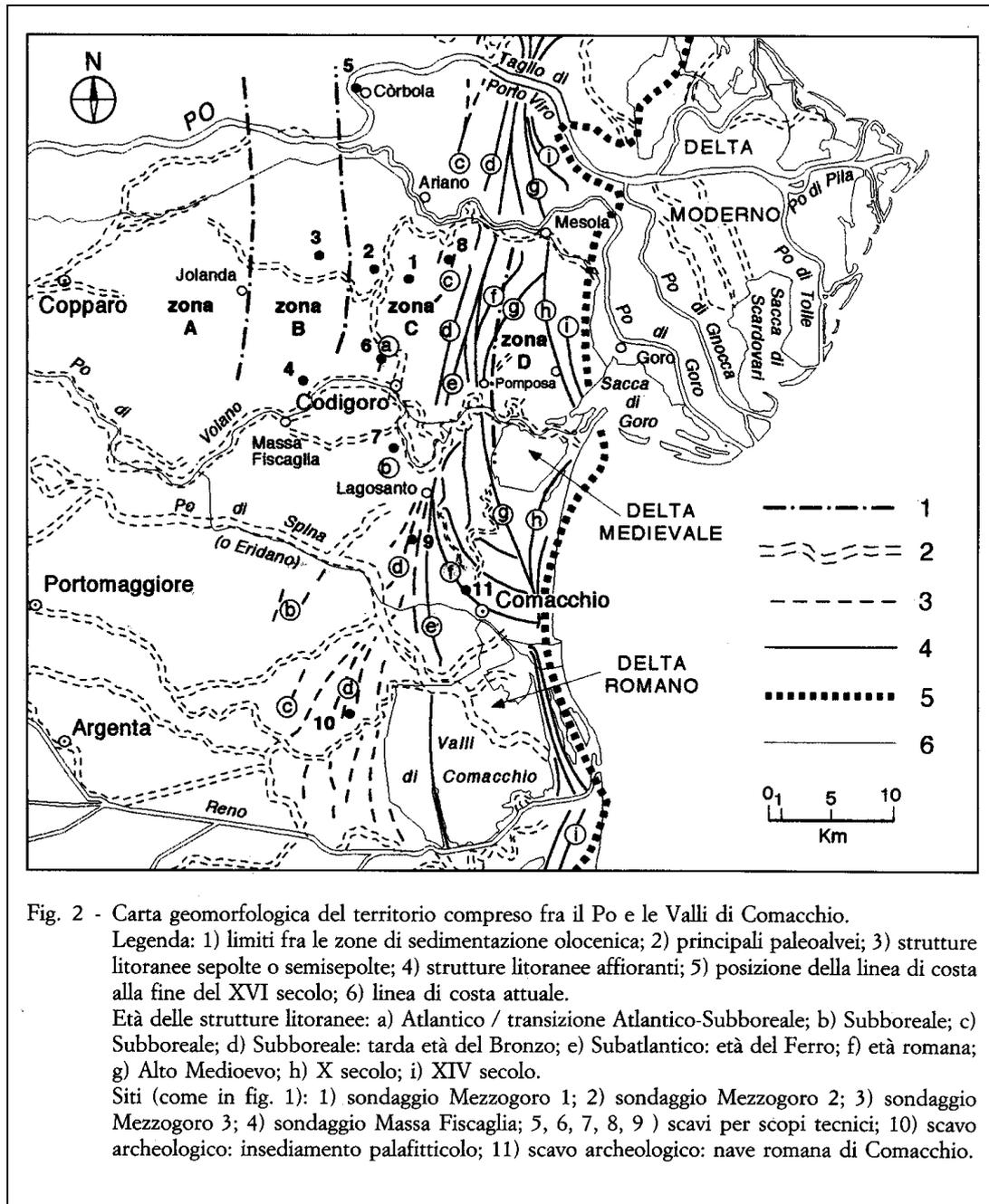
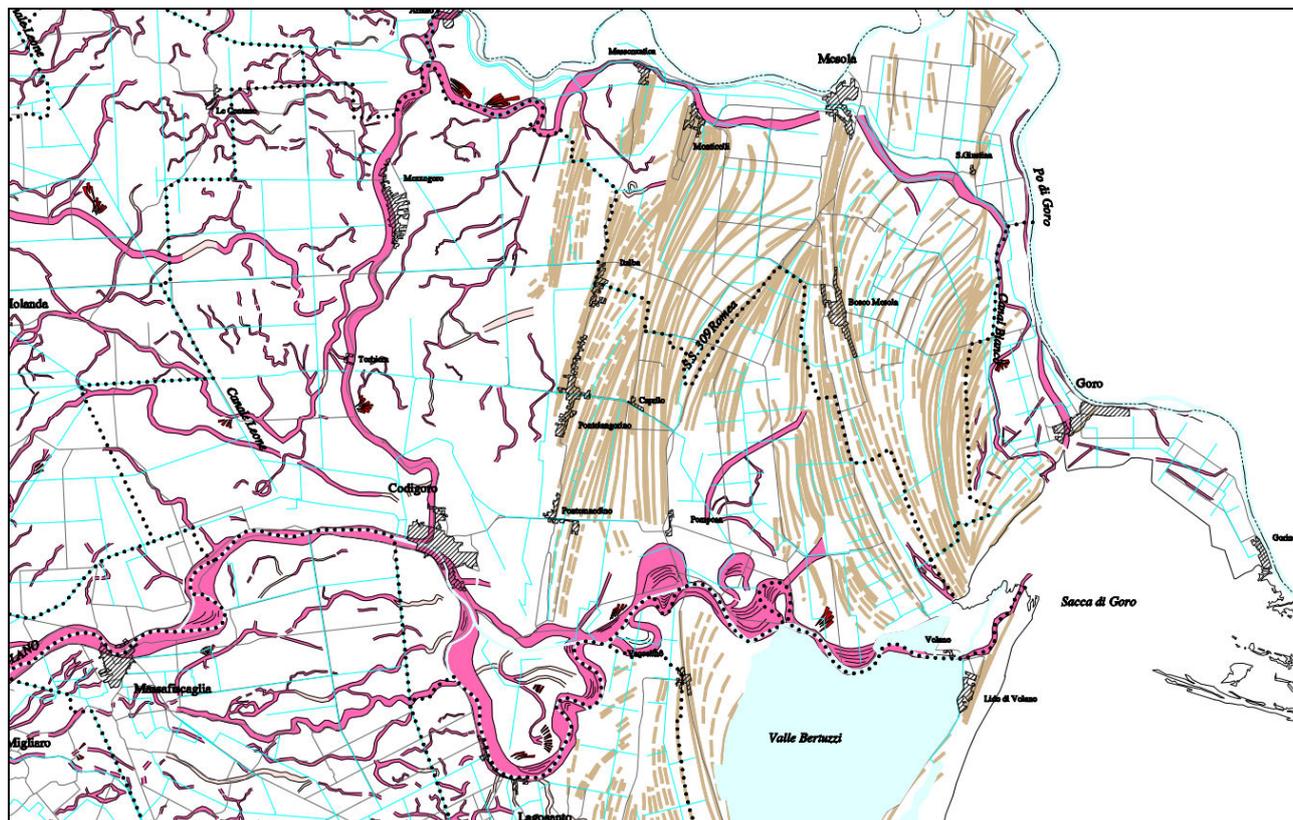


Figura 2-40 - stralcio della carta geomorfologica fra il Po e le Valli di Comacchio, in cui si inserisce il comune di Mesola



Amministrazione Provinciale di Ferrara
Servizio Programmazione - Servizio Informatico
Repertorio Cartografico

**CARTA GEOMORFOLOGICA
DELLA PROVINCIA DI FERRARA**

| | | | |
|--|----------------------|--|--------------------------------------|
| | Strade | | Paleovalvei di ubicazione sicura |
| | Corsi d'acqua | | Paleovalvei di ubicazione incerta |
| | Confini di provincia | | Depositi di rotta e di trascinamento |
| | Confini di comune | | Cordoni litoranei affioranti |
| | Linea di costa | | Cordoni litoranei sepolti |
| | Centri abitati | | |
| | Zone umide | | |

Figura 2-41 - Stralcio carta geomorfologica della provincia di Ferrara.

Un'altra carta molto interessante è quella inserita nel Foglio 187 "Codigoro" del progetto CARG, Carte Geologiche in scala 1:50.000. Essa è riportata in **FIGURA 2.42**, qui sono ben rappresentate le età dei depositi portati dal fiume Po e dai suoi rami di foce, distribuiti dalle correnti di lungo costa; tali depositi progredivano verso est costruendo progressivamente il territorio come lo conosciamo oggi.

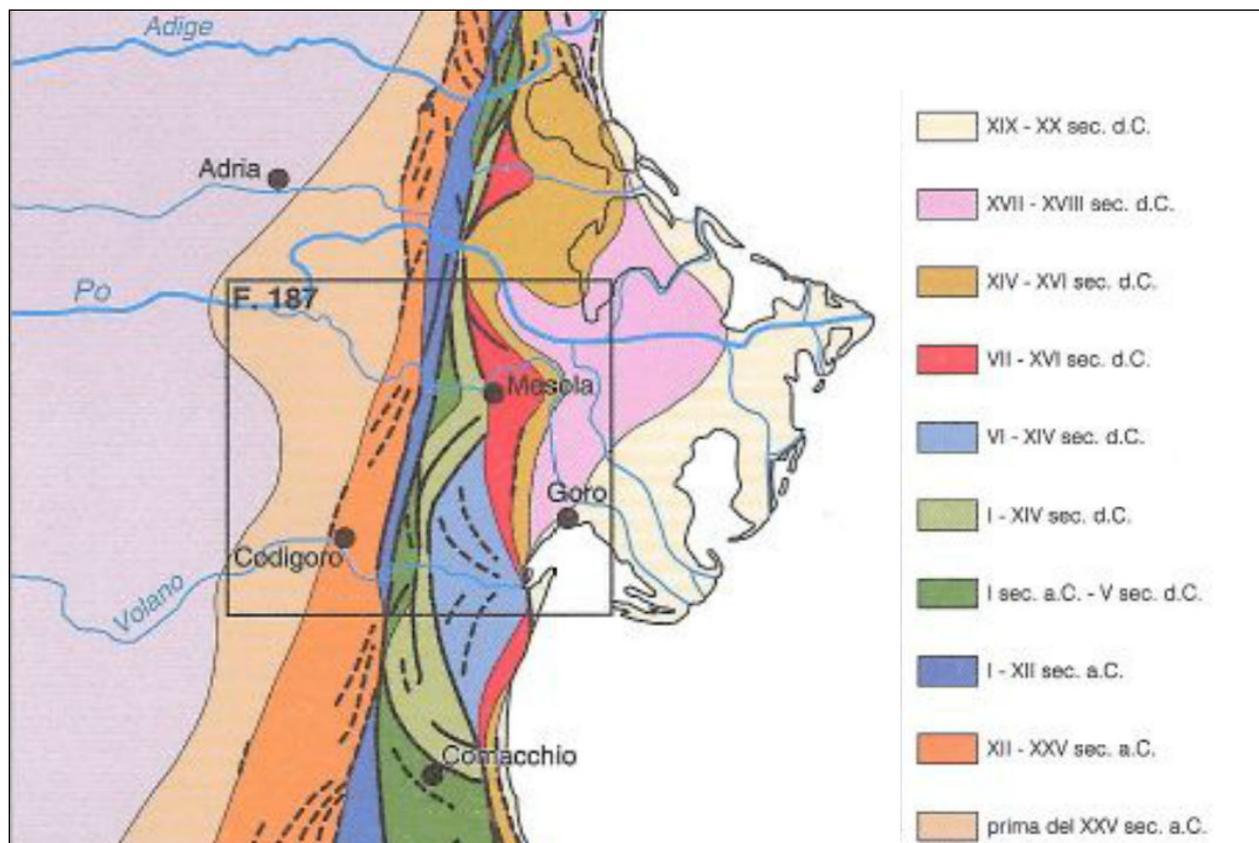


Figura 2-42 - Carta delle età dei depositi costieri - http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/187_CODIGORO/Foglio.html

2.6. 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.

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.

E' 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 2.43** lo stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara, in cui sono evidenziate in tonalità azzurra le aree sotto il livello del mare. Poi si riporta in **FIGURA 2.44** e in **FIGURA 2.45** si riportano stralci di alcune carte storiche, una del 1814, ed una del 1898 in cui sono visibili gli estesi bacini vallivi di tutto il basso ferrarese, in particolare quelli del comune di Mesola. Nella successiva **FIGURA 2.46** si riporta una carta dei bacini di bonifica con il periodo dell'avvenuto prosciugamento, partendo dalla situazione riferita alla seconda metà del XIX sec.

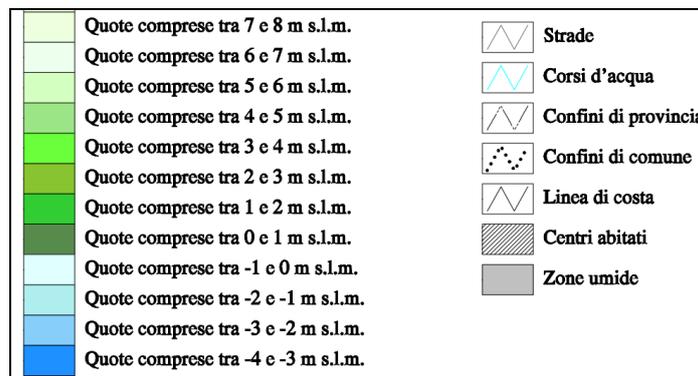
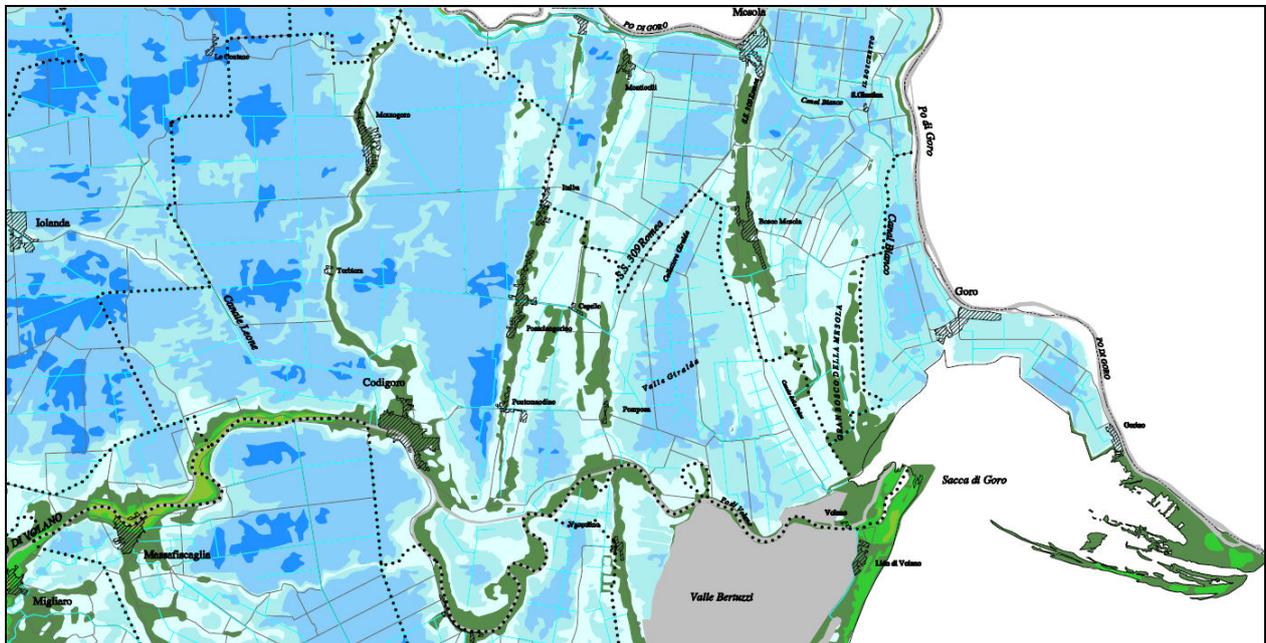


Figura 2-43 - stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara



Figura 2-44 - carta storica del 1814. (http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp)

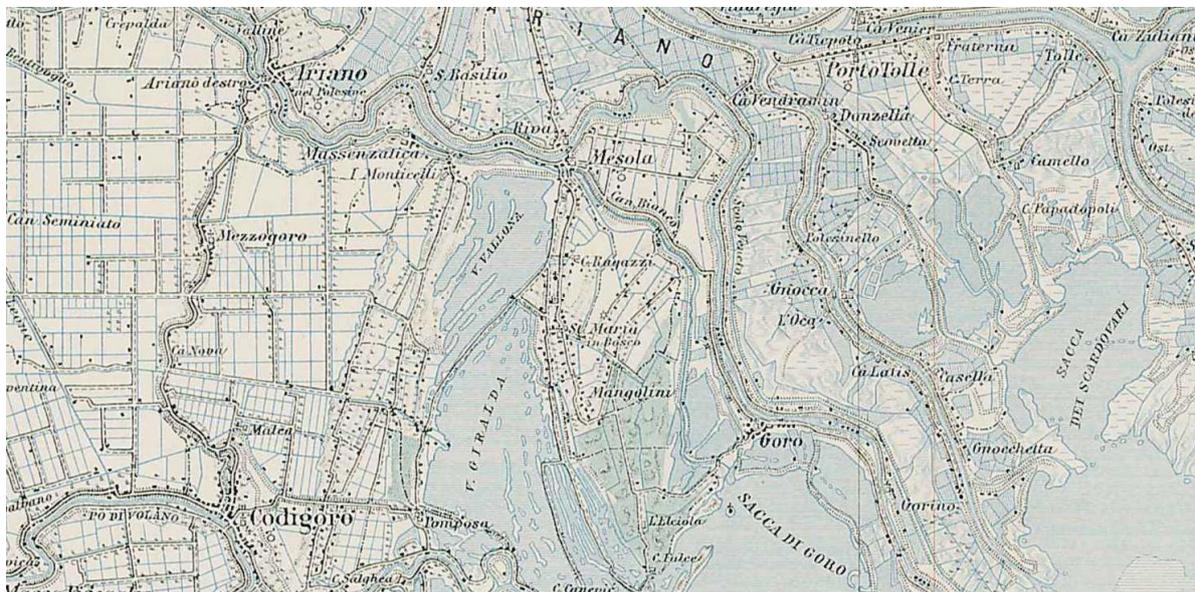


Figura 2-45

– Carta storica del 1898 (reperita su sito <http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/topo/3felmeres.htm>)

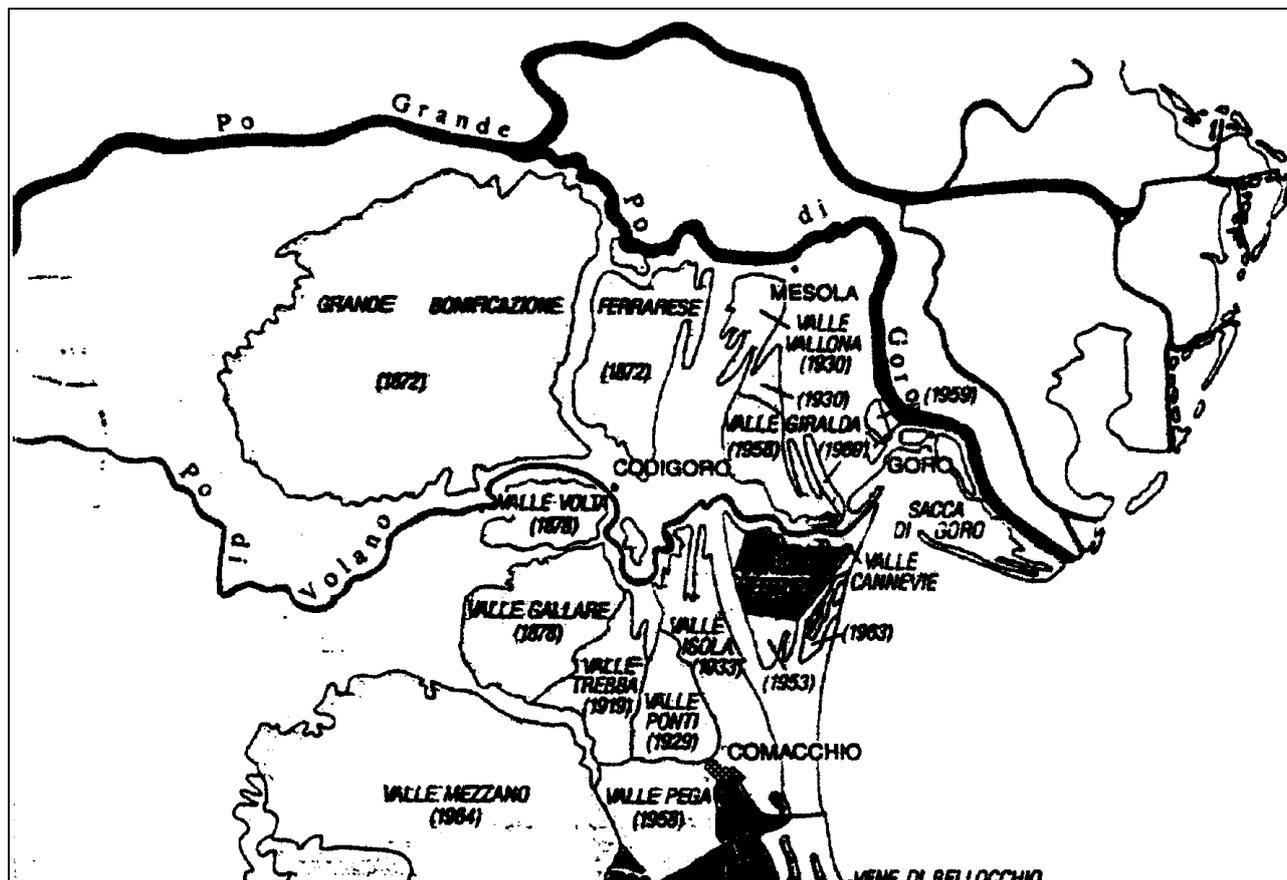


Figura 2-46 - Carta dei bacini di bonifica con evidenziate le date dell'avvenuto prosciugamento (M. Bondesan, 1994)

Quindi il territorio codigorese ha subito una grande trasformazione nell'arco di 100 anni (tra il 1850 ed il 1958 a seguito delle bonifiche. In FIGURA 2.47 ed in FIGURA 2.48 tale trasformazione appare in tutta la sua evidenza.

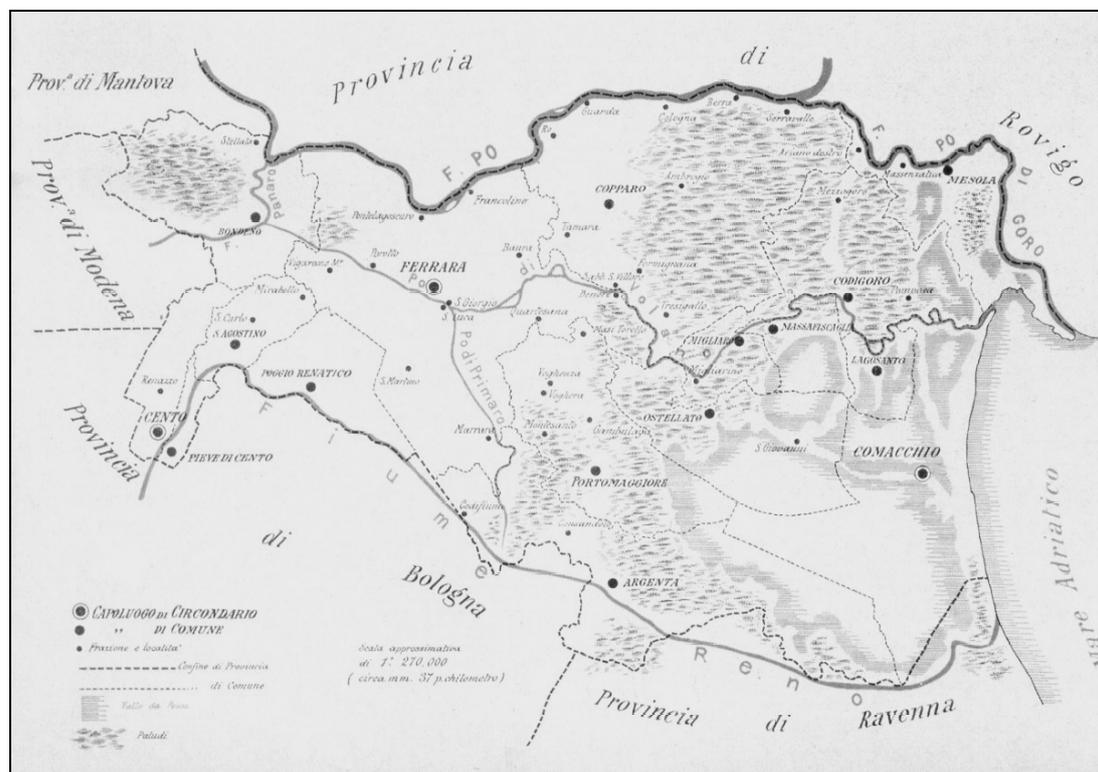


Figura 2-47 - La provincia di Ferrara a metà dell'800 prima delle Bonifiche meccaniche (da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)

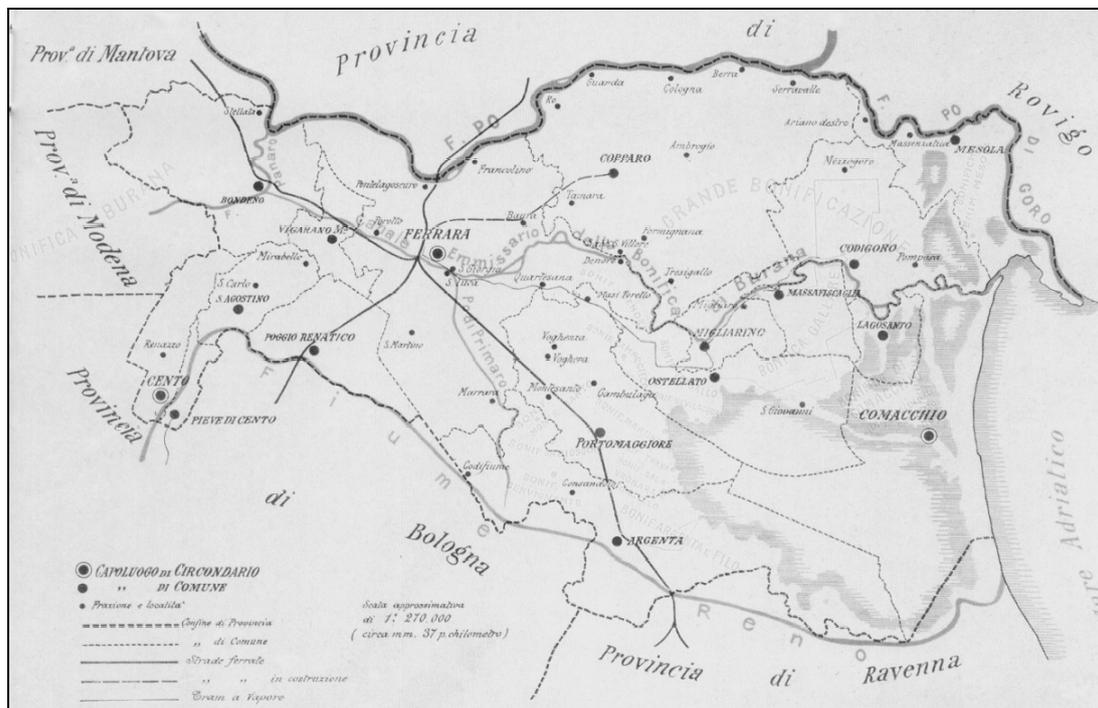


Figura 2-48 - La provincia di Ferrara dopo le Bonifiche ottocentesche (da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)

In FIGURA 2.49 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.



RILIEVO DELLA SUBSIDENZA NELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA

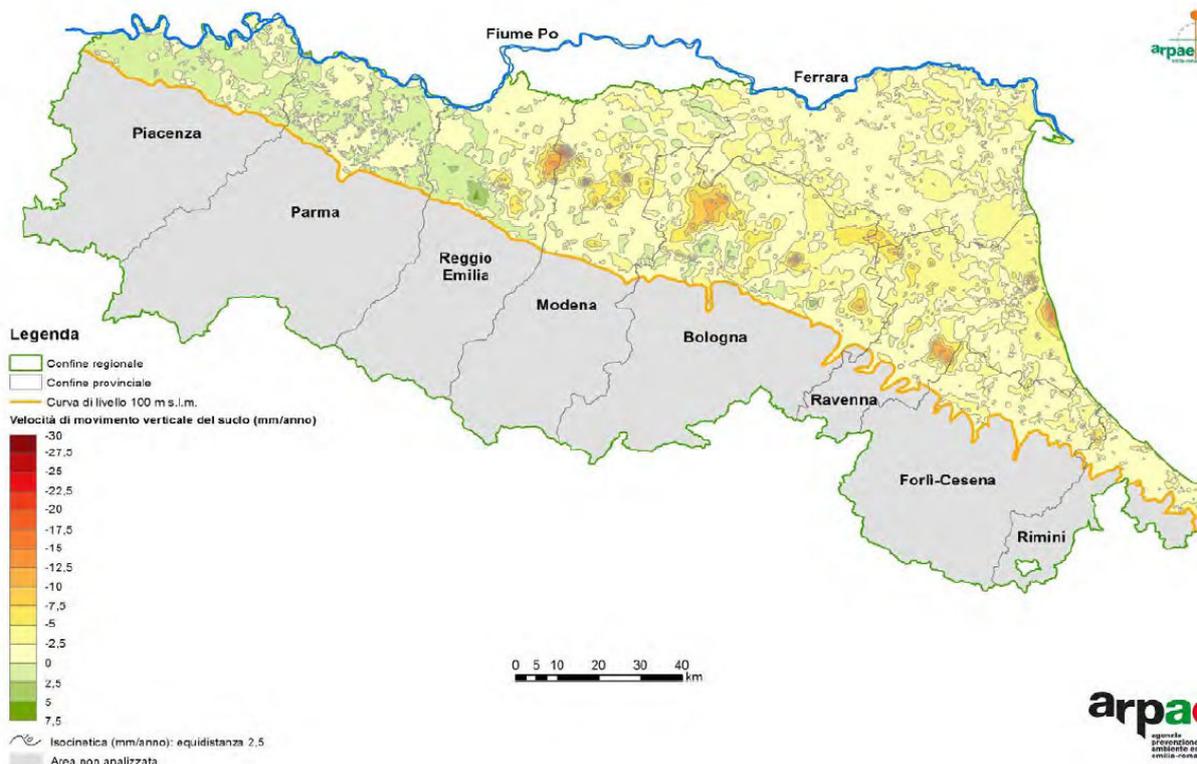


Figura 2-49 - Carta della velocità di abbassamento dei suoli nel periodo 2011-2016.

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

Si riporta il caso di Codigoro (paese vicino a Mesola) che è assunto alle cronache del secolo scorso per la velocità dell'abbassamento del suolo dovuto alle estrazioni di sacche di gas metano abbastanza superficiali. I dati sono reperiti da uno studio dell'Idroser contenuto nel Piano Costa 1996 e riportati in **FIGURA 2.50**.

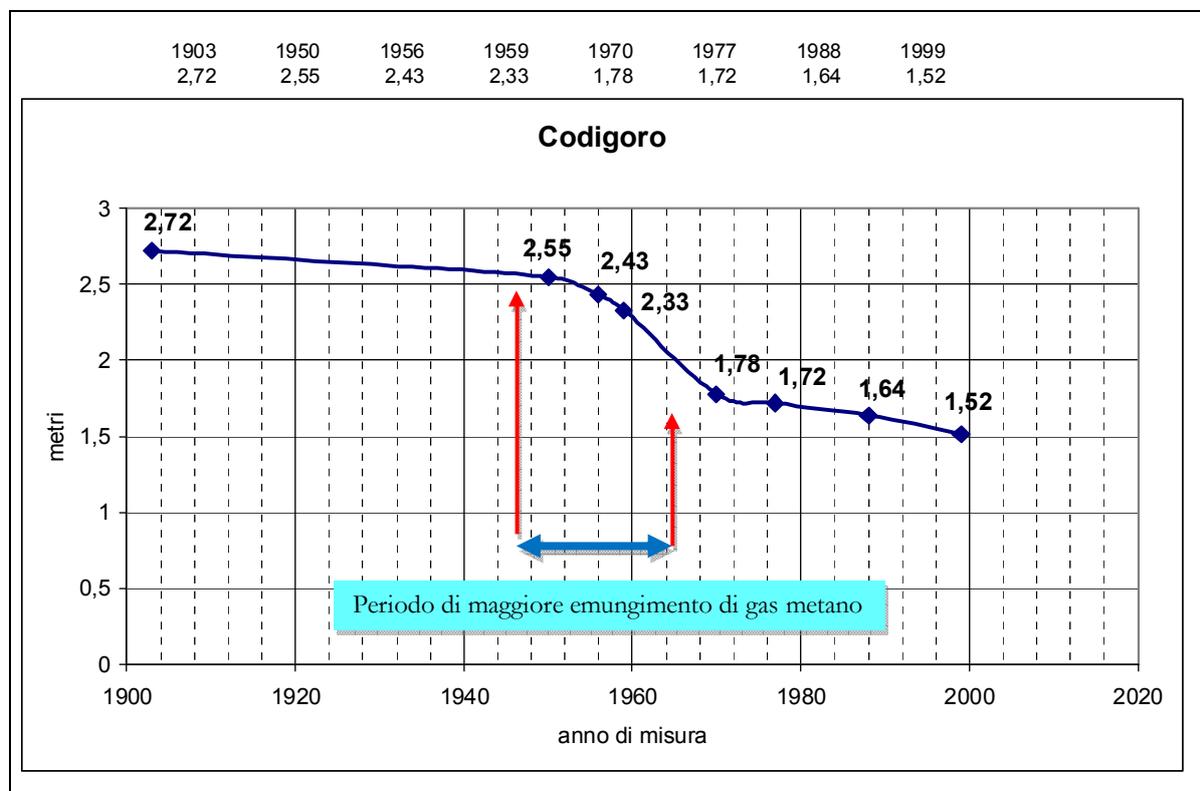


Figura 2-50 - *Diagramma di abbassamento del caposaldo di Codigoro (RER & Idroser, 1996).*

Le politiche attuate dagli anni '70 in poi hanno dunque avuto effetti positivi sul territorio del basso ferrarese nel ridurre la velocità di subsidenza.

3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

In questo capitolo sono descritte le diverse tipologie di indagini geognostiche effettuate sul territorio comunale di Mesola 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.

Le diverse indagini presenti sul territorio comunale sono caratterizzate dunque 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 (MASW, Re.Mi., ESAC) e prove a stazione singola (HVSR).

Tutte le indagini bibliografiche reperite dalla banca dati della Regione e quelle della banca dati dello scrivente, presenti nel territorio comunale di Mesola, sono riportate nella Carta delle indagini che viene riprodotta in scala 1:10.000 ed è focalizzata sui soli centri abitati del comune.

3.1. INDAGINI PREGRESSE

In prima battuta sono state prese in considerazione ed analizzate tutte le indagini geognostiche presenti all'interno del territorio comunale di Mesola presenti nella banca dati del servizio geologico della Regione e quelle nella banca dati dello scrivente.

Nella **Tabella 3.1** che segue è indicato il numero delle indagini reperite nella banca dati personale dello scrivente e quelle reperite dalla banca dati regionale, mentre in **Tabella 3.2** quelle di nuova esecuzione eseguite appositamente per questo studio di micro zonazione sismica.

| | Tipologia di indagine | Numero Totale di indagini | Numero indagini Banca dati Veronese |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| PENETROMETRIE E SONDAGGI | CPT | 274 | 119 |
| | CPTU | 50 | 18 |
| | SCPTU | 1 | 1 |
| | SPT | 20 | - |
| | Sondaggio continuo | 85 | - |
| | Sondaggio a distruzione | 17 | - |
| | Pozzi acqua | 7 | - |
| | Pozzi idrocarburi | 10 | - |
| | TOTALE | 464 | 138 |

| | | | |
|---------------------|----------|----|---|
| INDAGINI GEOFISICHE | E.S.A.C. | 0 | - |
| | HVSR | 6 | - |
| | RE.MI. | 0 | 0 |
| | M.A.S.W. | 0 | 0 |
| | S.E.V. | 36 | - |
| | TOTALE | 42 | 0 |

| | | | |
|--|-----------------|-----|-----|
| | TOTALE INDAGINI | 506 | 138 |
| | | 506 | |

Tabella 3.1 - Indagini complessive reperite in banca dati e analizzate in questo studio

| | | |
|----------------|----------|----|
| NUOVE INDAGINI | SCPTU | 2 |
| | CPTU | 4 |
| | E.S.A.C. | 1 |
| | HVSR | 5 |
| | TOTALE | 12 |

Tabella 3.2 - Nuove indagini eseguite per gli studi di MZ sismica

Le 506 indagini pregresse e le 12 indagini di nuova realizzazione, presenti nel territorio comunale, sono state analizzate ed archiviate in una banca dati informatizzata e georeferenziata con sistema WGS84 fuso 33N (come prescritto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica del Dipartimento nazionale della Protezione Civile) in ambiente GIS ESRI, la cui struttura risponde alle specifiche per gli studi di microzonazione sismica.

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

Per l'archiviazione dei dati si è fatto ricorso al software SoftMS versione 4.1.1, messo a disposizione dal Dipartimento nazionale della Protezione Civile (D.P.C.), attraverso il quale è possibile inserire i dati di tutte le indagini presenti nel territorio ed archivarle in tabelle costituite da un insieme di record, gerarchicamente organizzate in modo da memorizzare in maniera indipendente le informazioni legate al sito di indagine, alle prove in esso realizzate ed ai parametri tecnici di ognuna di queste.

Tutte le indagini reperite e successivamente analizzate ed archiviate presentano una buona affidabilità e sono ubicate in modo abbastanza uniforme all'interno del comune di Mesola offrendo dunque una buona distribuzione e 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} .

3.2. 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 Mesola si è ritenuto necessario procedere con l'esecuzione di nuove indagini specifiche.

Nello specifico si sono eseguite n. 6 penetrometrie suddivise in n. 2 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono sismico SCPTU spinte tutte fino alla profondità di -30,0 m da p.c., n. 4 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono CPTU spinte tutte fino alla profondità di -20,0 m da p.c. (**Tabella 3.3**) e n. 6 indagini geofisiche suddivise in n. 5 misure di microtremore a stazione singola H.V.S.R. e n. 1 indagine sismica passiva E.S.A.C. (**Tabella 3.4**).

| N° indagine | Riferimento | Data | Lat. | Long. | Località |
|-------------|-------------|------------|---------|--------|---|
| CPTU1 | 038014P507 | 30/09/2019 | 4978120 | 281505 | Parco Adriatico, Mesola |
| CPTU2 | 038014P508 | 09/10/2019 | 4977870 | 281230 | Scuola media, via Gramsci, Mesola |
| SCPTU3 | 038014P509 | 09/10/2019 | 4977920 | 281359 | Ex caserma carabinieri, via Mazzini, Mesola |
| CPTU4 | 038014P510 | 09/10/2019 | 4973550 | 280601 | Asilo, via Provinciale, Bosco Mesola |
| CPTU5 | 038014P511 | 10/10/2019 | 4973090 | 281230 | Centro civico, via Don Gino Pucci, Bosco Mesola |
| SCPTU6 | 038014P512 | 10/10/2019 | 4973150 | 280958 | Scuola primaria, via Buttini, Bosco Mesola |

Tabella 3.3 – Penetrometrie, WGS84 fuso 33N

| N° indagine | Riferimento | Data | Lat. | Long. | Località |
|-------------|-------------|------------|---------|--------|---|
| HV01 | 038014P539 | 08/01/2020 | 4980420 | 272525 | Via Dante Alighieri, Ariano Ferrarese |
| HV02 | 038014P540 | 08/01/2020 | 4978580 | 276847 | Via Dosso Alto, Massenzatica |
| HV03 | 038014P541 | 08/01/2020 | 4978060 | 281280 | Via Cesare Battisti, Mesola |
| HV04 | 038014P542 | 08/01/2020 | 4976230 | 277470 | Via Zanellati, Monticelli |
| HV05 | 038014P543 | 08/01/2020 | 4975980 | 284319 | Piazza Bruno Rossi, Santa Giustina |
| E.S.A.C. | 038014P538 | 14/11/2019 | 4978170 | 281348 | Castello Estense, Piazz Umberto I, Mesola |

Tabella 3.4 – Indagini sismiche, WGS84 fuso 33N

4. 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 nel codigorese i depositi del Qm, sono sempre presenti a profondità maggiori di 300 metri (**FIGURA 4.1**), fino a questa profondità non si raggiungono neanche i 500 m/sec. Sono quindi di seguito descritte in dettaglio le unità stratigrafiche che costituiscono i terreni di copertura e del sottostante substrato sismico, 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 187 "Codigoro", 205 "Comacchio"), sono state qui attribuite ai "terreni di copertura" (**FIGURA 4.2**).

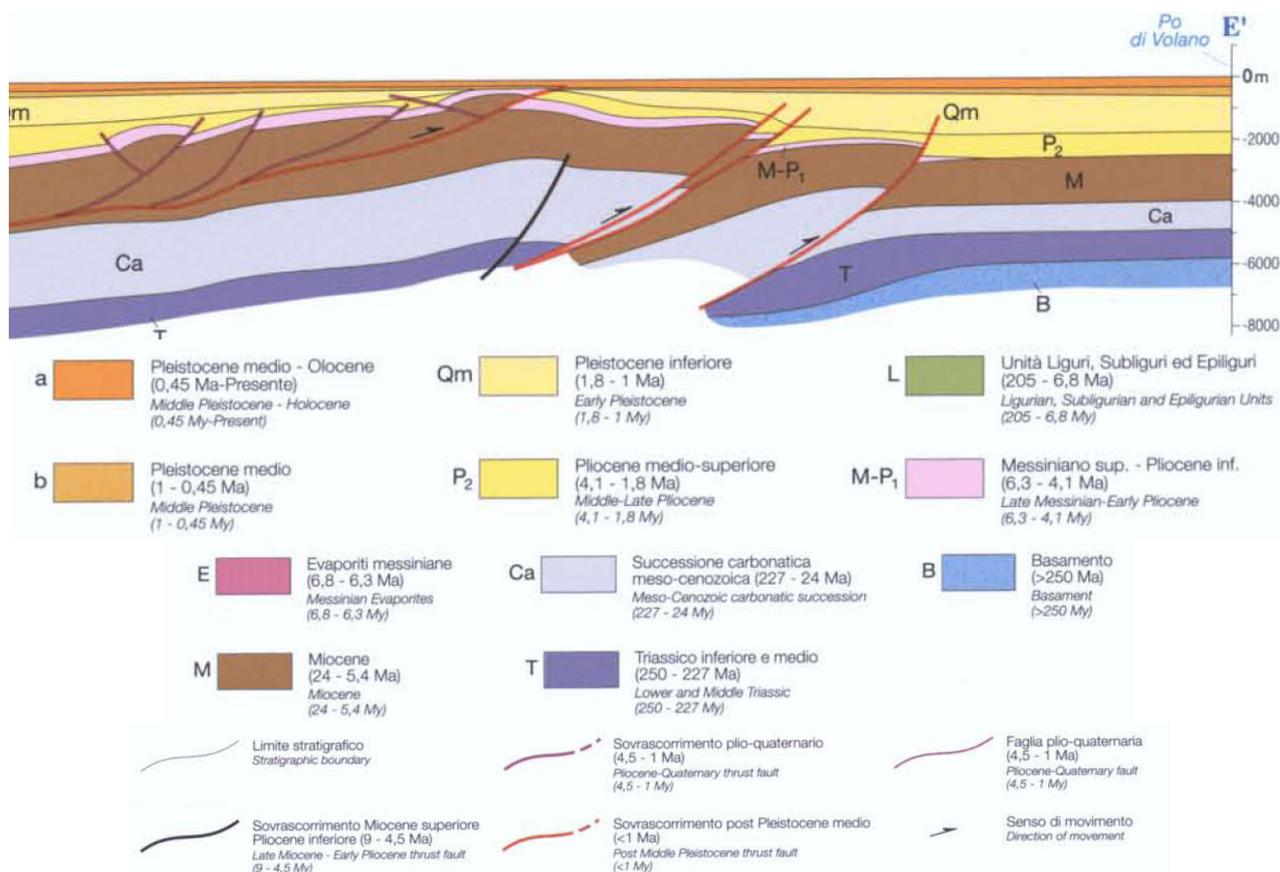


Figura 4-1 – Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E' (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

Le *unconformities* rappresentate nella nuova Carta Sismotettonica

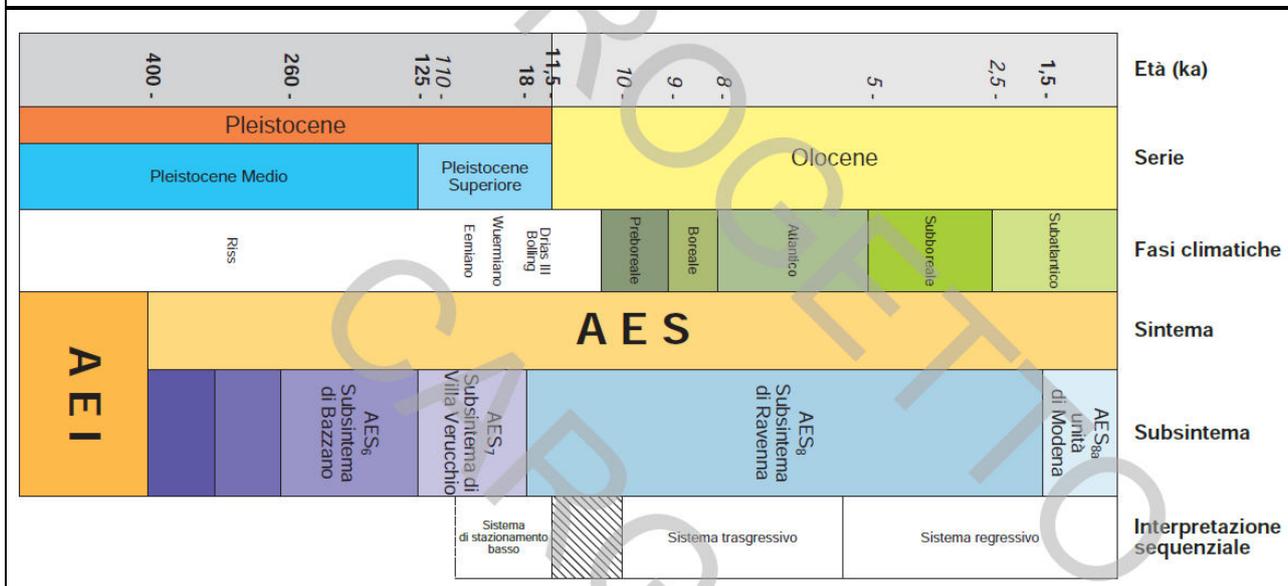
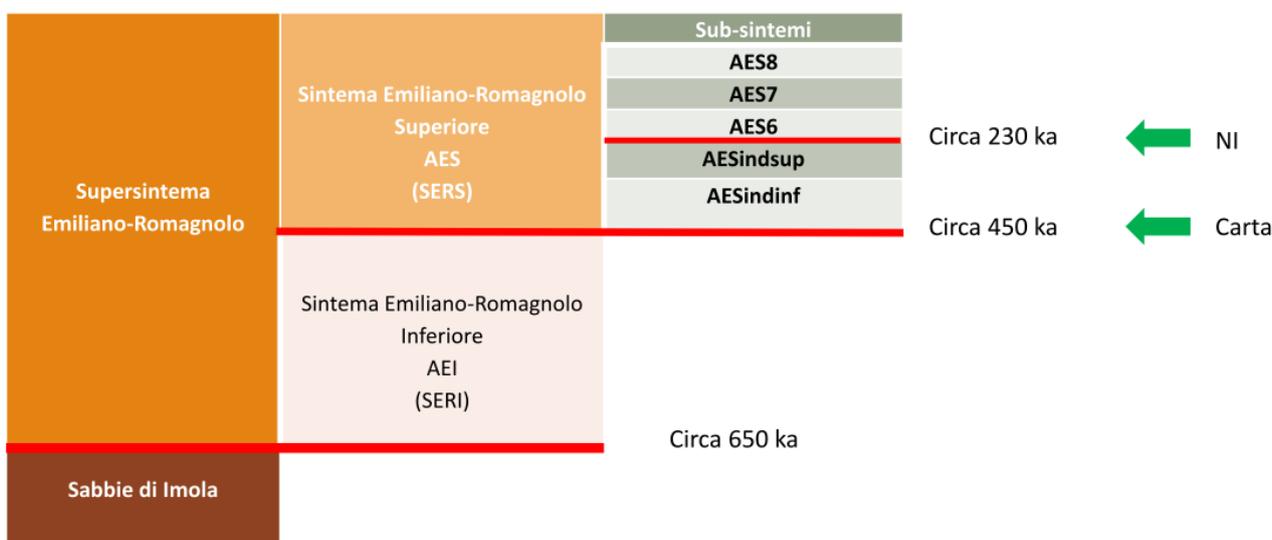


Figura 4-3 - *schema deposizionale dell'area allo studio. Schema delle relazioni fra scala cronologica, unità cronostratigrafiche, fasi paleoclimatiche tardoquaternarie, unità e limiti inconformi utilizzate nella cartografia della Regione Emilia Romagna e suddivisioni interne della sequenza deposizionale più recente.*

Per la classificazione del grado di attività delle strutture tettoniche è fondamentale individuare riferimenti cronologici e stratigrafici validi a scala regionale.

Le superfici stratigrafiche più recenti meglio documentate a scala regionale sono la base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS o AES dei vari fogli CARG e di RER – ENI, Agip, 1998), datata circa 450.000 anni, la base del subsistema di Bazzano (AES6), datata circa 230.000-250.000 anni, e la base del subsistema di Vignola (AES7), datata circa 120.000÷130.000 anni (RER – ENI, Agip, 1998). Sono state quindi realizzate mappe della distribuzione delle isobate di tali superfici.

Tutte queste mappe forniscono importanti informazioni per la valutazione delle deformazioni più recenti nel sottosuolo della Pianura Padana ma quelle che meglio illustrano le relazioni tra strutture tettoniche sepolte e sedimentazione sono quelle relative alle basi di SERS e AES6 (**FIGURA 4.4** e **FIGURA 4.5**).

La profondità rappresentata nelle figure 5.4 e 5.5 è riferita al livello del mare ed è rappresentata attraverso classi di profondità, diversamente colorate, corrispondenti ad intervalli di 50 m. L'andamento delle superfici è molto simile: entrambe emergono in prossimità del margine di catena mentre immergono al di sotto della pianura padana, verso ENE nel settore costiero e verso NNE nei restanti settori, con geometrie variamente ondulate. In corrispondenza del delta padano si osserva il massimo approfondimento, ovvero -450 m per il SERS e circa -200

m per AES6, mentre in corrispondenza tra Novi di Modena e Mirandola e a nord-ovest di Ferrara si rilevano dei minimi relativi, compresi tra -50 e -100 m per SERS e tra -30 m e -60 m per AES6. Per quanto riguarda la ricostruzione della base di AES6, i dati elaborati provengono principalmente dai fogli di pianura del progetto CARG, da altre sezioni geologiche disponibili nella banca dati regionale (si veda sopra) e da mappe delle isobate e grid presenti a scala locale mentre non sono state utilizzate le sezioni di RER – ENI, Agip (1998).

L'andamento di queste superfici stratigrafiche ben si accorda con la traccia dei principali elementi strutturali plio-quadernari sepolti. Tali superfici sono chiaramente deformate e seguono l'andamento delle sinclinali, delle anticlinali e dei thrust; è evidente un ispessimento della successione sedimentaria in corrispondenza delle zone di depressione strutturale e un assottigliamento in corrispondenza delle zone di culminazione.

Queste geometrie sono attribuibili all'individuazione di aree caratterizzate da diversi tassi di subsidenza e chiaramente dipendenti dall'assetto strutturale più profondo, all'interno di un avampese comunque in abbassamento e colmato via via dai sedimenti più recenti. Da un punto di vista stratigrafico le due superfici testimoniano due unconformities distinte poiché a scala regionale esse registrano una brusca progradazione dei sistemi deposizionali e un marcato riassetto paleogeografico che ha un carattere fortemente regressivo e può essere imputato ad una intensificazione dell'attività tettonica.

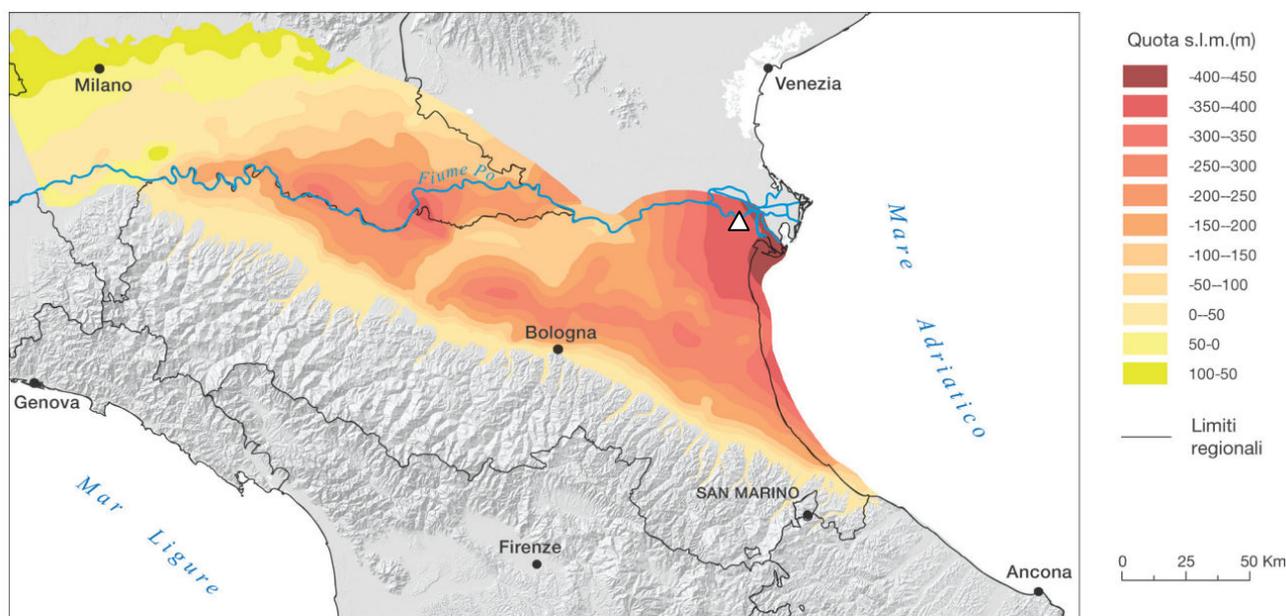


Figura 4.38: mappa (isobate s.l.m.) della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (0,45 Ma).

Figure 4.38: map (isobaths referred to the sea level) of the basal unconformity of the Upper Emilia-Romagna Synthem (0.45 My).

Figura 4-4 - Isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore

Sotto a Mesola, la base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (0,45Ma) si colloca tra -350m e -400m dal livello mare.

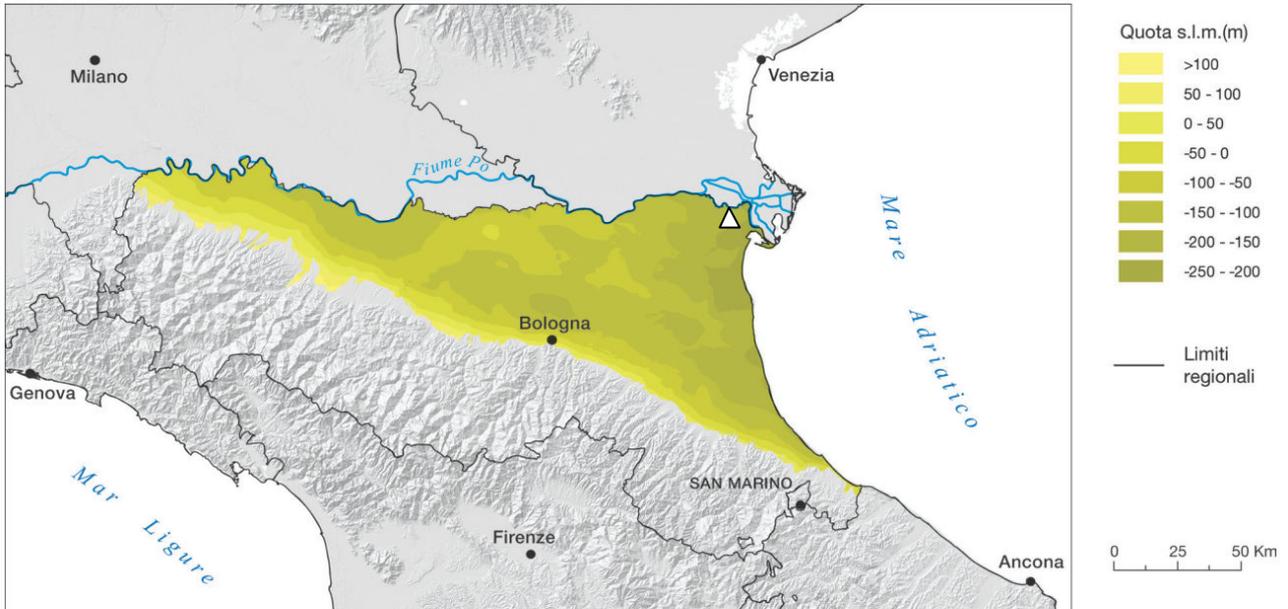


Figura 4.39: mappa delle isobate della base del subsistema di Bazzano (0,25-0,23 Ma).

Figure 4.39: map (isobaths referred to the sea level) of the basal unconformity of the Bazzano Subsystem (0.25-0.23 My).

Figura 4-5 - Isobate della base del subsistema di Bazzano

Sotto a Mesola la base del subsistema di Bazzano (0,25-0,23 Ma) si colloca a circa -200m dal livello mare (da -150m ad ovest a -250m ad est).

Nel sito del servizio geologico e simico della regione Emilia Romagna è stata reperita la sezione stratigrafica Sez.069 ubicata in **FIGURA 4.6**; essa attraversa il territorio comunale di Mesola. In essa (**FIGURA 4.7**) è stata evidenziata la suddivisione nei Subsistemi principali e le loro età.



Figura 4-6 – Sezione n.69

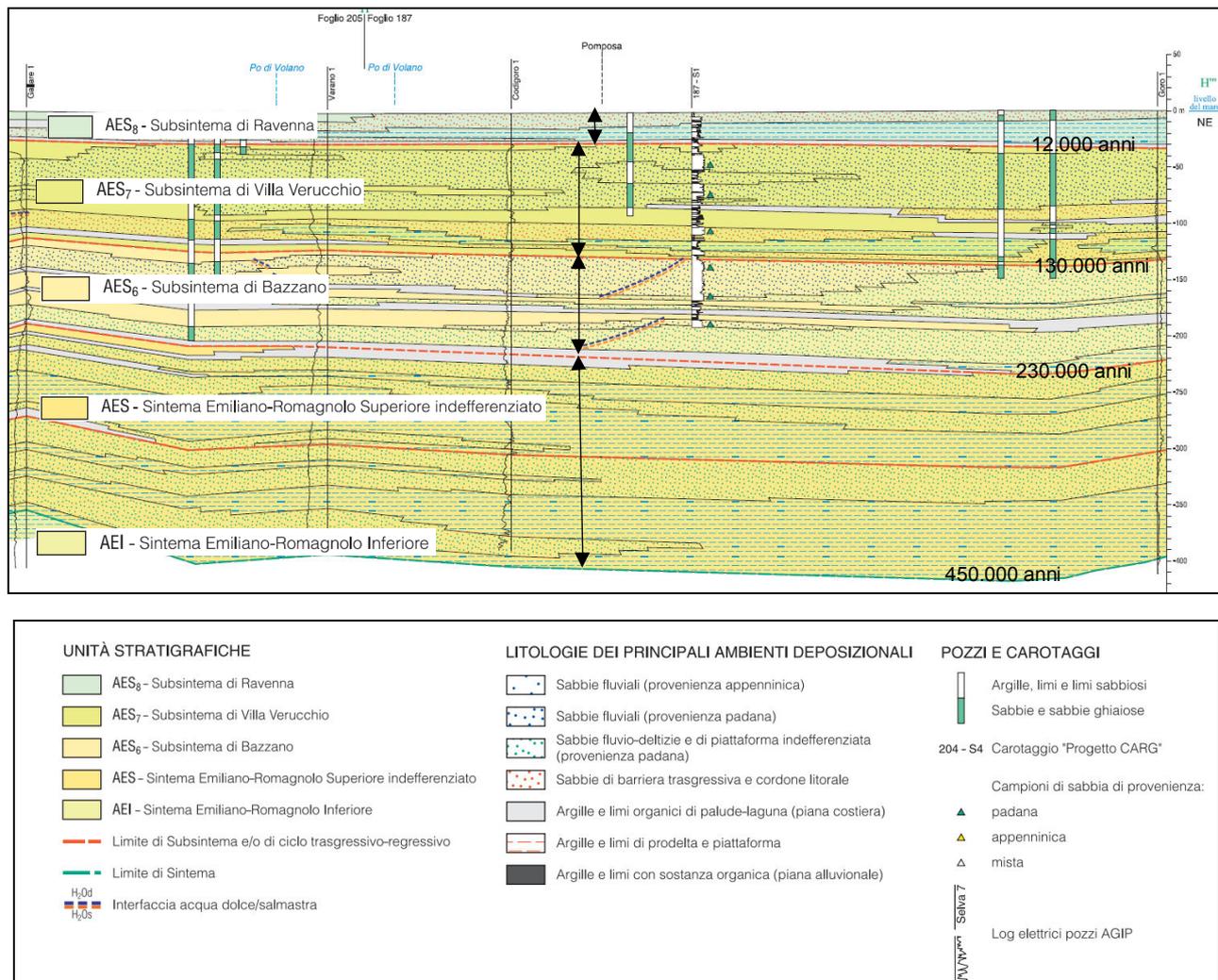


Figura 4-7 - *Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 350m di profondità.*
http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/sezioni_pianura/sez093.pdf

I paragrafi che seguono sono tratti integralmente dalle note illustrative del foglio geologico 187 Codigoro, scala 1:50.000.

4.1. SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

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

Fogli della Carta Geologica d'Italia (v. ad esempio Fogli 202, 203, 204) hanno permesso di individuare l'area di provenienza delle unità sabbiose. I corpi sabbiosi tabulari continui (decine di chilometri) con tendenza a chiudersi verso il margine appenninico, spessore pluridecimetico 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.

4.2. SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI)

Il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) costituisce la parte più antica del Supersistema Emiliano-Romagnolo riconosciuto nel sottosuolo dell'area di studio sulla base di sondaggi profondi, di profili sismici ENI-AGIP e delle geometrie delle unità stratigrafiche ricostruite attraverso le sezioni geologiche. Il limite inferiore coincide con quello del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Al suo interno l'unità è costituita da alternanze cicliche di prevalenti depositi di fanghi marini, argille e limi, e depositi grossolani sabbiosi organizzati spesso in sequenze di tipo coarsening-upward, di circa 30-40 metri di spessore, costituite da facies deltizie e di piattaforma del sistema padano. Lo spessore dell'unità varia arealmente a causa della subsidenza fortemente differenziale. La profondità del tetto del Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore è, nell'area allo studio (comune di Mesola) oltre i 400 dal p.c.

Sulla base della posizione stratigrafica, l'unità è attribuita al Pleistocene Medio, cioè l'intervallo temporale compreso tra 650.000 e 450.000 anni (Regione Emilia-Romagna RER & ENI-AGIP, 1998).

4.3. SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Il sistema Emiliano-Romagnolo Superiore forma la porzione più recente del supersistema Emiliano-Romagnolo. Il limite superiore del sistema corrisponde alla superficie topografica. Al margine dell'Appennino e in corrispondenza della Dorsale Ferrarese, la sua base corrisponde ad una discordanza erosiva che tronca depositi marini mio-pliocenici. Nel sottosuolo di vasti settori d'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 si fa paraconcordante e meno marcato. In queste aree, il limite fra i due sistemi corrisponde alla brusca sovrapposizione di sabbie alluvionali (AES) su depositi prevalentemente fluviodeltizi e marini (AEI). Nell'area del Foglio 187, il limite è sepolto a parecchie centinaia di metri di profondità, all'interno dall'alternanza di argille di prodelta e sabbie deltizie. Lo spessore di AES varia da poche decine di metri, nei pressi della fascia pedappenninica (es. Foglio 240), fino ad oltre 500 m, nel settore qui cartografato. La base del sistema è attribuita, per posizione stratigrafica, al Pleistocene medio (350-450.000 anni secondo Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Nel sottosuolo dell'area cartografata, AES è costituito dall'alternanza di argille, limi e sabbie di ambienti marini, deltizi e continentali, che registrano un'evoluzione globalmente shallowing. In affioramento, AES è costituito da sabbie di riempimento di canale distributore, da sedimenti di argine e rotta, da fanghi di piana interdistributrice, da sabbie di duna eolica, di cordone litorale e spiaggia sommersa e da limi ed argille di baia interdistributrice. Il sistema è organizzato in cinque cicli deposizionali trasgressivo-regressivi, ciascuno avente uno spessore sul centinaio di metri (**FIGURA 4.8**). I tre cicli superiori corrispondono ai Subsistemi di Bazzano (AES6), Villa Verucchio (AES7) e Ravenna (AES8). I due cicli inferiori sembrano presentare un'analoga organizzazione stratigrafica, ma non sono stati formalizzati come unità a limiti inconformi, a causa del loro minore grado di conoscenza. I cicli sedimentari più antichi mostrano caratteri marini più pronunciati e registrano

eventi trasgressivi maggiormente sviluppati verso l'entroterra, rispetto a quelli più recenti. I due cicli inferiori registrano inoltre la presenza di corpi sabbiosi fluvio-deltizi d'alimentazione padana assai più spostati verso SO, rispetto a quelli presenti nei successivi subsistemi AES6, AES7 ed AES8. Questa evoluzione s'inquadra bene nel contesto di progressivo riempimento del bacino sedimentario e di spostamento verso nord degli assi depocentrali, legato sia al prevalere degli apporti terrigeni rispetto alla creazione di spazio sedimentario, sia al progressivo coinvolgimento d'aree d'avanfossa nella compressione della catena.

I tre sintemi superiori presentano tra loro forti analogie nell'organizzazione stratigrafica che è verosimilmente condivisa anche dai due cicli inferiori. La base di ciascun ciclo corrisponde, nell'attuale fascia costiera, ad una superficie erosiva incisa in sabbie fluviali o ad un orizzonte di paleosuolo, sviluppato su depositi continentali fini. La presenza di lacune stratigrafiche in corrispondenza di tali superfici in settori costieri limitrofi (Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 223-Ravenna, 2002 e Foglio 256-Rimini, 2005) supporta l'uso di queste discontinuità come limiti di UBSU (par. IV.1.1.). In aree più interne della pianura, il limite inferiore di questi cicli corrisponde ad una superficie di disattivazione della sedimentazione fluviale grossolana, a cui si sovrappongono sedimenti fini di pianura, talvolta con influenze salmastre. Nell'attuale regione costiera, la porzione inferiore trasgressiva di ciascun ciclo è spesso pochi metri ed è caratterizzata da argille di piana alluvionale e palude, ricche in sostanza organica, passanti verso l'alto e verso est ad argille lagunari ed a sabbie e fanghi marini. La parte regressiva, volumetricamente assai più consistente, è spesso fin quasi ad un centinaio di metri ed è costituita da depositi marini con evoluzione shallowing, da fanghi di prodelta a sabbie di spiaggia; segue 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 media pianura fredda, diffusi negli altri fogli della fascia costiera (es. Foglio 223-Ravenna). Spostandosi verso il piede dell'Appennino, nei cicli sedimentari scompaiono le intercalazioni marine e la loro parte superiore è dominata da corpi ghiaioso-sabbiosi di riempimento di canale fluviale, che registrano lobi di conoide alluvionale.

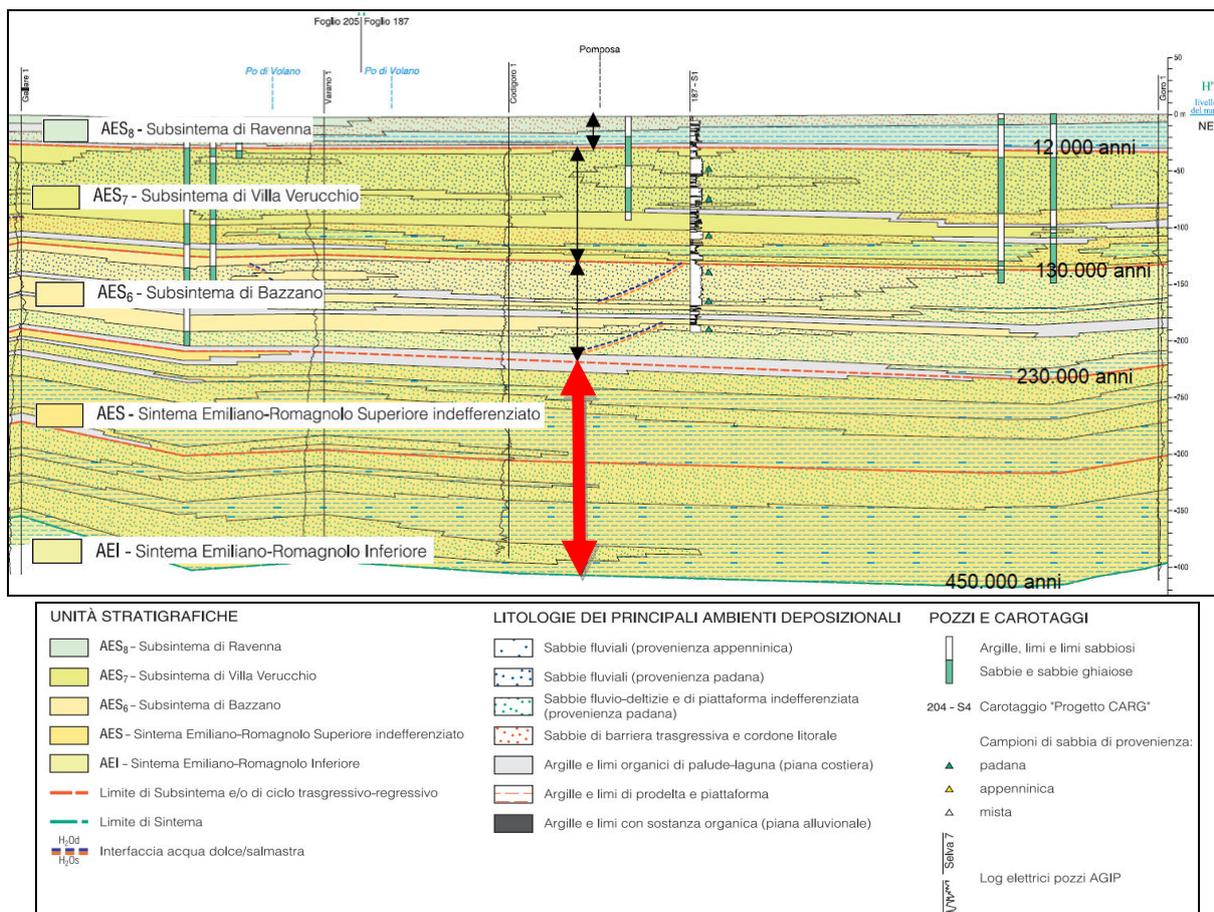


Figura 4-8 - Suddivisione dei cinque cicli deposizionali trasgressivo-regressivi

4.4. SUBSISTEMA DI BAZZANO – AES 6

L'unità affiora abbastanza ampiamente nei pressi del fronte appenninico (es. Foglio 255 e 256), ma nella fascia costiera emiliano-romagnola è presente solo nel sottosuolo. Il subsistema è limitato a base e tetto da contatti trasgressivi su nette superfici di discordanza, spesso subaeree. Negli affioramenti pedeappenninici, questa unità è formata da depositi fluviali terrazzati, associati a paleosuoli maturi, come, ad esempio, nelle valli dei Fiumi Marecchia e Savio o, più ad ovest, nella località tipo di Bazzano. Nel sottosuolo prossimo alla catena, l'unità inizia con sedimenti fini fluvio-palustri (es. Foglio 240), seguiti da argille, limi e sabbie di piana inondabile argine e rotta e quindi da sabbie e ghiaie fluviali, 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 e sabbie di cordone litorale (es. sondaggio 223-S12 del Foglio 223-Ravenna). Nell'area del Foglio Codigoro, l'unità mostra caratteri più francamente marini, con lo sviluppo d'argille di prodelta e di transizione alla piattaforma. L'andamento regionale di questo subsistema è visibile nel profilo profondo del Foglio Allegato. Gran parte della porzione regressiva dell'unità è stata attraversata dal sondaggio 187-S1 (Appendice 1 e 2), ove si osserva una parte inferiore, formata dall'alternanza di sabbie e sedimenti limoso-argillosi, depositati in ambienti di piana e fronte deltizia e di laguna salmastra. Segue un potente pacco di sabbie da fini a medio-grossolane, deposte in ambienti di media pianura continentale fredda, verosimilmente durante la penultima glaciazione. Questo corpo sabbioso supera i 35 m di spessore e corrisponde all'acquifero A2 (Regione Emila-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Lo spessore del subsistema varia da pochi metri, come presso il margine sud-occidentale del Foglio 240, al centinaio di metri, nei settori depocentrali della pianura e nel Foglio 187 Codigoro (**FIGURA 4.9**). Per la posizione stratigrafica, l'unità è riferibile al Pleistocene medio. La correlazione ciclostratigrafica con la scala delle fluttuazioni climatico-eustatiche di Martinson et alii (1987) suggerisce un'età fra c.a. 230.000 e 130.000 anni.

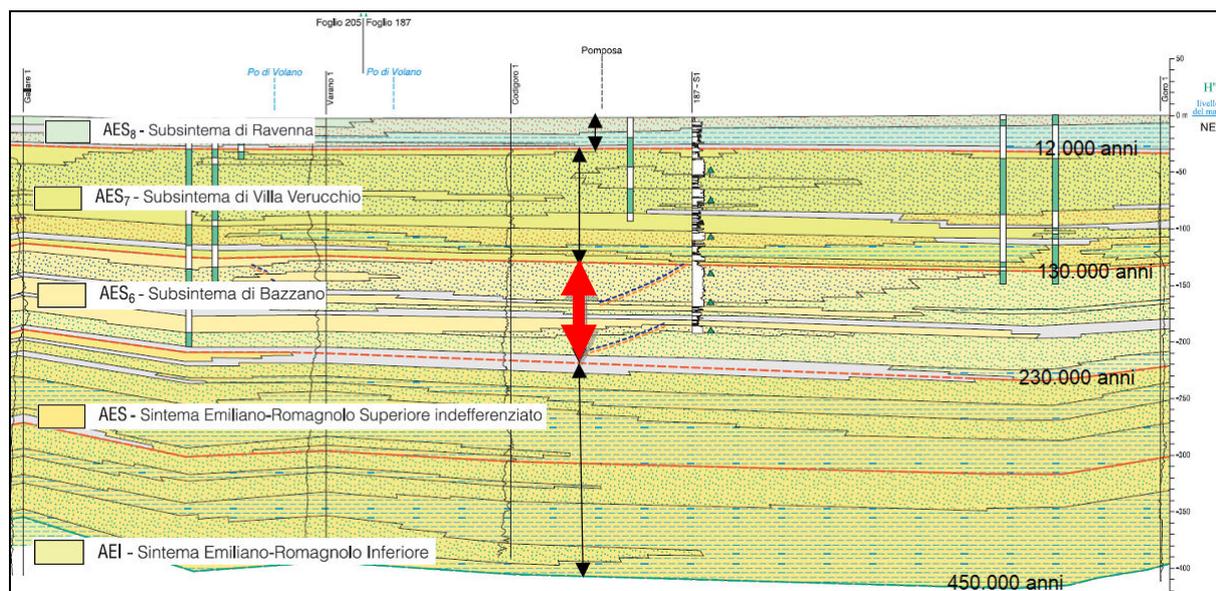


Figura 4-9 - il Subsistema AES6

4.5. SUBSISTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7

L'unità affiora nella fascia pedeappenninica romagnola, come nell'area tipo, nei pressi di Rimini (Foglio 256), ma in tutta la fascia costiera è presente solo nel sottosuolo. I suoi limiti discordanti sono analoghi a quelli di AES6. In affioramento, esso è rappresentato da lembi di depositi fluviali terrazzati poggiati su una discordanza erosiva, incisa sia in AES6, sia direttamente su sedimenti marini mio-pliocenici. Nel sottosuolo della fascia pedeappenninica, l'organizzazione interna coarsening è analoga a quella del subsistema sottostante. La porzione basale trasgressiva del ciclo è costituita da depositi fluviali, che passano ad argille lagunari e sabbie marine (Foglio 223, 240, 256) e quindi a depositi di pianura alluvionale. In aree prossime all'Appennino (Fogli 239, 240 e 255), la

argilloso-sabbiosi, variamente pedogenizzati. Questi depositi passano, nella pianura alluvionale, ad argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose da tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, rotta, ecc.), alternate a sabbie di riempimento di canale. Nell'area costiera, il subsistema forma un'ampia piana di sabbia, solcata da cordoni litorali, intercalati dai corpi dei fiumi appenninici e, a partire dalla latitudine di Ravenna, dei canali distributori del Delta del Po. Nelle aree depresse fra un cordone e l'altro, possono essere presenti sottili depositi argillosi di palude costiera salmastra. Sedimenti fini sono ben sviluppati nelle aree interdistributrici del Delta del Po, depositi sia in ambienti dulcicoli, sia salmastri, anche di formazione relativamente recente (es. Valli di Comacchio). Nelle aree meridionali, il tetto del subsistema, che come abbiamo visto coincide con la superficie topografica, presenta suoli con diverso grado d'alterazione pedogenetica. Suoli maturi sono, al contrario, praticamente assenti nell'area del Delta del Po, sia per la natura permeabile e relativamente stabile delle sabbie litorali, sia per la bonifica e la messa a coltura recente di molte aree, precedentemente sommerse.

Nel sottosuolo, i sedimenti di AES8 sono articolati in una porzione trasgressiva ed in una regressiva, ancora in corso d'evoluzione. Questa organizzazione corrisponde alla parte iniziale di un ciclo trasgressivo-regressivo, simile a quelli descritti nei subsistemi sottostanti, ma incompleto, perché ancora in corso di sedimentazione.

Nelle aree di alta pianura, AES8 poggia con contatto netto su ghiaie e sabbie di conoide alluvionale che formano il tetto di AES7. La porzione inferiore del ciclo è frequentemente formata da sedimenti fini di pianura alluvionale mal drenata, che si chiudono progressivamente verso la fascia pedecollinare (es. parte SE del Foglio 240). La parte regressiva è formata da depositi di piana alluvionale ben drenata, con frequenti paleosuoli decarbonatati (es. Foglio 256).

Nel settore centrale della pianura alluvionale, il limite fra AES8 ed AES7 è meno netto e si trova all'interno di facies di piana alluvionale. In queste aree, AES7 è caratterizzato da depositi grossolani di canale e rotta fluviale e dalla presenza di tracce di pedogenesi, mentre la parte inferiore di AES8 è dominata da depositi di pianura mal drenata, con episodi palustri e mancanza di alterazione pedogenetica, che sfumano lateralmente in sedimenti salmastri. La porzione regressiva del ciclo è dominata da depositi di pianura alluvionale ben drenata.

Nella zona costiera, la parte inferiore del sistema è caratterizzata da depositi di pianura alluvionale mal drenata con influenze salmastre, ricca di depositi organici di palude, che sfumano verso l'alto e verso mare in sedimenti di palude salmastra e laguna, con faune da ipoaline a mesoaline. Questi depositi costieri sono troncati dalla superficie eterocrona di rimaneggiamento trasgressivo (ravinement), a cui seguono sabbie di cordone litorale e depositi fini di prodelta e transizione alla piattaforma. A nord di Ravenna, fasi tardo trasgressive sono registrate da consistenti corpi di sabbie di delta-estuario, particolarmente sviluppate all'interno del Foglio 187 Codigoro. La successione regressiva è inizialmente rappresentata da sabbie di delta-estuario e da sabbie di cordone litorale, che in aree meridionali possono includere anche corpi ghiaiosi di spiaggia, a diversi livelli stratigrafici (Veggiani, 1965). Questi corpi grossolani sono di provenienza meridionale, in parte anche marchigiana. La porzione regressiva è dominata poi da spessi corpi di sabbie litorali e di fronte deltizia, a cui, in aree occidentali, seguono depositi di palude-laguna e di pianura deltizia ed alluvionale.

Nel settore a mare, il subsistema di Ravenna forma ampie aree di fondale (Correggiari et alii, 1996a; Correggiari et alii, 1996b; Trincardi & Argnani, 2001). La sua base corrisponde ad un contatto erosivo su depositi di piana alluvionale di AES7. I sottili depositi trasgressivi registrano la rapida transizione da depositi di pianura costiera a sedimenti di laguna salmastra, troncati dalla superficie di rimaneggiamento trasgressivo, associata ad un sottile orizzonte discontinuo di sabbie. I depositi trasgressivi sono parzialmente ricoperti, nella fascia più prossima alla costa, da una spessa unità regressiva costituita prevalentemente da fanghi di prodelta a geometria sigmoidale (Foglio 223, Foglio 256). Questi depositi formano una spessa fascia continua allungata parallelamente alla linea di costa, che riflette la ridistribuzione di fanghi fluviali ad opera di correnti marine, che nell'alto Adriatico formano una cella ad andamento antiorario. Allontanandosi dalla costa, al fondo affiorano direttamente i depositi trasgressivi od addirittura i depositi continentali sviluppati al tetto di AES7, per la mancata deposizione del subsistema di Ravenna.

All'interno del Foglio Codigoro, la base del subsistema, non affiorante, è marcata dalla sovrapposizione in onlap di depositi trasgressivi, in facies di piana costiera, su una superficie di discordanza, incisa in sabbie di media pianura alluvionale, appartenenti alla parte sommitale del subsistema di Villa Verrucchio (AES7). In pochi sondaggi e penetrometrie, si osserva l'amalgamazione deposizionale fra sabbie fluviali o costiere del subsistema di Ravenna e le sottostanti sabbie continentali di AES7. L'architettura deposizionale di AES8 è stata ricostruita

con particolare dettaglio e mostra sostanziali analogie evolutive con quella sviluppata nei fogli adiacenti (205-Comacchio e 223-Ravenna). Sedimenti di pianura costiera e laguna salmastra sono troncati dalla superficie di rimaneggiamento trasgressivo, ben sviluppata nella parte centro-orientale del Foglio; seguono importanti depositi retrogradanti di delta-estuario, ricoperti dalla superficie di massima trasgressione. La successione regressiva è inizialmente dominata da ampi corpi di sabbie bioclastiche di delta-estuario, a cui fanno seguito corpi progradanti di sabbie di fronte deltizia, spiaggia, cordone litorale e duna eolica. Nei settori orientali, sono ampiamente sviluppati fanghi di prodelta; in quelli occidentali, sono comuni i sedimenti fini di piana interdistributrice, intercalati a sabbie di riempimento di canale distributore. Lo spessore dell'unità, all'interno del Foglio 187, aumenta complessivamente verso oriente, da circa 20 a 37 m. Il subsistema di Ravenna è attribuito all'Olocene, con età comprese da circa 10.000 anni B.P. all'Attuale. Vari campioni di argille organiche e resti vegetali provenienti dalla parte inferiore dell'unità hanno fornito datazioni ^{14}C non calibrate intorno ai 9.400 anni B.P.

All'interno della porzione più recente del subsistema di Ravenna, è stata distinta l'unità di Modena (AES8a). Per la descrizione dei depositi nella località tipo, si veda Cremaschi & Gasperi, 1989. In questa località, il sito romano della città di Mutina fu rapidamente sepolto da parecchi metri di sedimenti altomedievali. Nei settori d'alta pianura, la base di AES8a è data da una superficie di erosione fluviale e da scarpate di terrazzo, entro cui sono confinati i depositi di riempimento di canale, d'età medievale e moderna. Nella pianura alluvionale, la base di AES8a è individuata dal contatto, in discontinuità, di spesse tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo o scarsamente calcareo di AES8, che contiene, in posto, reperti archeologici di epoca romana o preromana. Nel settore costiero, essa corrisponde alla superficie d'erosione e retrogradazione costiera che marca la base di cordoni litorali e di sabbie di fronte deltizia d'età medievale. Una vera continuità deposizionale non si trova in nessun apparato di foce del Delta del Po, che all'epoca fu interessato da una importante riorganizzazione del reticolo idrografico. Attraverso tutte le diverse fasce della pianura, la base dell'unità corrisponde quindi alla riorganizzazione idrografica, all'accelerazione dei processi sedimentari ed al cambiamento dei caratteri archeologici associati alla fine dell'Impero Romano.

Nel settore d'alta pianura, lungo il corso dei principali fiumi, l'unità è costituita da sedimenti ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale. Essi sono organizzati in un unico ordine di terrazzo che incide sia AES8 sia, in parte, i depositi della stessa unità di Modena. Nella pianura alluvionale, prevalgono i depositi di tracimazione fluviale. Nel settore costiero AES8a è costituita, come AES8, da depositi sabbiosi di cordone litorale e di fronte deltizia. Nel Foglio Codigoro, essa è dominata da sabbie costiere e di fronte deltizio, che passano lateralmente a fanghi di prodelta.

Nella parte centrale del Foglio, questa unità è generalmente assente, mentre nell'area occidentale essa è limitata ai depositi di argine e tracimazione dei canali distributori del Po di età medievale e moderna. L'unità di Modena inquadra i depositi più recenti del Foglio, compresi quelli in evoluzione. Pertanto essa include, concettualmente, i depositi fluviali (b1) in evoluzione che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente. All'interno del Foglio Codigoro, lo spessore di questa unità è compreso fra 0 e 31 m circa. Ove questa unità è assente, affiorano direttamente in superficie porzioni precedenti del subsistema di Ravenna (fig. 16). AES8a è riferita all'epoca post-romana, in base alla datazione dell'unità sottostante, all'assenza di reperti archeologici premedievali non rimaneggiati ed allo scarso sviluppo dell'alterazione pedogenetica, anche in aree drenate. I dati storici ed archeologici e datazioni al ^{14}C indicano che l'unità si è deposta a partire dal V-VI secolo d.C. (Bondesan, 1986, Ciabatti, 1990, Montevicchi & Novara, 2000, Veggiani, 1984, 1987, 1990, 1994). L'unità appartiene quindi alla parte più recente dell'Olocene, da circa 1.500 anni all'Attuale.

Nella **FIGURA 4.11** si riporta la carta delle Isobate della base dell'Olocene.

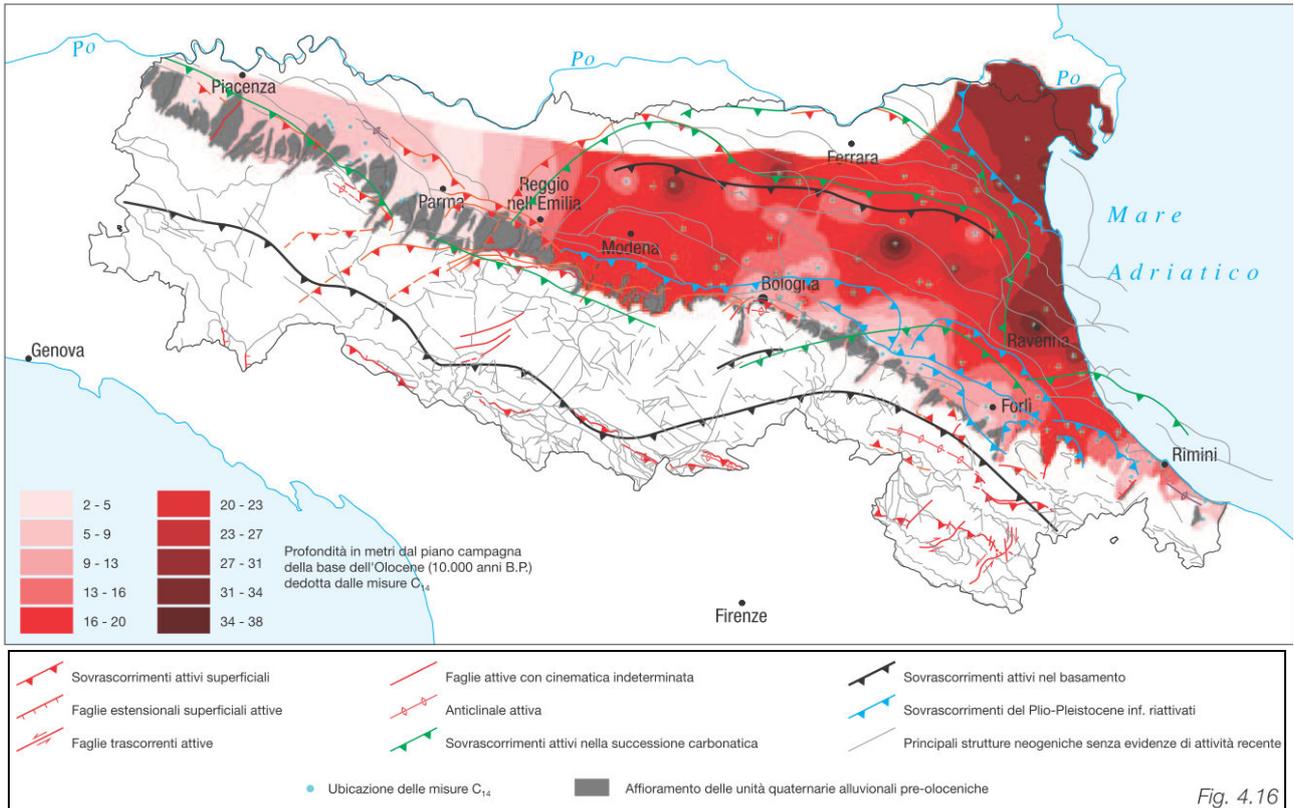


Figura 4-11 - Spessore dei sedimenti olocenici appartenenti al Subsistema di Ravenna AES 8.

Nella **FIGURA 4.12** si riporta una sezione geologica di dettaglio dei primi 40/50m di terreno in cui si può osservare che la parte sommitale del Subsistema di Ravenna AES8, è denominata Unità di Modena AES 8a. Essa contiene i depositi più recenti in cui sono rinvenibili materiali archeologici romani.

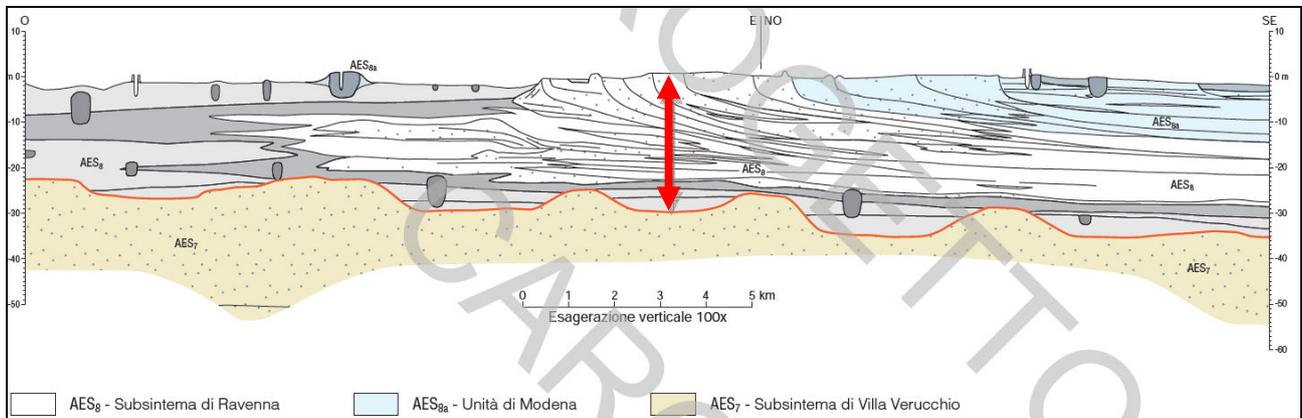


Figura 4-12 - Rapporto stratigrafico tra AES8 e AES8a

Allegate alla relazione vi sono le numerose sezioni geologiche passanti per il comune di Mesola, pubblicate sul sito del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna.

5. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

5.1. 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 Mesola si sono individuate i seguenti effetti locali:

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

Va però affermato che mentre è certa la presenza dei caratteri predisponenti alla liquefazione delle sabbie (depositi di sabbie limose di deposizione recentissima, sature, che stanno nei fusi liquefacibili), minore certezza può essere affidata alla stima delle cause scatenanti la liquefazione delle sabbie, ovvero la stima delle energie sismiche attese. In ogni caso la totalità del territorio comunale ricade al di fuori delle fasce di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive dell'Emilia Romagna (**FIGURA 5.1**).

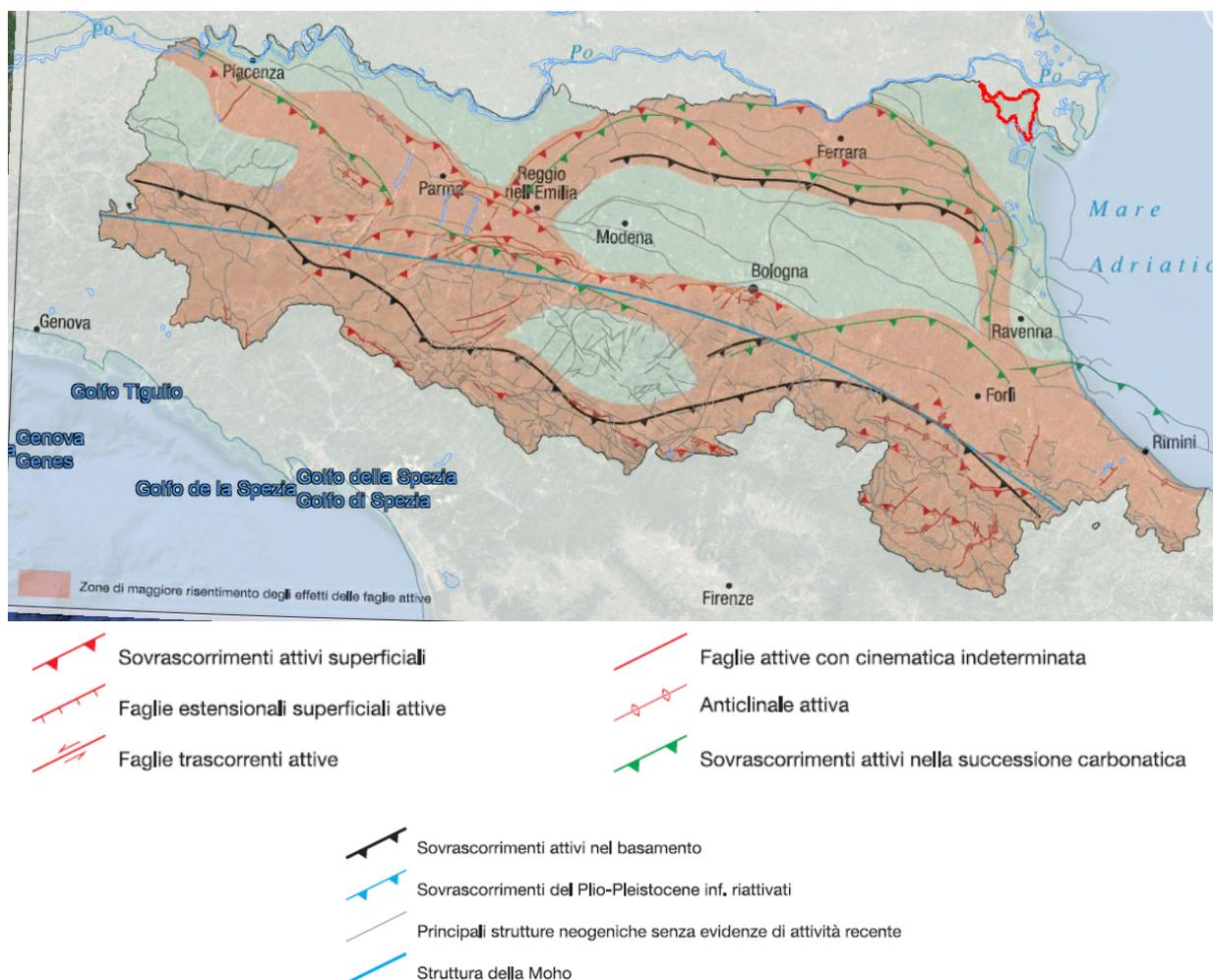


Figura 5-1

Ubicazione del territorio comunale di Mesola rispetto alle delle fasce di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive.

Oggi le norme regionali e nazionali indicano che nel territorio comunale di Mesola le accelerazioni sismiche in superficie non possono raggiungere 0,10g per Tempri di ritorno di 475 anni.

Anche le magnitudo attese sono, come visto nel capitolo 2, sono di poco superiori a 5 (cautelativamente indicate con il valore di $M_w=5,3$).

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

Nella tabella che segue sono riportati anche tutti fattori di amplificazioni indicati negli abachi della DGR 630/2019, per la SA e la SI per i rispettivi intervalli di periodo.

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** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

È però da considerare che recenti studi (Tento, Martelli, Marcellini 2015), evidenziano che in terreni ove il bedrock sismico ($V_s > 800m/sec$, **FIGURA 5.2**) 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 5.3**).



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

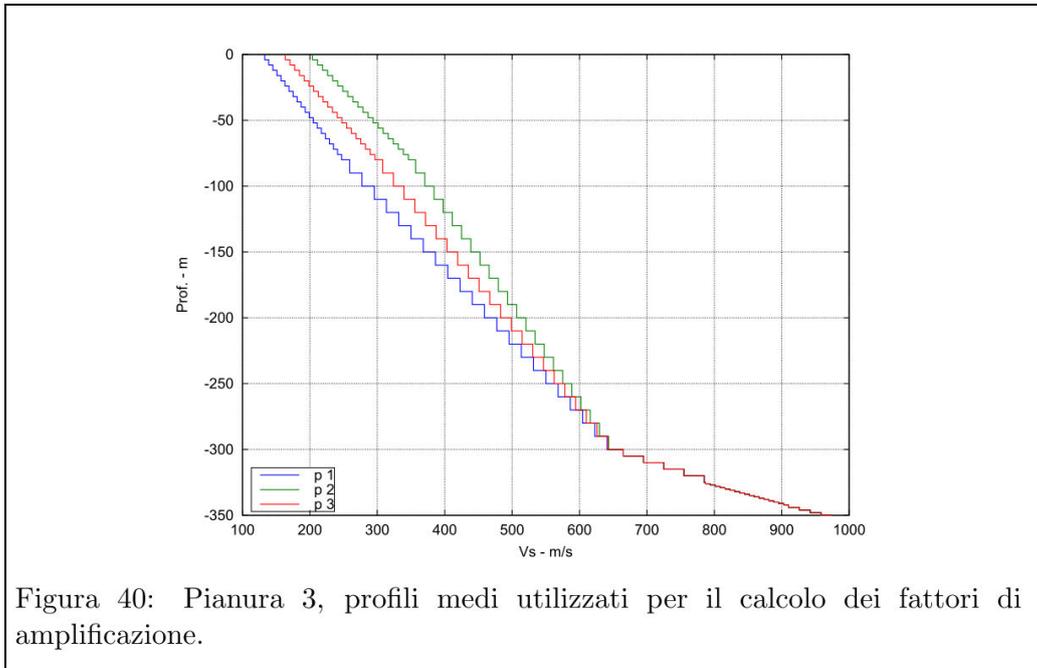


Figura 40: Pianura 3, profili medi utilizzati per il calcolo dei fattori di amplificazione.

Figura 5-2

- 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 |

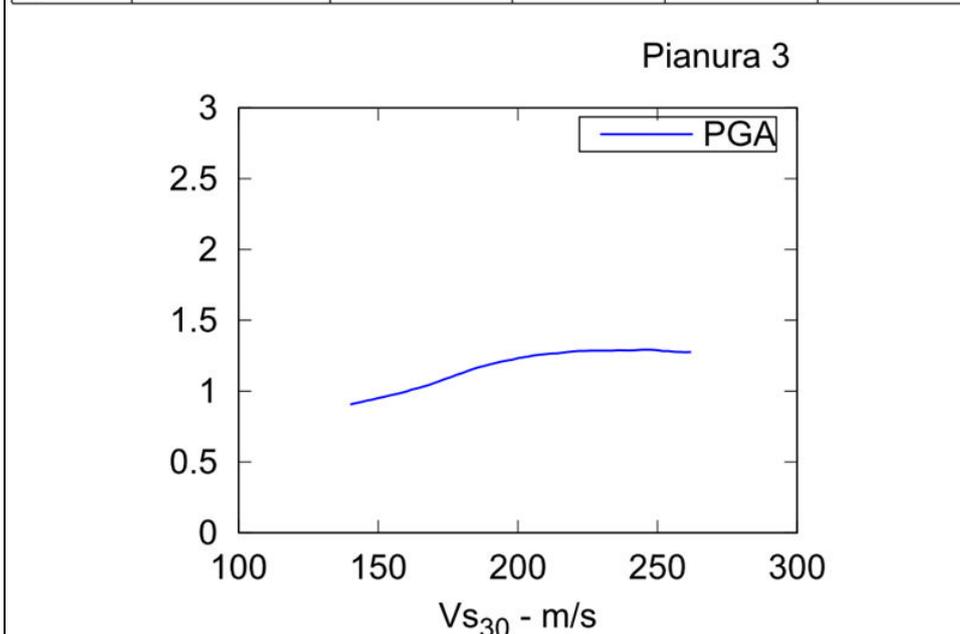


Figura 5-3 - Per valori di V_{s30} compresi tra 152 m/sec e 185 m/sec il fattore di amplificazione sismica F.A. per la P.G.A. varia tra 1,1 e 1,3, mantenendosi intorno a 1,3 per valori di V_{s30} superiori a 185m/sec.

Tutto ciò dimostra un certo grado di incertezza sulla possibile determinazione delle azioni sismiche di scuotimento che possono potenzialmente interessare i terreni comunali di Mesola. Ci viene di conforto la storia scritta che non evidenzia terremoti significativamente importanti nell'area allo studio. 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".

5.2. 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.

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

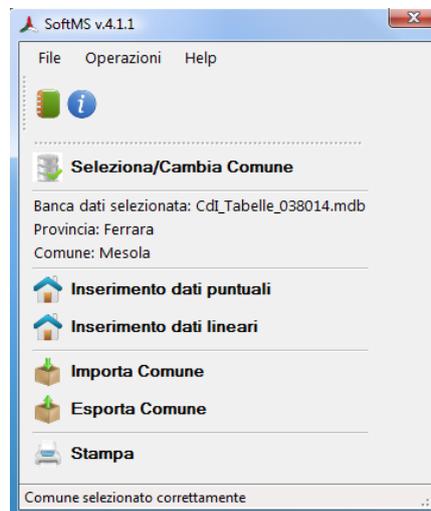
Una parte consistente di questo lavoro è quello dell'archiviazione di tutte le indagini bibliografiche raccolte e di nuova realizzazione appositamente eseguite per questo studio, in apposito database protetto, attraverso il Soft_MS Vers. 4.1.1 del Dipartimento di Protezione Civile Nazione.

Soft_MS Vers. 4.1.1 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. 4.1.1 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 Mesola il codice identificativo è 08 (identificativo Regione), 038 (identificativo Provincia) e 014 (identificativo Comune).

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

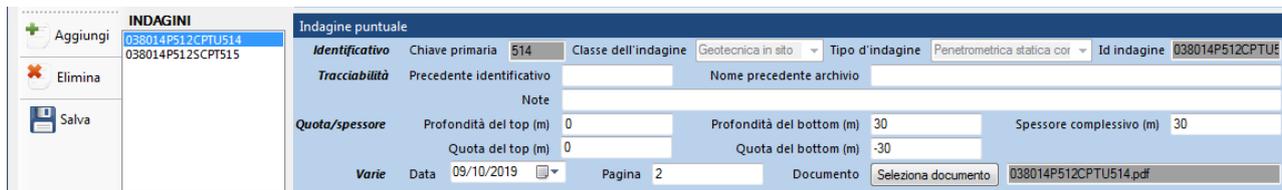


Selezionando l'inserimento di un nuovo set di dati relativi ad indagini puntuali appare la schermata compilativa in cui inserire tutte le caratteristiche di ogni singola prova.

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.m.) e data dell'indagine.

| SITI | | Sito puntuale | | | | | | | | |
|------|----------|-----------------|--------------------------------|------------|------------|---|--|----------------|-------------------------------|--------|
| + | Aggiungi | Chiave primaria | 512 | Provincia | Ferrara | Comune | Mesola | Id sito | 038014P512 | |
| - | Elimina | Indirizzo | via Buttini, Bosco Mesola | | | | | | | |
| + | Salva | Ubicazione | Longitudine | 280957 | Latitudine | 4973153 | Modalità utilizzata per identificare le coordinate | da CTR 1:5.000 | Identificativo della modalità | 187110 |
| | | Quota | Quota sul livello del mare (m) | | 0 | Modalità utilizzata per identificare la quota del piano | da CTR 1:5.000 | | | |
| | | Varie | Data | 09/10/2019 | Note | | | | | |

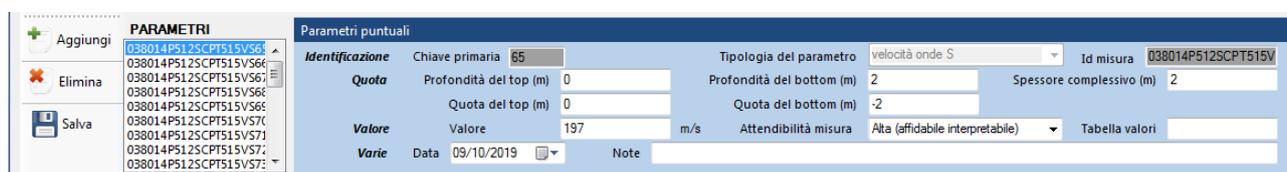
Una volta salvati i dati di riferimento del sito si passa all'inserimento dell'indagine: Classe dell'indagine (Elaborazioni, Geofisica, Geologia, Geotecnica di laboratorio, Geotecnica in sito ed Idrogeologia), Tipo di indagine, Precedente identificativo (se l'indagine proviene da un precedente archivio), 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).



| Indagine puntuale | |
|-----------------------|--|
| Identificativo | Chiave primaria: 514 Classe dell'indagine: Geotecnica in sito Tipo d'indagine: Penetrometrica statica cor Id indagine: 038014P512CPTU514 |
| Tracciabilità | Precedente identificativo: Nome precedente archivio: Note: |
| Quota/spessore | Profondità del top (m): 0 Profondità del bottom (m): 30 Spessore complessivo (m): 30 Quota del top (m): 0 Quota del bottom (m): -30 |
| Varie | Data: 09/10/2019 Pagina: 2 Documento: Seleziona documento 038014P512CPTU514.pdf |

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.



| Parametri puntuali | |
|------------------------|---|
| Identificazione | Chiave primaria: 65 Tipologia del parametro: velocità onde S Id misura: 038014P512SCPT515V |
| Quota | Profondità del top (m): 0 Profondità del bottom (m): 2 Spessore complessivo (m): 2 Quota del top (m): 0 Quota del bottom (m): -2 |
| Valore | Valore: 197 m/s Attendibilità misura: Alta (affidabile interpretabile) Tabella valori: |
| Varie | Data: 09/10/2019 Note: |

Con il medesimo principio andrebbero inseriti anche 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.

Nello specifico non risultano presenti indagini lineari nel territorio comunale di Mesola. Per cui questa parte del software non è stata compilata.

La compilazione del Soft_MS 4.1.1 per il comune di Mesola è avvenuta per le 512 indagini presenti nel territorio comunale, come segue:

| | Indagini Puntuali | Numero indagini Banca dati Veronese | Numero indagini bibliografiche | Numero Totale di indagini |
|--|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| BANCA DATI GEOL. VERONESE E BANCA DATI REGIONE | CPT | 119 | 155 | 274 |
| | CPTU | 18 | 32 | 50 |
| | SCPTU | 1 | 0 | 1 |
| | SPT | - | 20 | 20 |
| | Sondaggio continuo | - | 85 | 85 |
| | Sondaggio a distruzione | - | 17 | 17 |
| | Pozzi acqua | | 7 | 7 |
| | Pozzi idrocarburi | - | 10 | 10 |
| | HVSR | - | 6 | 6 |
| | S.E.V. | - | 36 | 36 |
| TOTALE | 138 | 368 | 506 | |

| | | |
|----------------|----------|----|
| NUOVE INDAGINI | SCPTU | 2 |
| | CPTU | 4 |
| | E.S.A.C. | 1 |
| | HVSR | 5 |
| | TOTALE | 12 |

Per questa nuova versione del Soft_MS 4.1.1 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 menu bar containing "Cancella" and "Salva". The form is organized into several sections:

- Informazioni sui metadati:**
 - ID Metadato: 038014M1
 - 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: 17/10/2019
- Informazioni sul dato:**
 - Proprietario del dato: Comune di Mesola
 - e-mail Proprietario del dato: comune.mesola@cert.comune.mesola.fe.it
 - Sito Proprietario del dato: www.comune.mesola.fe.it
 - Data del dato: 17/10/2019
 - Descrizione dato: Studi di microzonazione sismica di II livello
 - "Punto di contatto" del dato: Comune di Mesola
 - e-mail "Punto di contatto": comune.mesola@cert.comune.mesola.fe.it
 - Sito "Punto di contatto": www.comune.mesola.fe.it
- Classificazioni, vincoli e copertura:**
 - Scala: 5000
 - Estensione: Ovest (271207,280787607), Est (4967040,91733047), Sud (286522,934285202), Nord (4982797,03887458)
- Qualità:**
 - Precisione del dato (errore in metri): 0,2
 - Genealogia del dato: Banca dati regione Emilia Romagna, 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 Mesola sono:

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

L'amplificazione stratigrafica, calcolata da DGR 630/2019 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.

Il terzo livello di approfondimento potrebbe quindi essere omissivo, in quanto in tutte le aree del comune di Mesola in cui si sono rinvenute sabbie predisposte alla liquefazione per via della loro composizione granulometrica, le analisi effettuate dallo scrivente hanno dimostrato che, per Magnitudo inferiori o uguali a 5,30, e per accelerazioni massime attese al piano campagna come quelle previste per il comune di Mesola ($A_{max}/g < 0,10g$), non si verifica la liquefazione in quanto vengono a mancare le condizioni scatenanti, pur in presenza dei caratteri predisponenti.

A1. CASI IN CUI SI PUÒ OMETTERE LA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

La probabilità che si manifestino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se è verificata almeno una delle seguenti condizioni:

1. Magnitudo attesa inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g; 
3. Terreni sabbiosi con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine¹, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $I_p > 10\%$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$ oppure $q_{c1N} > 120$ oppure $V_{S1} > 200$ m/s;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 160$ oppure $V_{S1} > 220$ m/s

$(N_1)_{60}$, q_{c1N} , V_{S1} sono i valori normalizzati dell'indice N_{SPT} della Standard Penetration Test, della resistenza di punta q_c della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche. In prima approssimazione tali valori possono essere calcolati con le seguenti equazioni:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{p_a} \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$V_{S1} = V_S \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_{v0} la pressione efficace litostatica verticale.

4. Distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% al fuso indicato in Figura 1a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 1b per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

Ma in accordo con il Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna, nell'incertezza sulla definizione della pericolosità sismica di base, per via di recenti studi che la propongono più alta di quella sino ad ora adottata dalle NTC2018 e dalla DGR 630/2019, si andrà a mantenere il retino dell'instabilità per liquefazione su tutta la porzione di territorio ove sono presenti sabbie sciolte oloceniche di recente sedimentazione, sature di acqua di falda, nei primi 15m.

Nel terzo livello di approfondimento poi si comprenderà se effettivamente ci saranno tali problemi, perché tali problemi li andranno 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 resistono ad eventi estremi, ma non sarebbe sostenibile economicamente e socialmente.

7. ELABORATI CARTOGRAFICI

Le carte tematiche realizzate in questo studio sono state redatte in base al D.G.R. 630/2019 e agli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.1.

La cartografia tecnica 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, gli ambiti di espansione, gli ambiti di riqualificazione e i corridoi infrastrutturali sono stati digitalizzati sulla base dei dati forniti dal responsabile dell'urbanistica - edilizia privata dall'amministrazione comunale nella fase di presegnata degli studi. I dati vettoriali e raster rappresentati nella cartografia realizzata sono definiti e proiettati nel sistema di riferimento WGS84 UTM33N.

- Carta delle indagini
- Carta geologico-tecnica
- Carta delle frequenze naturali dei terreni
- Carta delle aree suscettibili di effetti locali (Microzone Omogenee in prospettiva Sismica)
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s)
- Carte di microzonazione sismica di secondo livello (PGA, SA, SI e H_{SM})

7.1. CARTA DELLE INDAGINI

La Carta delle indagini viene riprodotta in scala 1:10.000 suddivisa in 2 tavole A e B ed interessa tutto il territorio comunale; in essa sono ubicate e classificate tutte le indagini contenute nel database creato per questo lavoro con il software MS del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

In questa carta sono rappresentate tutte le indagini presenti nel territorio comunale di Mesola, sia quelle reperite dalla banca dati della Regione Emilia Romagna sia quelle della banca dati dello scrivente.

In aggiunta alle indagini reperite dai due archivi sono state realizzate nuove indagini geognostiche e geofisiche in aree che necessitavano di informazioni. Le nuove indagini sono nello specifico 6 penetrometrie suddivise in n. 2 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono sismico SCPTU spinte tutte fino alla profondità di -30,0 m da p.c., n. 4 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono CPTU spinte tutte fino alla profondità di -20,0 m da p.c. e n. 6 indagini geofisiche suddivise in n. 5 misure di microtremore a stazione singola H.V.S.R. e n. 1 indagine a sismica passiva E.S.A.C.

Le indagini totali presenti nel territorio risultano essere 518, così suddivise: n. 274 prove penetrometriche statiche CPT, n. 54 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU, n. 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica con piezocono e sismocono SCPTU, n. 20 prove dinamiche SPT, n. 85 sondaggi a carotaggio continuo, n. 17 sondaggi a distruzione di nucleo, n. 7 pozzi per acqua, n. 10 pozzi per idrocarburi, n. 36 sondaggi elettrici verticali S.E.V., n. 1 Array sismici ESAC e n. 11 misure di microtremore a stazione singola HVSR.

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 4.1.:

Legenda



Sondaggio a carotaggio continuo



Sondaggio a distruzione di nucleo



Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)



Prova penetrometrica statica con piezocono



Prova penetrometrica dinamica leggera



Verticale virtuale lungo tomografia elettrica



Array sismico, ESAC/SPAC



Pozzo per acqua



Pozzo per idrocarburi



Stazione microtremore a stazione singola



Stratigrafia zona MS (teorica)



Confine dell'area oggetto
dello studio di MS



Confine Comunale ISTAT

7.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA

La Carta geologico-tecnica viene riprodotta in scala 1:10.000, suddivisa in 2 tavole A e B comprensive di tutto il territorio 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 4.1:

LITOLOGIE

- SM: sabbie limose, miscela di sabbia e limo;
- OL: limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità;

AMBIENTI GENETICO-DEPOSIZIONALI

- cl: ambiente costiero, cordone litoraneo;
- pa: ambiente fluvio-lacustre, palustre;
- es: ambiente fluvio-lacustre, argine/barre/canali;

Legenda

Terreni di copertura

| | |
|--|--|
|  OL | Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità (pa = palustre) |
|  SM | Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (es = argine/barre/canali, cl = cordone litoraneo) |

Attraverso questa suddivisione è possibile osservare dalla carta come il territorio comunale di Mesola sia così suddiviso:

- 1) ad ovest, frazione di Ariano, dominano sedimenti alluvionali costituiti da **OL** (limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità, di ambiente deposizionale palustre (**pa**)).
- 2) dalla frazione di Massenzatica andando ad est, dominano sedimenti **SM** (sabbie limose, miscela di sabbia e limo), di ambiente deposizionale di cordone litoraneo (**cl**) laddove sono affioranti le sabbie, dove invece il tetto delle sabbie presenta una copertura di sedimenti fini asseribili ad un riempimento passivo di canale (paleoalveo del Gaurus - Po dell'Abate) l'ambiente deposizionale superficiale è di canale (**es**).

Nella porzione orientale del comune di Mesola i depositi di paleoalveo del Po dell'Abbate (Gaurus) ed i depositi di cordone litoraneo sono "non distinguibili" in quanto questa era un'area di foce con veloce progradazione delle terre verso est, nelle fasi di accrescimento del delta del Po. I depositi fluviali trovavano veloce ricollocazione sulle spiagge distribuiti dalle correnti di lungo costa. Quello che si è notato nell'analisi delle indagini, è che nell'alveo abbandonato del canale del fiume storico, occluso per autoinsabbiamento, è rimasta la

depressione che è stata successivamente ricoperta da sedimenti alluvionali distali di bassa energia idrodinamica, ovvero argille e limi. Quindi dove l'alveo (che presenta una copertura di sedimenti argillosi) interseca i cordoni litoranei (privi di coperture argillose), si è potuto ridisegnarne il tracciato.

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

La carta geologico-tecnica mostra inoltre le tracce di sezioni geologiche significative e rappresentative del modello del sottosuolo reperite dall'archivio della Regione Emilia Romagna. La sezione geologica profonda reperita è la Sez. 74.

Elementi geologici e idrogeologici

-  Profondità (m) del sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato geologico
-  Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie
-  Traccia di sezione geologica significativa e rappresentativa del modello del sottosuolo

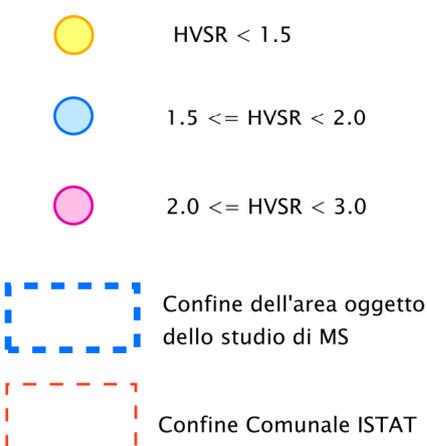
7.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI f_0 DEL TERRENO

La Carta delle frequenze naturali f_0 del terreno viene riprodotta in scala 1:10.000, suddivisa in 2 tavole A e B comprensive di tutto il territorio 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 1,5 di colore giallo, compresa tra 1,5 e 2,0 di colore azzurro e se compresa tra 2,0 e 3,0 con colore rosa.

Legenda

Frequenza: $1.0 < F_0 \leq 2.0$ Hz



Dalla carta emerge che tutto il territorio comunale di Mesola è rappresentato da una frequenza fondamentale pari a circa 1,0 Hz.

In **FIGURA 7.1** si riporta una immagine con alcune delle misurazioni fatte per questo studio sul territorio comunale.

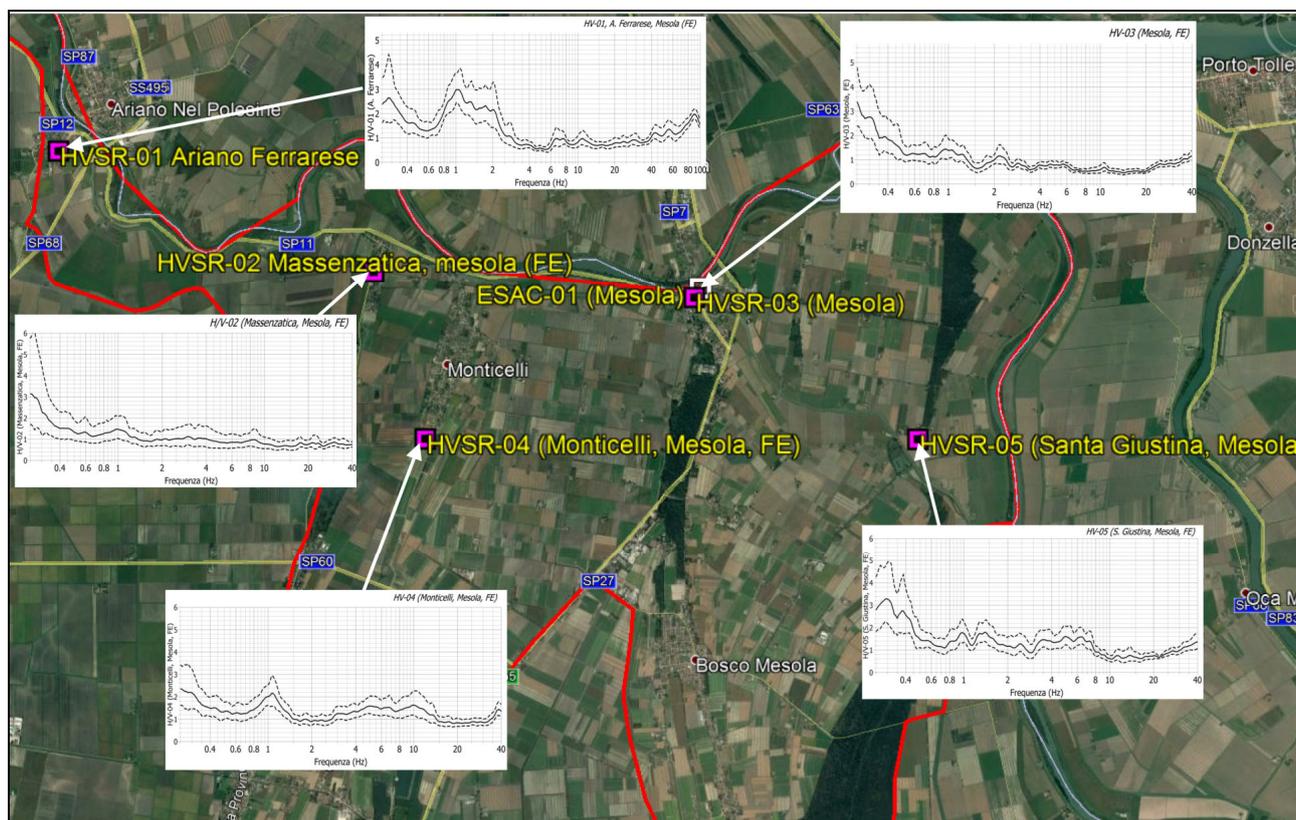


Figura 7-1 – Andamento delle frequenze fondamentali registrate con le prove HVSR

In questo settore di pianura, con il bedrock sismico così profondo, a parere dello scrivente queste frequenze fondamentali potrebbero essere riconducibili ad una superficie di contrasto a circa 200m di profondità.

Sotto a Mesola la base del subsistema di Bazzano (0,25-0,23 Ma) si colloca a circa -200m dal livello mare (da -150m ad ovest a -250m ad est), e potrebbe essere la responsabile di questo primo modo di vibrare.

Sotto a Mesola, la base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (0,45Ma) si colloca tra -350m e -400m dal livello mare, e dovrebbe produrre picchi a più bassa frequenza.

7.4. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica viene riprodotta in scala 1:10.000.

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 3 diverse zone suscettibili di amplificazioni locali rappresentate con un codice differente che va dal 2001 al 2003. 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. Le tre MOPS 2001, la 2002 e la 2003, presentano depositi sabbiosi nei primi 15m, quindi in accordo con il servizio geologico della Regione Emilia Romagna, il loro codice identificativo di MOPS viene anticipato dal codice 3050 (instabilità da liquefazione).

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

- **2001** Sabbie oloceniche affioranti di cordone litoraneo, con il tetto a profondità minori di 3m e spessore maggiore di 5m; questa MOPS.

- **2002** Sedimenti di palude e sedimenti fangosi di prodelta, con strati di sabbie oloceniche di spessore minimo 3m e profondità del tetto compresa tra 3m e 15m.

- **2003** Depositi di paleoalveo fluviale con sabbie di spessore almeno 5m e profondità del tetto a meno di 4m dal p.c.. Ad ovest lateralmente confinano con sedimenti di depositi di crevasse, da Massenzatica ad est confinano lateralmente con depositi di cordone litoraneo.

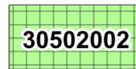
La DGR 630/2019, quando cita le zone suscettibili di instabilità per liquefazione in presenza di importanti spessori di terreni granulari saturi nei primi 20 m dal p.c., chiede di indicare anche le aree topograficamente rilevate rispetto alla piana circostante (dossi fluviali, arigni, ...) in cui è possibile l'innescio di fenomeni di espansione laterale (*lateral spreading*). Nel territorio di Mesola le accelerazioni di picco attese in superficie sono così basse che non si attendono fenomeni del genere. Sono però presenti situazioni di scalini topografici al passaggio tra gli allineamenti di paleodune ed i bacini vallivi bonificati.

Legenda

Zone di attenzione per instabilità da liquefazione



ZA_LQ – Zona di attenzione per Liquefazione
Zona 1 – Sabbie Oloceniche affioranti, tetto a
profondità minore di 3 m dal p.c. con spessore
maggiore di 5 m



ZA_LQ – Zona di attenzione per Liquefazione
Zona 2 –Sedimenti di palude e sedimenti fangosi di
prodelta con strati di sabbie Oloceniche di spessore
minimo 3 metri e profondità del tetto compresa tra 3
m e 15 m



ZA_LQ – Zona di attenzione per Liquefazione
Zona 3 – Depositi di paleoalveo fluviale con sabbie
di spessore almeno di 5 m e profondità del tetto a
meno di 4 m. Lateralmente confinano con sedimenti
di depositi di Crevasse.
Al letto passano a sedimenti fangosi di palude.

Punti di misura di rumore ambientale



4.5 Punto di misura ambientale
con indicazione del valore F0



Confine dell'area oggetto
dello studio di MS

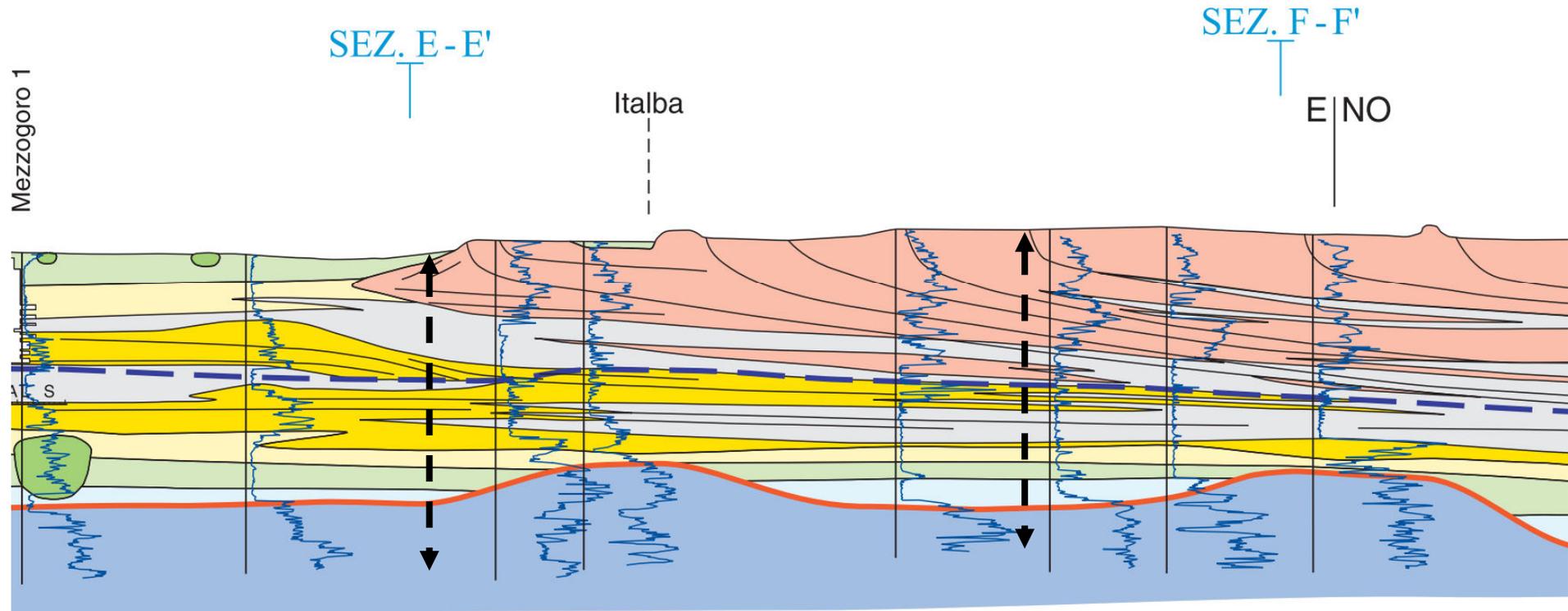


Confine Comunale ISTAT

CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

MOPS SABBIE OLOCENICHE AFFIORANTI DI DEPOSITI LITORANEI, TETTO A PROFONDITA' MINORE DI 3M DAL P.C. CON
SPESSORE MAGGIORE DI 5M

MOPS 2001



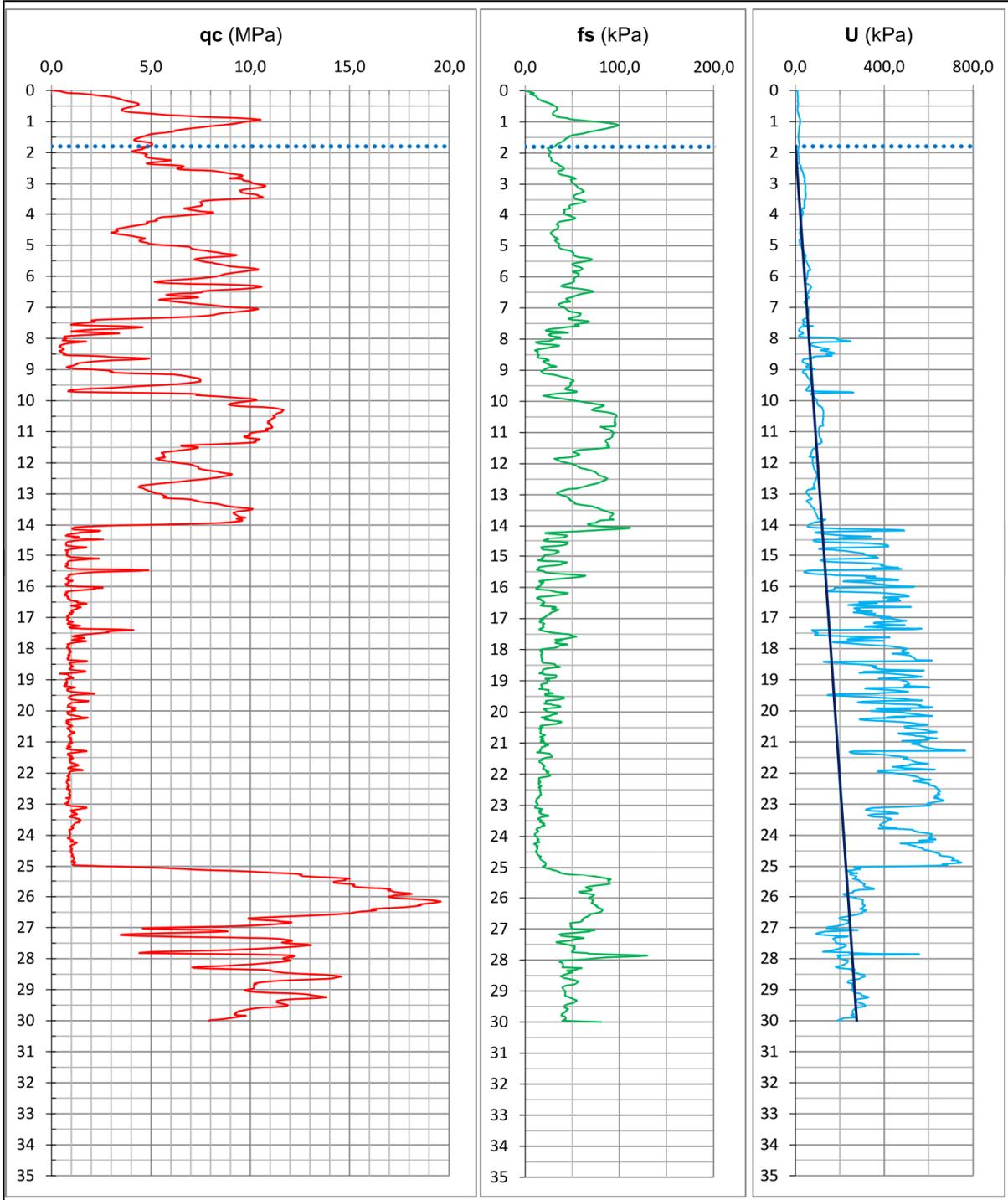
ALLINEAMENTI DI PALEODUNE COSTIERE

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

| | |
|-------------|----------|
| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
| U08-19 | CPTU1 |

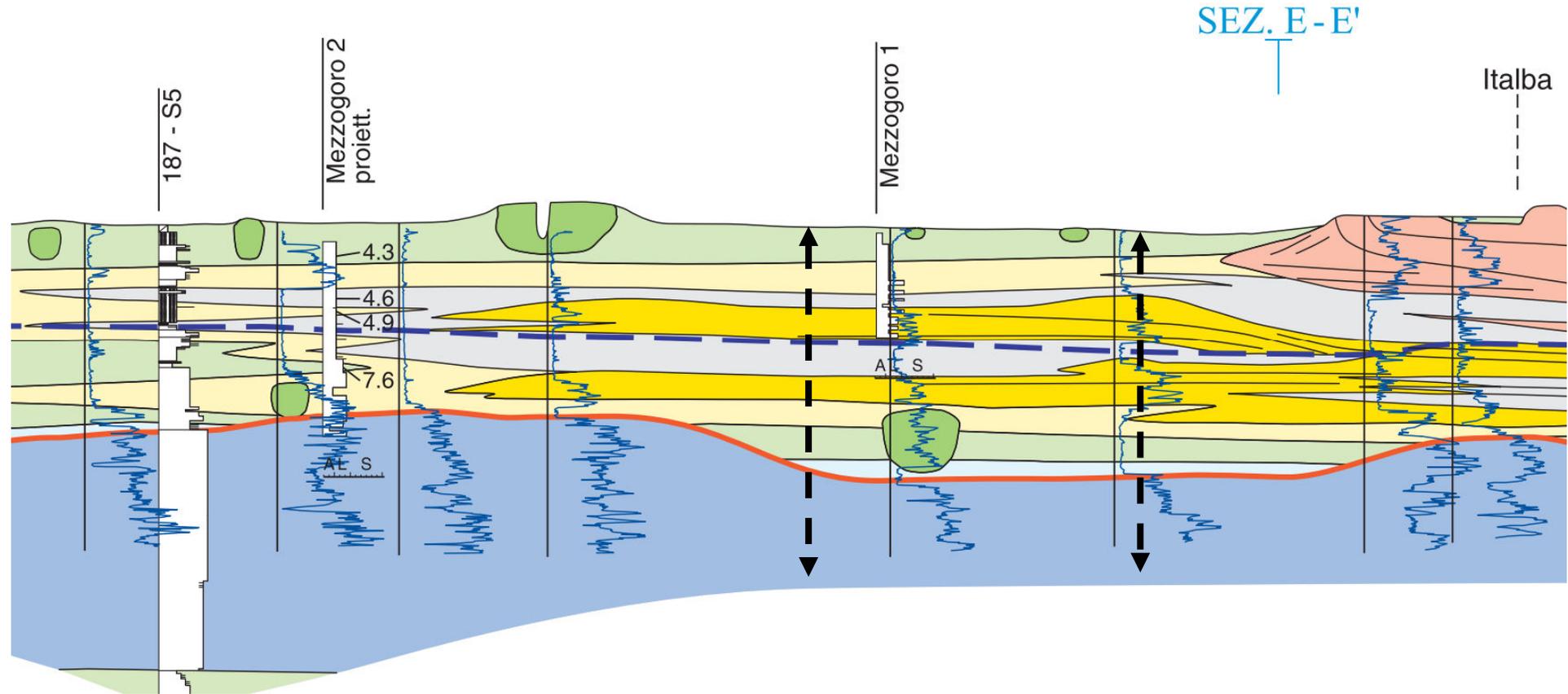
COMMITTENTE: COMUNITA' ALLOGGIO BOSCO SOC. COOP.
CANTIERE: via Don Gino Pucci, Bosco Mesola (Fe)
DATA: 30/01/2019

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,80
PREFORO (m da p.c.): 0,00



MOPS DEI SEDIMENTI DI PALUDE E SEDIMENTI FANGOSI DI PRODELTA CON STRATI DI SABBIE OLOCENICHE DI SPESSORE MINIMO 3 METRI E PROFONDITA' DEL TETTO COMPRESA TRA 3M E 15M.

MOPS 2002



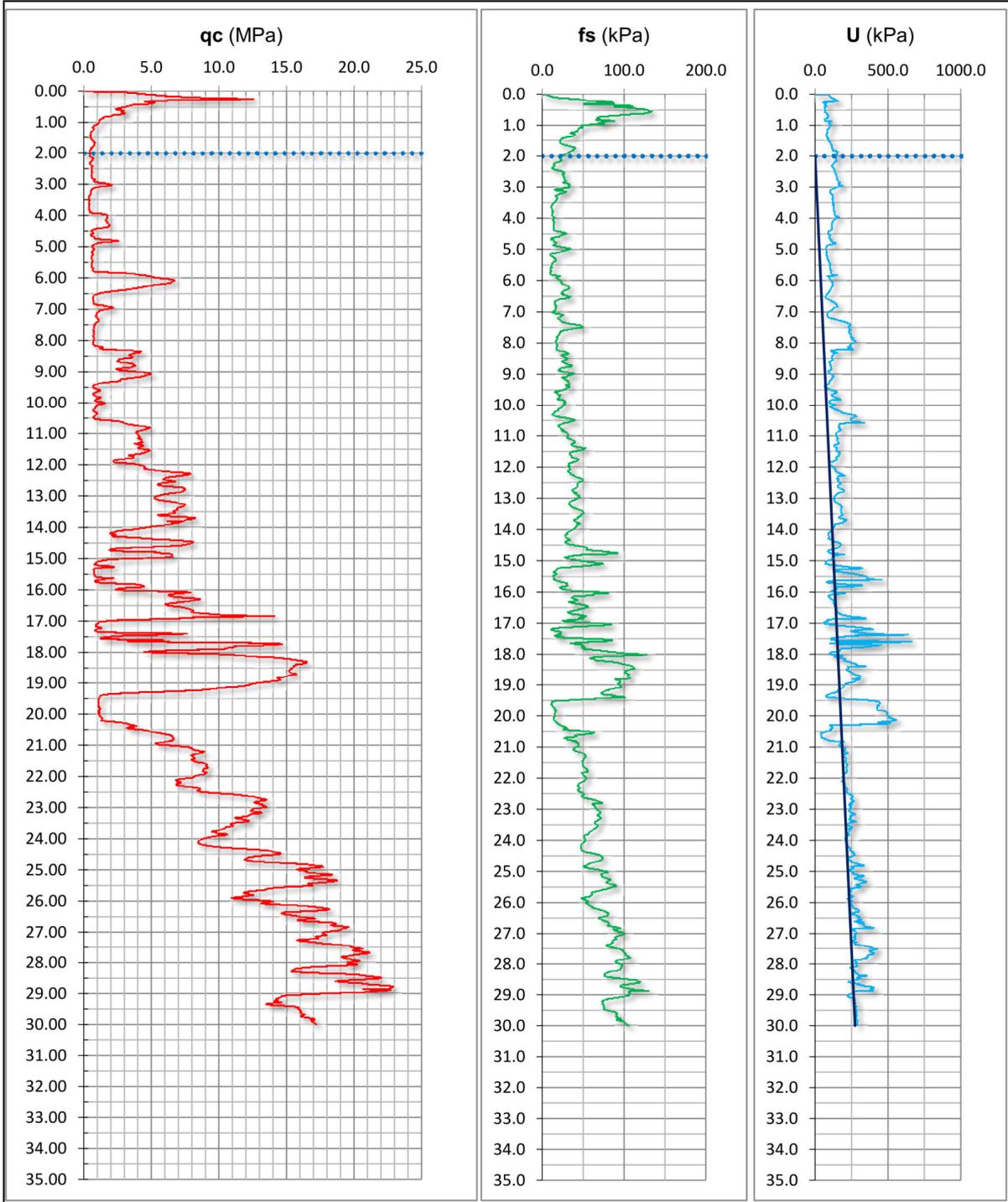
ZONE ESTERNE DA PALEOALVEO E ALLINEAMENTO DUNE

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

| | |
|-------------|----------|
| RIF. PROVA: | CPTU n°: |
| U97-15 | CPTU1 |

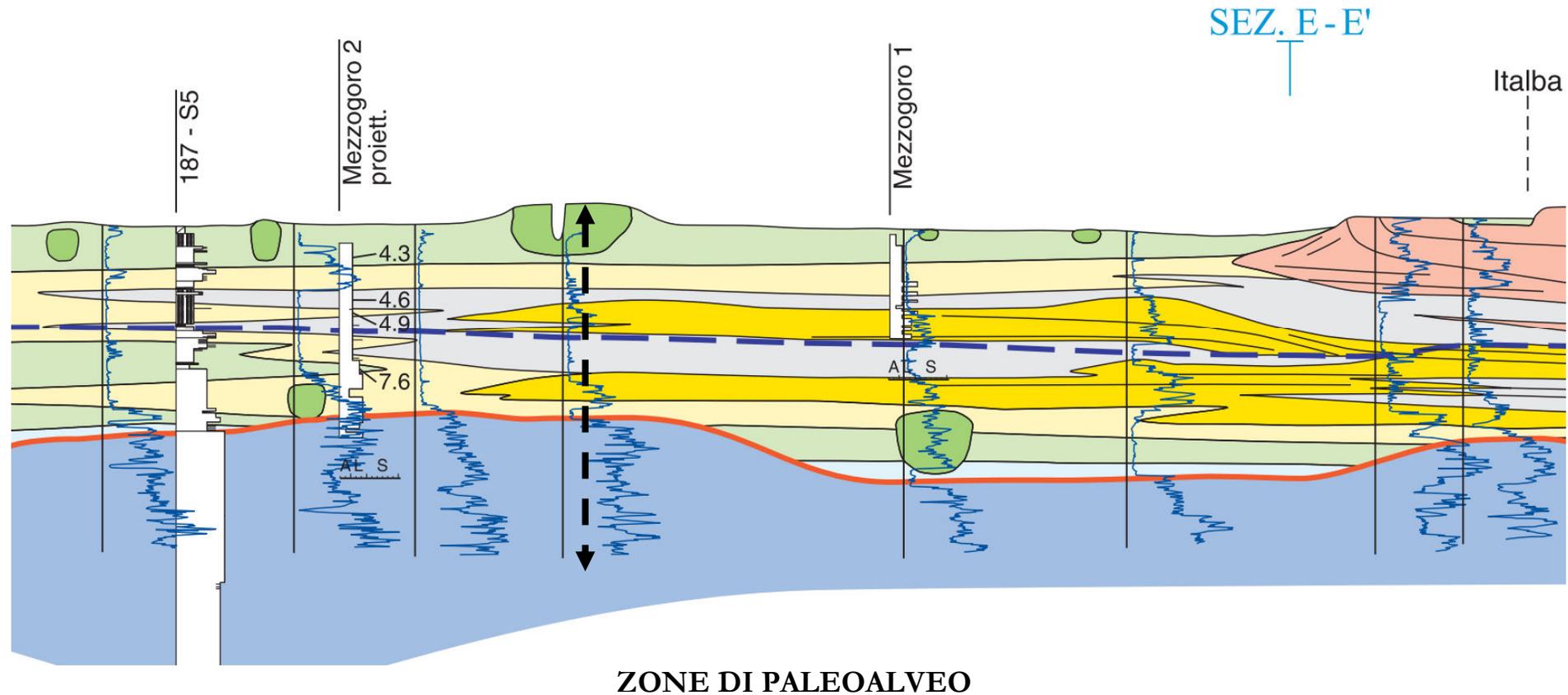
COMMITTENTE: Comune di Mesola
CANTIERE: Passerella ciclopedonale, Ariano (Fe)
DATA: 11/11/2015

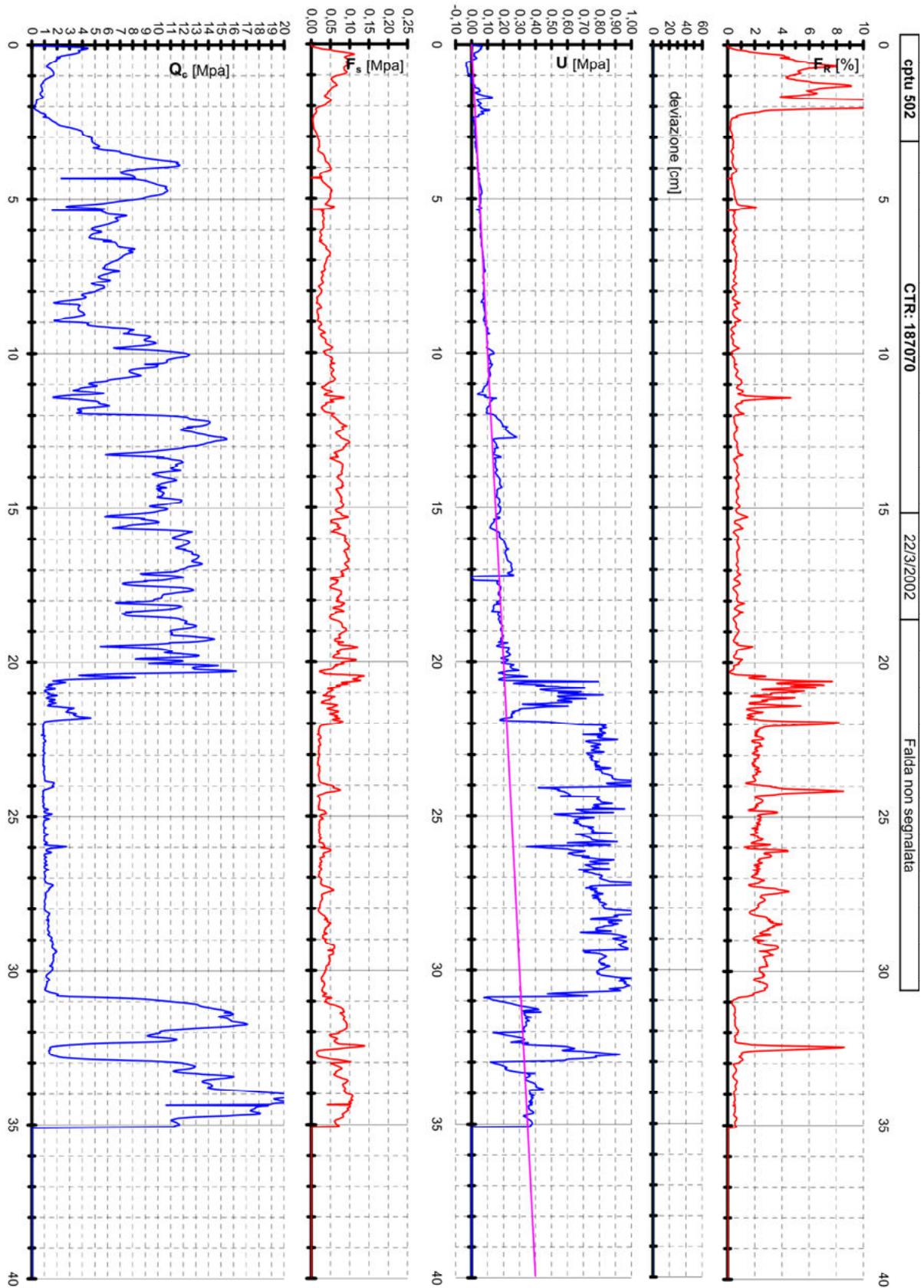
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 2,00
PREFORO (m da p.c.): 0,00



MOPS DI DEPOSITI DI PALEOALVEO FLUVIALE CON SABBIE DI SPESSORE ALMENO 5M E PROFONDITA' DEL TETTO A MENO DI 4M. AD OVEST LATERALMENTE CONFINANO CON SEDIMENTI DI DEPOSITI DI CREVASSE, DA MASSENZATICA VERSO EST CONFINANO CON DEPOSITI DI CORDONE LITORANEO.

MOPS 2003





Sulla instabilità per liquefazione potenziale nelle aree ove le accelerazioni sismiche attese in superficie sono inferiori a 0,10g, si apre una riflessione metodologica.

Secondo le Raccomandazioni AGI 2005 per la progettazione in condizioni sismiche, secondo le NTC 2018 e secondo la DGR 630/2019 nel comune di Mesola non sono attese accelerazioni sismiche maggiori di 0,10g per eventi con tempo di ritorno convenzionalmente scelto in 475anni (propri della pianificazione territoriale).

Quindi ad oggi il quadro normativo vigente consente di escludere l'occorrenza del fenomeno di sito della liquefazione delle sabbie.

Ma in accordo con il Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna, nell'incertezza sulla definizione della pericolosità sismica di base, per via di recenti studi che la propongono più alta di quella sino ad ora adottata dalle NTC2018 e dalla DGR 630/2019, si andrà a mantenere il retino dell'instabilità per liquefazione su tutta la porzione di territorio ove sono presenti sabbie sciolte oloceniche di recente sedimentazione, sature di acqua di falda, nei primi 15m.

Nel terzo livello di approfondimento poi si comprenderà se effettivamente ci saranno tali problemi, perché tali problemi li andranno 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 occorre scegliere delle soglie di eventi per cui progettare in modo sostenibile per la comunità, sarebbe bello e utile progettare opere ordinarie che resistono ad eventi estremi, ma non sarebbe sostenibile economicamente e socialmente.

Le analisi da terzo livello condotte dallo scrivente per diversi lavori sul territorio comunale denotano comunque che per eventi di ritorno di 475 anni, non sono attesi effetti di instabilità per liquefazione, in quanto le analisi condotte con "metodi semplificati" denotano sempre che la tensione di taglio ciclica media indotta dall'azione sismica di riferimento CSR è sempre inferiore del rapporto di resistenza ciclica CRR, ed il fattore di resistenza alla liquefazione $F_L(z)$ è sempre maggiore di 1,2.

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, occorre scegliere delle soglie di eventi dettate dalle norme, le quali sono state scelte per 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.

7.5. 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.

Nella carta di microzonazione sismica allegata a questo studio, vengono riportati i valori di Vs30 ricavati attraverso misure dirette tramite prove SCPTU e tramite prove Re.MI. o M.A.S.W., come richiesto dalle linee guida per la loro compilazione dettate dal DPCN.

In **FIGURA 7.2**, invece, viene proposta una mappa ove sono indicati oltre i valori diretti ricavati mediante sismocono e indagini geofisiche a multi-stazione anche i valori di Vs30 ottenuti da correlazione empiriche con le prove penetrometriche statiche.

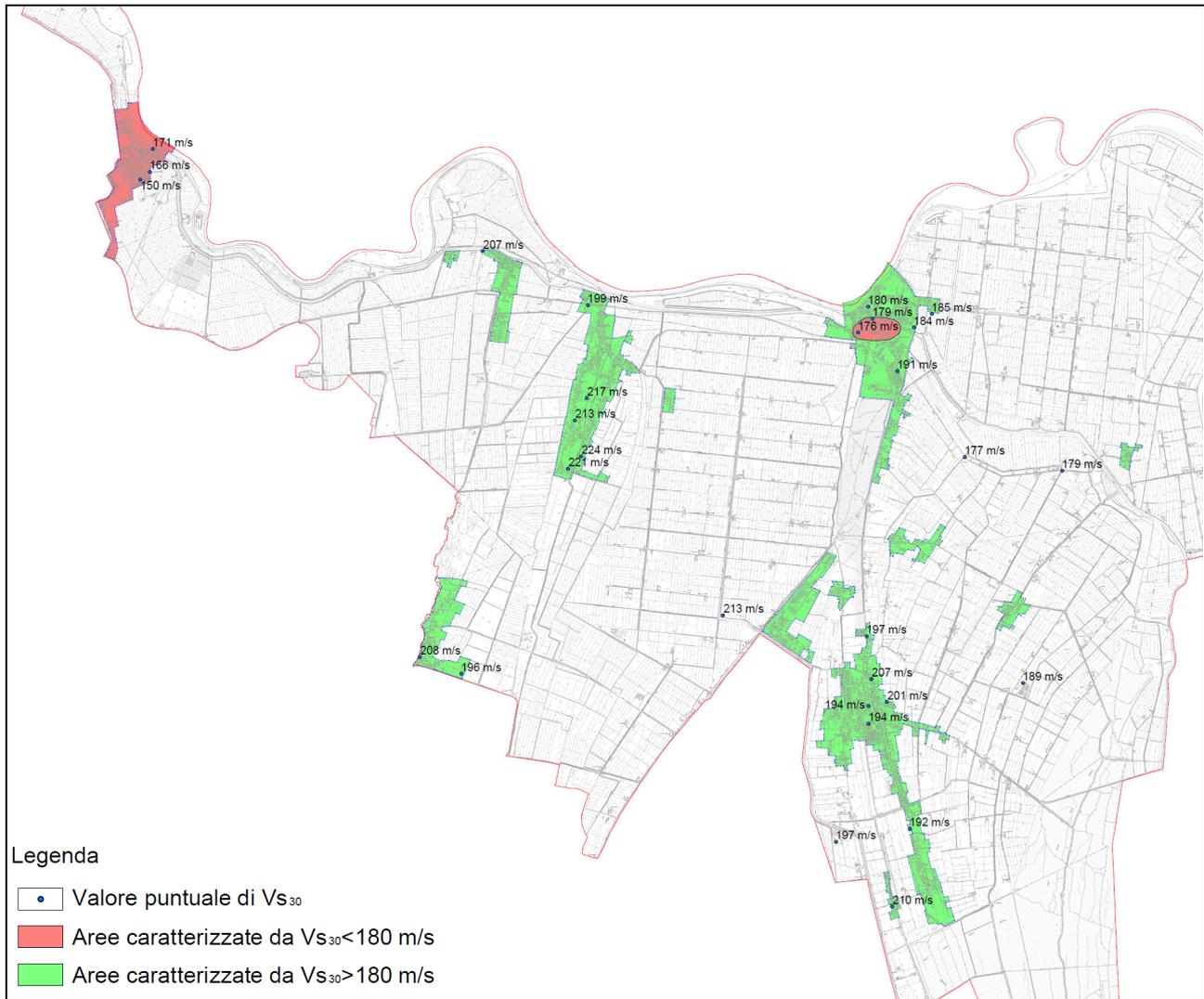


Figura 7-2 - carta delle Vs30 su tutto il territorio comunale

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,

V_i : velocità delle onde di taglio “S” nello strato iesimo.

I valori di V_{s30} sono stati calcolati in diversi modi:

- Correlazione empirica da penetrometrie;
- Misure dirette mediante sismocono;
- Prove geofisiche

Correlazione empirica da penetrometrie

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

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

In letteratura esistono numerose correlazioni empiriche tra le misure di q_c e di V_{s30} anche se il livello deformativo indotto nel terreno dalla penetrazione della punta penetrometrica provoca la rottura del materiale mentre le onde di taglio si propagano senza intaccare la struttura del terreno in condizioni di deformazioni praticamente elastiche. La correlazione utilizzata è stata proposta da Andrus et al. (2001) ed utilizza valori di q_c e di V_{s30} normalizzati rispetto allo stato tensionale, in questa formula non viene tenuto conto dell’attrito laterale f_s e viene introdotto un coefficiente correttivo per l’età del deposito che viene indicato con ASF.

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

La correlazione è la seguente:

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

dove:

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

resistenza alla punta normalizzata alla tensione verticale;

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

velocità corretta per tenere in conto lo stato tensionale verticale;

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

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

p_a = pressione atmosferica.

Nella **Tabella 7.1** sono riportati i coefficienti A e α .

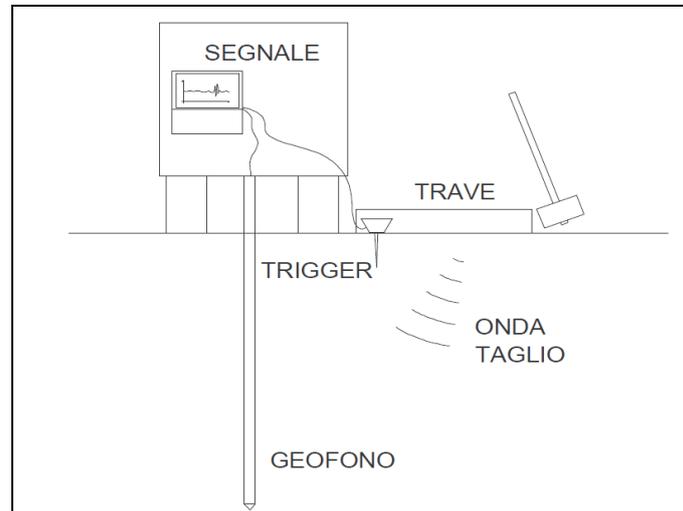
| | Argilla | Limo | Sabbia |
|----------|---------|-------|--------|
| A | 80.64 | 77.83 | 53.64 |
| α | 0.28 | 0.24 | 0.33 |

Tabella 7.1 – Coefficienti A (m/s) e α

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:

$VR \cong 0.92 VS$

VR: velocità di fase dell'onde Rayleigh

VS: 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 microtrempi mediante la quale vengono registrate onde passive di sottofondo attraverso uno stendimento di geofoni lineare equidistanziati.

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

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

In ogni caso i valori misurati di Vs30 sono tutti compresi tra 150m/sec e 224m/sec.

7.6. 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 e sono focalizzate sui soli perimetri oggetto dello studio di microzonazione sismica.

Le definizioni date dalla D.G.R. 630/2019 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 Mesola 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 Vs_{30} comprese tra 150 m/s e 224 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. 630 del 2019 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.

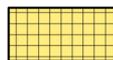
Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FAPGA = 1,3 - 1,4

Zone suscettibili di instabilità



ZALQ Zone di attenzione per le liquefazioni FAPGA = 1,3 - 1,4

Elementi cartografici



Limiti amministrativi

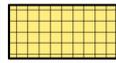
Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



$FA_{0,1-0,5 s} = 1,3 - 1,4$

Zone suscettibili di instabilità



ZS_{LQ} Zone di attenzione per le liquefazioni $FA_{0,1-0,5 s} = 1,3 - 1,4$

Elementi cartografici



Limiti amministrativi

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



$FA_{0,4-0,8 s} = 2,1 - 2,2$

Zone suscettibili di instabilità



ZS_{LQ} Zone di attenzione per le liquefazioni $FA_{0,4-0,8 s} = 2,1 - 2,2$

Elementi cartografici



Limiti amministrativi

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



$FA_{0,7-1,1 s} = 2,5 - 3,0$

Zone suscettibili di instabilità



ZS_{LQ} Zone di attenzione per le liquefazioni $FA_{0,7-1,1 s} = 2,5 - 3,0$

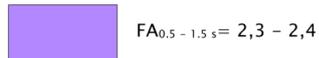
Elementi cartografici



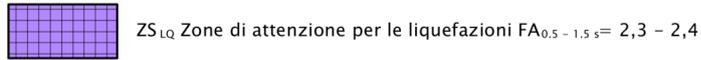
Limiti amministrativi

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone suscettibili di instabilità

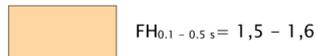


Elementi cartografici

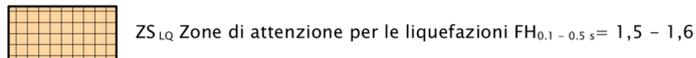


Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone suscettibili di instabilità

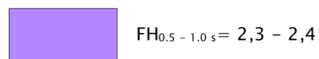


Elementi cartografici

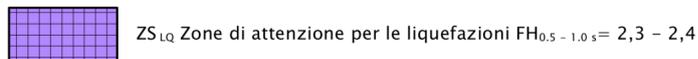


Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone suscettibili di instabilità



Elementi cartografici





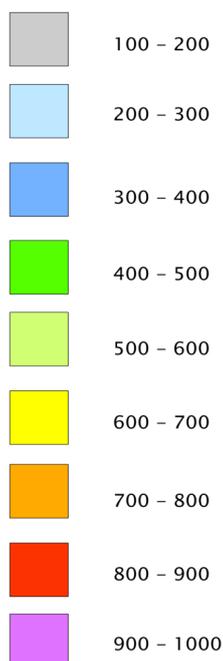
E' stata prodotta anche una carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, 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:

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

La legenda della carta H_{SM} presenta una gradazione di colori differenti per ogni intervallo espresso in cm/s^2 , forniti dalla Regione Emilia Romagna. Nella stessa carta vengono inoltre identificate tutte quelle zone di attenzione per instabilità da liquefazione e la griglia degli abachi secondo il D.G.R. 630/2019 con i valori puntuali di HSM.

Legenda

HSM (cm/s^2)



Zone di Attenzione per instabilità per liquefazione



Valore HSM puntuale

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nella **FIGURA 7.4**.

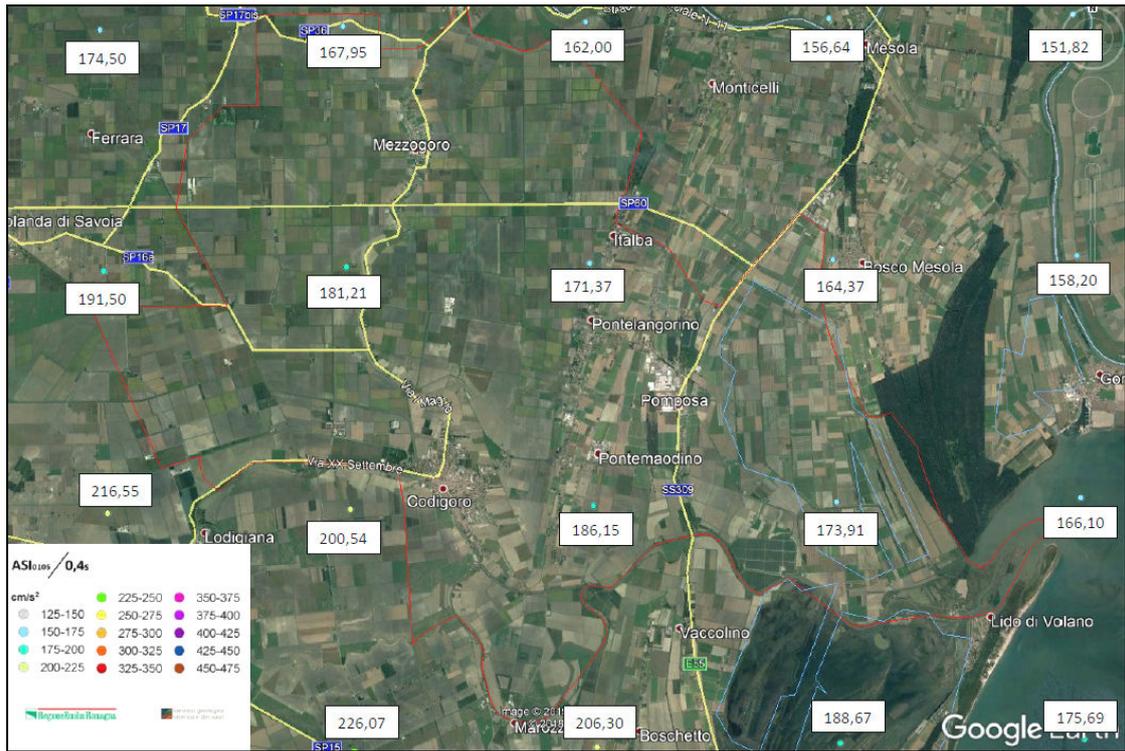


Figura 7-3 - distribuzione dei valori $ASI_{0,1-0,5}/0,4sec$

In **FIGURA 7.5** viene invece riportato il risultato del calcolo che porta alla determinazione della distribuzione del valore di H_{SM} nel territorio mesolano.



Figura 7-4 - distribuzione dei valori H_{SM}

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 7.6** 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.

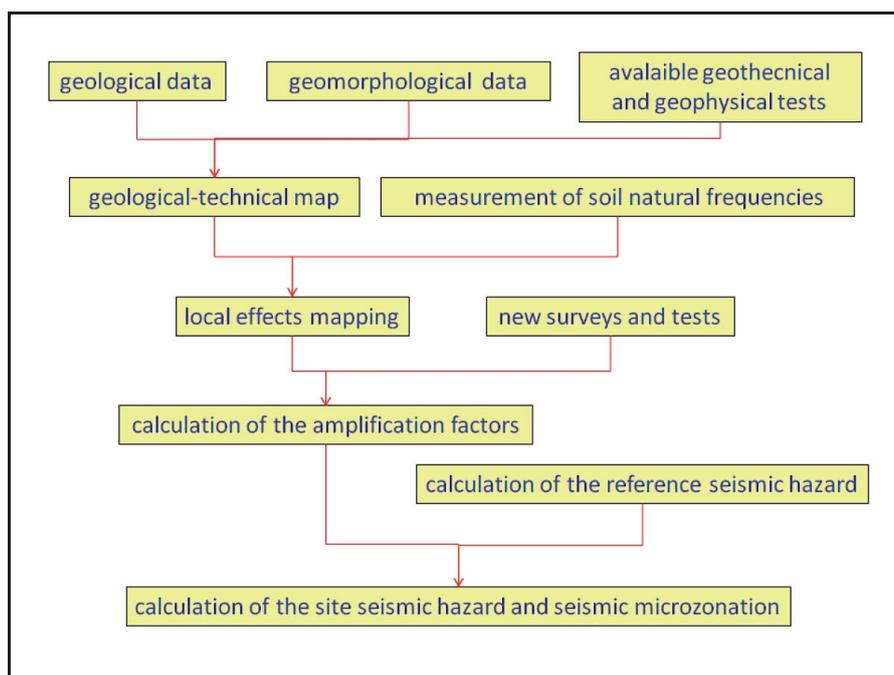


Figura 7-5 - Schema per la mappatura del rischio sismico del sito secondo le linee guida italiane per la microzonazione sismica (SM Working Gruppo, 2015; CTMS, 2017c)

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.

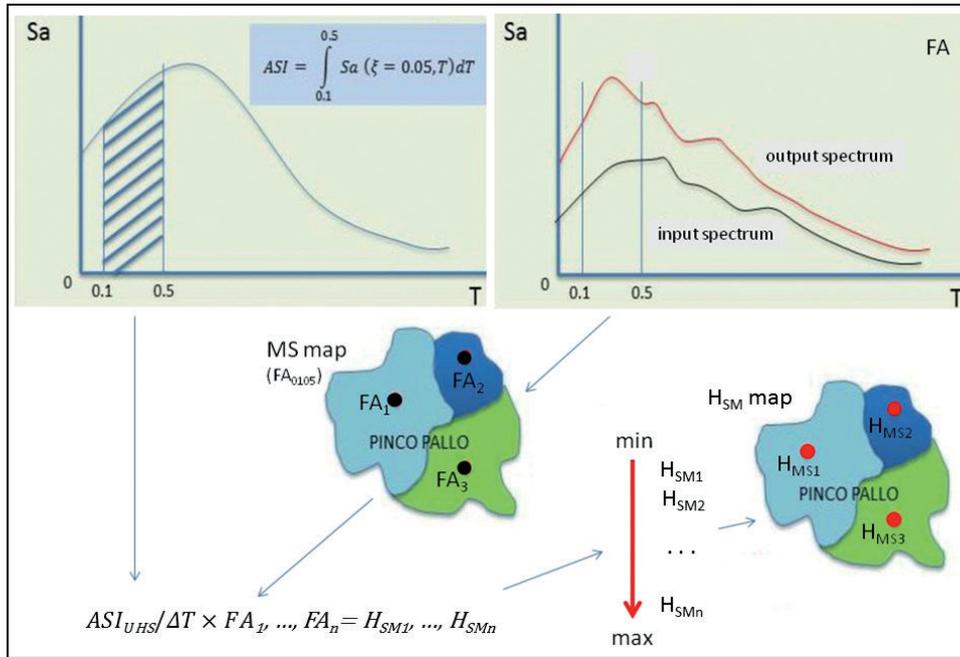


Figura 7-6 - Schema per il calcolo del parametro HSM e mappatura HSM

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 7.2** 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 | $180 < H_{SM} \leq 340$ | $340 < H_{SM} \leq 650$ | $650 < H_{SM} \leq 1240$ | > 1240 |
| potential damage | none - very light | very light - moderate | moderate - heavy | heavy | very heavy |
| instrumental intensity | $\leq VI$ | VII | VIII | IX | $\geq X$ |

Tabella 7.2

Nel territorio comunale le fasce individuate appartengono alla "moderato-basso".

8. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Nel comune di Mesola non sono documentati danni da eventi sismici passati. Anche in corrispondenza degli eventi del maggio 2012 non sono stati documentati danni che abbiano avuto come conseguenza delle Ordinanze del Sindaco.

9. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Albarello D., Castellaro S., (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In "Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica", *Ingegneria sismica*, a. XXVIII, n. 2.
- Amorosi A., (1997a) - Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sedimentary Geology*, 109: 135-153.
- Amorosi A., (1997b) - Miocene shallow-water deposits of the northern Apennines: A stratigraphic marker across a dominantly turbidite foreland-basin succession. *Geologie en Mijnbouw*, v. 75, p. 295-307.
- Amorosi A. & Farina M., (1995) - Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (Northern Italy). *Giornale di geologia*, 57: 3-16.
- ASTM, (1985) - Classification of Soils for Engineering Purposes. Annual Book of ASTM Standards, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, 1985, pp. 395-408.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone, P., (1990) - Structural model of Italy - Sheet n. 1, in: Castellarin A., Coli M., Dal Piaz G.V., Sartori R., Scandone P., Vai G.B. (Eds.), *Structural model of Italy*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Tanini C. and Vannucci G., (2004) - Seismotectonic Map of the Emilia-Romagna Region, 1:250.000. Regione Emilia-Romagna - CNR.
- Boccaletti M., Martelli L., (Coords) (2004) - Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna scala 1:250.000 e note illustrative. SELCA, Firenze.
- Bruun P., (1962) - Sea-level rise as a cause of shore erosion. *American Society of Civil Engineers Proceedings, Journal of the Waterways and Harbors Division* 88, 117-130
- Burrato P., Ciucci F., Valensise G., (2003) - An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting. *ANNALS OF GEOPHYSICS* 46.
- Burrato P., Vannoli P., Fracassi U., Basili R., Valensise G., (2012) - Is blind faulting truly invisible Tectonic-controlled drainage evolution in the epicentral area of the May 2012, Emilia-Romagna earthquake sequence (Northern Italy). *ANNALS OF GEOPHYSICS* 55.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 187-Codigoro. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2005) - Foglio 199-Parma Sud. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 203-Poggio Renatico. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 204-Portomaggiore. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 205-Comacchio. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - Foglio 202-San Giovanni in Persiceto. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2005) - Foglio 240-241 Forlì-Cervia. APAT-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Castellaro S., (2012) - H/V: un contributo oltre Vs30. Tecniche spedite per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici, a cura di Marco Mucciarelli, ARACNE editrice, 448 pp.
- Castellaro S. e Mulargia F., (2011) - Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., (2006) - CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://csi.rm.ingv.it>

- Cerrina Feroni A., Ottria G., Martinelli P., Martelli L., Catanzariti R., (2002) - Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, 1:250.000. SELCA, Firenze.
- Commissione tecnica MS3907, (2014) - di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS vers. 4.1.
http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4.1_open.pdf.
- Correggiari A., Field M.E., Bortoluzzi G., Ligi M., and Penitenti D., (1992b) - Ridge and swale morphology on the North Adriatic epicontinental shelf. *Rapport CIESM* 33:125.
- D.A.L. Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02 febbraio 2007 - Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della LR 20/2000 per Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. *Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna* n. 64 del 17/05/2007.
- D.C.P. Provincia di Ferrara n. 32 del 29/05/2014 - Variante al PTCP della Provincia di Ferrara: ambiti produttivi sovracomunali e sistema infrastrutturale, contenente una Relazione di Quadro Conoscitivo inerente la sismicità in Provincia di Ferrara;
- D.G.R. Emilia-Romagna n. 1919/2013: Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/13 a favore degli Enti locali.
- DISS Working Group, (2015) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>. INGV 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Di Dio G. & L. Caporale - "Un modello fisico tridimensionale della conoide alluvionale del Fiume Reno per la gestione degli acquiferi e lo studio della subsidenza." BRIGHENTI G. & MESINI E. (a cura di), *Problemi di Geoingegneria: estrazione di fluidi e subsidenza*, GEOfluid 98 (1998): 67-76
- Dominguez J.M.L. & Wanless H.R., (1991) - Facies architecture of a falling sea-level strandplain, Doce river coast, Brazil. In: Swift djp and oertel gf (Eds), *Shelf Sandstone Bodies (special issue)*. *Int Assoc Sedimentol* 14: 259-289.
- Emergeo Working Group, (2013) - Liquefaction phenomena associated with the Emilia earthquake sequence of May-June 2012 (Northern Italy). *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.*, 13, 935-947.
- Farabegoli E., Onorevoli G., Ruffino C., Costantini B., (1997) - Subsurface structure of southern Po Plain Quaternary deposits (Ravenna Province, Italy). *Special publication, Bologna University-Agip (Eds.)* 12.
- Galli P., Castenetto S., Peronace E., (2012a) - Terremoti dell'Emilia - Maggio 2012. Rilievo macrosismico MCS speditivo. Rapporto finale. 15 giugno 2012, <http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf>.
- Galli P., Castenetto S., Peronace E., (2012b) - The MCS macroseismic survey of the Emilia 2012 earthquakes. *Annals of Geophysics* Vol. 55, No 4.
- Gruppo di Lavoro MPS, (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il DPC, INGV, Milano-Roma, pp 65 + 5 appendici.
- Gruppo di Lavoro MS, (2008) -Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e CD-rom. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G., (2007) - 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.
L. Martelli, G. Ercolessi, F. Sani, M. Bonini, G. Corti, M. Santulin, A. Tamaro, A. Rebez, D. Slejko "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: (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, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste) Stampa Centro Stampa Regione Emilia-Romagna - settembre 2017
- 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.
- G. Naso, L. Martelli, M. Baglione, F. Brammerini, S. Castenetto, V. D'Intinosante3 and G. Ercolessi "Maps for land management: from geology to seismic hazard" Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata Vol. 60, n. 2, pp. 277-294; June 2019
- 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*.
- Veronese T., Madiati C., Vannucchi G., Baglione M., Martelli L. "Utilizzo di prove penetrometriche statiche a punta meccanica per la stima del potenziale di liquefazione"- *Rivista Italiana di Geotecnica AGI* - 2014.