

## **Gruppo di lavoro:**

### *Microzonazione sismica di II livello:*

Dott. Geol. Thomas Veronese

Dott. Geol. Andrea Pavanati

Dott. Luca Minarelli - Geotema srl

### *Analisi della Condizione Limite di Emergenza*

Dott. Ing. Chiauzzi Leonardo

### *Indagini geofisiche e interpretazione dati geofisici*

Dott. Luca Minarelli - GEOTEMA srl

### *Indagini geologiche in situ:*

Dott. Geol. Thomas Veronese

### *Cartografia e progetto GIS:*

Dott. Luca Minarelli - Geotema srl

Dott. Geol. Andrea Pavanati

### **Collaboratori**

Dott. Geol. Sara Franciosi

Dott. Geol. Luca Lunghi

INDICE:

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
1.1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	3
1.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
<b>2.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
2.1.	ASSETTO TETTONICO .....	5
2.2.	TERREMOTI STORICI E MAGNITUDO .....	16
2.2.1.	<i>LA MAGNITUDO ATTESA .....</i>	<i>23</i>
2.3.	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	29
	<i>Legge 2/ 2/ 74 n. 64 .....</i>	<i>29</i>
	<i>OPCM 3274 del 20/03/2003.....</i>	<i>30</i>
	<i>D.M. 14/09/2005.....</i>	<i>31</i>
	<i>OPCM 3519/2006.....</i>	<i>31</i>
	<i>D.M. 14/01/2008 "nuove NTC" e successivo D.M. 17/02/2018 "aggiornamento delle NTC" .....</i>	<i>32</i>
	<i>"Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007" per la Pianificazione territoriale ed urbanistica.....</i>	<i>32</i>
	<i>"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 2193, DEL 21 DICEMBRE 2015" PER LA PLANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA .....</i>	<i>33</i>
	<i>"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 630, DEL 29 APRILE 2019" PER LA PLANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA .....</i>	<i>35</i>
2.4.	CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE.....	41
2.5.	CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA .....	43
2.6.	CENNI SULLA SUBSIDENZA .....	50
<b>3.</b>	<b>DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....</b>	<b>57</b>
3.1.	INDAGINI PREGRESSE .....	57
3.2.	INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA .....	58
<b>4.</b>	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....</b>	<b>59</b>
4.1.	SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO .....	64
4.2.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI) .....	65
4.3.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES).....	65
4.4.	SUBSINTEMA DI BAZZANO – AES 6.....	67
4.5.	SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7.....	67
4.6.	SUBSINTEMA DI RAVENNA – AES 8 E UNITA' DI MODENA – AES8A.....	68
<b>5.</b>	<b>INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE .....</b>	<b>72</b>
5.1.	CAUSE SCATENANTI PER LA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE .....	72
5.2.	DISTRIBUZIONE E DIMENSIONI DELLE FORME GEOMORFOLOGICHE.....	76
<b>6.</b>	<b>METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....</b>	<b>78</b>
<b>7.</b>	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI .....</b>	<b>83</b>
7.1.	CARTA DELLE INDAGINI.....	83
7.2.	CARTA GEOLOGICO TECNICA .....	86
7.3.	CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI F <sub>0</sub> DEL TERRENO .....	88
7.4.	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA .....	90
7.5.	CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs).....	103
	<i>Correlazione empirica da penetrometrie .....</i>	<i>104</i>
	<i>Misure dirette mediante sismocono.....</i>	<i>104</i>
	<i>Indagini geofisiche.....</i>	<i>105</i>
7.6.	CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE .....	107
<b>8.</b>	<b>CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....</b>	<b>115</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>116</b>

## 1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'amministrazione comunale di Codigoro 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 del Responsabile n°347 del 19/07/2019 del Comune di Codigoro).

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.

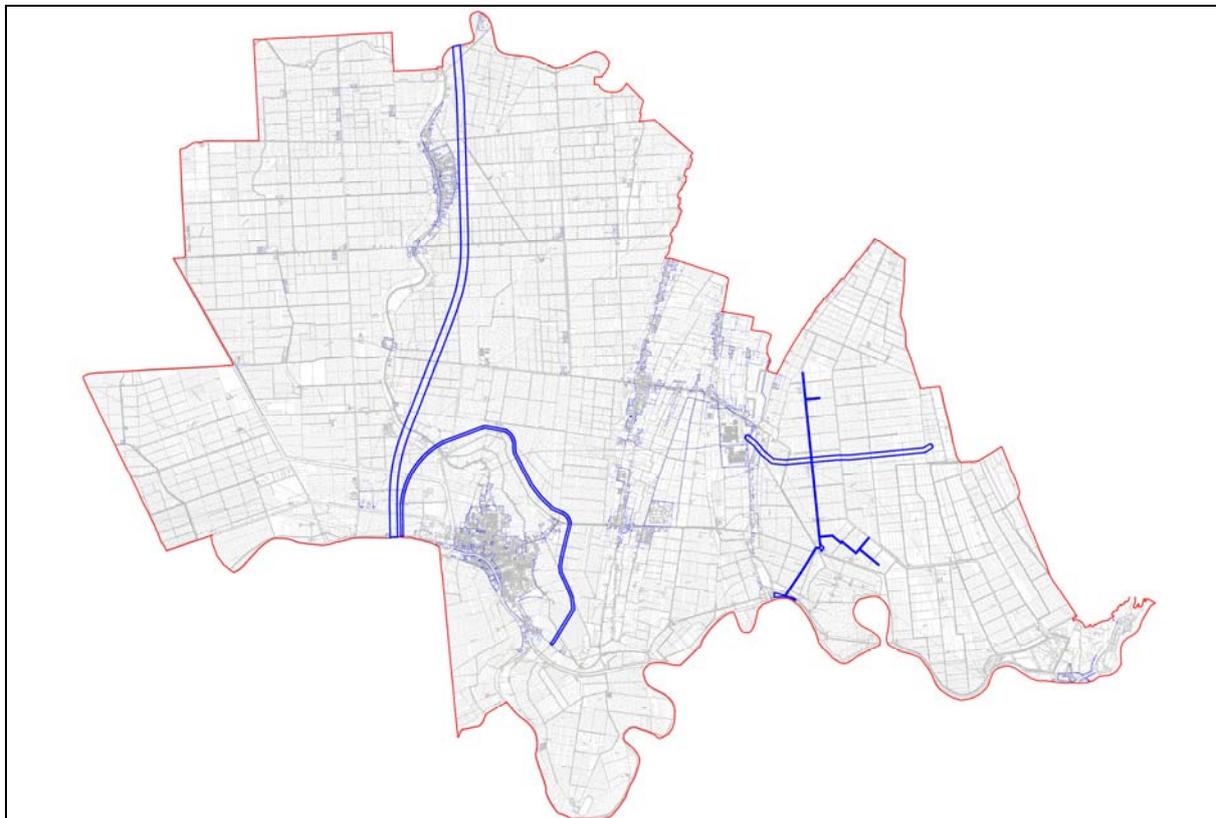
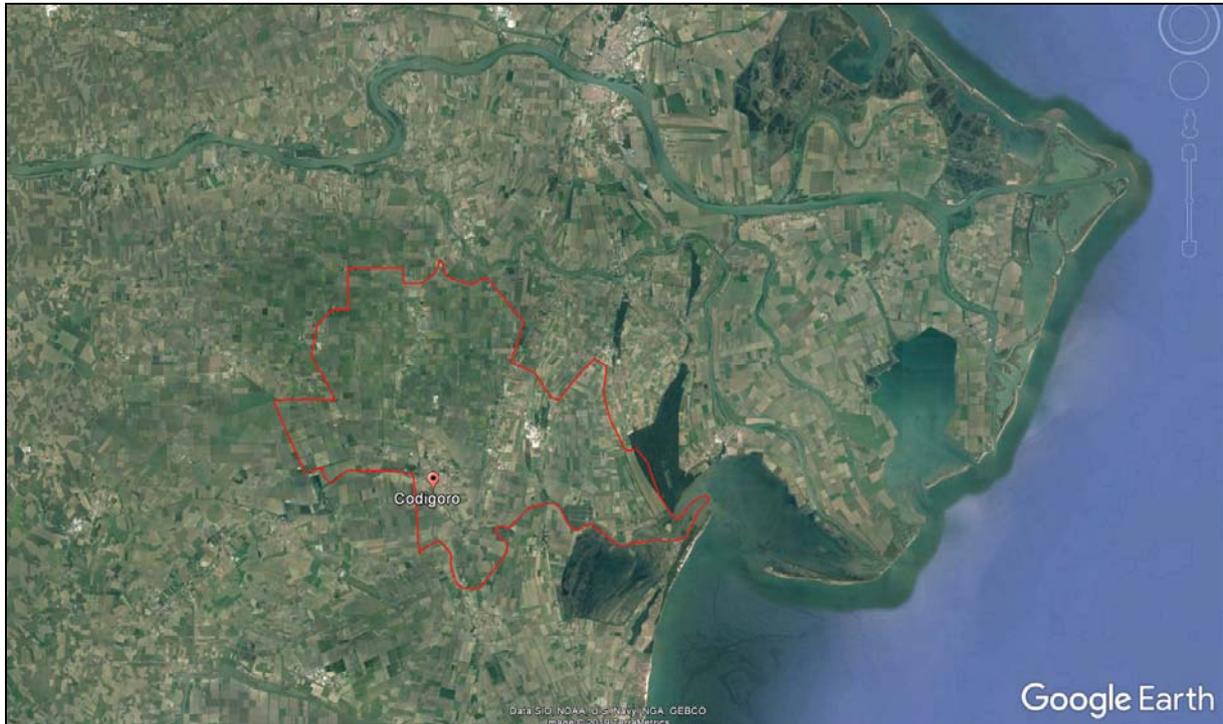
## 1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Codigoro è compreso nella seguente cartografia:

- Scala 1: 50.000: Foglio 187 Codigoro, Foglio 205 Comacchio.

- Scala 1: 25.000: Foglio 187 NE Goro, Foglio 187 SE Goro, Foglio 187 SO Codigoro, Foglio 187 NO Serravalle, Foglio 205 NO Lagosanto.

Il comune di Codigoro confina a nord con il Comune di Mesola, ad est con il Comune di Goro, a sud con i Comuni di Comacchio e Lagosanto, ad ovest con i comuni di Massafiscaglia e Jolanda di Savoia.



*TERRITORIO COMUNALE DI CODIGORO - 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 fasce di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; internamente, cioè nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo.

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

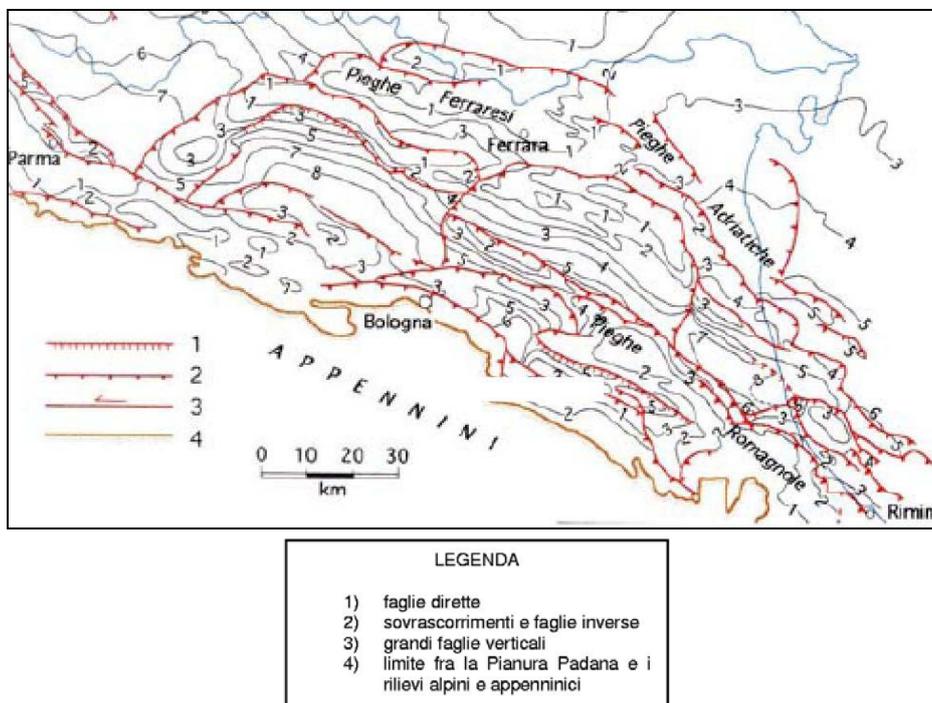
all'instaurarsi in sequenza alterna di ambienti deposizionali marini, costieri, deltizi e lagunari in relazione a locali processi di sollevamento e di subsidenza.

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

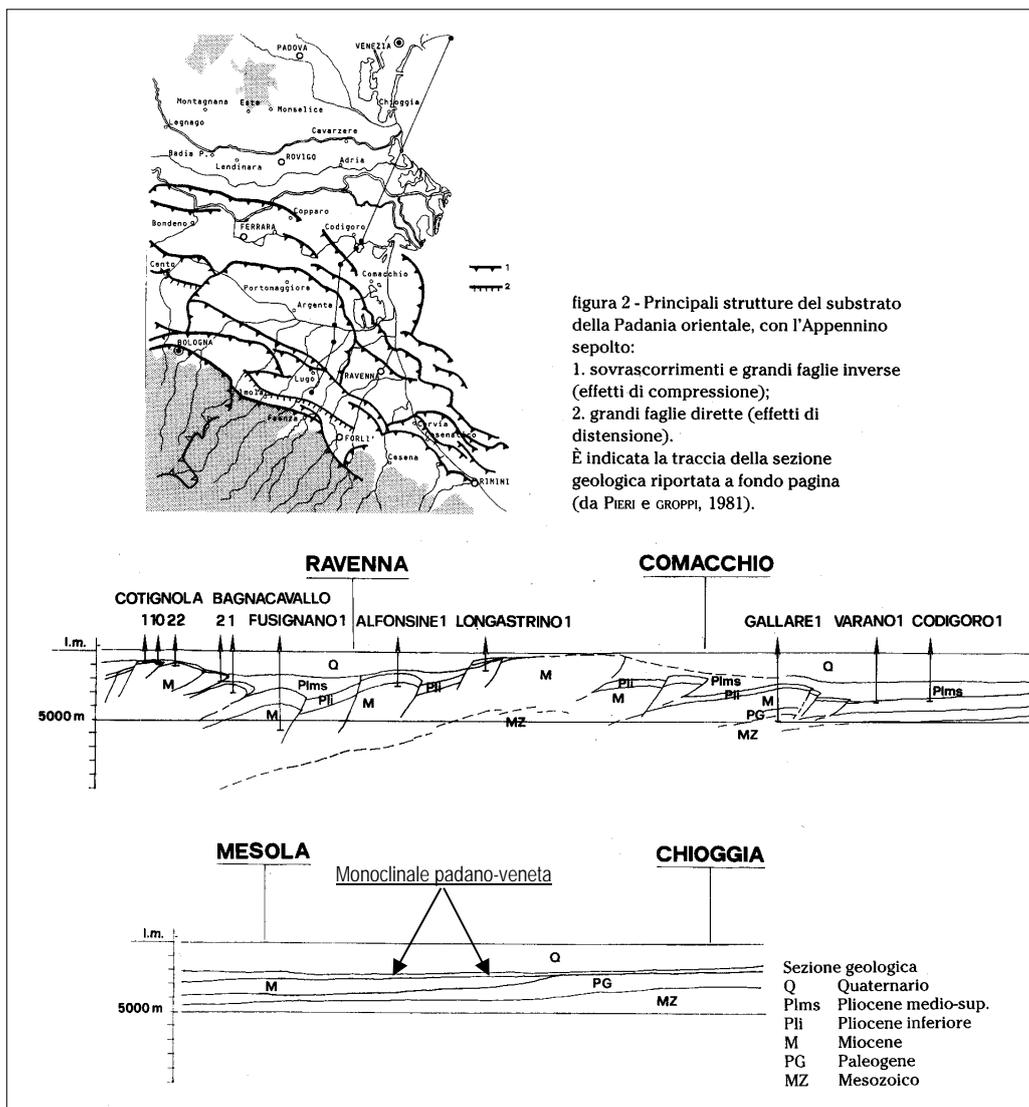
L'assetto strutturale dei sedimenti plio-quaternari è caratterizzato da blande anticlinali e sinclinali, più accentuate nella parte basale della serie, ove sono presenti anche strutture a trappola sedimentaria o tettonica, e sempre più deboli man mano che ci si avvicina alla superficie attuale.

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

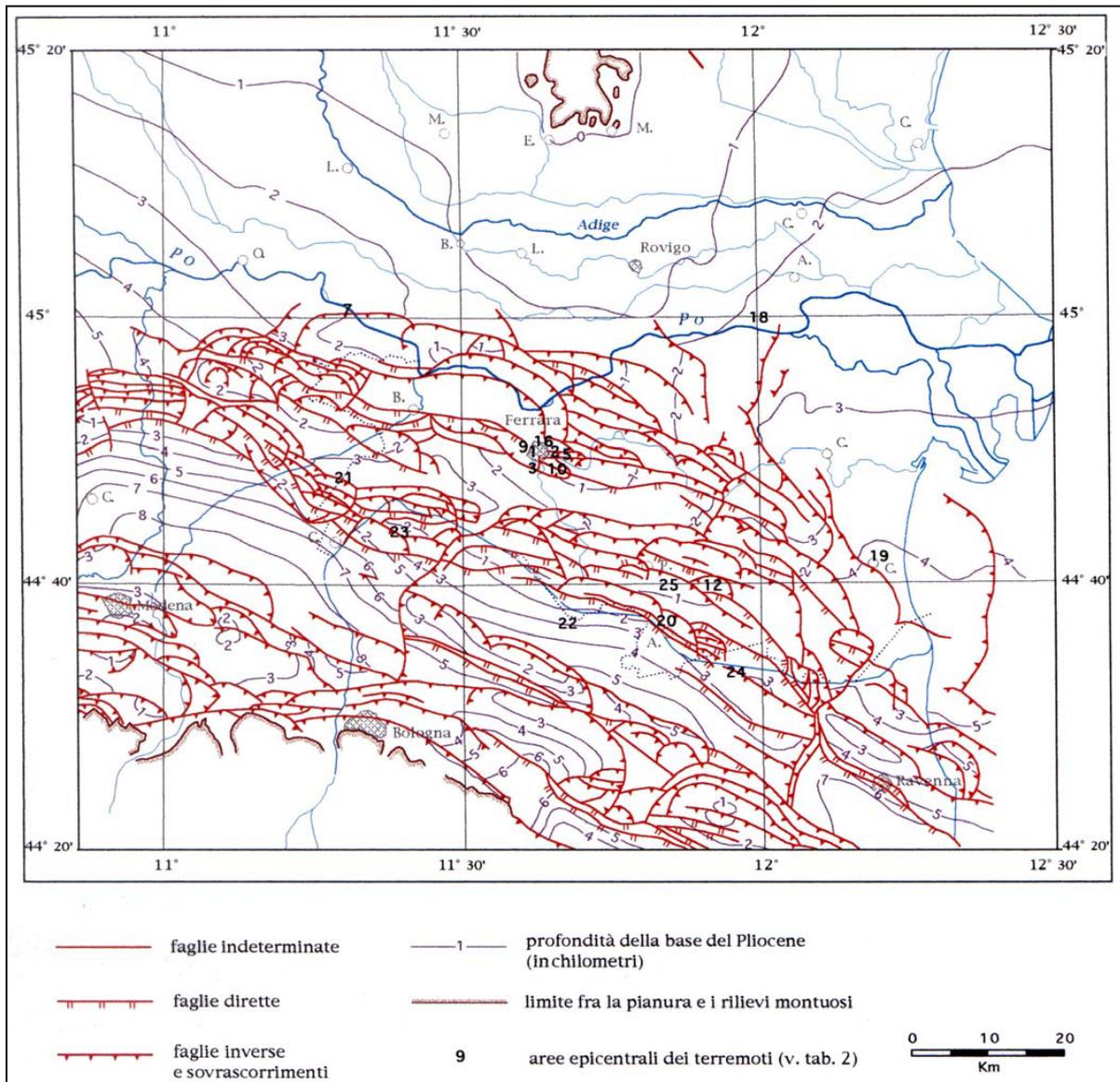


**FIGURA 2.1** - Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di fatturezioni presenti (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992)



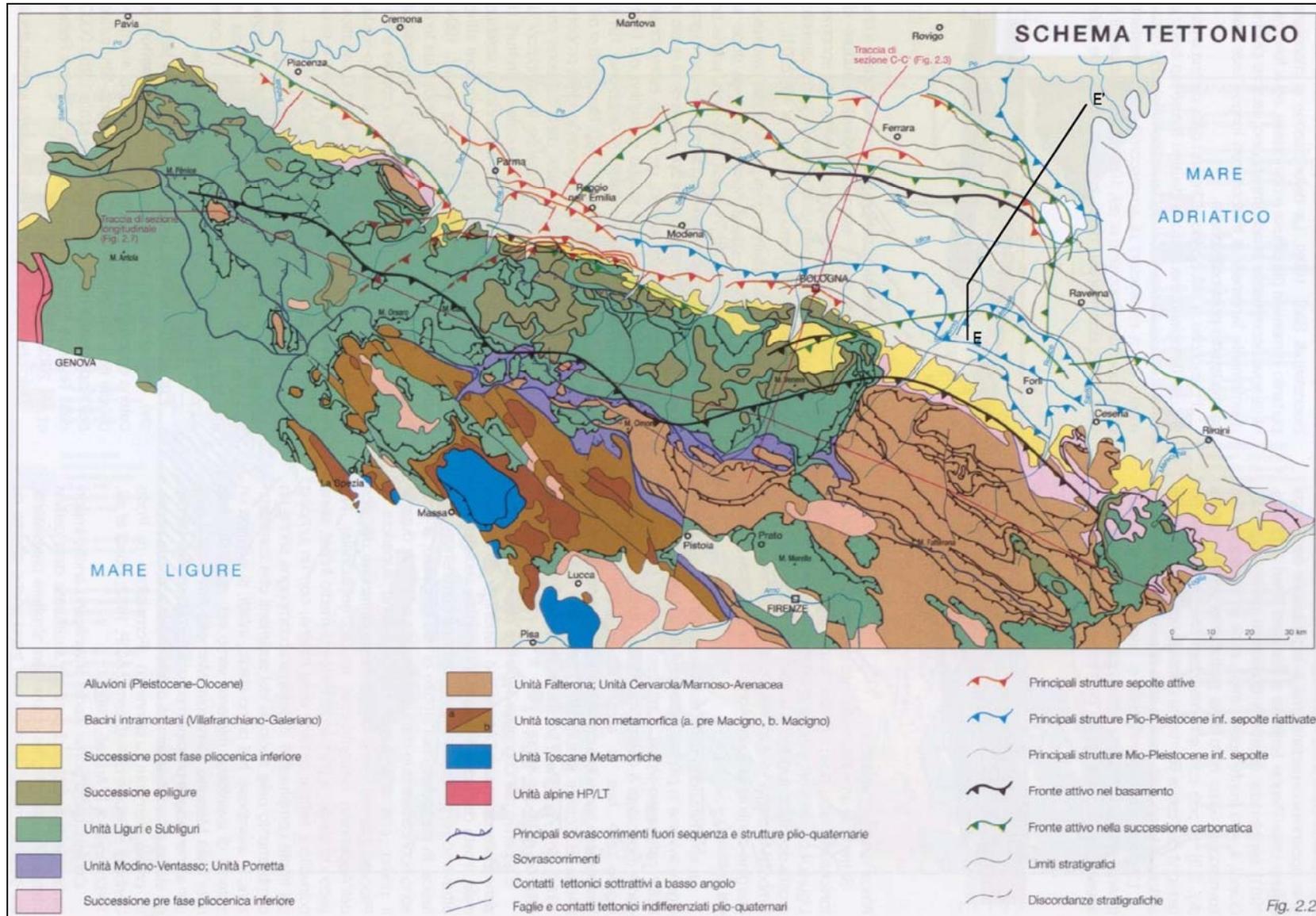
**FIGURA 2.2** - Inquadramento geologico strutturale dell'area deltizia

Nella **FIGURA 2.3** viene riportata una versione più dettagliata della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghie Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi. Le isoipse sono quelle della profondità della base del Pliocene (espressa in km).

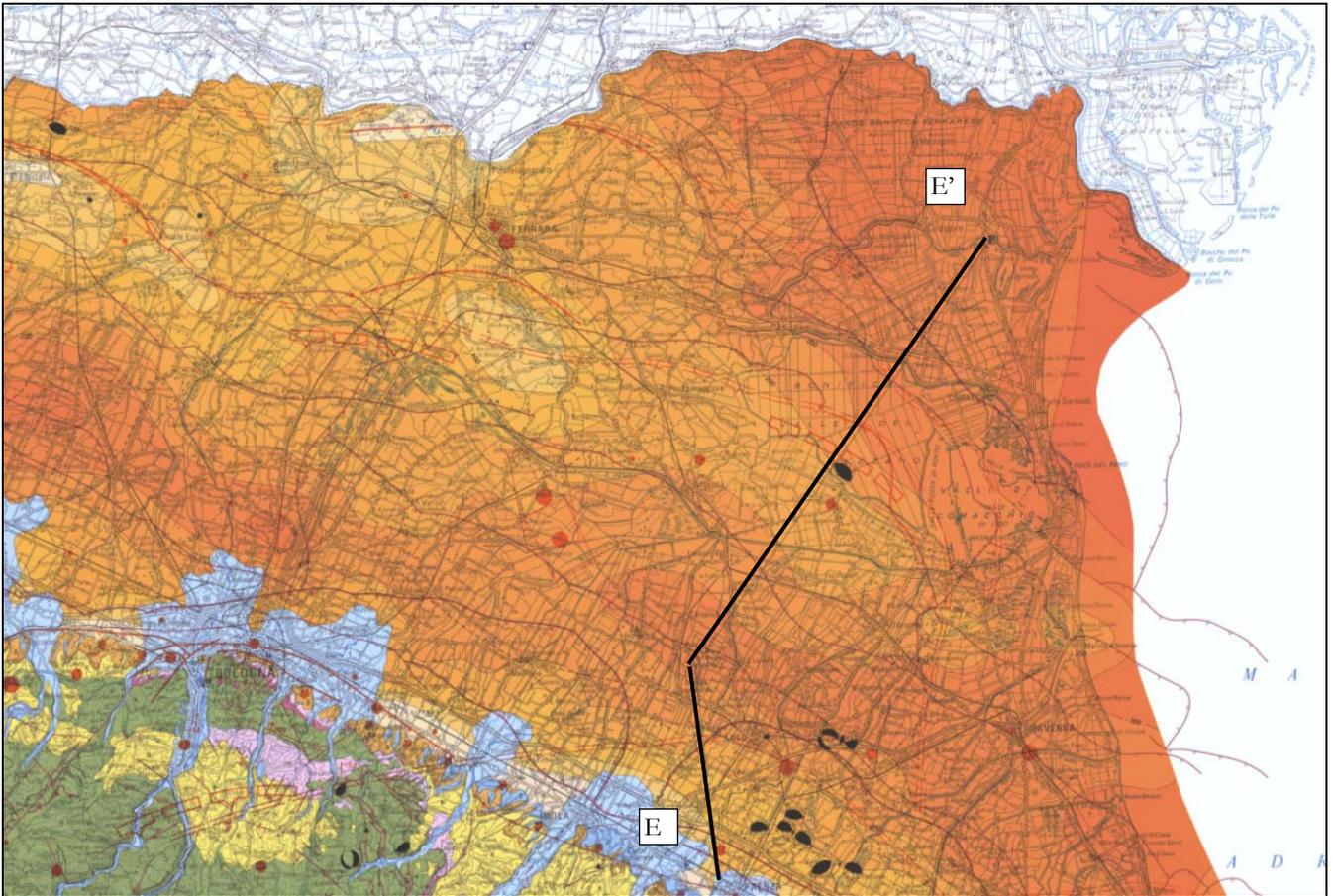


**FIGURA 2.3** - Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR, 1992)

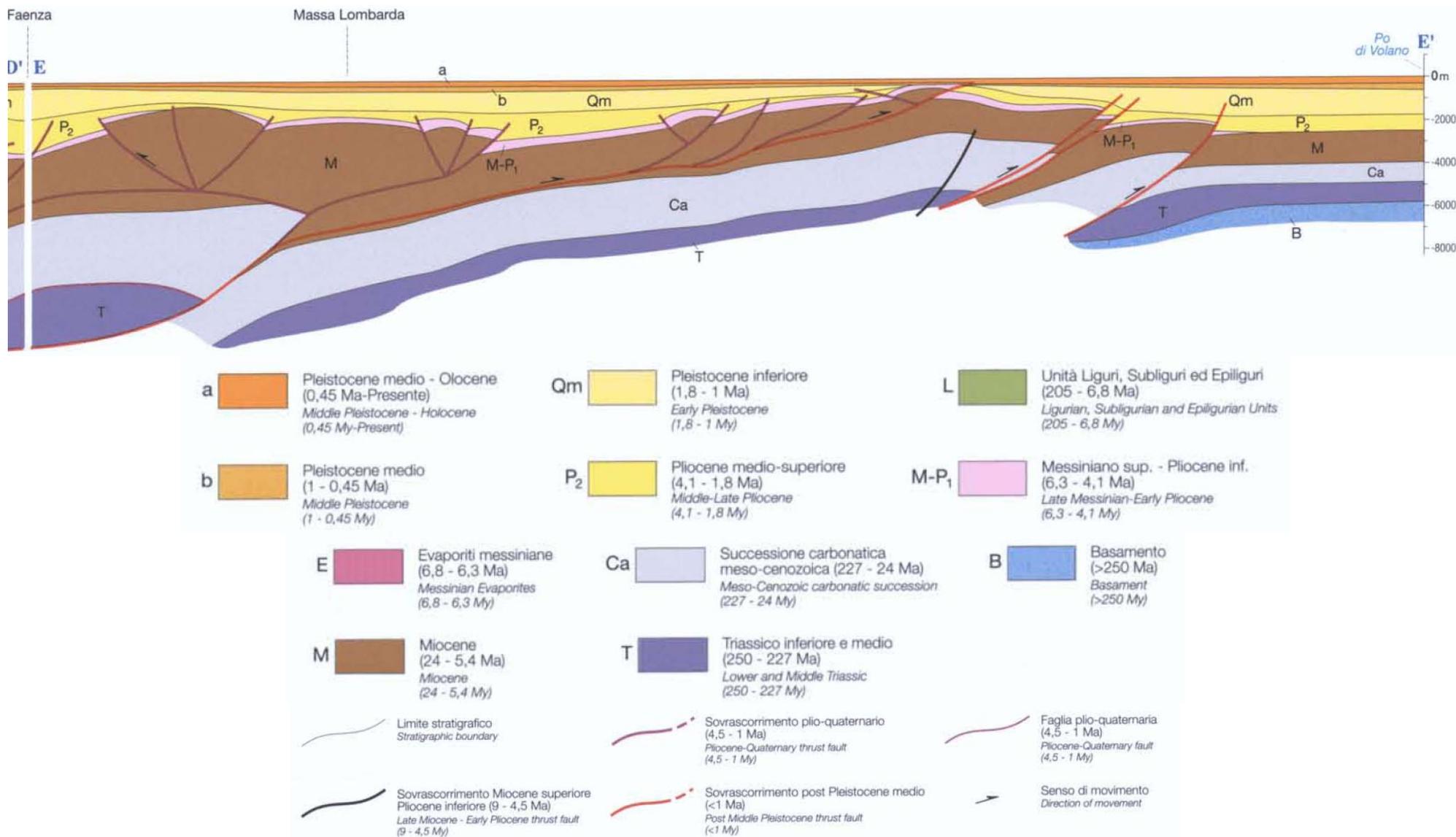
Nella **FIGURA 2.4** viene riportato lo schema tettonico tratto dalla carta sismotettonica dell'Emilia Romagna; in **FIGURA 2.5** è riportato uno stralcio centrato sull'area allo studio della mappa sismotettonica dell'Emilia Romagna (anno 2004) e un sezione passante in prossimità del comune di Codigoro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



**FIGURA 2.4** - "Schema Tettonico", tratto da "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" a cura di Luca Martelli e Mario Boccaletti (2004)

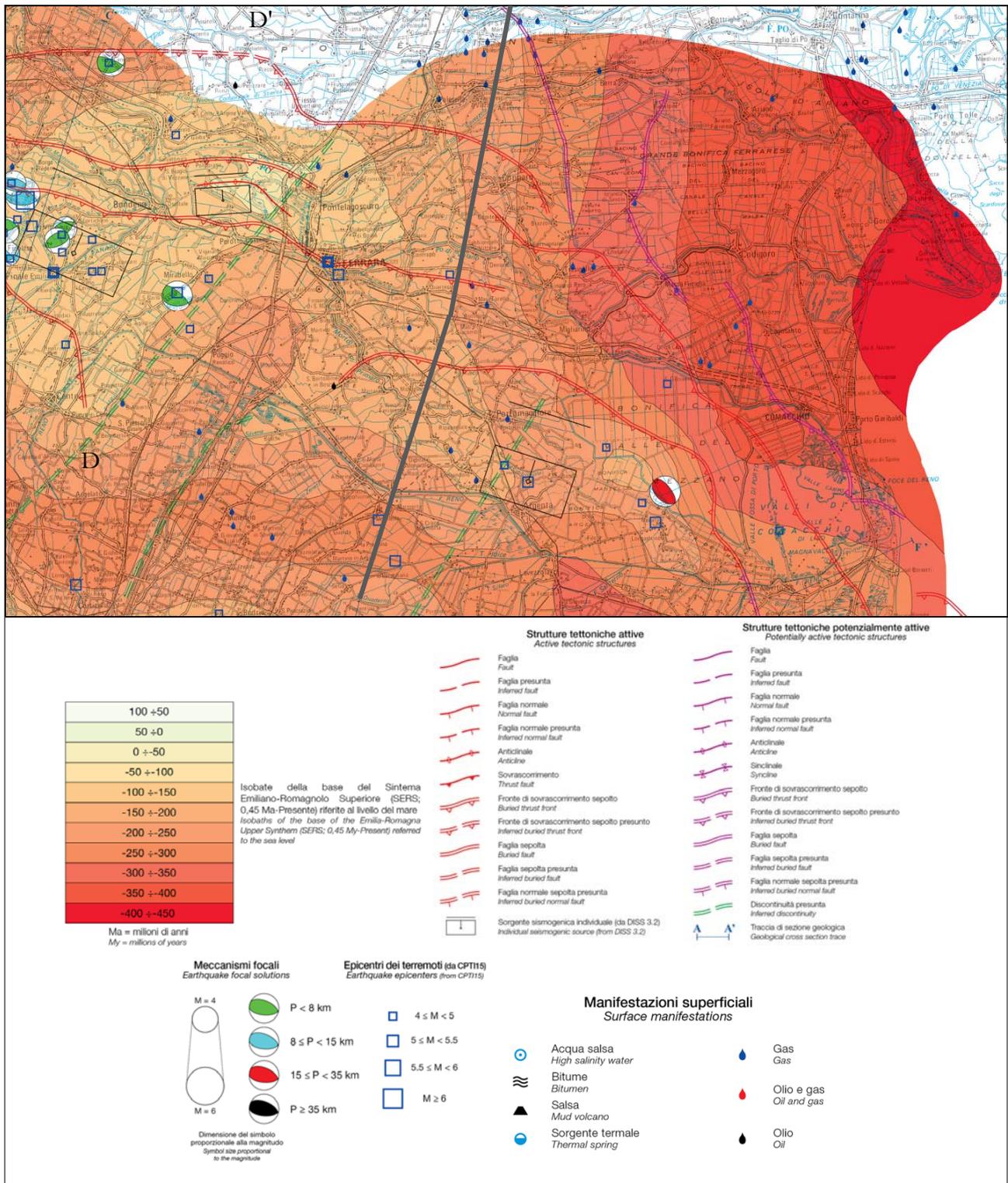


**FIGURA 2.5** - Carta Sismotettonica Regione Emilia Romagna e ubicazione della sezione geologica E-E' riportata di seguito (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

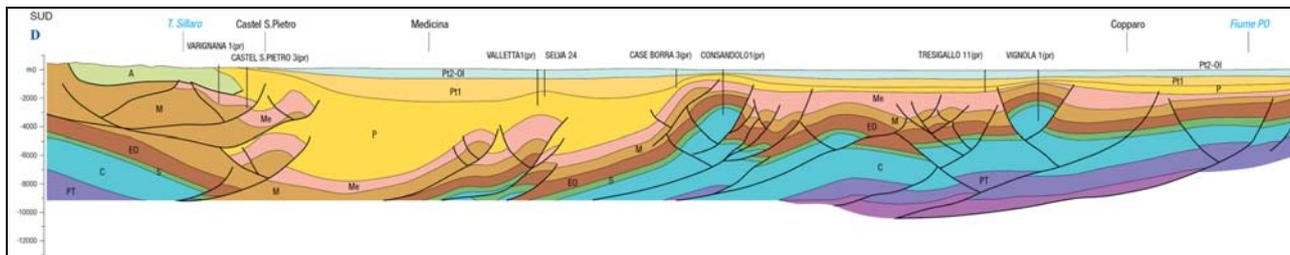


**FIGURA 2.6** – Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E' (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

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 Codigoro.



**FIGURA 2.7** - stralcio centrato sul comune di Codigoro 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 Codigoro (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2016).

Come si può notare 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.

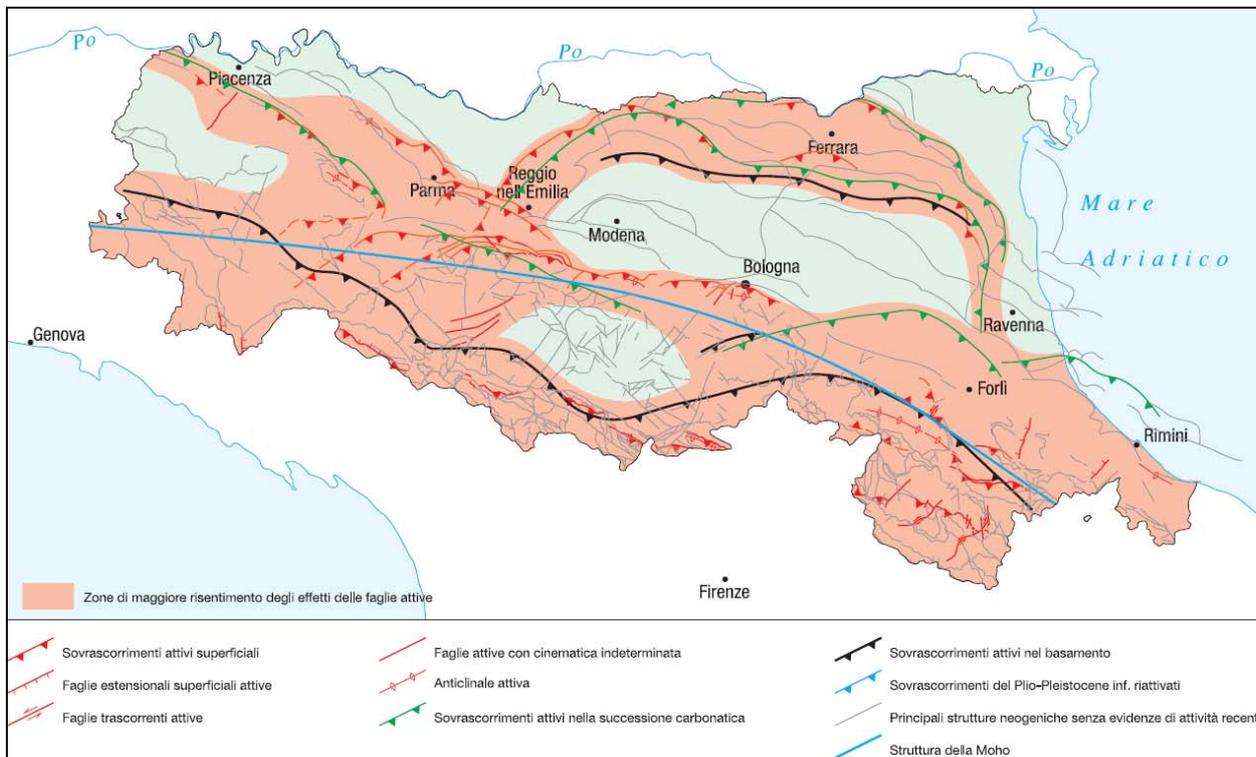
L'Appennino settentrionale è una catena a *thrusts* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Euroasiatica.

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.

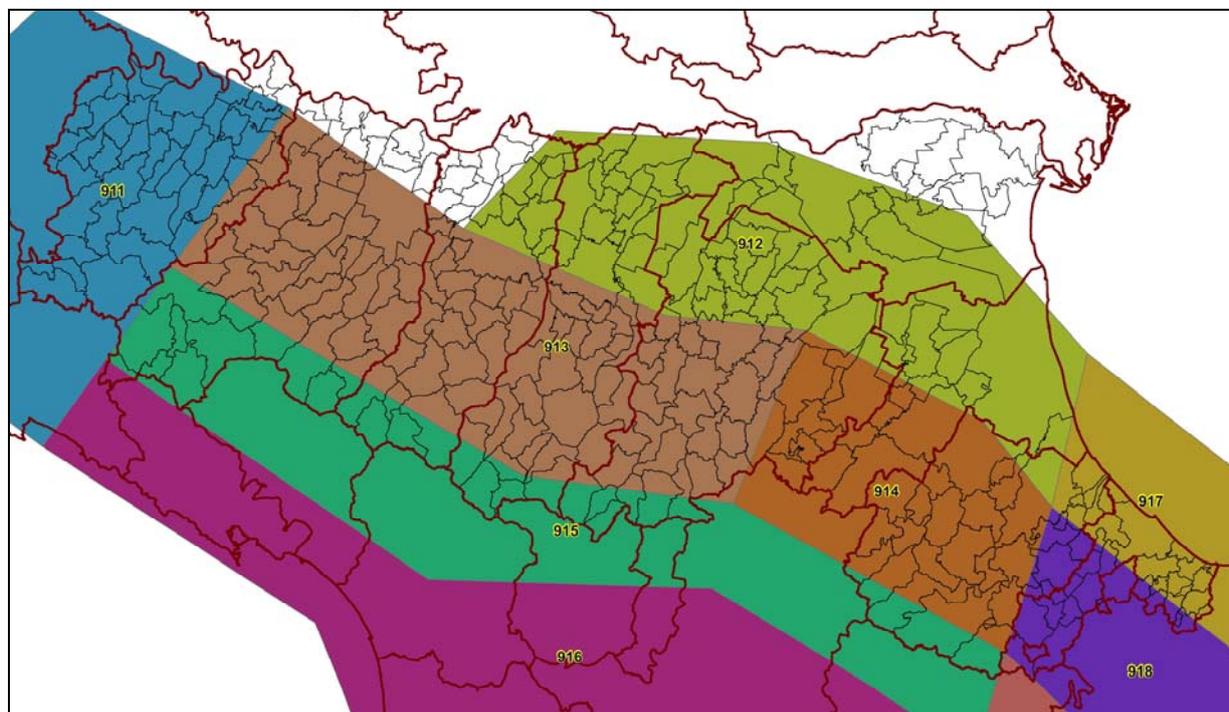
Le faglie conseguenti ai movimenti dei sovrascorrimenti appenninici danno origine alle manifestazioni sismiche che interessano la regione emiliano-romagnola.

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 allegata 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 Codigoro 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 Codigoro si colloca esterne 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.

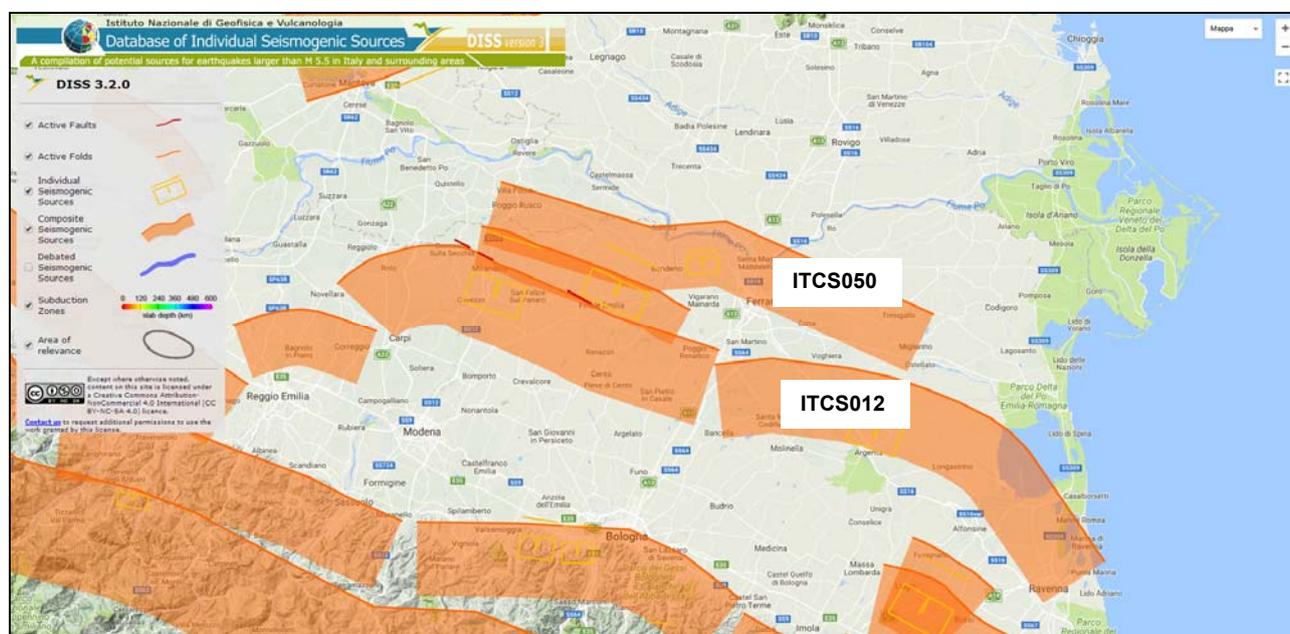


FIGURA 2.11 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.2.0. (<http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>)

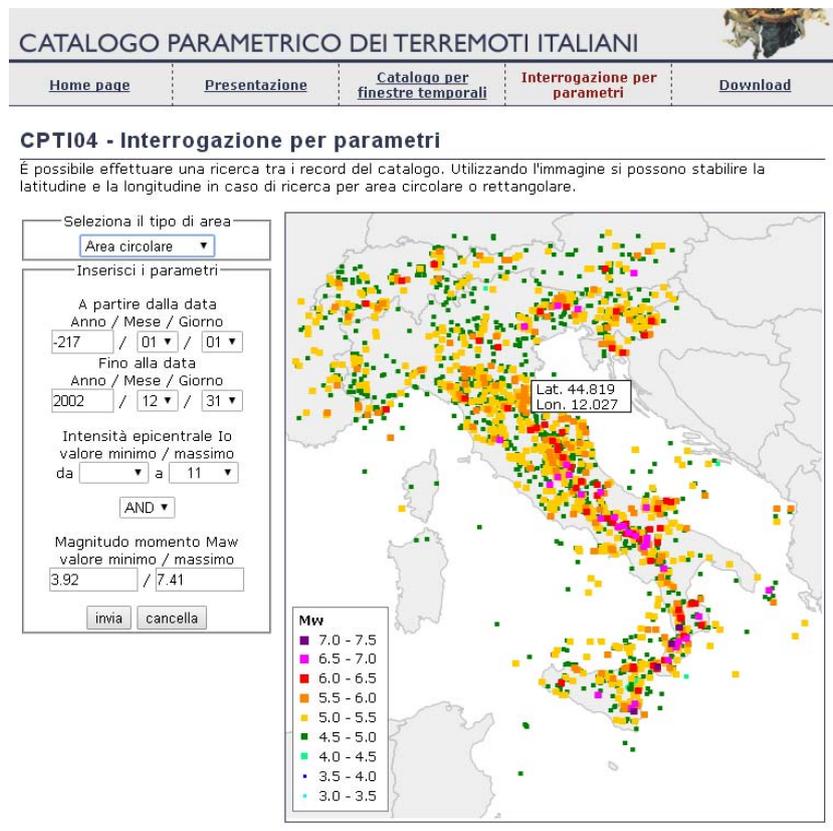
## 2.2. TERREMOTI STORICI E MAGNITUDO

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



**FIGURA 2.12** - Criteri di interrogazione adottati

## CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (44.831, 12.106) e raggio 50 km  
a partire dal 217/01/01 fino al 2002/12/31

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ	Ncft	Nat	Ncpt
18	DI	725						Classe-Ravenna	CFTI	2	85	80		44.4	12.22	A	5.57	0.19		5.40	0.28		5.55	0.28	912	G	77		18
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		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		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	CFTI	60	80	75		44.82	11.63	A	5.48	0.11		5.27	0.17		5.43	0.16	912	G	231	868	262
282	DI	1591	7	10				FORLI'	DOM	6	65	65		44.4	12.038	A	5.24	0.22		4.91	0.32		5.09	0.30	912	G		832	282
323	DI	1624	3	18	19	45		Argenta	CFTI	17	85	75		44.65	11.85	A	5.43	0.22		5.19	0.32		5.35	0.30	912	G	243	870	323
395	CP	1688	8	18				FUSIGNANO	POS85			70		44.417	12		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	912	G		835	395
397	CP	1689	3	15				FUSIGNANO	POS85			60		44.417	12		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		836	397
416	DI	1695	2	28				FERRARA	DOM	1	55	55		44.836	11.618	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G		871	416
521	DI	1743	5	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
612	DI	1780	5	25				RAVENNA	DOM	5	65	65		44.417	12.198	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G		890	612
654	DI	1787	7	16	10			Ferrara	CFTI	3	65	55	M	44.83	11.62	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	339	873	654
683	DI	1796	10	22	4			Emilia orientale	CFTI	26	70	70		44.62	11.67	A	5.63	0.15		5.48	0.23		5.62	0.23	912	G	352	874	683
1174	CP	1891	8	1	13	30		LUGO	POS85			60		44.417	11.933		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		853	1174
1225	DI	1895	3	23				COMACCHIO	DOM	37	65	60		44.684	11.987	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		877	1225
1230	CP	1895	5	25	11	42	50	PAPOZZE	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.	CFTI	73	70	65		44.65	11.77	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G	452	879	1287
1499	DI	1909	1	13	45			BASSA PADANA	DOM	799	65	65		44.579	11.688	A	5.53	0.05		5.33	0.08		5.48	0.07	912	G		882	1499
1729	DI	1922	5	24	21	17		CENTO	DOM	6	45	35		44.862	11.517	A	4.50	0.14		3.81	0.21		4.07	0.19	912	G		883	1729
2094	DI	1956	2	20	1	29		ARGENTA	DOM	32	55	55		44.919	11.899	A	4.98	0.07		4.52	0.10		4.73	0.09			885	2094	
2220	CP	1965	12	18	9	22	25	RUSSI	POS85			55		44.4	12		4.95	0.09		4.47	0.13		4.68	0.12	912	G		857	2220
2243	DI	1967	12	30	4	19		BASSA PADANA	DOM	40	60	60		44.604	11.997	A	5.36	0.08		5.09	0.12		5.26	0.11	912	G		887	2243
2245	CP	1968	1	11	17	8	9	RUSSI	POS85			50		44.4	12		4.58	0.20		3.92	0.29		4.17	0.27	912	G		858	2245
2389	CP	1978	12	5	15	39	4	RAVENNA S.O.	POS85			60		44.383	12.117		4.76	0.13		4.20	0.19		4.43	0.18	912	G		901	2389

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  $\geq 5$  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 Codigorese, sono poi diagrammati in funzione dell'Intensità massima che sono state osservate a causa di quei terremoti a Codigoro (**FIGURA 2.14**).

**Codigoro**

PlaceID	IT_40451
Coordinate (lat, lon)	44.831, 12.106
Comune (ISTAT 2015)	Codigoro
Provincia	Ferrara
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	25

Effetti		In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	1570	11	17	19	10		Ferrarese	58	7-8	5.44
F	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
5	1895	03	23				Comacchio	33	6	4.65
4-5	1895	07	30	10	47		Comacchio	10	5	4.47
3-4	1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
2-3	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59
NF	1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81
NF	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
NF	1907	04	25	04	52		Veronese	122	6	4.79
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26
3	1911	03	20	15	47		Forlivese	25	6	5.09
4	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
5	1916	05	17	12	50		Riminese	132	8	5.82
4	1916	08	16	07	06	1	Riminese	257	8	5.82
4	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96
4	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4	1926	01	01	18	04	0	Carniola interna	63	7-8	5.72
3-4	1928	03	27	08	32		Carnia	359	9	6.02
2-3	1929	04	10	05	44		Bolognese	87	6	5.05
4	1963	08	09	06	05		Romagna	16	5	5.23
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
3-4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
4	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21

**FIGURA 2.13** - [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)

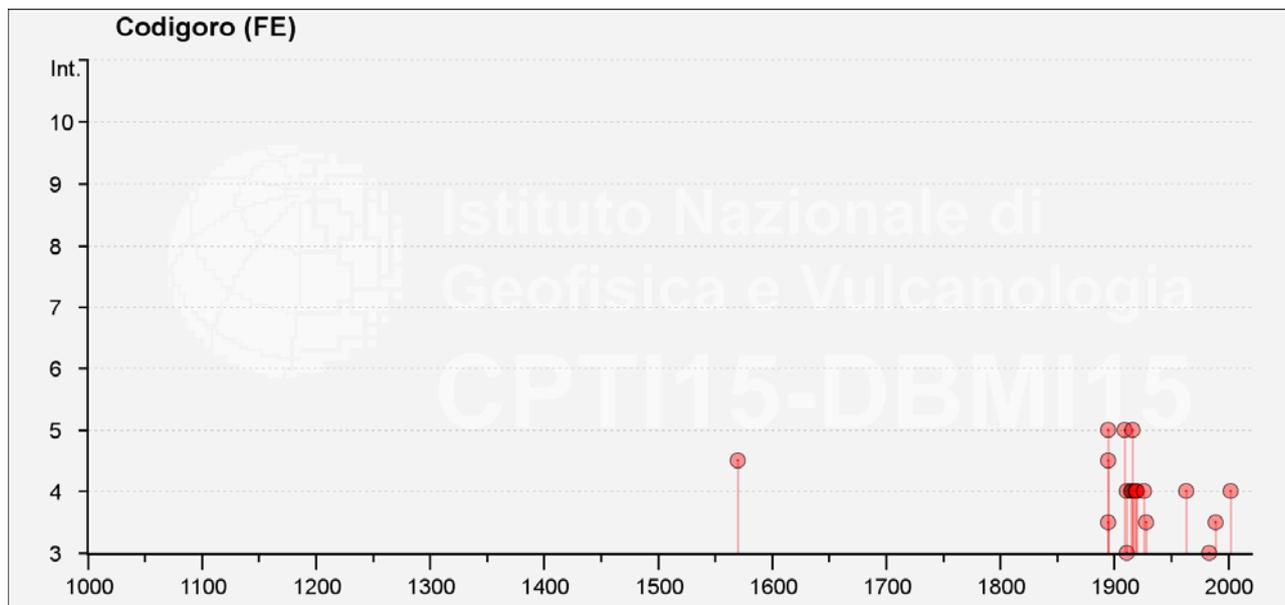


FIGURA 2.144 - [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)

Come si può notare le intensità macrosismiche massime osservate in Codigoro sono  $I_{max}=5$ .

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  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4$  di interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000 d.C e 2014 d.C. (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

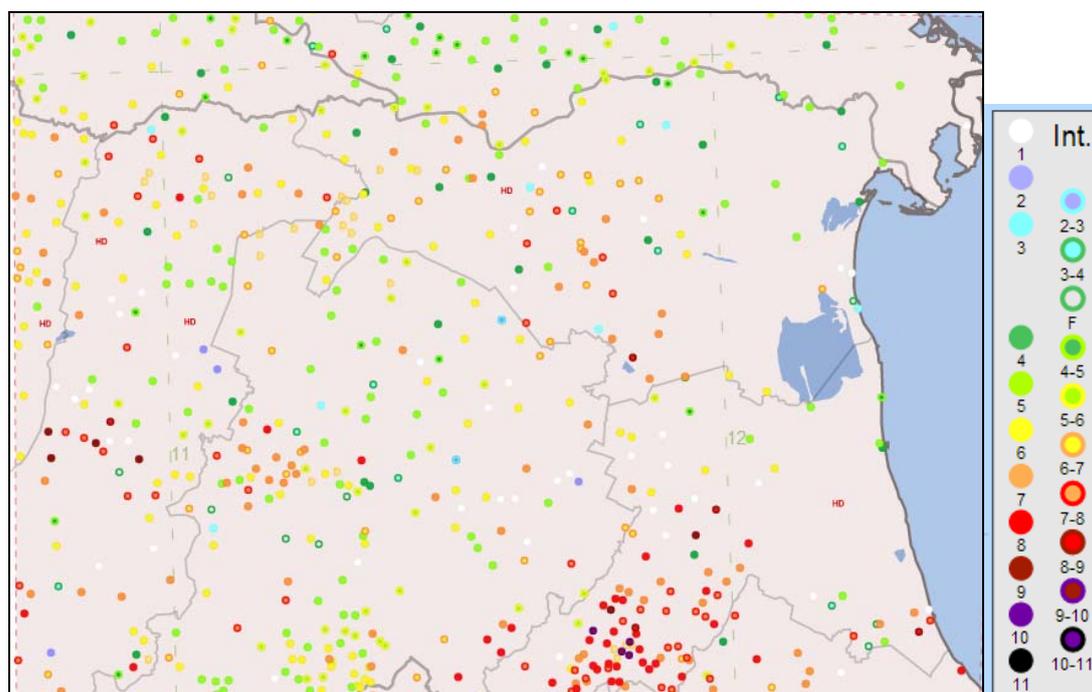


FIGURA 2.155 - [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)

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 2.166 - 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
<b>CODIGORO</b>	<b>44.83096</b>	<b>12.10568</b>	<b>&lt;= 6</b>	<b>4,8</b>
<b>COMACCHIO</b>	<b>44.69444</b>	<b>12.18290</b>	<b>7</b>	<b>5,2</b>
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.

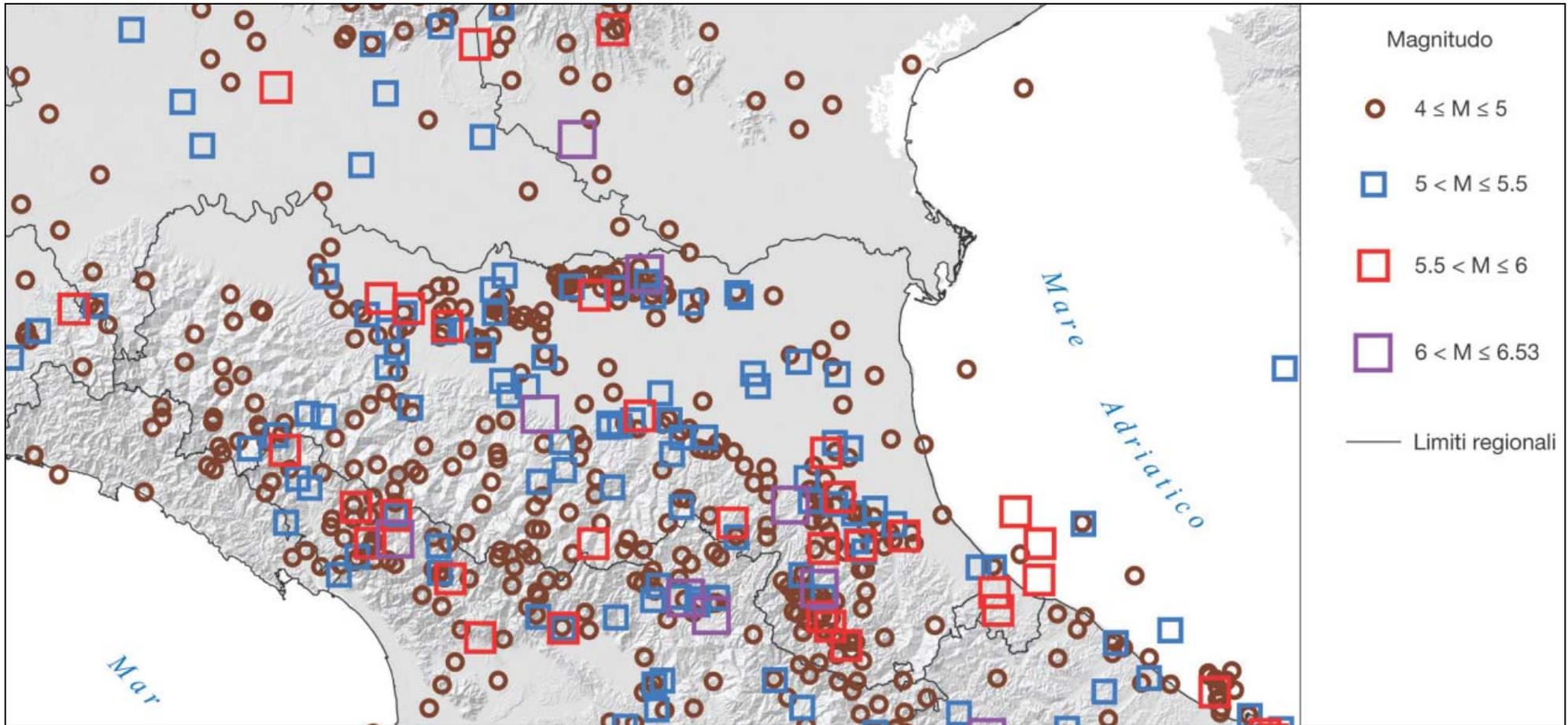
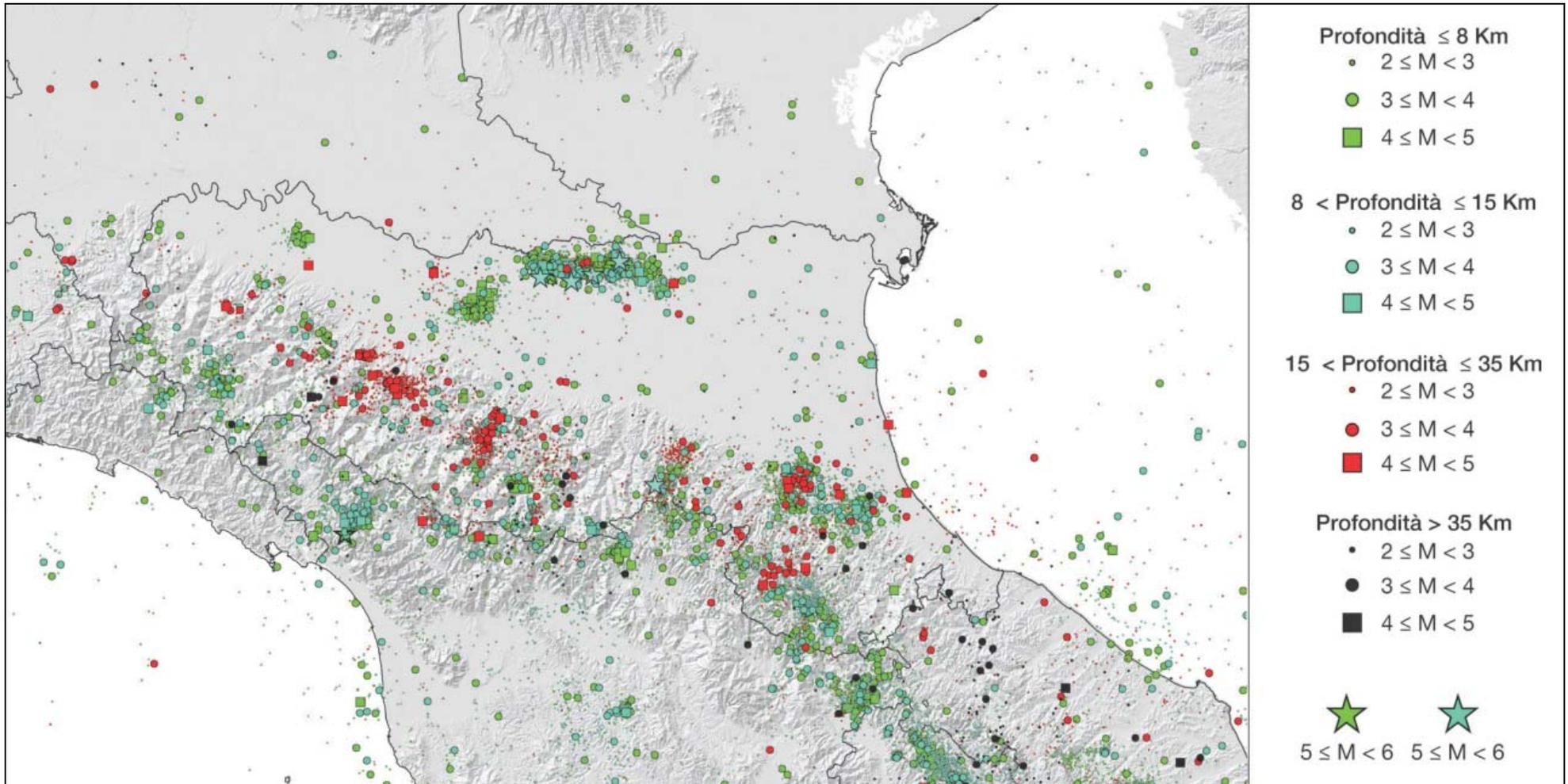


Figura 3.1: epicentri dei principali terremoti ( $M_w \geq 4$ ) che hanno interessato l'Emilia-Romagna dall'anno 1000 al 2014 (Rovida et al., 2016; ISIDe Working Group, 2015); dimensione e colore del simbolo sono rappresentativi della magnitudo (v. legenda).

**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).

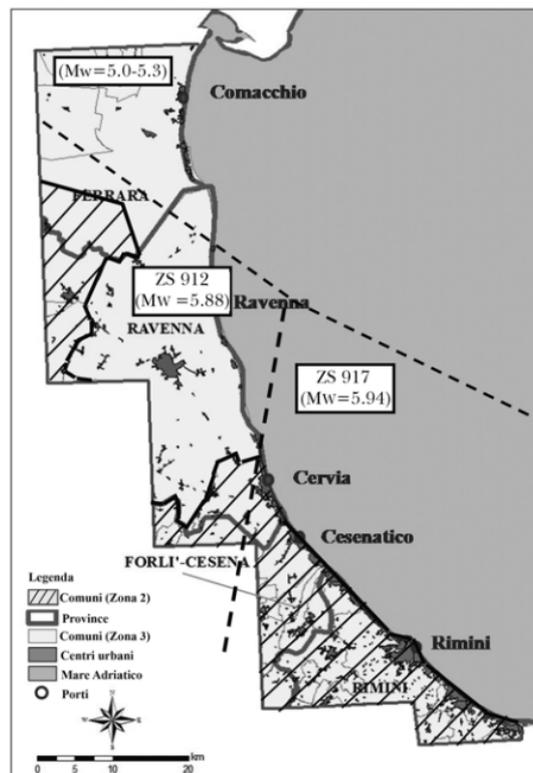


Fig. 2 – Delimitazione dell'area di studio, definizione della magnitudo attesa  $M_w$  (le zone sismogenetiche sono delimitate con una linea tratteggiata) e classificazione dei Comuni ivi ricadenti secondo la classificazione sismica nazionale.

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

FIGURA 2.19

## B) La consultazione del catalogo storico dei terremoti

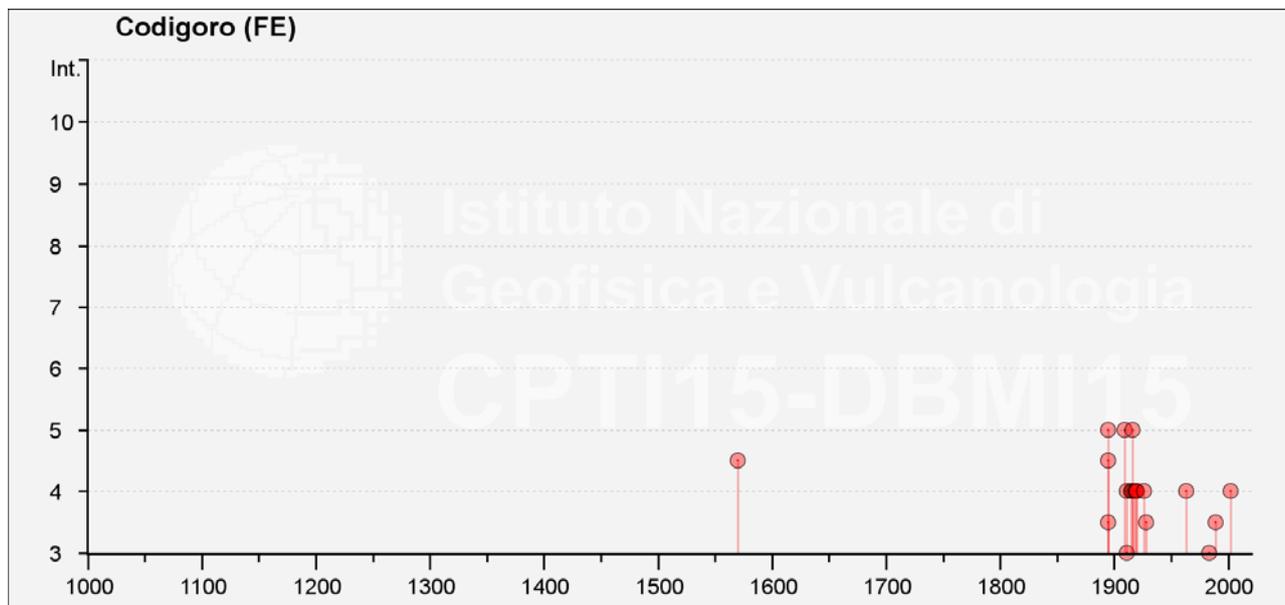
**Codigoro**

PlaceID	IT_40451
Coordinate (lat, lon)	44.831, 12.106
Comune (ISTAT 2015)	Codigoro
Provincia	Ferrara
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	25

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
4-5	1570	11	17	19	10		Ferrarese	58	7-8	5.44	
F	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87	
5	1895	03	23				Comacchio	33	6	4.65	
4-5	1895	07	30	10	47		Comacchio	10	5	4.47	
3-4	1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67	
2-3	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59	
NF	1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81	
NF	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10	
NF	1907	04	25	04	52		Veronese	122	6	4.79	
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36	
4	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26	
3	1911	03	20	15	47		Forlivese	25	6	5.09	
4	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08	
5	1916	05	17	12	50		Riminense	132	8	5.82	
4	1916	08	16	07	06	1	Riminense	257	8	5.82	
4	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96	
4	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38	
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53	
4	1926	01	01	18	04	0	Carniola interna	63	7-8	5.72	
3-4	1928	03	27	08	32		Carnia	359	9	6.02	
2-3	1929	04	10	05	44		Bolognese	87	6	5.05	
4	1963	08	09	06	05		Romagna	16	5	5.23	
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04	
3-4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85	
4	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21	

**FIGURA 2.20** - [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)

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



**FIGURA 2.211** - [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)

Come si può notare le intensità macrosismiche massime osservate in Codigoro sono  $I_{max}=5$ . 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 Codigoro (lo stesso calcolo viene condotto per Mesola e Comacchio).

Comune	lat	lon	$I_{max}$	$M_w$
Mesola	44,9206	12,23033	$\leq 6$	4,8
Codigoro	44,83096	12,10568	$\leq 6$	4,8
Comacchio	44,69444	12,1829	7	5,2
Mw=0,430I <sub>max</sub> +2,182			per terremoti superficiali dell'Appennino	

**Tabella 2.3**

Quindi per Codigoro sono attese magnitudo inferiori a  $M_w < 5$ . Mentre per la vicina Comacchio sono attese magnitudo momento pari a  $M_w = 5,2$ .

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**.

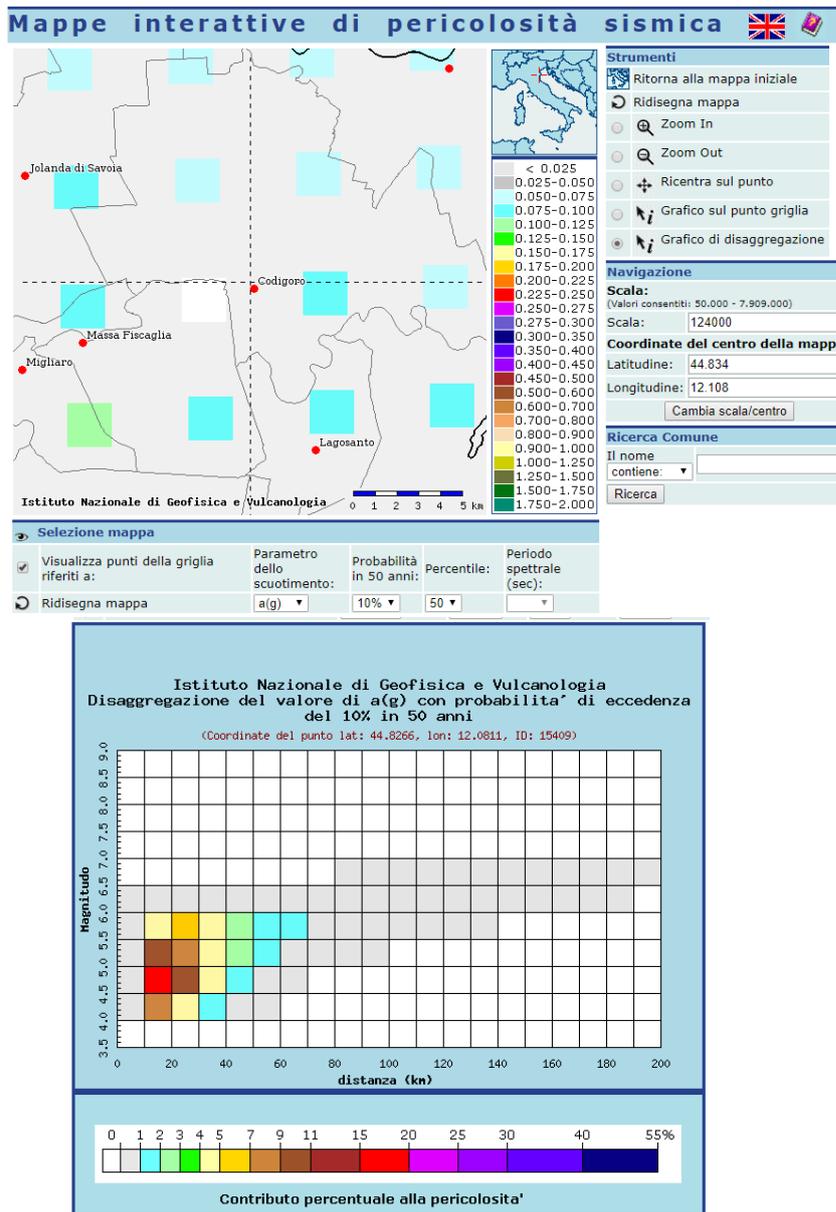


FIGURA 2.22

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 10km e 20km (Tabella 2.4).

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.8266, lon: 12.0811, ID: 15409)										
	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	0.106	0.173	0.081	0.032	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	7.890	15.400	9.200	4.560	0.539	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	4.020	10.100	6.250	5.380	0.746	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	1.350	4.550	4.940	4.070	0.647	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.242	1.790	2.710	2.730	0.486	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.449	1.600	1.890	0.275	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.037	0.711	1.180	0.159	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.217	0.688	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.048	0.415	0.153	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.007	0.257	0.275	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.130	0.320	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.055	0.261	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.177	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.107	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.110	28.900	1.200

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 Codigoro (così come per Mesola 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).

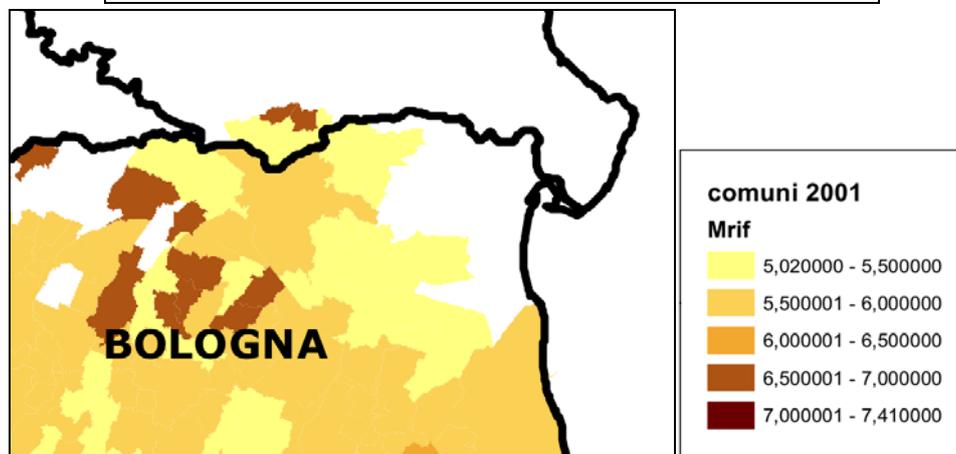
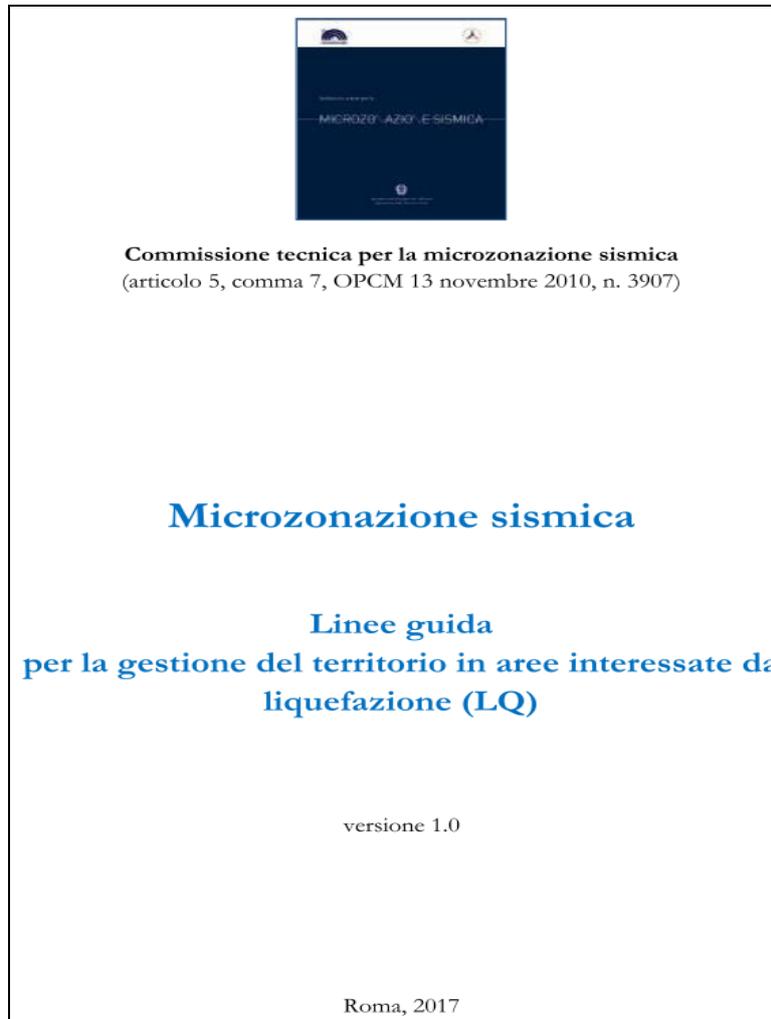


FIGURA 2.23

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.

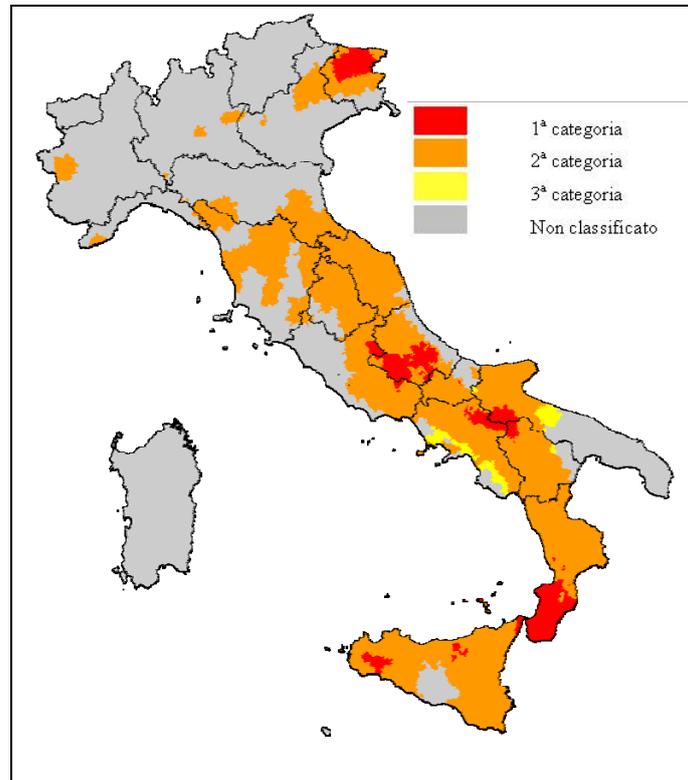
La prima classificazione sismica italiana costituita da una lista dei comuni in cui dovevano essere applicate precise norme costruttive fu promulgata solamente dopo il terremoto del 28 dicembre 1908 che distrusse le città di Reggio Calabria e Messina, causando, si stima, più di 80.000 vittime (Slejco -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 Codigoro dal rischio sismico, non inserendoli in nessuna delle tre categorie, come visibile in **FIGURA 2.24**.

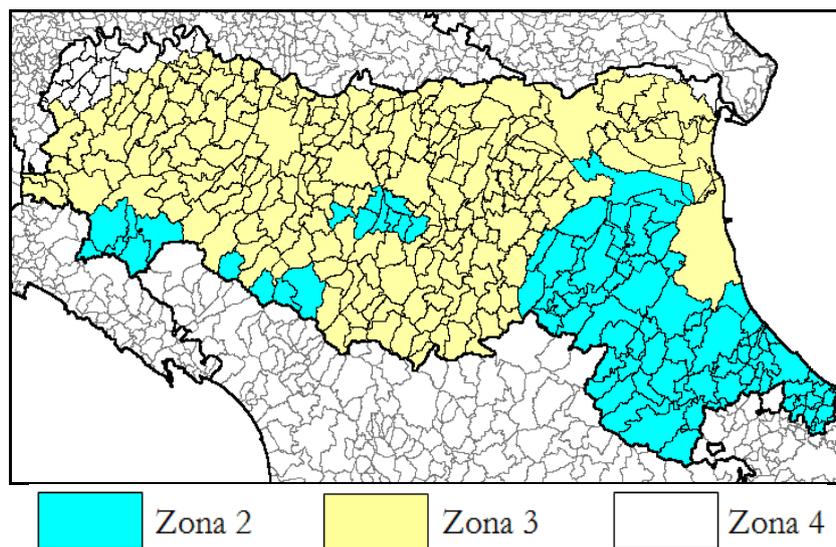
Studi sismologici e geologici, successivi ai terremoti del 1976 in Friuli e del 1980 in Irpinia, svolti nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica del Consiglio Nazionale delle Ricerche incrementarono e svilupparono nuove conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale, consentendo la formulazione 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 Codigoro nella categoria di rischio 3 (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

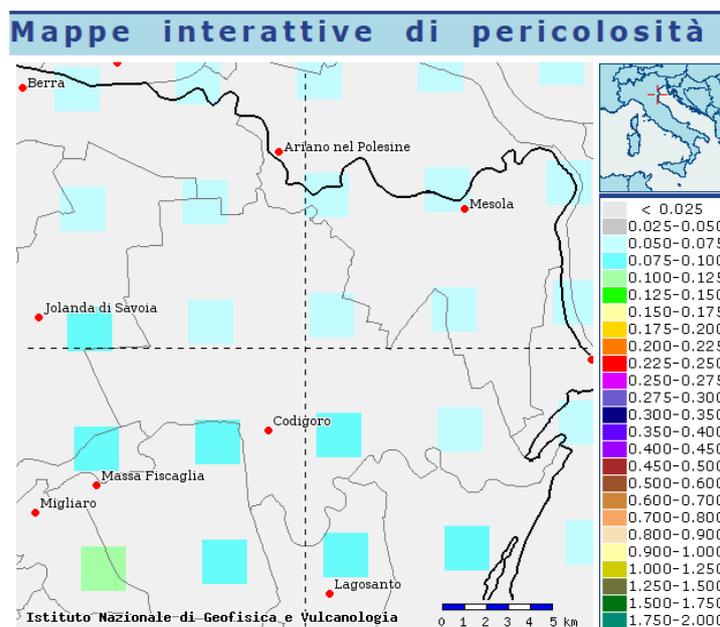
*Tabella 2.5 – Corrispondenza tra le definizioni di sismicità*

Denominazione	Decreto fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 2003	A max
Codigoro	$S = 6$	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 **Codigoro** 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 0,075 – 0,100 e 0,100 – 0,125, 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
Codigoro	0,050 – 0,100

**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 Codigoro.



**FIGURA 2.29** – Territorio comunale di Codigoro 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 Codigoro 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**.

**SI1** :  $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$

**SI2** :  $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$

**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 Codigoro generalmente i valori attesi di  $V_{s30}$  dovrebbero appartenere a queste due categorie di suolo sismico.

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

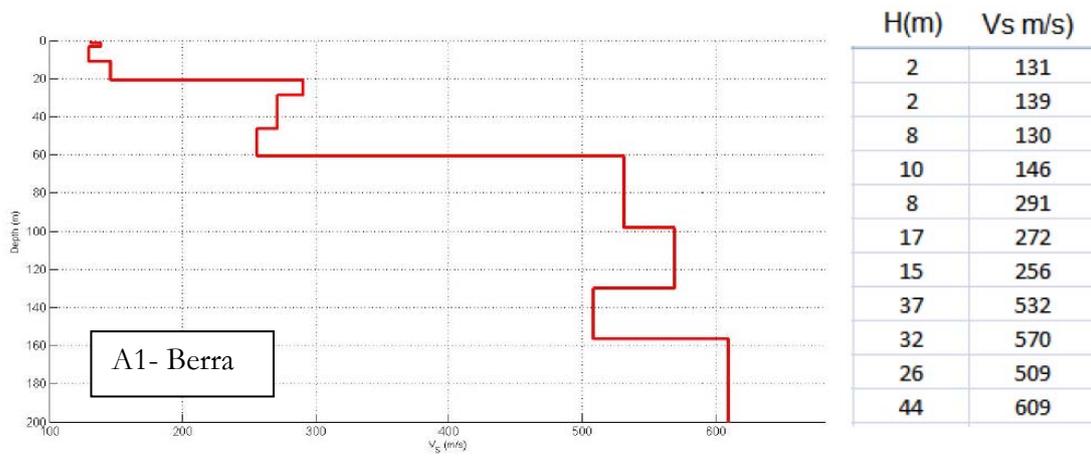
In data 29 aprile 2019 è stato approvato, ai sensi degli artt. 22 e 49 della L.R. 24/2017, *Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica*.

Si è valutato che i valori di  $V_{s30}$  sono sempre stati misurati compresi tra 150m/sec e 225 m/sec.

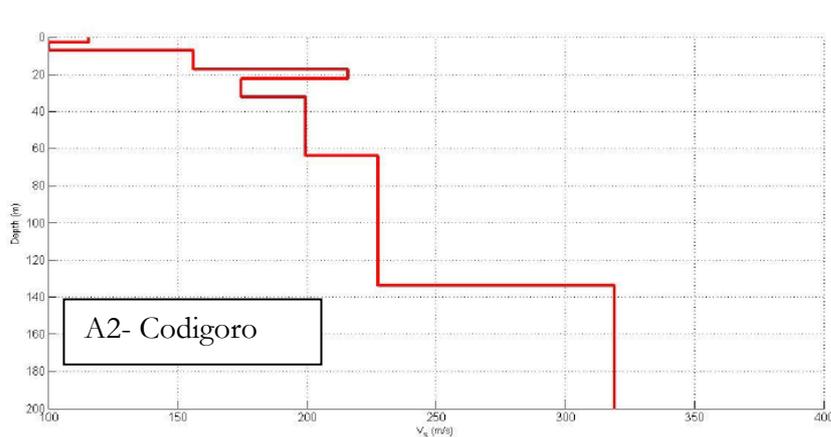
Si propongono anche quattro profili di  $V_s$  profondi (ubicazione in **FIGURA 2.30**) reperiti tra i dati bibliografici e si evidenzia che il valore della velocità di propagazione delle onde S fino a 300m di profondità è di molto inferiore agli 800 m/sec (**FIGURA 2.31**).



FIGURA 2.30 - Ubicazione dei quattro profili di Vs profondi.

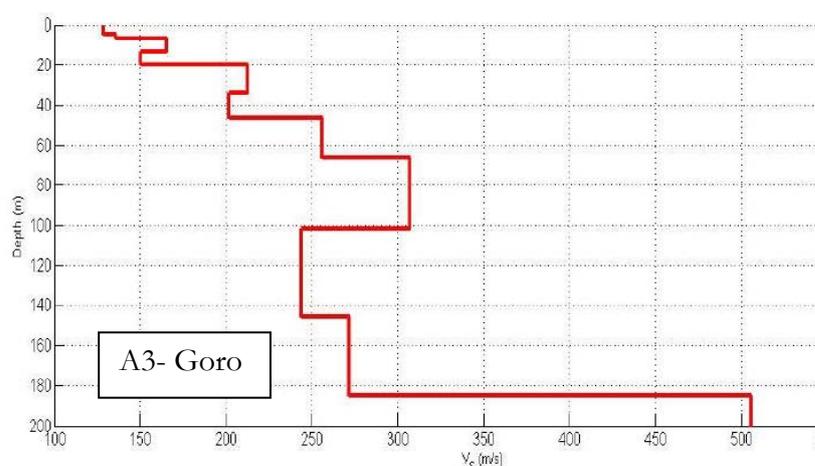


Miglior Profilo Vs in termini di correlazione tra curve sperimentali e teoriche. **Vs30 = 160 m/s; Classe di suolo NTC08 tipo D**



H(m)	Vs m/s)
3	116
4	100
10	156
5	216
10	175
32	200
70	228
66	319

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



H(m)	Vs (m/s)
5	129
2	136
6	165
7	150
14	213
12	202
20	256
35	307
44	244
39	272
15	506

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

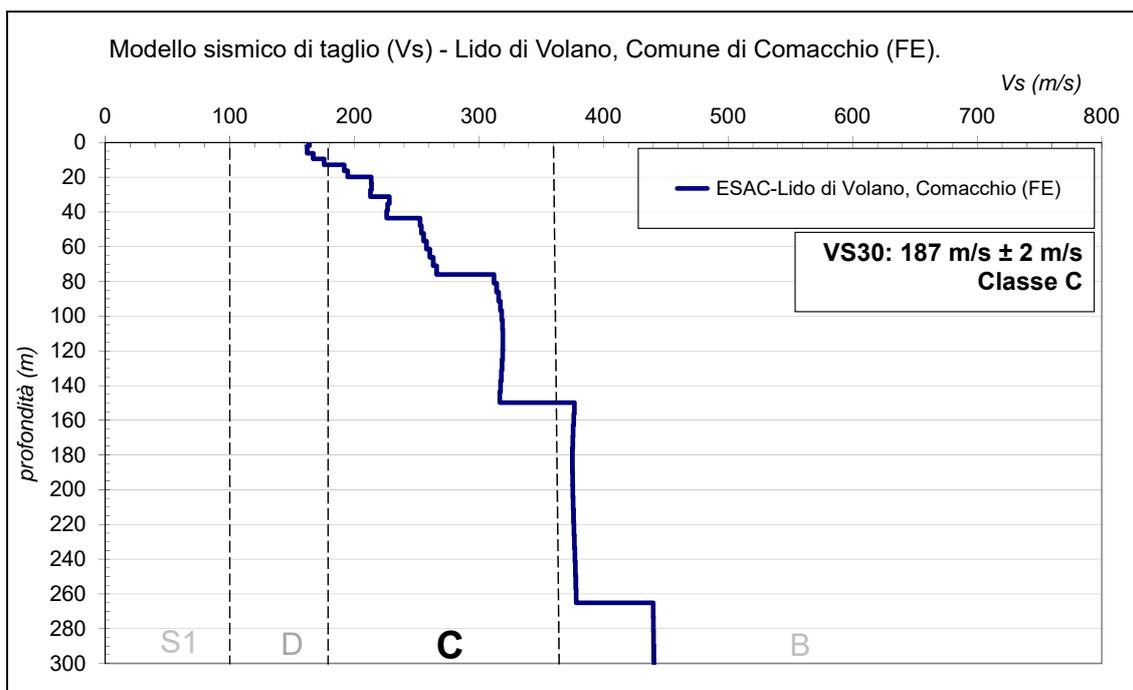


FIGURA 2.31 - Profili di Vs profondi.

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  $F_{A_{PGA}}=1,3$ .

**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			

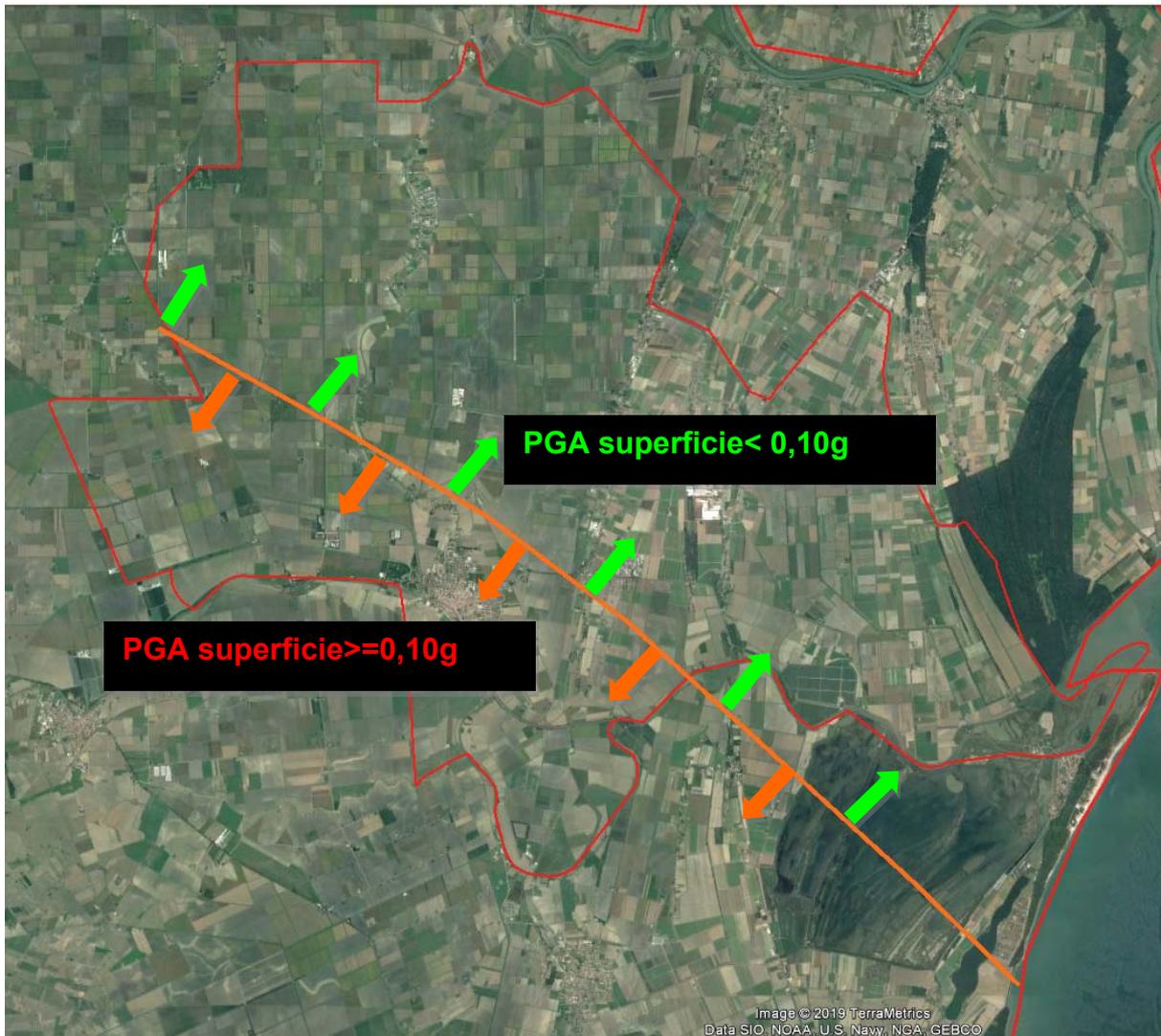
Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

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 2.32**.



FIGURA 2.32 - Accelerazioni PGA in superficie

Come si può notare solo una ridotta porzione del territorio comunale presenta accelerazioni sismiche in superficie superiori a 0,10g ( $T_R = 475$  anni corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni). Questa porzione però comprende il capoluogo. In FIGURA 2.33 si riporta la linea di confine tra le aree in cui è attesa in superficie una accelerazione sismica di picco inferiore a 0,10g, per cui sono considerate aree stabili, e le aree in cui sono attese accelerazioni sismiche di picco superiori o uguali a 0,10g.



**FIGURA 2.33** – limite tra aree stabili con accelerazione di picco in superficie inferiore a 0,10g e aree potenzialmente instabili da verificare nel III livello, ove le accelerazioni sismiche di picco in superficie sono maggiori o uguali 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 debba spostare questa linea più a nord.

Si veda il particolare la pubblicazione "*Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale - proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche*".

A cura del gruppo di lavoro ZS-PS RER: L. Martelli, G. Ercolessi, F. Sani, M. Bonini, G. Corti, M. Santulin, A. Tamaro, A. Rebez, D. Slejko (Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Scienze della Terra, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Geoscienze e Georisorse Firenze, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano c/o OGS, Trieste, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, progetto grafico e impaginazione Simonetta Scappini Stampa Centro Stampa Regione Emilia-Romagna - settembre 2017

## 2.4. CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE

L'evoluzione strutturale dell'ampio bacino subsidente padano, a cui appartiene il territorio del Comune di Codigoro, 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 pedalpina 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.

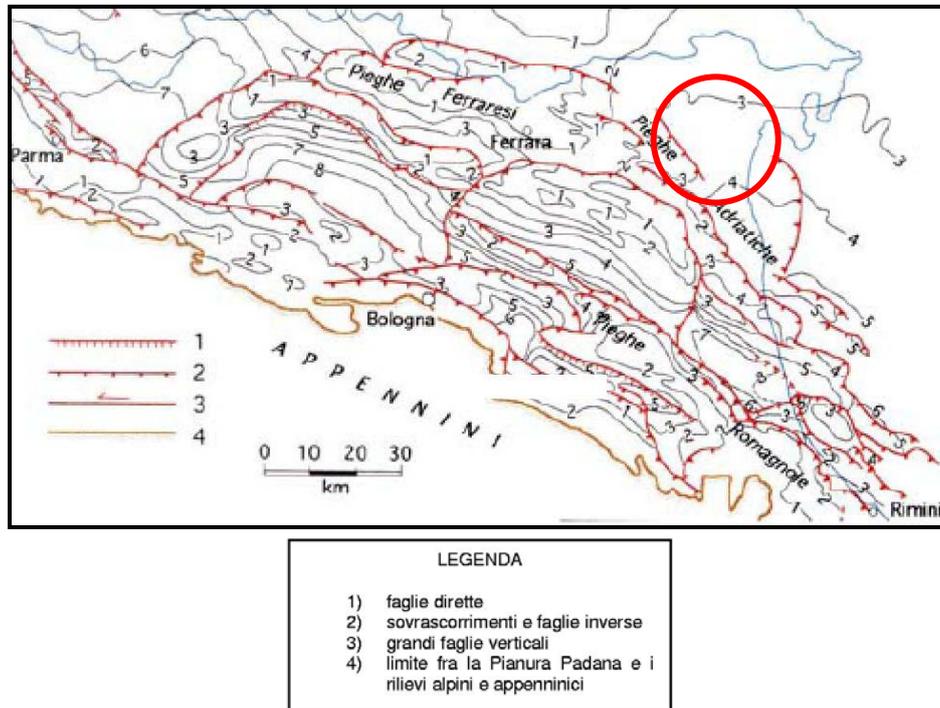
A causa della pluralità degli ambienti deposizionali in successione spazio-temporale, il complesso plioquaternario nel territorio del Basso Ferrarese è costituito da una alternanza di livelli sabbiosi, limosi ed argillosi o da miscele binarie o ternarie di tali litotipi.

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 Codigoro 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 glaciazioni presenti nel substrato padano.



**FIGURA 2.34** – *Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di faglie presenti nel substrato roccioso profondo. Le isobate indicano la base dei depositi del Pliocene Superiore*

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

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

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

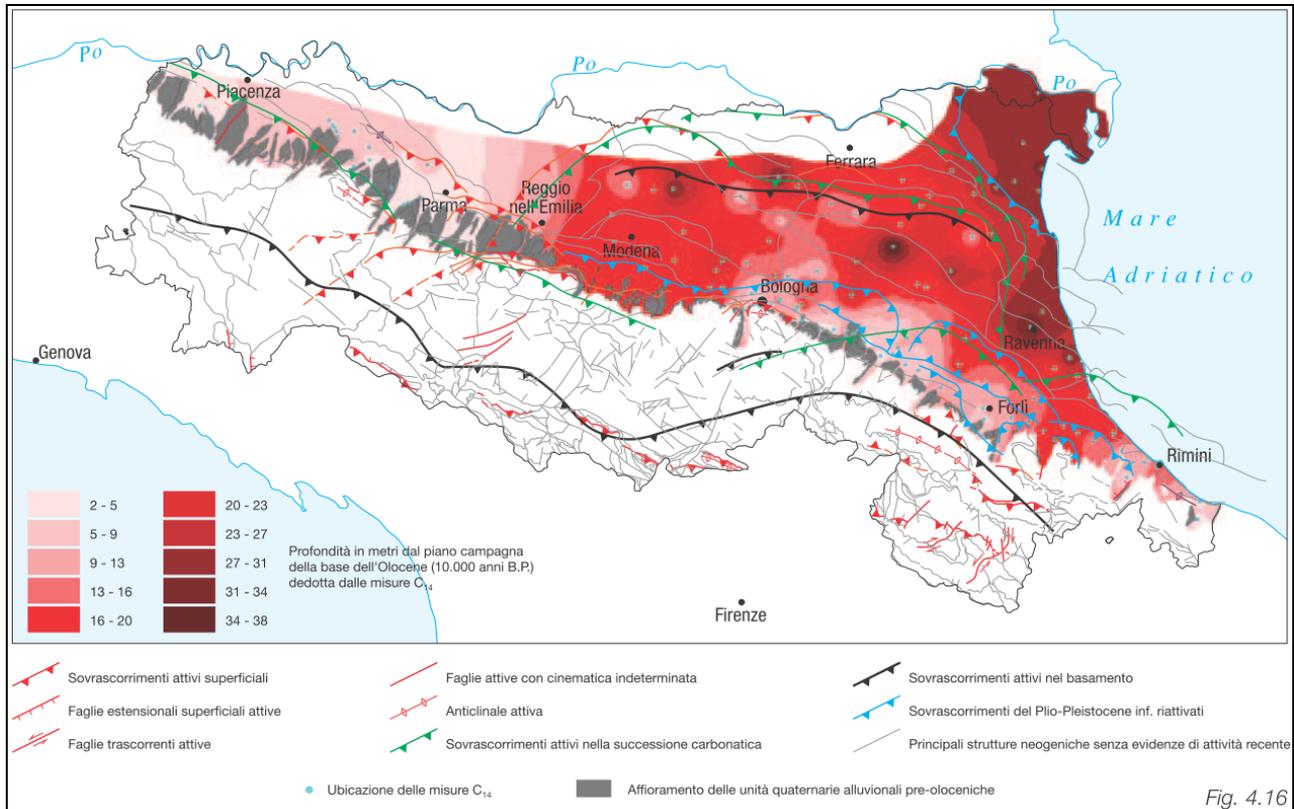
Stesso trend ha avuto il fenomeno a Ravenna: fino al 1945 la velocità di subsidenza era di 0,3 cm/anno; successivamente tra il 1945-'85 si evidenzia una più elevata velocità di abbassamento con 1,5 cm/anno e punte di 2,0 cm/anno nel periodo 1960-'80, mentre si registrano rallentamenti negli ultimi anni.

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

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

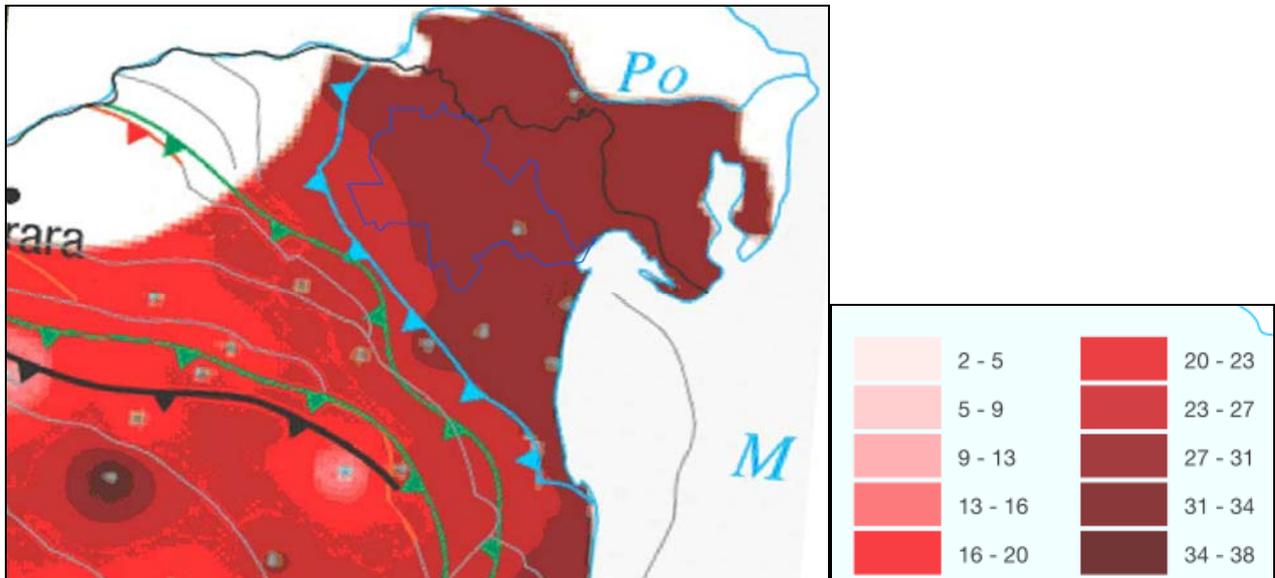
## 2.5. CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA

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.



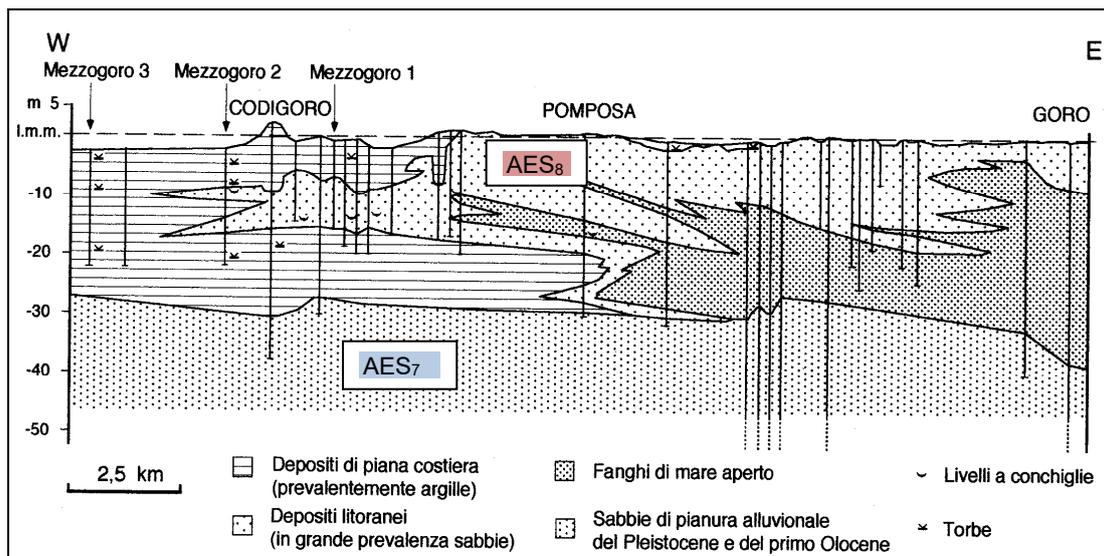
**FIGURA 2.35** - *Mapa della profondità della base dell'Olocene.*

Come si può osservare nel dettaglio della **FIGURA 2.36** la profondità a cui cominciano i sedimenti olocenici (ovvero quelli depositatisi negli ultimi 10.000 anni dal presente), hanno spessore variabile da 27m a 32m nella parte più orientale a 20m nella parte più occidentale. 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 Codigoro, condizionando fortemente gli effetti di sito cosismici attesi.



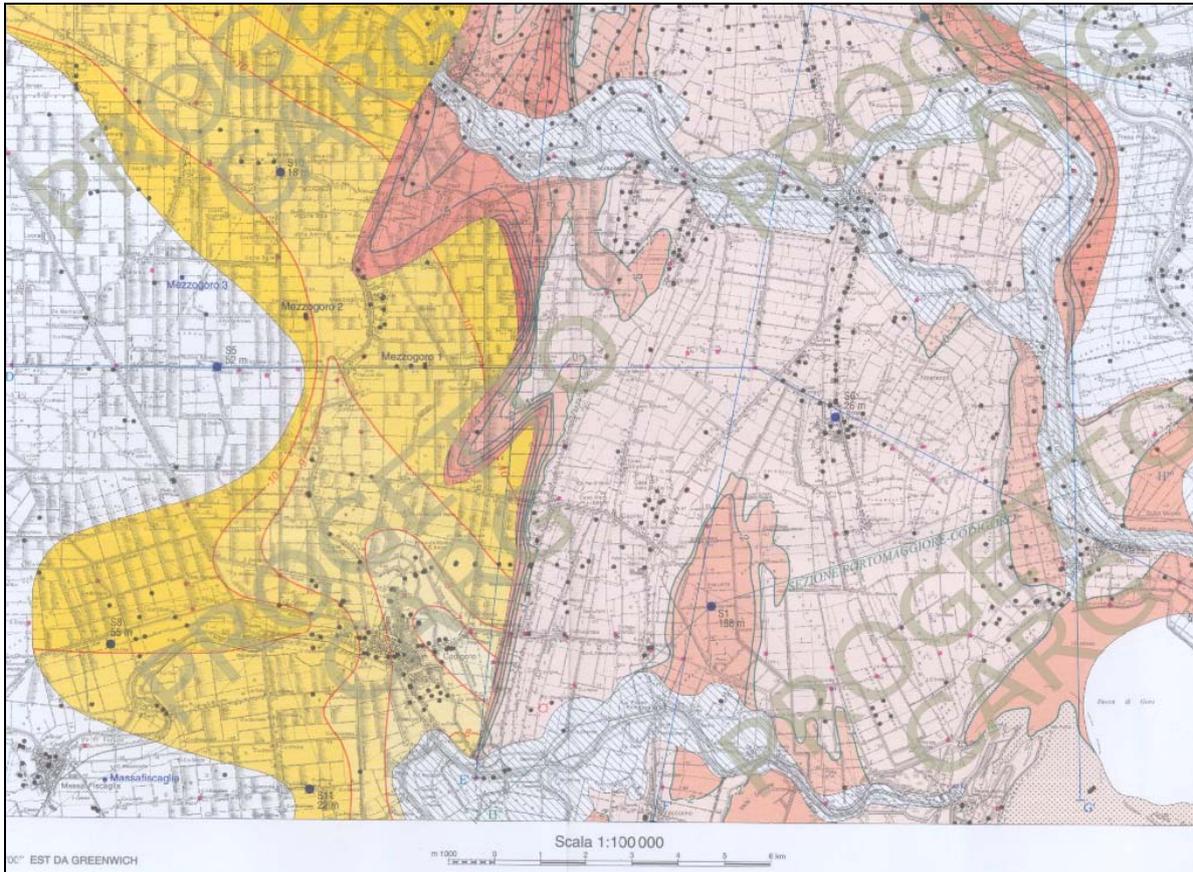
**FIGURA 2.36** - particolare della carta degli spessori dell'Olocene. A Codigoro essi variano da -34m nella porzione più orientale a circa 23m nella porzione più occidentale.

In **FIGURA 2.37** 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 2.37** – 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 si riportano due dettagliate cartografia 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 (AES<sub>8</sub>) e (**FIGURA 2.39**) le isobate del tetto delle Sabbie alluvionali del fiume Po - Subsistema di Villa Verucchio (AES<sub>7</sub>).



**SUBSISTEMA DI RAVENNA AES<sub>2</sub>**

**Sabbie litorali**

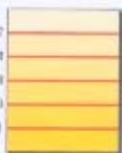
Sabbie da finissime a grossolane, ricche di bioclasti, che formano un corpo di geometria complessa, il cui spessore aumenta progressivamente da 0 a 25 m, spostandosi dal bordo occidentale del foglio alla sua parte centrale, per poi azzerarsi di nuovo, nella porzione più orientale dell'area cartografata. Il corpo è organizzato in una sequenza retrogradante-progradante, formata inferiormente da sedimenti di barriera trasgressiva e delta estuario o superiormente da sabbie di cordone litorale e fronte deltizia regressiva.  
Età: *OLOCENE*; 8.500 anni B.P. c.a. - Attuale (datazione <sup>14</sup>C non cal.).



**Sabbie di fronte deltizia, cordone litorale e duna eolica**

Sabbie medie e fini, spesso ricche in frammenti di molluschi marini, organizzate in strati medio-spessi, frequentemente amalgamati, caratterizzati da una leggera pendenza deposizionale verso mare (cinostatificazione). Queste sabbie possono raggiungere lo spessore di 15 m e sono superiormente limitate da una superficie eterocrona, che, nella parte centrale del foglio, corrisponde all'attuale superficie topografica e, nelle parti orientali ed occidentali, segue il contatto con depositi fini di palude salmastra-laguna, argille, limi e torbe di pianura interdistributrice dulciacole. Nella porzione più occidentale, accumuli sabbiosi arcuali probabilmente registrano fronde litorali e scanni, sviluppati in fasi relativamente precoci dello stazionamento alto. Successive fasi di stabilizzazione della linea di costa sono registrate da cospicui accumuli di sabbie eoliche ben cementate.  
Età: 4500 c.a. - Attuale (datazioni <sup>14</sup>C non cal., dati archeologici e storici).

Isobata del tetto delle sabbie di fronte deltizia, cordone litorale e duna eolica (in metri s.l.m.)



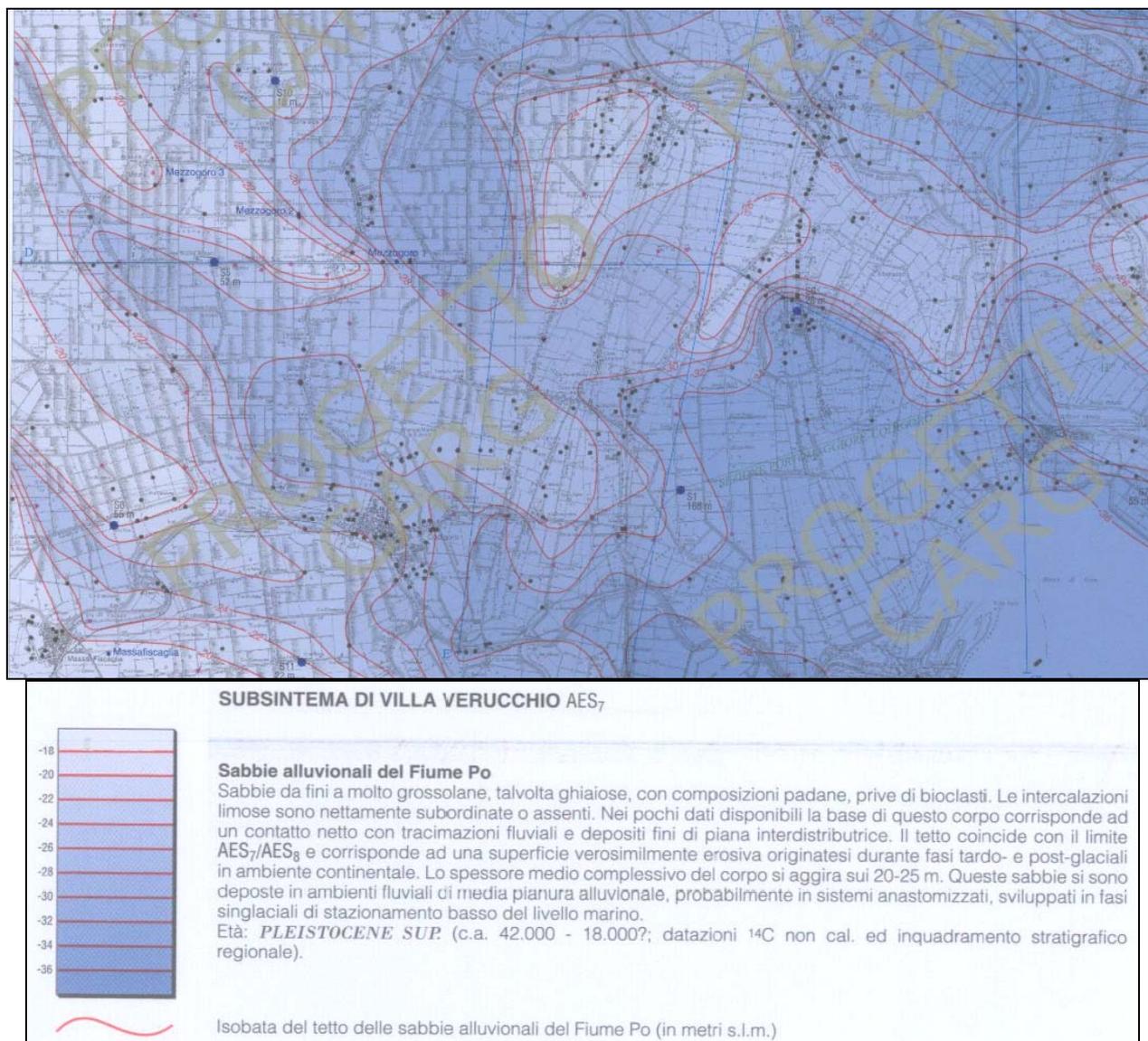
**Sabbie di barriera trasgressiva e delta estuario**

Sabbie medie e fini, con intercalazioni limoso-argillose, ricche in bioclasti di molluschi marini, frequentemente concentrati in strati di tempesta, qui generalmente più sviluppati che nell'unità sopradescritta. Corpi lenticolari a sviluppo prevalentemente orizzontale che verso mare sfumano in fanghi marini e verso terra si sfrangano in depositi di palude salmastra-laguna o sfumano in sabbie di riempimento di canali fluvio-deltizi. Inferiormente e nella parte orientale sono preservati sottili livelli di sabbie bioclastiche relitte di cordone trasgressivo. La parte più recente di queste sabbie si sovrappone alla superficie di massima ingressione e registra le fasi iniziali di stazionamento alto. Lo spessore complessivo di quest'unità sabbiosa può raggiungere i 10 m, nella parte centrale e settentrionale del foglio, e si riduce a zero sia verso O, sia verso E.  
Età: 8.500 - 4.500 c.a. (datazioni <sup>14</sup>C non cal.).

Isobata del tetto delle sabbie di barriera trasgressiva e delta estuario (in metri s.l.m.)

**FIGURA 2.38 - Tetto delle sabbie litorali - subsistema di ravenna (AES<sub>2</sub>)**

[http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/187\\_CODIGORO\\_SOTTO/Foglio.html](http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/187_CODIGORO_SOTTO/Foglio.html)



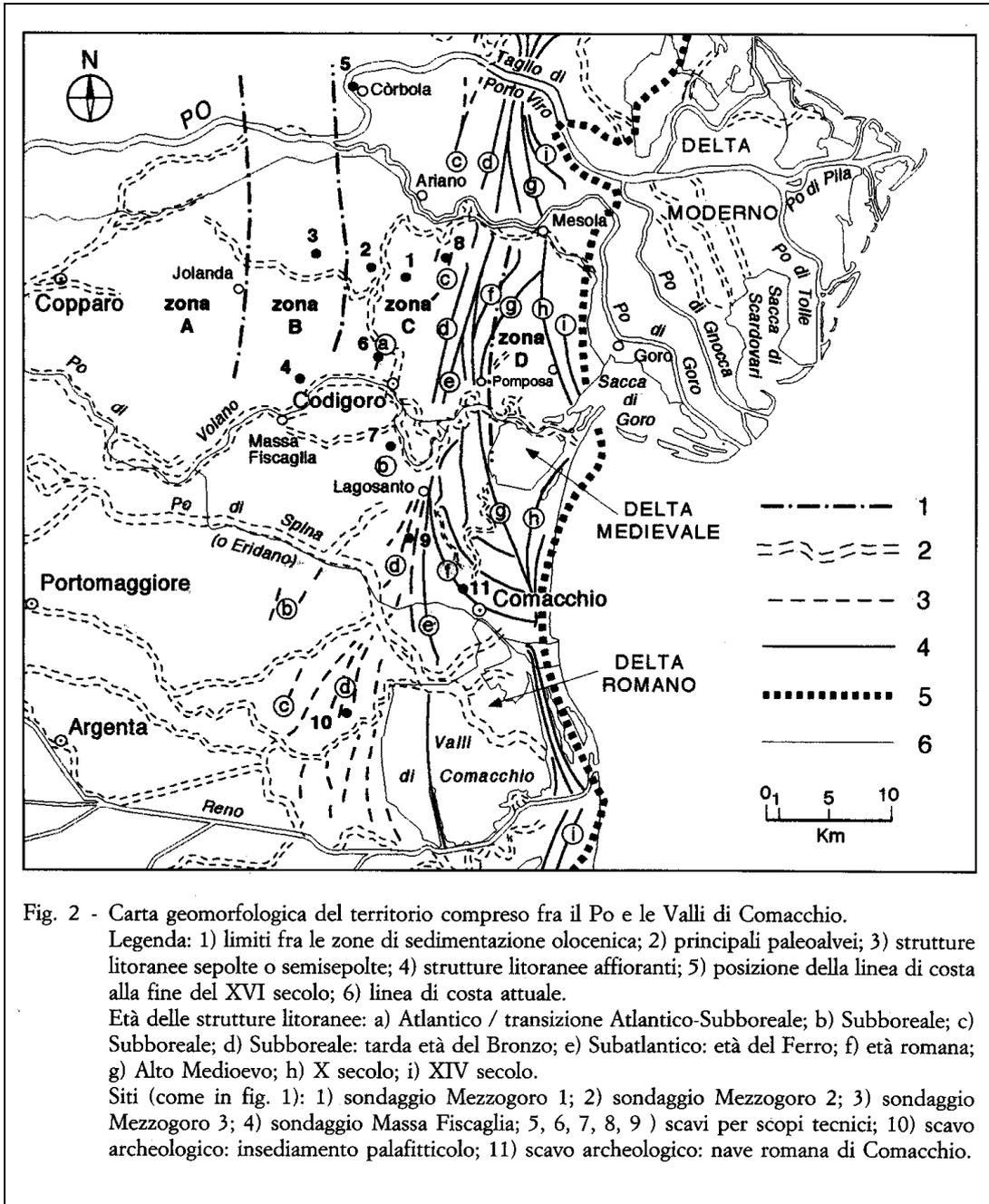
**FIGURA 2.39** - Tetto delle sabbie alluvionali del fiume po - subsistema di villa verucchio (Aes<sub>7</sub>)  
[http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/187\\_CODIGORO\\_SOTTO/Foglio.html](http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/187_CODIGORO_SOTTO/Foglio.html)

L'evoluzione ambientale del territorio di Codigoro 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, ad esclusione della zona del centro abitato di Volano, ove per i primi 5m/6m sono presenti fanghi di laguna molli. Le strutture geomorfologiche affioranti che caratterizzano il territorio comunale sono costituite da:

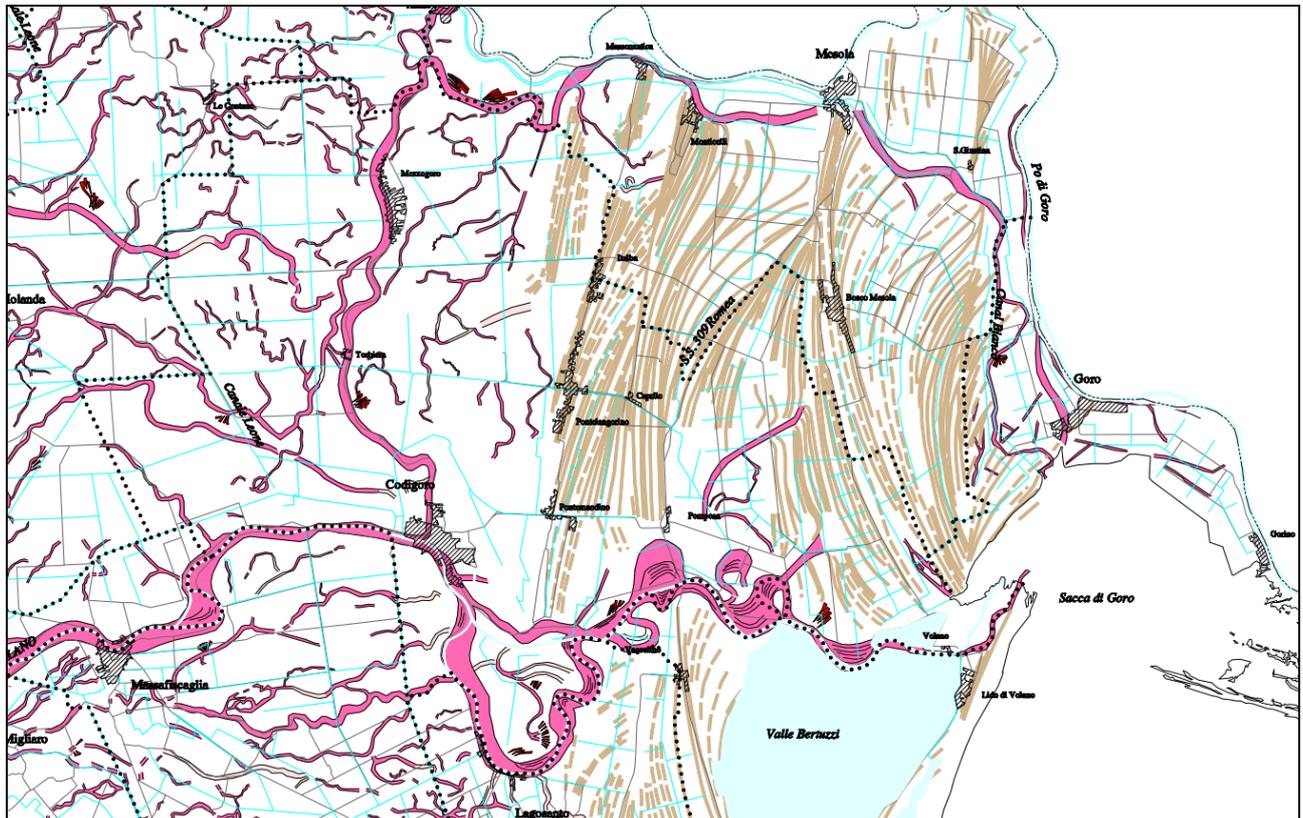
- paleoalvei di riempimento attivo;
- paleoalvei di riempimento passivo;
- depositi di rotta e di esondazione fluviale;
- bacini interfluviali distali (piane alluvionali e depositi palustri);
- allineamenti di paleodune e depositi di battigia.

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 del comune di Codigoro.

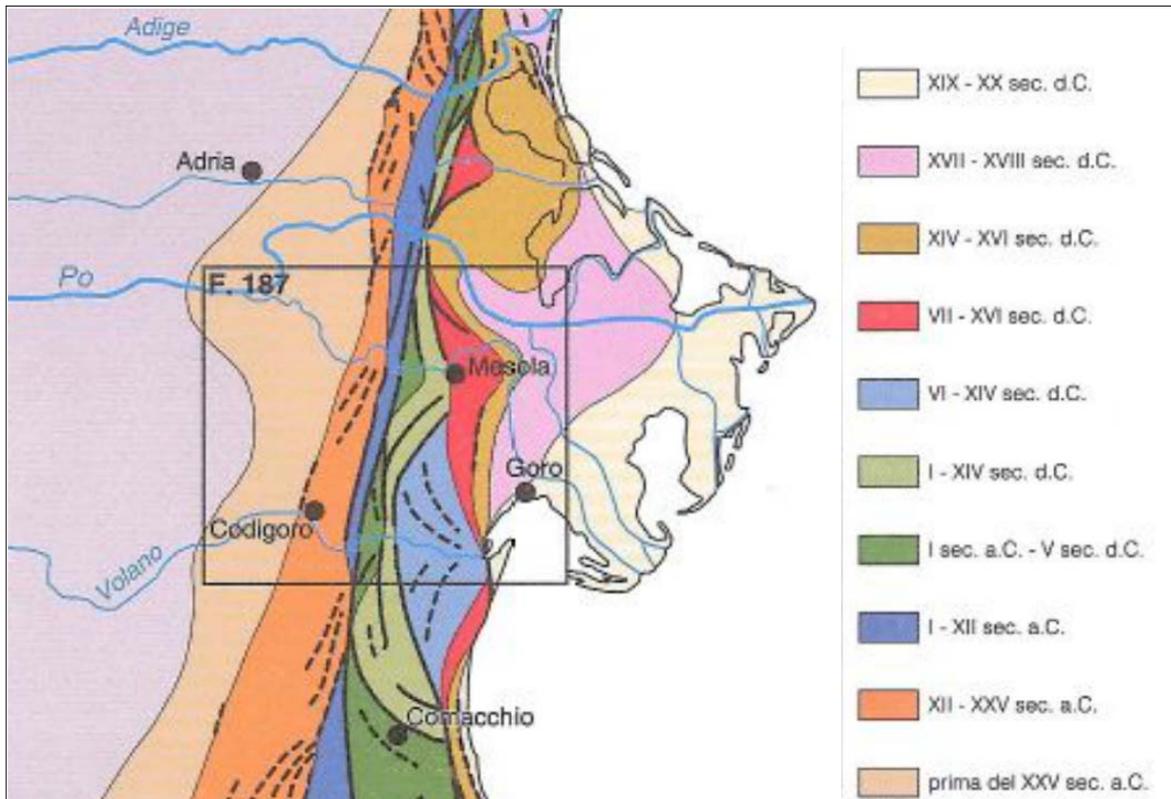


**FIGURA 2.40** - stralcio della carta geomorfologica fra il Po e le Valli di Comacchio, in cui si inserisce il comune di Codigoro



*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](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 miselarsi e poi a sostituirsi con le acque dolci. Più prosegue la subsidenza e più si espandono gli specchi vallivi che nel XVI secolo raggiungono la loro massima estensione.

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

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**, in **FIGURA 2.45** e in **FIGURA 2.46** si riportano stralci di alcune carte storiche, una del 1814, una del 1853 ed una del 1898 in cui sono visibili gli estesi bacini vallivi di tutto il basso ferrarese, in particolare quelli del comune di Codigoro. Nella successiva **FIGURA 2.47** si riporta una carta dei bacini di bonifica con il periodo dell'avvenuto prosciugamento, partendo dalla situazione riferita alla seconda metà del XIX sec.

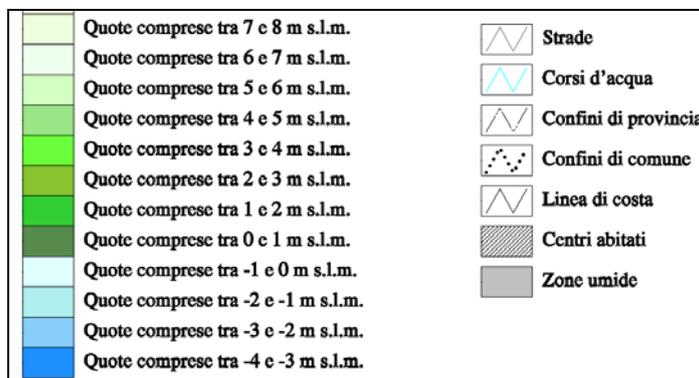
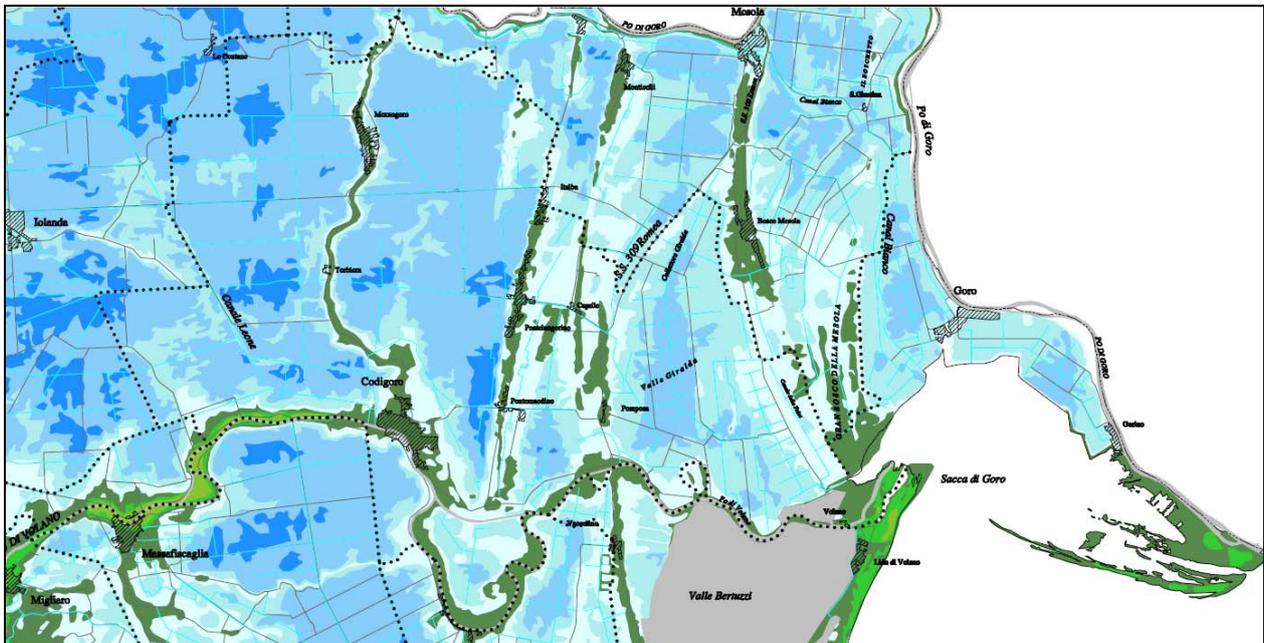


FIGURA 2.43 - stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara



FIGURA 2.44 - carta storica del 1814. ([http://www.mokagis.it/html/applicazioni\\_mappe.asp](http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp))

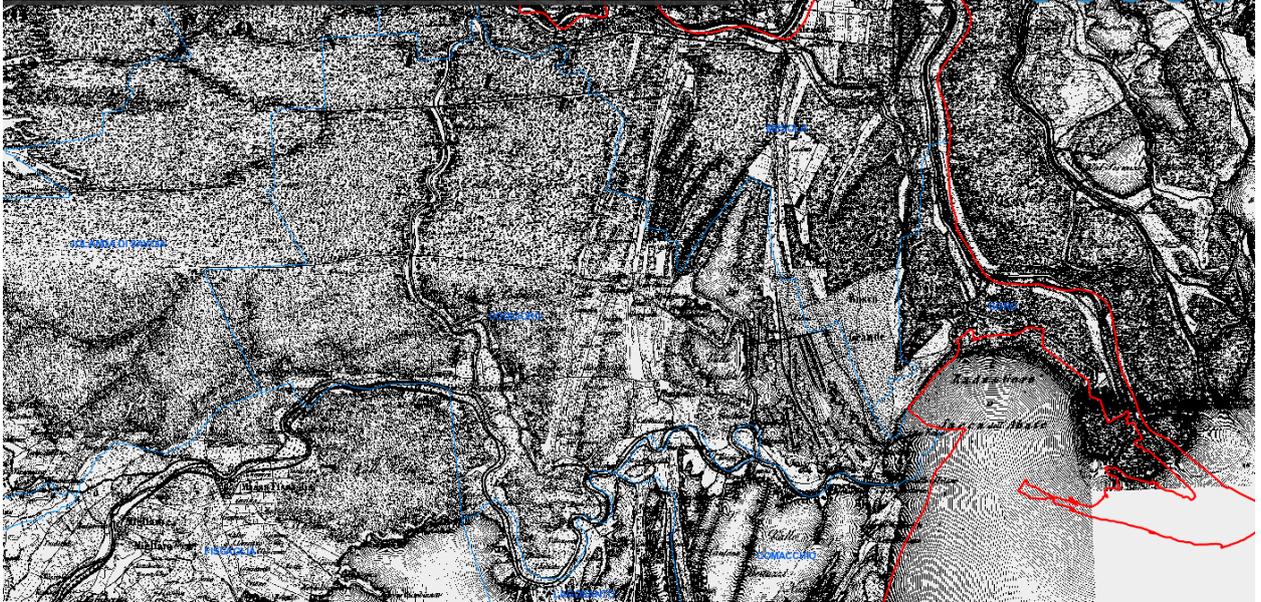


FIGURA 2.45 - carta storica del 1853 ([http://www.mokagis.it/html/applicazioni\\_mappe.asp](http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp))



FIGURA 2.46 – Carta storica del 1898 (reperita su sito <http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/topo/3felmeres.htm>)

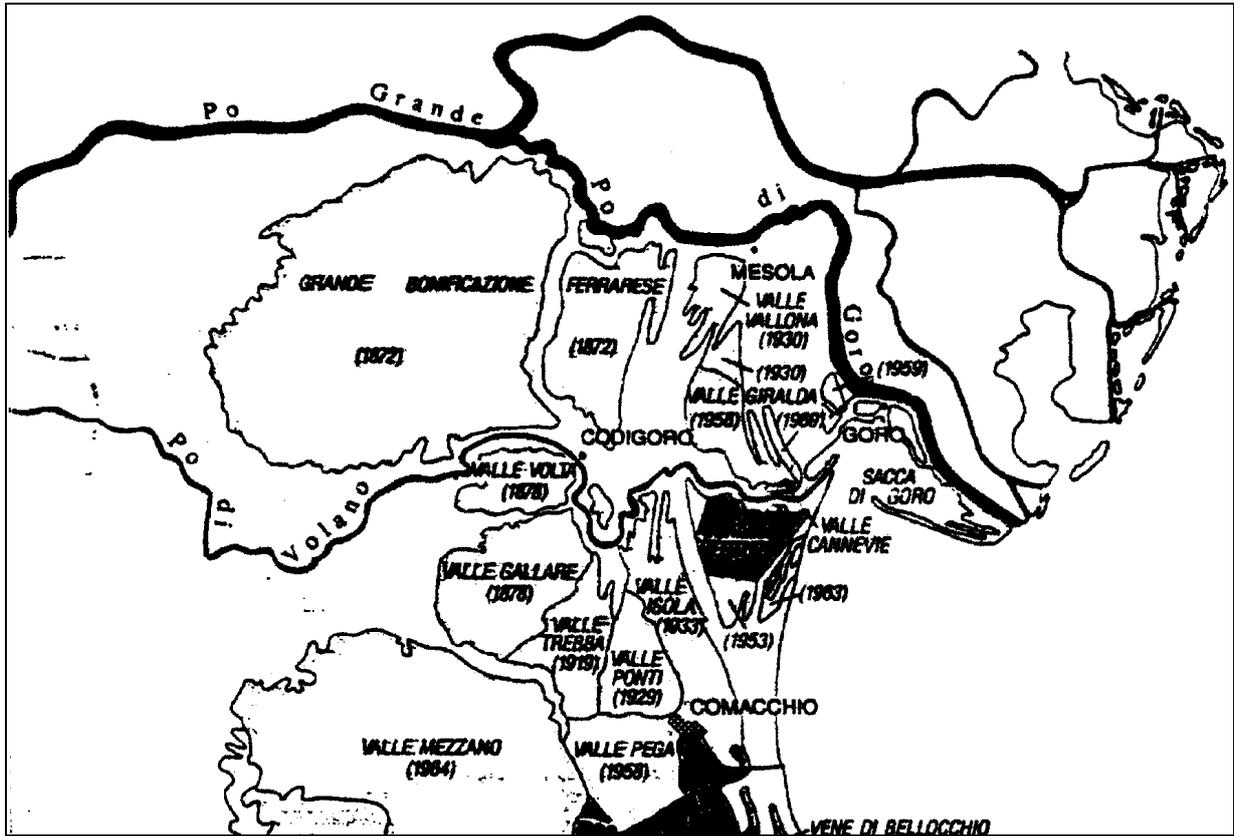


FIGURA 2.47 - Carta dei bacini di bonifica con evidenziate le date dell'avvenuto prosciugamento (M. Bondesan, 1994)

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 2.48 ed in FIGURA 2.49 tale trasformazione appare in tutta la sua evidenza.

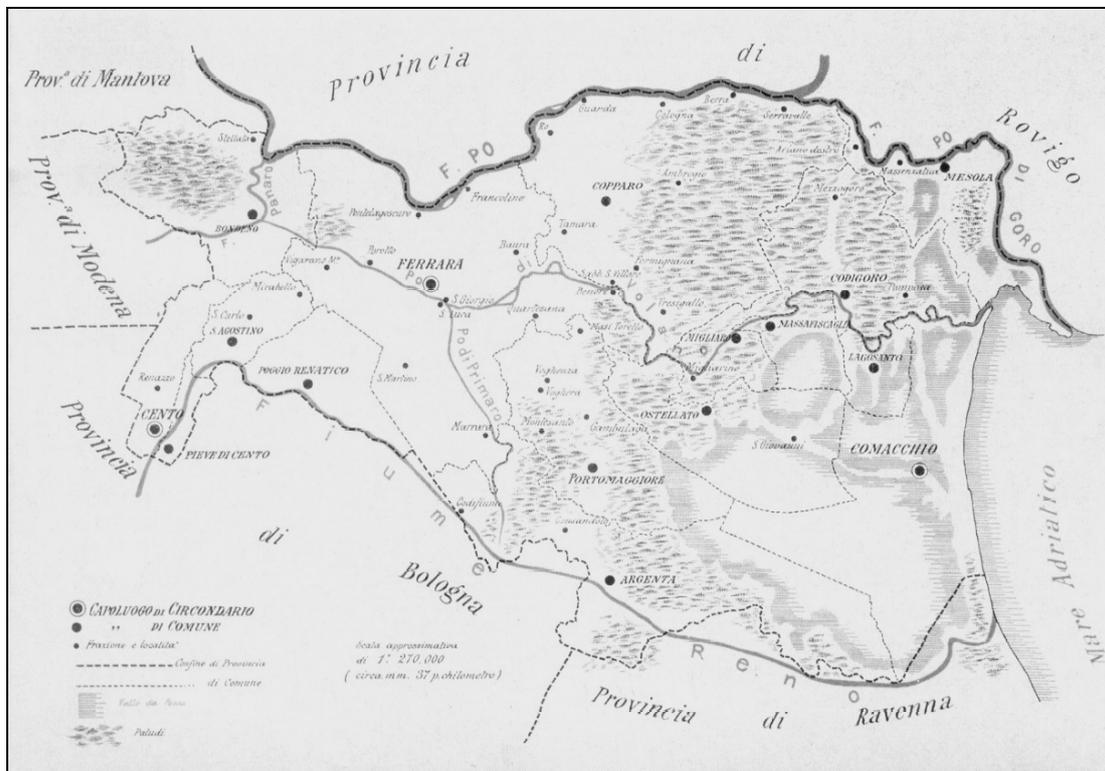
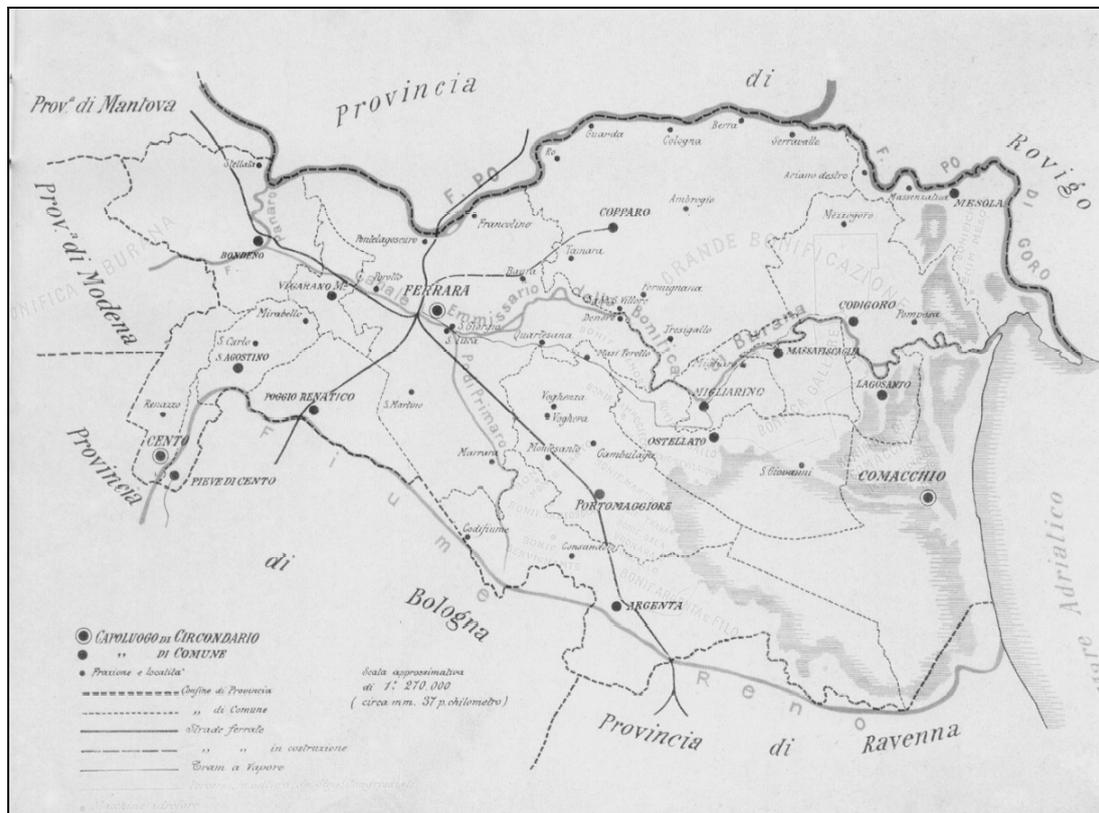


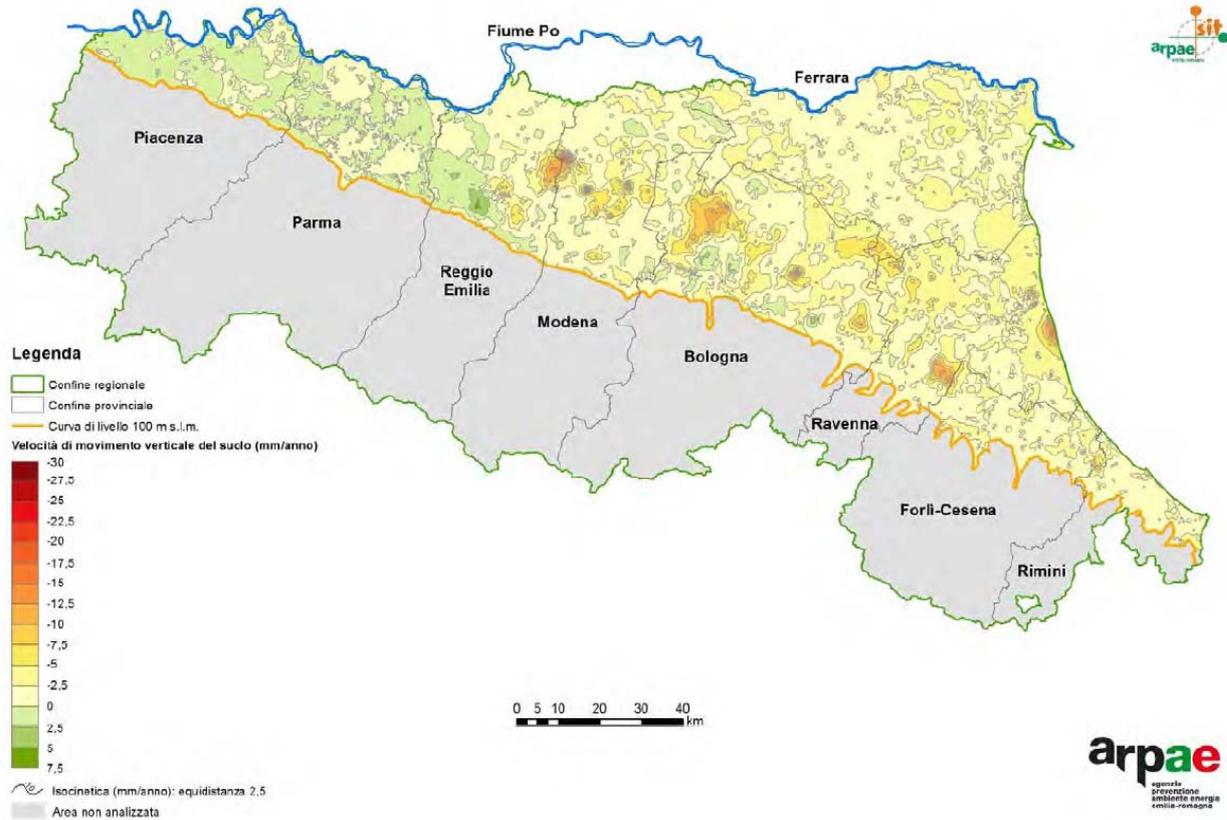
FIGURA 2.48 - La provincia di Ferrara a metà dell'800 prima delle Bonifiche meccaniche (da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)



**FIGURA 2.49** - La provincia di Ferrara dopo le Bonifiche ottocentesche  
(da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)

In **FIGURA 2.50** 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.

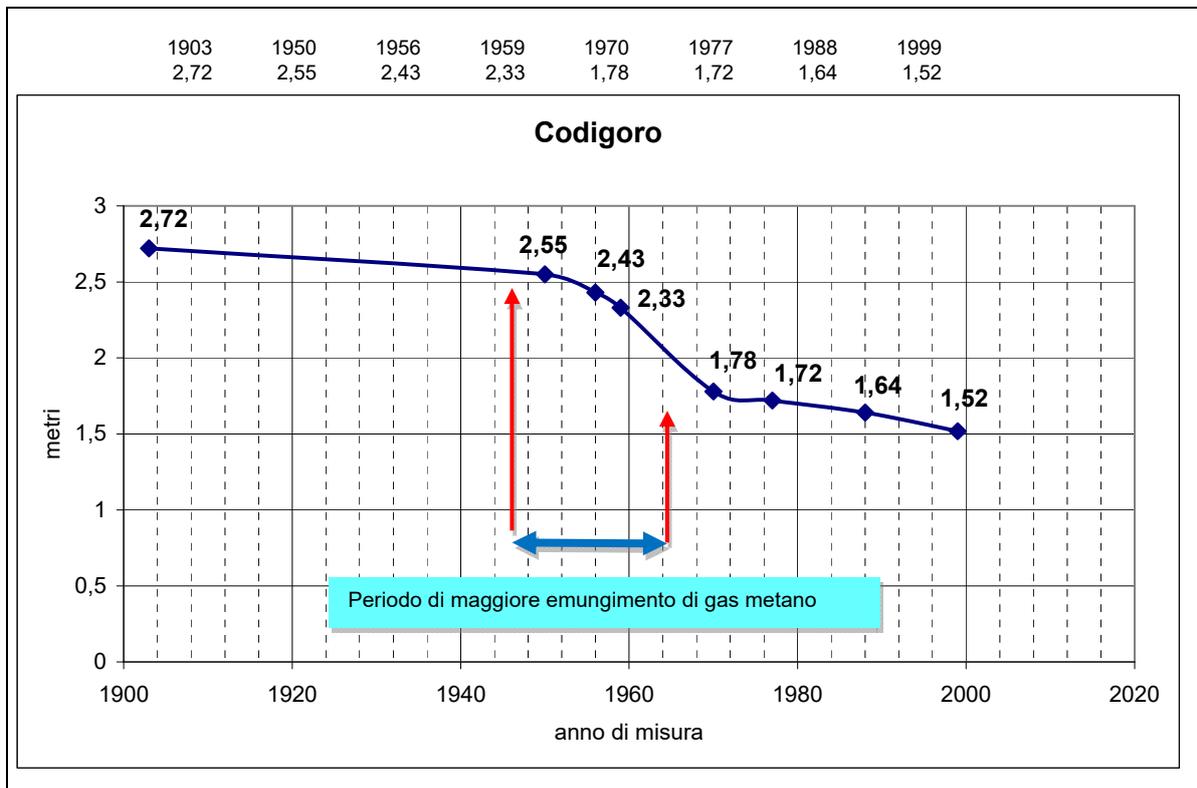
## RILIEVO DELLA SUBSIDENZA NELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA



**FIGURA 2.50** - 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 Codigoro.

Codigoro 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 2.51**.



**FIGURA 2.51** - *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 Codigoro 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 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 reperite nel territorio comunale di Codigoro 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 Codigoro presenti nella banca dati dello scrivente.

Nella **Tabella 3.1.** che segue è indicato il numero delle indagini reperiti nella banca dati personale dello scrivente, quelle reperite dalla banca dati regionale e quelle di nuova esecuzione fatte appositamente per questo studio.

	Tipologia di indagine	Numero indagini Banca dati Veronese	Numero indagini bibliografiche	Numero Totale di indagini
PENETROMETRIE E SONDAGGI	CPT	260	165	425
	CPTU	50	52	102
	SCPTU	6	1	7
	SPT	-	4	4
	Sondaggio continuo	-	71	71
	Sondaggio a distruzione	-	30	30
	Pozzi per acqua	-	16	16
	Pozzi per idrocarburi	-	2	2
	TOTALE	316	341	657

INDAGINI GEOFISICHE	E.S.A.C.	-	1	1
	HVSR	-	12	12
	RE.MI.	4	-	4
	M.A.S.W.	-	4	4
	Sondaggi elettrici verticali	-	10	10
	TOTALE	4	27	31

NUOVE INDAGINI	SCPTU	4
	HVSR	13
	TOTALE	17

	TOTALE INDAGINI	705
--	-----------------	-----

**Tabella 3.1** - Indagini complessive analizzate in questo studio

Le 705 indagini pregresse presenti nel territorio comunale sono state analizzate ed archiviate in una banca dati informatizzata e georeferenziata con sistema WGS84 fuso 33N (come prescritto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica del Dipartimento nazionale della Protezione Civile) in ambiente GIS ESRI, la cui struttura risponde alle specifiche per gli studi di microzonazione sismica.

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

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

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

### 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 Codigoro si è ritenuto necessario procedere con l'esecuzione di nuove indagini specifiche.

Nello specifico si sono eseguite n.4 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono sismico SCPTU spinte tutte fino alla profondità di -30,0 m da p.c., e n.13 misure di microtremore a stazione singola HVSr (Tabella 3.2).

N° indagine	Riferimento	Data	Lat.	Long.	Località
SCPTU1	038005P677	01/10/2019	4968870	270991	(Ex. Colombani) via Rossini, Codigoro
SCPTU2	038005P678	10/10/2019	4968390	271169	(Municipio) via XX Settembre, Codigoro
SCPTU3	038005P679	04/10/2019	4968870	271648	(Scuole) viale della Resistenza, Codigoro
SCPTU4	038005P680	01/10/2019	4970110	275782	Loc. Caprile Centro, Caprile
HV01	038005P681	09/10/2019	4976770	270562	Cimitero, Mezzogoro
HV02	038005P682	08/10/2019	4974790	270293	Loc. Gran Linea, Mezzogoro
HV03	038005P683	08/10/2019	4977510	269103	Loc. Vittoria, Mezzogoro
HV04	038005P684	09/10/2019	4975680	274912	Loc. Gran Linea, Italba
HV05	038005P685	08/10/2019	4974870	267288	Loc. Gran Linea, Codigoro
HV06	038005P686	09/10/2019	4974890	273370	Loc. Gran Linea, Codigoro
HV07	038005P687	08/10/2019	4968690	271157	viale G. Amendola, Codigoro
HV08	038005P688	10/10/2019	4968390	271172	(Municipio) via XX Settembre, Codigoro
HV09	038005P689	09/10/2019	4968770	272016	(Scuole) viale della Resistenza, Codigoro
HV10bis	038005P690	18/10/2019	4969180	275684	Loc. Per Pomposa Sud, Codigoro
HV11	038005P691	08/10/2019	4965200	283095	Loc. Volano Centro, Volano
HV12	038005P692	19/10/2019	4964860	283043	Loc. Volano Centro, Volano
HV13	038005P693	18/10/2019	4970300	274876	Loc. Fronte I Tronco, Pontelangorino

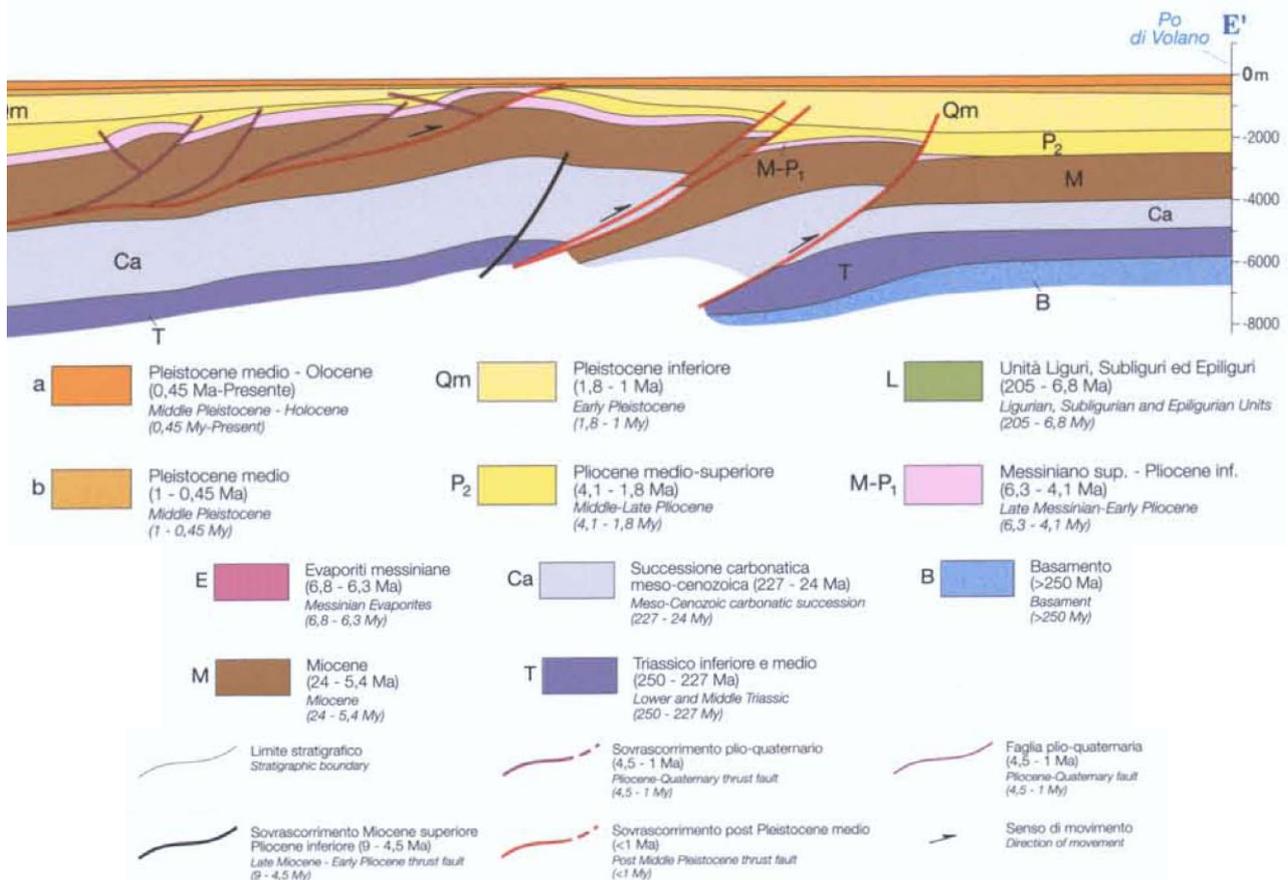
Tabella 3.2 - WGS84 fuso 33N

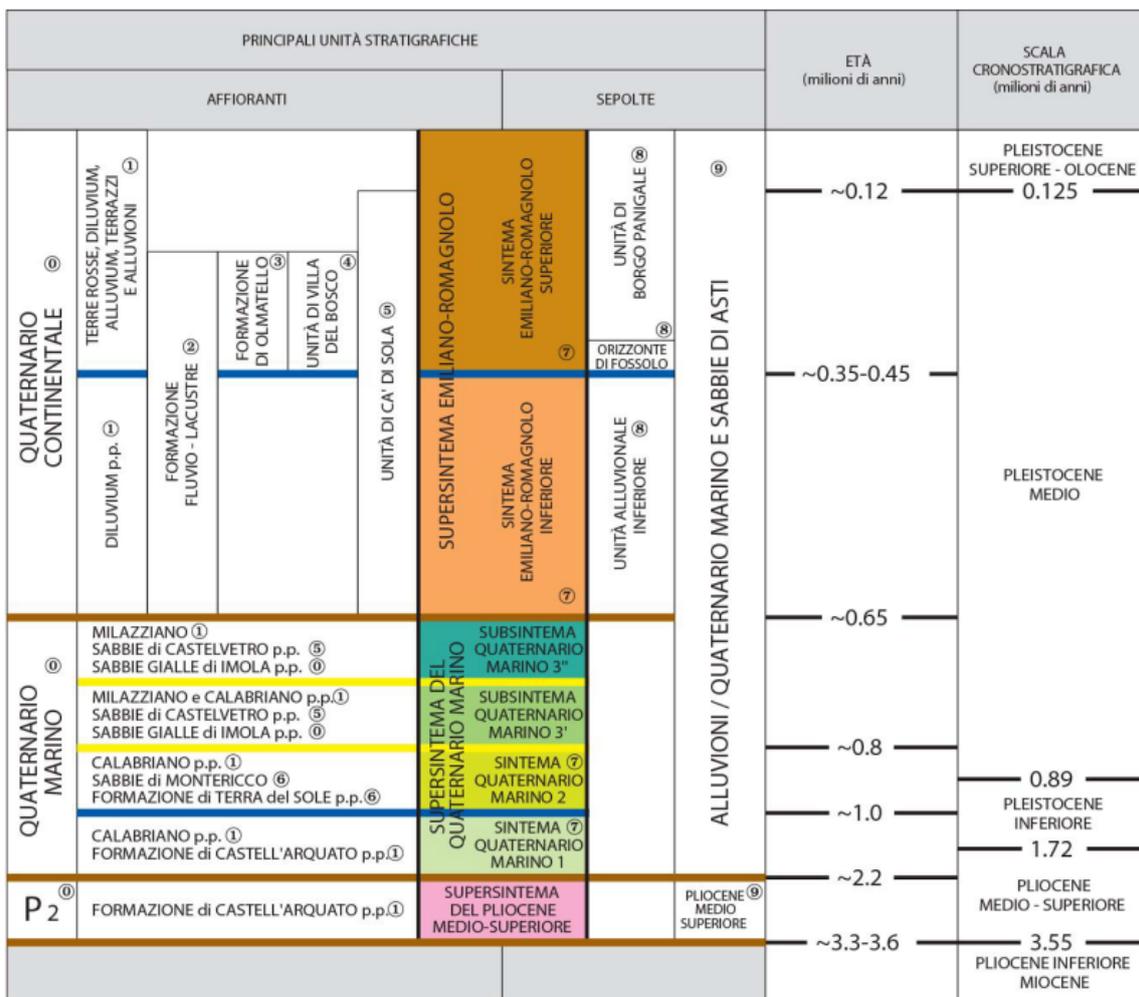
#### 4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

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 Subintemi 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**).





Riferimenti Bibliografici

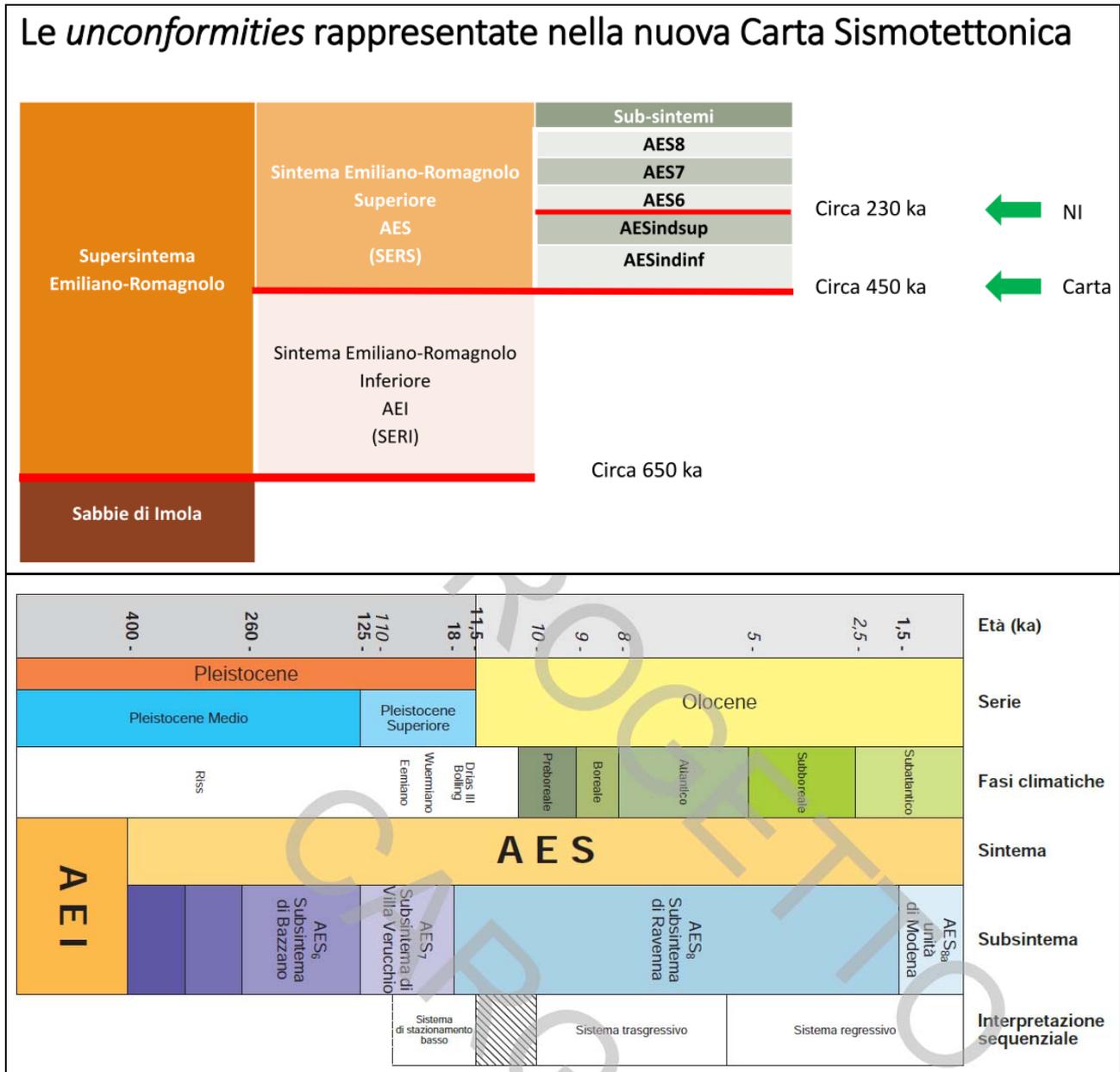
- ⑥ Ricci Lucchi et Al. (1982)
- ③ Vai (1984) - Marabini et Al. (1987)
- ⑥ Nuova Carta Geologica d'Italia 1:50.000 F. 218 (2002) - F. 254 (2001)
- ① Carta Geologica d'Italia 1:100.000
- ④ Farabegoli (1985)
- ⑦ Di Dio et Al. (1997 a/b)
- ② Cremaschi (1982)
- ⑤ Gasperi et Al. (1987)
- ⑧ Amorosi & Farina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

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

**FIGURA 4.2**

Nella carta tettonica dell'Emilia Romagna, revisionata nel 2016, si è deciso di rappresentare la base di AES (già nella precedente edizione) e AES6 perché testimoniano le più recenti profonde modificazioni della distribuzione dei sistemi deposizionali, riconducibili all'evoluzione del bacino di sedimentazione a seguito di movimenti tettonici a scala regionale e ai cicli regressivo-trasgressivi di natura climatico-eustatica (glaciazioni). In **FIGURA 4.3** si riporta lo schema stratigrafico con evidenziate le Unconformities di riferimento.

## Le *unconformities* rappresentate nella nuova Carta Sismotettonica



**FIGURA 4.2** - *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 Sintema 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 avampaese 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.

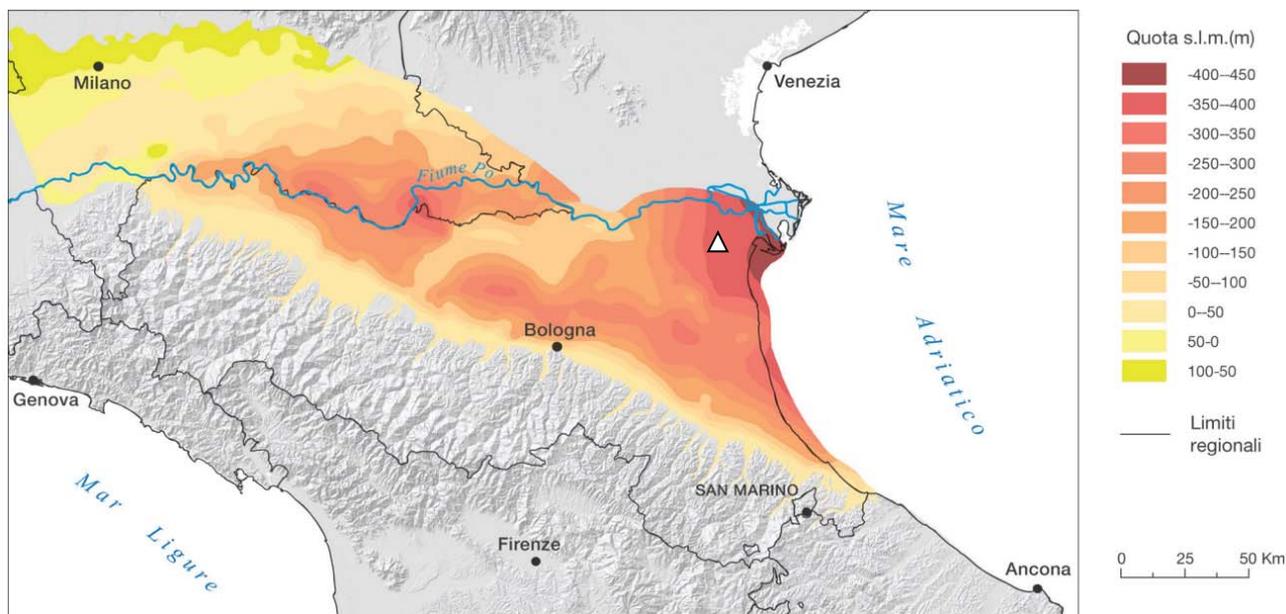


Figura 4.38: mappa (isobate s.l.m.) della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (0,45 Ma).

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

### **FIGURA 4.3** - Isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore

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

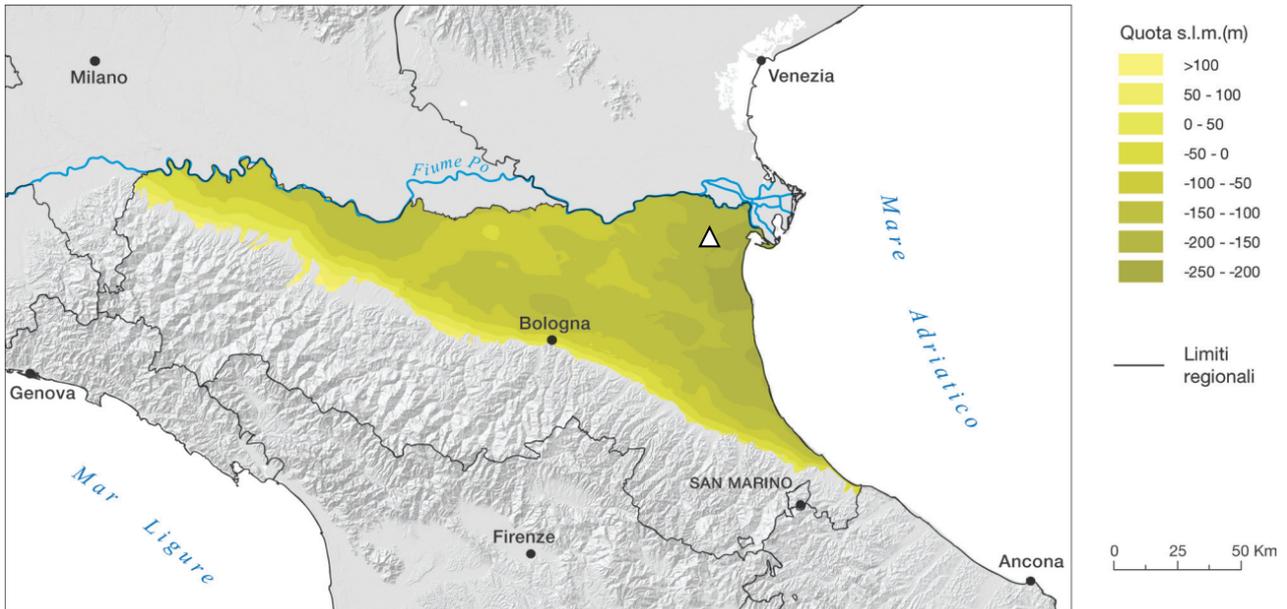


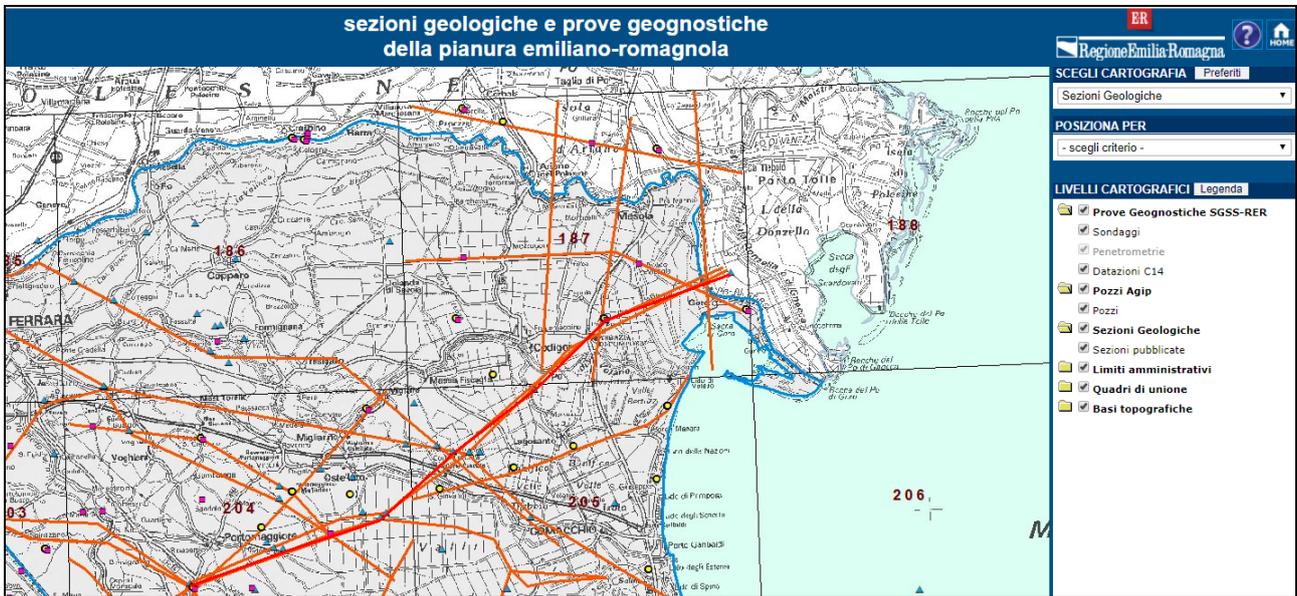
Figura 4.39: mappa delle isobate della base del subsistema di Bazzano (0,25-0,23 Ma).

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

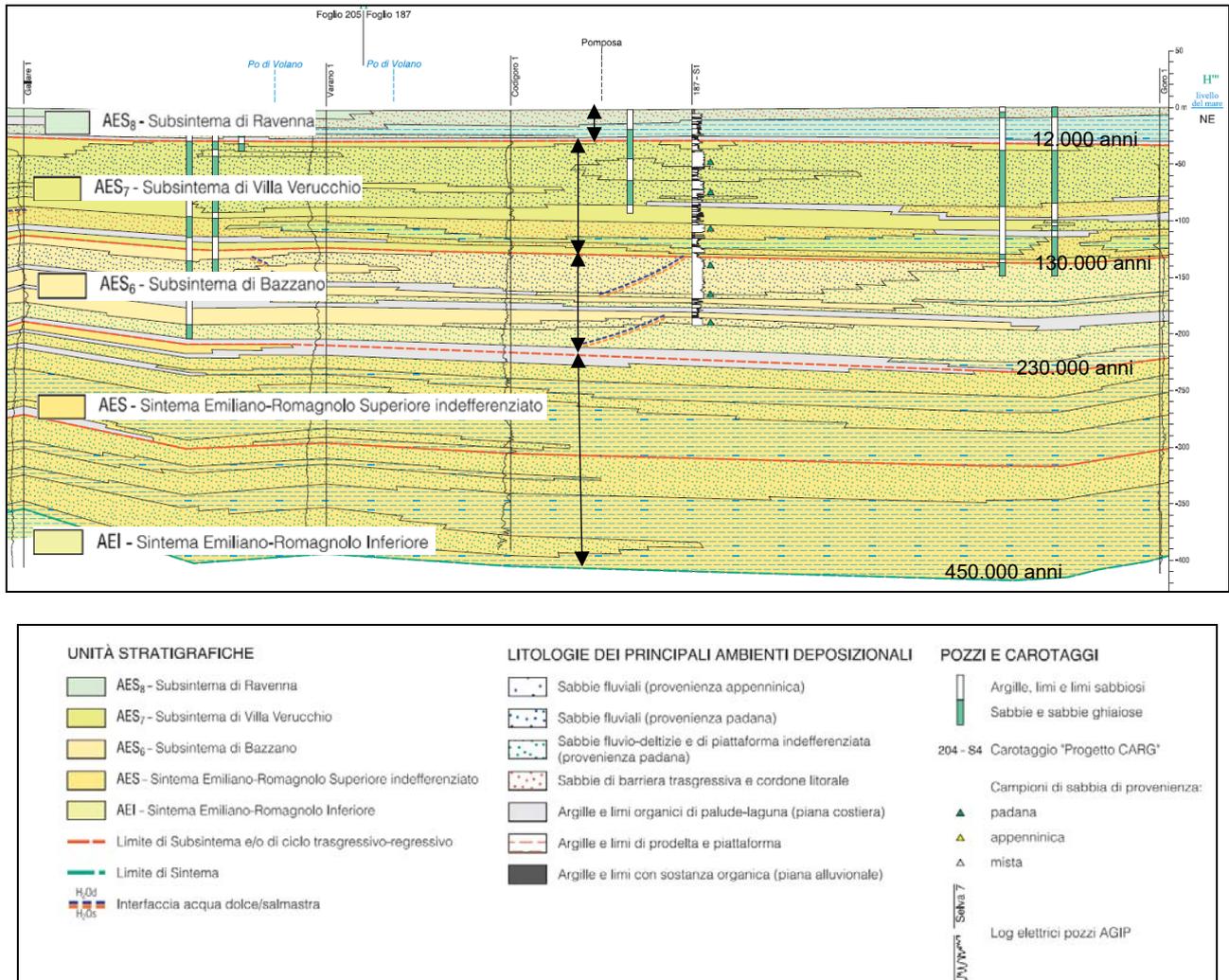
**FIGURA 4.4 - Isobate della base del subsistema di Bazzano**

Sotto a Codigoro 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 Codigoro. In essa (**FIGURA 4.7**) è stata evidenziata la suddivisione nei Subsistemi principali e le loro età.



**FIGURA 4.5 – Sezione n.69**



**FIGURA 4.6** - *Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 350m di profondità.*

[http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/sezioni\\_pianura/sez093.pdf](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 pluridecimetrico 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. SITEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI)

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

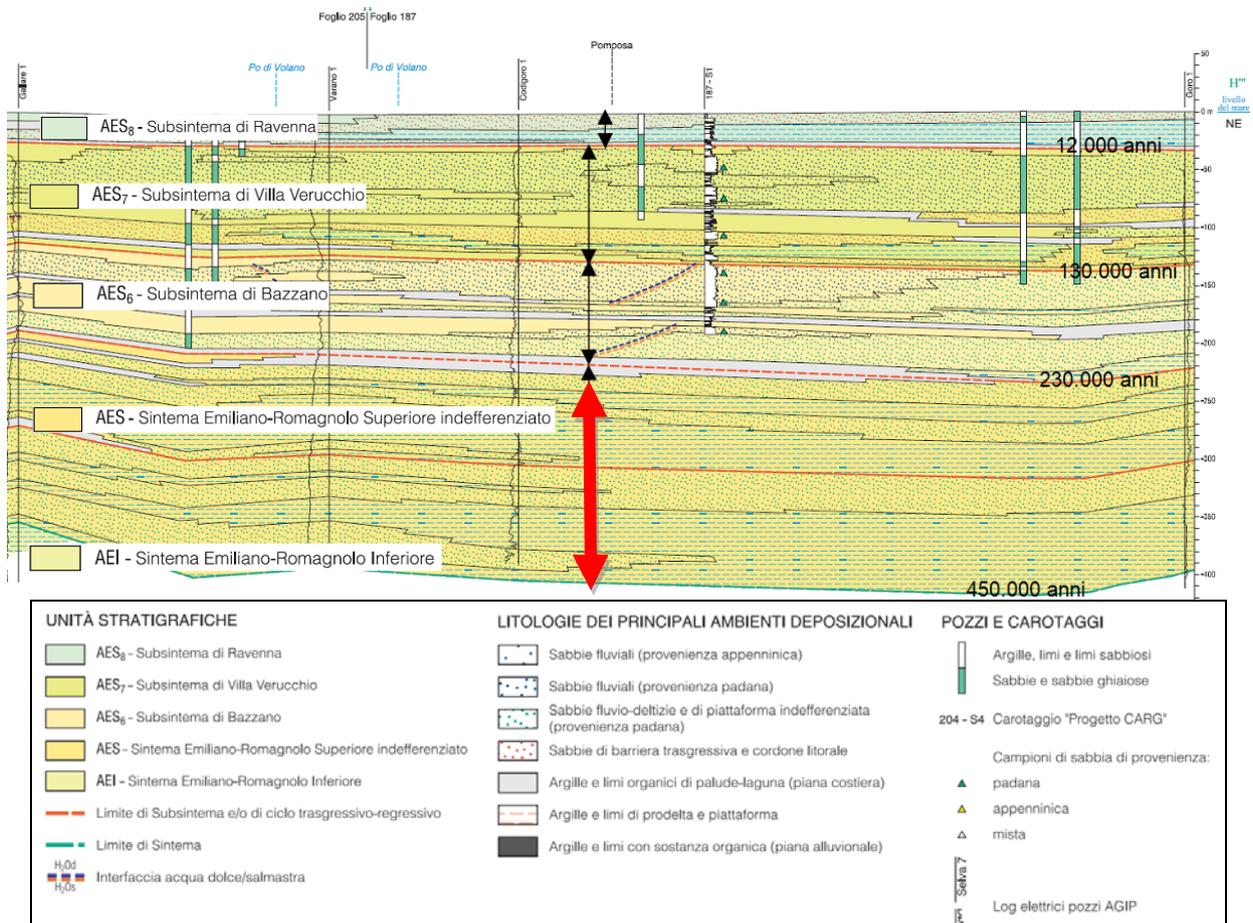


FIGURA 4.7 - Suddivisione dei cinque cicli deposizionali trasgressivo-regressivi

#### 4.4. SUBSINTEMA 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 Emilia-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 ciclostrografica con la scala delle fluttuazioni climatico-eustatiche di Martinson et alii (1987) suggerisce un'età fra c.a. 230.000 e 130.000 anni.

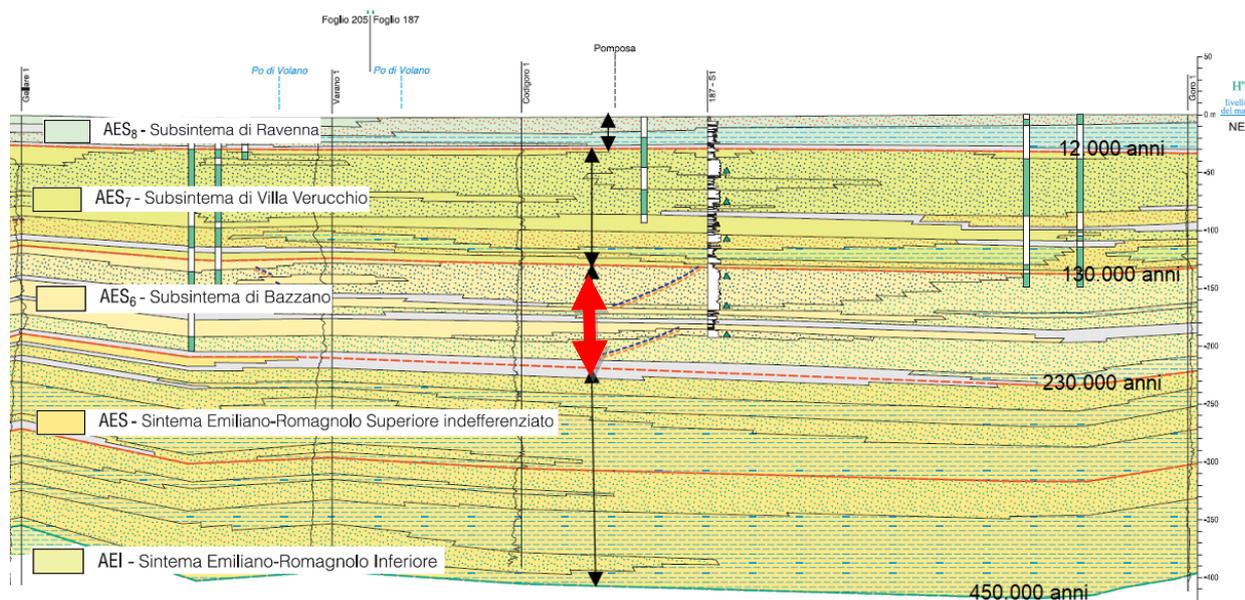


FIGURA 4.8 - il Subsistema AES6

#### 4.5. SUBSINTEMA 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

parte sommitale dei cicli è caratterizzata da depositi ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale e conoide alluvionale, spessi fino a 15-20 metri, che si aprono a ventaglio allo sbocco in pianura dei fiumi e si sfrangono poi in corpi nastriformi di canale.

Questi depositi grossolani corrispondono al sistema acquifero A1 (Regione Emilia a-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Nel Foglio Codigoro, il subsistema è stato interamente attraversato dal sondaggio 187-S1, per uno spessore complessivo di 95 m (**FIGURA 4.10**). I 10 m inferiori registrano una rapida evoluzione trasgressiva, da condizioni di piana alluvionale con episodi drenati e paleosuoli, ad una barra sabbiosa trasgressiva, fino a fanghi di mare aperto, con ricche associazioni faunistiche e testimonianze di clima temperato-caldo e umido. Segue una spessa successione progradante regressiva, formata da fanghi di prodelta e sabbie deltizie. La parte centrale del subsistema è formata da depositi di piana deltizia ed alluvionale, con episodi palustri di clima temperato-freddo, a cui seguono, con contatto brusco, 20 m di sabbie medio-grossolane di media pianura alluvionale fredda, che si correlano con livelli a resti di mammiferi singlaciali (rinoceronte lanoso, mammut, renna). Le sabbie sono limitate a tetto da una superficie netta ed erosiva, verosimilmente terrazzata.

Nel sottosuolo della pianura Emiliano-Romagnola, lo spessore del subsistema di Villa Verucchio varia da poche decine di metri, presso il margine appenninico, ad oltre 100 m nei settori depocentrali della pianura e nell'area qui cartografata. Il subsistema di Villa Verucchio si può correlare con il ciclo glacio-eustatico compreso fra gli stadi isotopici 5e (Tirreniano Auct.) e 2, della curva isotopica dell'ossigeno di Martinson et alii (1987). Sulla base di queste considerazioni, il subsistema è attribuito all'intervallo compreso fra c.a. 125.000 anni e c.a. 17.000 anni BP (Pleistocene superiore).

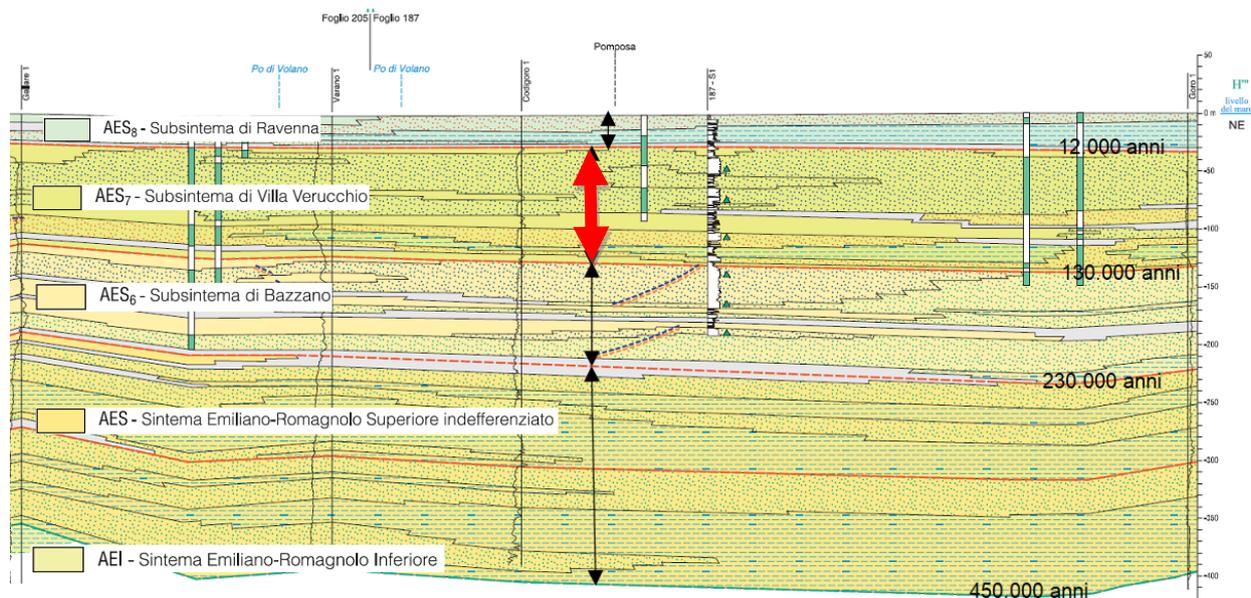


Figura 4.9 - Subsistema AES7

#### 4.6. SUBSISTEMA DI RAVENNA – AES 8 E UNITA' DI MODENA – AES8a

Questo subsistema forma la parte sommitale del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore. Esso comprende gran parte dei sedimenti che costituiscono la pianura emiliano-romagnola e le sottostanti prime decine di metri di sottosuolo. Il tetto coincide con la superficie topografica attuale. Tutti i depositi affioranti nel Foglio 187 sono attribuiti a questo subsistema.

L'unità è attraversata per tutto il suo spessore da gran parte delle penetrometrie e dei sondaggi stratigrafici realizzati per il progetto cartografico della Regione Emilia-Romagna, come pure da una significativa porzione delle indagini geognostiche della banca dati regionale. Il subsistema di Ravenna rappresenta perciò l'unità meglio caratterizzata fra tutti i depositi quaternari della pianura. La posizione stratigrafica, la continuità fisica dei depositi e delle superfici stratigrafiche e le molte datazioni radiometriche hanno consentito un'ottima correlazione fra l'area tipo (Foglio 223) e l'insieme della pianura emiliano-romagnola. In affioramento, l'unità mostra un chiaro gradiente di distalità, dalle valli appenniniche all'asse fluviale del Po ed al suo apparato deltizio, tuttora in corso di sviluppo. Nei settori intravallivi ed allo sbocco delle valli appenniniche (es. Fogli 255 e 239), il subsistema

corrisponde a vari ordini di terrazzo, costituiti da ghiaie di canale fluviale ricoperte da depositi di tracimazione 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 subsintema 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 subsintema, 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 subsintemi 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 subsintema 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 subsintema di Ravenna.

All'interno del Foglio Codigoro, la base del subsintema, 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 subsintema di Villa Verrucchio (AES7). In pochi

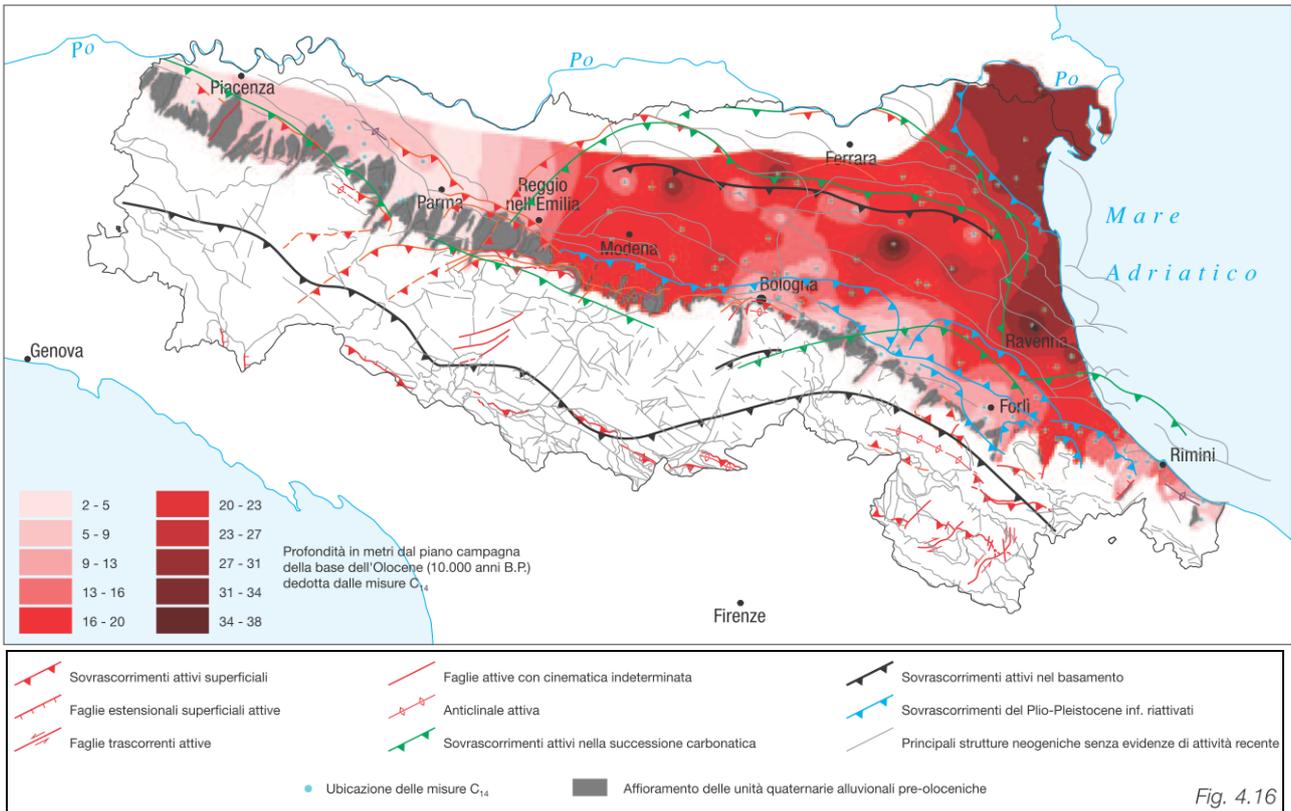
sondaggi e penetrometrie, si osserva l'amalgamazione deposizionale fra sabbie fluviali o costiere del subsistema di Ravenna e le sottostanti sabbie continentali di AES7. L'architettura deposizionale di AES8 è stata ricostruita con particolare dettaglio e mostra sostanziali analogie evolutive con quella 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  $^{14}\text{C}$  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.

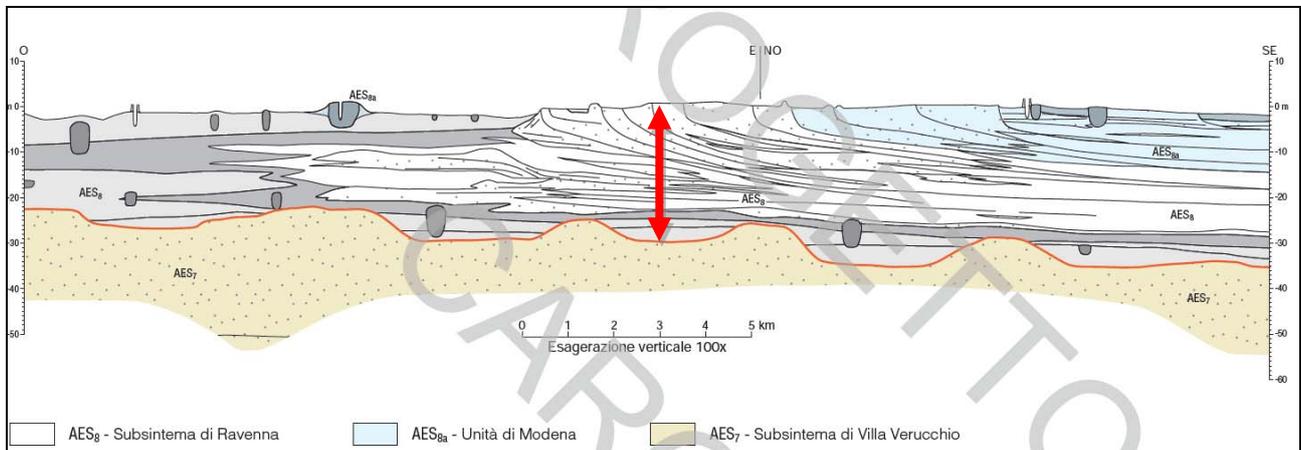
Nella parte centrale del Foglio, questa unità è generalmente assente, mentre nell'area occidentale essa è limitata ai depositi di argine e tracimazione dei canali distributori del Po di età medievale e moderna. L'unità di Modena inquadra i depositi più recenti del Foglio, compresi quelli in evoluzione. 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 25 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  $^{14}\text{C}$  indicano che l'unità si è deposta a partire dal V-VI secolo d.C. (Bondesan, 1986, Ciabatti, 1990, Montevecchi & 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 4.10** - 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 4.11** - Rapporto stratigrafico tra AES8 e AES8a

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

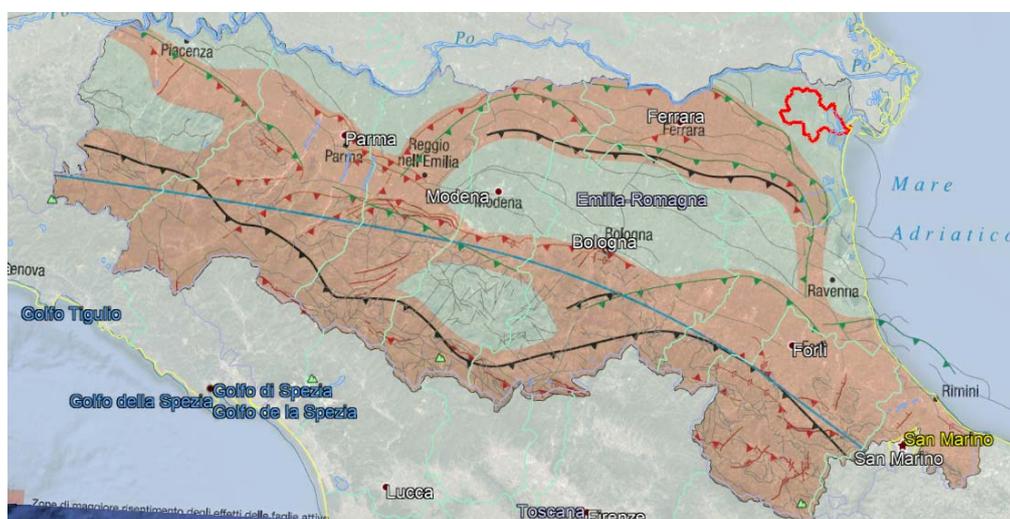
## 5. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

### 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 Codigoro si sono individuate i seguenti effetti locali:

- a) zone suscettibili di amplificazione stratigrafica locale;
- b) 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**).



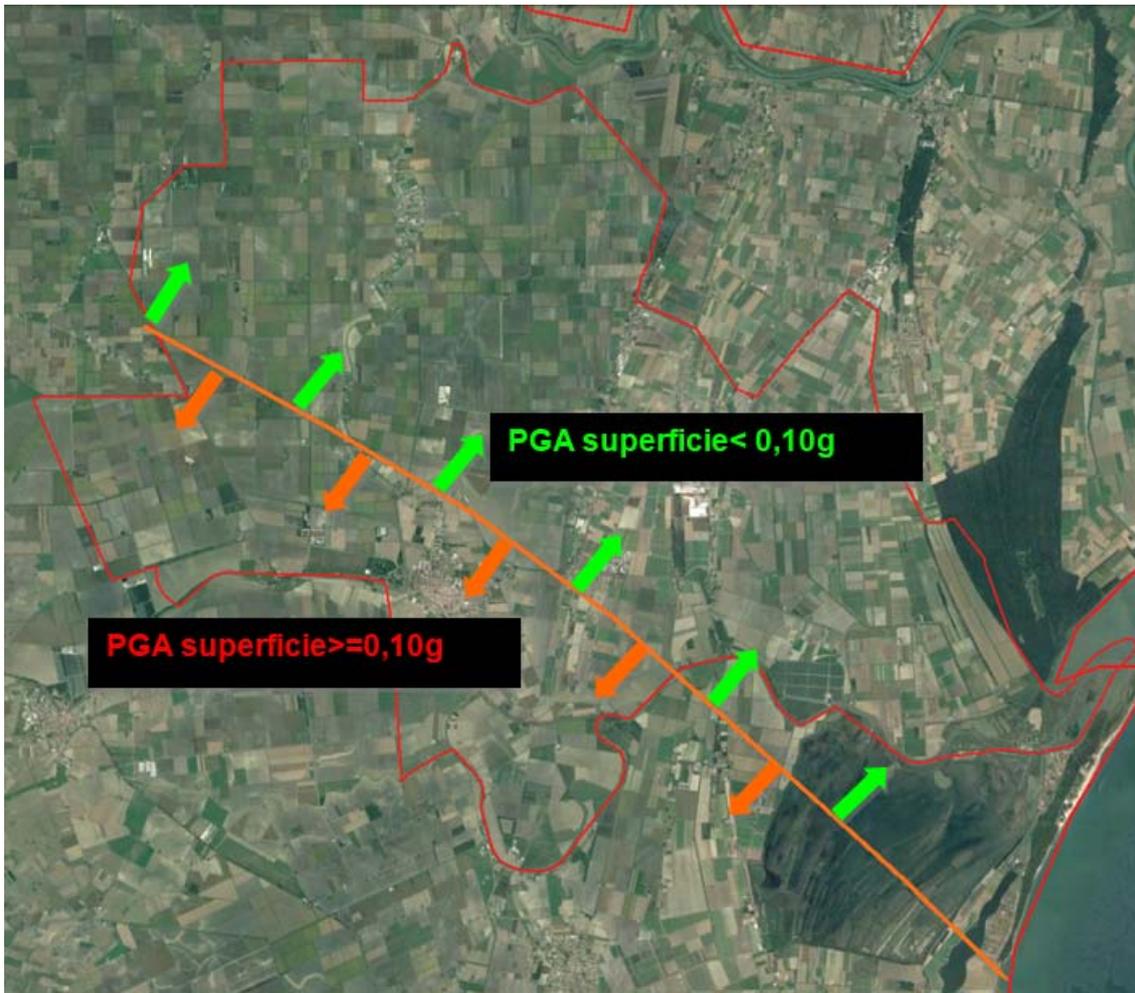
**FIGURA 5.1** - Ubicazione del territorio comunale di Codigoro rispetto alle delle fasce di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive.

In teoria il territorio comunale è suddiviso in due zone, una a nord-est ove le accelerazioni sismiche in superficie non possono raggiungere  $0,10g$  per Tempri di ritorno di 475 anni; l'altra a sud ovest ove è possibile che nei tempi di ritorno convenzionali per la pianificazione territoriale, si raggiungano e si superino i valori di  $0,10g$ . In **FIGURA 5.2**, si riporta una ortofoto in cui è stata disegnata la linea di demarcazione tra le due aree (figura già riportata nel capitolo 2).

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 debba spostare questa linea più a nord.

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

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



**FIGURA 5.2** - Limite tra aree stabili con accelerazione di picco in superficie inferiore a 0,10g e aree potenzialmente instabili da verificare nel III livello, ove le accelerazioni sismiche di picco in superficie sono maggiori o uguali a 0,10g.

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 ( $V_s > 800$  m/sec, **FIGURA 5.3**) è profondo oltre i 300m dal p.c. e i valori di  $V_{S30}$  sono molto bassi, i valori dei fattori di amplificazione sismica sono prossimi all'unità (**FIGURA 5.4**).



Consiglio Nazionale delle Ricerche  
ISTITUTO PER LA DINAMICA DEI PROCESSI  
AMBIENTALI

Unità Organizzativa di Supporto - MILANO

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

A. Tento<sup>1</sup>, L. Martelli<sup>2</sup>, A. Marcellini<sup>1</sup>

Milano, settembre 2015

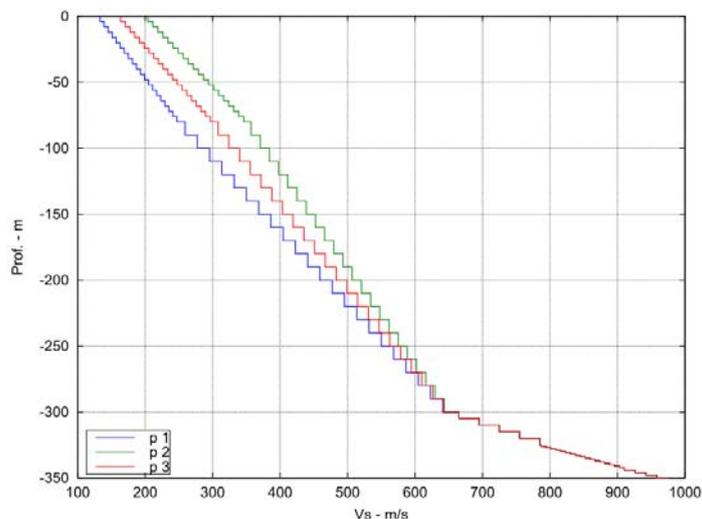
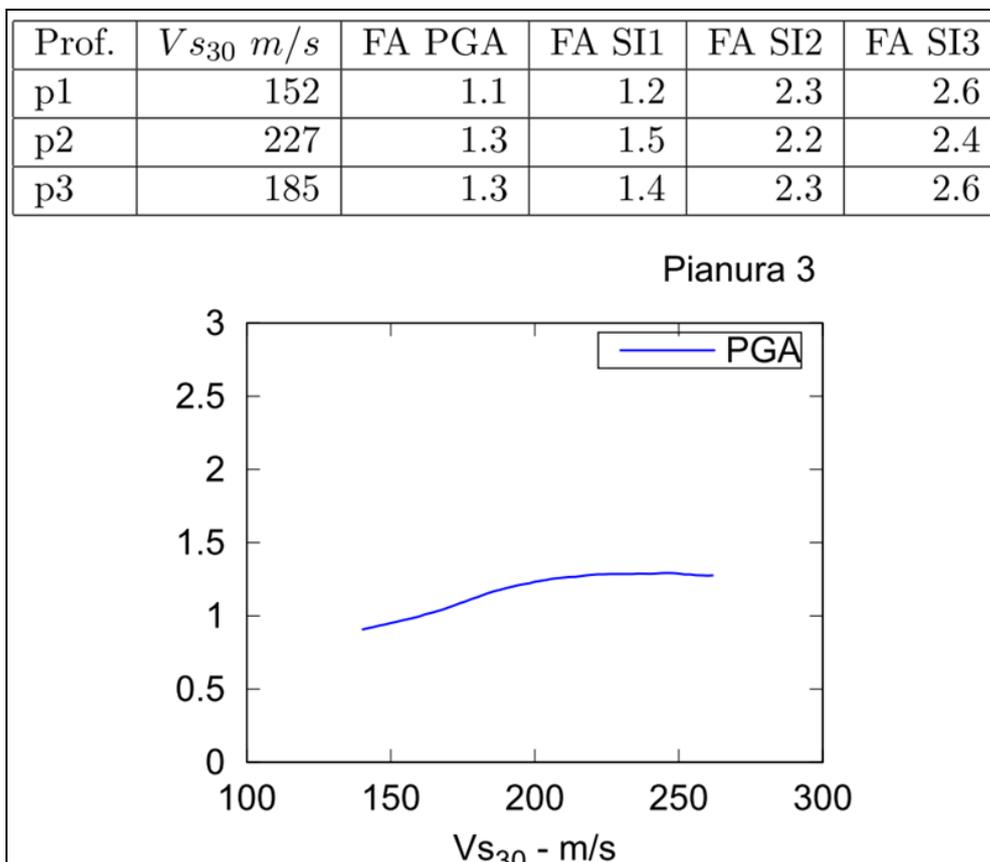


Figura 40: Pianura 3, profili medi utilizzati per il calcolo dei fattori di amplificazione.

FIGURA 5.3 - Profilo di Vs con bedrock sismico oltre i 300m di profondità



**FIGURA 5.4** - Per valori di  $V_{s30}$  compresi tra 152 m/sec e 185 m/sec il fattore di amplificazione sismica F.A. per la P.G.A. varia tra 1,1 e 1,3, mantenendosi intorno a 1,3 per valori di  $V_{s30}$  superiori a 185m/sec.

Tutto ciò dimostra un certo grado di incertezza sulla possibile determinazione delle azioni sismiche di scuotimento che possono potenzialmente interessare i terreni comunali di Codigoro. 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. Basti pensare alle difficoltà nel riconoscere e disegnare un paleoalveo di riempimento attivo, così esposto agli effetti di sito come la liquefazione delle sabbie, in contesto come quello del centro abitato di Codigoro, attraversato sia dal Palealveo del Gaurus sia da quello del Po di Volano (**FIGURA 5.5**).



**FIGURA 5.5** - Limiti del paleo alveo del Gaurus che si stacca dal paleo alveo del Po di Volano, in sx idrografica si è in assenza di punti di indagine che aiutino a stimare la posizione del passaggio dal paleo alveo alla piana alluvionale esterna.

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 Codigoro il codice identificativo è 08 (identificativo Regione), 038 (identificativo Provincia) e 005 (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.



Una volta salvati i dati di riferimento del sito si passa all'inserimento dell'indagine: Classe dell'indagine (Elaborazioni, Geofisica, Geologia, Geotecnica di laboratorio, Geotecnica in sito ed Idrogeologia), Tipo di indagine, Precedente identificativo (se l'indagine proviene da un precedente archivio), Profondità e Quota del Top (Tetto dell'indagine in m), Profondità e Quota del Bottom (Letto dell'indagine in m), Data dell'indagine e in fine deve essere caricato il documento in PDF della prova (ubicazione indagine e certificato di prova) denominato esattamente con il suo codice identificativo (Id Indagine).

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

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

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

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

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

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

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

Nel comune di Codigoro sono presenti indagini Lineari solo con classe dell'indagine Geofisica a tipologia MASW e REMI, per cui per ogni indagine sono stati inseriti i parametri di Vs alle diverse profondità, inserendo la quota del Top e del Bottom in m s.l.m.m. l'attendibilità della misura e la data.

All'inserimento di ogni singola indagine, sia puntuale che lineare, il Soft\_MS 4.1.1 attribuisce un codice identificativo sia del sito (Id Sito), sia dell'indagine (Id Indagine), sia dei parametri (Id Misura).

La compilazione del Soft\_MS 4.1.1 per il comune di Codigoro è avvenuta per le 705 indagini presenti nel territorio suddivise in 697 puntuali e 8 lineari, come segue:

	INDAGINI PUNTUALI	Numero indagini Banca dati Veronese	Numero indagini bibliografiche	Numero Totale di indagini
BANCA DATI VERONESE E R.E.R.	CPT	260	165	425
	CPTU	50	52	102
	SCPTU	6	1	7
	SPT	-	4	4
	Sondaggio continuo	-	71	71
	Sondaggioa distruzione	-	30	30
	Pozzi per acqua	-	16	16
	Pozzi per idrocarburi	-	2	2
	E.S.A.C.	-	1	1
	HVSR	-	12	12
Sondaggi elettrici verticali	-	10	10	
NUOVE INDAGINI	SCPTU	4		
	HVSR	13		
	TOTALE INDAGINI	697		

	INDAGINI LINEARI	Numero indagini Banca dati Veronese	Numero indagini bibliografiche	Numero Totale di indagini
BANCA DATI VERONESE E R.E.R.	RE.MI.	4	-	4
	M.A.S.W.	-	4	4
	TOTALE	4	4	8

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 metadattazione 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 web application window titled "Metadati" with a menu bar containing "Cancella" and "Salva". The form is organized into four main sections:

- Informazioni sui metadati:**
  - ID Metadato: 038005M1
  - Responsabile del metadato: dott. geol. Thomas Veronese mandatario del R.T.I. (geol. Veronese, Geotema Srl, geol. Pavanati, ing. Chiauzzi)
  - e-mail Responsabile del metadato: t.veronese@studio-sst.it
  - Sito Responsabile del metadato: www.geologothomasveronese.com
  - Data del metadato: 18/10/2019
- Informazioni sul dato:**
  - Proprietario del dato: Comune di Codigoro
  - e-mail Proprietario del dato: comune.codigoro@cert.comune.codigoro.fe.it
  - Sito Proprietario del dato: www.comune.codigoro.fe.it
  - Data del dato: 18/10/2019
  - Descrizione dato: Studio di microzonazione sismica di II livello
  - "Punto di contatto" del dato: Comune di Codigoro
  - e-mail "Punto di contatto": comune.codigoro@cert.comune.codigoro.fe.it
  - Sito "Punto di contatto": www.comune.codigoro.fe.it
- Classificazioni, vincoli e copertura:**
  - Scala: 5000
  - Estensione:
    - Ovest: 263427,657444408
    - Est: 4962694,70194994
    - Sud: 285192,979584166
    - Nord: 4979404,68858284
- Qualità:**
  - Precisione del dato (errore in metri): 0,2
  - Genealogia del dato: Banca dati sito 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 Codigoro 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 praticamente sembrerebbe necessario solo per le aree del territorio comunale in cui sono attese (ad oggi con le teorie adottate dalle norme oggi vigenti) accelerazioni sismiche al suolo maggiori di 0,10g (la DGR 630/2019 ha recepito in toto le indicazioni delle Raccomandazioni AGI per la progettazione geotecnica in condizioni sismiche del 2005).

### 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 fine<sup>1</sup>, 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
- ( $N_1$ )<sub>60</sub>,  $q_{c1N}$ ,  $V_{S1}$  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  $\sigma'_{v0}$  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 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 preconsegna 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 ed interessa nello shape file 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 Codigoro, sia quelle reperite dalla banca dati della Regione Emilia Romagna sia quelle della banca dati dello scrivente, che non erano già comprese nella banca dati Regionale.

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 4 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono sismico SCPTU, e 13 misure di microtremori a stazione singola HVSR.

	Tipologia di indagine	Numero indagini Banca dati Veronese	Numero indagini bibliografiche	Numero Totale di indagini
PENETROMETRIE E SONDAGGI	CPT	260	165	425
	CPTU	50	52	102
	SCPTU	6	1	7
	SPT	-	4	4
	Sondaggio continuo	-	71	71
	Sondaggio a distruzione	-	30	30
	Pozzi per acqua	-	16	16
	Pozzi per idrocarburi	-	2	2
	TOTALE	316	341	657

INDAGINI GEOFISICHE	E.S.A.C.	-	1	1
	HVSR	-	12	12
	RE.MI.	4	-	4
	M.A.S.W.	-	4	4
	Sondaggi elettrici verticali	-	10	10
	TOTALE	4	27	31

NUOVE INDAGINI	SCPTU	4
	HVSR	13
	TOTALE	17

	TOTALE INDAGINI	705
--	-----------------	-----

Le indagini totali presenti nel territorio risultano essere 705, così suddivise: n. 425 prove penetrometriche statiche CPT, n. 102 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU, n. 11 prove penetrometriche statiche con punta elettrica con piezocono e sismocono SCPTU, n. 71 sondaggi a carotaggio continuo, n. 30 sondaggi a distruzione di nucleo, n. 1 array sismici ESAC, n. 4 prove geofisiche Re.Mi., n. 4 prova geofisica MASW, n. 25 misure di microtremore a stazione singola Re.Mi., n. 16 pozzi per acqua e n. 2 pozzi per idrocarburi.

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

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

# Legenda

- 1\*  Sondaggio a carotaggio continuo
- 1\*  Sondaggio a distruzione di nucleo
- 1\*  Prova penetrometrica in foro (SPT)
- 1\*  Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- 1\*  Prova penetrometrica statica con piezocono
- 1\*  Prova penetrometrica dinamica pesante
- 1\*  Pozzo per acqua
- 1\*  Pozzo per idrocarburi
- 1\*  Verticale virtuale lungo tomografia elettrica
- 1\*  Prova penetrometrica con cono sismico
- 1\*  Stazione microtremore a stazione singola
- 1\*  Array sismico, ESAC/SPAC

MW  MW MASW

RM  RM REMI

\* Numero di indagini di un determinato tipo all'interno del sito puntuale

## Elementi cartografici



Limiti amministrativi



Limiti ambiti comunali territorio urbanizzato ed urbanizzabile

## 7.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA

La Carta geologico-tecnica viene riprodotta in scala 1:10.000 ed interessa i perimetri concordati con l'Amministrazione.

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;
- pl: ambiente costiero, palude/laguna/stagno/lago costiero
- pa: ambiente fluvio-lacustre, palustre;
- es: ambiente fluvio-lacustre, argine/barre/canali;

# Legenda

## Terreni di copertura

-  **SMes** Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e canale
-  **SMcl** Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di cordone litoraneo
-  **OLpa** Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità palustre
-  **OLpl** Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di palude e laguna

## Elementi geologici e idrogeologici

- 3417**  
 Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
- 20**  
 Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
- A      A'**  
 Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo

## Elementi cartografici

-  Limiti amministrativi

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

1) ad est domina l'ambiente deposizionale costiero con il dominio delle sabbie limose; queste sabbie non sono altro che la successione delle linee di costa che accrescevano verso est il delta del Po; fa eccezione la frazione di Volano, ove, sempre in ambiente desposizionale costiero dominano nei primi 3m/6m depositi di limi argillosi organici di laguna; questa porzione di territorio rappresenta una porzione di mare, interclusa parzialmente divenendo laguna e poi successivamente ancora interclusa definitivamente;

2) ad ovest del territorio comunale domina invece l'ambiente fluvio-lacustre, palustre, ove spesso e per diversi secoli, hanno stagnato acque dolci, comunque periodicamente alluvionate dalle esondazioni del fiume Po; in questo ambiente si ergono poi i paleo alvei, ovvero si rinvengono i depositi di argine, barre e canali; a Codigoro sono importanti il paleoalveo del Po di Volano, un tempo ramo di foce del fiume Po, capace di importante trasporto solido, ora ristretto in un modesto alveo gestito completamente artificiale ed il paleo alveo del Gaurus completamente estinto, al di sopra del quale è stato costruito un canale di distribuzione delle acque dolci irrigure (Canale Goro).

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

La carta geologico-tecnica mostra inoltre le tracce di sezioni geologiche significative e rappresentative del modello del sottosuolo reperite dall'archivio della Regione Emilia Romagna. Le sezioni geologiche profonde reperite sono la Sez. 028, Sez. 069, Sez. 74, Sez. 75, Sez. 77, Sez. 86 e Sez. 96.

### 7.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI $f_0$ DEL TERRENO

La Carta delle indagini viene riprodotta in scala 1:10.000.

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

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

## Legenda

### Punti di misura della frequenza

Misure di microtremore a stazione singola effettuate per lo studio di Microzonazione Sismica di II livello

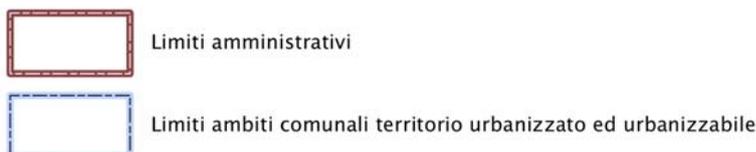


Misure di microtremore a stazione singola da archivio



Il colore del simbolo indica differenti classi di ampiezza  $A_0$

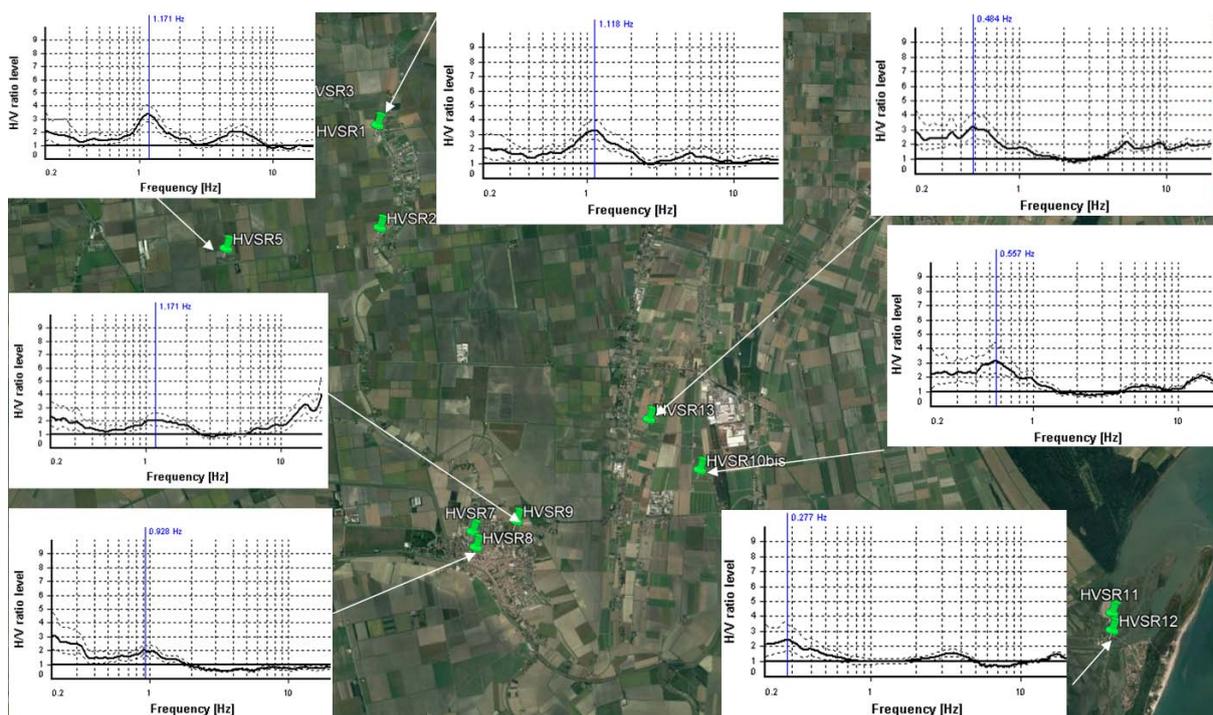
### Elementi cartografici



Dalla carta emerge che la parte orientale del territorio del comune di Codigoro è rappresentato da una frequenza fondamentale inferiore a 0,6Hz, con dei minimi a Volano di circa 0,3Hz..

Nella parte centrale ed occidentale la frequenza fondamentale varia tra 0,92Hz e 1,17Hz. Generalmente però il substrato rigido è molto profondo anche qui, oltre i 300m dal p.c., e ci si dovrebbe aspettare la presenza di fenomeni di risonanza con  $F_0 < 0,4$  Hz, mentre quelli misurati compresi tra 0,92 e 1,17 Hz appartengono a contrasti di rigidezza posti a profondità massime di 100m dal p.c..

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*

#### 7.4. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica viene riprodotta in scala 1:5.000.

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 5 diverse zone suscettibili di amplificazioni locali rappresentate con un codice differente che va dal 2001 al 2005. La suddivisione fatta è stata basata sulla presenza o assenza di corpi sabbiosi alle diverse profondità di spessori più o meno importanti con terreni di copertura argilloso limosi di origine alluvionale caratterizzati da spessori variabili. La MOPS 2001, la 2002, la 2003 e la 2005, presentano depositi sabbiosi di spessore significativo nei primi 15m, possono essere potenzialmente soggette ad instabilità per liquefazione, e dunque 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:

##### ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

- **2001** Sabbie oloceniche affioranti o sub affioranti di cordone litorale, duna eolica e fronte deltizia, con il tetto a profondità minori di 3m dal p.c. e spessore maggiore di 5m.
- **2002** Sabbie oloceniche sepolte di cordone litorale, duna eolica e fronte deltizia di spessore minimo tre metri e profondità del tetto compresa tra -3m e -12m dal p.c.. Al di sopra ci sono sedimenti di piana interdistributrice dulcicola e al di sotto sedimenti fangosi di prodelta.
- **2003** Depositi di paleo alveo fluviale con sabbie di spessore di almeno 5m e profondità del tetto a meno di 4m dal p.c.. Lateralmente confinano con sedimenti di depositi di rotta; al letto le sabbie passano a sedimenti fangosi di palude salmastra o piana interdistributrice dulcicola.
- **2004** fanghi di piana interdistributrice dulcicola su fanghi di laguna o palude salmastra, su depositi fangosi di prodelta, con assenza di sabbie in spessore significativo nei primi 15m.
- **2005** Fanghi di laguna affioranti, per spessori di circa 5m sovrastanti depositi sabbiosi olocenici probabilmente di paleo alveo del Po di Volano.

##### ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA'

- **3050** zone di attenzione per liquefazione

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'innescare di fenomeni di espansione laterale (*lateral spreading*). Nel territorio di Codigoro, ove sono potenzialmente attese accelerazioni di picco in superficie superiori o uguali a 0,10g non sono presenti aree con queste caratteristiche. L'unica incognita è legata alle sponde interne del fiume Po di Volano e alle sue banchine.

# Legenda

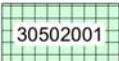
## Zone suscettibili di amplificazioni locali



2004

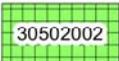
Fanghi di piana interdistributrice dulcicola su fanghi di laguna o palude salmastra, su depositi fangosi di prodelta, con assenza di sabbie in spessore significativo nei primi 15m.

## Zone suscettibili di instabilità



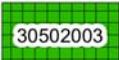
30502001

Sabbie oloceniche affioranti o sub affioranti di cordone litorale, duna eolica e fronte deltizia, con il tetto a profondità minori di 3m dal p.c. e spessore maggiore di 5m.



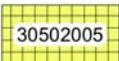
30502002

Sabbie oloceniche sepolte di cordone litorale, duna eolica e fronte deltizia di spessore minimo tre metri e profondità del tetto compresa tra -3m e -12m dal p.c.. Al di sopra ci sono sedimenti di piana interdistributrice dulcicola e al di sotto sedimenti fangosi di prodelta.



30502003

Depositi di paleo alveo fluviale con sabbie di spessore di almeno 5m e profondità del tetto a meno di 4m dal p.c.. Lateralmente confinano con sedimenti di depositi di rotta; al letto le sabbie passano a sedimenti fangosi di palude salmastra o piana interdistributrice dulcicola.



30502005

Fanghi di laguna affioranti, per spessori di circa 5m sovrastanti depositi sabbiosi olocenici probabilmente di paleo alveo del Po di Volano.

## Punti di misura di rumore ambientale



1,3

Stazione microtremore a stazione singola con indicazione del valore di f0

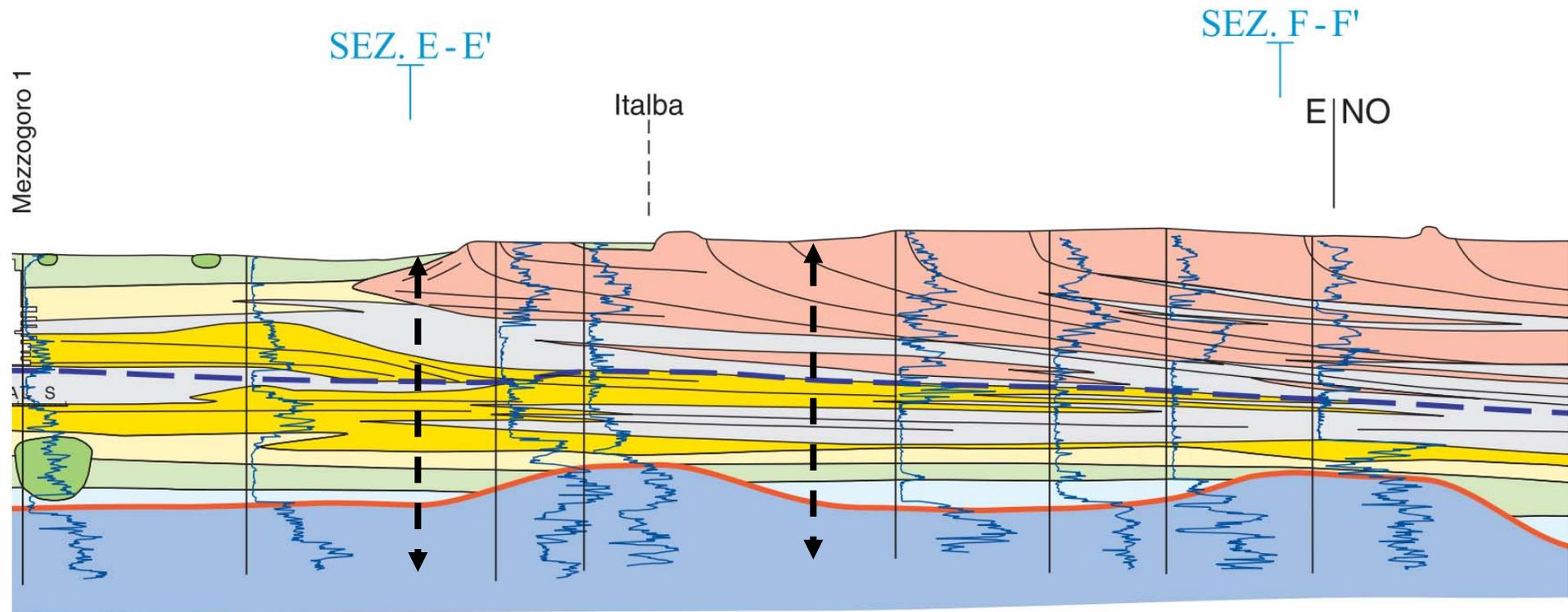
## Elementi cartografici



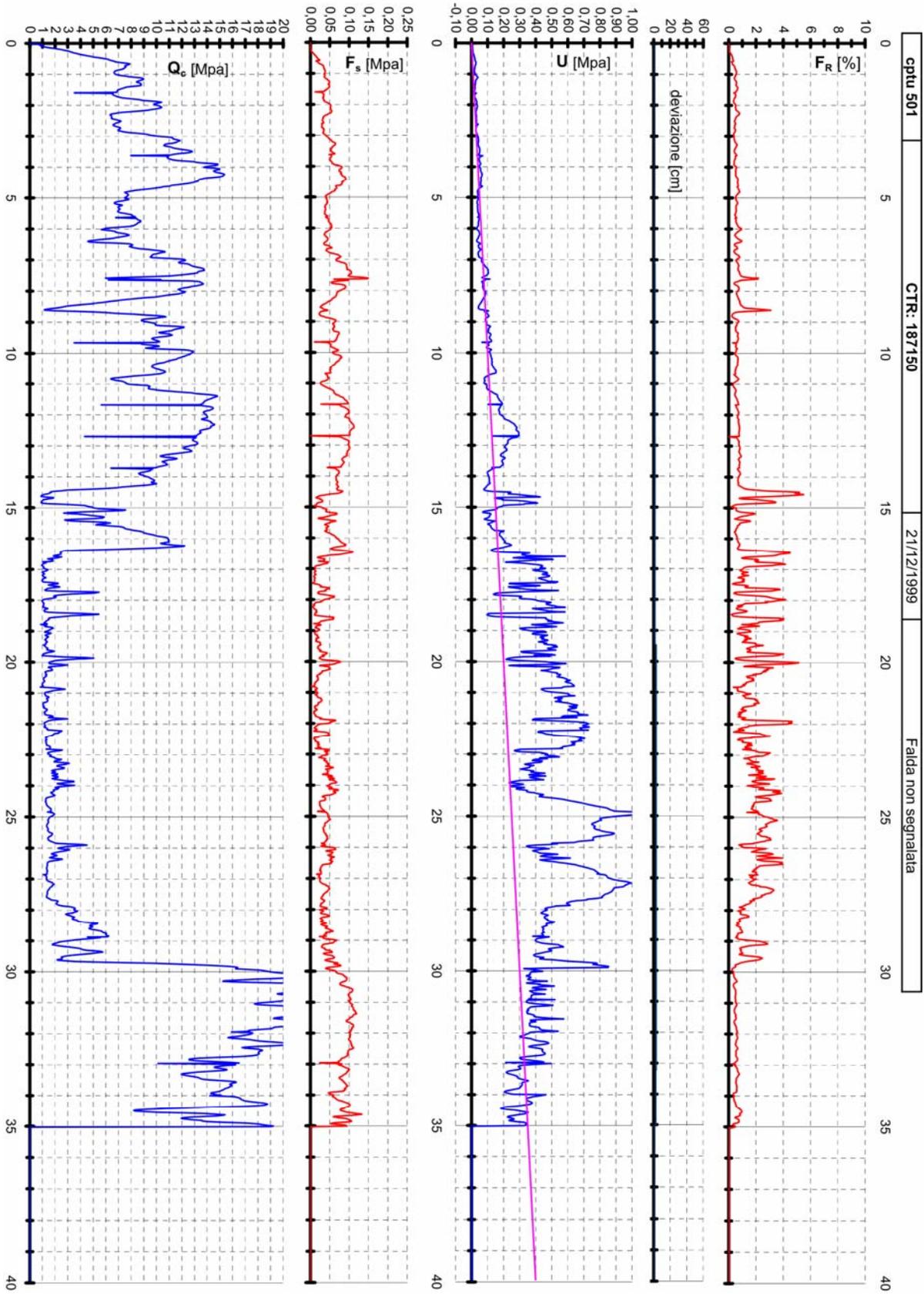
Limiti amministrativi

- **2001** Sabbie oloceniche affioranti o sub affioranti di cordone litorale, duna eolica e fronte deltizia, con il tetto a profondità minori di 3m dal p.c. e spessore maggiore di 5m.

**MOPS 2001**

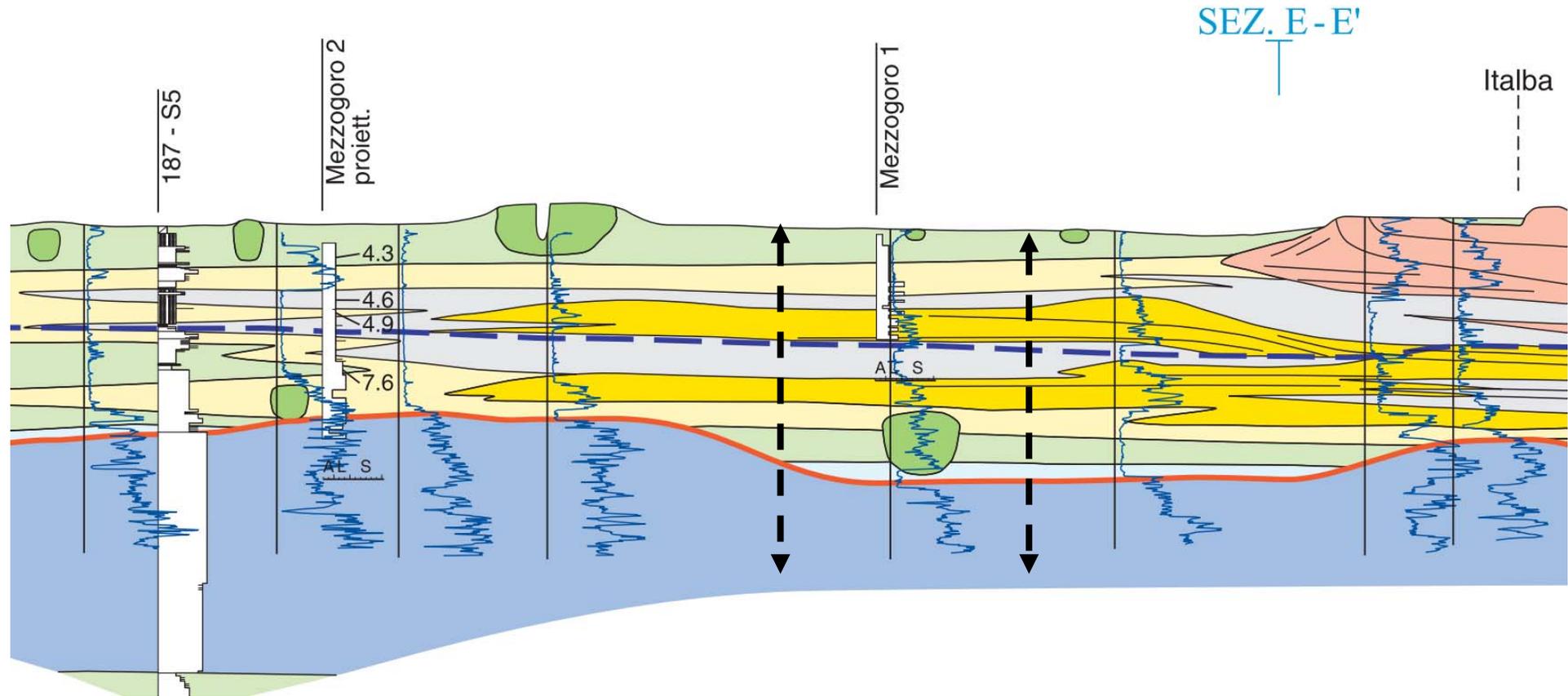


**ALLINEAMENTI DI PALEODUNE COSTIERE**

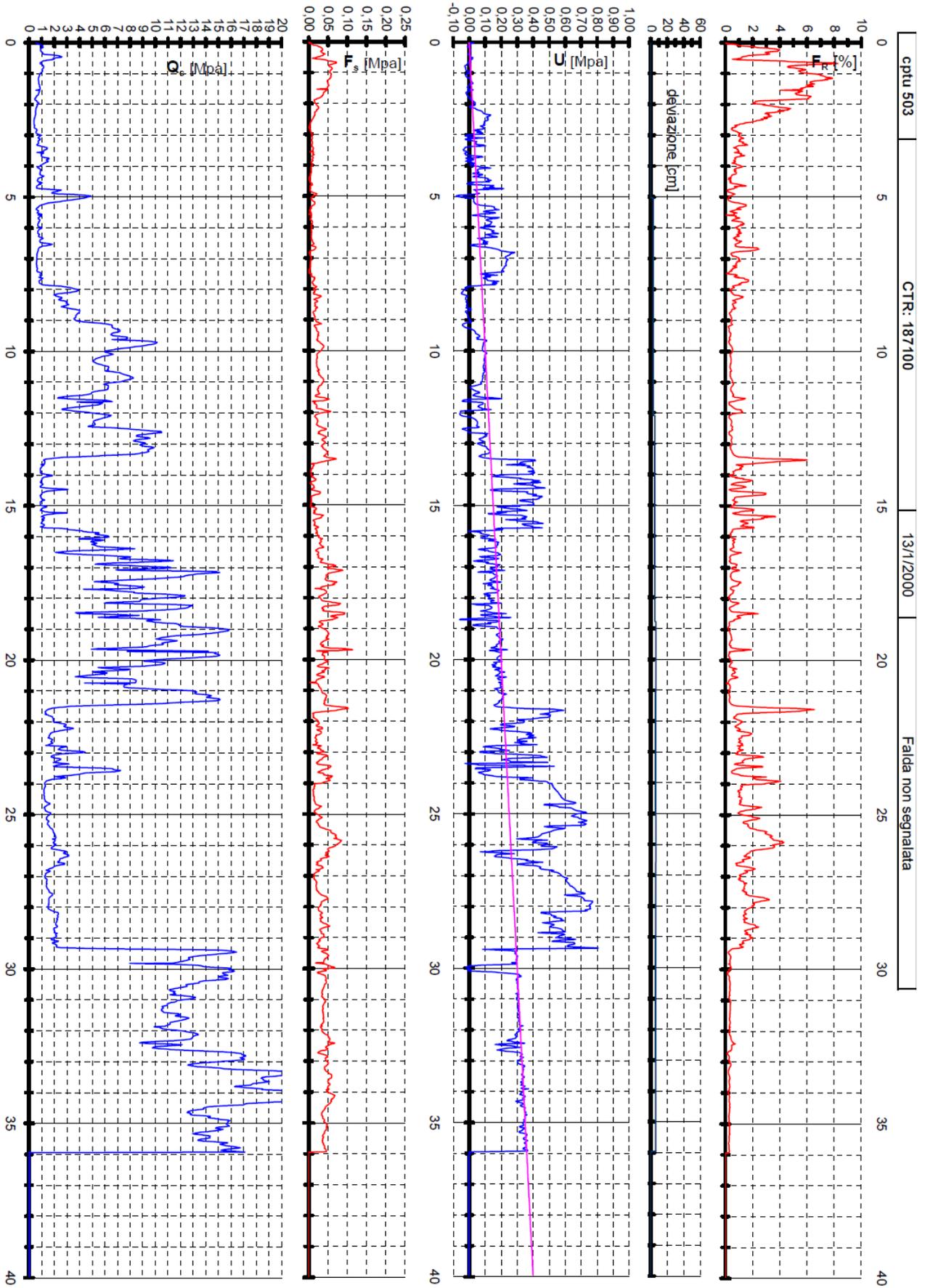


- **2002** Sabbie oloceniche sepolte di cordone litorale, duna eolica e fronte deltizia di spessore minimo tre metri e profondità del tetto compresa tra -3m e -12m dal p.c.. Al di sopra ci sono sedimenti di piana interdistributrice dulcicola e al di sotto sedimenti fangosi di prodelta.

## MOPS 2002

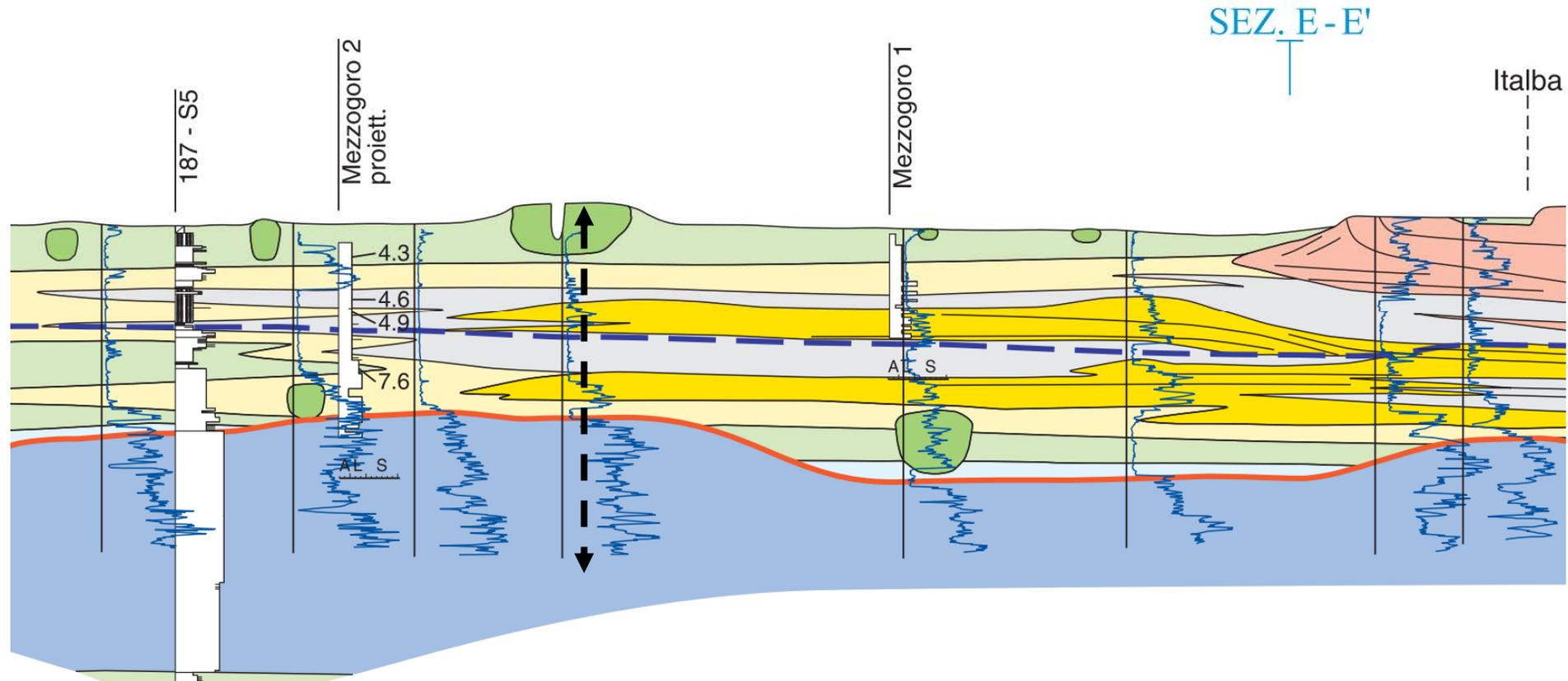


**ZONE FUORI PALEOALVEO E FUORI DA ALLINEAMENTO DUNE, CON ALMENO 3 M DI SABBIE**

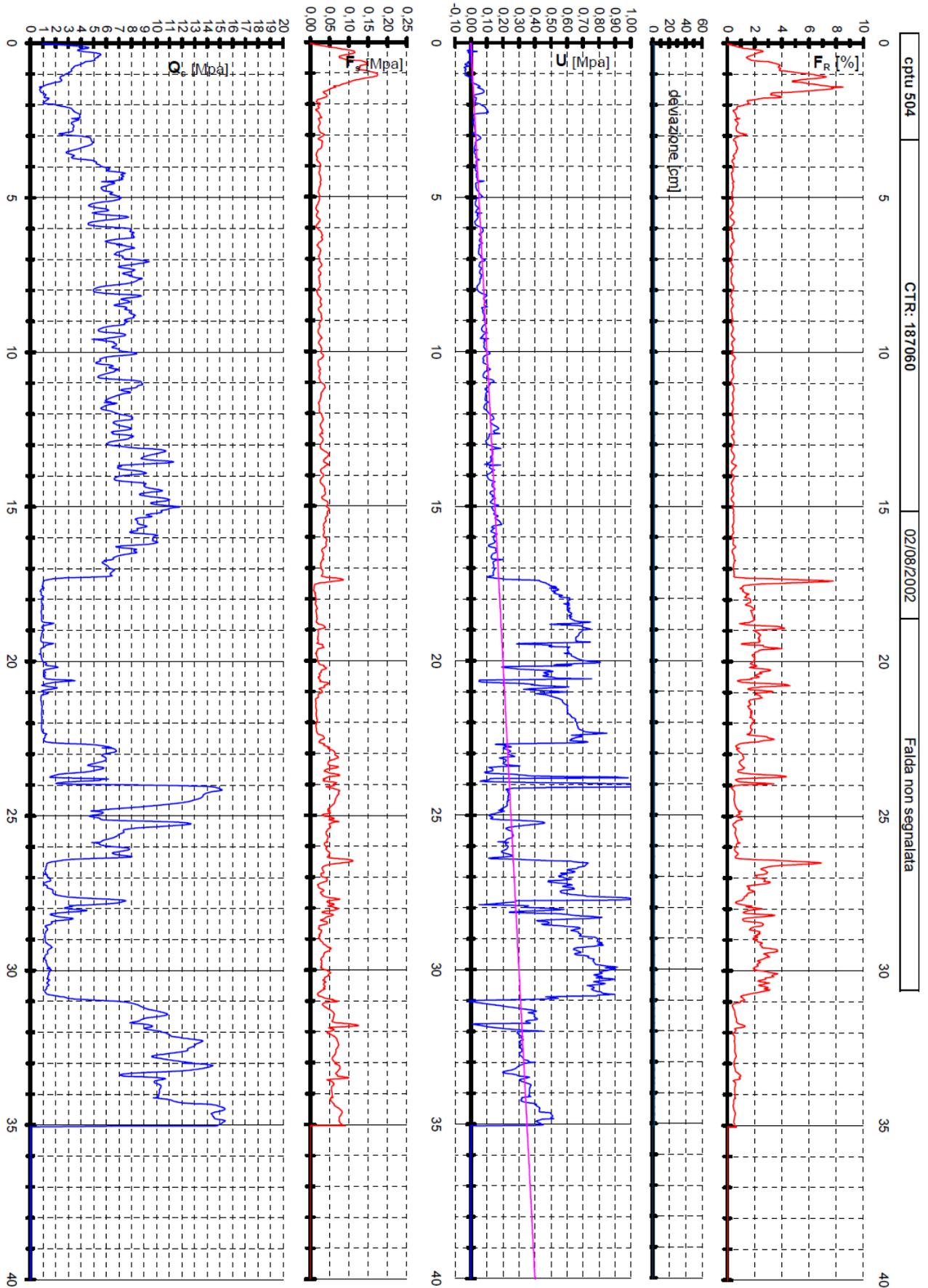


- **2003** Depositi di paleo alveo fluviale con sabbie di spessore di almeno 5m e profondità del tetto a meno di 4m dal p.c.. Lateralmente confinano con sedimenti di depositi di rotta; al letto le sabbie passano a sedimenti fangosi di palude salmastra o piana interdistributrice dulcicola.

## MOPS 2003

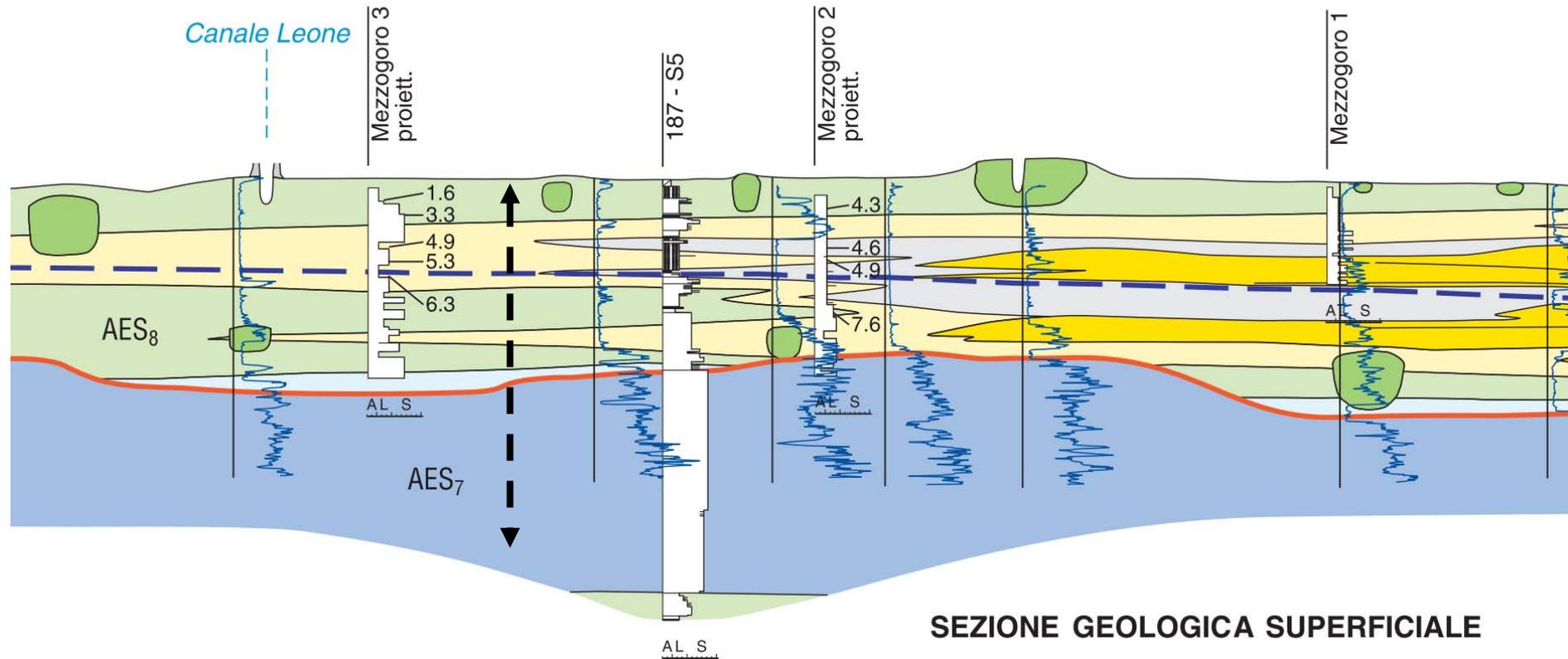


**ZONE DI PALEOALVEO – PO DI VOLANO E GAURUS**

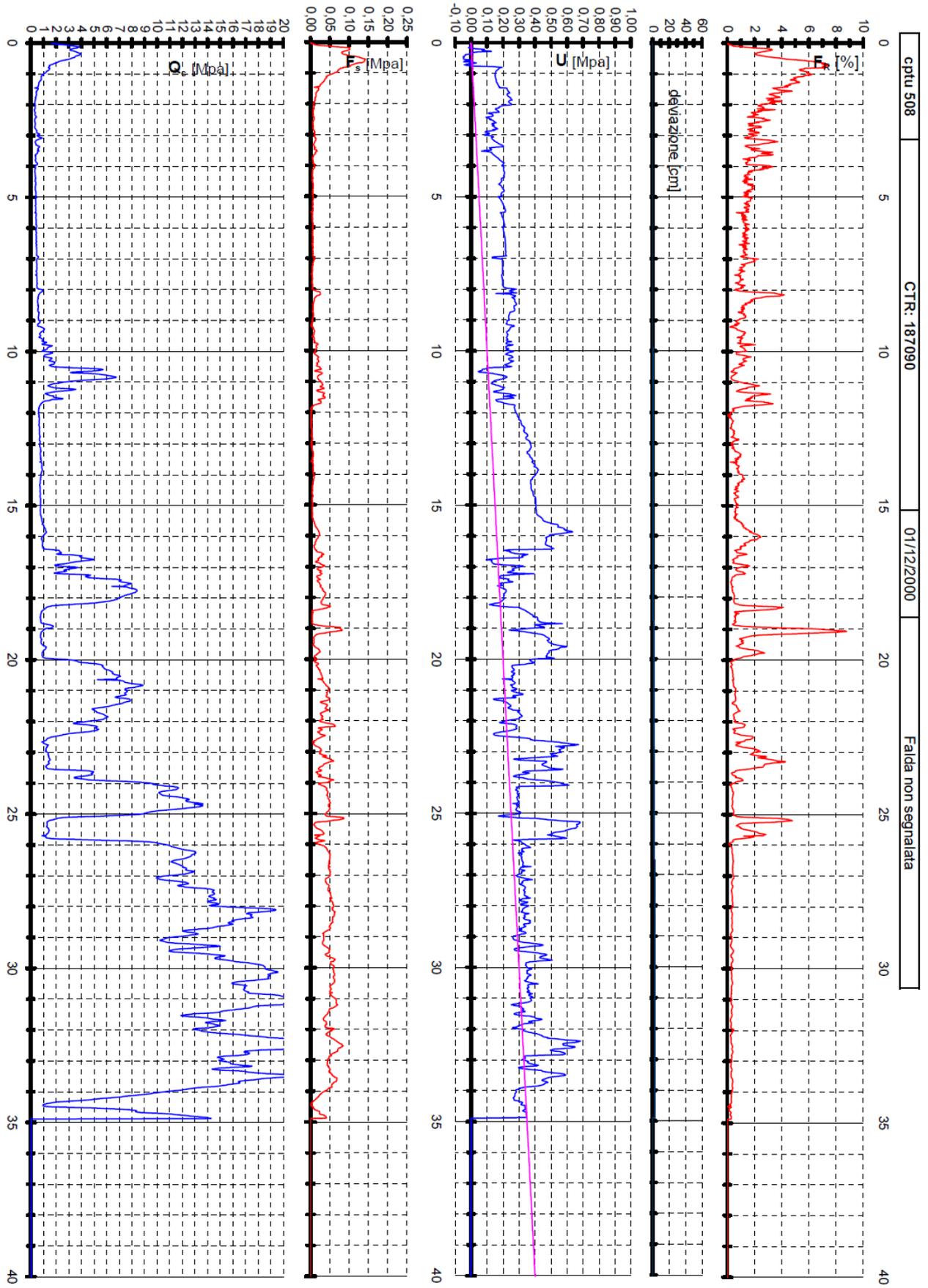


- 2004 fanghi di piana interdistributrice dulcicola su fanghi di laguna o palude salmastra, su depositi fangosi di prodelta, con assenza di sabbie in spessore significativo nei primi 15m.

## MOPS 2004



**ZONE FUORI PALEOALVEO E FUORI ALLINEAMENTO DUNE, SENZA SABBIE**



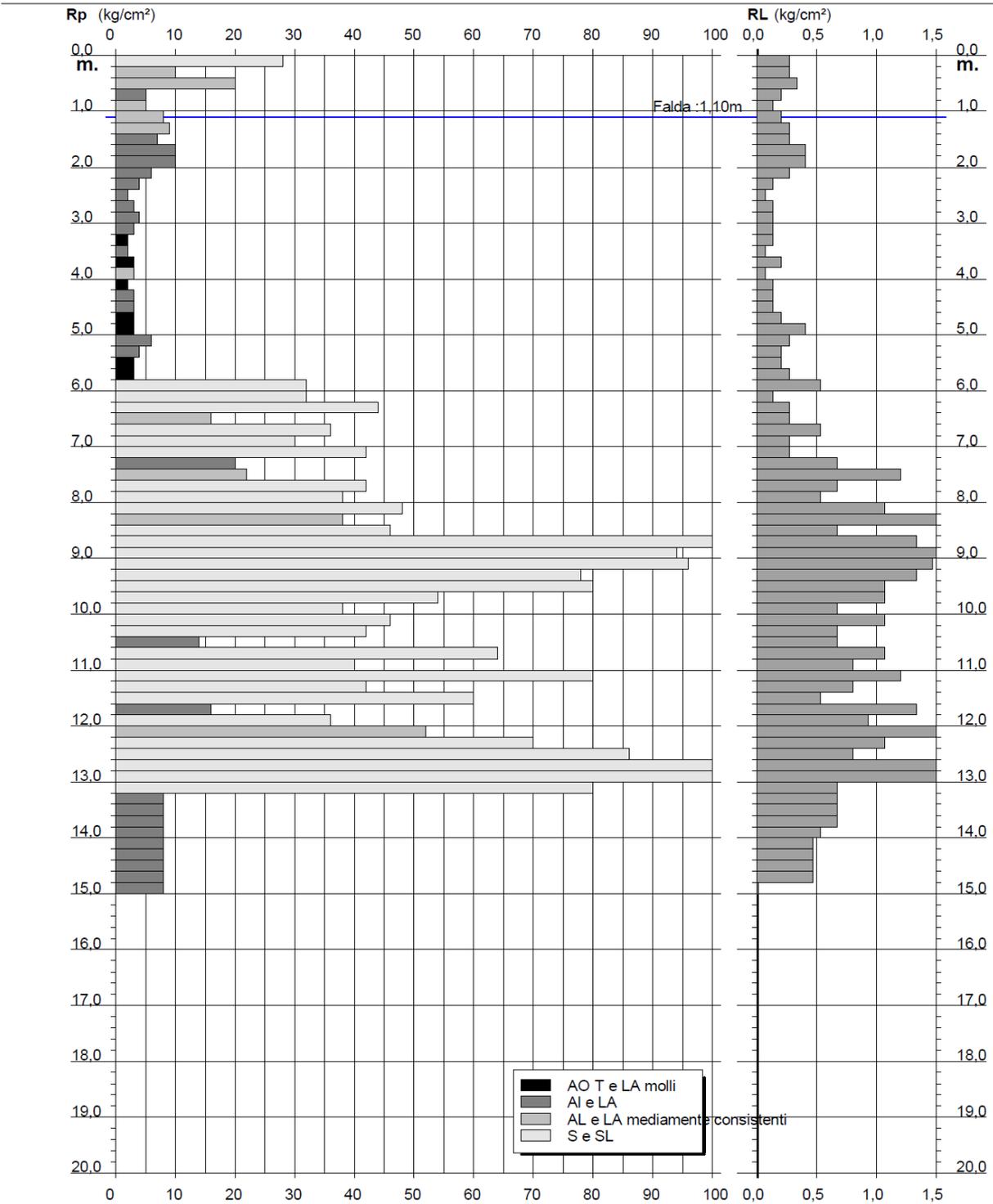
- 2005 Fanghi di laguna affioranti, per spessori di circa 5m sovrastanti depositi sabbiosi olocenici probabilmente di paleo alveo del Po di Volano.



**FANGHI LAGUNARI**

- località : Volano FE

- prof. falda : 1,10 m da quota inizio  
 - scala vert.: 1 : 100



A conclusione dell'analisi di primo livello si può dunque affermare che:

- a) Ovunque sono presenti sabbie in spessori significativi nei primi 15m, si applica il retino della potenziale instabilità per via dei caratteri predisponenti la liquefazione presenti (3050).
- b) La condizione lito stratigrafica locale indica poi che si è in presenza ovunque di zone suscettibili di amplificazione sismica stratigrafica diffusa, che vanno quantificate nelle seguenti tavole di II livello.

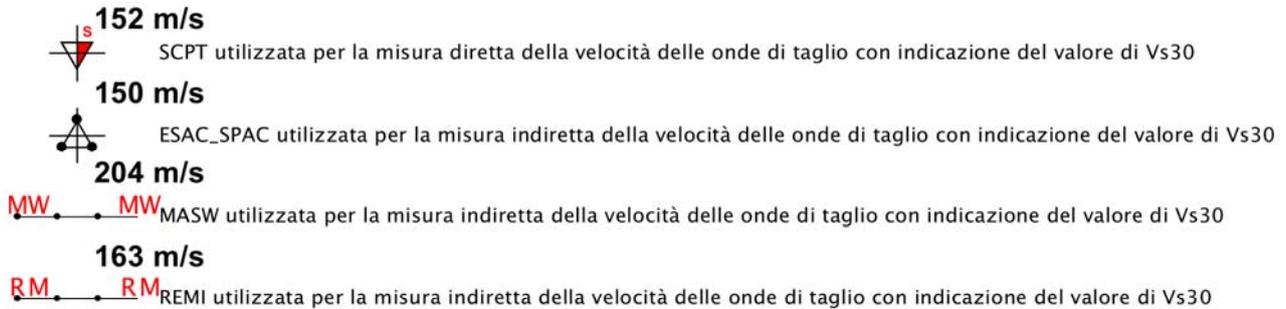
## 7.5. CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs)

La Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) viene riprodotta in scala 1:10.000.

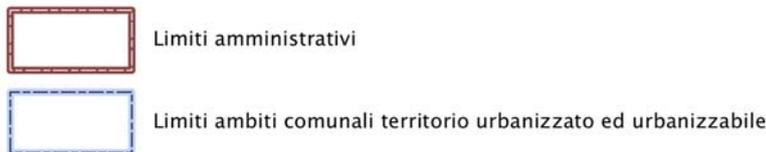
In questa carta vengono riportati i valori di Vs30 ricavati attraverso misure dirette tramite prove SCPTU e tramite prove Re.MI. o M.A.S.W..

### Legenda

#### Punti di misura della velocità delle onde di taglio



#### Elementi cartografici



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

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

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

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

dove,

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

hi : spessore dello strato iesimo,

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

I valori di Vs30 sono stati calcolati in diversi modi:

- 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  $\alpha$  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  $\alpha$ .

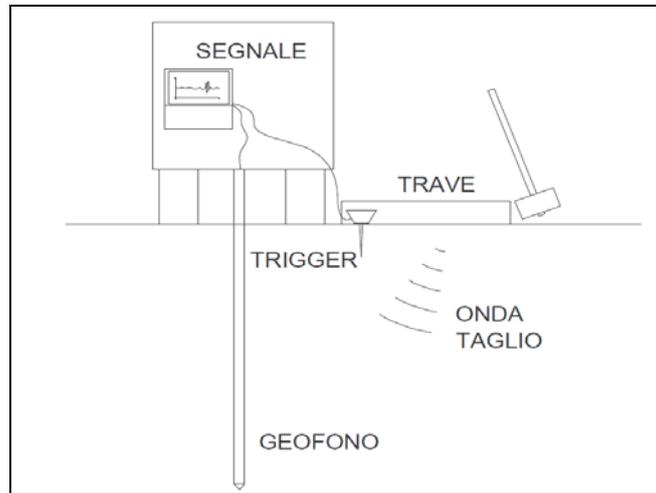
	Argilla	Limo	Sabbia
A	80.64	77.83	53.64
$\alpha$	0.28	0.24	0.33

**Tabella 7.1** – Coefficienti A (m/s) e  $\alpha$

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 piezometro sismico

### Indagini geofisiche

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

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

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

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

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

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

Dove:

$$V_R \cong 0.92 V_S$$

$V_R$ : velocità di fase dell'onde Rayleigh

$V_S$ : velocità di propagazione dell'onda di taglio

$\nu$ : 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  $V_{s30}$  sono caratterizzate da una tecnica chiamata dei microtremori 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  $V_{s30}$  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  $V_{s30}$  sono notevolmente più bassi.

In ogni caso i valori misurati di  $V_{s30}$  sono tutti compresi tra 150m/sec e 225m/sec (FIGURA 7.2).

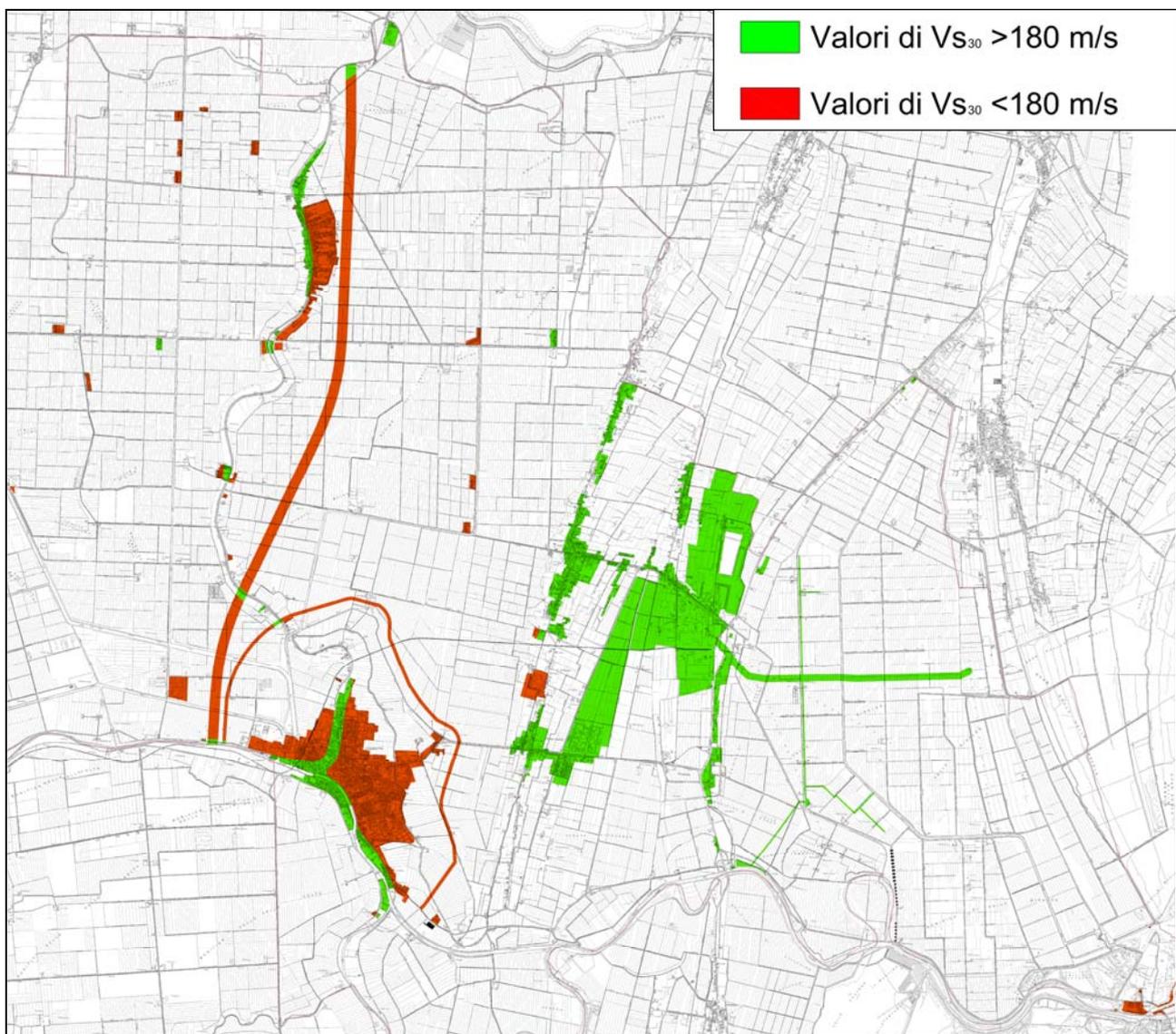


FIGURA 7.2 - carta delle  $V_{s30}$  su tutto il territorio comunale

## 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 Codigoro 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 225 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 <sub>S30</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

Fattore di Amplificazione **PGA**

V <sub>S30</sub> (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 <sub>S30</sub> (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



ZA<sub>LQ</sub> Zone di attenzione per le liquefazioni FAPGA = 1,3 - 1,4

### Elementi cartografici



Limiti amministrativi

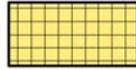
## Legenda

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

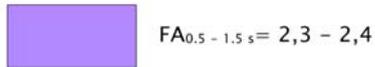
### Elementi cartografici



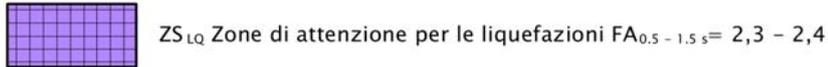
Limiti amministrativi

## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



### Zone suscettibili di instabilità

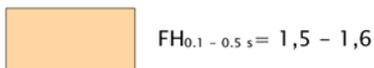


### Elementi cartografici

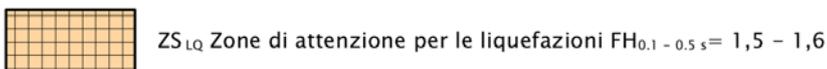


## Legenda

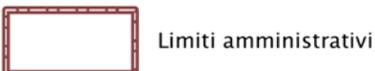
### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



### Zone suscettibili di instabilità

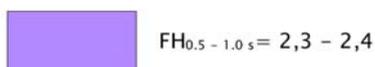


### Elementi cartografici

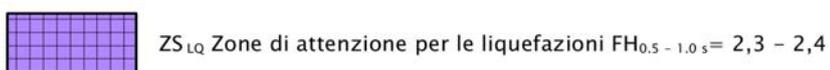


## Legenda

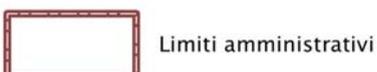
### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



### Zone suscettibili di instabilità



### Elementi cartografici



# Legenda

## Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

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

## Zone suscettibili di instabilità

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

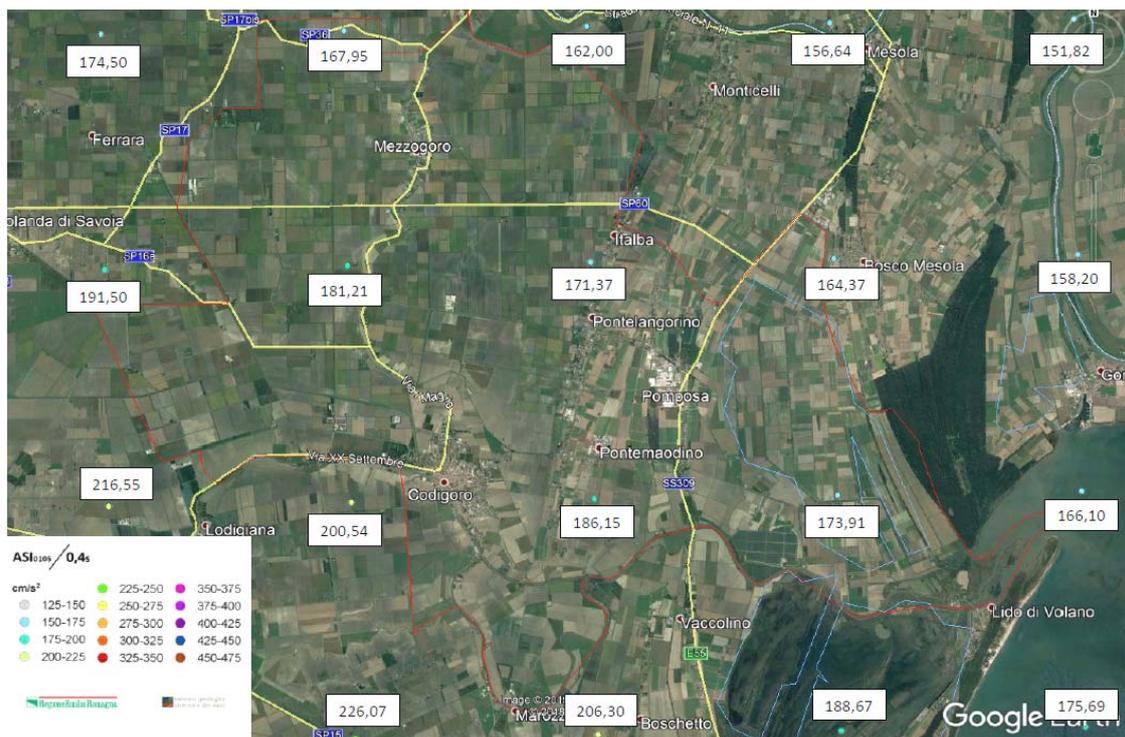
## Elementi cartografici

 Limiti amministrativi

E' stata prodotta anche una carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $cm/s^2$ ), 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  $\Delta T$  (in questo caso pari a  $0,4s$ ) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

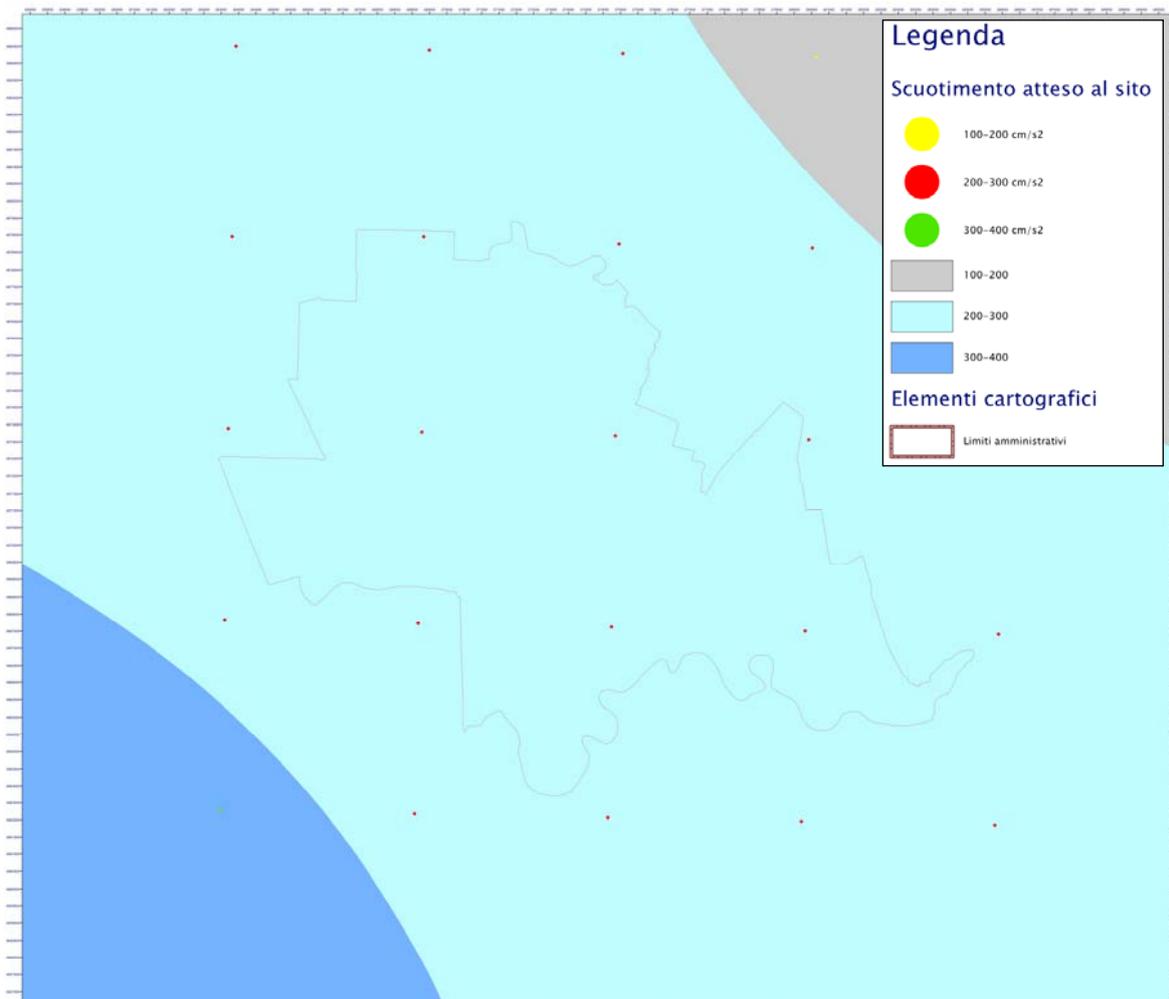
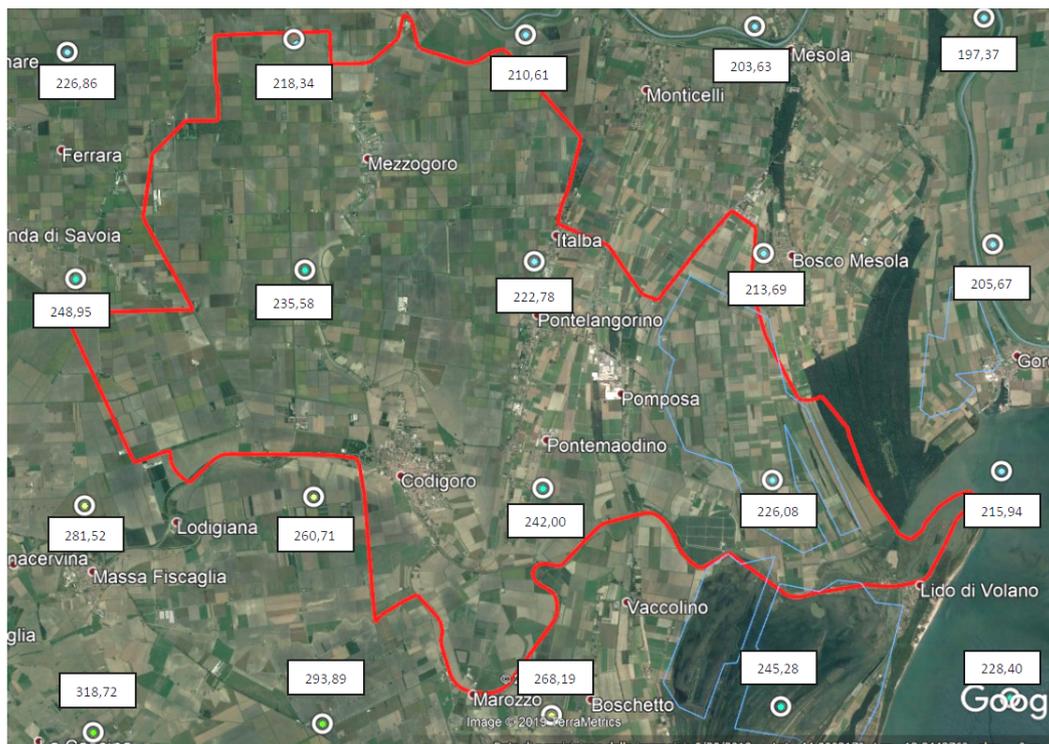
$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di  $ASI_{UHS}/\Delta T$ , calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nella **FIGURA 7.3**.



**FIGURA 7.3** - distribuzione dei valori  $ASI_{0,1-0,5}/0,4sec$

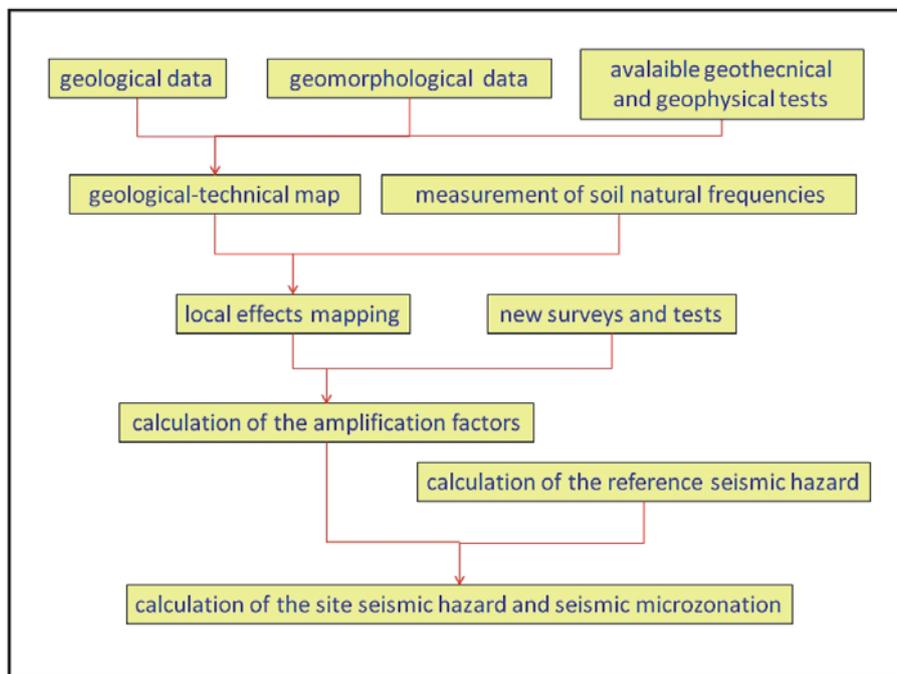
In **FIGURA 7.4** viene invece riportato il risultato del calcolo che porta alla determinazione della distribuzione del valore di  $H_{SM}$  nel territorio codigorese.



**FIGURA 7.4** - distribuzione dei valori  $H_{SM}$

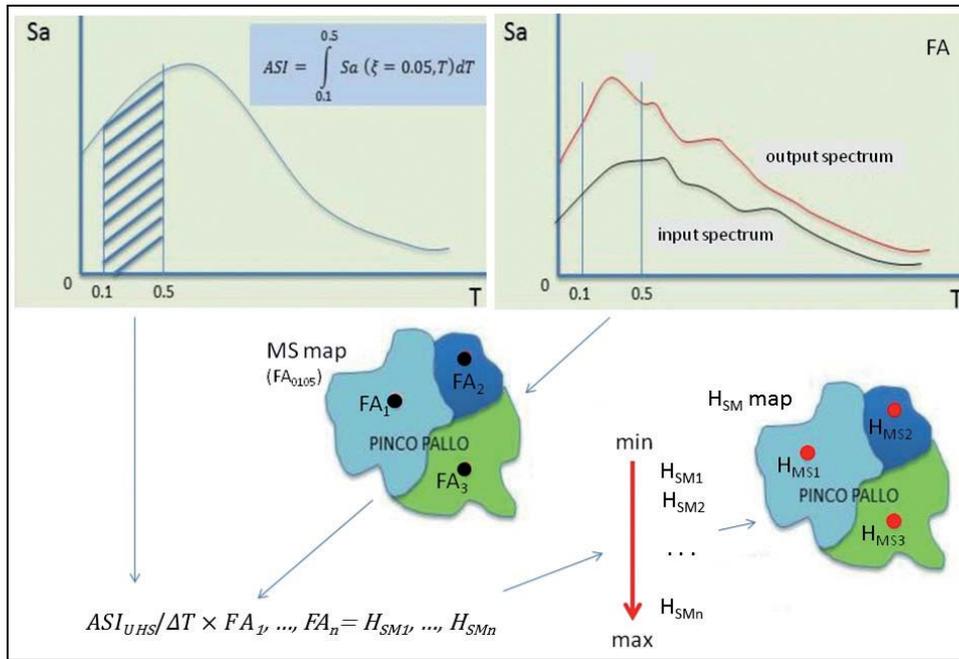
Le mappe di microzonazione sismica rappresentano il rischio sismico locale attraverso fattori di amplificazione, vale a dire valori relativi, e le mappe di rischio sismico di riferimento non considerano gli effetti locali che possono derivare da condizioni geologiche e morfologiche locali. Per l'implementazione 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 7.5** si riporta lo schema per la mappatura del rischio sismico del sito secondo le linee guida italiane per la microzonazione sismica (SM Working Gruppo, 2015; CTMS, 2017c), adottato nella DGR 630/2019.



**FIGURA 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 <sup>2</sup> )	$\leq 180$	$180 < H_{SM} \leq 340$	$340 < H_{SM} \leq 650$	$650 < H_{SM} \leq 1240$	$> 1240$
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 vanno dunque da "basso-molto basso" a "moderato-basso".

## **8. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

Nel comune di Codigoro 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 speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici, a cura di Marco Mucciarelli, ARACNE editrice, 448 pp.
- Castellaro S. e Mulargia F., (2011) - Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., (2006) - CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://csi.rm.ingv.it>

- Cerrina Feroni A., Ottria G., Martinelli P., Martelli L., Catanzariti R., (2002) - Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, 1:250.000. SELCA, Firenze.
- Commissione tecnica MS3907, (2014) - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS vers. 3.0.  
[http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS\\_3.0\\_open.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_3.0_open.pdf).
- Correggiari A., Field M.E., Bortoluzzi G., Ligi M., and Penitenti D., (1992b) - Ridge and swale morphology on the North Adriatic epicontinental shelf. *Rapport CIESM* 33:125.
- D.A.L. Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02 febbraio 2007 - Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della LR 20/2000 per Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. *Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna* n. 64 del 17/05/2007.
- D.C.P. Provincia di Ferrara n. 32 del 29/05/2014 - Variante al PTCP della Provincia di Ferrara: ambiti produttivi sovracomunali e sistema infrastrutturale, contenente una Relazione di Quadro Conoscitivo inerente la sismicità in Provincia di Ferrara;
- D.G.R. Emilia-Romagna n. 1919/2013: Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/13 a favore degli Enti locali.
- DISS Working Group, (2015) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>. INGV 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Di Dio G. & L. Caporale - "Un modello fisico tridimensionale della conoide alluvionale del Fiume Reno per la gestione degli acquiferi e lo studio della subsidenza." BRIGHENTI G. & MESINI E. (a cura di), *Problemi di Geoingegneria: estrazione di fluidi e subsidenza, GEOfluid* 98 (1998): 67-76
- Dominguez J.M.L. & Wanless H.R., (1991) - Facies architecture of a falling sea-level strandplain, Doce river coast, Brazil. In: Swift djp and oertel gf (Eds), *Shelf Sandstone Bodies (special issue)*. *Int Assoc Sedimentol* 14: 259-289.
- Emergeo Working Group, (2013) - Liquefaction phenomena associated with the Emilia earthquake sequence of May–June 2012 (Northern Italy). *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.*, 13, 935-947.
- Farabegoli E., Onorevoli G., Ruffino C., Costantini B., (1997) - Subsurface structure of southern Po Plain Quaternary deposits (Ravenna Province, Italy). *Special publication, Bologna University-Agip (Eds.)* 12.
- Galli P., Castenetto S., Peronace E., (2012a) - Terremoti dell'Emilia - Maggio 2012. Rilievo macrosismico MCS speditivo. Rapporto finale. 15 giugno 2012, <http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf>.
- Galli P., Castenetto S., Peronace E., (2012b) - The MCS macroseismic survey of the Emilia 2012 earthquakes. *Annals of Geophysics* Vol. 55, No 4.
- Gruppo di Lavoro MPS, (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il DPC, INGV, Milano-Roma, pp 65 + 5 appendici.
- Gruppo di Lavoro MS, (2008) -Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e CD-rom. [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\\_pub.wp?contentId=PUB1137](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 Macro seismic 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](http://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.

Figura 2-1 - <i>Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di faturazioni presenti</i> .....	6
Figura 2-2 - <i>Inquadramento geologico strutturale dell'area delizia</i> .....	7
Figura 2-3 - <i>Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR,1992)</i> .....	8
Figura 2-4 - <i>“Schema Tettonico”, tratto da “Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” a cura di Luca Martelli e Mario Boccaletti (2004)</i> .....	9
Figura 2-5 - <i>Carta Sismotettonica Regione Emilia Romagna e ubicazione della sezione geologica E-E' riportata di seguito</i> .....	10
Figura 2-6 - <i>Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E'</i> .....	11
Figura 2-7. - <i>stralcio centrato sul comune di Codigoro della nuova carta sismotettonica dell'Emilia Romagna (anno 2017).</i> .....	12
Figura 2-8 - <i>stralcio della Sezione D-D' che passa poco ad ovest del comune di Codigoro</i> .....	13
Figura 2-9 - <i>Carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive</i> .....	14
Figura 2-10 - <i>Aree sismogenetiche in Emilia Romagna</i> .....	14
Figura 2-11 - <i>Mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.2.0. (<a href="http://diss.rm.ingv.it/dissGM/">http://diss.rm.ingv.it/dissGM/</a>)</i> .....	15
Figura 2-12 - <i>Criteri di interrogazione adottati</i> .....	16
Figura 2-13 .....	18
Figura 2-14 .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 2-15 .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 2-16 - <i>Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi</i> .....	20
Figura 2-17 - <i>Ubicazione magnitudo dei principali sismi (<math>M_w \geq 4</math>) che hanno interessato la regione Emilia Romagna</i> .....	21
Figura 2-18 - <i>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.</i> .....	22
Figura 2-19 .....	23
Figura 2-20 .....	24
Figura 2-21 .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 2-22 .....	26
Figura 2-23 .....	28
Figura 2-24 - <i>Classificazione sismica secondo Legge 2/ 2/ 74 n. 64</i> .....	30
Figura 2-25 - <i>Nuova zonizzazione sismica del territorio regionale, dettaglio relativo alla Regione Emilia-Romagna.</i> .....	30
Figura 2-26 - <i>Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: <a href="http://esse1-gis.mi.ingv.it">http://esse1-gis.mi.ingv.it</a></i> .....	31
Figura 2-27 - <i>accelerazioni di picco attese al bedrock secondo D.A.L. 112/2007</i> .....	32
Figura 2-28 - <i>Tabelle per la stima dei fattori di amplificazione in funzione della <math>V_s30</math>.</i> .....	33
Figura 2-29 - <i>Territorio comunale di Codigoro con griglia dei punti e rispettivi valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido</i> .....	34
Figura 2-30 - <i>Ubicazione dei quattro profili di <math>V_s</math> profondi.</i> .....	36
Figura 2-31 - <i>Profili di <math>V_s</math> profondi.</i> .....	37
Figura 2-32 - <i>Accelerazioni PGA in superficie</i> .....	39
Figura 2-33 - <i>limite tra aree stabili con accelerazione di picco in superficie inferiore a 0,10g e aree potenzialmente instabili da verificare nel III livello, ove le accelerazioni sismiche di picco in superficie sono maggiori o uguali a 0,10g.</i> .....	40
Figura 2-34 - <i>Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di faturazioni presenti nel substrato roccioso profondo.</i> .....	42
Figura 2-35- <i>Mappa della profondità della base dell'Olocene.</i> .....	43
Figura 2-36 - <i>particolare della carta degli spessori dell'Olocene. A Codigoro essi variano da -34m nella porzione più orientale a circa 23m nella porzione più occidentale.</i> .....	44
Figura 2-37 - <i>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 delizia padana”, Annali dell'Università di Ferrara, Bondesan et alii, 1999).</i> .....	44
Figura 2-38 - <i>TETTO DELLE SABBIE LITORALI - SUBSINTEMA DI RAVENNA (<math>AES_8</math>)</i> .....	45
Figura 2-39 - <i>TETTO DELLE SABBIE ALLUVIONALI DEL FIUME PO - SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO (<math>AES_7</math>)</i> .....	46
Figura 2-40 - <i>stralcio della carta geomorfologica fra il Po e le Valli di Comacchio,</i> .....	47
Figura 2-41 - <i>Stralcio carta geomorfologica della provincia di Ferrara.</i> .....	48
Figura 2-42 - <i>Carta delle età dei depositi costieri - <a href="http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/187_CODIGORO/Foglio.html">http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/187_CODIGORO/Foglio.html</a></i> .....	49

Figura 2-43 - <i>stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara</i> .....	51
Figura 2-44 - <i>carta storica del 1814. (<a href="http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp">http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp</a>)</i> .....	51
Figura 2-45 - <i>carta storica del 1853 (<a href="http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp">http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp</a>)</i> .....	52
Figura 2-46 - <i>Carta storica del 1898 (reperita su sito <a href="http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/topo/3felmeres.htm">http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/topo/3felmeres.htm</a>)</i> ...	52
Figura 2-47 - <i>Carta dei bacini di bonifica con evidenziate le date dell'avvenuto prosciugamento (M. Bondesan, 1994)</i>	53
Figura 2-48 - <i>La provincia di Ferrara a metà dell'800 prima delle Bonifiche meccaniche</i> .....	53
Figura 2-49 - <i>La provincia di Ferrara dopo le Bonifiche ottocentesche</i> .....	54
Figura 2-50 - <i>Carta della velocità di abbassamento dei suoli nel periodo 2011-2016.</i> .....	55
Figura 2-51 - <i>Diagramma di abbassamento del caposaldo di Codigoro (RER &amp; Idroser, 1996).</i> .....	56
Figura 4-1 - <i>Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E'</i> .....	59
Figura 4-2.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 4-3 - <i>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.</i> .....	61
Figura 4-4 - <i>Isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore</i> .....	62
Figura 4-5. - <i>Isobate della base del subsistema di Bazzano</i> .....	63
Figura 4-6 - <i>Sezione n.69</i> .....	63
Figura 4-7.....	64
Figura 4-8.....	66
Figura 4-9 - <i>il Subsistema AES6</i> .....	67
Figura 4-10 - <i>il Subsistema AES7</i> .....	68
Figura 4-11 - <i>Spessore dei sedimenti olocenici appartenenti al Subsistema di Ravenna AES 8.</i> .....	71
Figura 4-12 - <i>Rapporto stratigrafico tra AES8 e AES8a</i> .....	71
Figura 5-1 .....	72
Figura 5-2.....	73
Figura 5-3.....	75
Figura 5-4.....	76
Figura 5-5.....	77
Figura 7-1 - <i>Andamento delle frequenze fondamentali registrate con le prove HVSR</i> .....	89
Figura 7-2- <i>carta delle Vs30 su tutto il territorio comunale</i> .....	106
Figura 7-3. - <i>distribuzione dei valori <math>ASI_{0,1-0,5}/0,4sec</math></i> .....	111
Figura 7-4 - <i>distribuzione dei valori <math>H_{SM}</math></i> .....	112
Figura 7-5.....	113
Figura 7-6.....	114