



**PROTEZIONE CIVILE**  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

**Regione Emilia-Romagna**  
**Comune di Comacchio (Fe)**



<p>Regione:</p> <p><b>Emilia Romagna</b></p>	<p>Soggetto realizzatore Dott. Geol. Thomas Veronese</p> <p>Collaboratori: Dott. Geol. Luca Lunghi Dott.ssa Geol. Sara Franciosi</p> <p>Cartografia: Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli</p> <p>C.L.E.: Ing. Alessio Colombi</p>	<p>Data:</p> <p><b>Settembre 2020</b></p>
--	---	---

**Gruppo di lavoro:**

*Microzonazione sismica III livello:*

Dott. Geol. Thomas Veronese

*Analisi della Condizione Limite di Emergenza*

Dott. Ing. Alessio Colombi

*Indagini geologiche in situ:*

Dott. Geol. Thomas Veronese

*Cartografia e progetto GIS:*

Dott. geol. Claudia Tomassoli

**Collaboratori**

Dott. Geol. Sara Franciosi

Dott. Geol. Luca Lunghi



INDICE:

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
1.1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	4
1.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
<b>2.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
2.1.	ASSETTO TETTONICO.....	7
2.2.	TERREMOTI STORICI E MAGNITUDO .....	18
2.2.1.	<i>LA MAGNITUDO ATTESA.....</i>	<i>25</i>
2.3.	CLASSIFICAZIONE SISMICA .....	31
	<i>Legge 2/ 2/ 74 n. 64 .....</i>	<i>31</i>
	<i>OPCM 3274 del 20/03/2003 .....</i>	<i>32</i>
	<i>D.M. 14/09/2005 .....</i>	<i>33</i>
	<i>OPCM 3519/2006 .....</i>	<i>33</i>
	<i>D.M. 14/01/2008 "nuove NTC" e successivo D.M. 17/02/2018 "aggiornamento delle NTC" .....</i>	<i>34</i>
	<i>"Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007" per la Pianificazione territoriale ed urbanistica.....</i>	<i>34</i>
	<i>"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 2193, DEL 21 DICEMBRE 2015" PER LA PLANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA.....</i>	<i>36</i>
	<i>"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 1164, DEL 23 LUGLIO 2018" AGGIORNAMENTO DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DI PRIMA APPLICAZIONE DEI COMUNI DELL'EMILIA ROMAGNA.....</i>	<i>38</i>
	<i>"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 630, DEL 29 APRILE 2019" PER LA PLANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA.....</i>	<i>39</i>
2.4.	CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE .....	45
2.5.	CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA .....	47
2.6.	CENNI SULLA SUBSIDENZA .....	60
<b>3.</b>	<b>DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....</b>	<b>68</b>
3.1.	INDAGINI PREGRESSE.....	68
3.2.	INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	70
3.3.	PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	73
	<i>3.3.1. ANALISI GRANULOMETRICA .....</i>	<i>74</i>
	<i>3.3.2. LIMITI DI ATTERBERG.....</i>	<i>74</i>
<b>4.</b>	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>75</b>
4.1.	SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO .....	80
4.2.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AED).....	81
4.3.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES).....	81
4.4.	SUBSINTEMA DI BAZZANO – AES 6.....	83
4.5.	SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7.....	83
4.6.	SUBSINTEMA DI RAVENNA – AES 8 E UNITA' DI MODENA – AES8A.....	84
<b>5.</b>	<b>INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....</b>	<b>89</b>
5.1.	CAUSE SCATENANTI PER LA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE .....	89
5.2.	DISTRIBUZIONE E DIMENSIONI DELLE FORME GEOMORFOLOGICHE .....	92
<b>6.</b>	<b>METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI .....</b>	<b>98</b>
7.1.	CARTA DELLE INDAGINI .....	98
7.2.	CARTA GEOLOGICO TECNICA .....	100
7.3.	CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI F <sub>0</sub> DEL TERRENO .....	102
7.4.	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA .....	105
7.5.	CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs).....	110
	<i>Correlazione empirica da penetrometrie.....</i>	<i>113</i>
	<i>Misure dirette mediante sismocono.....</i>	<i>115</i>
	<i>Indagini geofisiche.....</i>	<i>115</i>
7.6.	CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE .....	117
<b>8.</b>	<b>CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....</b>	<b>128</b>
<b>9.</b>	<b>TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....</b>	<b>129</b>
9.1.	CARTA DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	131

9.2. APPROFONDIMENTO SUL METODO DI BOULANGER & IDRIS 2014 .....	143
9.2.1. <i>L'importanza delle analisi granulometriche</i> .....	144
9.3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	150
<b>ALLEGATO ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E CALCOLO DEGLI HSM .....</b>	<b>159</b>
<b>10 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>234</b>

## 1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'amministrazione comunale di Comacchio si redige lo studio di Microzonazione sismica di 3 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 (Affidamento incarico professionale per Servizio di adeguamento di precedenti studi di microzonazione sismica agli standard di rappresentazione e archiviazione informatica predisposti dalla Commissione Tecnica DPC e la redazione di studi di approfondimento di livello 3 CUP: D52H19000030006 – CIG: Z89291A5EB).

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.

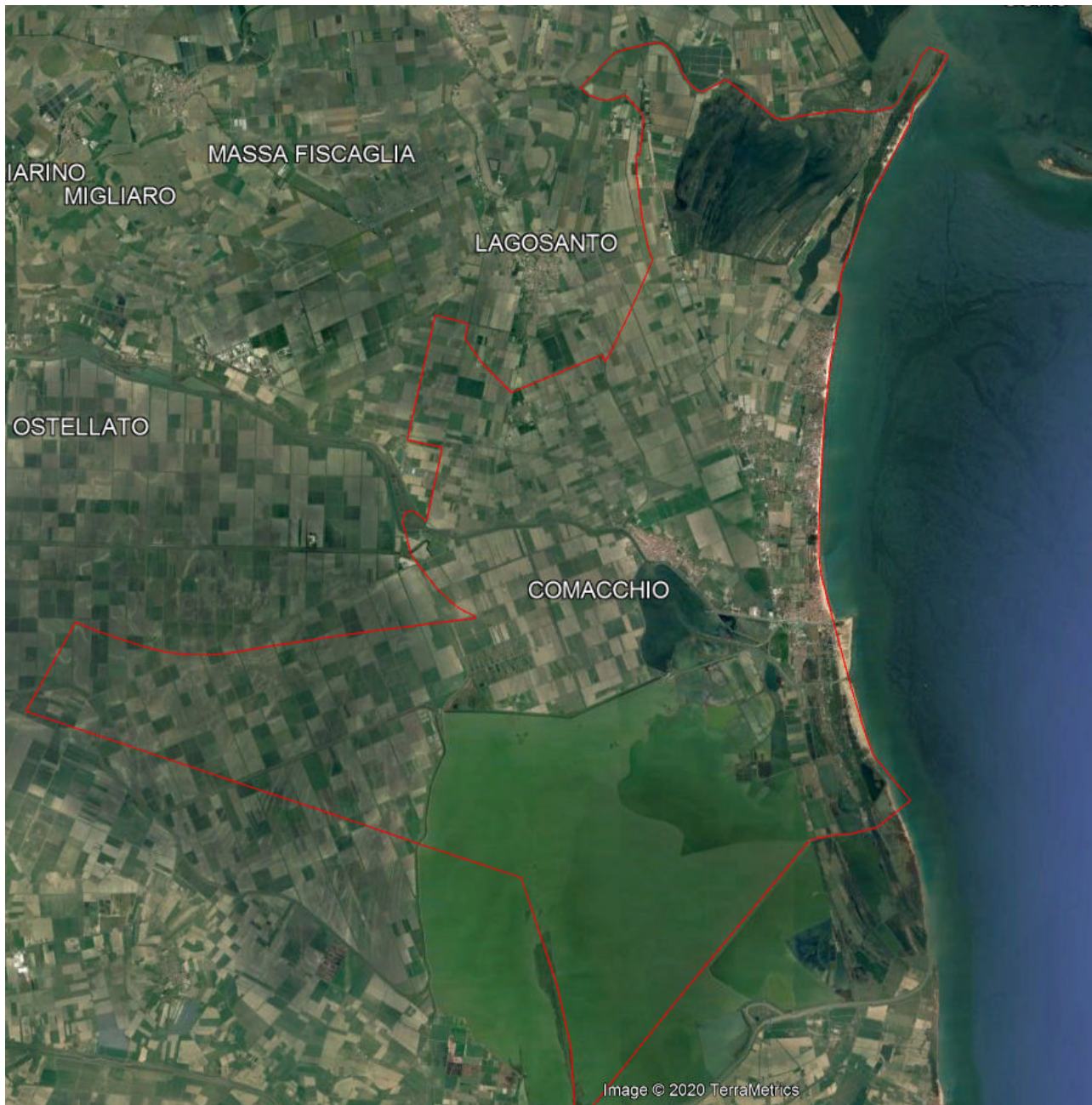
Le modalità tecniche di esecuzione e di applicazione della microzonazione sismica sul territorio italiano sono definite dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

## 1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

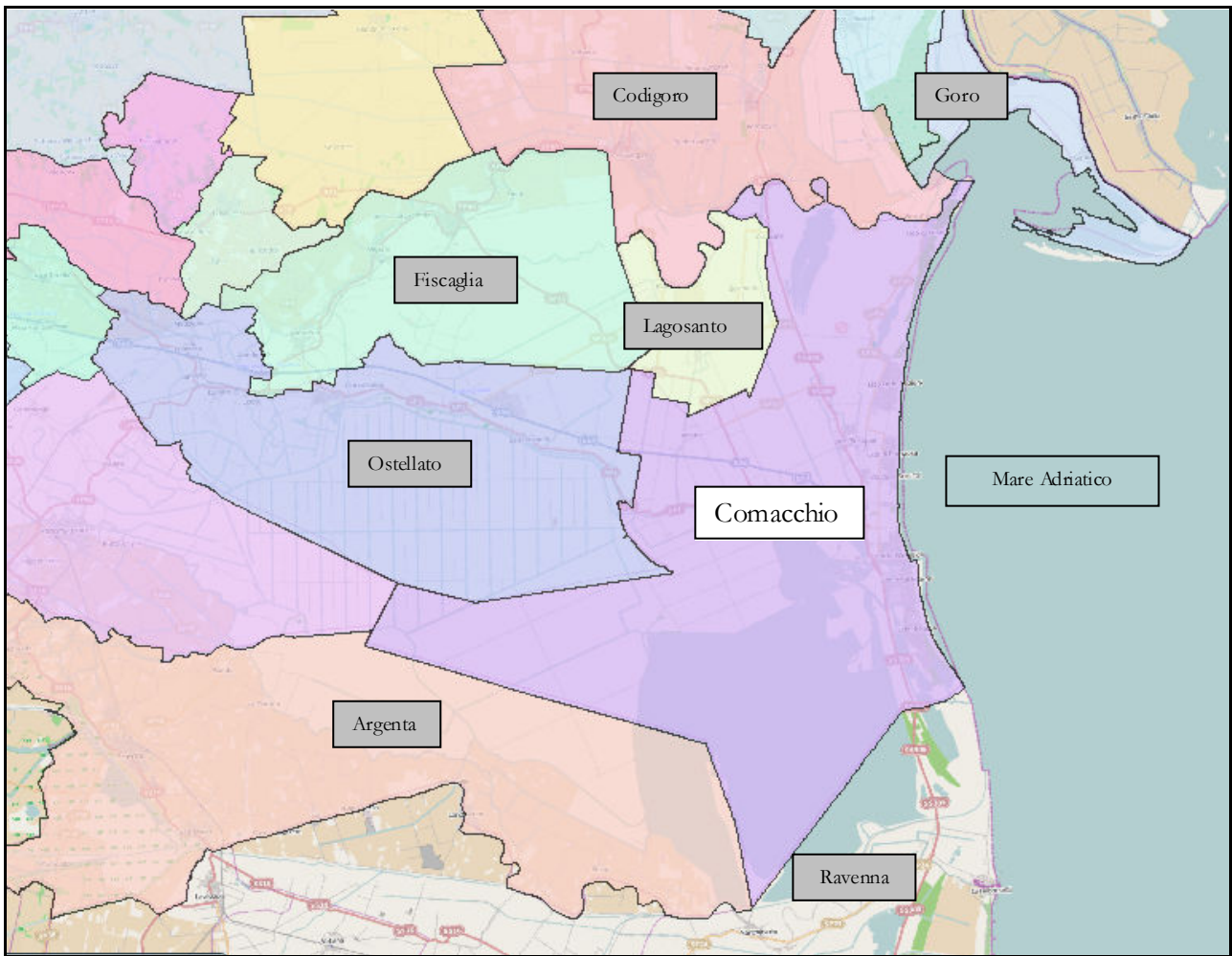
Il comune di Comacchio è compreso nella seguente cartografia:

- Scala 1: 50.000: Foglio 187 Codigoro, Foglio 204 Porto Maggiore, Foglio 205 Comacchio e 223 Ravenan.

Il comune di Comacchio confina a nord con il fiume Po di Volano e con il comune di Codigoro, ad est con il Mar Adriatico, a sud con il mare con il comune di Argenta e quello di Ravenna e ad ovest con i comuni di Ostellato, Fiscaglia e Lagosanto.



*TERRITORIO COMUNALE DI COMACCHIO - 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



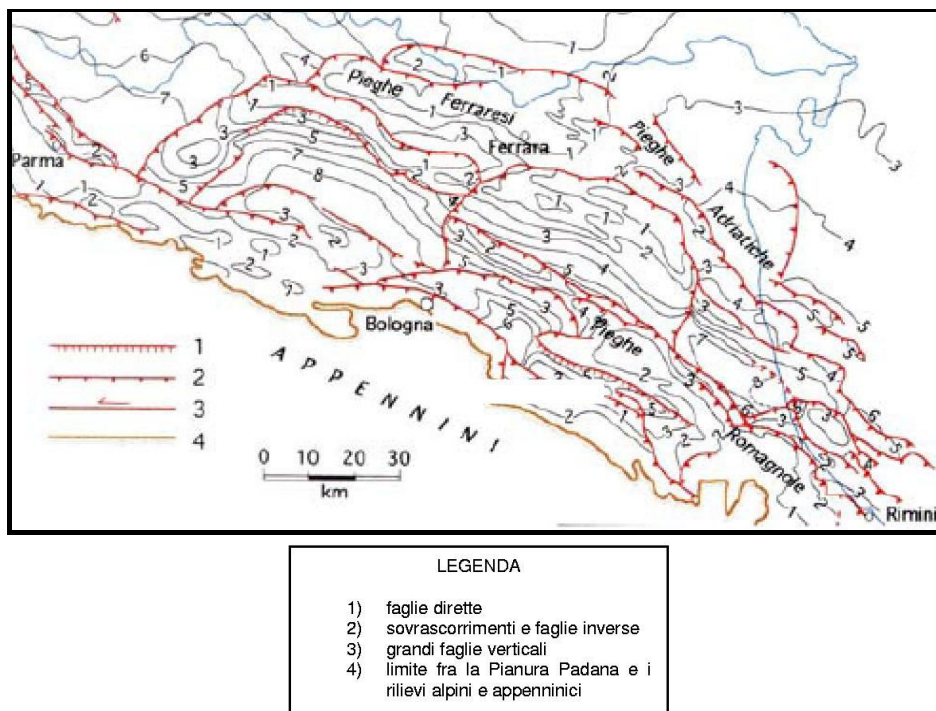
all'instaurarsi in sequenza alterna di ambienti deposizionali marini, costieri, deltizi e lagunari in relazione a locali processi di sollevamento e di subsidenza.

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 fatturazioni presenti (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992)*



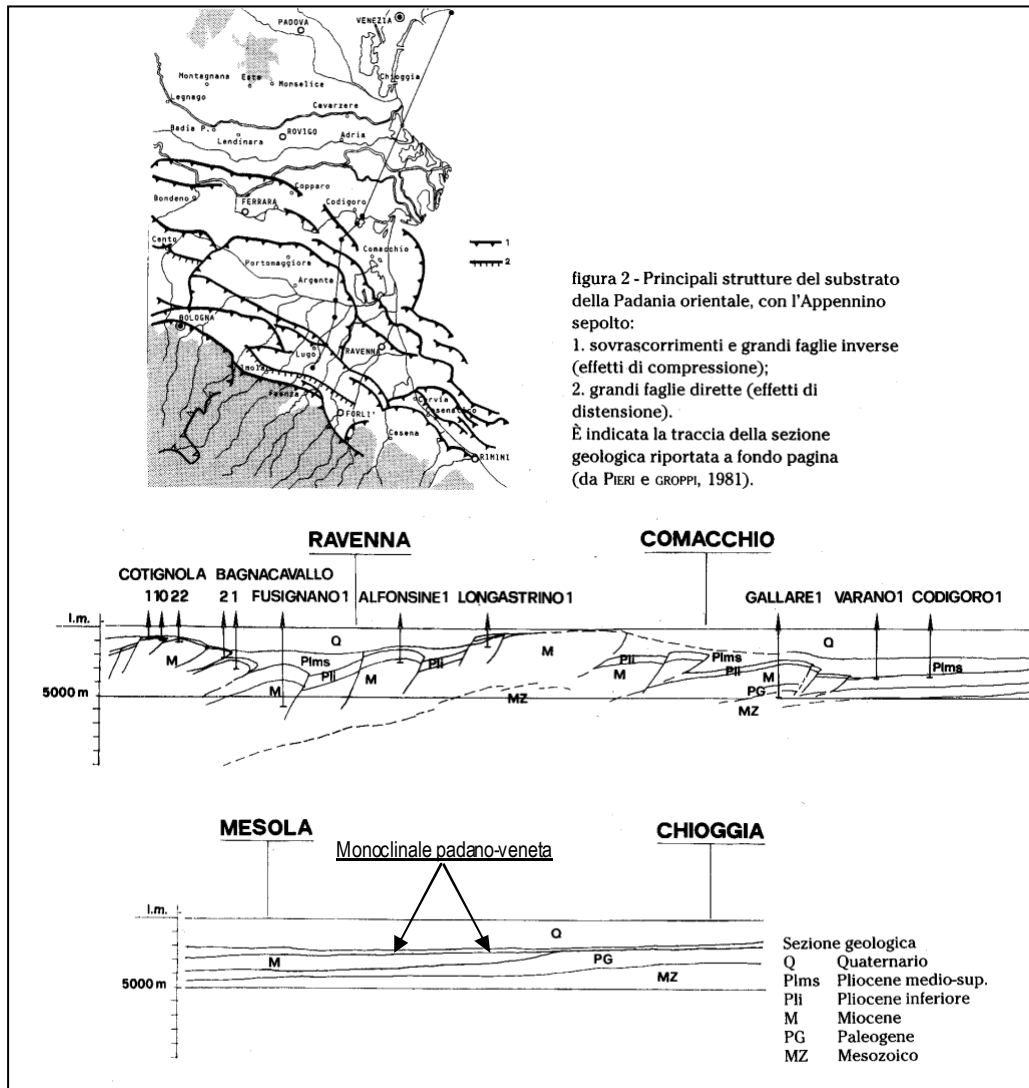


Figura 2-2 - Inquadramento geologico strutturale dell'area deltizia

Nella **FIGURA 2.3** viene riportata una versione più dettagliata della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghere 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).

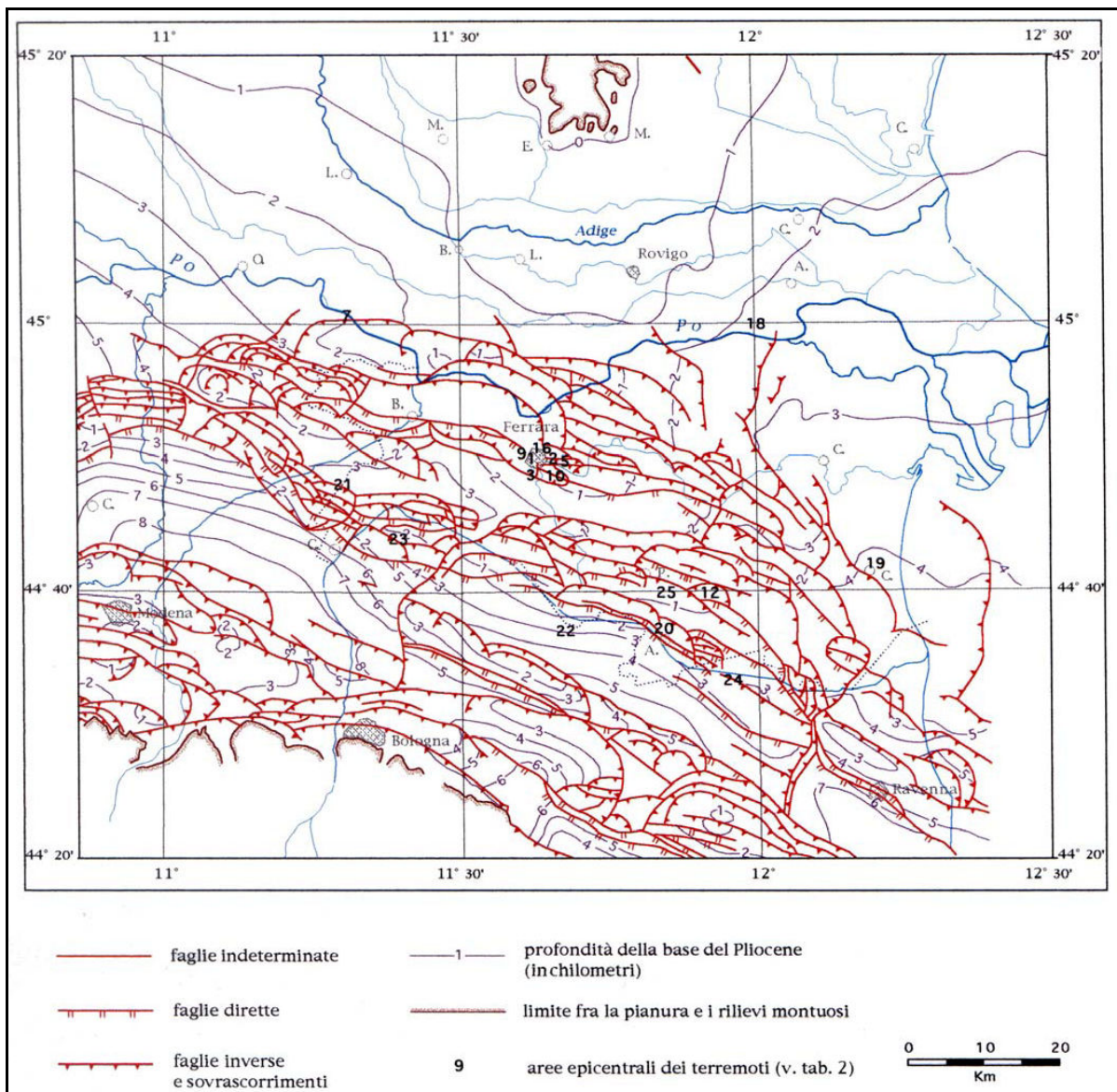


Figura 2-3 - Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR, 1992)

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 Comacchio (**FIGURA 2.6**).



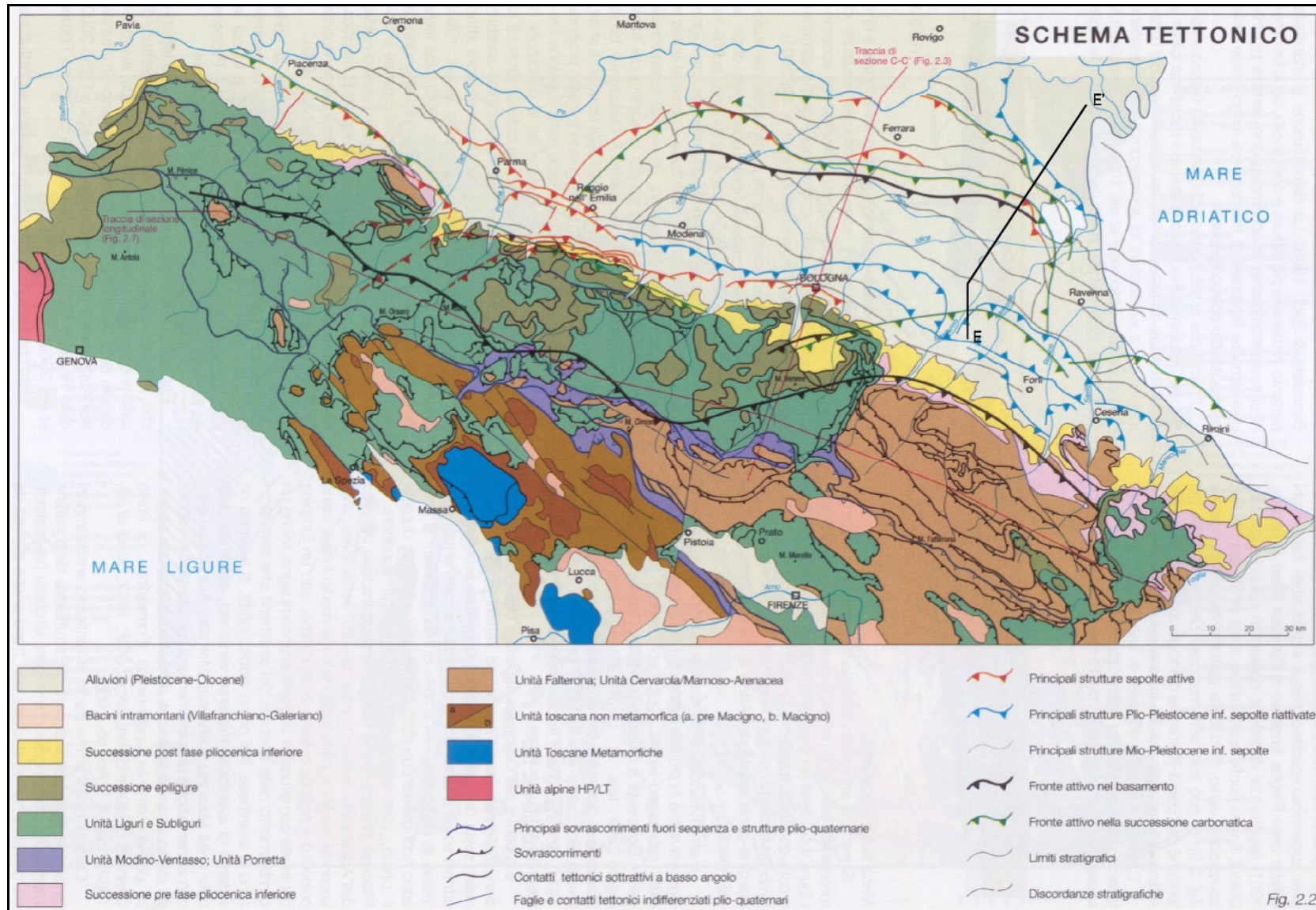
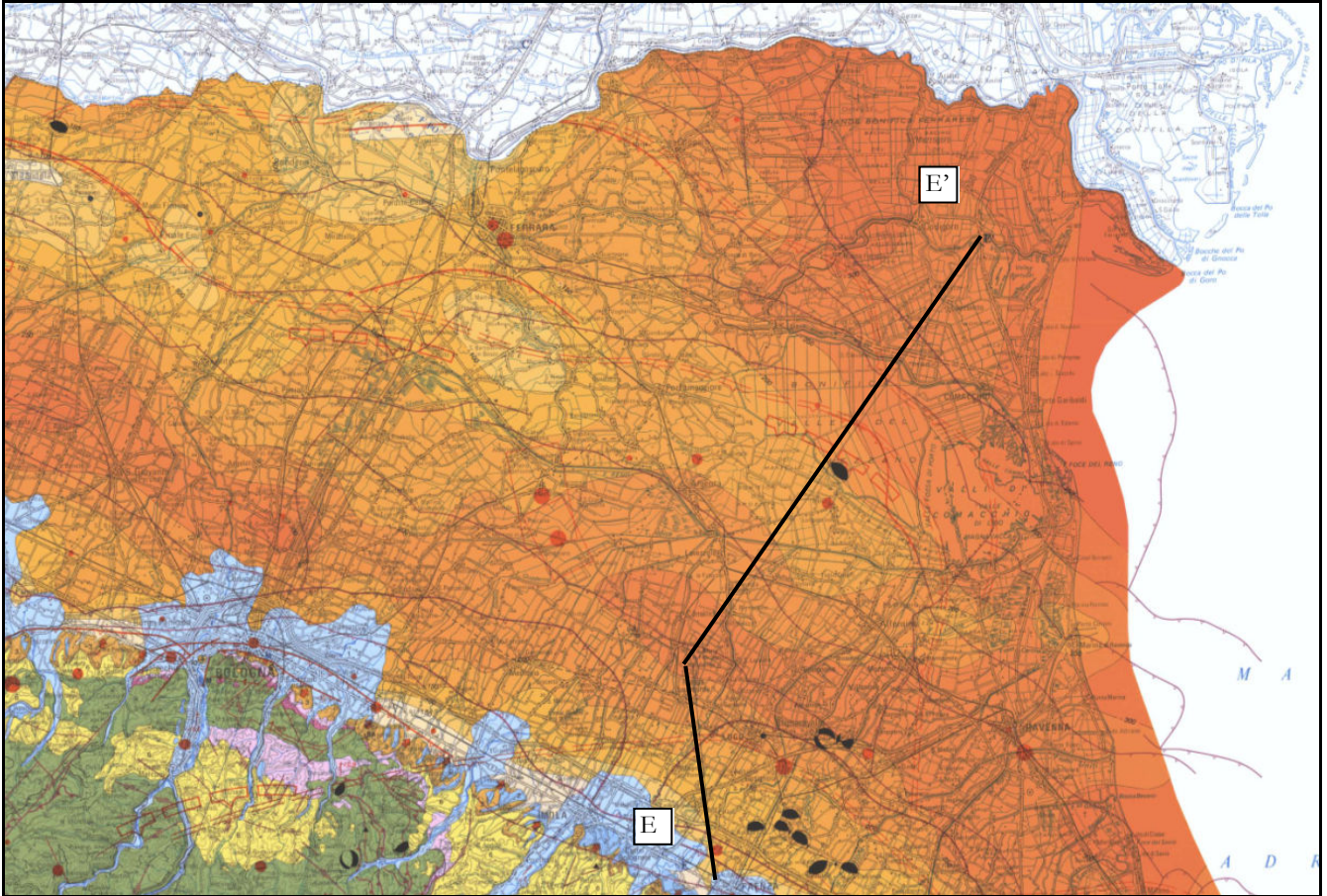
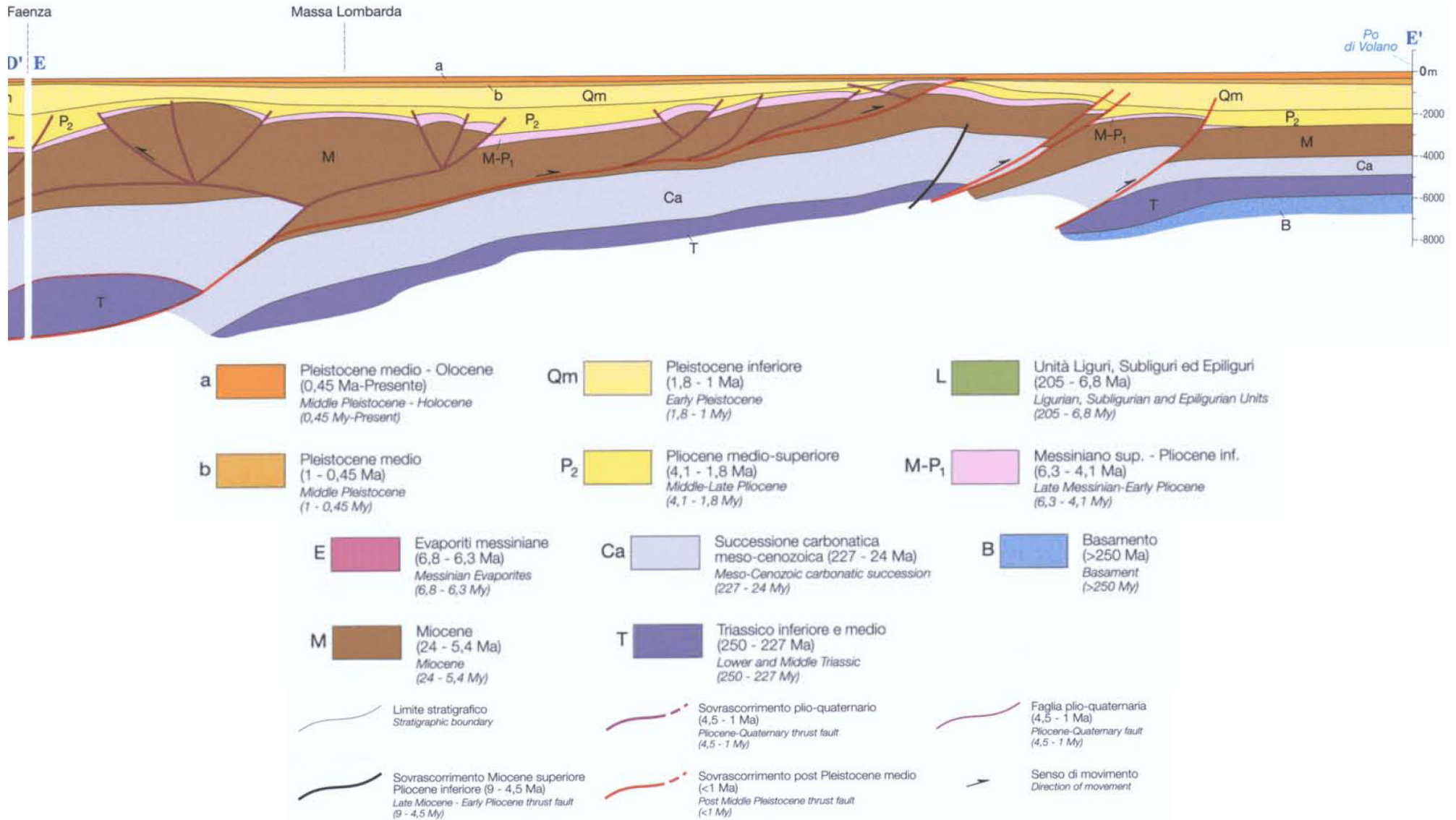


Figura 2-4 - Schema Tettonico, tratto da "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" a cura di Luca Martelli e Mario Boccaletti (2004)





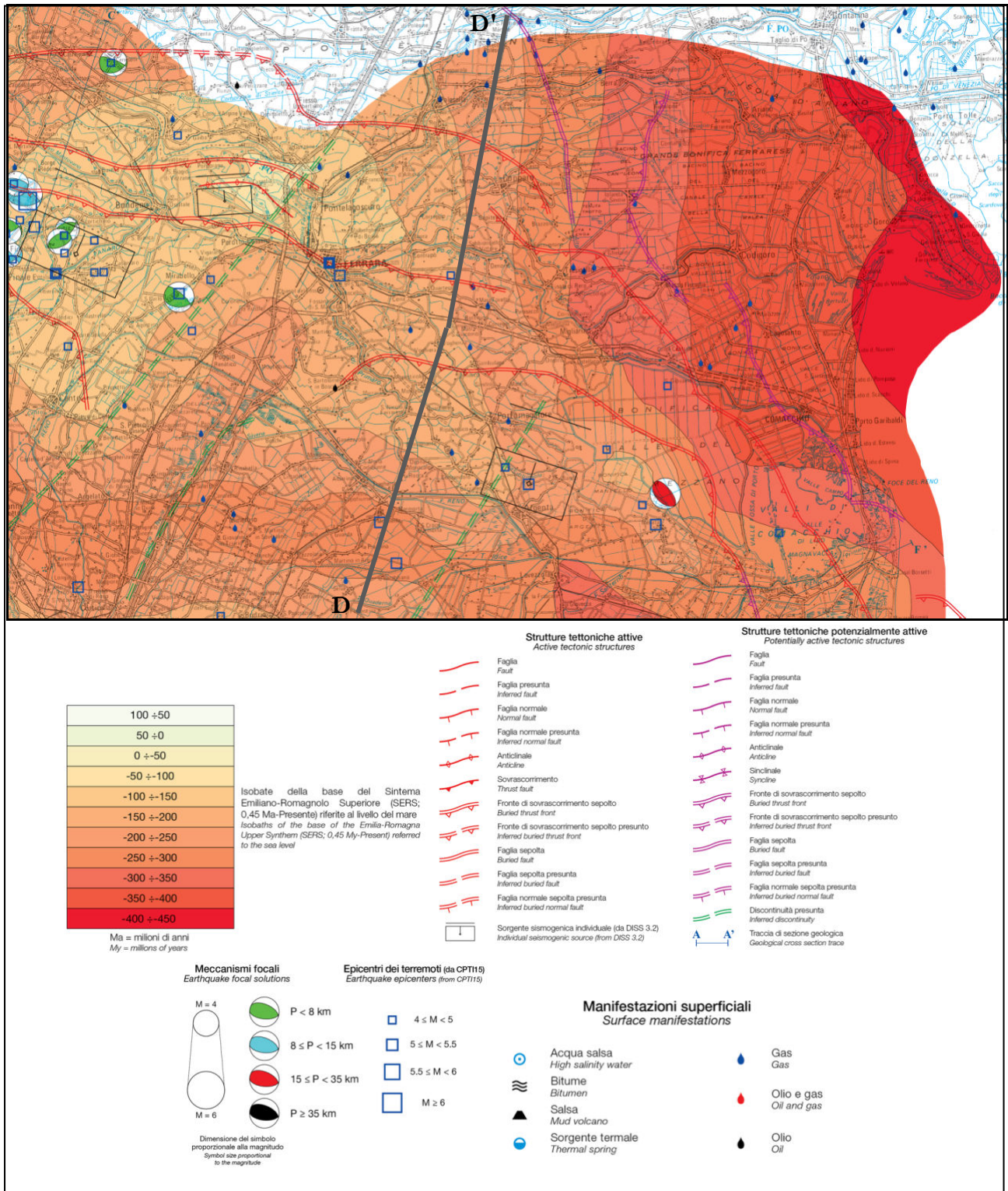
**Figura 2-5** - *Carta Sismotettonica Regione Emilia Romagna e ubicazione della sezione geologica E-E' riportata di seguito (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).*



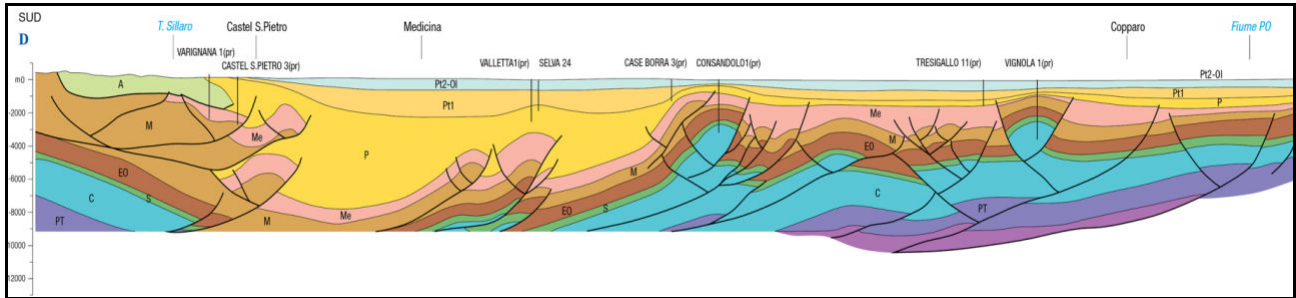
**Figura 2-6** – Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E'  
(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).



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 riportato invece uno stralcio della Sezione D-D' che passa poco ad ovest del comune di Comacchio.



**Figura 2-7** - stralcio centrato sul comune di Comacchio 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 Comacchio (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2016).

Come si può notare in **FIGURA 2.7** la base del Sistema Emiliano Romagnolo Superiore (450.000 anni dal presente) si colloca a profondità comprese tra -200m ad ovest fino a -400m di profondità ad est del territorio comunale. Alcune informazioni in più verranno rese nel capitolo 5, ove si proporrà il modello del sottosuolo locale.

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

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

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

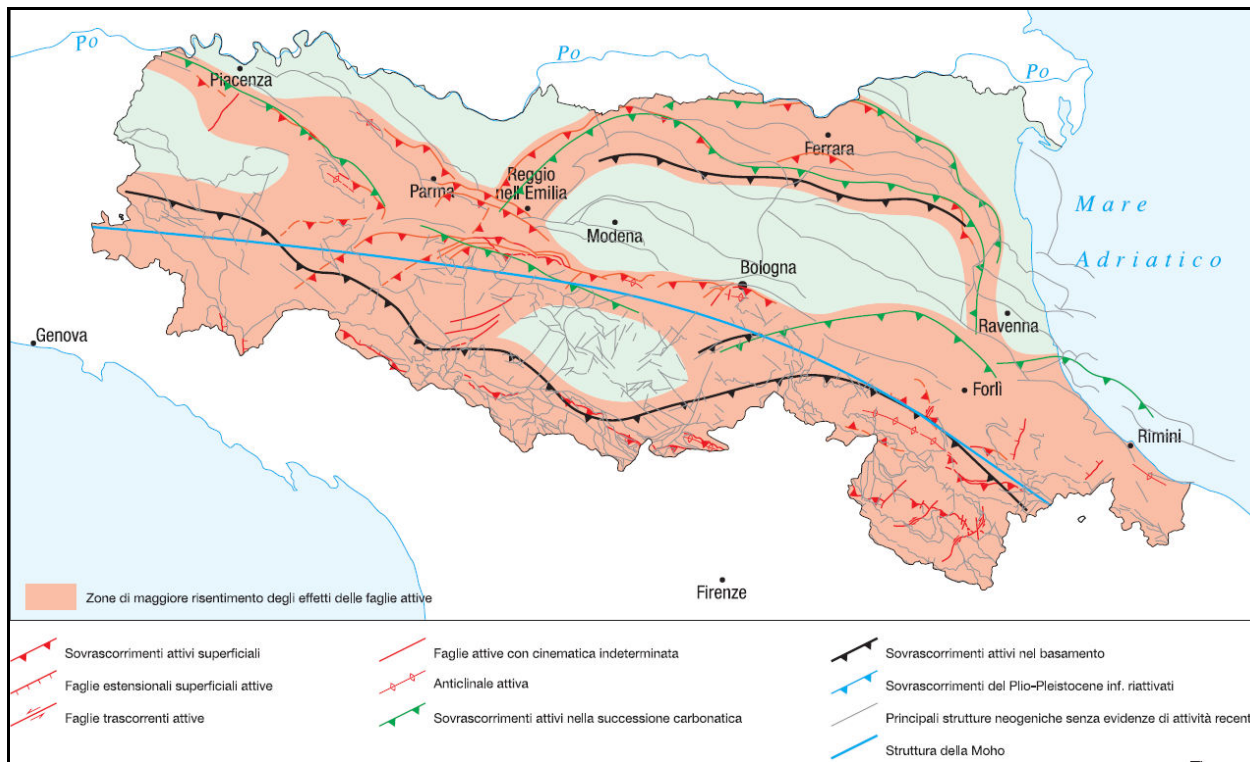
Si tratta di un edificio formato da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (Liguridi s.l.) e il dominio Tosco-Umbro-Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria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

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

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

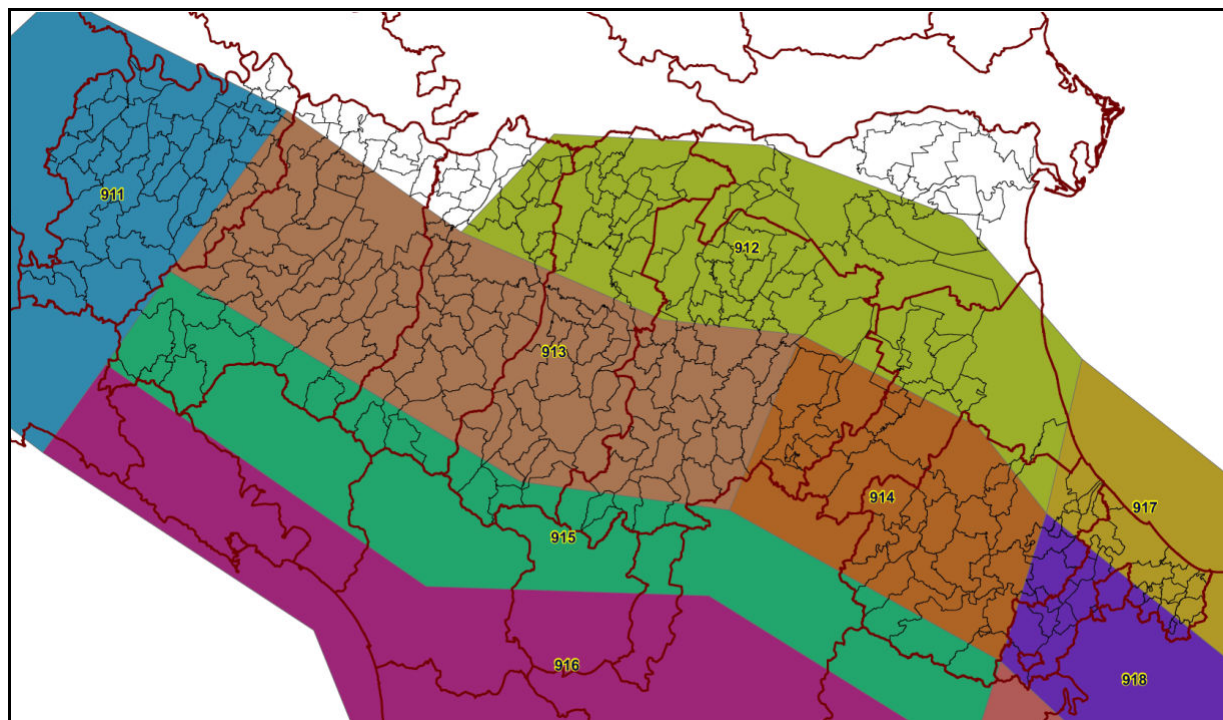
Sulla base dunque di tutte le informazioni tettoniche riportate, è stata redatta la carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive (**FIGURA 2.9**) dell'Emilia Romagna. Essa è riportata nelle Note illustrative allegate alla Carta Sismotettonica pubblicata nel 2004.





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

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, il territorio occupato dal comune di Comacchio ricade per la maggior parte del territorio al di fuori delle zone sismogenetiche, la più vicina è la Zona 912, caratterizzata da un valore di  $Mw_{max}$  pari a 6.14 (**FIGURA 2.10**). Solo la zona del Mezzano e una parte delle valli di Comacchio ricade sulla zona sismogenetica 912.



**Figura 2-10** – Aree sismogenetiche in Emilia Romagna



Il database DISS (DISS Working Group, 2015) indica che il territorio comunale di Comacchio si colloca, per la maggior parte, esternamente alla struttura sismogenetica composita orientata approssimativamente ESE-WNW e denominata Poggio Rusco-Migliarino (ITCS050) (FIGURA 2.11). Solo la fascia del Mezzano ricade su questa struttura sismo-tettonica.

Subito a sud è presente la struttura sismogenetica composita 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 composita 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 composita 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.

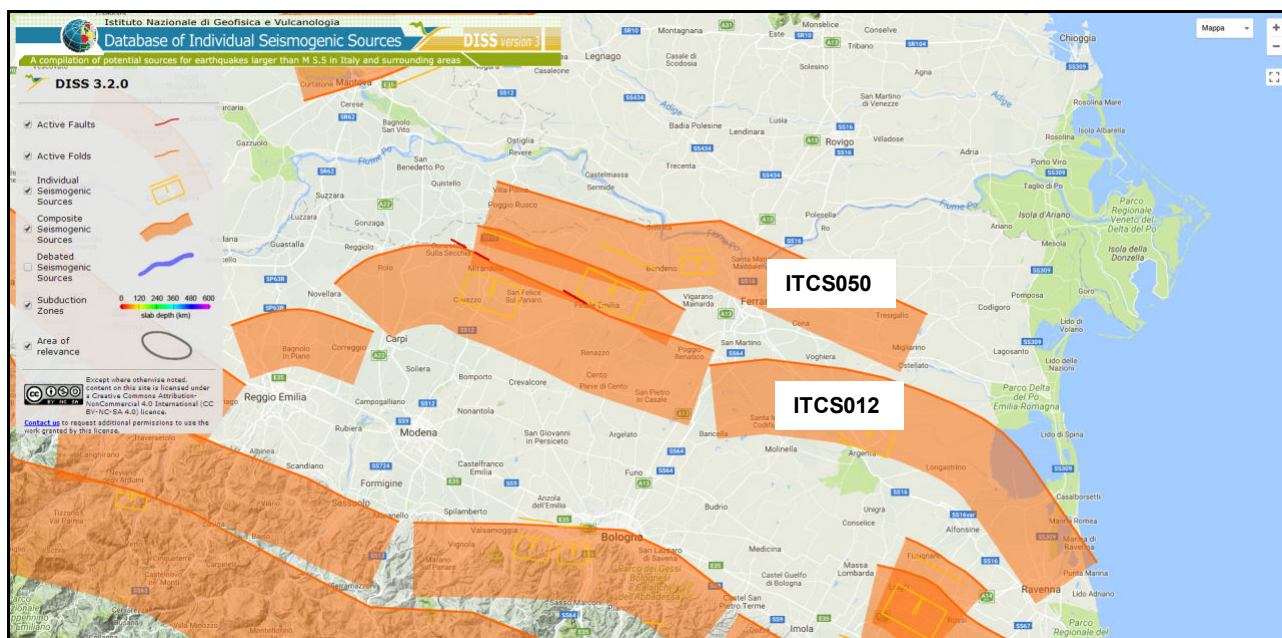


Figura 2-11 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.2.0. (<http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>)

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

### CPTI04 - Interrogazione per parametri

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

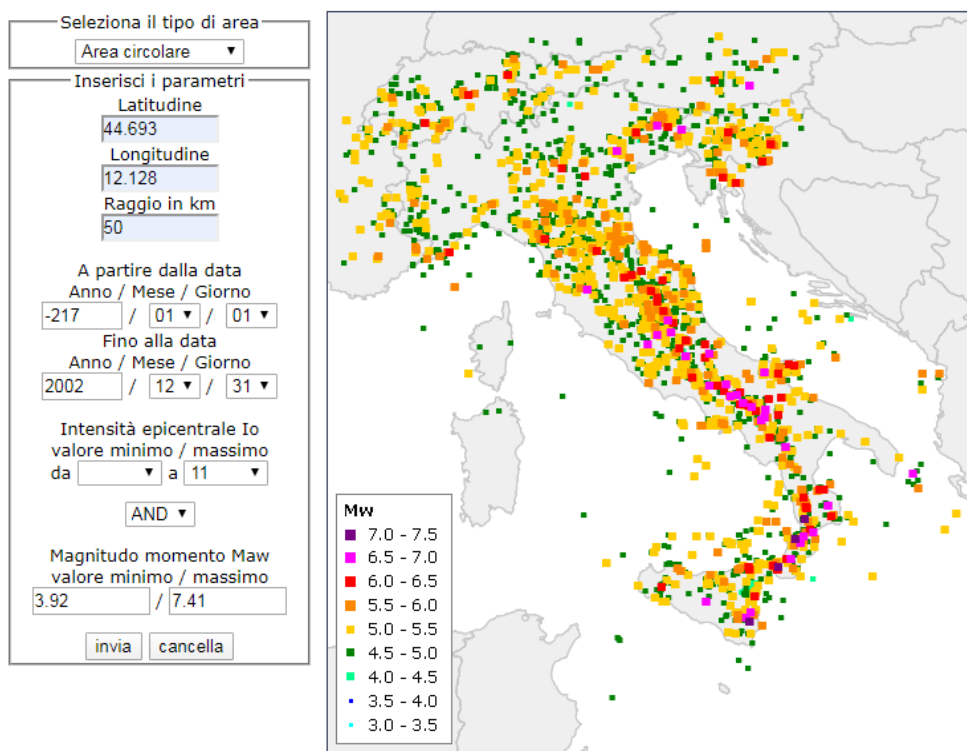


Figura 2-12 - Criteri di interrogazione adottati

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (44.693, 12.128) 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	Z59	TZ	Ncft	Nnt	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	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		864	139
178	DI	1483	3	3	22			FERRARA	DOM	1	55	55		44.836	11.618	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G		865	178
207	CP	1508	10	18	15			FERRARA SUD	POS85			60		44.833	11.667	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		866	207
209	DI	1509	4	19				Faentino	CFTI	5	70	70		44.32	11.87	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	914	G	210	831	209
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
393	DI	1688	4	11	11	30		ROMAGNA	DOM	36	90	90		44.39	11.942	A	5.88	0.12		5.85	0.18		5.85	0.18	912	G	266	834	393
395	CP	1688	8	18				FUSIGNANO	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
503	DI	1732	8	9				FAENZA	DOM	3	60	60		44.286	11.881	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	914	G		838	503
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
619	DI	1781	7	17	9	40		Romagna	CFTI	33	80	80		44.28	11.95	A	5.53	0.11		5.34	0.17		5.49	0.16	914	G	327	841	619
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
1057	DI	1881	2	12				RUSSI	DOM	14	65	65		44.27	11.958	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	914	G		851	1057
1174	CP	1891	8	1	13	30		LUGO	POS85			60		44.417	11.933	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		853	1174
1225	DI	1895	3	23				COMACCHIO	DOM	37	65	60		44.684	11.987	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		877	1225
1230	CP	1895	5	25	11	42	50	PAPOZZE	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	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	A		878	1233
1287	DI	1898	1	16	12	10	5	Romagna settent.	CFTI	73	70	65		44.65	11.77	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G	452	879	1287
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
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
2263	CP	1969	1	10	16	17	32	RUSSI	POS85			55		44.383	12		4.63	0.09		4.00	0.13		4.25	0.12	912	G		859	2263
2389	CP	1978	12	5	15	39	4	RAVENNA S.O.	POS85					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 territorio di Comacchio, sono poi diagrammati in funzione dell'Intensità massima che sono state osservate a causa di quei terremoti (**FIGURA 2.14**).

## Comacchio



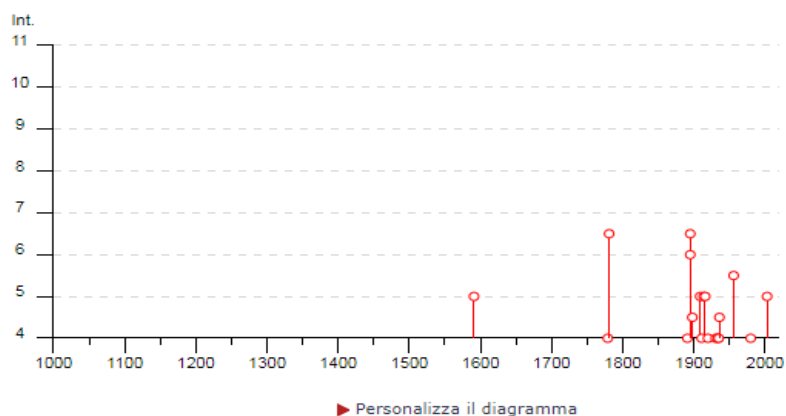
PlaceID	IT_40475
Coordinate (lat, lon)	44.694, 12.183
Comune (ISTAT 2015)	Comacchio
Provincia	Ferrara
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	39

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1591	07	10				Romagna	6	6-7	5.13
4	1779	11	23	18	30		Bolognese	14	5	4.70
6-7	1781	07	17	09	40		Faentino	46	8	5.61
3	1889	03	08	02	57	0	Bolognese	38	5	4.53
4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
6-7	1895	03	23				Comacchio	33	6	4.65
6	1895	07	30	10	47		Comacchio	10	5	4.47
4-5	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59
NF	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
3	1898	03	09	11	43		Romagna settentrionale	68	6	4.59
2	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
NF	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10

NF	1907 04 25 04 52	Veronese	122	6	4.79
NF	1908 07 10 02 13 3	Carnia	119	7-8	5.31
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
NF	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5	4.65
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
5	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
3	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
4	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53
3	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
4	1931 03 27 02 46 5	Ferrarese	7	6	4.74
2	1931 04 11 01 26	Faentino	19	4-5	4.81
4	1934 11 30 02 58 2	Adriatico settentrionale	51	5	5.30
4	1935 06 05 11 48	Faentino	27	6	5.23
4-5	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
5-6	1956 02 20 01 29 4	Argenta	17	5-6	4.96
4	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
3	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986 12 06 17 07 1	Ferrarese	604	6	4.43
3-4	1989 09 13 21 54 0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
3-4	1998 03 26 16 26 1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
NF	2000 05 06 22 07 0	Faentino	85	5	4.08
3	2000 05 08 12 29 5	Faentino	126	5	4.67
NF	2000 05 10 16 52 1	Faentino	151	5-6	4.82
3-4	2002 11 02 10 57 4	Ferrarese	79	4	4.21
5	2003 09 14 21 42 5	Appennino bolognese	133	6	5.24
3	2005 07 15 15 17 1	Forlivese	173	4-5	4.29

Figura 2-13 - [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 territorio comunale di Comacchio, sono poi diagrammati in funzione dell'Intensità massima che sono state osservate a causa di quei terremoti a Comacchio (**FIGURA 2.14**).



Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
San Giuseppe	1	4
Porto Garibaldi	3	5
Lido degli Scacchi	1	5
Lido degli Estensi	2	6
Lagosanto	14	8

Figura 2-14 - [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 Comacchio sono  $I_{max}=4$ .

Allo stesso modo si interroga il Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani CPTI15, che fornisce i dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali (**FIGURA 2.15**) relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  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/>).

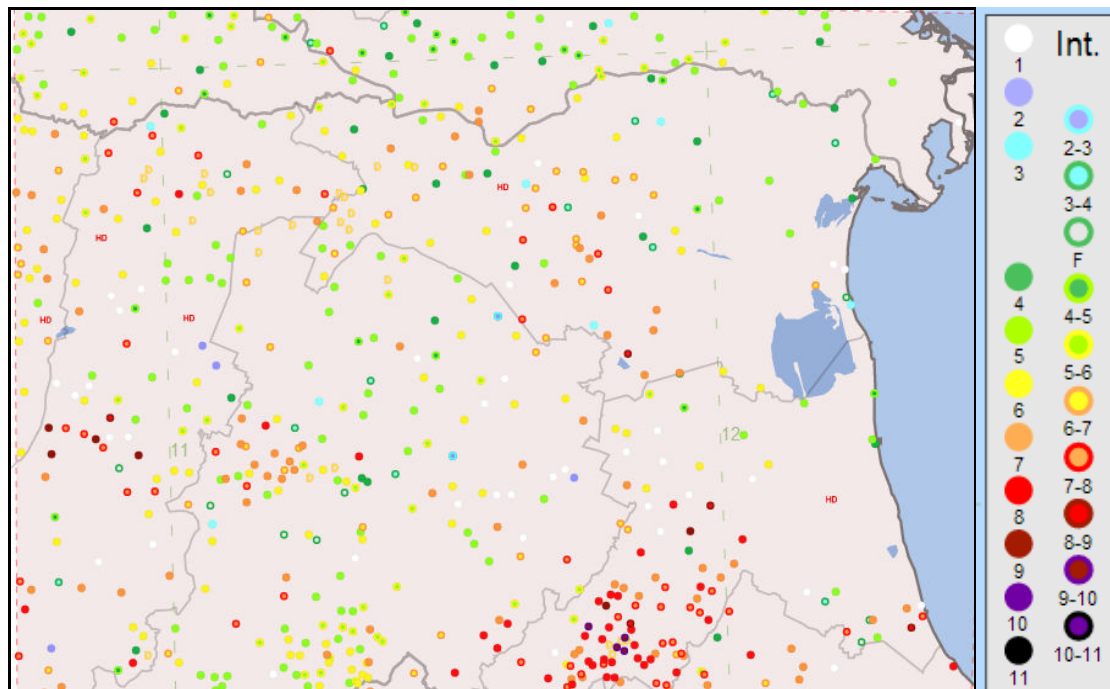


Figura 2-15

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

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



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

Figura 2-16 - Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi.

Comune	Lat.	Lon.	Imax	Mw
ARGENTA	44.61459	11.83658	9	6,1
ARGENTA	44.61459	11.83658	9	6,1
BONDENO	44.88857	11.41666	8	5,6
CENTO	44.72685	11.28937	7	5,2
CODIGORO	44.83096	12.10568	<= 6	4,8
<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.

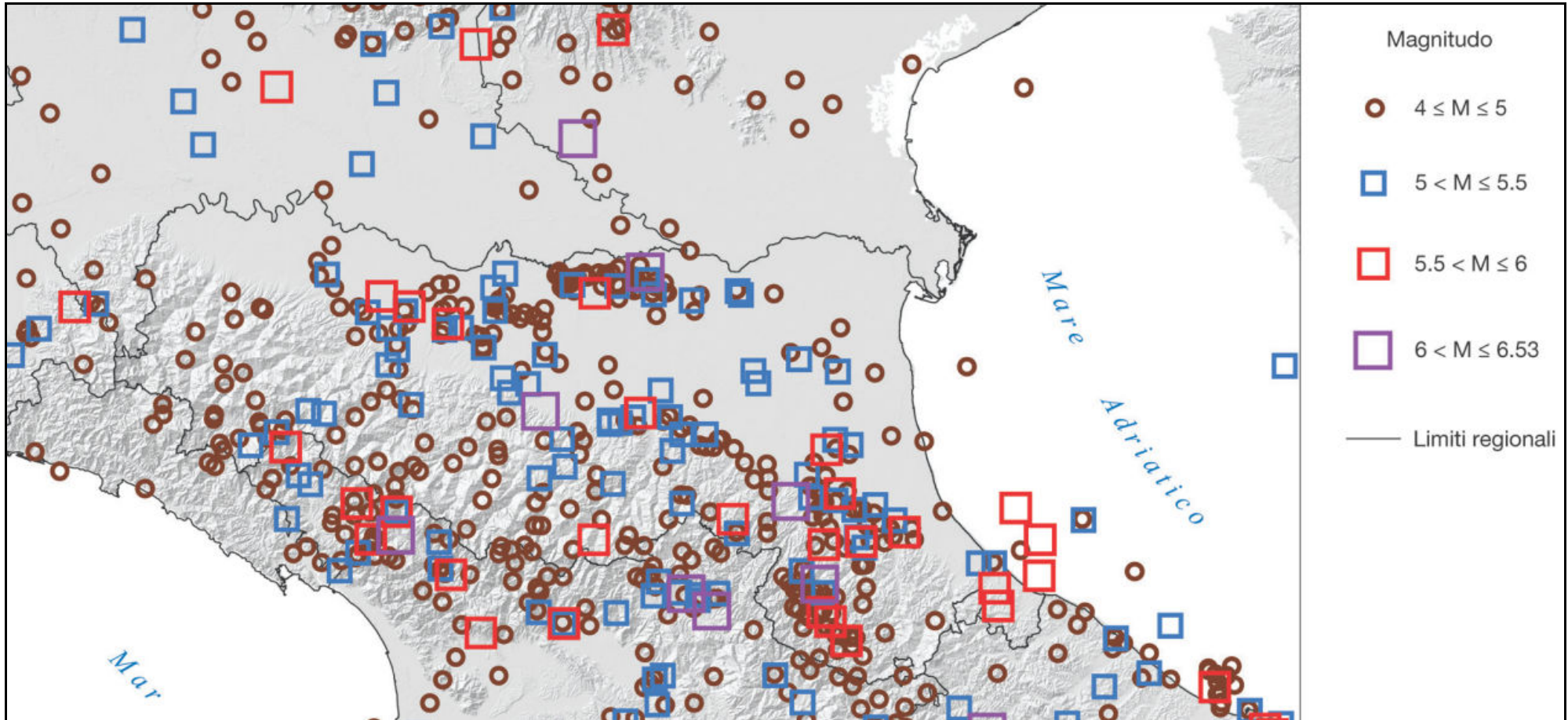
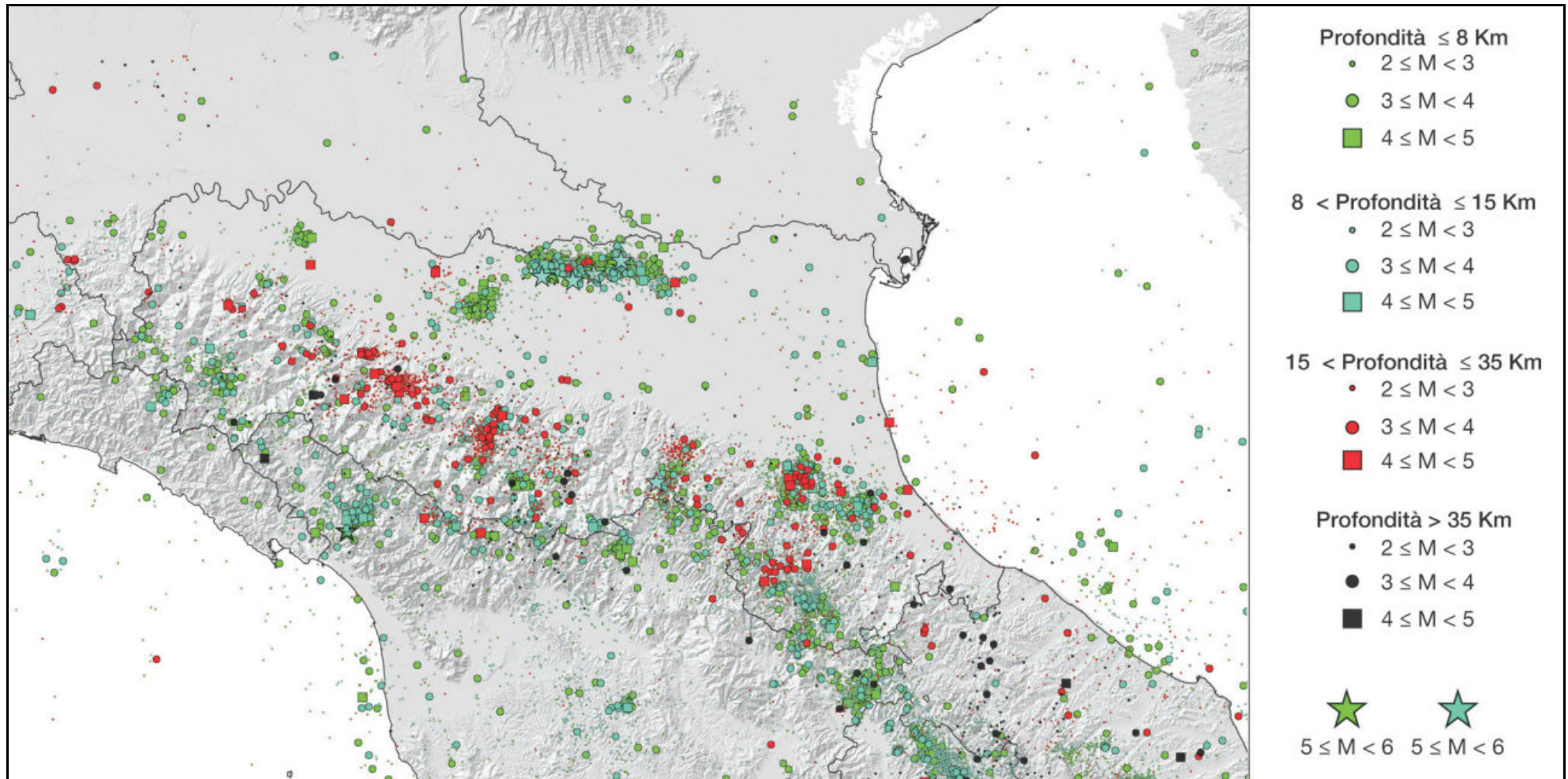


Figura 3.1: epicentri dei principali terremoti ( $M_W \geq 4$ ) che hanno interessato l'Emilia-Romagna dall'anno 1000 al 2014 (Rovida et al., 2016; ISIDe Working Group, 2015); dimensione e colore del simbolo sono rappresentativi della magnitudo (v. legenda).

**Figura 2-17** - Ubicazione magnitudo dei principali sismi ( $M_n \geq 4$ ) 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).

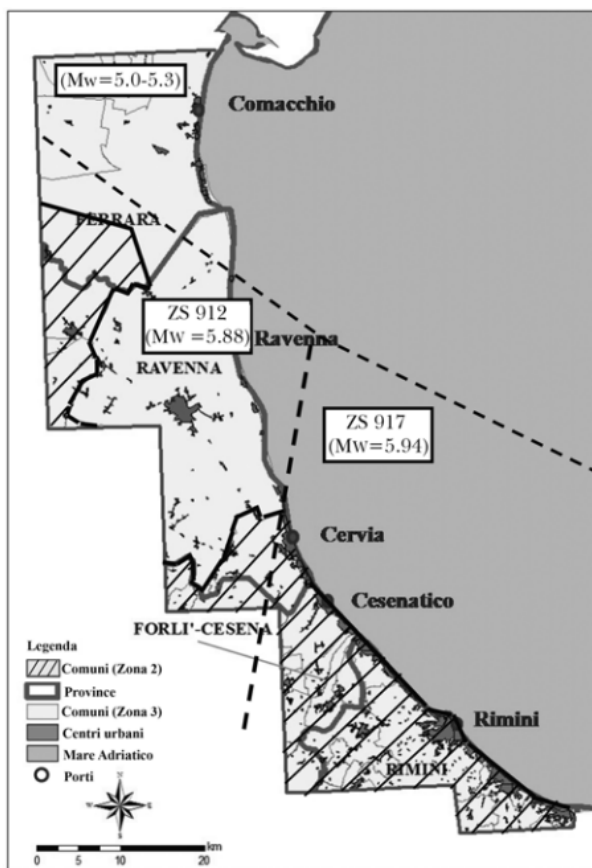


Fig. 2 – Delimitazione dell'area di studio, definizione della magnitudo attesa  $M_w$  (le zone sismogenetiche sono delimitate con una linea tratteggiata) e classificazione dei Comuni ivi ricadenti secondo la classificazione sismica nazionale.

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

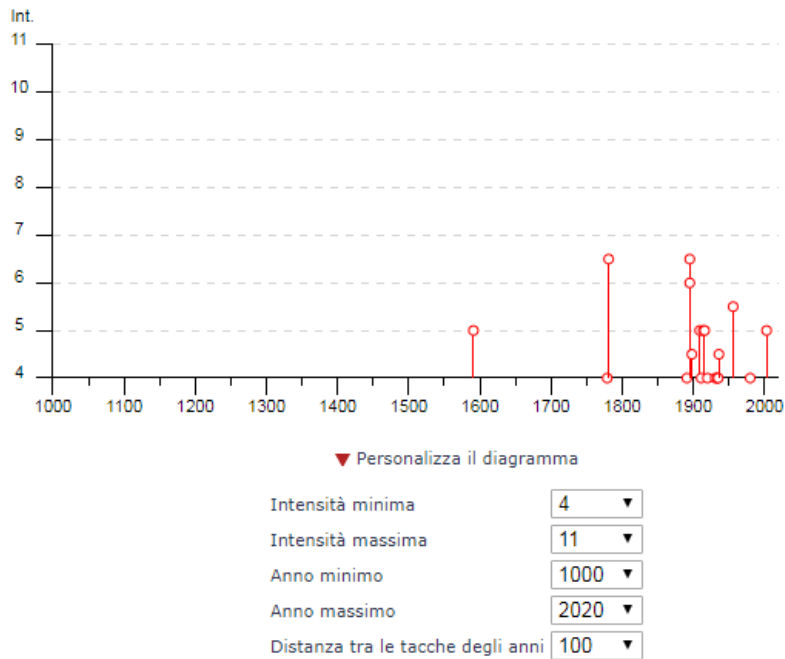
Figura 2-19

B) La consultazione del catalogo storico dei terremoti

(DBMI15)									
Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
5	1591	07	10				Romagna	6	6-7 5.13
4	1779	11	23	18	30		Bolognese	14	5 4.70
6-7	1781	07	17	09	40		Faentino	46	8 5.61
3	1889	03	08	02	57	0	Bolognese	38	5 4.53
4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9 5.87
6-7	1895	03	23				Comacchio	33	6 4.65
6	1895	07	30	10	47		Comacchio	10	5 4.47
4-5	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6 4.59
NF	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8 5.37
3	1898	03	09	11	43		Romagna settentrionale	68	6 4.59
2	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8 5.44
NF	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7 5.10
NF	1907	04	25	04	52		Veronese	122	6 4.79
NF	1908	07	10	02	13	3	Carnia	119	7-8 5.31
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
NF	1913	11	25	20	55		Appennino parmense	73	4-5 4.65
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7 5.63
5	1916	05	17	12	50		Riminese	132	8 5.82
3	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10 6.38
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10 6.53
3	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8 5.83
4	1931	03	27	02	46	5	Ferrarese	7	6 4.74
2	1931	04	11	01	26		Faentino	19	4-5 4.81
4	1934	11	30	02	58	2	Adriatico settentrionale	51	5 5.30
4	1935	06	05	11	48		Faentino	27	6 5.23
4-5	1936	10	18	03	10		Alpago Consiglio	269	9 6.06
5-6	1956	02	20	01	29	4	Argenta	17	5-6 4.96
4	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7 5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6 4.43
3-4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7 4.85
3-4	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409	5.26
NF	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5 4.08
3	2000	05	08	12	29	5	Faentino	126	5 4.67
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6 4.82
3-4	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4 4.21
5	2003	09	14	21	42	5	Appennino bolognese	133	6 5.24
3	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5 4.29

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 territorio di Comacchio, sono poi diagrammati in funzione dell'Intensità massima che sono state osservate a causa di quei terremoti a Comacchio (FIGURA 2.21).



**Figura 2-21** - [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 Comacchio sono  $I_{max}=4$ . Cautelativamente lo si fa rientrare nei territori con  $I_{max}$  minore o uguale a 6. Utilizzando una nota correlazione empirica tra intensità e magnitudo momento si può stimare la magnitudo massima attesa a Comacchio (lo stesso calcolo viene condotto per CodiComacchio e Comacchio).

Comune	Lat.	Long.	$I_{max}$	$M_w$
Goro	44,85114	12,29472	$\leq 6$	4,8
Codigoro	44,83096	12,10568	$\leq 6$	4,8
Comacchio	44,69444	12,1829	7	5,2
$M_w = 0,430 I_{max} + 2,182$ per terremoti superficiali dell'Appennino				

**Tabella 2.3**

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

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

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

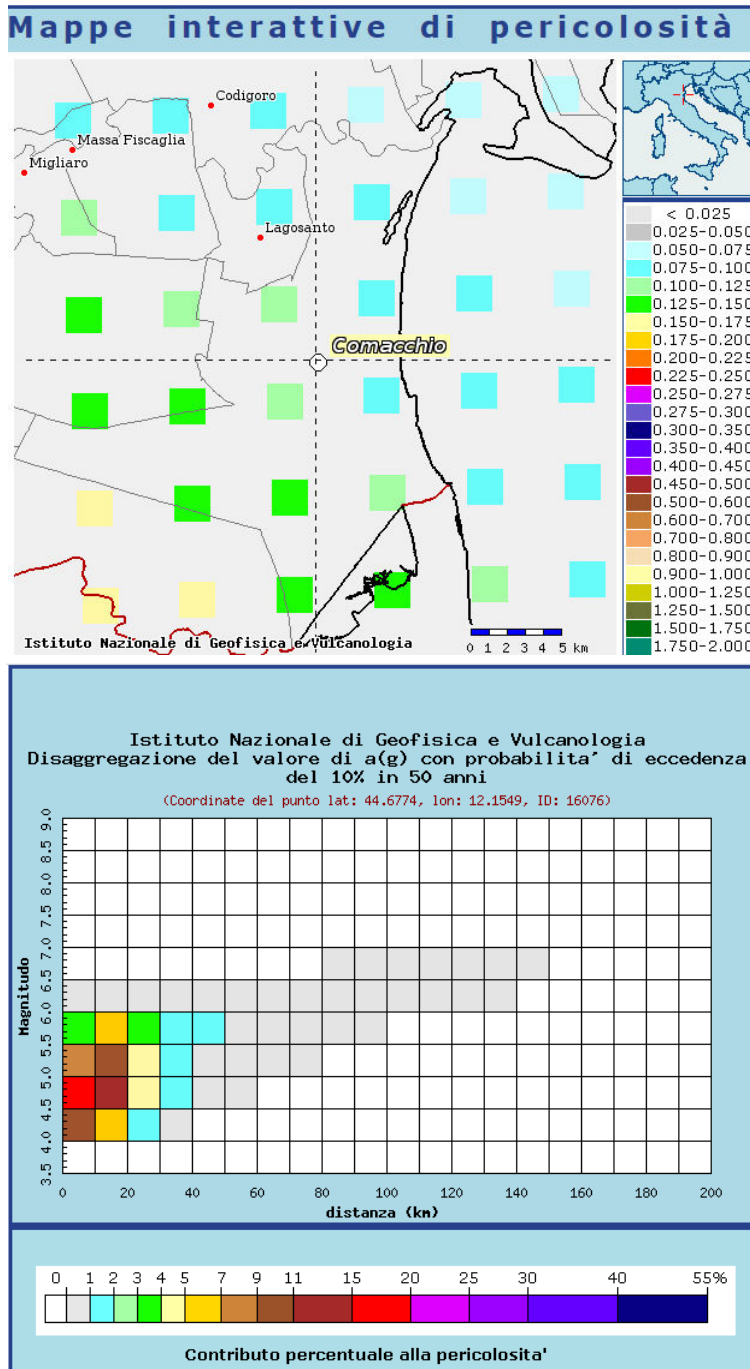


Figura 2-22

Come si può notare la maggiore probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni viene fornita da terremoti compresi tra magnitudo  $M_w=4,5$  e  $M_w=5$ , con distanza epicentrale compresa tra 10km e 20km (Tabella 2.4).

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.6774, lon: 12.1549, ID: 16076)										
	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	10.700	17.200	7.930	3.190	0.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	6.57	14.300	9.870	5.570	0.713	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	1.380	4.340	4.460	3.530	0.549	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.129	1.140	1.870	1.980	0.361	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.132	0.845	1.180	0.177	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.001	0.220	0.606	0.094	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.026	0.256	0.057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.001	0.079	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.029	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.017	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.990	15.100	0.732

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 Comacchio (così come per Codigoro e Goro, **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).

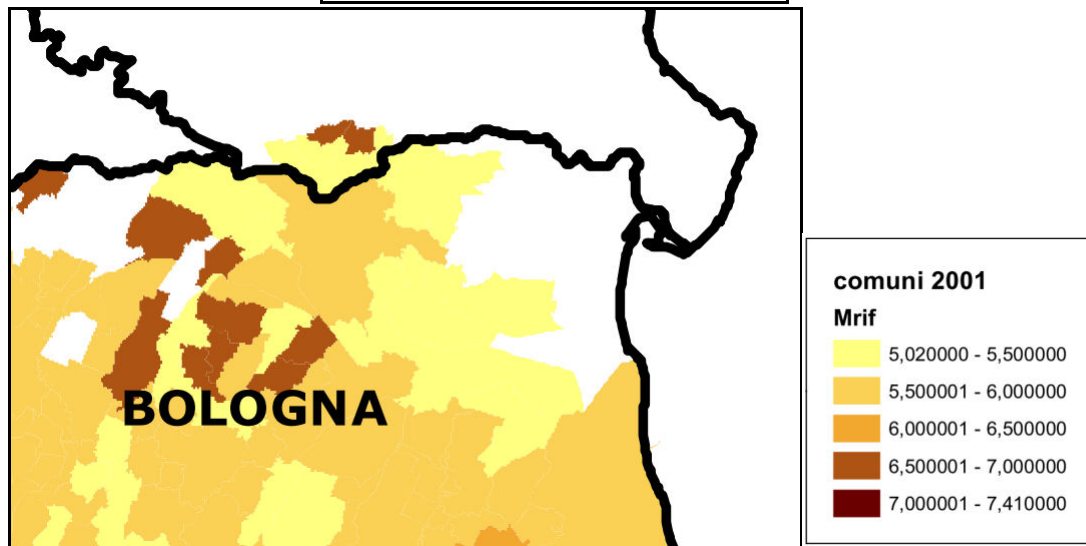
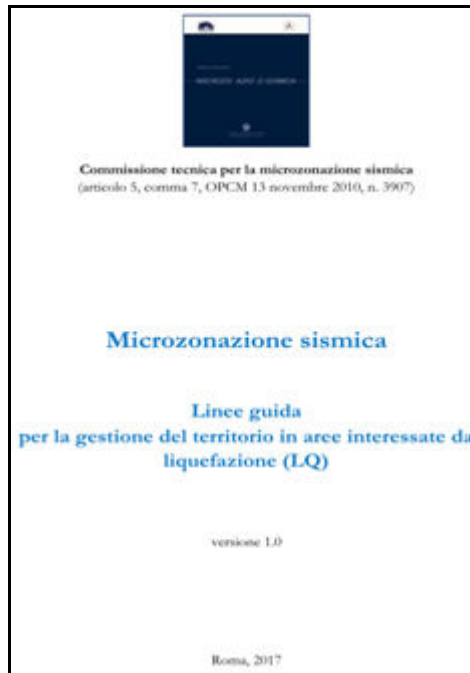


Figura 2-23

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 Comacchio 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.

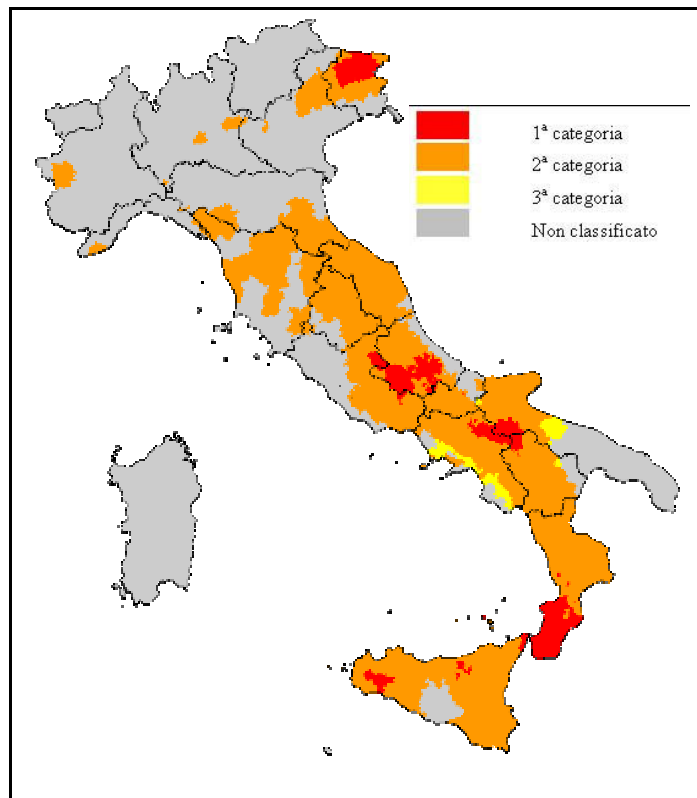


Figura 2-24 - Classificazione sismica secondo Legge 2/ 2/ 74 n. 64

### 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 Comacchio nella categoria di rischio 3 (FIGURA 2.25).

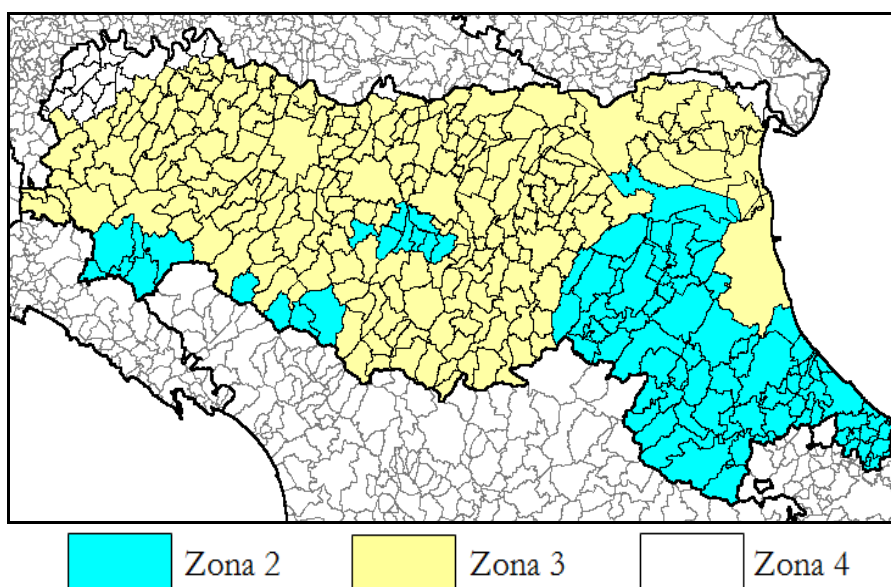


Figura 2-25 – Nuova zonizzazione sismica del territorio regionale, dettaglio relativo alla Regione Emilia-Romagna.



**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 espresse 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

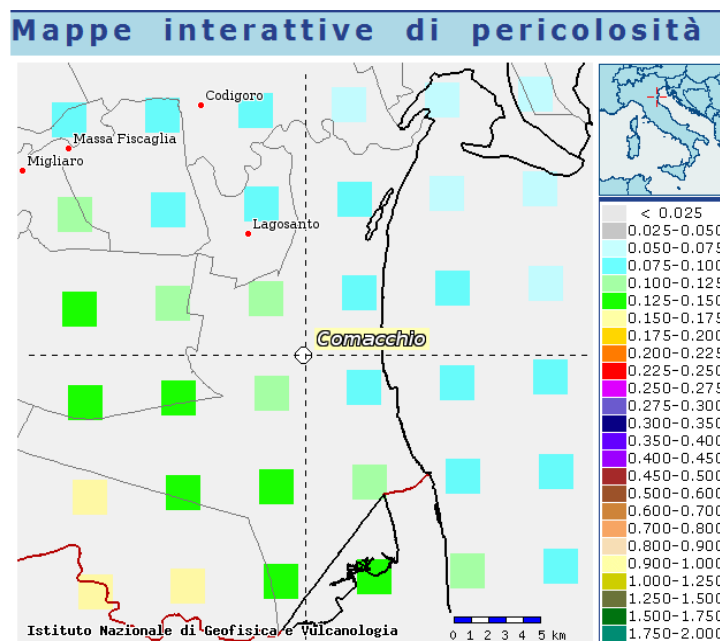
*Tabella 2.5 – Corrispondenza tra le definizioni di sismicità*

Denominazione	Decreto fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 2003	A max
Comacchio	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 **Comacchio** 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 – 0,150, 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
Comacchio	0,050 – 0,075

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

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

Nell'allegato B del suddetto D.M. sono forniti i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_C$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche per 10751 punti del suolo italiano e per 9 valori del periodo di ritorno  $T_R$  (30 anni, 50 anni, 72 anni, 11 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni). Da questo punto di vista il D.M. 17/02/2018 non ha apportato aggiornamenti, e si conferma la validità dell'Allegato B.

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

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

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

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

Nella tabella che segue (**FIGURA 2.27**) sono riportati i valori di accelerazione massima orizzontale di picco la suolo, cioè per  $T=0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), per ogni comune della provincia di Ferrara.

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

Figura 2-27 – accelerazioni di picco attese al bedrock secondo D.A.L. 112/2007

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

In ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze, potenti anche decine di metri, di sabbie e peliti con intercalazioni di lenti e orizzonti di ghiaie (spessori metrici, fino a circa 20 m), sabbie costiere superficiali (con spessori fino a 10 m) e substrato profondo (>100 m da p.c.) **COSTA3** 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.	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0

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

$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.1	1.0	1.0

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

$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.5	2.3	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.2	1.0

**Figura 2-28**– Tabelle Costa3 per la stima dei fattori di amplificazione in funzione della  $V_{s30}$ .

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 2.29**) 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 -  $0.1s < T_o < 0.5s$

$V_{s30}$	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 -  $0.5s < T_o < 1.0s$

$V_{s30}$	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 2-29**– Tabelle Pianura2 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 2.30** 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 Comacchio.

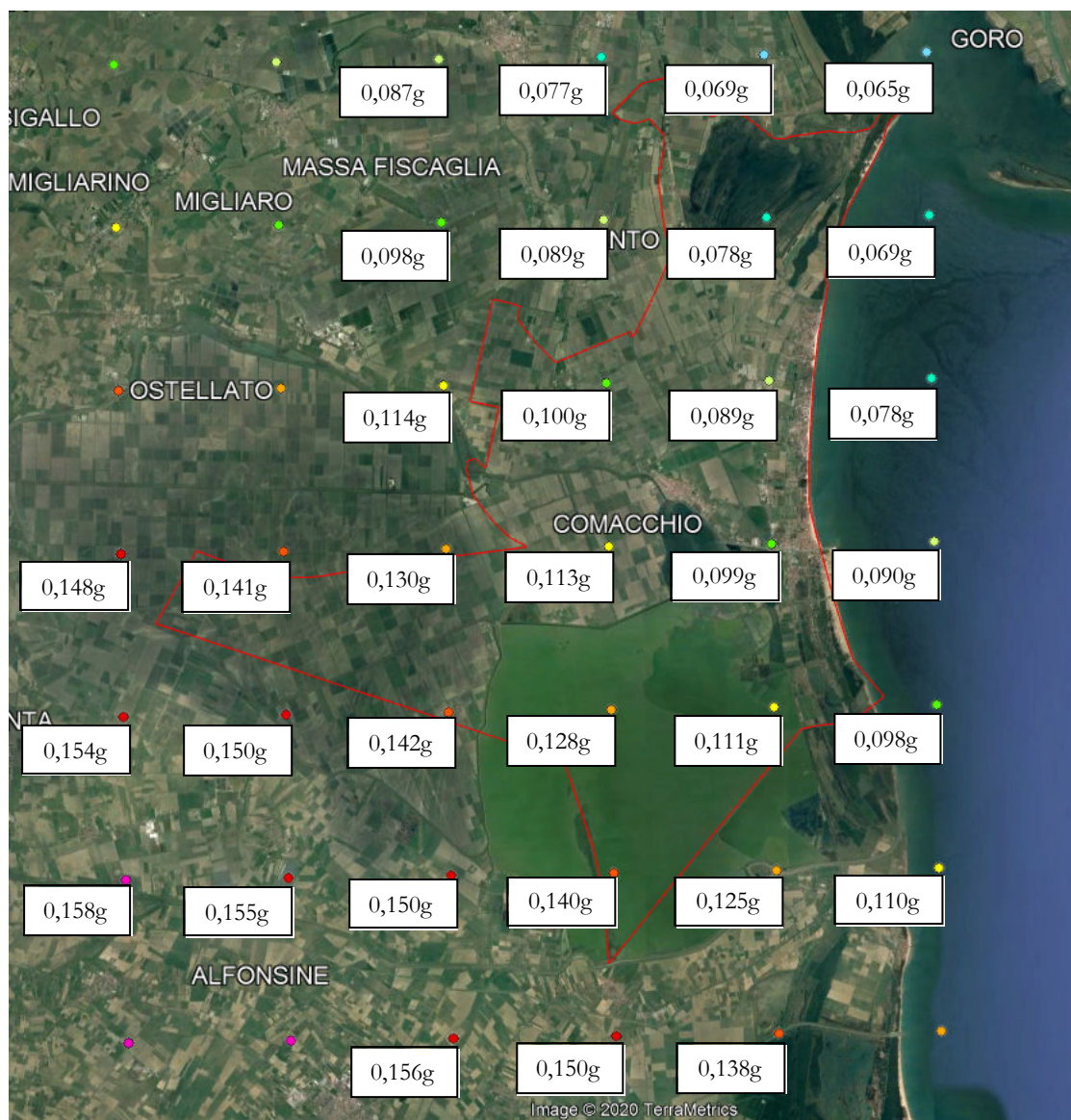


Figura 2-30 – Territorio comunale di Comacchio con griglia dei punti e rispettivi valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido

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 Comacchio è caratterizzato da un unico ambito, PIANURA 3, secondo quanto recepito dal D.G.R. 2193 del 2015.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nel territorio di Comacchio generalmente i valori attesi di  $V_{s30}$  dovrebbero appartenere a queste due categorie di suolo sismico, principalmente la prima poiché la  $V_{s30}$  è quasi sempre inferiore a 175m/sec.

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

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

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

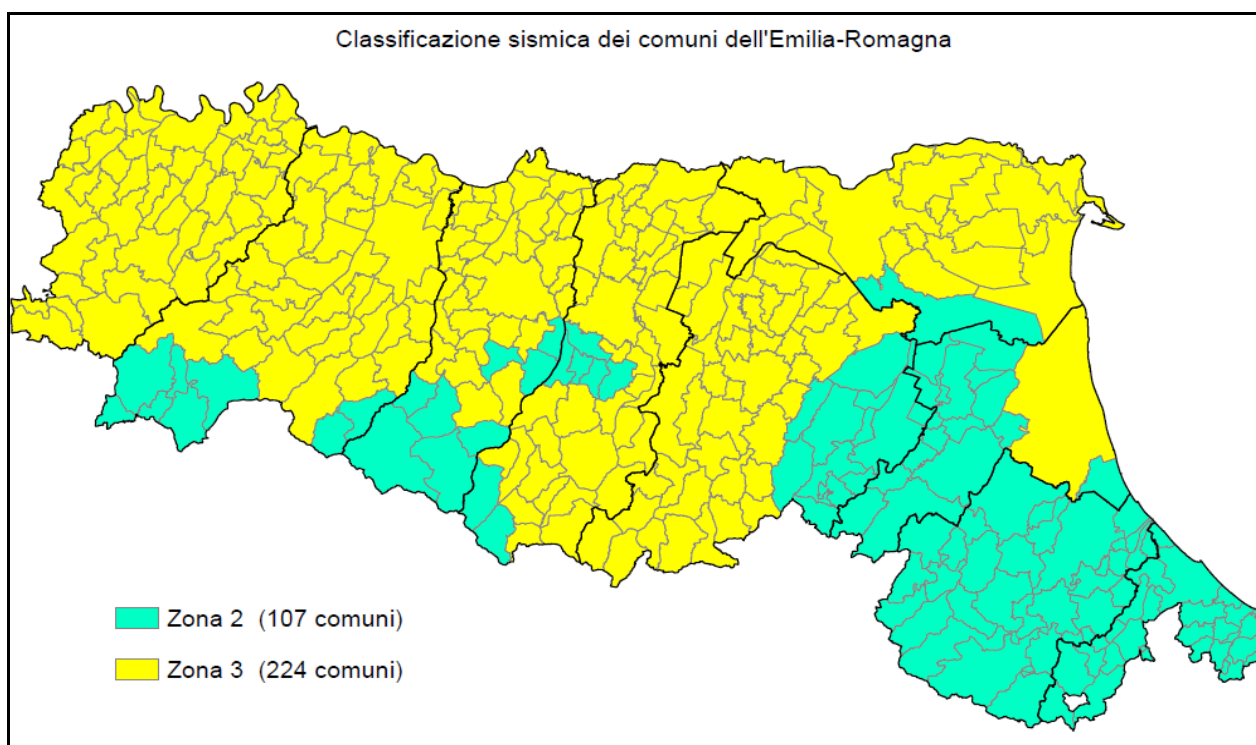


Figura 2-31 - Mappa regionale di nuova classificazione sismica dei comuni DGR 1164, del 23/07/2018

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

In data 29 aprile 2019 è stato approvato, ai sensi degli artt. 22 e 49 della L.R. 24/2017, la DGR 630 *Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica*.

Si è valutato che nel comachiese tutte le indagini per la misura della Vs30 hanno sempre dato valori compresi tra 150m/sec e 225 m/sec.

Si propongono anche 8 profili di Vs profondi bibliografici (ubicazione in **FIGURA 2.32**), di cui 4 reperite da uno studio eseguito lungo la costa adriatica dalla Regione e 4 reperite dagli studi del piano strutturale comunale di Comacchio, dove si evidenzia che il valore della velocità di propagazione delle onde S fino a 300m di profondità è di molto inferiore agli 800 m/sec (**FIGURA 2.33**).

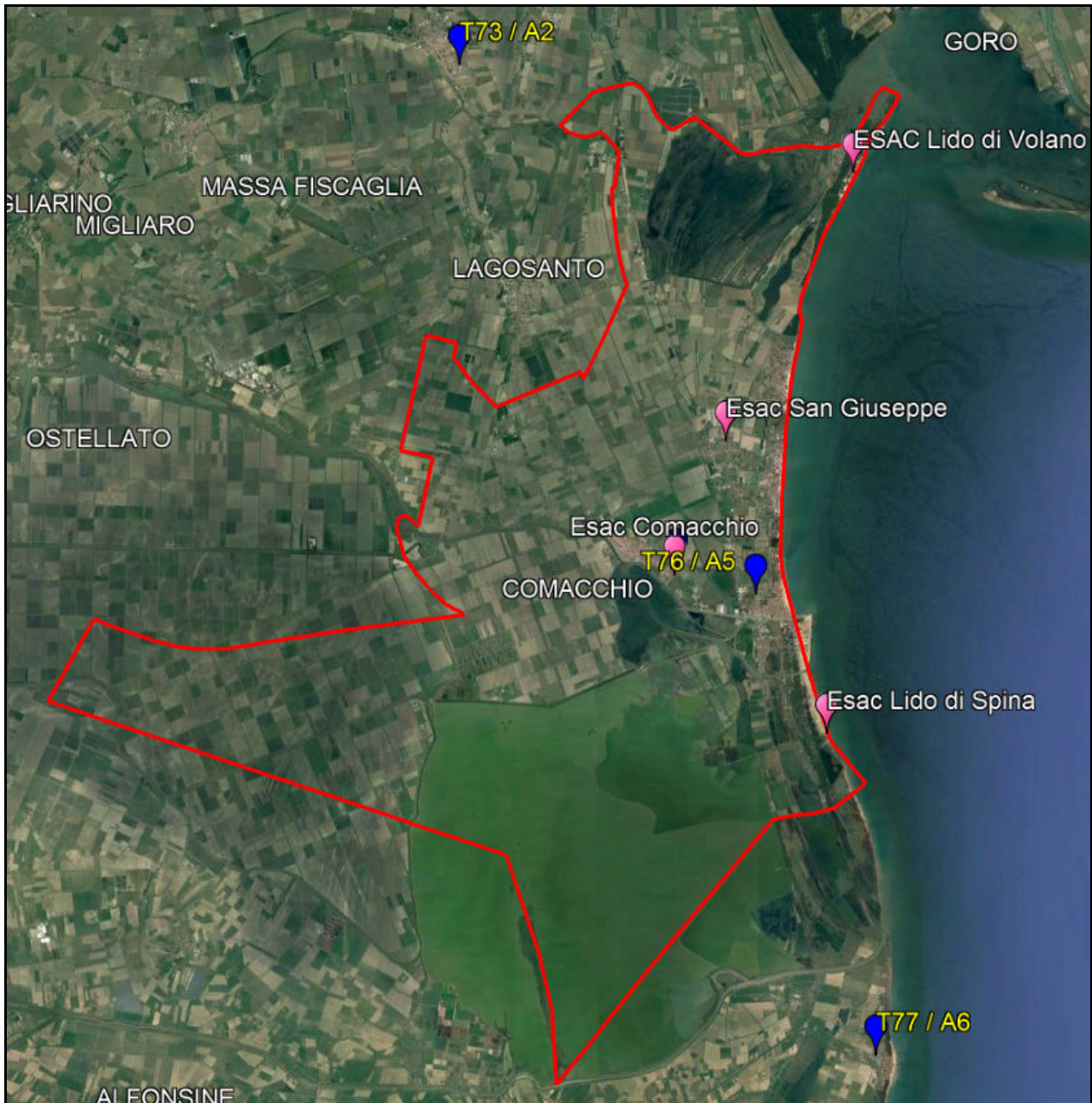
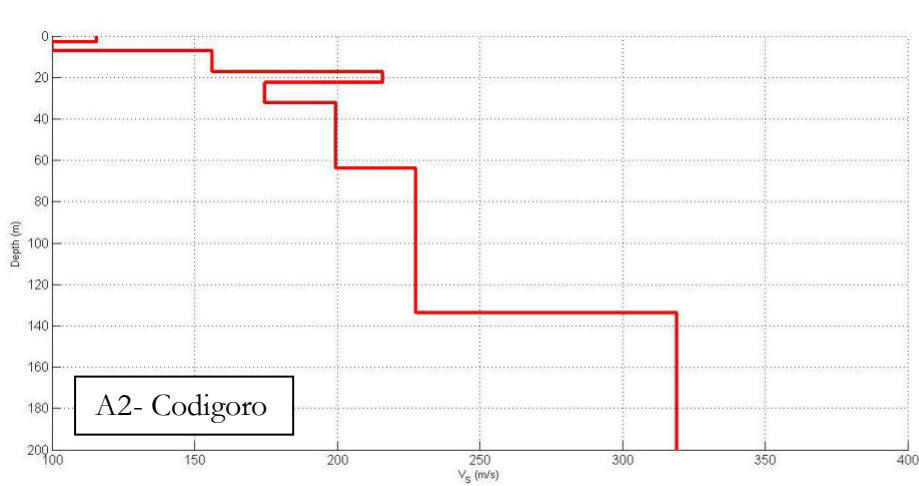


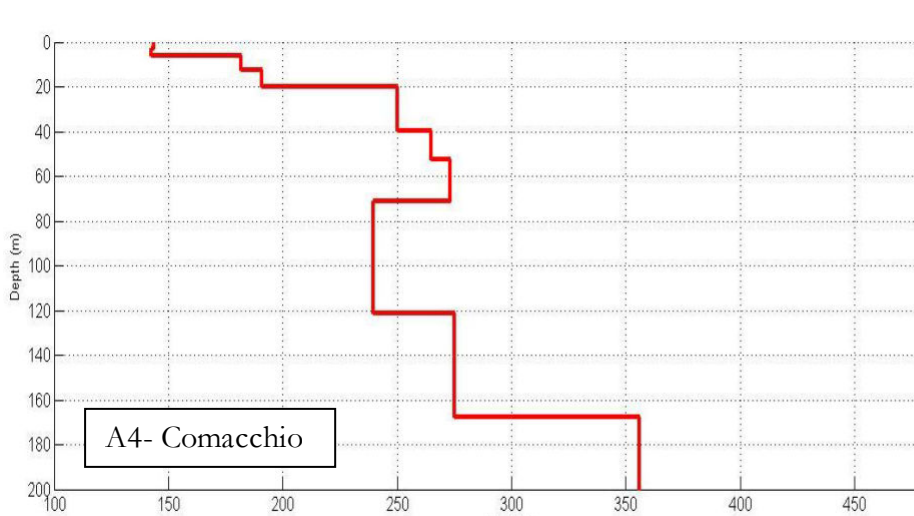
Figura 2-32 - Ubicazione dei quattro profili di Vs profondi.





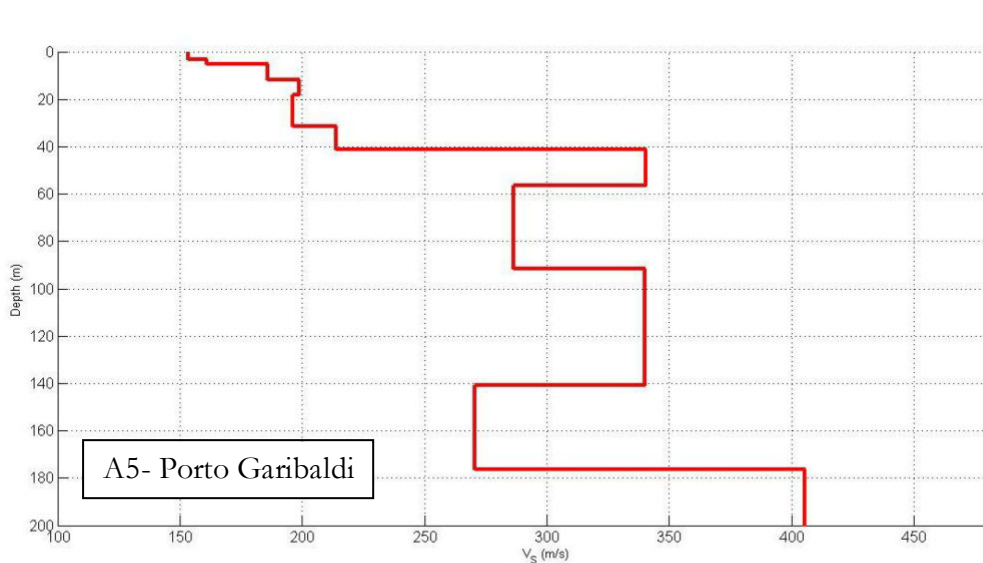
H(m)	Vs m/s)
3	116
4	100
10	156
5	216
10	175
32	200
70	228
66	319

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)
3	144
3	143
6	182
8	191
19	250
13	265
19	273
50	240
46	275
32	356

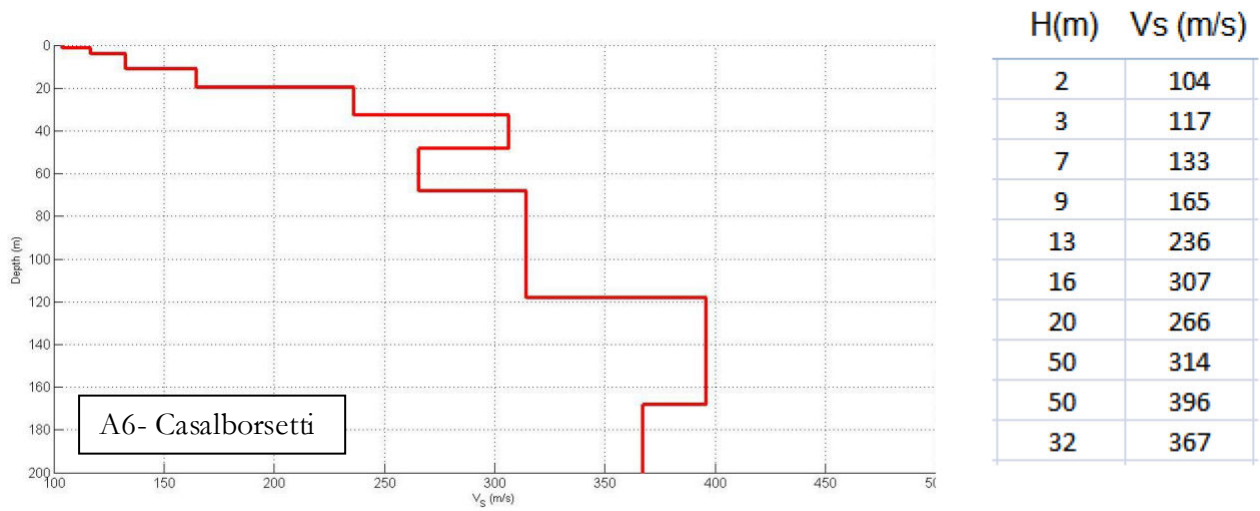
Miglior Profilo Vs in termini di correlazione tra curve sperimentali e teoriche. **Vs30 = 190 m/s; Classe di suolo NTC08 tipo C**



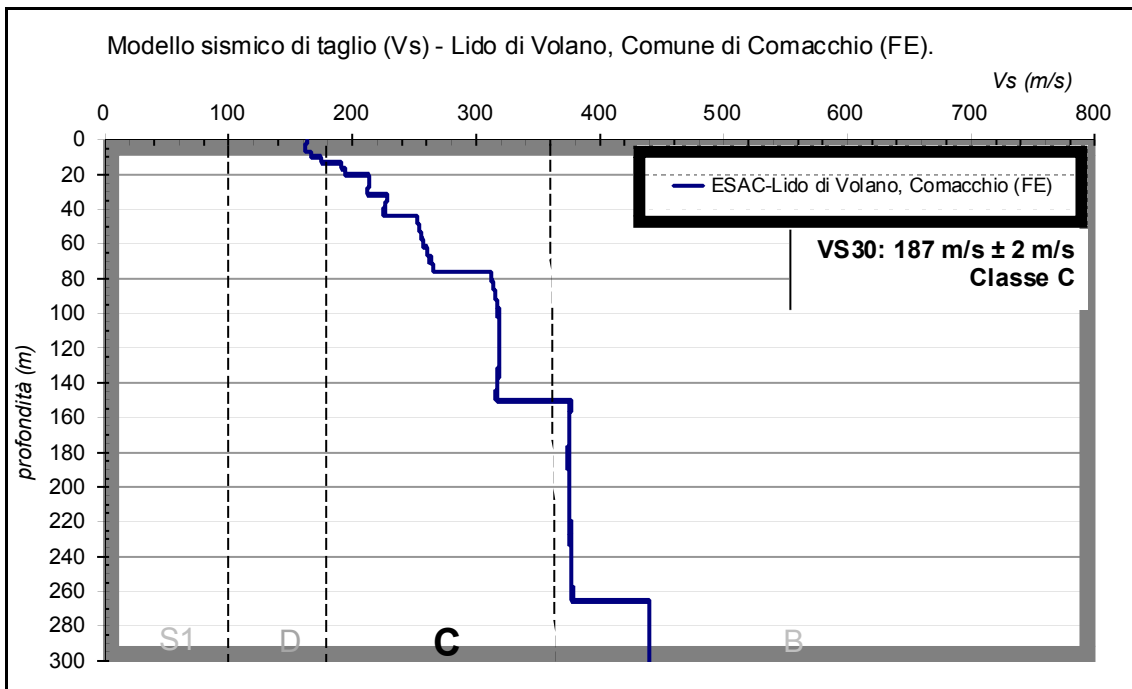
H(m)	Vs (m/s)
3	154
2	161
7	186
6	199
13	196
10	214
15	340
35	286
49	340
36	271
24	405

Miglior Profilo Vs in termini di correlazione tra curve sperimentali e teoriche. **Vs30 = 185 m/s; Classe di suolo NTC08 tipo C**

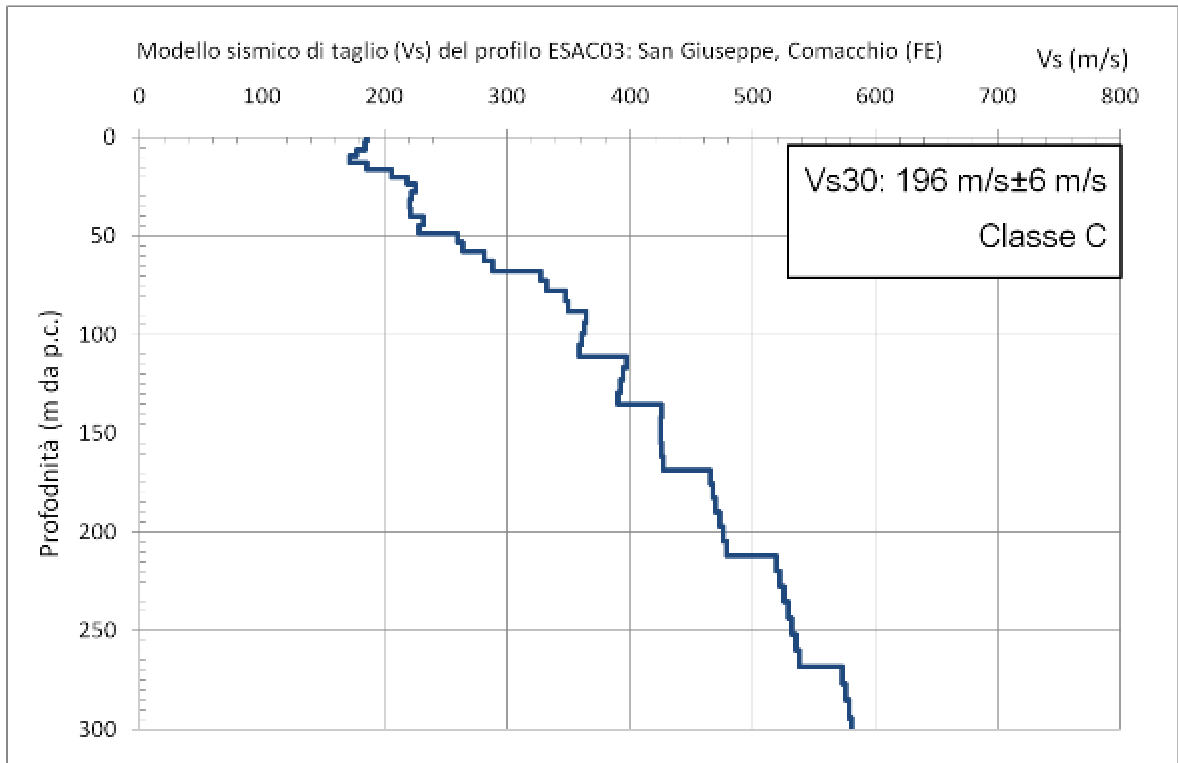




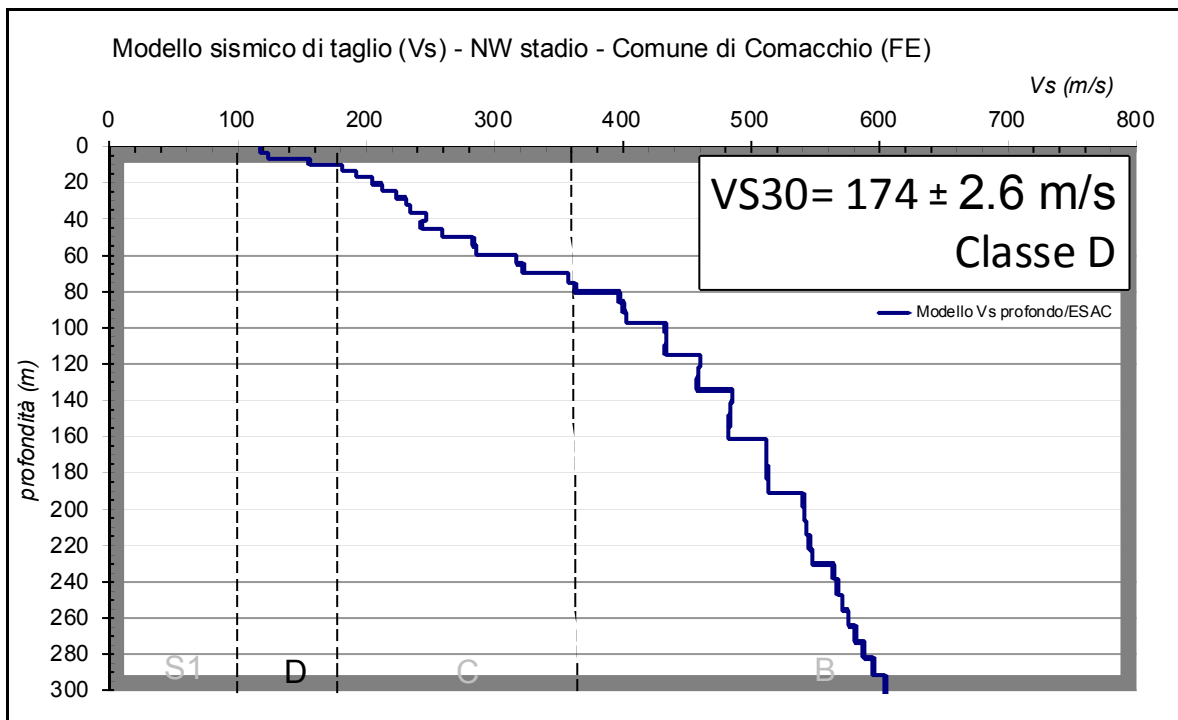
Miglior Profilo Vs in termini di correlazione tra curve sperimentali e teoriche. **Vs30 = 158 m/s; Classe di suolo NTC08 tipo D**



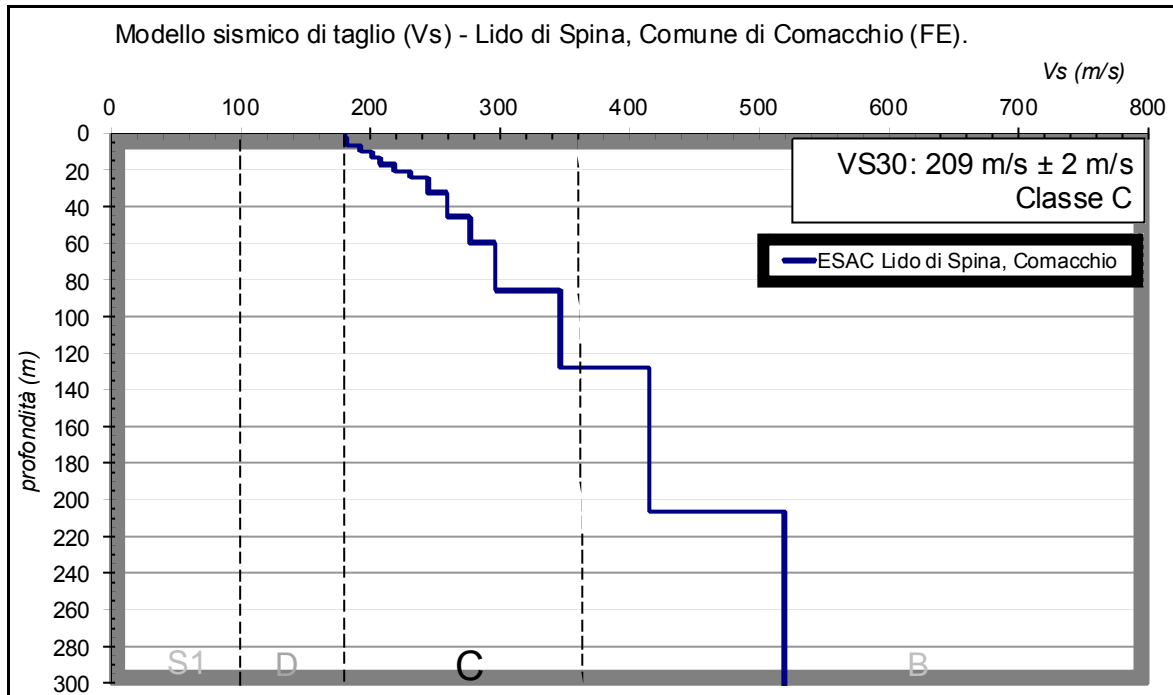
Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico. In base al modello sismico è stata determinata la VS30 che risulta pari a 187 m/s ± 5 m/s.



Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico. In base al modello sismico è stata determinata la VS30 che risulta pari a 196 m/s ± 6.0 m/s.



Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico. In base al modello sismico è stata determinata la VS30 che risulta pari a 174 m/s ± 2.6 m/s.



Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico. In base al modello sismico è stata determinata la VS30 che risulta pari a 209 m/s ± 2.0 m/s.

Figura 2-33 - Profili di Vs profondi.

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

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

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

Fattore di Amplificazione **PGA**

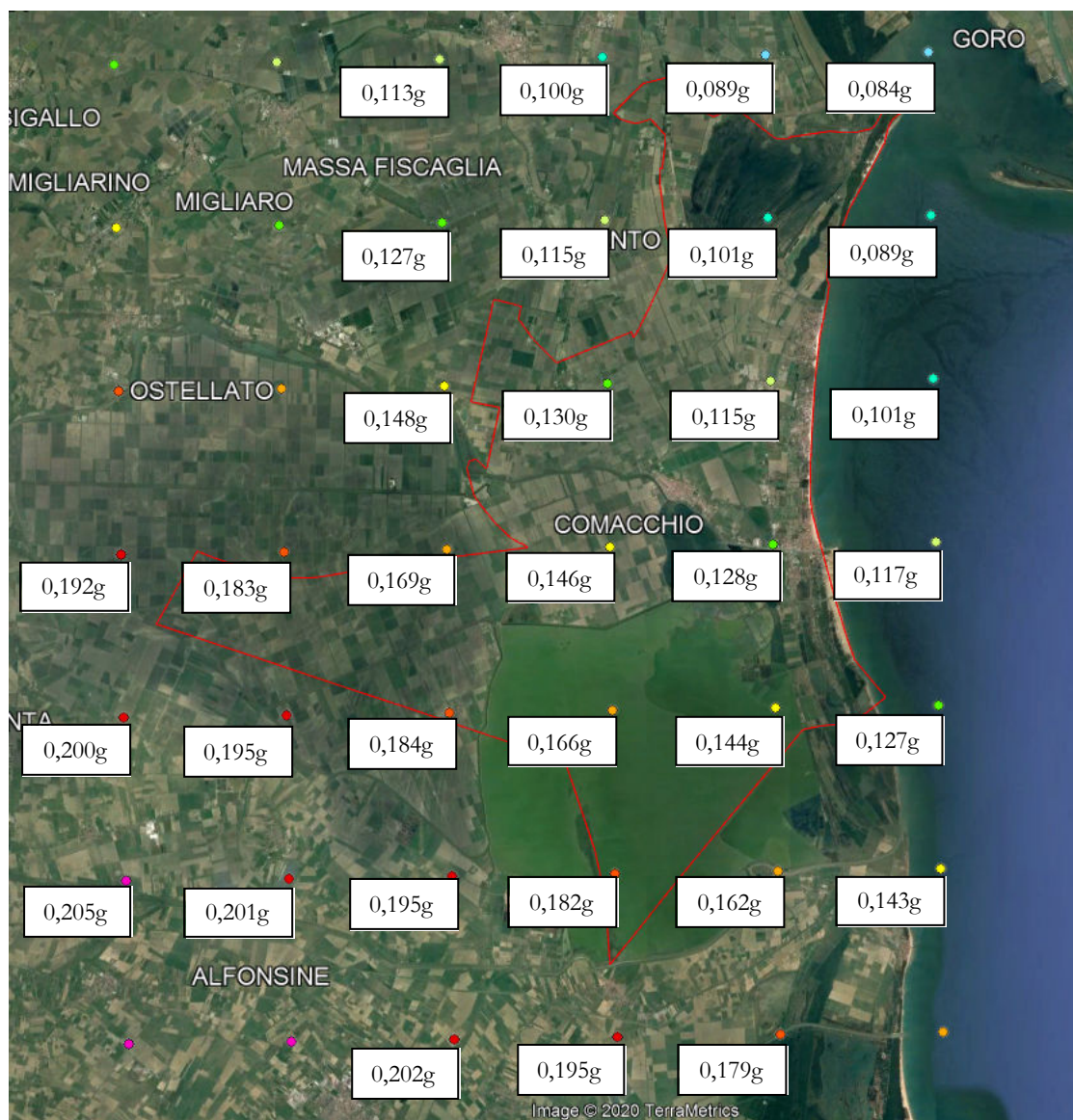
$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

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

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

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

Questo implica che si possono calcolare i valori di PGA in superficie (comprensivi dunque del fattore di amplificazione stratigrafica). I risultati del calcolo sono riassunti nella **FIGURA 2.34**.



**Figura 2-34** - Accelerazioni PGA in superficie

Come si può notare nel territorio comunale di Comacchio sono attese accelerazioni sismiche che decrescono da nord a sud, con valori prossimi a 0,100g nella porzione nord est e con valori prossimi a 0,200g nella parte meridionale e occidentale del comune.

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

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

A cura del gruppo di lavoro ZS-PS RER: L. Martelli, G. 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 Comacchio, è connessa con la dinamica degli eventi che, in sequenze spazio-temporali diverse, hanno interessato sia il Sudalpino che l'Appennino, ed hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione. Si è avuta così la formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE; WNW-ESE e N-S, e la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione.

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

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

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

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

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

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

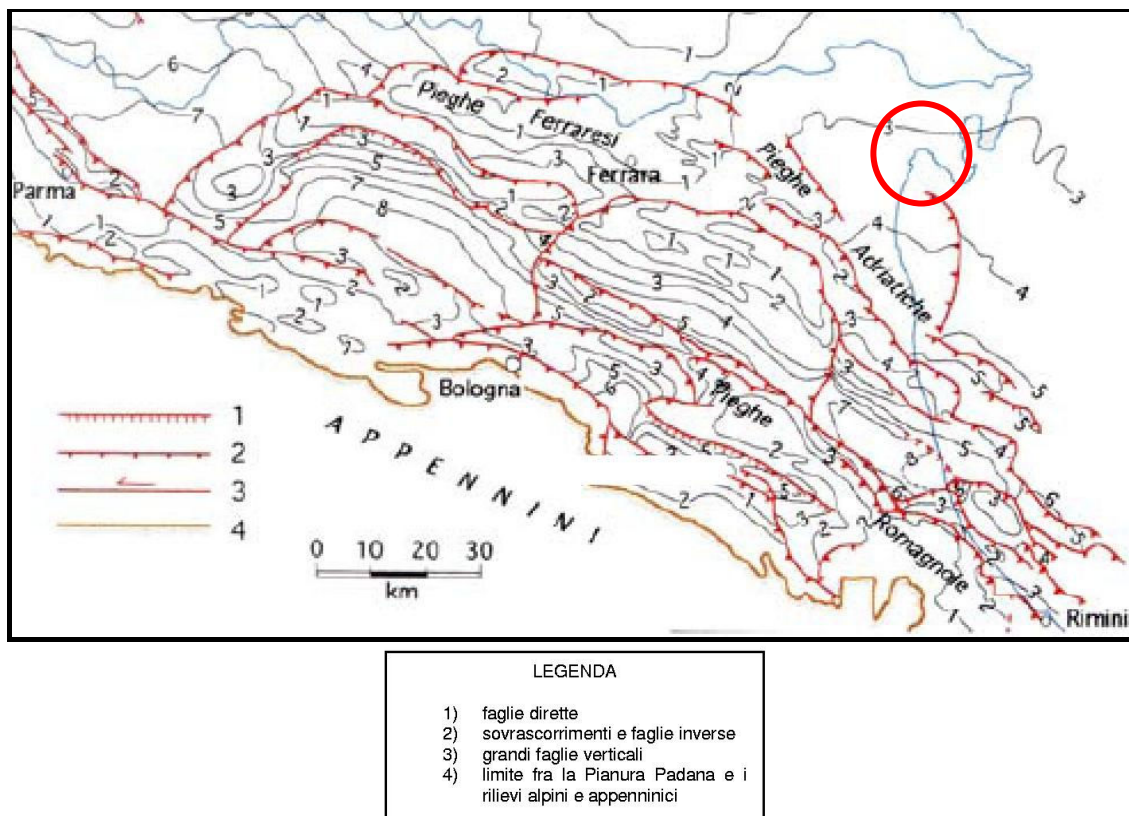
A causa della pluralità degli ambienti deposizionali in successione spazio-temporale, il complesso plioquaternario nel territorio del Basso Ferrarese è costituito da una alternanza di livelli sabbiosi, limosi ed argillosi o da miscele binarie o ternarie di tali litotipi.

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

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

Sotto il comune di Comacchio la base dei sedimenti del Pliocene è mediamente maggiore di 3000/3500m di profondità.

In **FIGURA 2.35** è visibile la diversa profondità della base dei sedimenti del Pliocene medio superiore, e i diversi tipi di glaciazioni presenti nel substrato padano.



**Figura 2-35** – *Mapa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di faturazioni presenti nel substrato roccioso profondo. Le isobate indicano la base dei depositi del Pliocene Superiore*

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

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

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

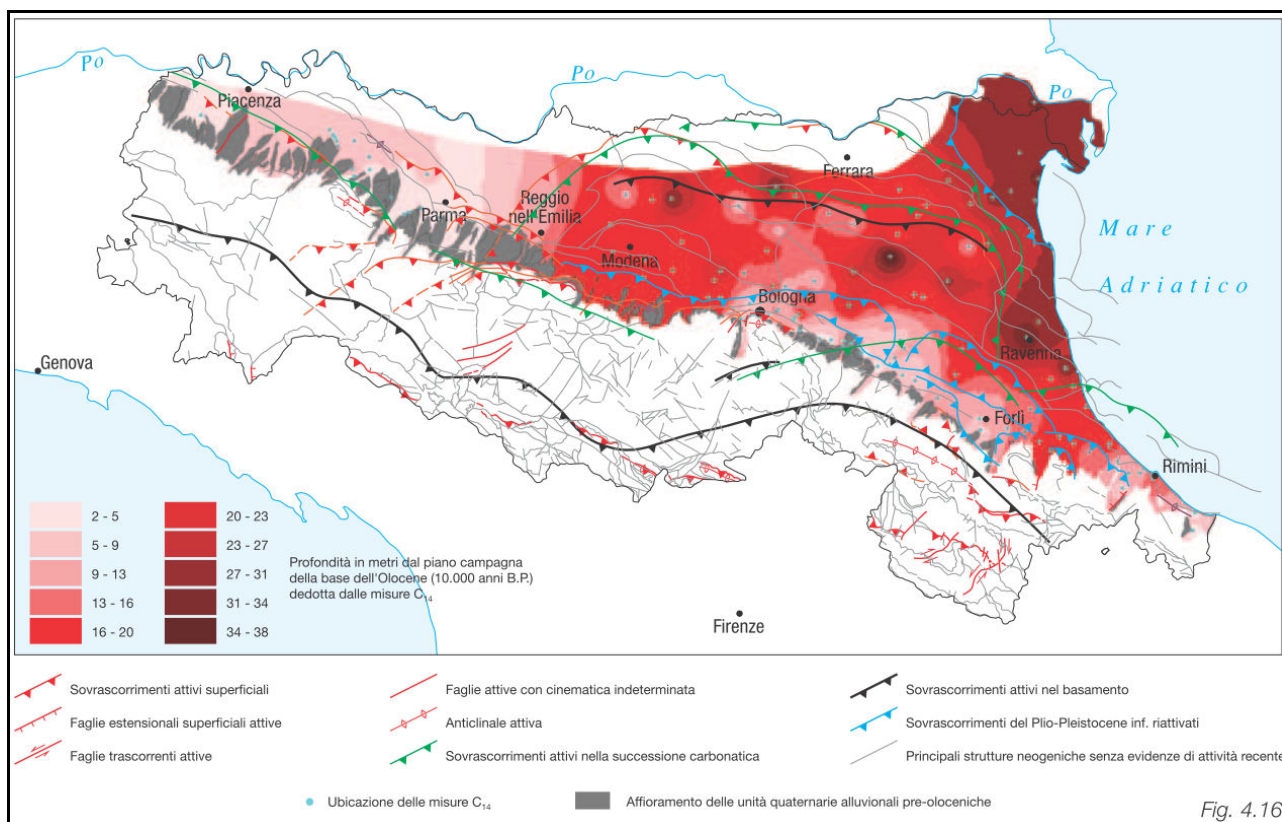
Stesso trend ha avuto il fenomeno a Ravenna: fino al 1945 la velocità di subsidenza era di 0,3 cm/anno; successivamente tra il 1945-'85 si evidenzia una più elevata velocità di abbassamento con 1,5 cm/anno e punte di 2,0 cm/anno nel periodo 1960-'80, mentre si registrano rallentamenti negli ultimi anni.

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 2.36** 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 2-36-** Mappa della profondità della base dell'Olocene.

Come si può osservare nella **FIGURA 2.36** la profondità a cui cominciano i sedimenti olocenici (ovvero quelli depositatisi negli ultimi 10.000 anni dal presente), varia da 31m a 34m. La subsidenza, la trasgressione marina flandriana e la successiva fase regressiva, gli apporti alluvionali dei fiumi olocenici legati all'antico corso del fiume Po e dei suoi mutevoli rami di foce, hanno di fatto costruito il territorio del comune di Comacchio, condizionando fortemente gli effetti di sito cosismici attesi.

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.

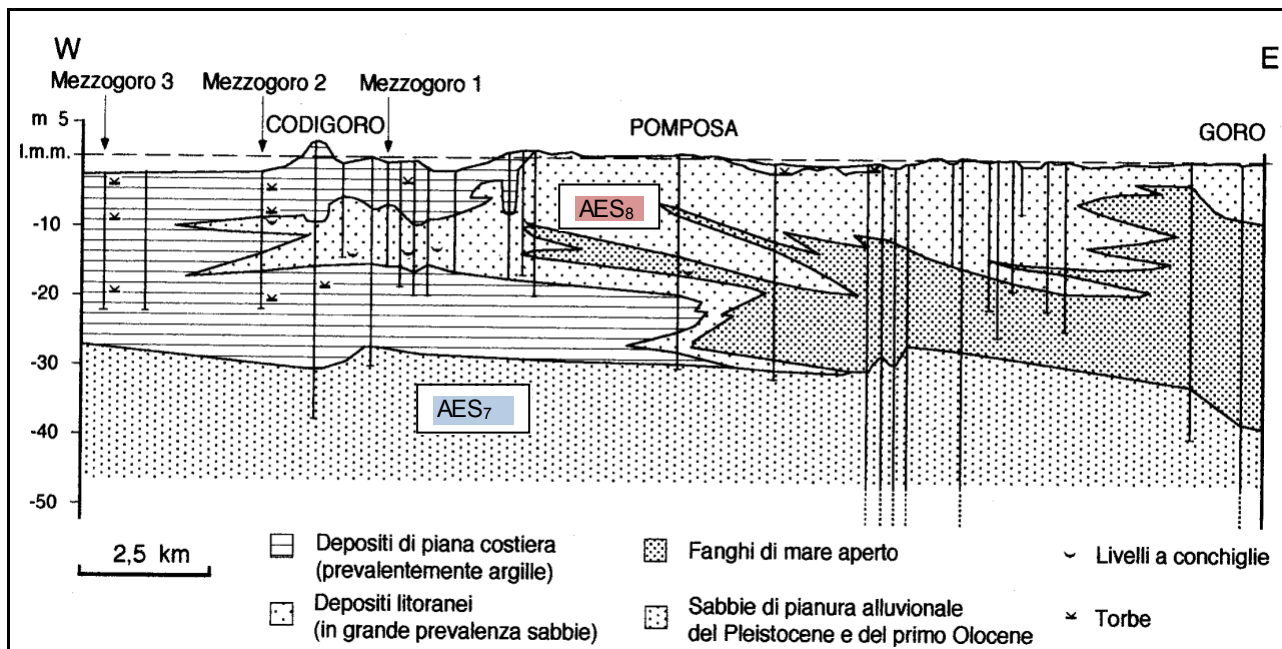
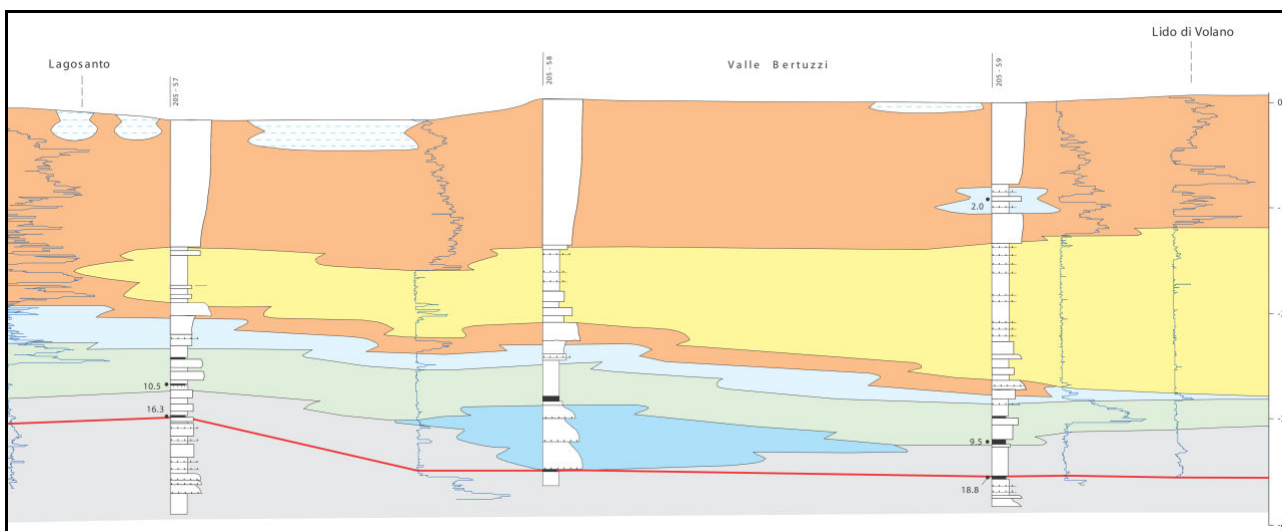


Figura 2-37 – profilo o sezione geologica del tratto compreso a est da Comacchio e a ovest dal bacino di Bonifica compreso tra MezzoComacchio e Italba (Tratto da “Nuovi dati stratigrafici paleoambientali e di cronologia radiometrica sul ciclo trasgressivo-regressivo olocenico nell’area deltizia padana”, *Annali dell’Università di Ferrara, Bondesan et alii*, 1999).

Di seguito invece una sezione passante per Lido di Volano Valle Bertuzzi e Lagosanto, ove sono rappresentati gli stessi depositi deltizi e litorali recenti AES8 sui depositi alluvionali continentali AES7.



DEPOSITI PIANA DELTIZIA E LITORALI

- argille e limi ricchi in sostanza organica di laguna e baia interdistributrice
- argille, limi e sabbie di piana costiera
- argille e limi di prodelta e transizione alla piattaforma
- sabbie di cordone litorale (fronte deltizia e piana di sabbia)
- argille e limi ricchi in sostanza organica intercalati a torbe di palude e area interdistributrice

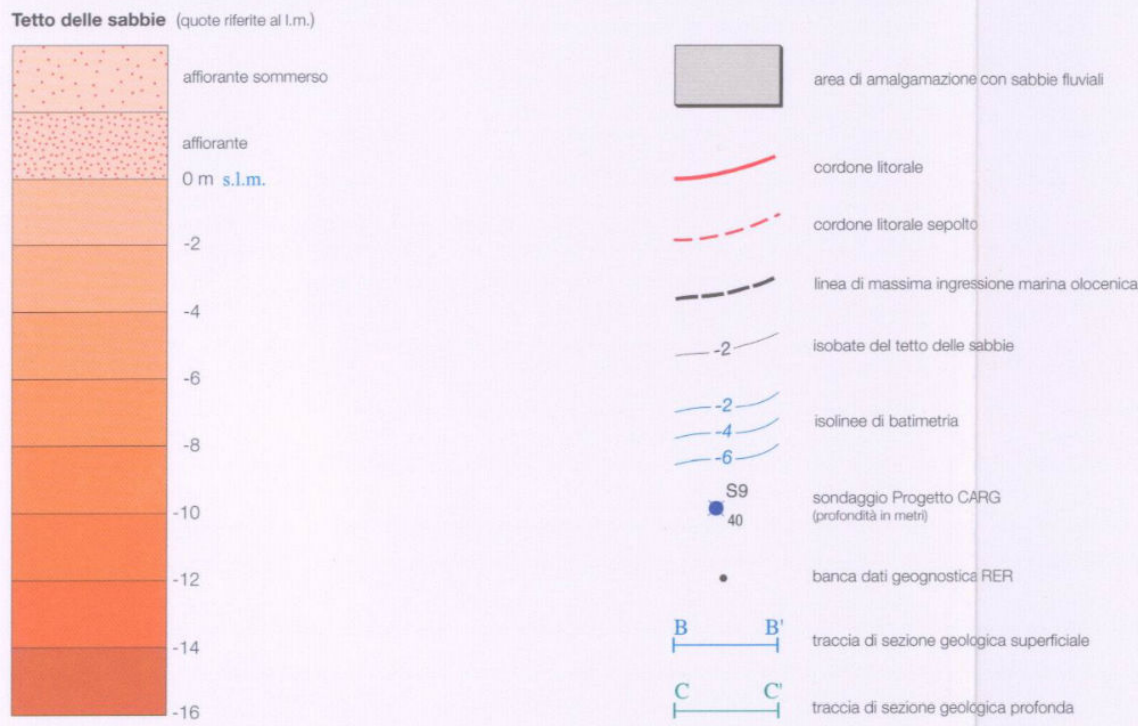
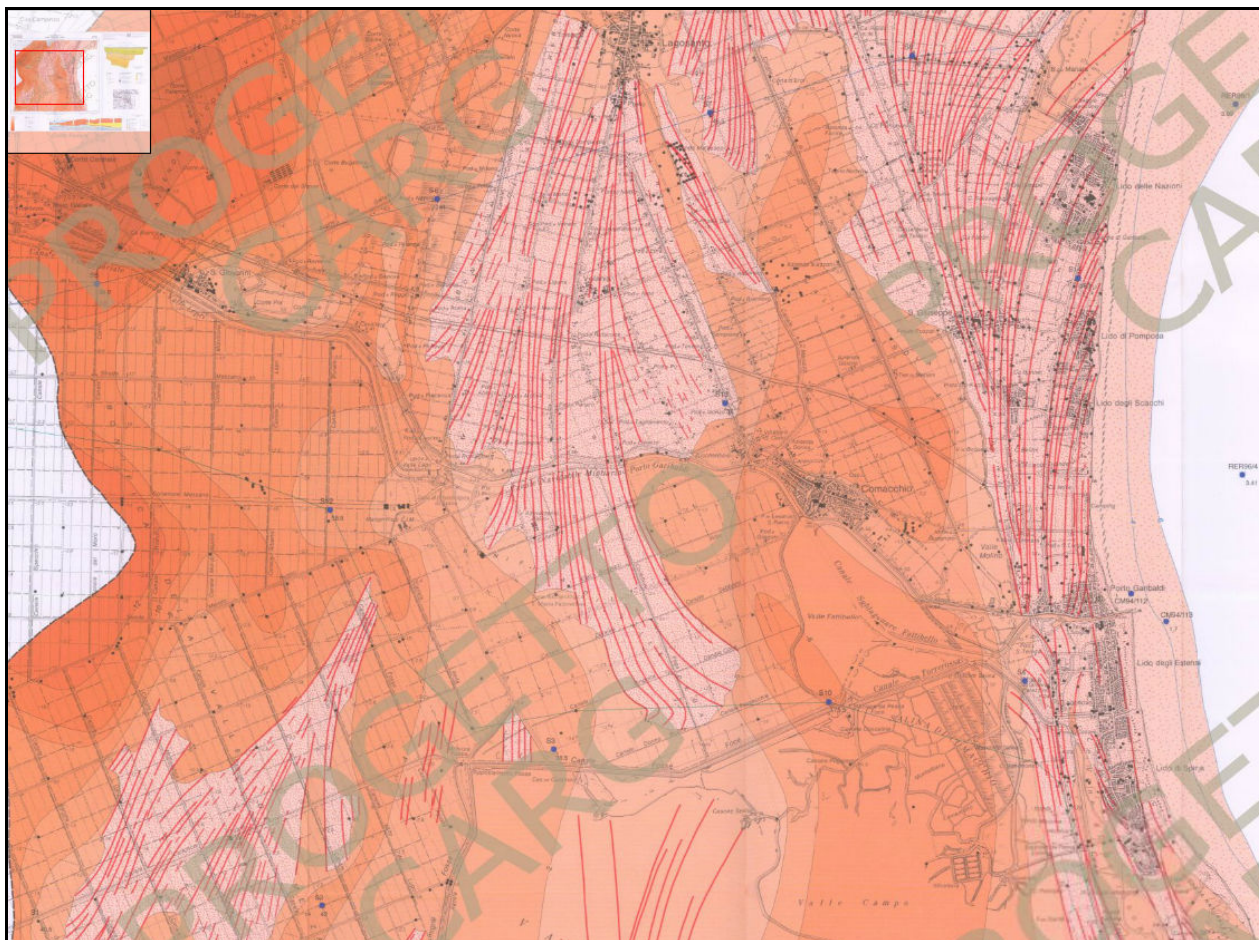
DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE

- sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale
- argille e limi di piana inondabile

Figura 2-38 - profilo o sezione geologica del progetto CARG passante per il territorio comunale di Comacchio



Di seguito si riportano due dettagliate cartografie associate al Foglio Geologico 1:50.000 n.205 Comacchio - Progetto CARG, in cui sono ben evidenziati (**FIGURA 2.39**) le isobate del tetto delle sabbie litorali, denominate Subsistema di Ravenna (AES<sub>8</sub>).



**Figura 2-39** - *tetto delle sabbie litorali - Subsistema di Ravenna (AES<sub>8</sub>)*  
[http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/205\\_COMACCHIO\\_SOTTO/Foglio.html](http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/205_COMACCHIO_SOTTO/Foglio.html)

La successione stratigrafica fino al Pliocene e Pleistocene inferiore è intensamente piegata e tettonizzata, i sedimenti Pleistocenici e Olocenici ricoprono abbastanza velocemente queste strutture attenuandone, salendo, i dislivelli topografici, fino ad arrivare alla morfologia attuale sostanzialmente piana.

La formazione dell'ambiente, nella sua configurazione attuale, è relativamente recente e consegue a ripetute variazioni dei rapporti di equilibrio tra livello del mare, apporti solidi dei corsi d'acqua, entità di subsidenza e non ultimo, l'intervento umano.

Anche le condizioni climatiche condizionano questi equilibri; infatti le situazioni di relativa stabilità climatica, ed in particolare i cicli caldi e secchi comportano una diminuzione degli apporti solidi da parte dei fiumi, le linee di costa sono assestate su una posizione pressoché fissa e le dune eoliche di retrospiaggia vengono alimentate per più tempo e si elevano maggiormente. Nei periodi di rottura degli equilibri morfoclimatici in direzione di una maggior piovosità o minor temperatura aumenta l'apporto solido dei fiumi e le coste cambiano velocemente posizione, lasciandosi alle spalle dune poco rilevate.

Durante la regressione marina connessa alla glaciazione Wurmiana (Pleistocene superiore) l'alto Adriatico è tutto emerso fino ad Ancona, e sulla estesa piana alluvionale divagano il Po, i fiumi veneti e i nord appenninici; questa superficie è stata riconosciuta a 20-30 metri di profondità nell'entroterra ravennate. Con lo scioglimento dei ghiacciai, 15.000 anni B.P. (by present), comincia l'ingressione marina, che culmina con la trasgressione flandriana, quando 4000-5000 anni B.P. il mare penetra per oltre 20 km all'interno della linea di costa attuale, e dunque si depositano sedimenti prevalentemente impregnati di acque salate. L'ambiente continentale si estende verso est conseguentemente ad una generale regressione, dovuta sia a motivi eustatici che al sostanzioso accrescimento dell'apparato deltizio di un ramo del paleo Po (Padoa, Eridano, Po spinetico) e le acque di strato salate vengono gradualmente rimpiazzate da acque dolci vadose. La linea di costa fu riportata gradualmente dal 1000 a.C. al 1000 d.C. sino all'attuale posizione, costituendo successivi cordoni dunari, che rappresentano le posizioni assunte dalla costa nel corso della regressione olocenica.

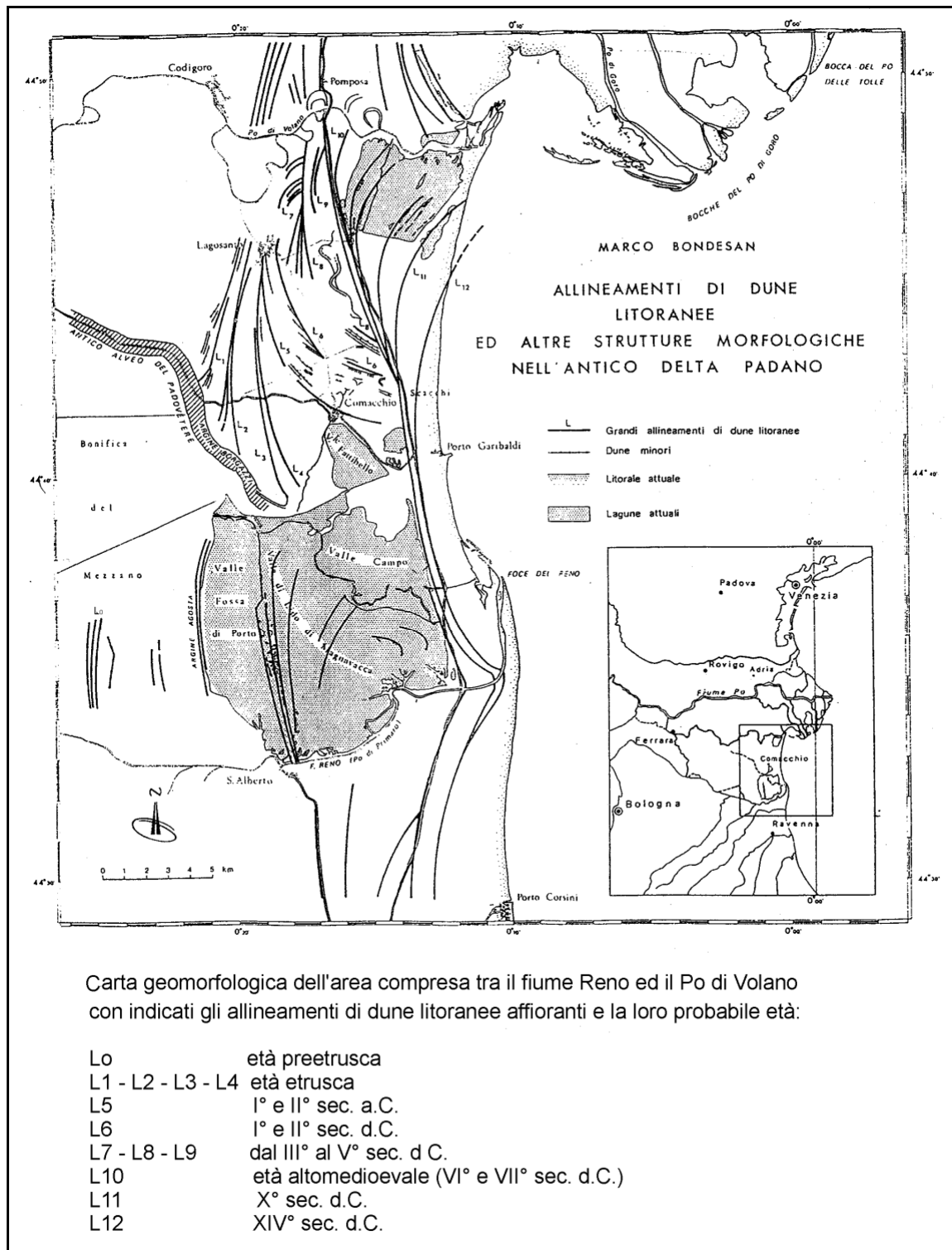
Questa regione della pianura padana è definita come "antico delta padano", per aver costituito fino al XII secolo d.C., il dominio idrografico del corso inferiore del Po.

I più antichi cordoni di dune emersi corrispondono a quelli più occidentali ed indicano la posizione della linea di riva di epoca pre-etrusca; man mano che ci si sposta verso ovest i cordoni di dune si trovano sempre più in profondità per effetto della subsidenza generale che ha avuto più tempo per agire su quelli più antichi che non su quelli più recenti.

La linea di riva etrusca trova corrispondenza nei cordoni sull'allineamento Ravenna, Sant'Alberto, Lagosanto.

Dall'epoca romana al VI secolo d.C. le alterne fasi di stasi ed avanzamento del delta spinetico, legate alle variazioni climatiche, hanno prodotto l'avanzamento della costa sino a posizioni prossime e talora più avanzate dalla linea attuale.

Vediamo più nel dettaglio l'insieme di tutti gli allineamenti, anche quelli minori, inseriti nel contesto dell'evoluzione paleogeografica (**FIGURA 2.40**).



**Figura 2-40** - Carta geomorfologica del territorio comacchiese e datazione delle linee di costa

Le linee di costa spinetiche da S.Alberto a Lagosanto sono testimoniate dalle dune di retrospiaggia che seguono parallelamente l'andamento delle precedenti dune preetrusche: si riesce così ad inserire nel contesto di un delta bialare cuspidato le particolari curvature di quelle che erano l'ala settentrionale e meridionale del grande delta del vecchio Eridano-Padovetere. Tali ali le riconosciamo nei cordoni di Valli Trebba, Ponti e Pega, che piegano verso SSE-NNW e retroflessi nel loro tratto meridionale, il che può testimoniare la presenza di una antica larga foce fluviale; riconosciamo l'ala meridionale nelle dune che separano Valle Fossa di Porto da Valle di Lido di Magnavacca; si nota che, più ci si sposta ad est, e più i cordoni di dune si inarcano in direzione NNE-SSW.

Circa intorno al I-II secolo a.C. la linea di costa assume come posizione quella testimoniata dall'allineamento di dune L5, che si stacca dalle coste spinetiche a Lagosanto e, attraversando Valle Ponti, forma

un'ampia curvatura con la concavità rivolta verso N-E, essa comprende i dossi più rilevati colonizzati dagli abitanti di Comacchio, e arriva fino a Portogaribaldi.

Ancora a N-E, entro questo golfo, si notano allineamenti successivi di piccole dune, discontinui, con distribuzione parallela all'allineamento principale e testimoniano l'allargamento e l'avanzamento della foce del fiume Eridano o Spineticò, che fu molto attivo in questo periodo; l'allineamento L6, che parte da Lagosanto, attraversa Valle Ponti, è tagliato dal canale Marozzo e continua nella valle Isola; ha anch'esso concavità rivolta a N-E.

Nel I-II secolo d.C. la zona di Valle Isola è probabilmente emersa.

La particolare orientazione degli allineamenti dunali nelle porzioni più orientali fanno supporre un apparato deltizio di notevole entità e complessità nella zona a sud di Comacchio, il quale doveva protendersi in mare per varie centinaia di metri oltre l'attuale linea di riva (M. Bondesan, 1968).

Fino al VI secolo d.C. si ha un certo assestamento della linea di costa con la formazione del già citato allineamento Pomposa-Portogaribaldi, vasto e particolarmente rilevato, perché alimentato per lungo tempo.

Intorno al VI-VIII secolo d.C., a causa di cambiamenti climatici in senso fresco ed umido, il Padoa muta percorso spostandosi a SW e si incanala in un paleoalveo, dando origine ad un nuovo ramo fluviale, il Po di Primaro, attivo fino alla rotta di Ficarolo (XII secolo d.C.).

Ad una successiva generale erosione degli apparati deltizi a nord del Volano e a sud del Padoa-Eridano (poi Padovetere) corrisponde un rimaneggiamento della linea di costa, con la redistribuzione degli apporti fluviali. La linea di costa ruota così con perno nella località Scacchi, in senso orario e con maggior velocità man mano che ci si avvicina alla foce del Volano.

Testimoni di questa migrazione sono gli allineamenti di Valli Basse e Bertuzzi.

Con la rotta di Ficarolo, il fiume Po cambia corso spostandosi a nord, e abbandonando il corso del Padovetere; il corso di quest'ultimo rimane ben visibile dalle foto aeree nel suo tracciato attraverso Ostellato, San Giovanni, passando poi ad ovest di Comacchio per Valle Pega e poi a sud per Valle Campo, dove si divide nei suoi rami deltizi.

Il Po di Primaro perde ogni rapporto con l'idrografia del Po, ed in esso, verso la fine del XVI secolo, viene convogliato il corso del fiume Reno, fino ad allora tributario del Po.

A seguito di tale operazione, per le mutate condizioni del profilo del fiume, si registra una notevole crescita del territorio della foce. La bocca era orientata verso est, ma già alla fine dell'800 comincia ad orientarsi verso nord, tanto che a Lido degli Estensi si verifica un costante accrescimento da porsi in relazione allo sbarramento esercitato dai moli di Porto Canale a Portogaribaldi, i quali ostacolano la corrente (long-shore current) che proviene da S-E e da levante.

Nel tratto di costa compreso tra Portogaribaldi e Lido di Volano, nonostante la vicinanza del Delta del Po, i maggiori apporti sedimentari provengono ancora dalle spiagge a sud di Portogaribaldi e dal fiume Reno.

Il bilancio totale è però negativo, per mancata sedimentazione, cosicché si interviene con la posa in opera a più riprese di manufatti per la difesa della costa dall'erosione.

Tali opere (scogliere foranee, scogliere aderenti e tubi Longard) hanno determinato un'inversione di tendenza innescando il processo di ripascimento di back-shore, accentuando per contro l'azione erosiva laddove le stesse non sono state apprestate.

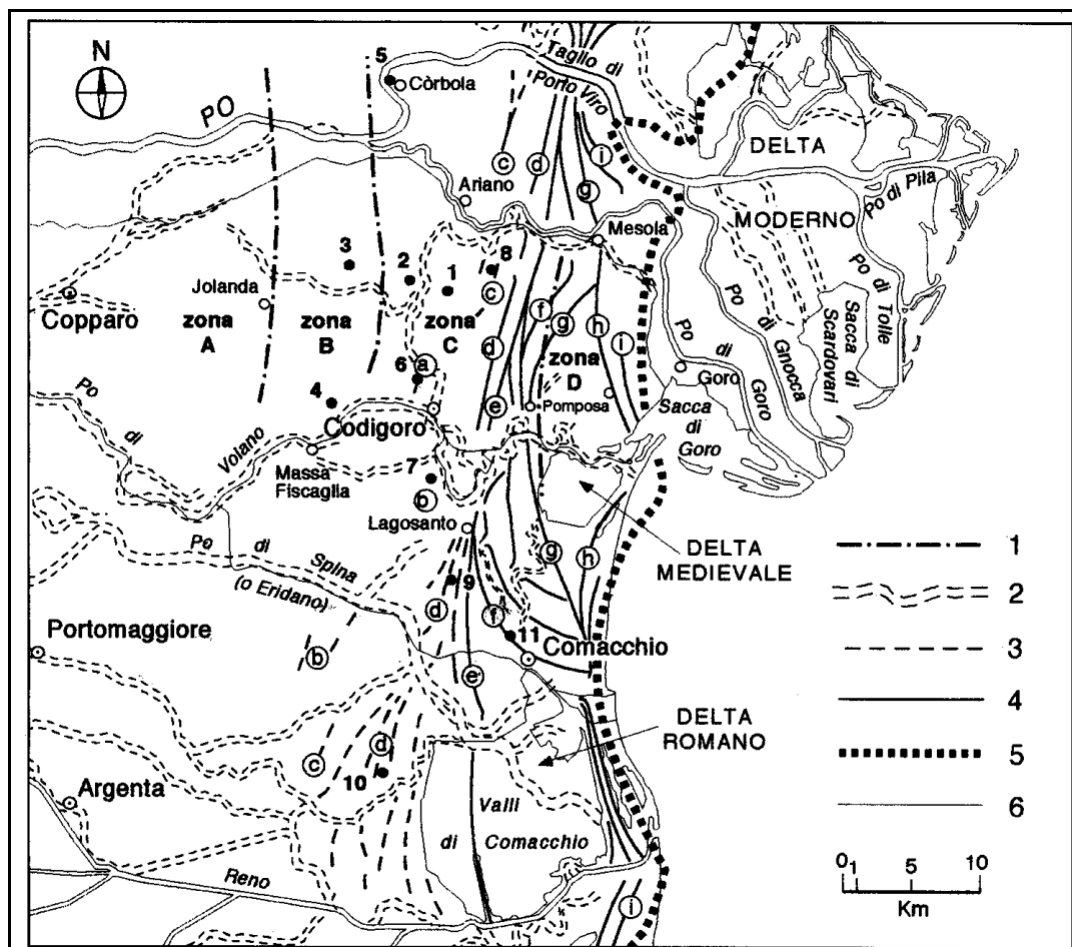
Il modellamento morfologico attualmente in atto nell'area considerata è riconducibile essenzialmente all'azione di sedimentazione ed erosione lungo la costa e a fenomeni di subsidenza naturale ed indotta; non si registrano fenomeni di morfogenesi connessi con erosione fluviale o di altra natura.

Le strutture geomorfologiche affioranti che caratterizzano dunque il territorio comunale di Comacchio 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 (affioranti e sepolti).

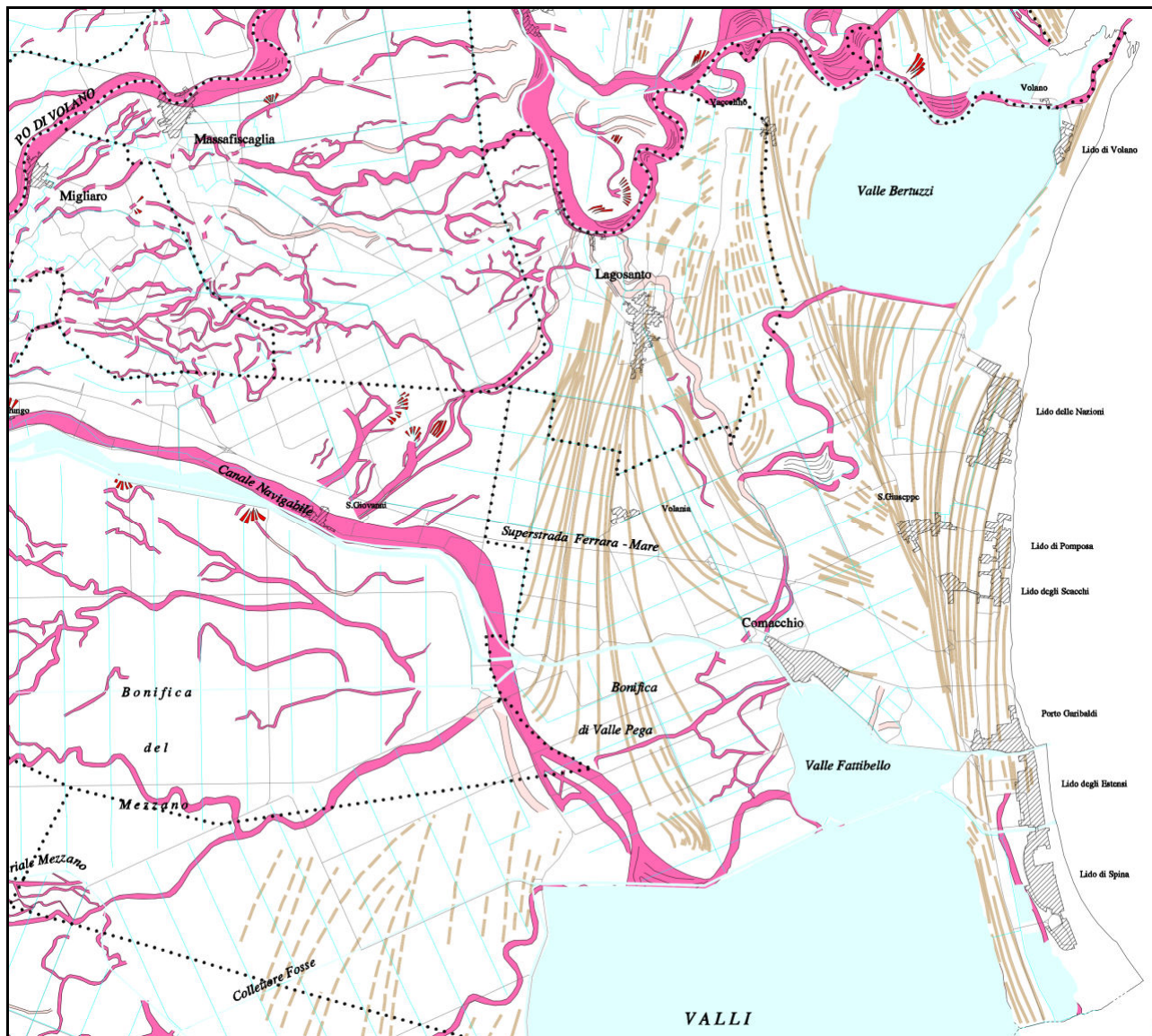


In **FIGURA 2.41** si riporta lo stralcio della carta geomorfologica fra il Po e le valli di Comacchio, in cui si inserisce il comune di Comacchio. In **FIGURA 2.42** si riporta stralcio della carta geomorfologica della provincia di Ferrara.



Carta geomorfologica del territorio compreso fra il Po e le Valli di Comacchio.  
 Legenda: 1) limiti fra le zone di sedimentazione olocenica; 2) principali paleoalvei; 3) strutture litoranee sepolte o semisepolte; 4) strutture litoranee affioranti; 5) posizione della linea di costa alla fine del XVI secolo; 6) linea di costa attuale.  
 Età delle strutture litoranee: a) Atlantico / transizione Atlantico-Subboreale; b) Subboreale; c) Subboreale; d) Subboreale: tarda età del Bronzo; e) Subatlantico: età del Ferro; f) età romana; g) Alto Medioevo; h) X secolo; i) XIV secolo.  
 Siti (come in fig. 1): 1) sondaggio Mezzogoro 1; 2) sondaggio Mezzogoro 2; 3) sondaggio Mezzogoro 3; 4) sondaggio Massa Fiscaglia; 5, 6, 7, 8, 9 ) scavi per scopi tecnici; 10) scavo archeologico: insediamento palafitticolo; 11) scavo archeologico: nave romana di Comacchio.

Figura 2-41 - Stralcio della carta geomorfologica fra il Po e le Valli di Comacchio, in cui si inserisce il comune di Comacchio



**Amministrazione Provinciale di Ferrara**  
Servizio Programmazione - Servizio Informatico  
Repertorio Cartografico

**CARTA GEOMORFOLOGICA  
DELLA PROVINCIA DI FERRARA**

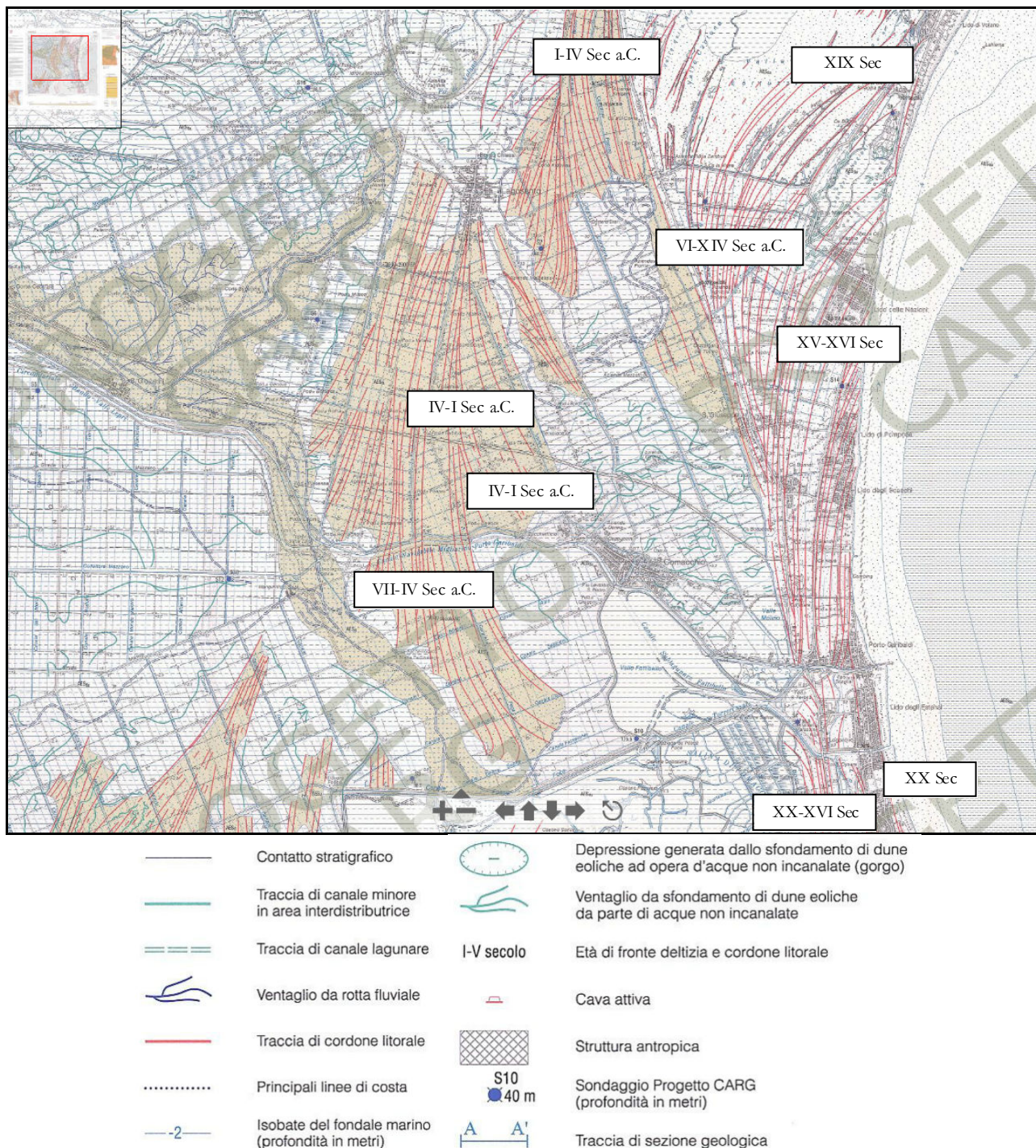
- |  |                      |  |                                     |
|--|----------------------|--|-------------------------------------|
|  | Strade               |  | Paleoalvei di ubicazione sicura     |
|  | Corsi d'acqua        |  | Paleoalvei di ubicazione incerta    |
|  | Confini di provincia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

Figura 2-42 - Stralcio carta geomorfologica della provincia di Ferrara.

Si riportano ora, in **FIGURA 2.43**, le principali linee di costa datate con reperti archeologici e con misurazioni del <sup>14</sup>C, ricostruita nel progetto CARG per il foglio Comacchio, scala 1:50.000.

La figura è stata rielaborata dallo scrivente per renderla di più facile lettura.





**Figura 2-43** - successione delle linee di costa principali nell'area deltizia.  
[http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/205\\_COMACCHIO/Foglio.html](http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/205_COMACCHIO/Foglio.html) (modificata dallo scrivente)

Le spiagge, battute dal vento, vedevano crescere delle dune eoliche sabbiose, tanto più alte, quanto più lento era la progradazione verso est della linea di costa. Se tale linea di costa accresceva invece velocemente verso est, non si dava tempo all'azione costruttrice del vento di accumulare alti dossi di sabbia. Quindi a periodi con lente progradazioni verso est della linea di costa corrispondevano formazioni elevate di dune sabbiose, mentre a periodi di veloce progradazione verso est della linea di costa corrispondevano dune basse o assenti.

Il fatto di essere in una fase di veloce o lenta progradazione dipendeva dalle condizioni climatiche generali del bacino padano, e quindi dall'apporto solido dei fiumi nel loro percorso fino al mare.

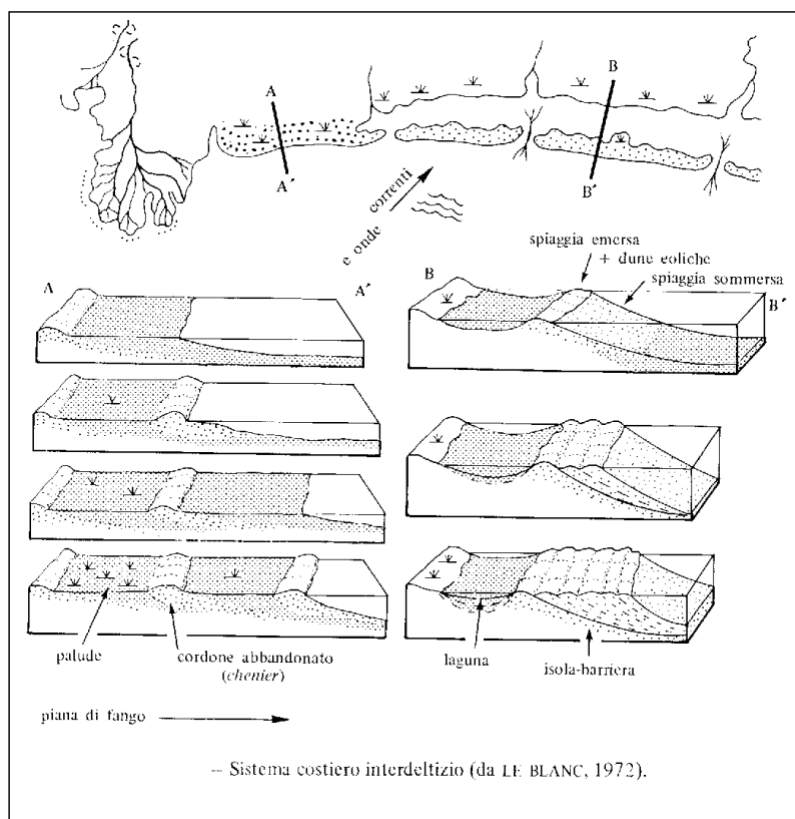
Le tappe dell'evoluzione geomorfologica delle aree costiere sono state ricostruite correlando gli allineamenti di paleodune a situazioni climatiche che hanno condizionato la velocità di crescita verso est della costa, inoltre i ritrovamenti archeologici ne hanno permesso una datazione certa.

La sedimentazione nell'area deltizia è notevolmente influenzata dai fattori climatici: nei periodi con clima umido e con conseguenti diffusi processi erosivi a monte nei bacini fluviali, dovuti alle intense e frequenti

precipitazioni meteoriche, si verificavano frequenti piene con grandi quantità di sedimenti, portati come trasporto solido, alla foce dei fiumi ed in mare. Di conseguenza si verificava una veloce progradazione della linea di costa verso est, che non lasciava il tempo alla spiaggia di accumulare sabbie e soprattutto al vento di accumularle nei campi di dune. Al contrario, nei periodi di clima arido (in modo particolare nei periodi aridi freddi), in corrispondenza di optimum climatici, rallentavano i processi erosivi a monte, diminuivano le piene del fiume, ed il suo trasporto solido; di conseguenza la velocità di crescita verso est della spiaggia diminuiva, e dunque un allineamento costiero si manteneva per più lungo tempo dando la possibilità al moto ondoso di distribuire, accumulare e rielaborare i sedimenti di spiaggia, allontanando la parte fangosa e concentrando selettivamente i materiali grossolani (granuli di sabbia e conchiglie), i quali, attraverso il trasporto eolico, andavano a costituire quelle strutture sedimentarie che sono le dune eoliche.

Con il progradare verso est della linea di costa i terreni sabbiosi emersi andavano via via ribassandosi per effetto della subsidenza; in questo modo altri tipi di sedimenti accumulatisi in nuove facies deposizionali continentali ricoprivano progressivamente le sabbie costiere.

Si riporta in **FIGURA 2.44** un sistema costiero interdeltizio, tratto da Le Blanc, 1972.



**Figura 2-44** - sistema costiero interdeltizio, tratto da Le Blanc, 1972

In generale si può affermare che la distribuzione dei vari tipi litologici non è omogenea ma legata al reticolo idrografico dei rami del Po che anticamente divagavano nella zona in esame. Così i terreni sabbiosi sono localizzati principalmente in corrispondenza di antichi alvei fluviali o di loro coni di esondazione, i materiali più fini si sono invece depositati principalmente nelle piane alluvionali in seguito a straripamento dei fiumi o rotta degli argini naturali.

Partendo da ovest si può notare come l'area sia interamente caratterizzata da depositi di piana deltizia, sono depositi di canale distributore e di argine, si tratta in prevalenza di sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, localmente si tratta di sabbie grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Questi depositi mettono ben in evidenza i tracciati dei paleoalvei, si possono infatti osservare i tracciati del Po di Primaro, del Po di Volano e del Padoa-Padovetere.

Tali depositi sono occasionalmente interrotti da lenti di varia estensione areale, si tratta sempre di depositi di piana deltizia, ma sono tipici di ambienti di palude, sono costituiti da limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente caratterizzati da livelli organici parzialmente decomposti.

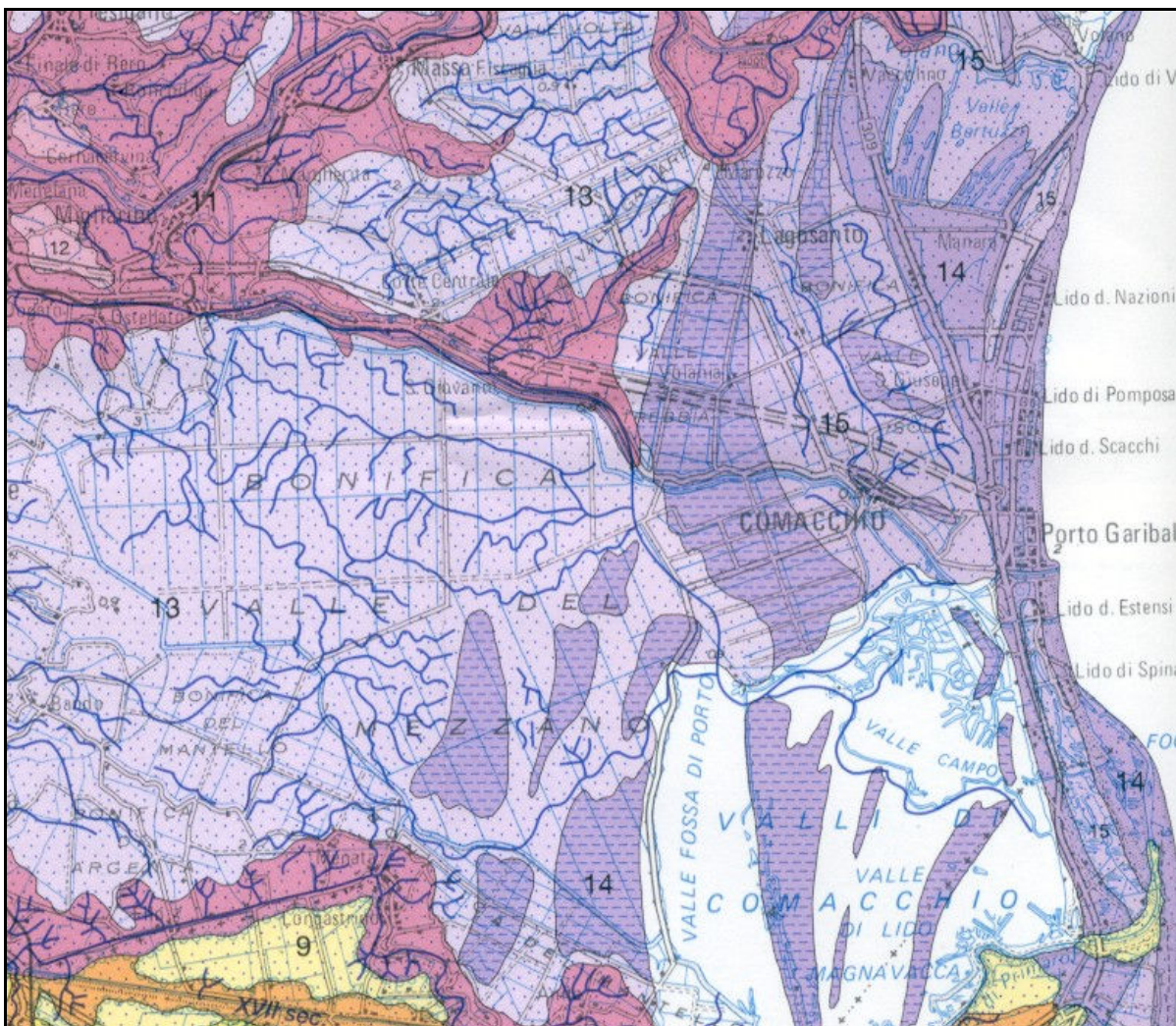


Procedendo da ovest verso est si può notare come i depositi sopra citati si riducano considerevolmente, limitandosi alle aree coincidenti con le tracce dei paleoalvei, mentre si diffondono i depositi di baia interdistributrice, caratterizzati da argille limose, limi e sabbie finissime in strati decimetrici intercalati a livelli torbosi e/o a sostanza organica parzialmente decomposta, localmente presentano gusci di molluschi, sabbie fini e finissime limose in sottili corpi nastriformi. Questi depositi sono tipici di aree bonificate come la Bonifica di Valle Mezzano, Valle Pega, Valle Trebba, Valle Ponti e Valle Isola .

I depositi di piana deltizia descritti fin ora si estendono fino al limite orientale dell'area indagata dove vengono interrotti dai depositi di piana di sabbia e fronte deltizia, si tratta di depositi di cordone litorale e dune eoliche, testimonianza della esistenza di antiche linee di costa, caratterizzati da sabbie medie e fini con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sostanza organica parzialmente decomposta.

L'unità pedostratigrafica associata ai depositi di piana deltizia è caratterizzata da depositi ai primi stadi di alterazione, con fronte di alterazione minore di un metro (Olocene: tardo antico, VI secolo d.C.); mentre l'unità pedostratigrafica associata ai depositi di piana di sabbia e fronte deltizia è caratterizzata da depositi a basso grado di alterazione, con fronte di alterazione maggiore di un metro (Olocene: Mesolitico).

Si riporta in **FIGURA 2.45** uno stralcio della Carta geologica di Pianura dell'Emilia Romagna dove si possono osservare le distribuzioni areali dei depositi sopradescritti.





# CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELL'EMILIA-ROMAGNA

## GEOLOGICAL MAP OF THE EMILIA-ROMAGNA PLAIN

a cura di Domenico PRETI

### DEPOSITI ALLUVIONALI ALLUVIAL DEPOSITS

#### CONOIDI E TERRAZZI ALLUVIONALI ALLUVIAL FAN AND TERRACE

- |   |   |
|---|---|
| 1                                       | Ghiaie e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari amalgamati, intercalate a sabbie e sabbie limose in strati di spessore decimetrico. Depositi di conoide e di terrazzo.<br>Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.<br><i>Gravel and sand in channelled and lenticular bodies amalgamated, intercalated with sand and silty sand in beds tens of centimetres thick. Alluvial fan and terrace. At the top and within, soils of various degree of evolution.</i>   |
| 2                                       | Sabbie, limi sabbiosi e limi, in strati di spessore decimetrico, ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo.<br>Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.<br><i>Sand, silty sand and silt in beds tens of centimetres thick; sandy gravel and sand in channelled or lenticular bodies. Fan and terrace deposits. At the top and within, soils of various degree of evolution.</i>   |
| 3                                       | Limi e limi argillosi in strati di spessore decimetrico, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo.<br>Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.<br><i>Silt and clayey silt in beds tens of centimetres thick; small amounts of gravel and sandy gravel in channelled and lenticular bodies. Alluvial fan and terrace. At the top and within, soils of various degree of evolution.</i>   |
| 4                                       | Ghiaie, sabbie, limi e limi argillosi. Depositi alluvionali indifferenziati.<br><i>Gravels, sands, silts and clayey silts. Undifferentiated alluvial deposits.</i>  |
| <b>PIANA ALLUVIONALE ALLUVIAL PLAIN</b> |   |
| 5                                       | Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriiformi. Depositi di canale e argine prossimale.<br>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.<br><i>Medium and fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and/or intercalated to fine and very fine silty sand, smaller amount of clayey silt; locally medium and coarse sand in lenticular, ribbon shaped bodies. Channel and proximal levee deposits. At the top, soils with various degree of evolution.</i> |
| 6                                       | Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.<br>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.<br><i>Sandy silt, fine and very fine sand, silty clay and smaller amounts of silty-clayey sand intercalated in beds tens of centimetres thick. Distal levee deposits. At the top, soils with various degree of evolution.</i>   |
| 7                                       | Sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriiformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.<br>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.<br><i>Medium and fine sand, silt and silty clay intercalated in beds tens of centimetres thick; locally medium and coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits. At the top soils with various degree of evolution.</i>  |
| 8                                       | Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari e nastriiformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.<br>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.<br><i>Clayey silt and sandy silt, smaller amounts of fine and very fine sand, in beds tens of centimetres thick; locally silt and ribbon shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits. At the top soils of various degree of evolution.</i>   |
| 9                                       | Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude.<br><i>Silty clay, clay and laminated clayey silt, locally concentrations of partially decomposed organic matter. Backswamp deposits.</i>   |
| 10                                      | Sabbie medie e grossolane subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandri.<br>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.<br><i>Medium and coarse sand, to a lesser extent gravel and sandy gravel, smaller amounts of silt and sandy silt in beds tens of centimetres thick. Meander belt deposits. At the top, soils of various degree of evolution.</i>   |



Depositi a moderato grado di alterazione, con fronte di alterazione da 1,5 a 3 m. Al tetto dell'unità costituita da depositi prevalentemente grossolani, sono presenti suoli non calcarei, con evidenze di accumulo di argilla illuviale e con differenziazione del profilo in orizzonti A-Bt-Bck-C, A-Bw-BC-C; Hue degli orizzonti Bt, Bw 7,5 YR-5YR. Al tetto dell'unità, in corrispondenza di depositi prevalentemente fini, il fronte di alterazione può raggiungere 3-4 m ed è costituito da più suoli sovrapposti, saldati o distinti; al tetto suoli con orizzonti superficiali e profondi non calcarei, con orizzonti di accumulo di carbonato di calcio e di argilla A-Bw-Btk-C-Ab-Bwb-Bkb-Cb; Hue degli orizzonti Bt 2,5Y-10YR. All'interno del suolo reperti dal Paleolitico superiore al Mesolitico.  
Pleistocene superiore: Paleolitico sup. - Mesolitico  
*Deposits with a moderate weathering degree, the weathering front ranges from 1.5 to 3 m. At the top the unit is made up of mainly coarse deposits, there are non-calcareous soils, with evidence of illuvial clay accumulation and with profile differentiated into horizons A-Bt-Bck-C, A-Bw-BC-C; Hue of horizons Bt, Bw 7.5YR-5YR. At the top of the unit, where there are mainly fine deposits, the weathering front may reach 3-4 m and consists of a number of overlapping composite and compound paleosols; at the top soils with non-calcareous surficial and deep horizons, with illuvial clay and calcium carbonate accumulation horizons and profile differentiated into horizons A-Bw-Btk-C-Ab-Bwb-Bkb-Cb; Hue of horizons Bt 2.5Y-10YR. Inside the soils remains from Upper Paleolithic Age to Mesolithic Age. Late Pleistocene: late Paleolithic - Mesolithic.*



### DEPOSITI DELTIZI E LITORALI DELTAIC AND LITTORAL DEPOSITS

#### PIANA DELTIZIA DELTA PLAIN

Sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, localmente sabbie grossolane in corpi lenticolari e nastriiformi. Depositi di canale distributore e di argine.  
*Medium to fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and intercalated to fine and very fine silty sand, locally coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Distributor channel and levee deposits.*



Limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente livelli organici parzialmente decomposti. Depositi di palude.  
*Silt and clayey silt intercalated in layers tens of centimetres thick, locally partially decomposed organic layers. Backswamp deposits.*



Argille limose, limi e sabbie finissime in strati decimetrici intercalati a livelli torbosi e/o a sostanza organica parzialmente decomposta, localmente gusci di molluschi, sabbie fini e finissime limose in sottili corpi nastriiformi. Depositi di baia interdistributiva.  
*Silty clay, silt and very fine sand in beds tens of centimetres thick with peaty layers and/or layers of partially decomposed organic matter, locally mollusk shells, fine and very fine silty sand in thin ribbon-shaped bodies. Interdistributary bay deposits.*

#### PIANA DI SABBIA E FRONTE DELTIZIA SAND PLAIN AND DELTAIC FRONT

Sabbie medie e fini con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sostanza organica parzialmente decomposta. Depositi di cordone litorale e dune eoliche.  
*Medium and fine sand intercalated with mollusk shells layers tens of centimetres thick, sandy silt layers and partially decomposed organic matter are less common. Beach ridge and eolic dune deposits.*



Limi, sabbie e sabbie fini, livelli decimetrici di sostanza organica decomposta, intercalati a sabbie fini e a limi argillosi; saltatamente intercalazioni di livelli torbosi e di gusci di molluschi, localmente sabbie fini. Depositi di palude salmastra.  
*Silt, sand and fine sand, layers tens of centimetres thick of decomposed organic matter, intercalated with fine sand and clayey silt; rare interbeddings of peaty layers and mollusk shells, locally fine sand. Marsh deposits.*

### UNITA' PEDOSTRATIGRAFICHE PEDOSTRATIGRAPHIC UNITS



Depositi ai primi stadi di alterazione, fronte di alterazione < 1m (50-100 cm). Al tetto suoli calcarei con differenziazione del profilo in orizzonti A-C, A-Bw-C; Hue degli orizzonti B 2,5Y-10YR. Al tetto e all'interno dei sedimenti reperti di Età Medioevale e di Età Moderna.  
Olocene: tardo antico (VI secolo d.C.) - Età Moderna  
*Deposits at the first stages of alteration, weathering front < 1 m (50-100 cm). At the top calcareous soils and profile differentiated into horizons A-C, A-Bw-C; Hue of horizons B 2.5Y-10YR. At the top and within sediments, remains from Middle Age to Modern Age. Holocene (VI century A.D.) - Modern Age.*



Depositi a basso grado di alterazione, con fronte di alterazione > 1m (100-150 cm). Al tetto suoli con orizzonti superficiali decarbonati o parzialmente decarbonati con differenziazione del profilo in orizzonti A-Bw-Bk-C; Hue degli orizzonti B 2,5Y-10YR. Nelle porzioni dell'unità costituite da depositi prevalentemente fini, il fronte di alterazione può raggiungere 3-4 m ed è costituito da più suoli sovrapposti, saldati o distinti, con differenziazione del profilo in orizzonti A-Bw-Bk-(C)-Ab-Bwb-Cb; Hue degli orizzonti B 2,5Y-10YR. All'interno dei suoli reperti dal Mesolitico all'Età Romana.

Nei depositi di cordone litorale e dune eoliche l'elevata antropizzazione unita all'attuale e passata somministrazione non consentono il riconoscimento o lo sviluppo del profilo di alterazione proprio di questa unità.  
Olocene: Mesolitico - Età Romana  
*Deposits with a low weathering degree, weathering front > 1 m (100-150 cm). At the top, soils with surficial decarbonated or partially decarbonated horizons, and profile differentiated into horizons A-Bw-Bk-C; Hue of horizons B 2.5Y-10YR. In the portions of the unit made up of mainly fine deposits, the weathering front may be 3-4 m and is composed of a number of overlapping composite and compound paleosols, and profile differentiated into horizons A-Bw-Bk-(C)-Ab-Bwb-Cb; Hue of horizons B 2.5Y-10YR. Within the soils there remains from Mesolithic Age to Roman Age.*

On the beach ridges and the eolic dune deposits intense human activity together with present and past submerison, don't allow a record of a development of the weathering profile, which is typical of this unit.  
Holocene: Mesolithic - Roman Age



Depositi a moderato grado di alterazione, con fronte di alterazione da 1,5 a 3 m. Al tetto dell'unità costituita da depositi prevalentemente grossolani, sono presenti suoli non calcarei, con evidenze di accumulo di argilla illuviale e con differenziazione del profilo in orizzonti A-Bt-Bck-C, A-Bw-BC-C; Hue degli orizzonti Bt, Bw 7,5 YR-5YR. Al tetto dell'unità, in corrispondenza di depositi prevalentemente fini, il fronte di alterazione può raggiungere 3-4 m ed è costituito da più suoli sovrapposti, saldati o distinti; al tetto suoli con orizzonti superficiali e profondi non calcarei, con orizzonti di accumulo di carbonato di calcio e di argilla A-Bw-Btk-C-Ab-Bwb-Bkb-Cb; Hue degli orizzonti Bt 2,5Y-10YR. All'interno del suolo reperti dal Paleolitico superiore al Mesolitico.  
Pleistocene superiore: Paleolitico sup. - Mesolitico  
*Deposits with a moderate weathering degree, the weathering front ranges from 1.5 to 3 m. At the top the unit is made up of mainly coarse deposits, there are non-calcareous soils, with evidence of illuvial clay accumulation and with profile differentiated into horizons A-Bt-Bck-C, A-Bw-BC-C; Hue of horizons Bt, Bw 7.5YR-5YR. At the top of the unit, where there are mainly fine deposits, the weathering front may reach 3-4 m and consists of a number of overlapping composite and compound paleosols; at the top soils with non-calcareous surficial and deep horizons, with illuvial clay and calcium carbonate accumulation horizons and profile differentiated into horizons A-Bw-Btk-C-Ab-Bwb-Bkb-Cb; Hue of horizons Bt 2.5Y-10YR. Inside the soils remains from Upper Paleolithic Age to Mesolithic Age. Late Pleistocene: late Paleolithic - Mesolithic.*



Depositi con grado di alterazione molto elevato, con spessore del fronte di alterazione da 4 a 10 m.

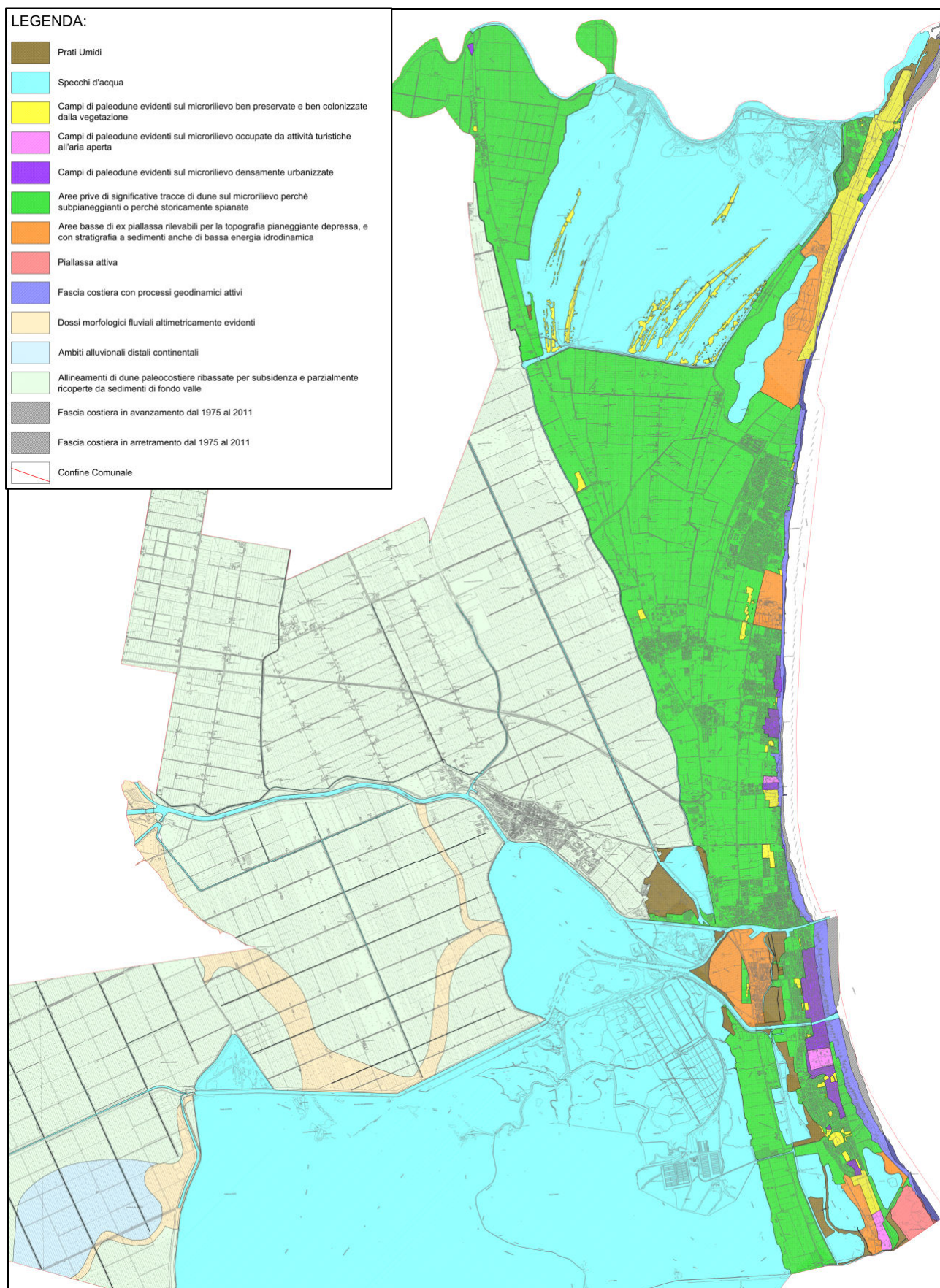
Le unità, costituite da depositi prevalentemente grossolani di conoide alluvionale terrazzata, presentano un fronte di alterazione composto da due suoli principali sovrapposti; il primo, affiorante, evoluto su una copertura limoso-argillosa presenta la completa decarbonazione del profilo, lo sviluppo di orizzonti eluviali, di orizzonti ad accumulo di argilla illuviale, di sesquiossidi di Fe, Mn e differenziazione del profilo in orizzonti A-E-Bt-Btc; Hue degli orizzonti Bt 10YR-2,5Y.

Il secondo suolo, sepolto, sviluppato su ghiaie e ghiaie sabbiose, presenta la completa decarbonazione degli orizzonti superficiali e profondi, lo sviluppo di orizzonti ad accumulo di argilla illuviale e di sesquiossidi di Fe, Mn e differenziazione del profilo in orizzonti Btb-Btcb-Bcb-Ckb-Cb; Hue degli orizzonti Bt 2,5YR. Le unità, costituite da depositi prevalentemente fini (conoidi del reticolo idrografico secondario e di piana alluvionale terrazzata), presentano un suolo con completa decarbonazione degli orizzonti superficiali e profondi, neoformazione di argilla, riorganizzazione dei carbonati sotto forma di concrezioni dure negli orizzonti inferiori e differenziazione del profilo in orizzonti A-Bw-Bkss; Hue degli orizzonti Bw 2,5Y. All'interno del suolo e dei sedimenti manufatti del Paleolitico inferiore - medio.  
Pleistocene medio: Paleolitico inf. - medio  
*Deposits with very high weathering degree, weathering front from 4 to 10 m of thickness. At the top of the unit, consisting of mainly coarse deposits, the weathering front consists of two main overlapping paleosols; the first, at the top of the unit, has evolved on a silty-clayey cover and shows complete decarbonation of the profile, the development of eluvial horizons, of illuvial clay accumulation horizons and horizons of sesquioxides of Fe, Mn, and profile differentiated into horizons A-E-Bt-Btc; Hue of horizons Bt 10YR-2.5Y. The second soil, buried, which has developed on gravel and sandy gravel, shows complete decarbonation of the surficial and deep horizons, the development of illuvial clay accumulation horizons and horizons of sesquioxides of Fe and Mn, and profile differentiated into horizons Btb-Btcb-Bcb-Ckb-Cb; Hue of horizons Bt 2.5Y. The units, made up of mainly fine deposits, show a soil with complete decarbonation of the surficial and deep horizons, reformation of clay, reorganization of the carbonates in the form of hard concretions in the lower horizons, and profile differentiated into horizons A-Bw-Bkss; Hue of horizons Bw 2.5Y. Within the soil artifacts of the Early-middle Paleolithic Age. Middle Pleistocene: Early - middle Paleolithic.*

Figura 2-45 - Carta geologica di Pianura dell'Emilia Romagna.



In **FIGURA 2.46** si riporta la carta degli ambiti geomorfologici del quadro conoscitivo del PSC del comune di Comacchio, nella quale si possono notare le forme morfologiche descritte in precedenza.



*Figura 2-46 - Carta geomorfologica del quadro conoscitivo del PSC del comune di Comacchio*

## 2.6. CENNI SULLA SUBSIDENZA

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

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

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

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

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

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

Un altro meccanismo di formazione di lagune costiere è quello ben noto dell'interclusione di un'area sommersa dal mare per la formazione di un "lido" sabbioso di fronte alla costa; un classico esempio di laguna generatasi con questo meccanismo è la Laguna di Venezia.

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

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

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

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

Si riporta in **FIGURA 2.47** 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 2.48**, **FIGURA 2.49** e in **FIGURA 2.50** si riportano stralci di alcune carte storiche, una del 1814, 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 Comacchio. Nella successiva **FIGURA 2.51** si riporta una carta dei bacini di bonifica con il periodo dell'avvenuto prosciugamento, partendo dalla situazione riferita alla seconda metà del XIX sec.



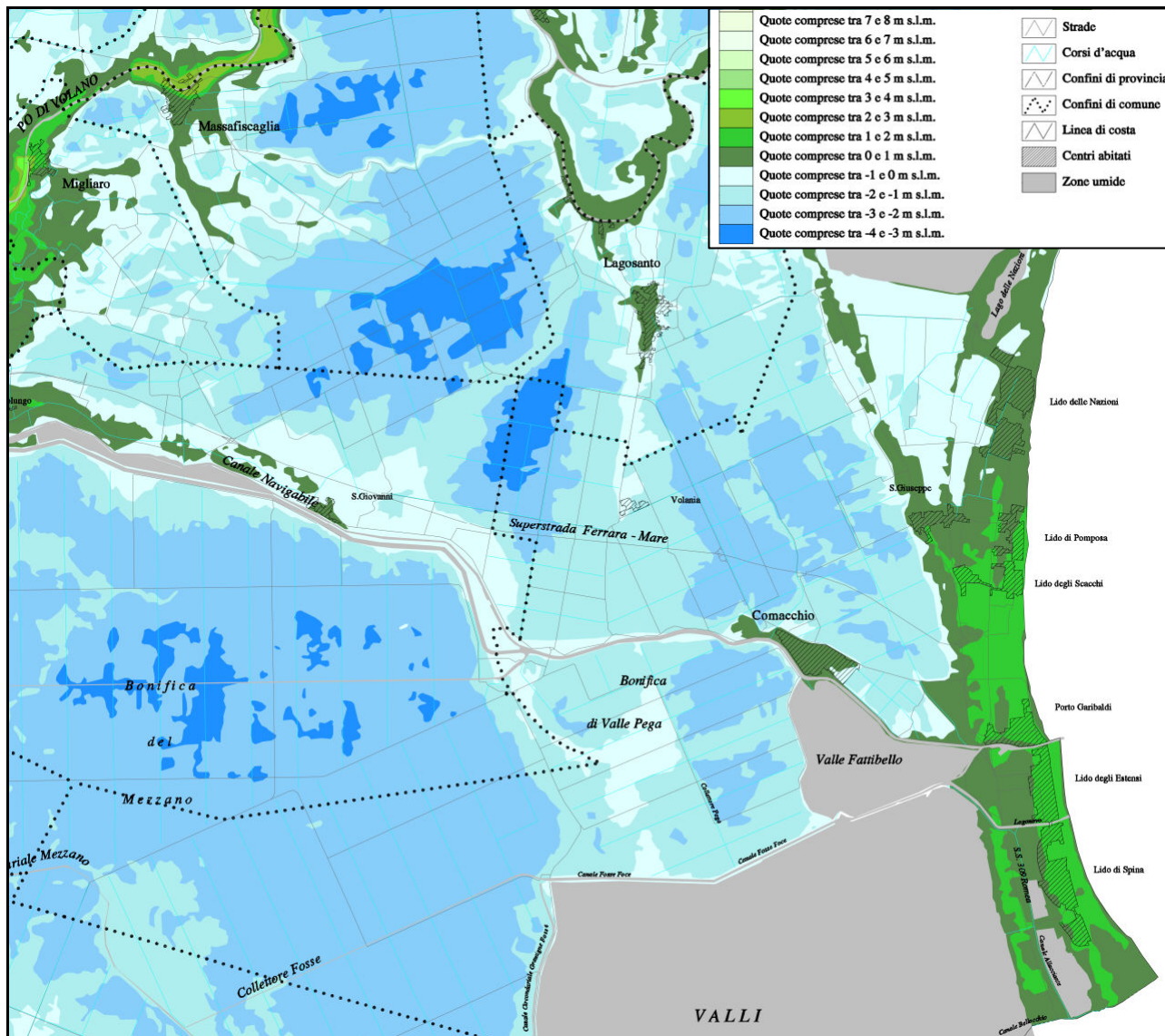


Figura 2-47- stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara



**Figura 2-48** - Carta storica del 1814. ([http://www.mokagis.it/html/applicazioni\\_mappe.asp](http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp))





Figura 2-49 - Carta storica del 1814. ([http://www.mokagis.it/html/applicazioni\\_mappe.asp](http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp))

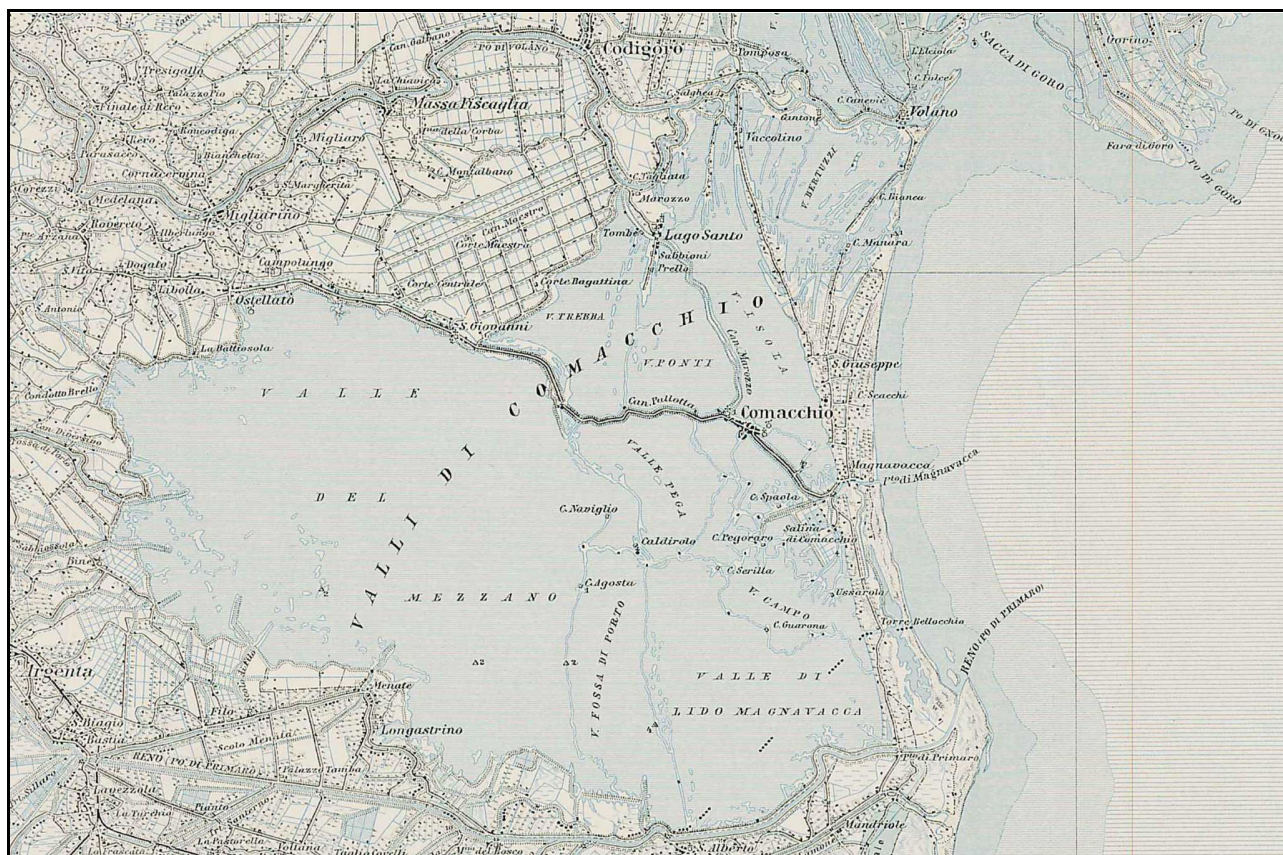


Figura 2-50 - Carta storica del 1898 (reperita su sito <http://larus.dte.hu/bm/digkoyv/topo/3felmerus.htm>)



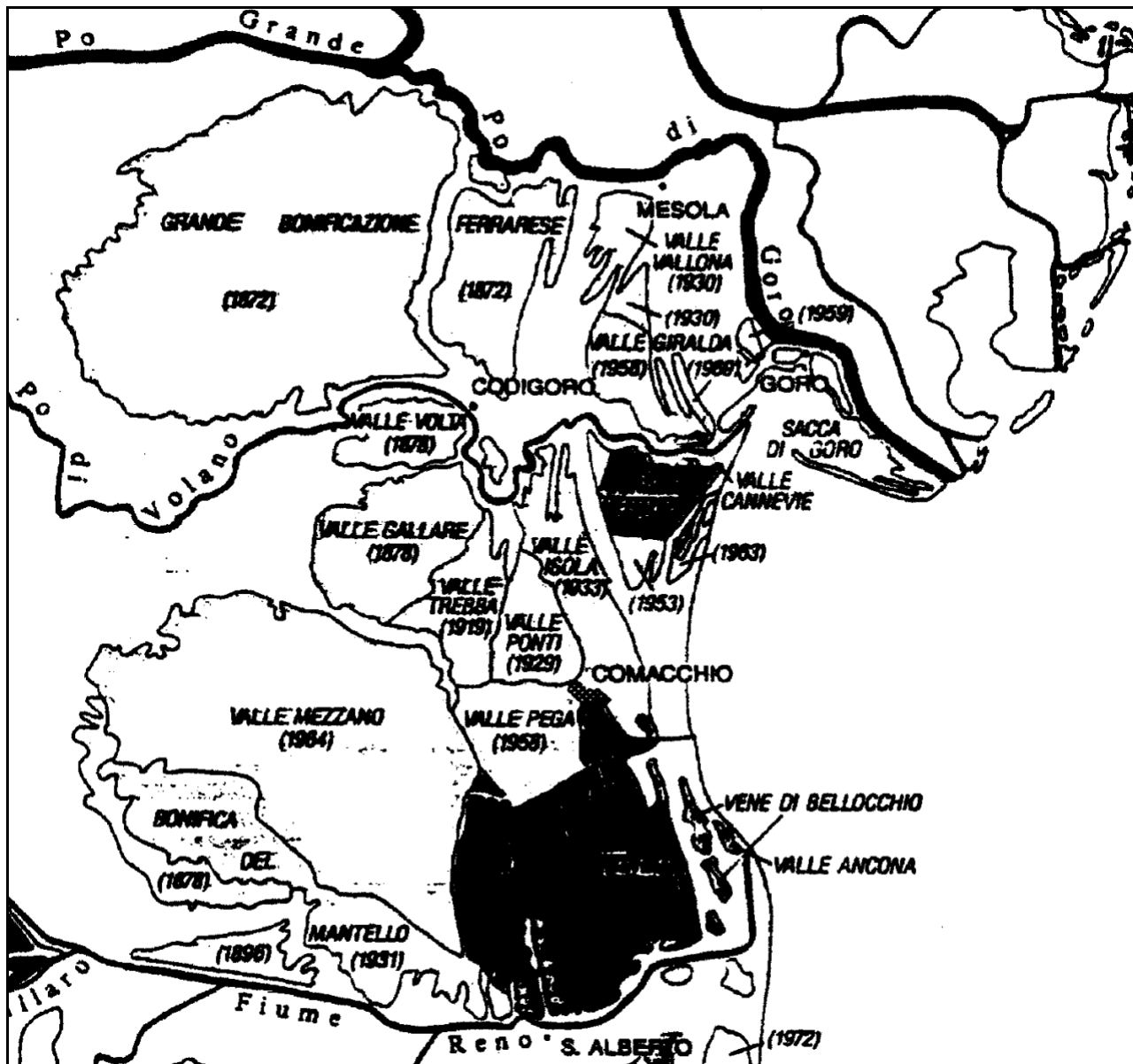
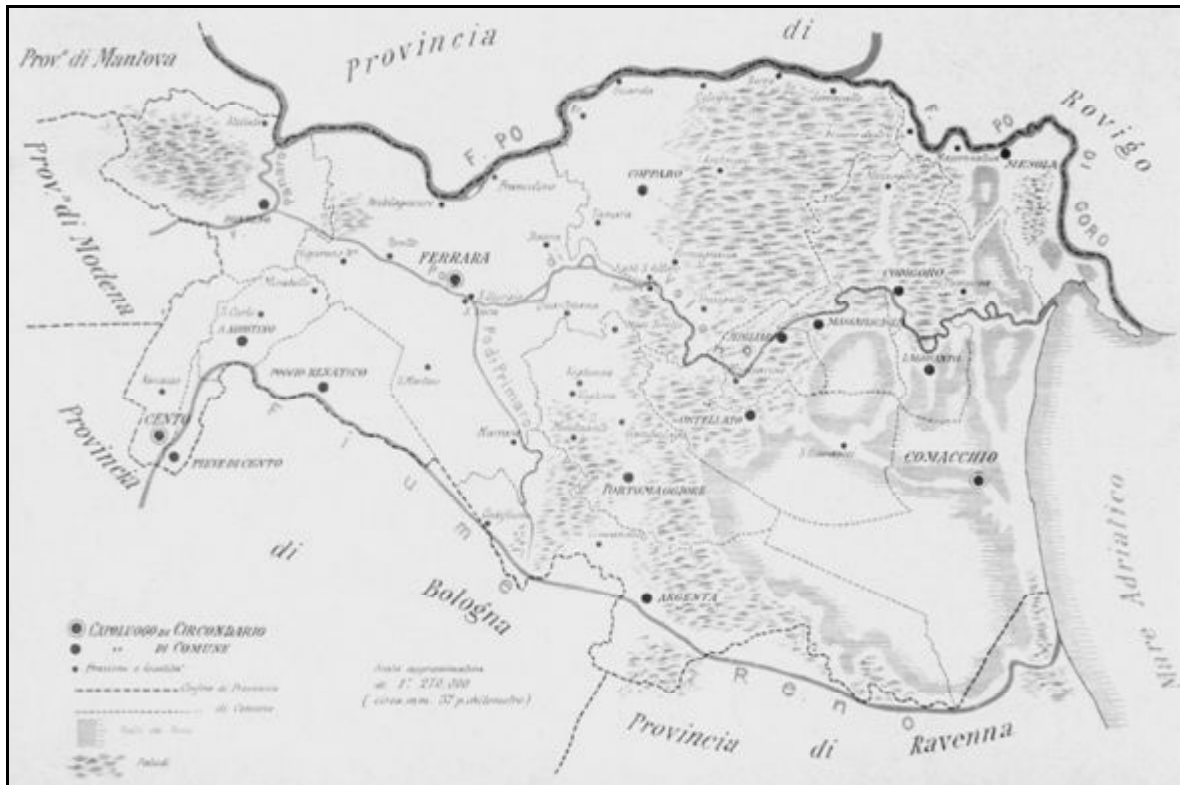


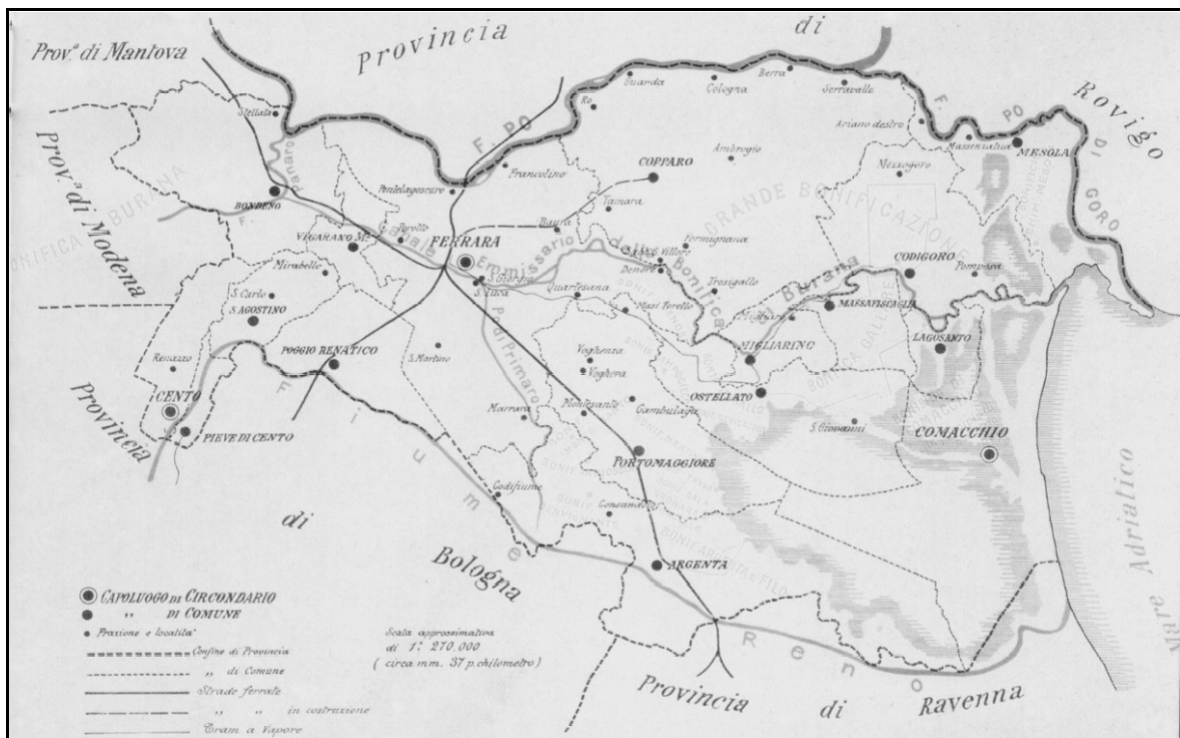
Figura 2-51 - Carta dei bacini di bonifica con evidenziate le date dell'avvenuto prosciugamento (M. Bondesan, 1994)

Quindi il territorio ha subito una grande trasformazione nell'arco di 100 anni (tra il 1850 ed il 1958 a seguito delle bonifiche. In FIGURA 2.52 ed in FIGURA 2.53 tale trasformazione appare in tutta la sua evidenza.





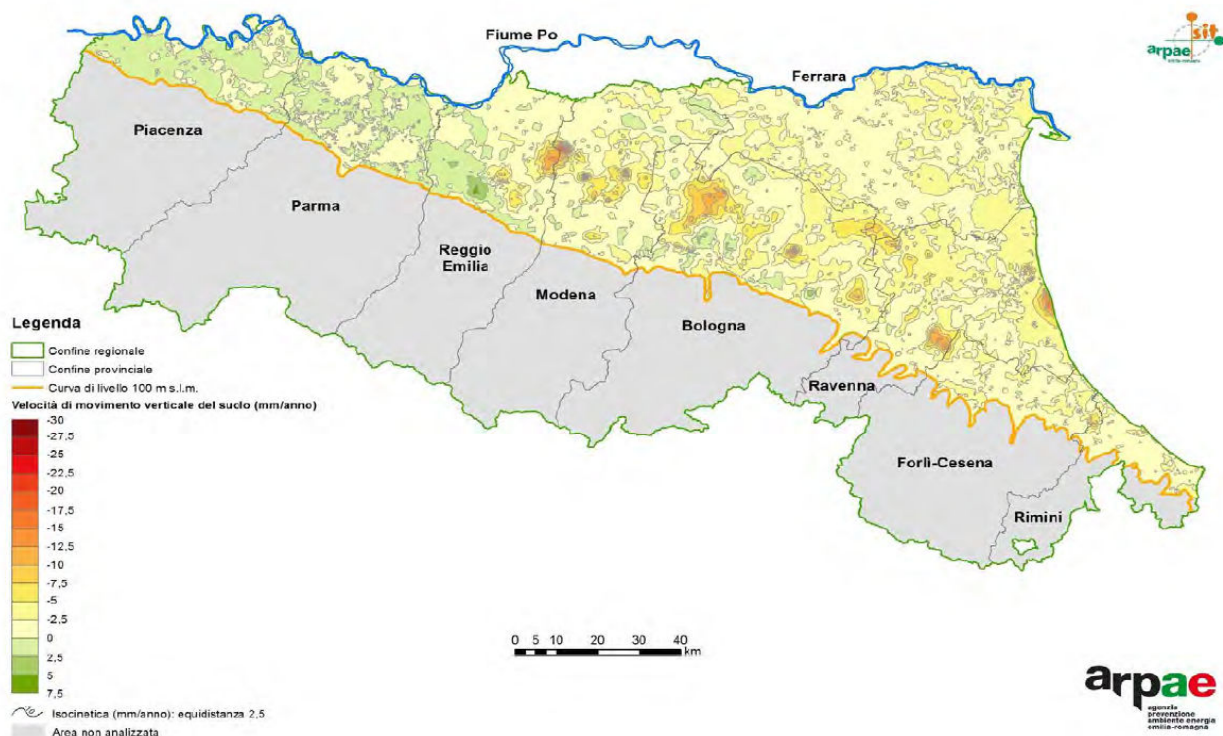
**Figura 2-52** - La provincia di Ferrara a metà dell'800 prima delle Bonifiche meccaniche  
(da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)



**Figura 2-53** - La provincia di Ferrara dopo le Bonifiche ottocentesche  
(da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)

In **FIGURA 2.54** 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**

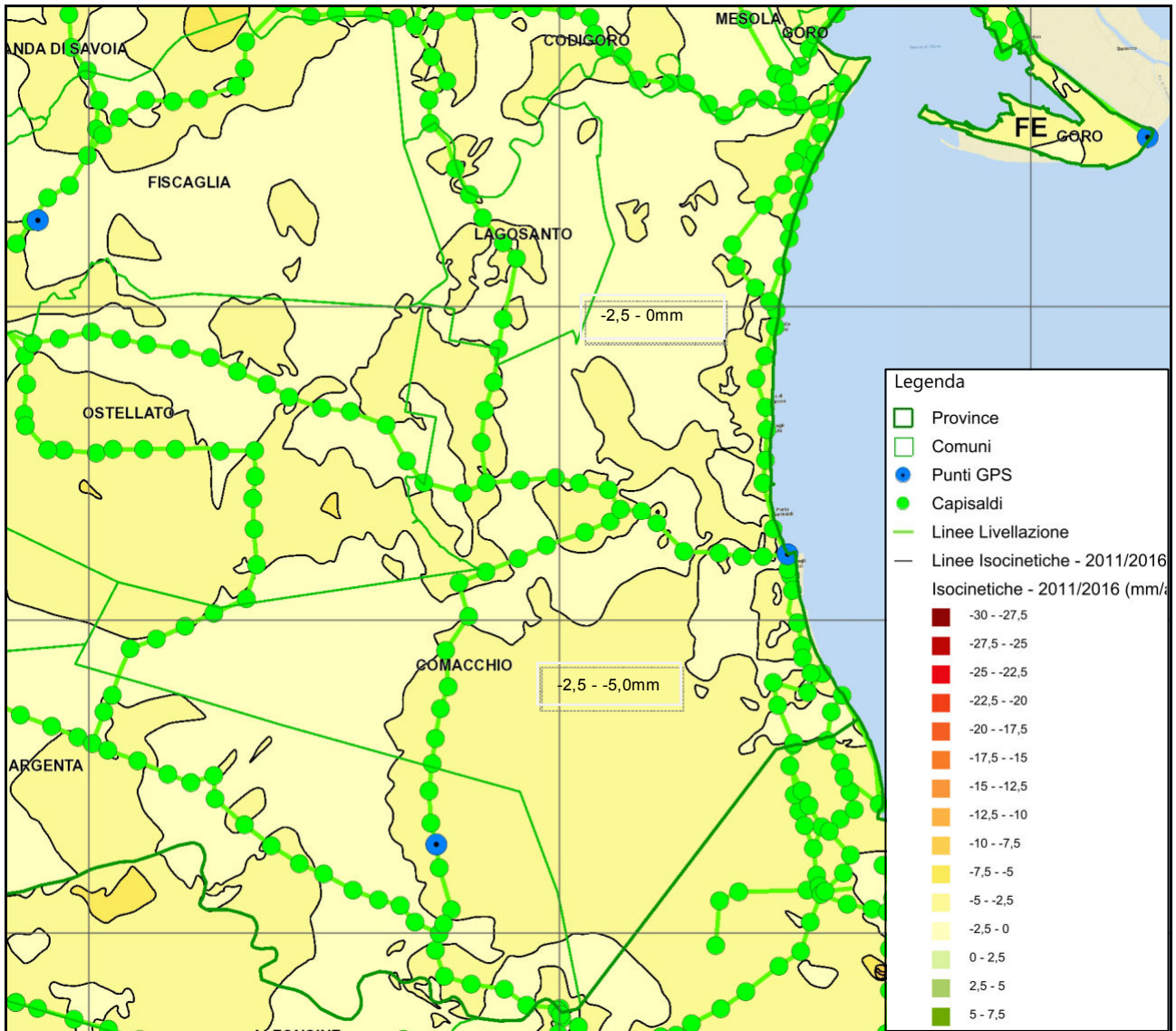


*Figura 2-54 - Carta della velocità di abbassamento dei suoli nel periodo 2011-2016.*

Attualmente gli abbassamenti maggiori, dovuti principalmente alla presenza di sedimenti in via di costipamento o alla riduzione delle terre bonificate si rilevano nella parte sud orientale del delta (Bondesan, 1990). Si registrano abbassamenti di circa 1 cm/anno.

In **FIGURA 2.55** si riporta la mappa delle curve isocinetiche dell'ARPAE, ove l'interrogazione evidenzia queste velocità di abbassamento. I dati riportati sono i più aggiornati, e denotano una riduzione delle velocità di abbassamento rispetto ai monitoraggi precedenti, le cui motivazioni sono ancora tutte da comprendere.

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



*Figura 2-55 - Mappa delle curve di uguale velocità di abbassamento periodo 2011/2016 espresse in mm/anno. Per Comacchio la velocità di abbassamento è compreso tra 2,5 e 5mm annui.*

### 3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

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

Le diverse indagini presenti sul territorio comunale sono caratterizzate dunque da sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo, per l'eventuale perforazione di pozzi sia per acqua che per idrocarburi, da penetrometrie statiche sia a punta meccanica (CPT) sia elettrica con piezocono ed eventualmente con sismocono (CPTU e SCPTU) e da prove geofisiche da superficie con stendimenti sismici (MASW, Re.Mi., ESAC) e prove a stazione singola (HVSR).

Tutte le indagini bibliografiche reperite dalla banca dati della Regione e quelle della banca dati dello scrivente, presenti nel territorio comunale di Comacchio, sono riportate nella Carta delle indagini che viene riprodotta in scala 1:10.000.

#### 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 Comacchio presenti nella banca dati del servizio geologico della Regione e quelle nella banca dati dello scrivente.

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

	Tipologia di indagine	Numero indagini Banca dati Veronese
PENETROMETRIE E SONDAGGI	CPT	382
	CPTU	79
	SCPTU	21
	Sondaggio a carotaggio continuo	4
	TOTALE	485
INDAGINI GEOFISICHE	E.S.A.C.	4
	HVSR	19
	RE.MI.	5
	TOTALE	28
	TOTALE INDAGINI VERONESE	513



	Tipologia di indagine	Numero di indagini Bibliografiche
	CPT	404
	CPTU	117
	SCPTU	2
	DMT	4
	Sondaggi	214
	Pozzi	47
	ESAC	2
	HVSR	17
	TOTALE INDAGINI BIBLIOGRAFICHE	807
	<b>TOTALE INDAGINI</b>	<b>1321</b>

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

Tipologia di indagine	Nuove indagini
SCPTU	1

Campioni di terreno prelevati da sondaggio S1 pregresso Lido delle Nazioni	Analisi di Laboratorio Geotecnico
35	Granulometrie e Limiti di Atterberg

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

Le 1321 indagini pregresse e la prova di nuova realizzazione, presenti nel territorio comunale, sono state analizzate ed archiviate in una banca dati informatizzata e georeferenziata con sistema WGS84 fuso 33N (come prescritto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica del Dipartimento nazionale della Protezione Civile) in ambiente GIS ESRI, la cui struttura risponde alle specifiche per gli studi di microzonazione sismica. Questo consente l'elaborazione degli studi di microzonazione sismica del comune, finalizzata ad una semplificazione e ad una sintesi dei contenuti principali delle caratteristiche geologiche, morfologiche, lito-stratigrafiche, sismiche e geotecniche e nel contempo ottenere una omogenea rappresentazione dei tematismi da parte dei soggetti realizzatori, facilitandone la lettura ed il confronto dei risultati degli studi di contesti territoriali differenti.

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

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

### 3.2. INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA

Per caratterizzare dal punto di vista geologico, geotecnico e sismico tutte le aree e gli edifici strategici in ambito di protezione civile e per gli ambiti di espansione proposti nel piano strutturale comunale di Comacchio si è ritenuto necessario procedere con l'esecuzione di nuove indagini specifiche.

Nello specifico è stata eseguita una prova penetrometrica statica a punta elettrica e piezocono sismico SCPTU spinta fino alla profondità di -30,0 m da p.c., eseguita nella pineta di Lido di Spina (**Tabella 3.3**).

N° indagine	Riferimento	Data	Lat.	Long.	Località
SCPTU1	038006P1319	31/01/2020	4947350	282002	Via Donato Bramante, Lido di Spina

*Tabella 3.3 – Penetrometrie, WGS84 fuso 33N*

Inoltre per questo studio di Microzonazione sismica si è scelto di campionare dei terreni da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico, prelevati dalle cassette del sondaggio geognostico a carotaggio continuo, spinto fino a -35,0 m da p.c., eseguito a Lido delle Nazioni presso l'impianto di depurazione S2, per conto del Consorzio Acque Delta Ferrarese SpA. Le indagini di laboratorio alle quali sono sottoposti i campioni sono analisi granulometriche e Limiti di Atterberg. La finalità è quella di studiare l'applicabilità del metodo di Boulanger & Idriss 2014, per il calcolo dell'indice di liquefazione delle sabbie, in un contesto di sedimenti di battigia, applicando se possibile, i fattori di correzione per il contenuto in fine.

In **FIGURA 3.1** si riporta la scheda del sondaggio a carotaggio continuo S1 eseguito nell'impianto di depurazione S2 a Lido delle Nazioni con evidenziati i campioni di terreno prelevati per analisi di laboratorio geotecnico.

<b>Dott. Geol. Thomas Veronese</b> Via Romea, 80 44023 Vaccolino (FE)			Inizio Esecuzione 11/02/2019		Fine Esecuzione 15/02/2019		Metodo Perfor. Carotaggio Continuo		Sondaggio BH2					
			Quota p.c.					Attrezzatura Sonda MC T 800						
Committente CADF Spa							Località Lido delle Nazioni Fe							
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]					Foto		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente T. Veronese			
							Data 11/02/19	Mt. p.c. 1.80	35.00		Operatore Eletipi			
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P. kg/cm2	T.V. kg/cm2	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					R.Q.D.	N1	N2		
1	1,50					Sabbia limosa nocciola	MZ1 0,0m-0,5m						1,80	
							MZ2 0,5m-1,0m							
							MZ3 1,0m-1,5m							
2	2,00					Sabbia limosa marrone	MZ4 1,5m-2,0m						1,80	
							MZ5 2,0m-2,5m							
3			RI	C1	3-3.50	Sabbia limosa con muscovite marrone	MZ6 2,5m-3,0m							
							C1_MZ7 3,0m-3,5m							
							MZ8 3,5m-4,0m							
4							MZ9 4,0m-4,5m							
							MZ10 4,5m-5,0m							
5	5,00						MZ11 5,0m-5,5m							
							MZ12 5,5m-6,0m							
6			RI	C2	6-6.50	Sabbia limosa micacea con resti conchigliari marrone scuro	C2_MZ13 6,0m-6,5m							
							MZ14 6,5m-7,0m							
							MZ15 7,0m-7,5m							
7							MZ16 7,5m-8,0m							
							MZ17 8,0m-8,5m							
8							C3_MZ18 8,5m-9,0m							
							MZ19 9,0m-9,5m							
							MZ20 9,5m-10,0m							
9	8,60					Limo sabbioso deb. argilloso nerastro								
	9,00													
	10,50													



<b>Dott. Geol. Thomas Veronese</b> Via Romea, 80 44023 Vaccolino (FE)			Inizio Esecuzione 11/02/2019	Fine Esecuzione 15/02/2019	Metodo Perfor. Carotaggio Continuo	Sondaggio BH2								
			Quota p.c.		Attrezzo Sonda MC T 800									
Committente CADF Spa					Località Lido delle Nazioni Fe									
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]			Foto		Livello Acqua	Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente T. Veronese						
					Data 11/02/19	Mt. p.c. 1.80	35.00	Operatore Elletipi						
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P.	T.V.	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF		R.Q.D.	kg/cm2	kg/cm2	N1	N2	N3		
11	10,50		SH	SH4	10,5-11,10	Alternanze di sabbia limosa e limo sabbioso argilloso marrone e grigio scuro	MZ21	10,0m-10,5m						
	11,10						C4_MZ22	10,5m-11,1m						
12			SH	SH4			MZ23	11,1m-11,5m						
							MZ24	11,5m-12,0m						
13			SH	SH4			MZ25	12,0m-12,5m						
							MZ26	12,5m-13,0m						
14			SH	SH4		Sabbia limosa grigio scuro	MZ27	13,0m-13,5m						
							MZ28	13,5m-14,0m						
15			SH	SH4			MZ29	14,0m-14,5m						
							MZ30	14,5m-15,0m						
16			SH	SH4			MZ31	15,0m-15,5m						
							MZ32	15,5m-16,0m						
17	16,40		SH	SH5	16,4-17,00	Limo e sabbia fine grigio scuro	MZ33	16,0m-16,4m						
	17,00						C5_MZ34	16,4m-17,0m						
18			SH	SH5			MZ35	17,0m-17,5m						
19			SH	SH6		Limo e limo argilloso debolmente sabbioso grigio								
			SH	SH6		Limo argilloso e limo grigio	C6_MZ36	19,0m-19,6m						
	20,00		SH	SH6										

Figura 3-1 - Sondaggio a carotaggio continuo S1 - Lido delle Nazioni

### 3.3. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Come previsto nel programma delle indagini e delle attività per la Microzonazione sismica di III Livello e CLE del Comune di Comacchio (Fe), analizzata e validata dal servizio geologico della Regione Emilia Romagna, sono stati prelevati dei campioni rimaneggiati di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico.

I campioni sono stati prelevati dalle cassette del sondaggio geognostico a carotaggio continuo eseguito a Lido delle Nazioni presso l'impianto di depurazione S2, per conto del Consorzio Acque Delta Ferrarese SpA.

La finalità è appunto quella di studiare l'applicabilità del metodo di Boulanger & Idriss 2014, per il calcolo dell'indice di liquefazione delle sabbie, in un contesto di sedimenti di battigia, applicando i fattori di correzione per il contenuto in fine  $C_{FC}$ , calcolati utilizzando le analisi granulometriche.

Il campionamento è avvenuto con cadenza di circa 2 campioni di terreno per ogni metro, dal piano campagna fino a -20m di profondità, per un totale di 36 campioni. Questi terreni sono stati sottoposti ad una analisi granulometrica completa (per settacciatura e per via aerometrica) e a Limiti di Atterberg (**Tabella 3.4**).

SONDAGGIO S1 - Lido delle Nazioni		
Campione	Profondità di prelievo (m da p.c)	Tipo di analisi
MZ1	0,00 - 0,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ2	0,50 - 1,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ3	1,00 - 1,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ4	1,50 - 2,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ5	2,00 - 2,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ6	2,50 - 3,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ7	3,00 - 3,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ8	3,50 - 4,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ9	4,00 - 4,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ10	4,50 - 5,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ11	5,00 - 5,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ12	5,50 - 6,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ13	6,00 - 6,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ14	6,50 - 7,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ15	7,00 - 7,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ16	7,50 - 8,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ17	8,00 - 8,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ18	8,50 - 9,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ19	9,00 - 9,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ20	9,50 - 10,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ21	10,00 - 10,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ22	10,50 - 11,10	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ23	11,10 - 11,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ24	11,50 - 12,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ25	12,00 - 12,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ26	12,50 - 13,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ27	13,00 - 13,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ28	13,50 - 14,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ29	14,00 - 14,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ30	14,50 - 15,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ31	15,00 - 15,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ32	15,50 - 16,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ33	16,00 - 16,40	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ34	16,40 - 17,00	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ35	17,00 - 17,50	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg
MZ36	19,00 - 19,60	Analisi granulometrica, Limiti di Atterberg

**Tabella 3.4** - Campioni rimaneggiati, profondità di prelievo e tipologia di analisi di laboratorio geotecnico

### 3.3.1. ANALISI GRANULOMETRICA

Una terra è costituita da un insieme di grani di forma e dimensioni differenti. Scopo dell'analisi granulometrica è quello di determinare la distribuzione percentuale dei grani, per massa, secondo le loro dimensioni. La determinazione va eseguita mediante crivelli e setacci per la frazione solida di dimensioni maggiori di 0,075 mm (ghiaie e sabbie), per quella di dimensioni inferiori (limi e argille) si ricorre all'analisi per sedimentazione. La distribuzione ottenuta viene rappresentata graficamente mediante una curva che prende il nome di "Curva granulometrica" (AGI, *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, 1994*).

Negli allegati alla relazione si riportano le schede delle granulometrie dei campioni di terreno analizzati prelevati alle diverse profondità nel sondaggio a carotaggio continuo S1, spinto fino a -35,0 m da p.c., eseguito a Lido delle Nazioni presso l'impianto di depurazione S2, per conto del Consorzio Acque Delta Ferrarese SpA.

### 3.3.2. LIMITI DI ATTERBERG

Il comportamento dei terreni a grana fine è fortemente influenzato dal contenuto d'acqua nei pori. Diventa perciò molto importante sia conoscere il contenuto d'acqua di un deposito naturale sia confrontare questo contenuto d'acqua con alcuni valori di contenuto d'acqua caratteristici, che costituiscono i limiti di comportamento del terreno stesso. I limiti di Atterberg sono dei contenuti di acqua determinati in laboratorio che rappresentano abbastanza bene dei passaggi critici di comportamento del terreno.

Facendo aumentare con continuità il contenuto d'acqua  $w$  si noterà che il terreno argilloso passa da quello di solido fragile a quello di semisolido, quindi a quello plastico e infine a quello fluido; a queste variazioni possono essere abbinate delle variazioni di risposta deformazionale del terreno.

Il contenuto d'acqua che separa il passaggio dal solido fragile al semisolido è detto limite di ritiro, quello dal semisolido al plastico è detto limite di plasticità, quello dallo stato plastico allo stato fluido è il limite di liquidità; la differenza fra il limite di liquidità e il limite di plasticità è detto indice di plasticità e indica il campo di contenuto d'acqua nel quale il terreno è allo stato plastico.

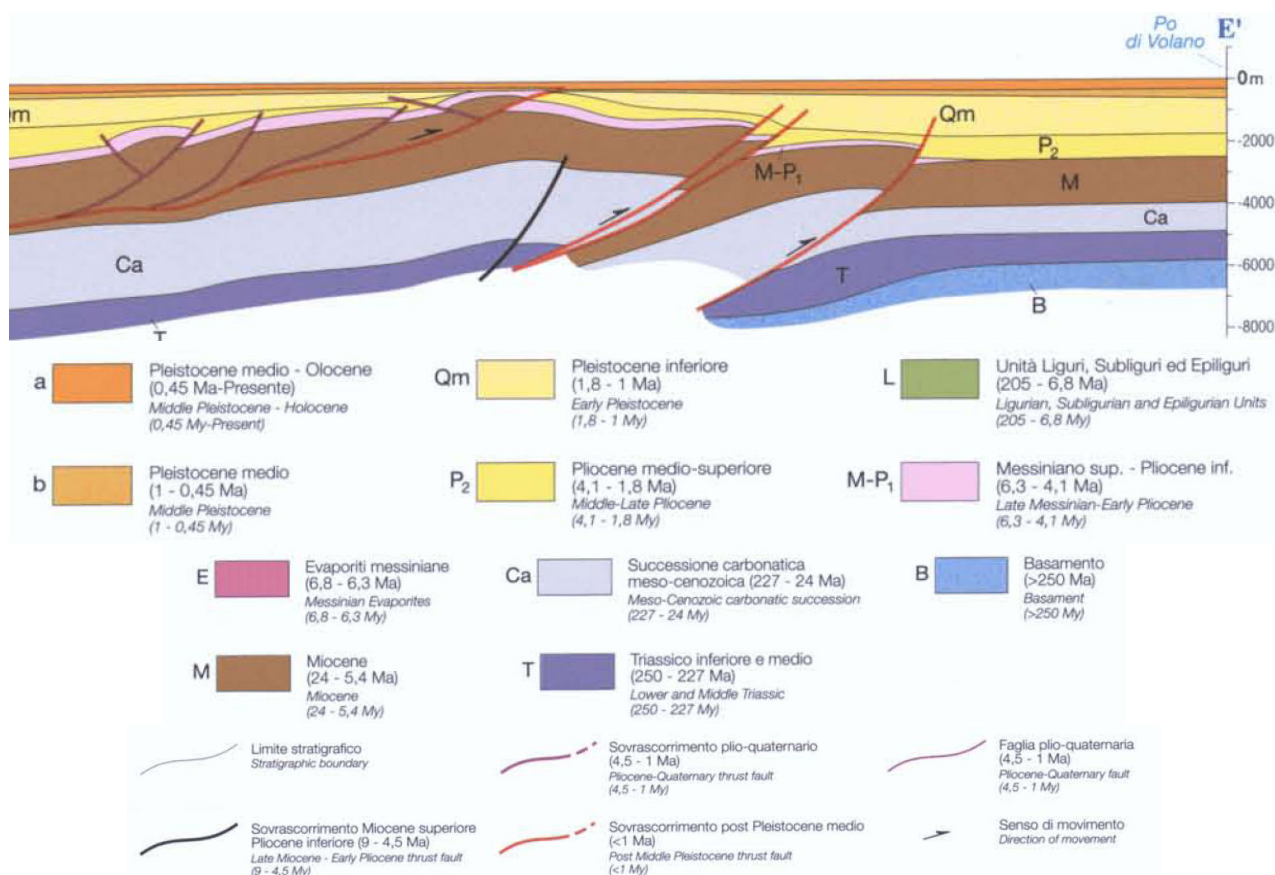
I limiti di Atterberg costituiscono una prova importante perché presentano una notevole fedeltà nei risultati sperimentali nonostante l'apparecchiatura sperimentale di prova risulti molto semplice.

Negli allegati alla relazione si riportano le schede dei Limiti di Atterberg dei campioni di terreno analizzati prelevati alle diverse profondità nel sondaggio a carotaggio continuo S1, spinto fino a -35,0 m da p.c., eseguito a Lido delle Nazioni presso l'impianto di depurazione S2, per conto del Consorzio Acque Delta Ferrarese SpA.

## 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 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 valori di Vs di 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).



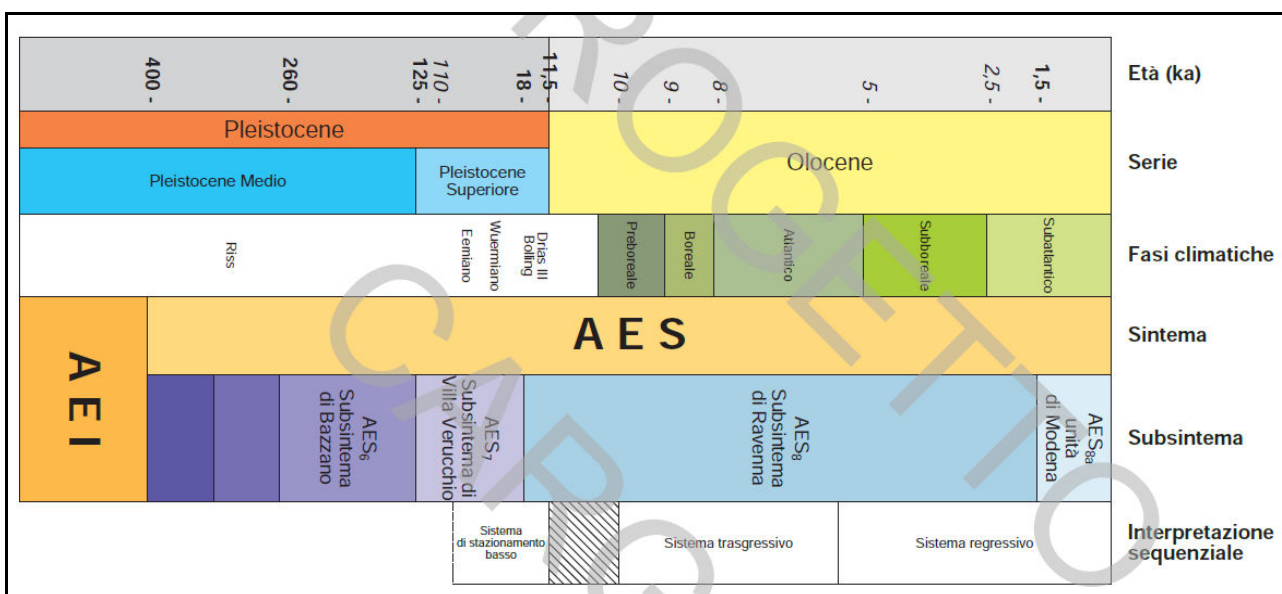
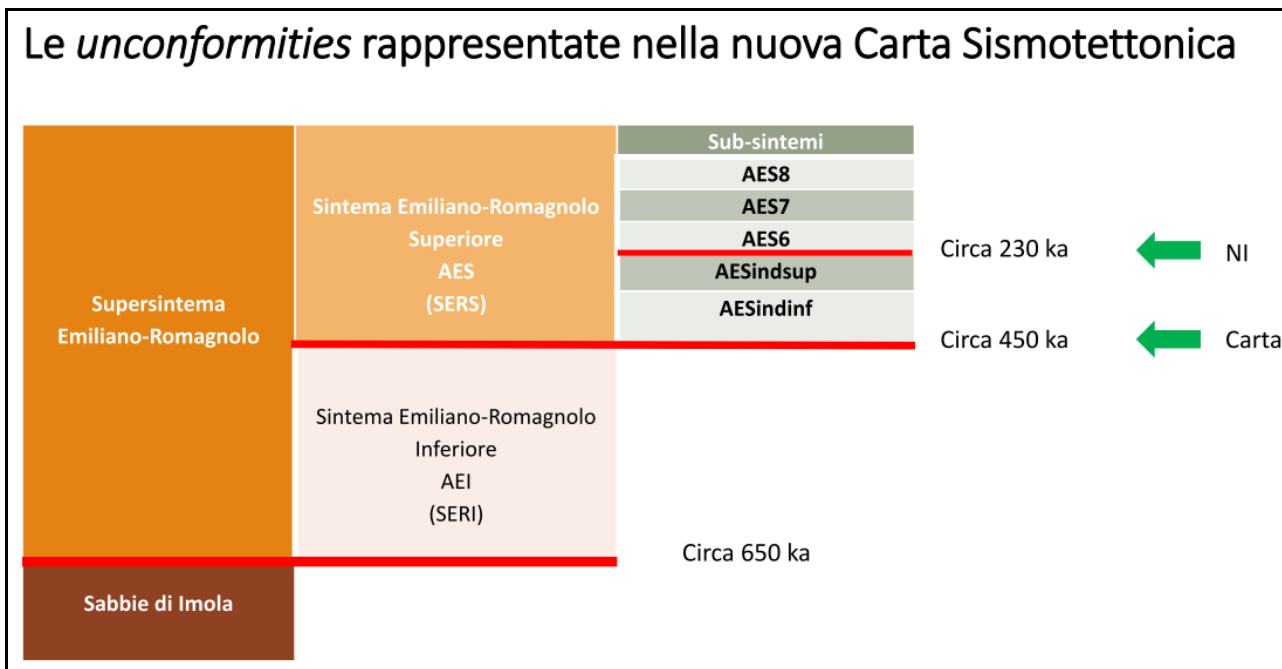
**Figura 4-1** – Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E'  
(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

In base alle proprietà elasto-meccaniche e alla posizione stratigrafica, le successioni inquadrate nel Supersintema Emiliano-Romagnolo (Foglio 187 “Codigoro”, 205 “Comacchio”), sono state qui attribuite ai “terreni di copertura” (**FIGURA 4.2**).





## Le *unconformities* rappresentate nella nuova Carta Sismotettonica



**Figura 4-3** - *schema deposizionale dell'area allo studio. Schema delle relazioni fra scala cronologica, unità chronostratigrafiche, fasi paleoclimatiche tardoquaternarie, unità e limiti inconformi utilizzate nella cartografia del 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 4.4** e **4.5** 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.

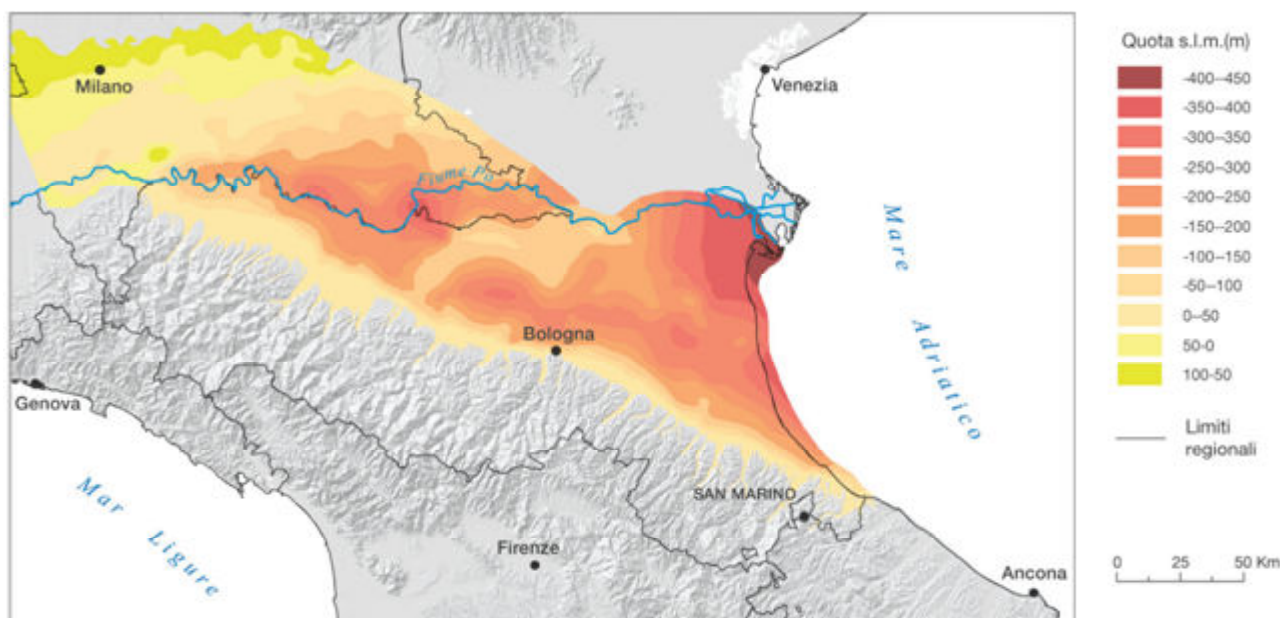


Figura 4.38: mappa (isobate s.l.m.) della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (0,45 Ma).

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

**Figura 4-4 - Isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES).**

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



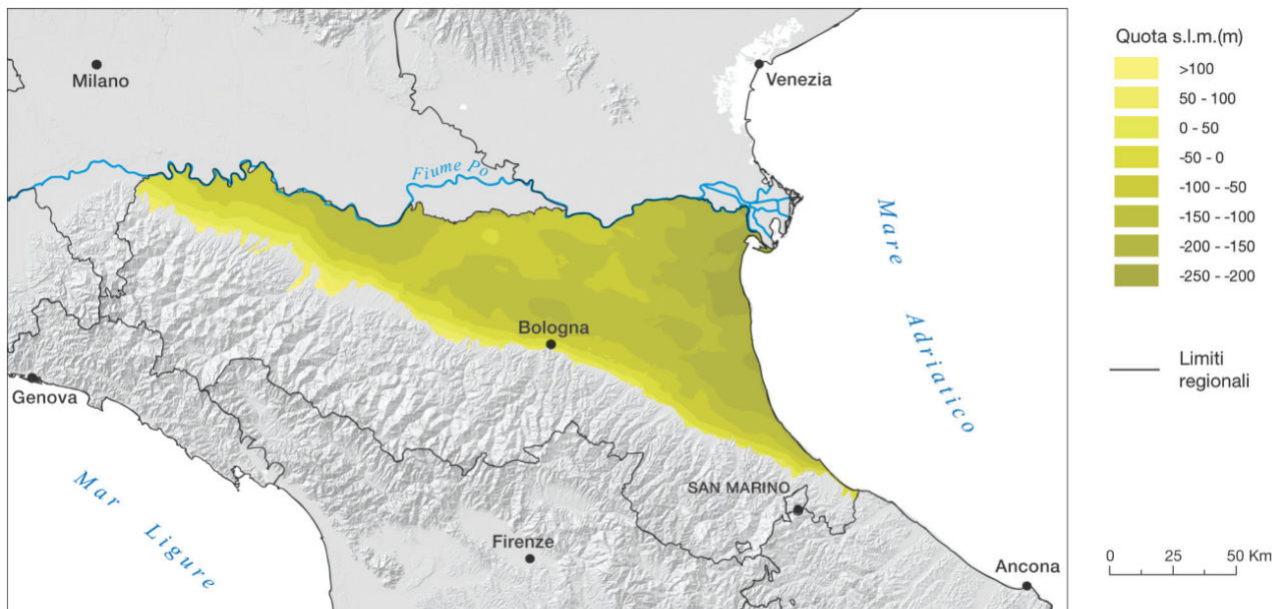


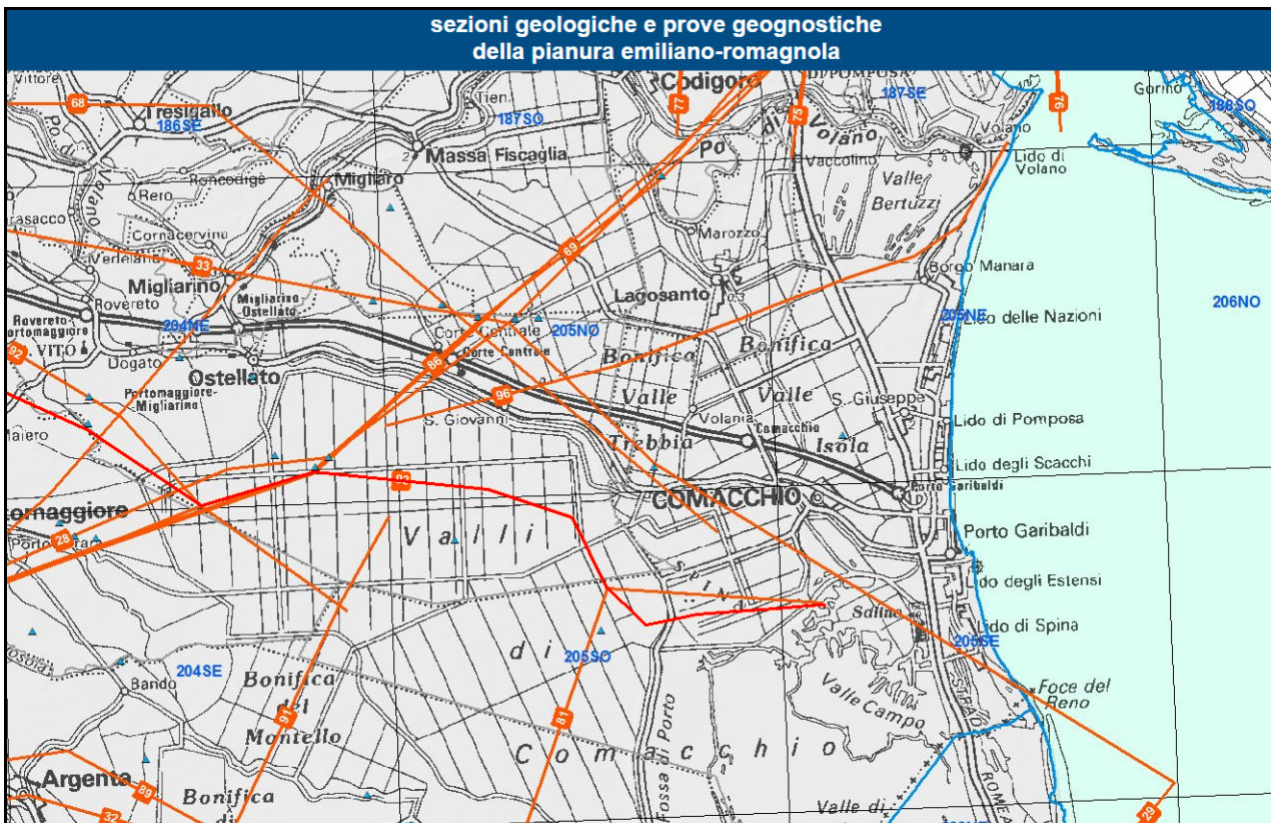
Figura 4.39: mappa delle isobate della base del subsistema di Bazzano (0,25-0,23 Ma).

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

**Figura 4-5 - Isobate della base del subsistema di Bazzano (AES6)**

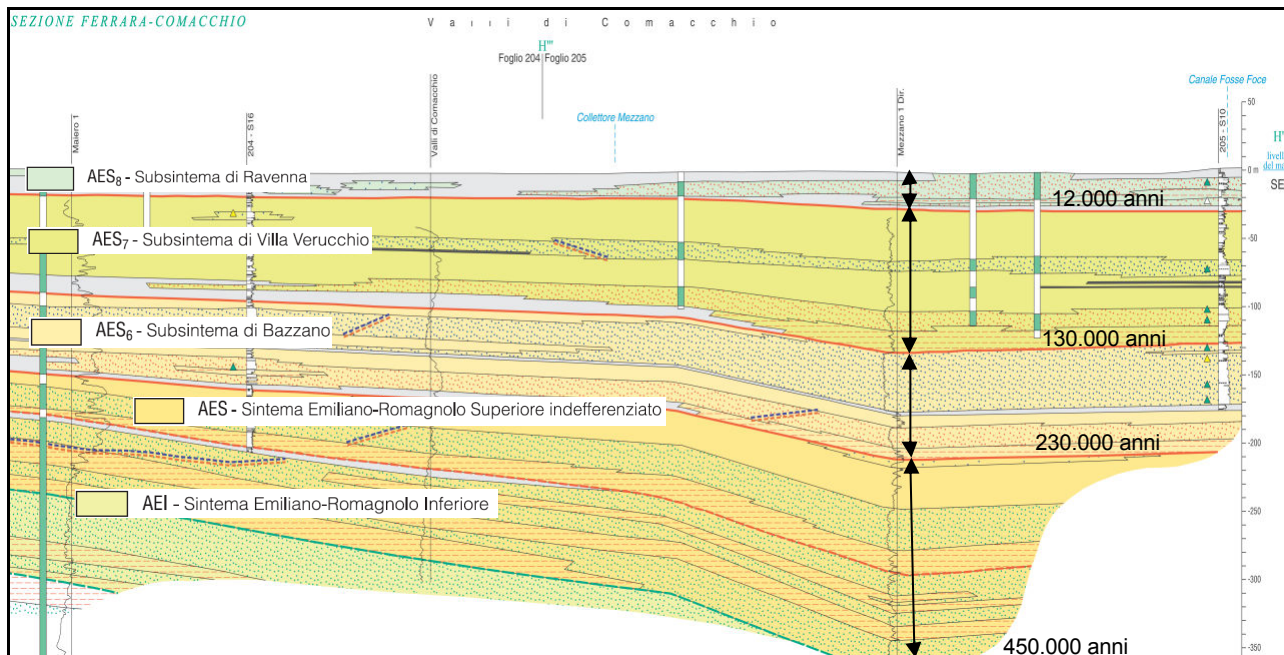
Sotto a Comacchio la base del subsistema di Bazzano (0,25-0,23 Ma) si colloca a tra -150m e -250m dal livello mare.

Nel sito del servizio geologico e simico della regione Emilia Romagna è stata reperita la sezione stratigrafica Sez.093 ubicata in **FIGURA 4.6**; essa attraversa il territorio comunale di Comacchio da ovest ad est. In essa (**FIGURA 4.7**) è stata evidenziata la suddivisione nei Subsistemi principali e le loro età.



**Figura 4-6 – Sezione n.93**





UNITÀ STRATIGRAFICHE	LITOLOGIE DEI PRINCIPALI AMBIENTI DEPOSIZIONALI
AES <sub>8</sub> - Subsistema di Ravenna	Sabbie fluviali (provenienza appenninica)
AES <sub>7</sub> - Subsistema di Villa Verucchio	Sabbie fluviali (provenienza padana)
AES <sub>6</sub> - Subsistema di Bazzano	Sabbie fluvio-deltizie e di piattaforma indefferenziata (provenienza padana)
AES - Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore indefferenziato	Sabbie di barriera trasgressiva e cordone litorale
AEI - Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore	Argille e limi organici di palude-laguna (piana costiera)
Limite di Subsistema e/o di ciclo trasgressivo-regressivo	Argille e limi di prodelta e piattaforma
Limite di Sintema	Argille e limi con sostanza organica (piana alluvionale)
H <sub>2</sub> O <sub>d</sub> H <sub>2</sub> O <sub>s</sub> Interfaccia acqua dolce/salmastra	

**Figura 4-7** - Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 350 m 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. SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI)**

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

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

#### **4.3. SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)**

Il sistema Emiliano-Romagnolo Superiore forma la porzione più recente del supersistema Emiliano-Romagnolo. Il limite superiore del sistema corrisponde alla superficie topografica. Al margine dell'Appennino e in corrispondenza della Dorsale Ferrarese, la sua base corrisponde ad una discordanza erosiva che tronca 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.

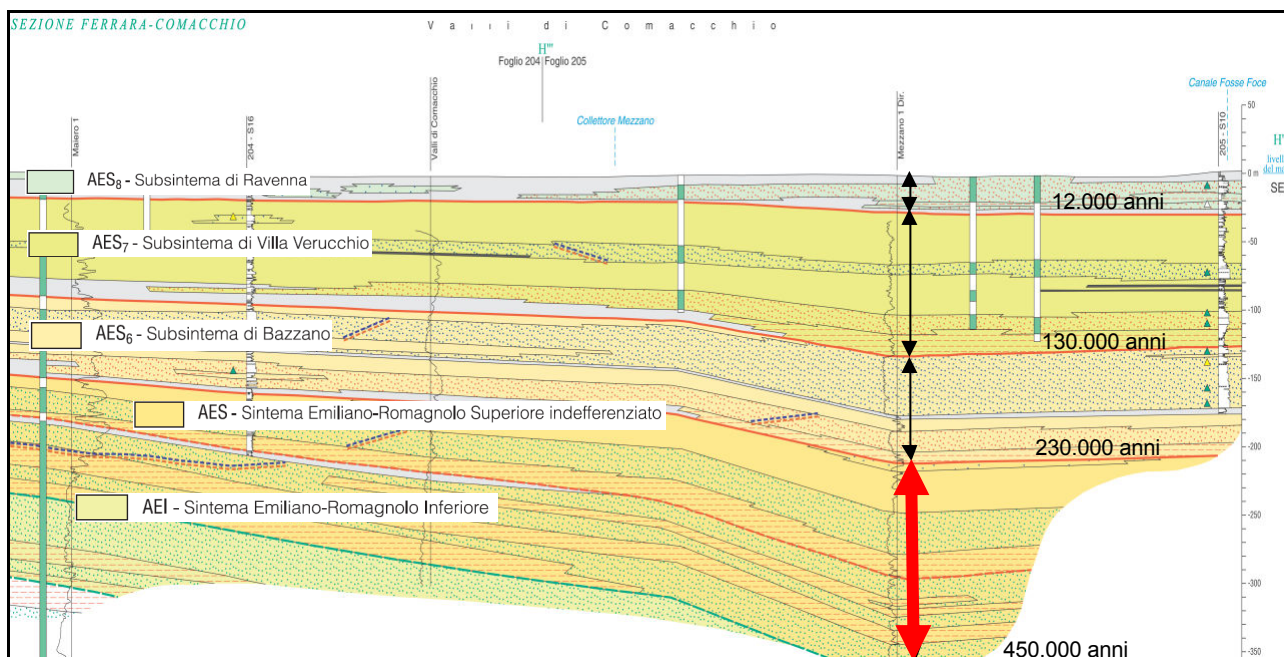


Figura 4-8 - Suddivisione dei cinque cicli deposizionali trasgressivo-regressivi



#### 4.4. SUBSISTEMA DI BAZZANO – AES 6

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

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

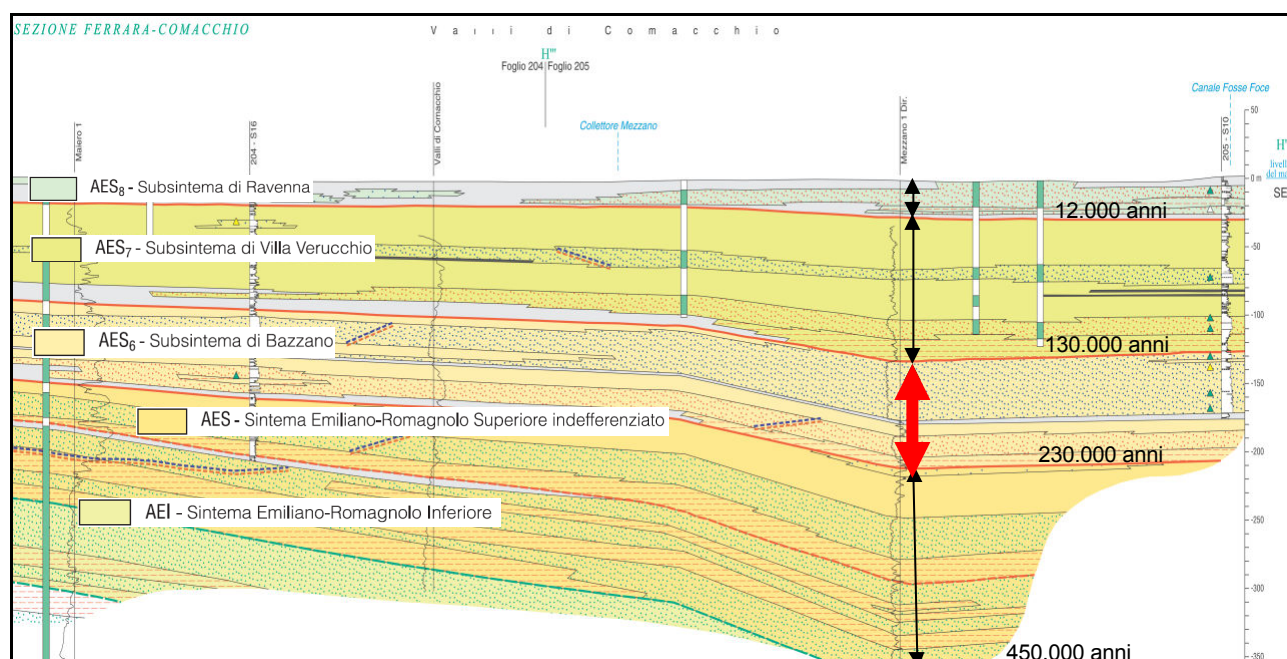


Figura 4-9 - il Subsistema AES6

#### 4.5. SUBSISTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7

L'unità affiora nella fascia pedeappennica 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 poggianti 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 sfrangiano poi in corpi nastriformi di canale.

Questi depositi grossolani corrispondono al sistema acquifero A1 (Regione Emilia-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).

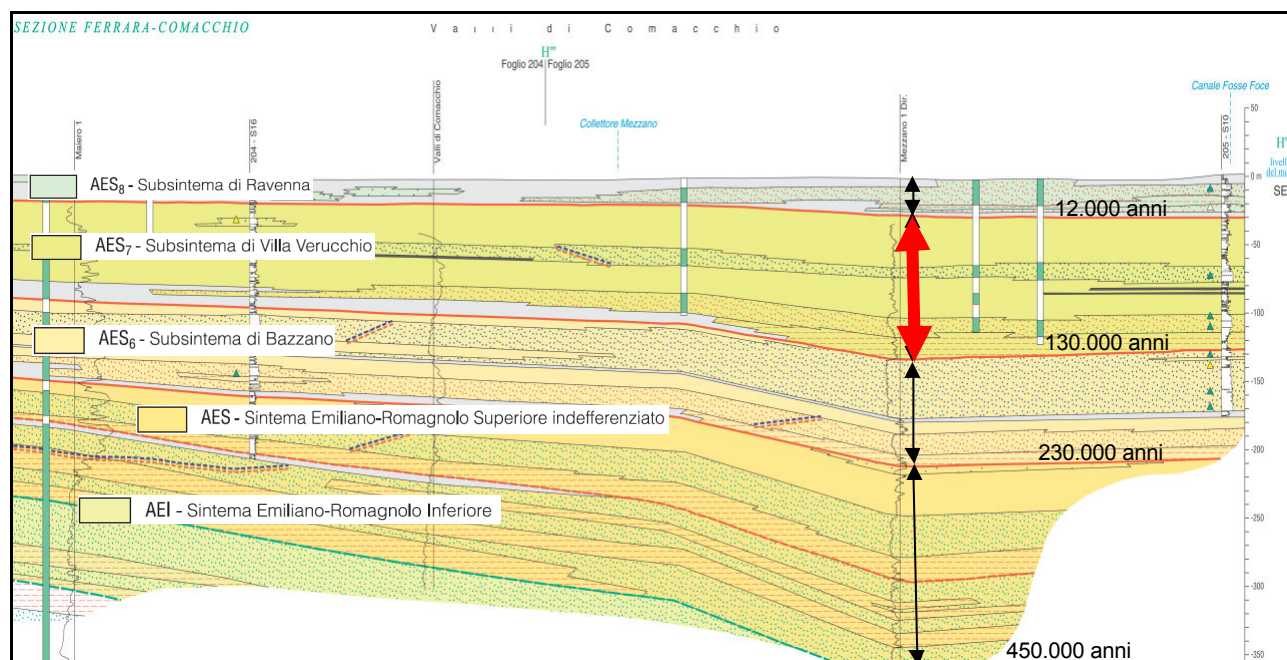


Figura 4-10 - il Subsistema AES7

#### 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 subsistema forma un'ampia piana di sabbia, solcata da cordoni litorali, intercalati dai corpi dei fiumi appenninici e, a partire dalla latitudine di Ravenna, dei canali distributori del Delta del Po. Nelle aree depresse fra un cordone e l'altro, possono essere presenti sottili depositi argillosi di palude costiera salmastra. Sedimenti fini sono ben sviluppati nelle aree interdistributrici del Delta del Po, depositi sia in ambienti dulcicoli, sia salmastri, anche di formazione relativamente recente (es. Valli di Comacchio). Nelle aree meridionali, il tetto del subsistema, che come abbiamo visto coincide con la superficie topografica, presenta suoli con diverso grado d'alterazione pedogenetica. Suoli maturi sono, al contrario, praticamente assenti nell'area del Delta del Po, sia per la natura permeabile e relativamente stabile delle sabbie litorali, sia per la bonifica e la messa a coltura recente di molte aree, precedentemente sommerse.

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

Nelle aree di alta pianura, AES8 poggia con contatto netto su ghiaie e sabbie di conoide alluvionale che formano il tetto di AES7. La porzione inferiore del ciclo è frequentemente formata da sedimenti fini di pianura alluvionale mal drenata, che si chiudono progressivamente verso la fascia pedecollinare (es. parte SE del Foglio 240). La parte regressiva è formata da depositi di pianura 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 pianura 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 CodiComacchio. La successione regressiva è inizialmente rappresentata da sabbie di delta-estuario e da sabbie di cordone litorale, che in aree meridionali possono includere anche corpi ghiaiosi di spiaggia, a diversi livelli stratigrafici (Veggiani, 1965). Questi corpi grossolani sono di provenienza meridionale, in parte anche marchigiana. La porzione regressiva è dominata poi da spessi corpi di sabbie litorali e di fronte deltizia, a cui, in aree occidentali, seguono depositi di palude-laguna e di pianura deltizia ed alluvionale.

Nel settore a mare, il subsistema di Ravenna forma ampie aree di fondale (Correggiari et alii, 1996a; Correggiari et alii, 1996b; Trincardi & Argnani, 2001). La sua base corrisponde ad un contatto erosivo su depositi di pianura 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 redistribuzione di fanghi fluviali ad opera di correnti marine, che nell'alto Adriatico formano una cella ad andamento antiorario. Allontanandosi dalla costa, al fondo affiorano direttamente i depositi trasgressivi od addirittura i depositi continentali sviluppati al tetto di AES7, per la mancata deposizione del subsistema di Ravenna.

All'interno del Foglio Codigoro, la base del subsistema, non affiorante, è marcata dalla sovrapposizione in onlap di depositi trasgressivi, in facies di pianura costiera, su una superficie di discordanza, incisa in sabbie di media

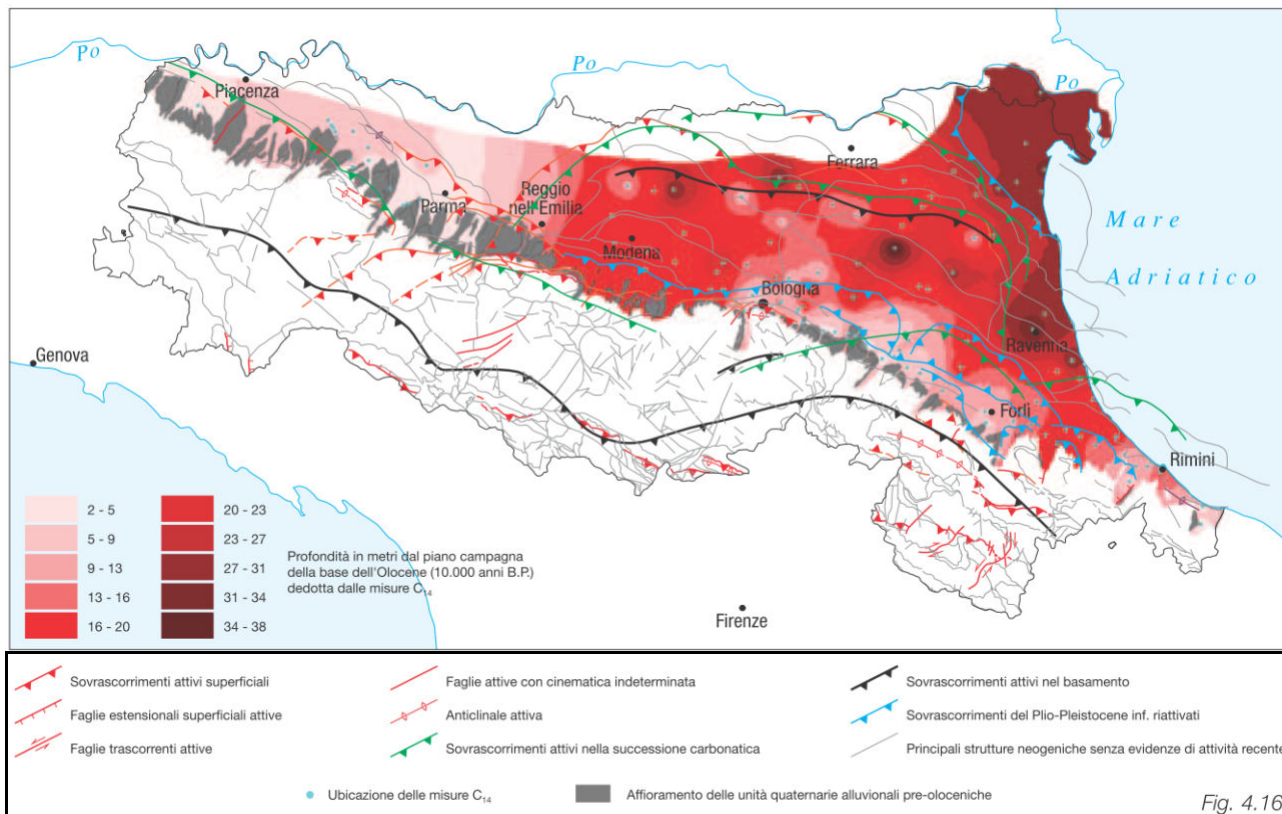
pianura alluvionale, appartenenti alla parte sommitale del subsistema di Villa Verrucchio (AES7). In pochi sondaggi e penetrometrie, si osserva l'amalgamazione deposizionale fra sabbie fluviali o costiere del subsistema di Ravenna e le sottostanti sabbie continentali di AES7. L'architettura deposizionale di AES8 è stata ricostruita con particolare dettaglio e mostra sostanziali analogie evolutive con quella sviluppata nei fogli adiacenti (205-Comacchio e 223-Ravenna). Sedimenti di pianura costiera e laguna salmastra sono troncati dalla superficie di rimaneggiamento trasgressivo, ben sviluppata nella parte centro-orientale del Foglio; seguono importanti depositi retrogradanti di delta-estuario, ricoperti dalla superficie di massima trasgressione. La successione regressiva è inizialmente dominata da ampi corpi di sabbie bioclastiche di delta-estuario, a cui fanno seguito corpi progradanti di sabbie di fronte deltizia, spiaggia, cordone litorale e duna eolica. Nei settori orientali, sono ampiamente sviluppati fanghi di prodelta; in quelli occidentali, sono comuni i sedimenti fini di piana interdistributrice, intercalati a sabbie di riempimento di canale distributore. Lo spessore dell'unità, all'interno del Foglio 187, aumenta complessivamente verso oriente, da circa 20 a 37 m. Il subsistema di Ravenna è attribuito all'Olocene, con età comprese da circa 10.000 anni B.P. all'Attuale. Vari campioni di argille organiche e resti vegetali provenienti dalla parte inferiore dell'unità hanno fornito datazioni  $^{14}C$  non calibrate intorno ai 9.400 anni B.P.

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

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

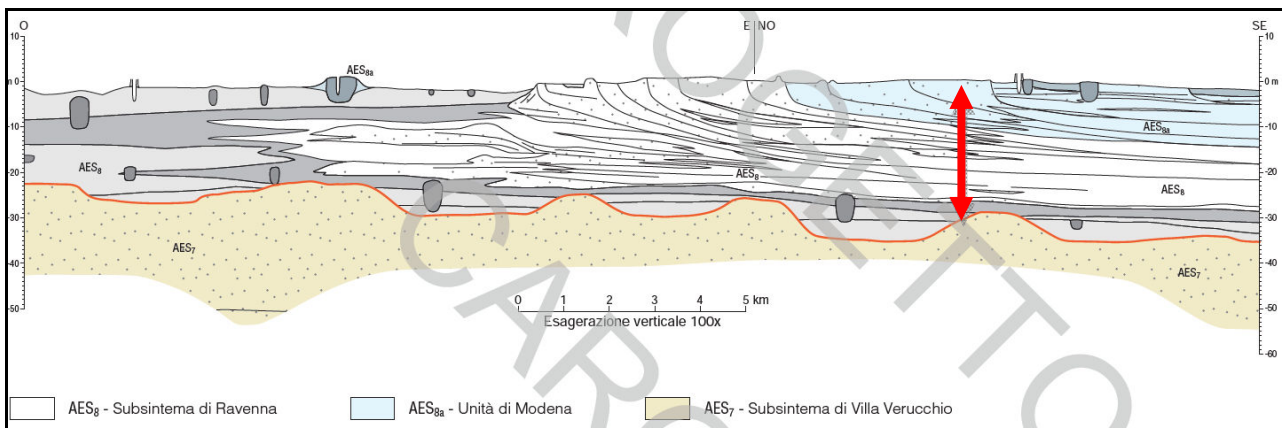
Nella parte centrale del Foglio, questa unità è generalmente assente, mentre nell'area occidentale essa è limitata ai depositi di argine e tracimazione dei canali distributori del Po di età medievale e moderna. L'unità di Modena inquadra i depositi più recenti del Foglio, compresi quelli in evoluzione. Pertanto essa include, concettualmente, i depositi fluviali (b1) in evoluzione che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente. All'interno del Foglio Codigoro, lo spessore di questa unità è compreso fra 0 e 31 m circa. Ove questa unità è assente, affiorano direttamente in superficie porzioni precedenti del subsistema di Ravenna (fig. 16). AES8a è riferita all'epoca post-romana, in base alla datazione dell'unità sottostante, all'assenza di reperti archeologici premedievali non rimaneggiati ed allo scarso sviluppo dell'alterazione pedogenetica, anche in aree drenate. I dati storici ed archeologici e datazioni al  $^{14}C$  indicano che l'unità si è deposta a partire dal V-VI secolo d.C. (Bondesan, 1986, Ciabattoni, 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 4-11** - Spessore dei sedimenti olocenici appartenenti al Subsystema di Ravenna AES 8.

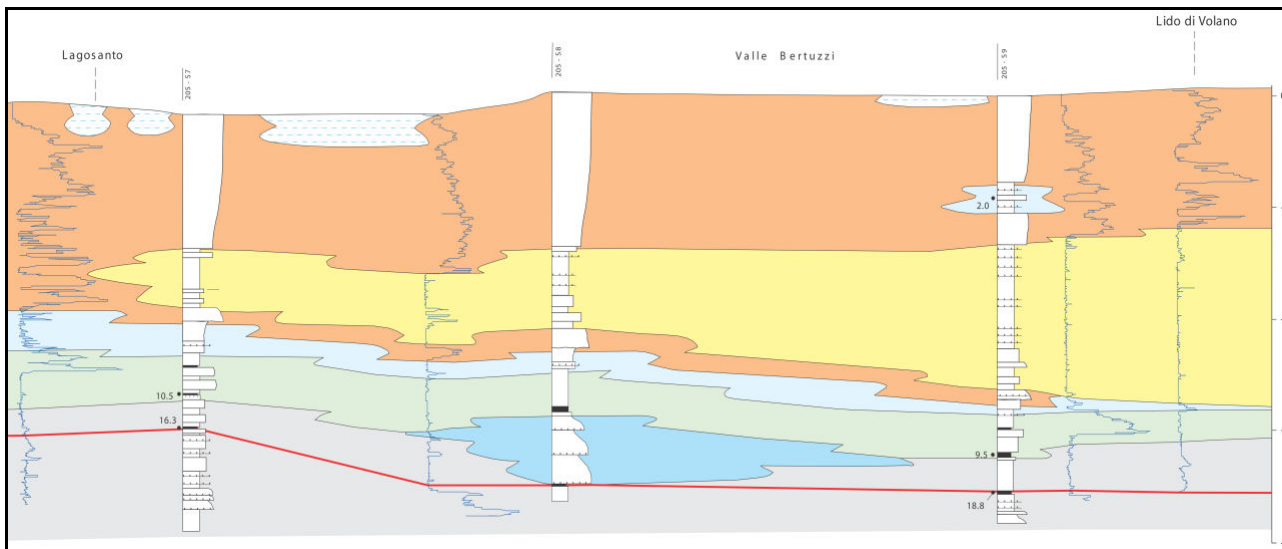
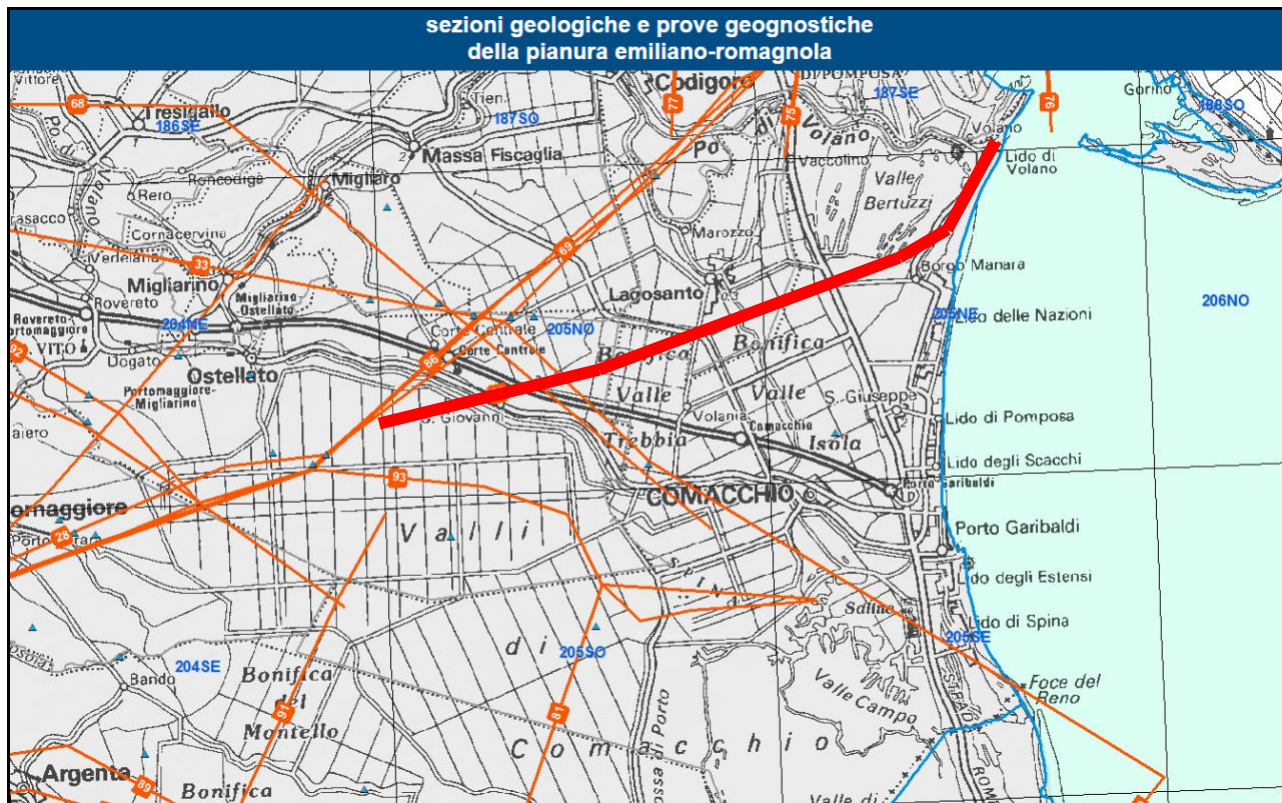
Nella **FIGURA 4.12** si riporta una sezione geologica di dettaglio dei primi 40/50m di terreno in cui si può osservare che la parte sommitale del Subsystema di Ravenna AES8, è denominata Unità di Modena AES8a. Essa contiene i depositi più recenti in cui sono rinvenibili materiali archeologici romani.



**Figura 4-12** - Rapporto stratigrafico tra AES 8 e AES 8a

Allegate alla relazione vi sono le 4 sezioni geologiche passanti per il comune di Comacchio, pubblicate sul sito del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna.





**DEPOSITI PIANA DELTIZIA E LITORALI**

- argille e limi ricchi in sostanza organica di laguna e baia interdistributrice
- argille, limi e sabbie di piana costiera
- argille e limi di prodelta e transizione alla piattaforma
- sabbie di cordone litorale (fronte deltizia e piana di sabbia)
- argille e limi ricchi in sostanza organica intercalati a torbe di palude e area interdistributrice

**DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE**

- sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale
- argille e limi di piana inondabile

**Figura 4-13 - Rapporto stratigrafico tra AES8 e AES7 in una sezione passante per Comacchio (Sez. 74).**

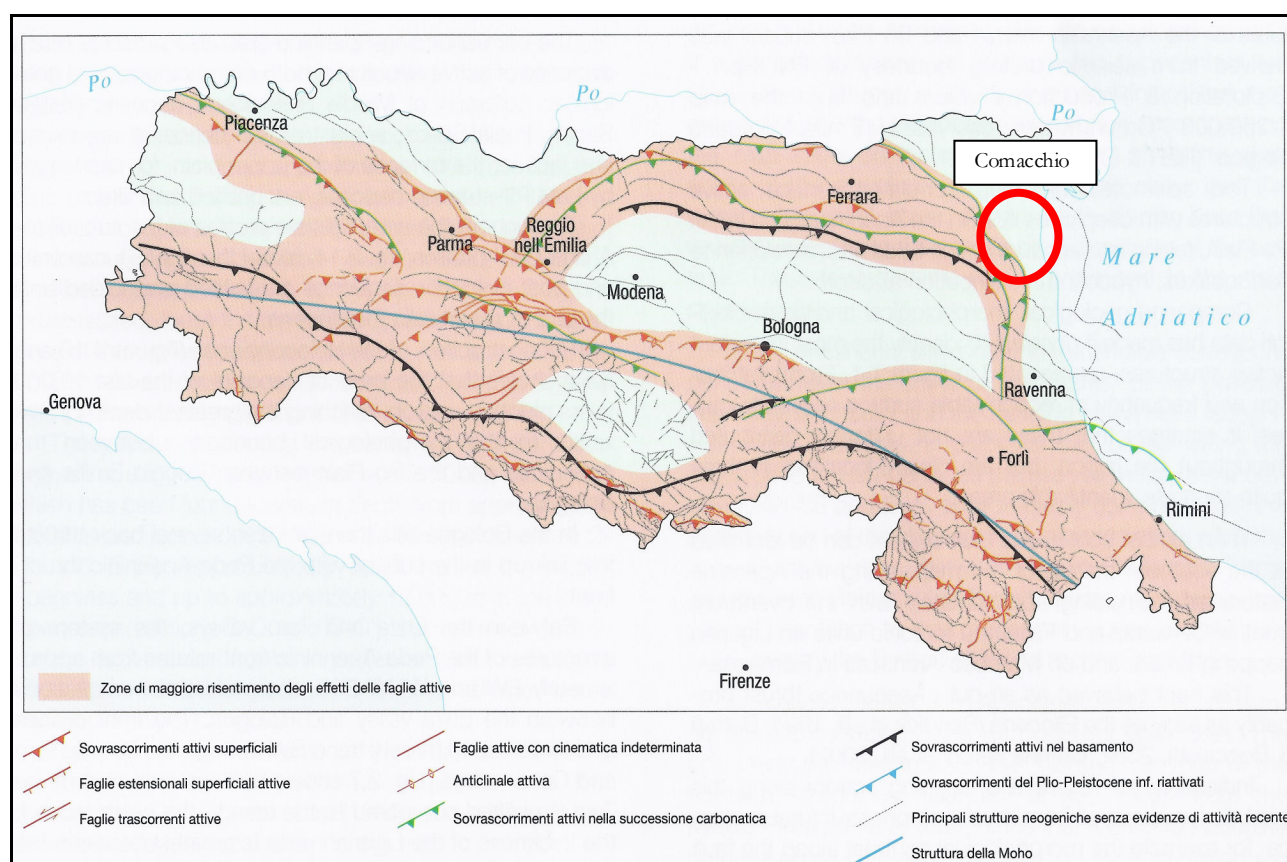
## 5. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

### 5.1. CAUSE SCATENANTI PER LA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

Negli studi di microzonazione sismica di III 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 Comacchio si sono individuate i seguenti effetti locali:

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

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



**Figura 5-1** - Ubicazione del territorio comunale di Comacchio rispetto alle delle fasce di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive.

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

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

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

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

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

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

Fattore di Amplificazione **PGA**

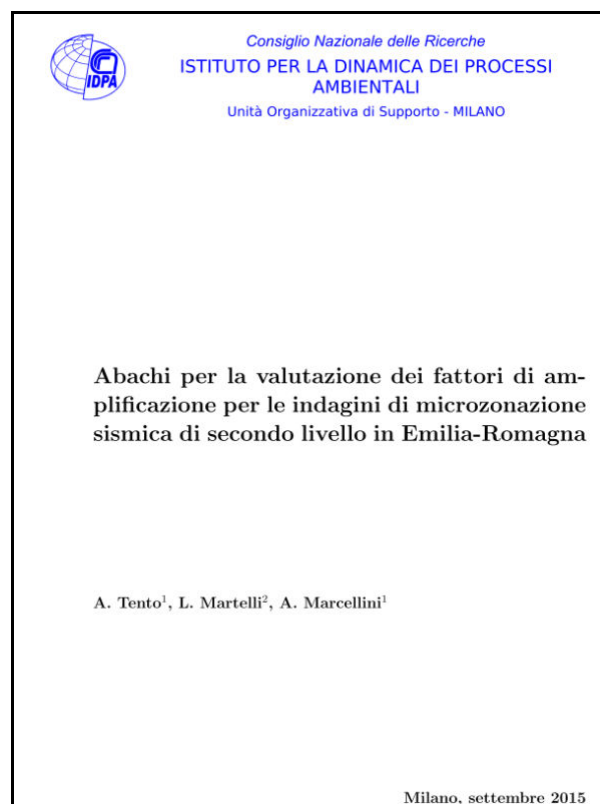
$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

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

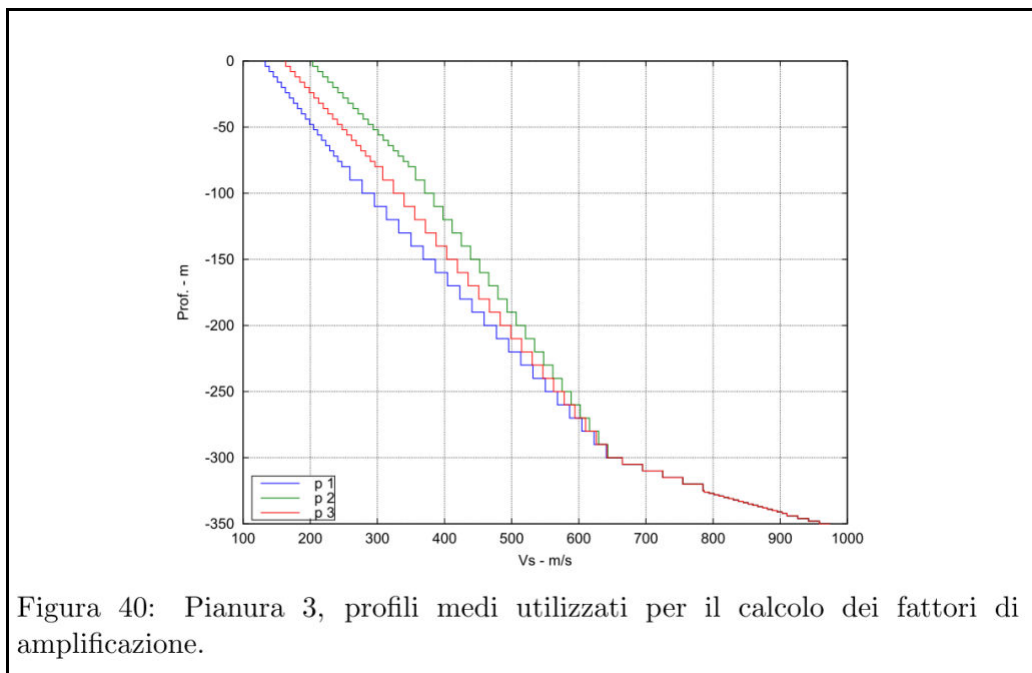
$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

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

È però da considerare che recenti studi (Tento, Martelli, Marcellini 2015), evidenziano che in terreni ove il bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/sec, **FIGURA 5.2**) è profondo oltre i 300m dal p.c. e i valori di  $V_{S30}$  sono molto bassi, i valori dei fattori di amplificazione sismica sono prossimi all'unità (**FIGURA 5.3**).

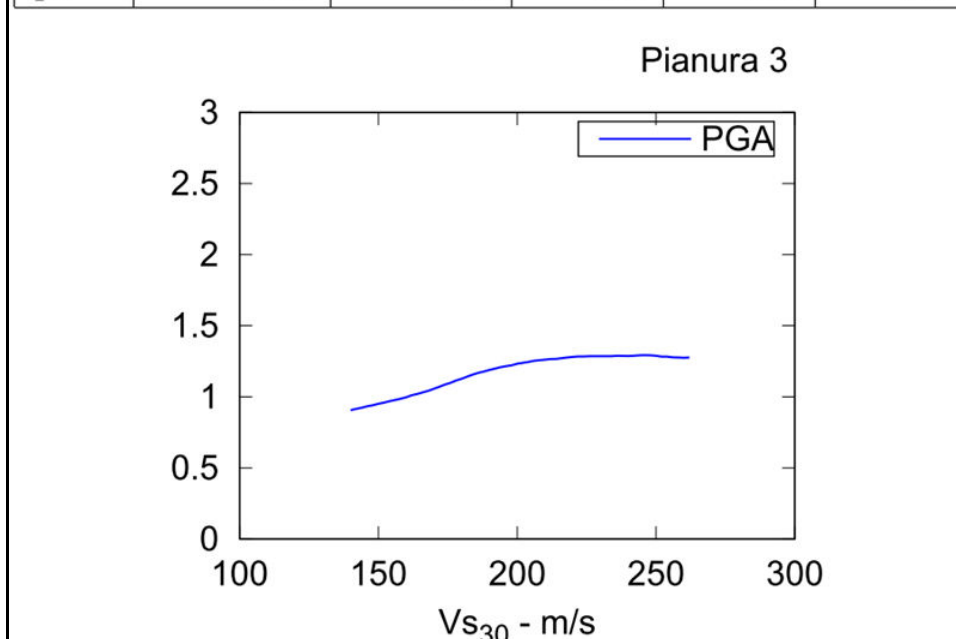






*Figura 5-2 - Profilo di Vs con bedrock sismico oltre i 300m di profondità*

Prof.	$Vs_{30}$ m/s	FA PGA	FA SI1	FA SI2	FA SI3
p1	152	1.1	1.2	2.3	2.6
p2	227	1.3	1.5	2.2	2.4
p3	185	1.3	1.4	2.3	2.6



*Figura 5-3 - Per valori di  $Vs_{30}$  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  $Vs_{30}$  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 Comacchio. Ci viene di conforto la storia scritta che non evidenzia terremoti significativamente importanti nell'area allo studio. Nell'affrontare il terzo livello di approfondimento della microzonazione sismica il maggior dato di incertezza deriva 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 e III livello definiscono le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.). Queste microzone di fatto identificano degli ambiti geologici e geomorfologici che possono avere dei limiti piuttosto netti rispetto alle aree confinanti o piuttosto sfumati. Quindi l'esercizio della perimetrazione risulta del tutto teorico, poiché si basa su indicazioni provenienti dall'interpretazione delle ortofoto, dalle quote assolute dei piani campagna e dalle informazioni desumibili dalle indagini geologiche raccolte nello studio. La densità delle indagini non potrà mai essere esaustiva per la delimitazione di una microzona.

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

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

## 6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

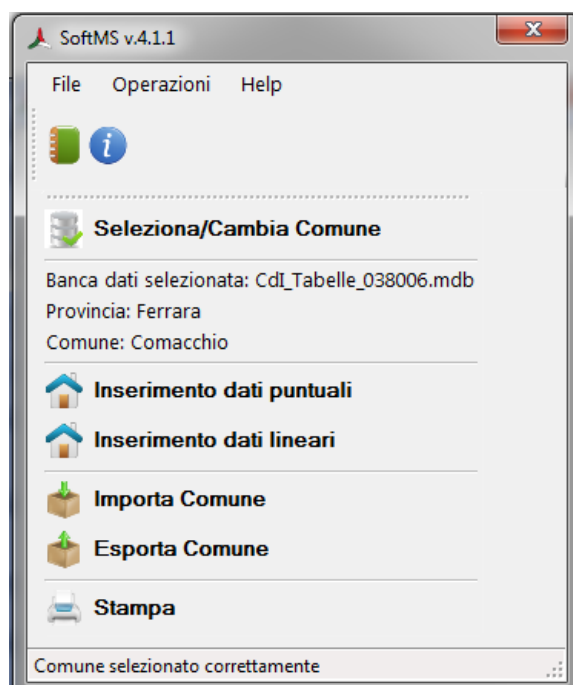
Una parte consistente di questo lavoro è quello dell'archiviazione di tutte le indagini bibliografiche raccolte e di nuova realizzazione appositamente eseguite per questo studio, in apposito database protetto, attraverso il Soft\_MS Vers. 4.1.1 del Dipartimento di Protezione Civile Nazione.

Soft\_MS Vers. 4.1.1 è uno strumento per l'inserimento dei dati relativi alle indagini degli studi di microzonazione sismica così come previsto dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

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

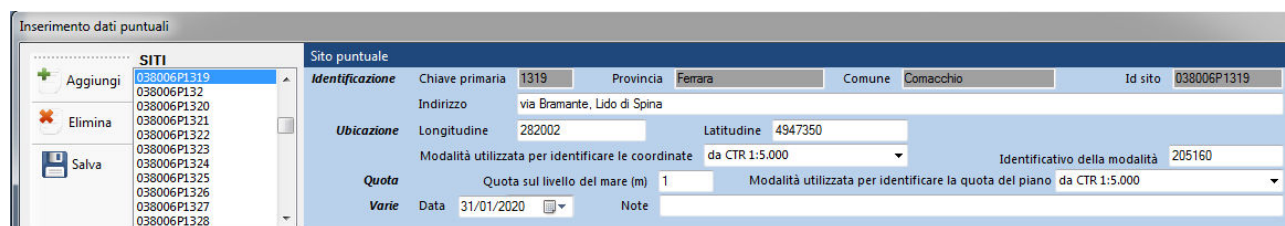
All'avvio del Soft\_MS Vers. 4.1.1 si procede con l'inserimento di nuovi set di dati selezionando la Regione, Provincia e il Comune in cui si intende procedere all'inserimento dei dati. Il software in automatico genera i codici identificativi di quel Comune selezionato; nel caso specifico per il Comune di Comacchio il codice identificativo è 08 (identificativo Regione), 038 (identificativo Provincia) e 006 (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).

Indagine puntuale	
<b>Identificativo</b>	Chiave primaria: 1345   Classe dell'indagine: Geotecnica in sito   Tipo d'indagine: Penetrometrica statica cor   Id indagine: 038006P1319CPTU1346
<b>Tracciabilità</b>	Precedente identificativo:   Nome precedente archivio:   Note:
<b>Quota/spessore</b>	Profondità del top (m): 0   Profondità del bottom (m): 30   Spessore complessivo (m): 30 Quota del top (m): 1   Quota del bottom (m): -29
<b>Varie</b>	Data: 31/01/2020   Pagina: 1   Documento: Selezione documento: 038006P1319CPTU1346.pdf

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

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

Parametri puntuali	
<b>Identificazione</b>	Chiave primaria: 265   Tipologia del parametro: velocità onde S   Id misura: 038006P1319SCPT134
<b>Quota</b>	Profondità del top (m): 0   Profondità del bottom (m): 2   Spessore complessivo (m): 2 Quota del top (m): 1   Quota del bottom (m): -1
<b>Valore</b>	Valore: 193 m/s   Attendibilità misura: Alta (affidabile interpretabile)   Tabella valori:
<b>Varie</b>	Data: 31/01/2020   Note:

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

Sito lineare	
<b>Identificazione</b>	Chiave primaria: 1   Provincia: Ferrara   Comune: Comacchio   Id sito: 038006L1
<b>Ubicazione</b>	Longitudine del punto A: 281730   Latitudine del punto A: 4958874 Longitudine del punto B: 281816   Latitudine del punto B: 4958840
<b>Quota</b>	Modalità utilizzata per identificare il tracciato: da CTR 1:5.000   Identificativo della modalità: 205030 Quota sul livello del mare del punto A (m): 0,4   Quota sul livello del mare del punto B (m): 0,4
<b>Varie</b>	Data: 13/07/2007   Note:

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 Comacchio, dato il numero più contenuto.

Nel comune di Comacchio sono presenti indagini Lineari solo con classe dell'indagine Geofisica a tipologia 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 Comacchio è avvenuta per le 1321 indagini presenti nel territorio comunale, come segue:

	Tipologia di indagine	Numero indagini Banca dati Veronese
PENETROMETRIE E SONDAGGI	CPT	382
	CPTU	79
	SCPTU	21
	Sondaggio a carotaggio continuo	4
	TOTALE	485
INDAGINI GEOFISICHE	E.S.A.C.	4
	HVSR	19
	RE.MI.	5
	TOTALE	28
	<b>TOTALE INDAGINI VERONESE</b>	<b>513</b>

	Tipologia di indagine	Numero di indagini Bibliografiche
	CPT	404
	CPTU	117
	SCPTU	2
	DMT	4
	Sondaggi	214
	Pozzi	47
	ESAC	2
	HVSR	17
	TOTALE INDAGINI BIBLIOGRAFICHE	807
	<b>TOTALE INDAGINI</b>	<b>1321</b>



Tipologia di indagine	Indagini di nuova realizzazione
SCPTU	1

Per questa nuova versione del Soft\_MS 4.1.1 sono stati anche inseriti i Metadati relativi alla consegna del lavoro, così come richiesto dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

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

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

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

- Informazioni sui metadati:** ID Metadato (038006M1), Responsabile del metadato (geol. Thomas Veronese), e-mail Responsabile del metadato (t.veronese@studio-sst.it), Sito Responsabile del metadato (www.geologothomasveronese.it), Data del metadato (04/11/2019).
- Informazioni sul dato:** Proprietario del dato (Comune di Comacchio), e-mail Proprietario del dato (comune.comacchio@cert.comune.comacchio.fe.it), Sito Proprietario del dato (www.comune.comacchio.fe.it), Data del dato (04/11/2019), Descrizione dato (Studi di microzonazione sismica III livello), "Punto di contatto" del dato (Comune di Comacchio), e-mail "Punto di contatto" (comune.comacchio@cert.comune.comacchio.fe.it), Sito "Punto di contatto" (www.comune.comacchio.fe.it).
- Classificazioni, vincoli e copertura:** Scala (5000), Estensione (Ovest: 258835,790300705; Est: 4936730,16968385; Sud: 285423,371099307; Nord: 4966879,81475503).
- Qualità:** Precisione del dato (errore in metri) (0,1), Genealogia del dato (Banca dati regione Emilia Romagna, banca dati geol. Thomas 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 Comacchio 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.

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

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

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

## 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 4.1.1.

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 suddivisa in 3 tavole A, B e C ed interessa tutto il territorio comunale; in essa sono ubicate e classificate tutte le indagini contenute nel database creato per questo lavoro con il software MS del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

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













In aggiunta alle indagini reperite dai due archivi è stata realizzata una nuova indagini geognostica consistente in una prova penetrometrica statica a punta elettrica e piezocono sismico SCPTU spinta fino alla profondità di -30,0 m da p.c., eseguita nella pineta di Lido di Spina e prove di laboratorio geotecnico su campioni di terreno prelevati presso il carotaggio eseguito a Lido delle Nazioni.

Le indagini totali presenti nel territorio risultano essere 1321, così suddivise: n. 786 prove penetrometriche statiche CPT, n. 196 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU, n. 24 prove penetrometriche statiche con punta elettrica con piezocono e sismocono SCPTU, n. 4 prove dilatometriche DMT, n. 218 sondaggi a carotaggio continuo, n. 47 pozzi, n. 6 Array sismici ESAC, n. 5 indagini geofisiche Re.Mi. e n. 36 misure di microtremore a stazione singola HVSR.

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

Per ogni indagine realizzata corrisponde una diversa simbologia di rappresentazione, riportata nella legenda della tavola, come richiesto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.1.1:

# Legenda

	Sondaggio a carotaggio continuo
	Sondaggio a distruzione di nucleo
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica statica con piezocono
	Array sismico, ESAC/SPAC
	Pozzo per acqua
	Pozzo per idrocarburi
	Stazione microtremore a stazione singola
	Stratigrafia zona MS (teorica)
	Prova REfractionMICrotremors
	Confine dell'area oggetto dello studio di MS
	Confine Comunale ISTAT



## 7.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA

La Carta geologico-tecnica viene riprodotta in scala 1:10.000 suddivisa in 3 tavole A, B e C ed interessa tutto il territorio comunale

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

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

Nello specifico per questa carta sono state utilizzate le seguenti litologie dei terreni di copertura e i diversi ambienti genetico-deposizionali in cui si sono depositati, come richiesto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.1:

### LITOLOGIE

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

### AMBIENTI GENETICO-DEPOSIZIONALI

- cl: cordone litoraneo;
- pa: palustre.

Legenda	
Terreni di copertura	
<b>OL</b>	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità (pa = palustre)
<b>SM</b>	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (es = argine/barre/canali, cl = cordone litoraneo)




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

1) gli ambiti posti ad est del territorio e l'abitato di Volania sono dominati da sedimenti costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo (**SM**) di ambiente deposizionale costiero del tipo cordone litoraneo (**cl**).

2) dall'abitato di Comacchio andando verso ovest risulta invece dominato da sedimenti costituiti da limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità (**OL**) di ambiente deposizionale costiero del tipo palustre (**pa**).

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.

## Elementi geologici e idrogeologici

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

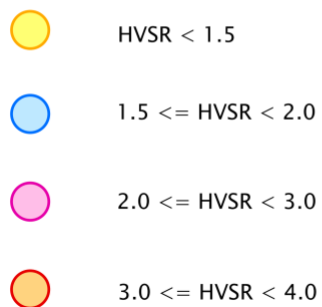
La carta geologico-tecnica mostra le tracce di n. 4 sezioni geologiche significative e rappresentative del modello del sottosuolo reperite dall'archivio della Regione Emilia Romagna. Le 4 sezioni geologiche profonde reperite sono la Sez. 33, la Sez. 81, la Sez. 93 e la Sez. 96.

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

La Carta delle frequenze naturali  $f_0$  del terreno viene riprodotta in scala 1:10.000 suddivisa in 3 tavole A, B e C ed interessa tutto il territorio comunale.

In questa carta sono rappresentate tutte le misure di microtremore a stazione singola presenti nel territorio comunale. Le prove HVSR vengono rappresentate da un simbolo di diverso colore in funzione della frequenza fondamentale  $f_0$  misurata con la prova; se minore a 1,50 di colore giallo, se compresa tra 1,50 e 2,00 di colore azzurro, se compresa tra 2,00 e 3,00 di colore rosa, se maggiore a 3,00 di colore arancione/rosso.

Frequenza:  $0.10 < F_0 \leq 1.10$  Hz



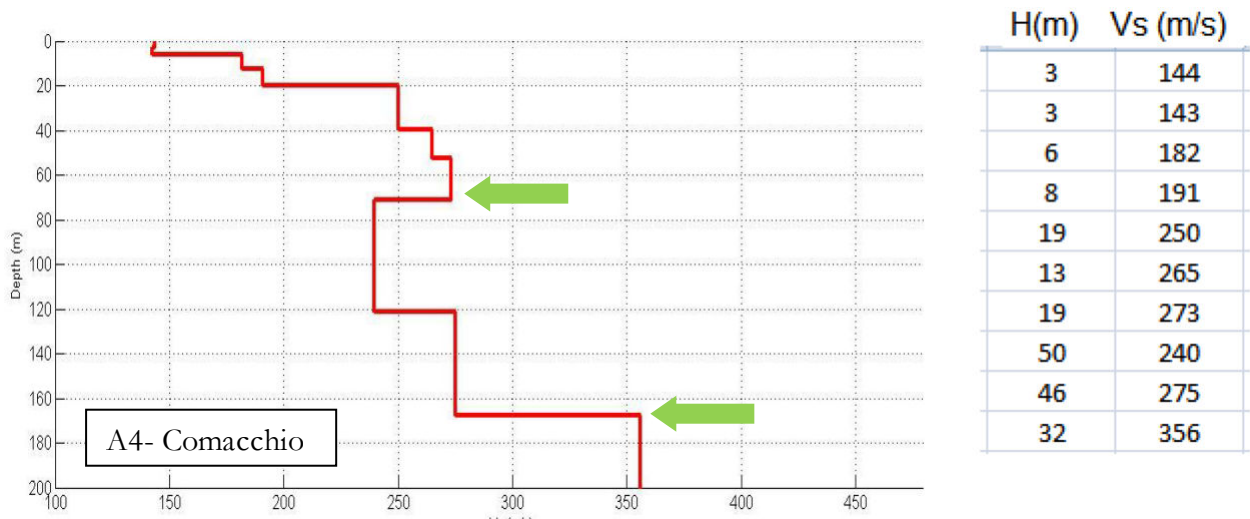
In **FIGURA 7.1** si riporta una immagine con alcune delle misurazioni fatte per questo studio sul territorio comunale di Comacchio.



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



In questo settore di pianura, con il bedrock sismico così profondo, a parere dello scrivente, la bassa frequenza di 0,20 Hz potrebbe essere riconducibile ad una superficie di contrasto a circa 160m/180m di profondità, che coinciderebbe con la base del subsistema di Bazzano AES6 (0,25-0,23 Ma); il modo di vibrare superiore ad 1 Hz pare riconducibile ad un contrasto di rigidezza più superficiale, presente a circa 70m di profondità (**FIGURA 7.2**).



**Figura 7-2** - Profilo di Vs profondo, con evidenziato il primo contrasto di impedenza che può essere all'origine del primo modo di vibrare

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

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

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica viene riprodotta in scala 1:10.000 suddivisa in 3 tavole A, B e C ed interessa tutto il territorio comunale.

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

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

Sono dunque emerse 2 diverse zone, suscettibili di amplificazioni locali, rappresentate con un codice differente 2001 e 2002. La suddivisione delle diverse zone omogenee è stata basata focalizzando lo studio sulla carta geologica del progetto C.A.R.G. dove si evidenziano la presenza o assenza di corpi sabbiosi alle diverse profondità di spessori più o meno importanti con terreni di copertura argilloso limosi di origine alluvionale caratterizzati da spessori variabili.

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

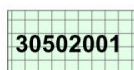
- **2001** Sabbie oloceniche affioranti di cordone litorale, con tetto sub-affiorante e spessore maggiore di 5,00 m.
- **2002** Sabbie oloceniche di cordone litorale, con tetto compreso tra 3,0 e 6,0 m da p.c. e con spessore maggiore di 5,00 m. Sopra prevalgono sedimenti fangosi talvolta organici di laguna.

Le MOPS 2001 e 2002 presentano quindi depositi sabbiosi nei primi 15m, quindi il loro codice identificativo di MOPS viene quindi anticipato dal codice 3050 di instabilità da 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'insorgere di fenomeni di espansione laterale (*lateral spreading*). Nel territorio di Comacchio non sono presenti aree topograficamente rilevate con grandi differenze di quote tali per cui si possano verificare questi fenomeni.

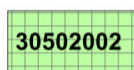
## Legenda

### Zone di Attenzione per Instabilità da liquefazione



ZA\_LQ – Zona di Attenzione per Liquefazione  
Zona 2001

Zona 1 – Sabbie oloceniche affioranti di cordone litorale, con tetto sub-affiorante e spessore maggiore di 5 m

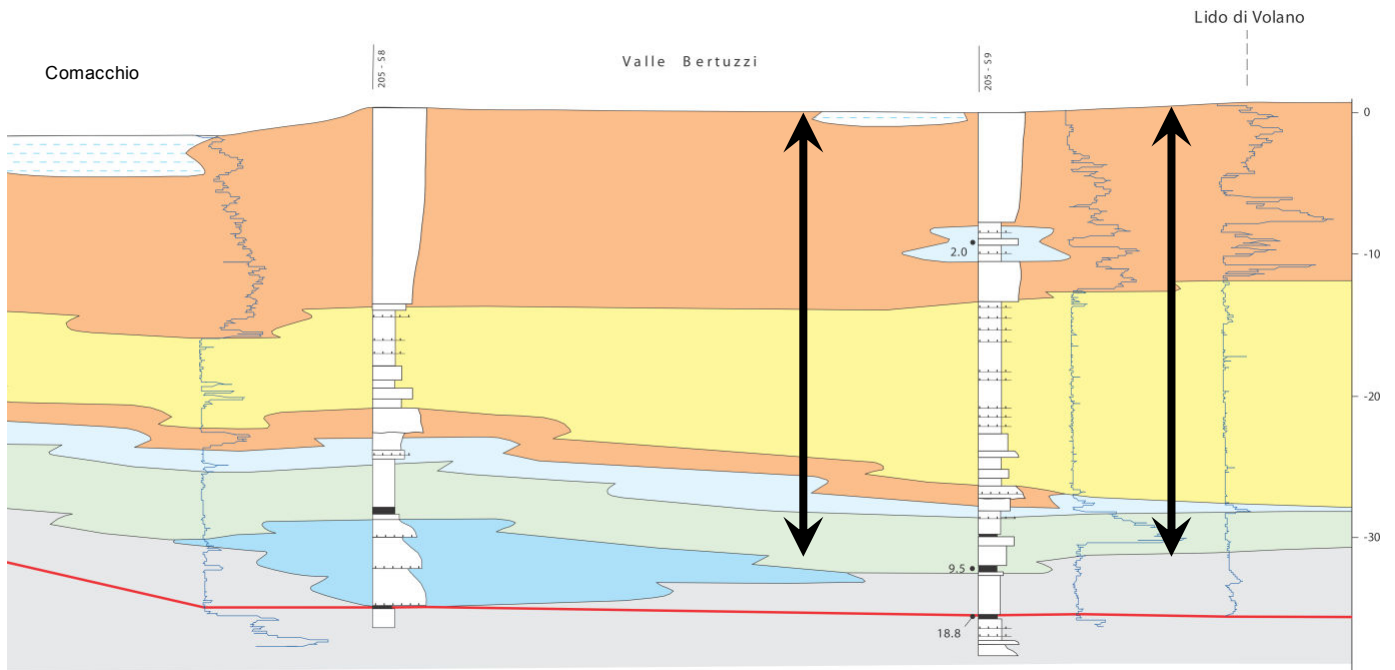


ZA\_LQ – Zona di Attenzione per Liquefazione  
Zona 2002



Zona 2 – Sabbie oloceniche di cordone litorale, con tetto compreso tra 3 e 6 m da p.c. e spessore maggiore di 5 m. Sopra prevalgono sedimenti fangosi talvolta organici di laguna.

## MOPS 2001






Sabbie oloceniche affioranti di cordone litorale, con tetto sub-affiorante e spessore maggiore di 5m



### DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE

-  sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale
-  argille e limi di piana inondabile

### DEPOSITI PIANA DELTIZIA E LITORALI

-  argille e limi ricchi in sostanza organica di laguna e baia interdistributrice
-  argille, limi e sabbie di piana costiera
-  argille e limi di prodelta e transizione alla piattaforma
-  sabbie di cordone litorale (fronte deltizia e piana di sabbia)
-  argille e limi ricchi in sostanza organica intercalati a torbe di palude e area interdistributrice

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U63-18	CPTU1

COMMITTENTE: C.A.D.F. s.p.a.

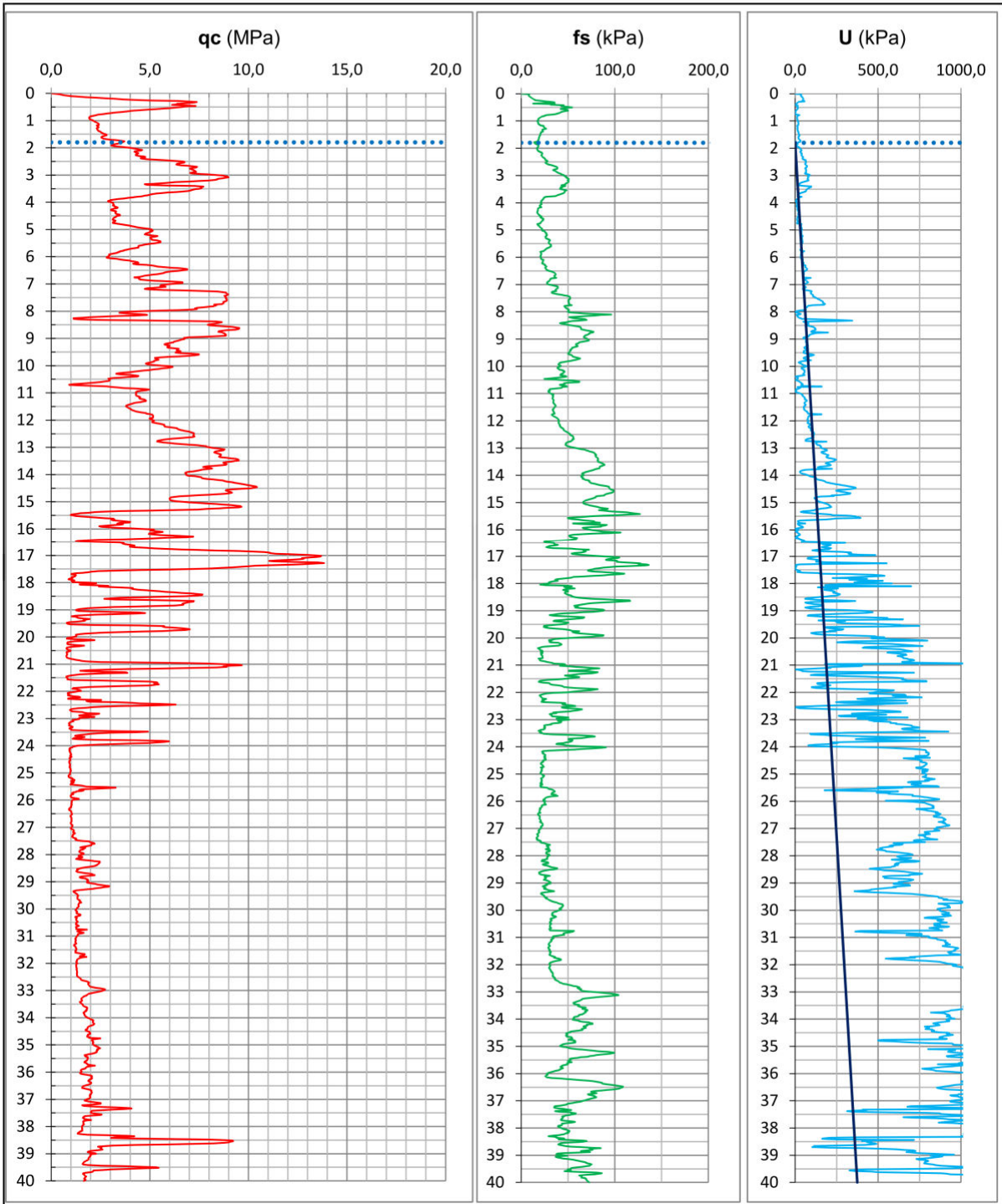
CANTIERE: via Scolo Spadina, Lido delle Nazioni (Fe)

DATA: 08/11/2018

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 40,00

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,80

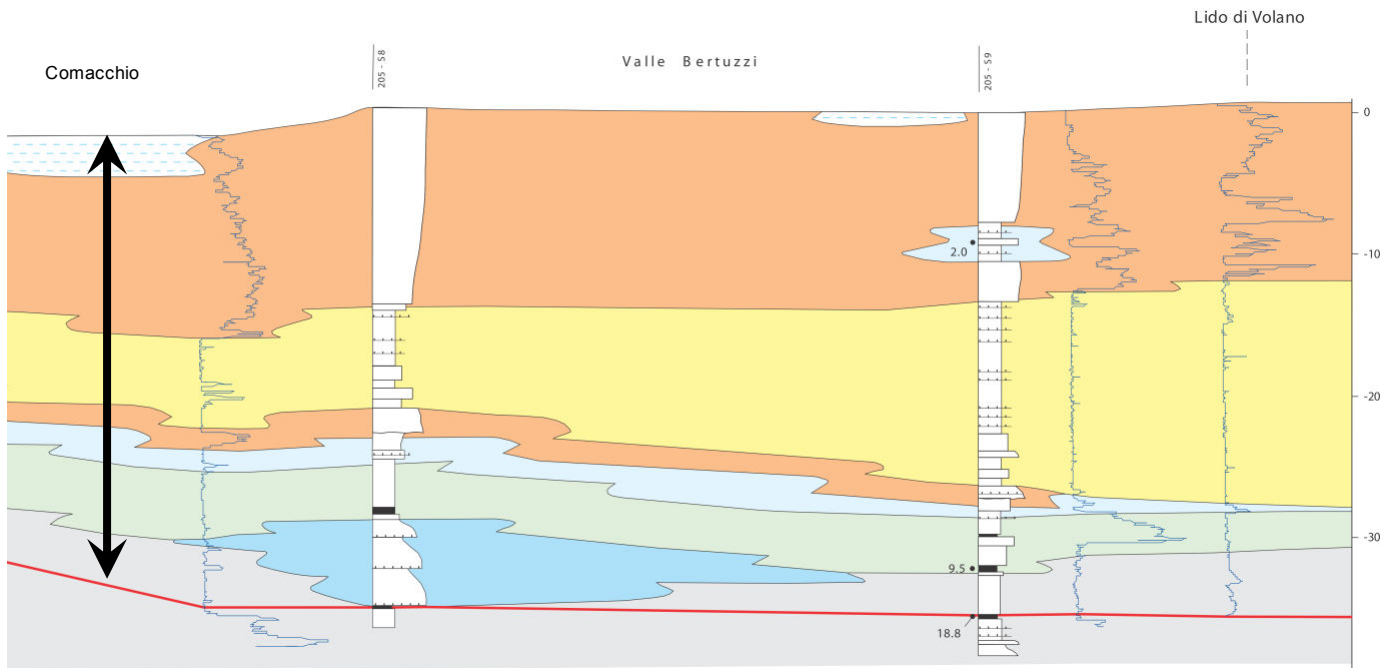
PREFORO (m da p.c.): 0,00







## MOPS 2002






Sabbie oloceniche di cordone litorale, con tetto compreso tra 3 e 6 m da p.c. e spessore maggiore di 5 m.  
Sopra prevalgono sedimenti fangosi talvolta organici di laguna.



### DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE

-  sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale
-  argille e limi di piana inondabile

### DEPOSITI PIANA DELTIZIA E LITORALI

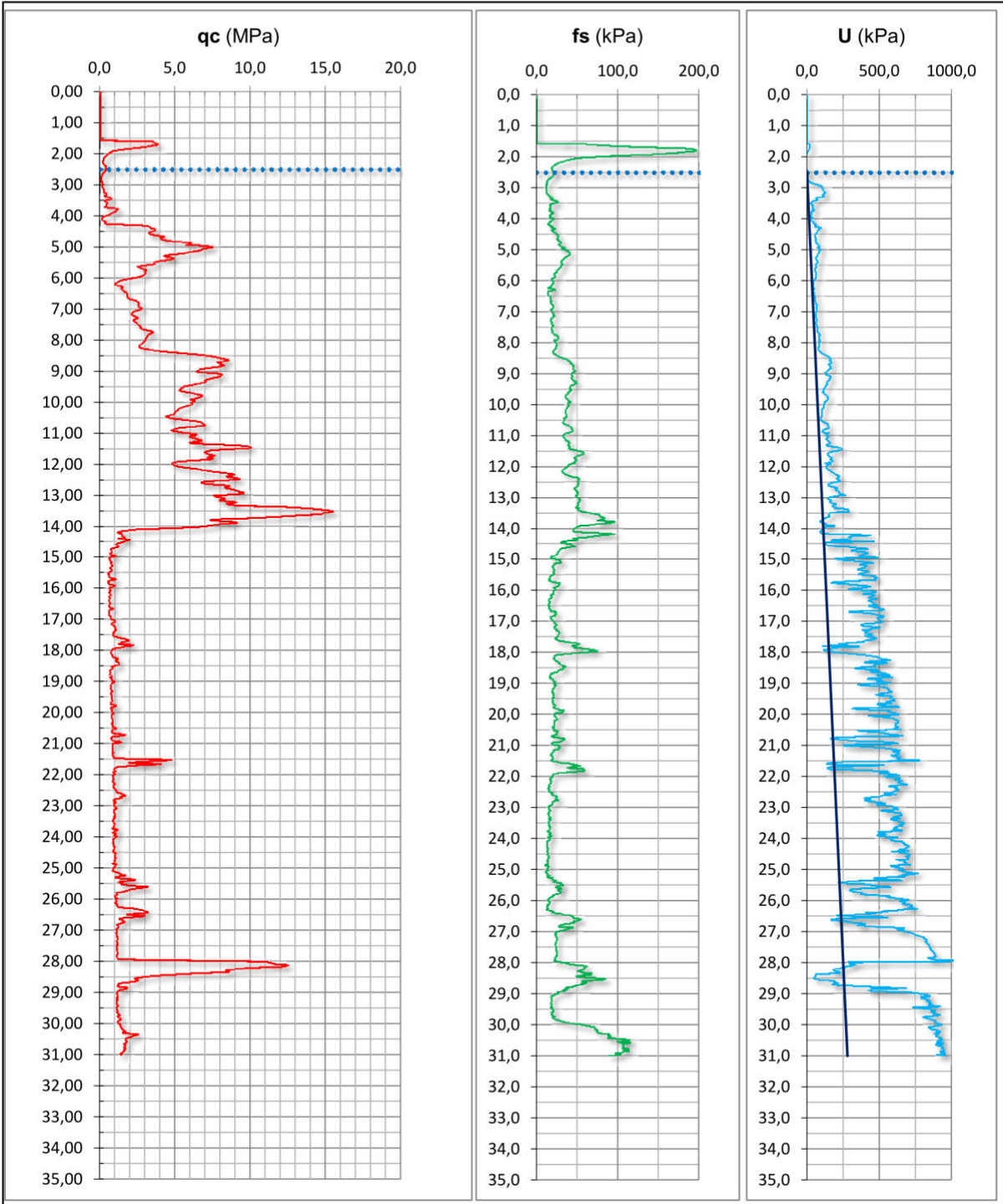
-  argille e limi ricchi in sostanza organica di laguna e baia interdistributrice
-  argille, limi e sabbie di piana costiera
-  argille e limi di prodelta e transizione alla piattaforma
-  sabbie di cordone litorale (fronte deltizia e piana di sabbia)
-  argille e limi ricchi in sostanza organica intercalati a torbe di palude e area interdistributrice

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U21-16	CPTU1

COMMITTENTE: C.A.D.F. s.p.a.  
CANTIERE: via Canale Adige, Comacchio (Fe)  
DATA: 02/03/2016

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00  
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 2,50  
PREFORO (m da p.c.): 1,56



## 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 suddivisa in 2 tavole A e B ed interessa parte del territorio comunale.

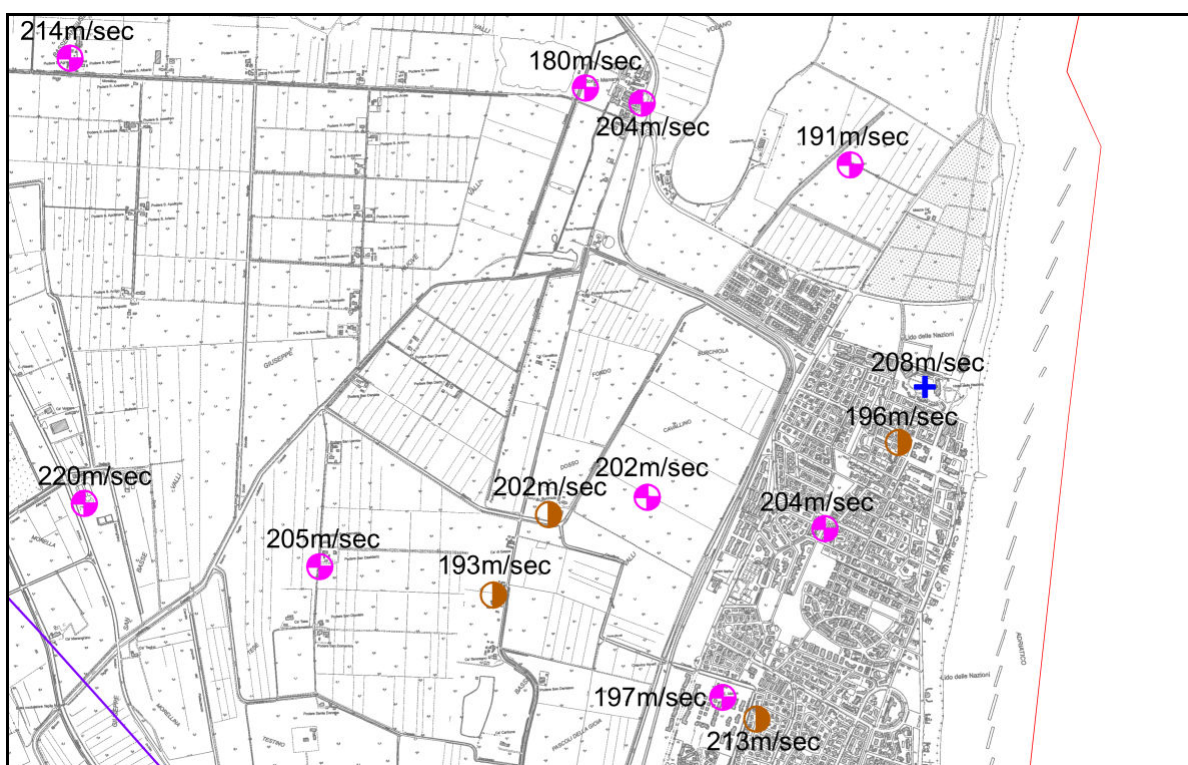
Nella carta di microzonazione sismica allegata a questo studio, vengono riportati i valori di  $V_{S30}$  ricavati attraverso misure dirette tramite prove SCPTU e tramite prove geofisiche, come richiesto dalle linee guida per la loro compilazione dettate dal DPCN.

# Legenda

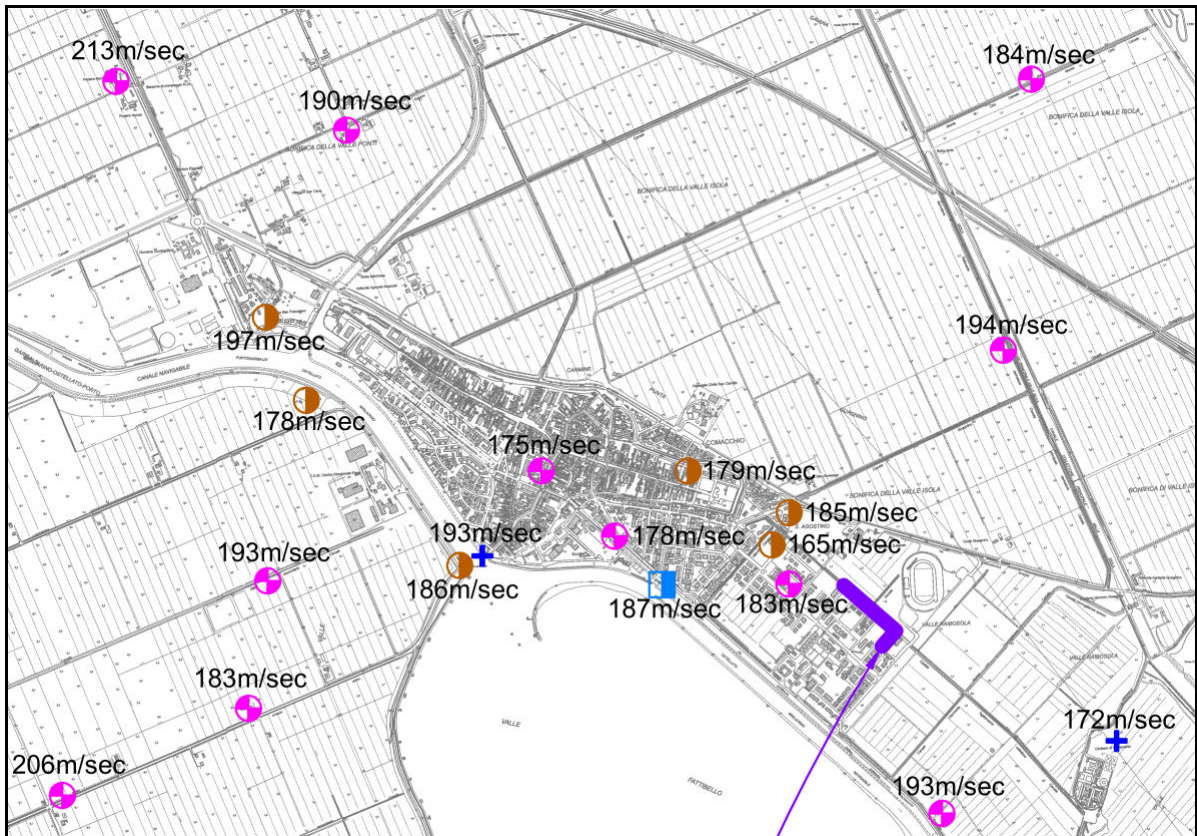
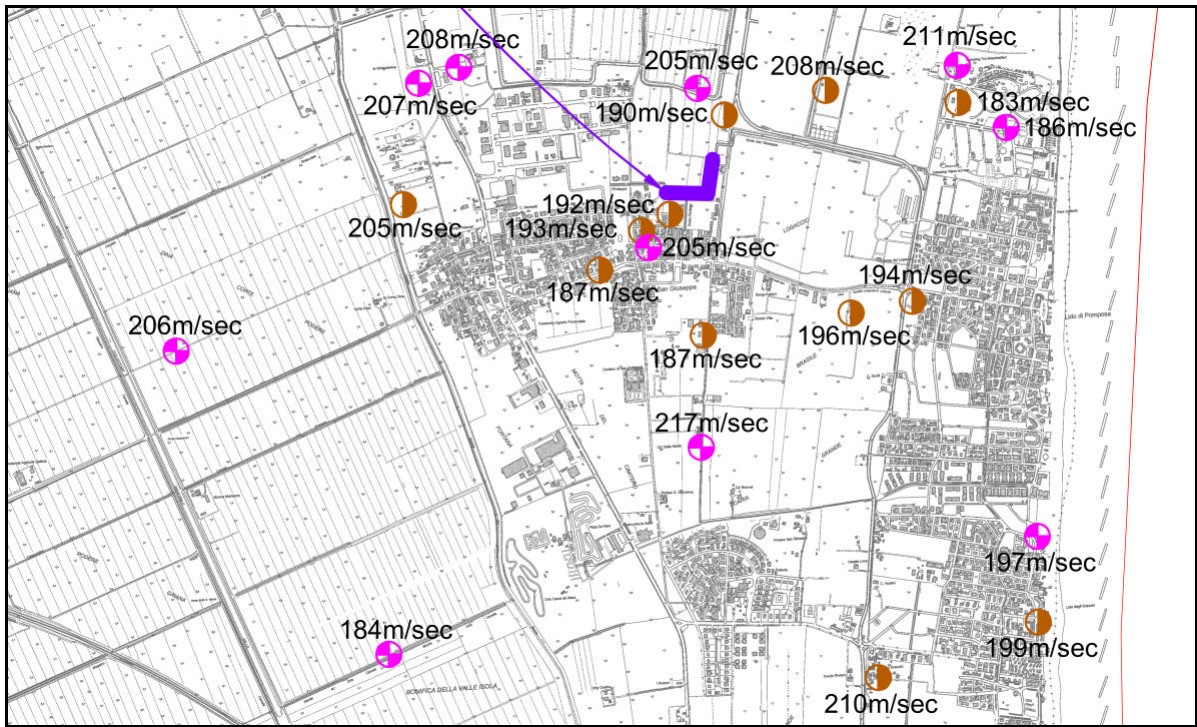
## Velocità delle onde di taglio S (Vs)



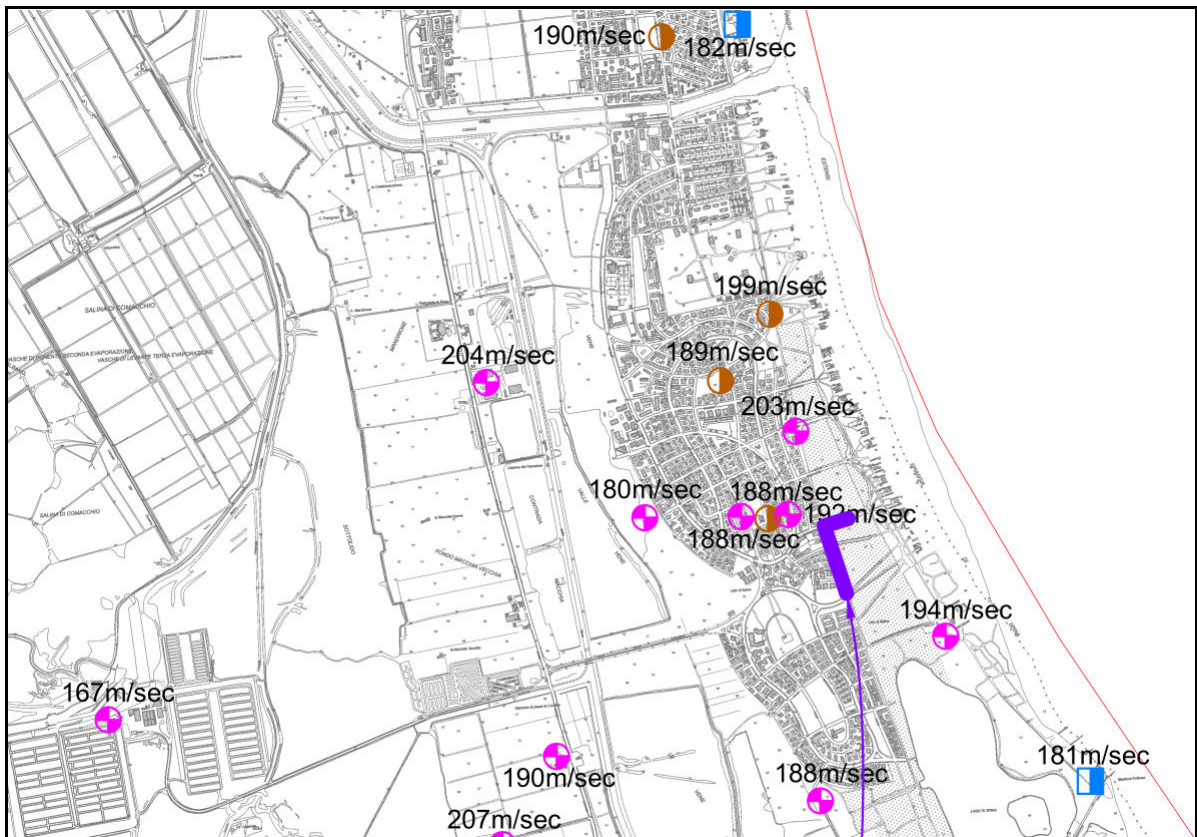
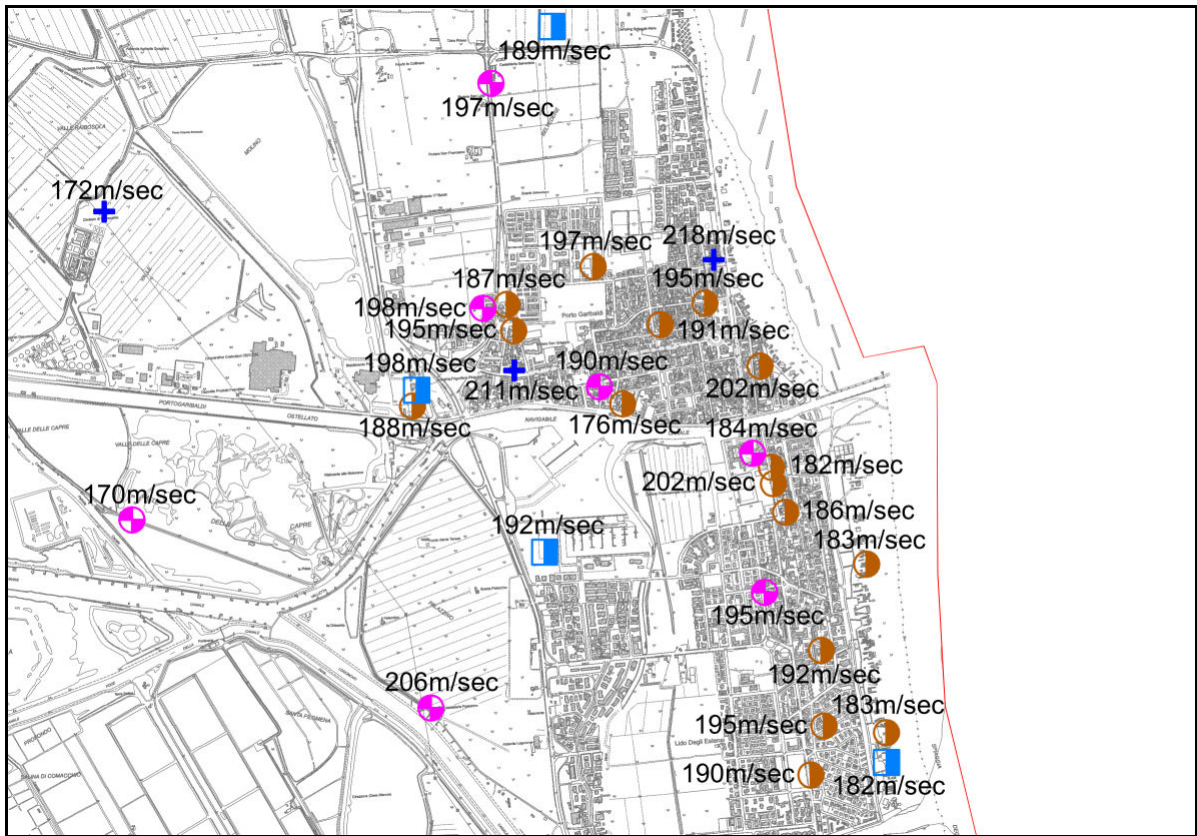
In **FIGURA 7.3**, invece, si riportano diverse mappe, zoomate sui principali centri abitati, ove sono indicati oltre i valori diretti ricavati mediante sismocono e indagini geofisiche a multi-stazione anche i valori di  $V_{S30}$  ottenuti da correlazione empiriche con le prove penetrometriche statiche a 30 m da profondità.
















## LEGENDA:

	Vs 30 ricavata attraverso correlazioni empiriche ( <i>Andrus et. Al. 2001</i> ) con prove penetrometriche statiche con punta meccanica
	Vs 30 ricavata attraverso correlazioni empiriche ( <i>Andrus et. Al. 2001</i> ) con prove penetrometriche statiche con punta elettrica
	Vs 30 ricavata attraverso prove SCPTU
	Vs 30 ricavata attraverso indagini geofisiche Re.Mi.
	Profilo profondo di sismica passiva di tipo ESAC

*Figura 7-3 - Carta delle  $V_{s30}$  su tutto il territorio comunale*

Il parametro  $V_{s30}$  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,

$V_{s30}$  : velocità media ponderata delle onde di taglio "S",

$h_i$  : spessore dello strato  $i$ -esimo,

$v_i$  : velocità delle onde di taglio "S" nello strato  $i$ -esimo.

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

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

### Correlazione empirica da penetrometrie

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

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

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

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

La correlazione è la seguente:

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

dove:

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

resistenza alla punta normalizzata alla tensione verticale;

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

velocità corretta per tenere in conto lo stato tensionale verticale;

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

A e  $\alpha$  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  $\alpha$ .

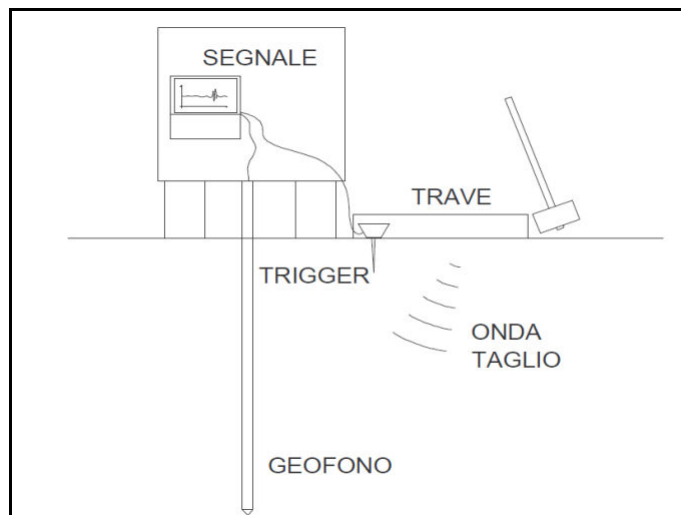
	Argilla	Limo	Sabbia
A	80.64	77.83	53.64
$\alpha$	0.28	0.24	0.33

**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 piezocono sismico*

### Indagini geofisiche

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

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

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

Le prove geofisiche adottate in questo studio appartengono alla terza categoria e vengono caratterizzate con applicazione della tecnica dei microtremori (Autocorrelazione Spaziale Migliorata "ESAC") che permette di ottenere con minor costo di processo il profilo verticale della velocità media delle onde di taglio "S" e contemporaneamente di raggiungere profondità superiori a 30 m favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock sismico - così come definito dalla normativa ( $V_s > 800$  m/s) - coadiuvando contemporaneamente l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica ( $VS2 \times \rho$ ) dei terreni investigati.

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

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



Dove:

$VR \cong 0.92 VS$

*VR: velocità di fase dell'onde Rayleigh*

*VS: velocità di propagazione dell'onda di taglio*

*$\rho$ : 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 ( $V_s \times \rho$ ) dei terreni investigati.

È possibile dunque osservare che in corrispondenza degli ambiti per tutto il territorio comunale, siano presenti terreni in prevalenza fangoso limosi teneri, con valori di  $V_{S30}$  relativamente bassi, che oscillano tra 146 m/s e 169 m/s.

In ogni caso i valori misurati di  $V_{S30}$  sono tutti compresi tra 125 m/sec e 175 m/sec.

## 7.6. CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Le Carte di microzonazione sismica – Valore del fattore di amplificazione  $F_{PGA}=PGA/PGA_0$ , Valore del fattore di amplificazione  $F_{SA}=SA/SA_0$ , espressi nell'intervallo di periodo prefissati  $FA_{0,1-0,5s}$ ,  $FA_{0,4-0,8s}$ ,  $FA_{0,7-1,1s}$  e  $FA_{0,5-1,5s}$ , Valore del fattore di amplificazione  $F_{SI}=SI/SI_0$ , espressi nell'intervallo di periodo prefissati  $FA_{0,1-0,5s}$ ,  $FA_{0,5-1,0s}$  e  $FA_{0,5-1,5s}$  vengono riprodotte in scala 1:10.000 e suddivise in 3 tavole A, B e C ed interessano tutto il territorio comunale.

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 Comacchio è stato caratterizzato da ambiti di PIANURA 3 per via della presenza di elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati e substrato rigido profondo più di 300 m dal p.c..

Il territorio comunale è rappresentato generalmente da valori di  $V_{s30}$  comprese tra 125 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.

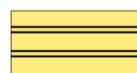
## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA PGA = 1.3 - 1.4

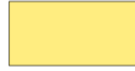
### Zone di Attenzione per Instabilità



ZS Lq - Zona di suscettibilità per Liquefazione  
 $2 < IL < 5$  - FA PGA = 1.3 - 1.4

## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA SA1 = 1.3 - 1.4 s

### Zone di Attenzione per Instabilità



ZS Lq - Zona di suscettibilità per Liquefazione  
 $2 < IL < 5$  - FA SA1 = 1.3 - 1.4 s

## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA SA2 = 2.1 - 2.2 s

### Zone di Attenzione per Instabilità



ZS Lq - Zona di suscettibilità per Liquefazione  
 $2 < IL < 5$  - FA SA2 = 2.1 - 2.2 s

## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA SA3 = 2.5 - 3.0 s

### Zone di Attenzione per Instabilità



ZS Lq - Zona di suscettibilità per Liquefazione  
 $2 < IL < 5$  - FA SA3 = 2.5 - 3.0 s



## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA SA4= 2.3 - 2.4 s

### Zone di Attenzione per Instabilità



ZS Lq - Zona di suscettibilità per Liquefazione  
 $2 < IL < 5$  - FA SA4= 2.3 - 2.4 s

## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA SI1= 1.5 - 1.6 s

### Zone di Attenzione per Instabilità



ZS Lq - Zona di suscettibilità per Liquefazione  
 $2 < IL < 5$  - FA SI1= 1.5 - 1.6 s

## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA SI2= 2.3 - 2.4 s

### Zone di Attenzione per Instabilità



ZS Lq - Zona di suscettibilità per Liquefazione  
 $2 < IL < 5$  - FA SI2= 2.3 - 2.4 s

# Legenda

## Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA SI3= 2.5 - 3.0 s






## Zone di Attenzione per Instabilità



ZS Lq - Zona di suscettibilità per Liquefazione  
 $2 < IL < 5$  - FA SI3= 2.5 - 3.0 s

Inoltre nelle stesse carte sono riportati i valori dell'indice del potenziale di liquefazione IPL calcolato secondo il metodo Idriss e Boulanger 2014.

## IPL – Indice del potenziale di liquefazione (calcolati con la metodologia Idriss & Boulanger 2014 con CFC = 0)

- IPL**  
 IPL = 0 - non liquefacibile
- IPL**  
 IPL  $\leq 2$  - basso
- IPL**  
  $2 < IPL \leq 5$  - moderato
- IPL**  
  $5 < IPL \leq 15$  - alto
- IPL**  
 IPL  $> 15$  - molto alto

È stata prodotta anche una carta della distribuzione sul territorio dei valori di  $H_{SM}$  (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $cm/s^2$ ), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity ( $ASI_{UHS}$ ), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , diviso per  $\Delta T$  (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 forniti dalla Regione, mentre i i valori finali di  $H_{SM}$  sono riportati nella **FIGURA 7.4**.

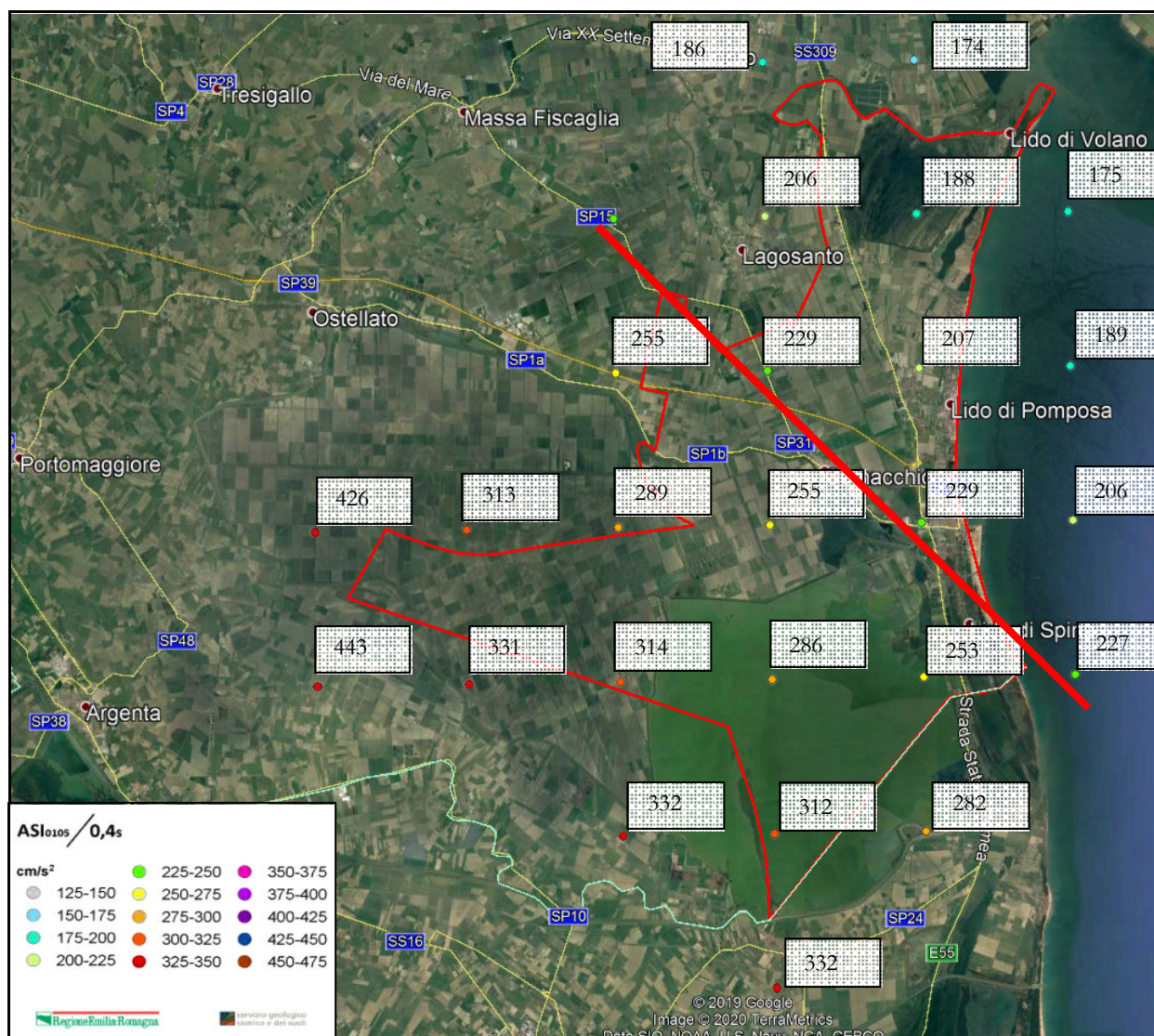
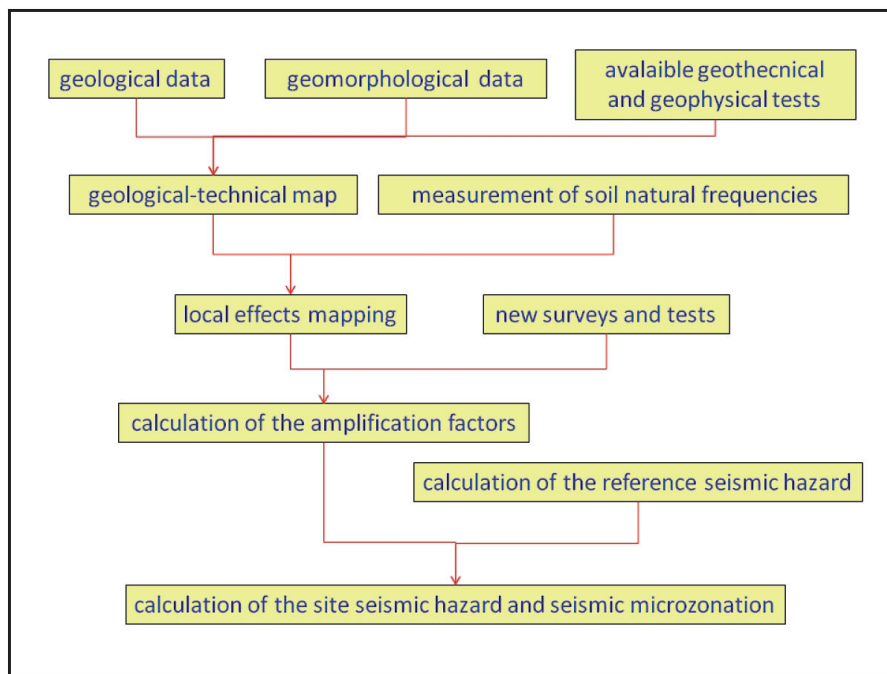


Figura 7-4 - distribuzione dei valori  $ASI_{0,1-0,5}/0,4sec$

Le mappe di microzonazione sismica rappresentano il rischio sismico locale attraverso fattori di amplificazione, vale a dire valori relativi, e le mappe di rischio sismico di riferimento non considerano gli effetti locali che possono derivare da condizioni geologiche e morfologiche locali. Per l'implementazione di politiche per ridurre il rischio sismico, le autorità responsabili della gestione del territorio hanno bisogno di mappe realistiche di pericolosità sismica comparabili su scala nazionale. Grazie ai dati disponibili sulla geologia e al rischio sismico e alle procedure indicate dalle linee guida regionali e nazionali, è possibile produrre, in modo rapido ed economico, mappe del rischio sismico del sito su qualsiasi scala. L'uso del parametro  $H_{SM}$  per questa

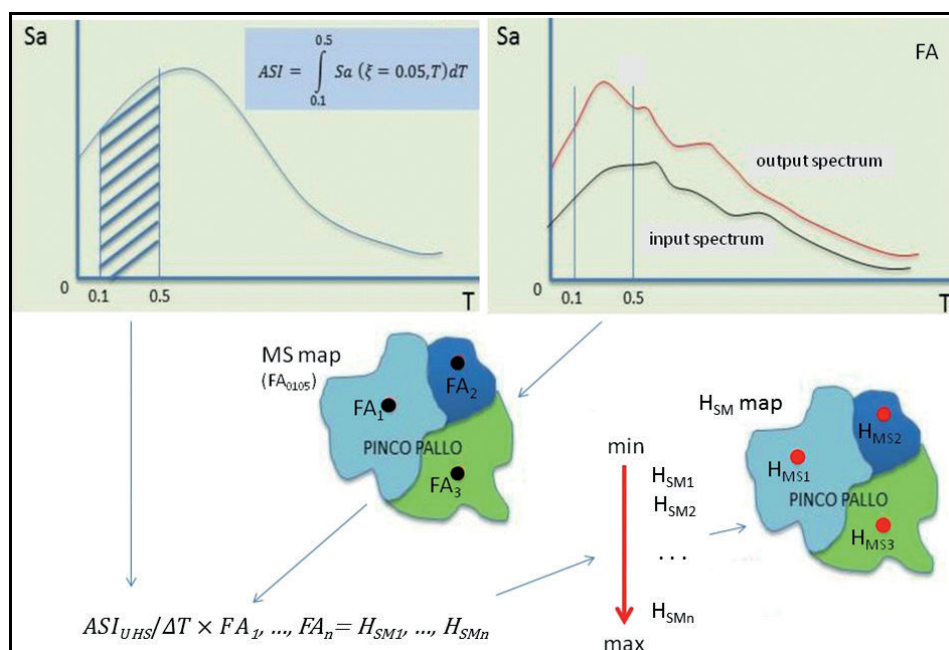
mappatura consente di considerare sia il rischio sismico di riferimento sia gli effetti locali e rende i risultati finali comparabili su scala nazionale; pertanto, consente una classificazione realistica del pericolo sismico applicabile a tutte le scale.

In **FIGURA 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**).



**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):

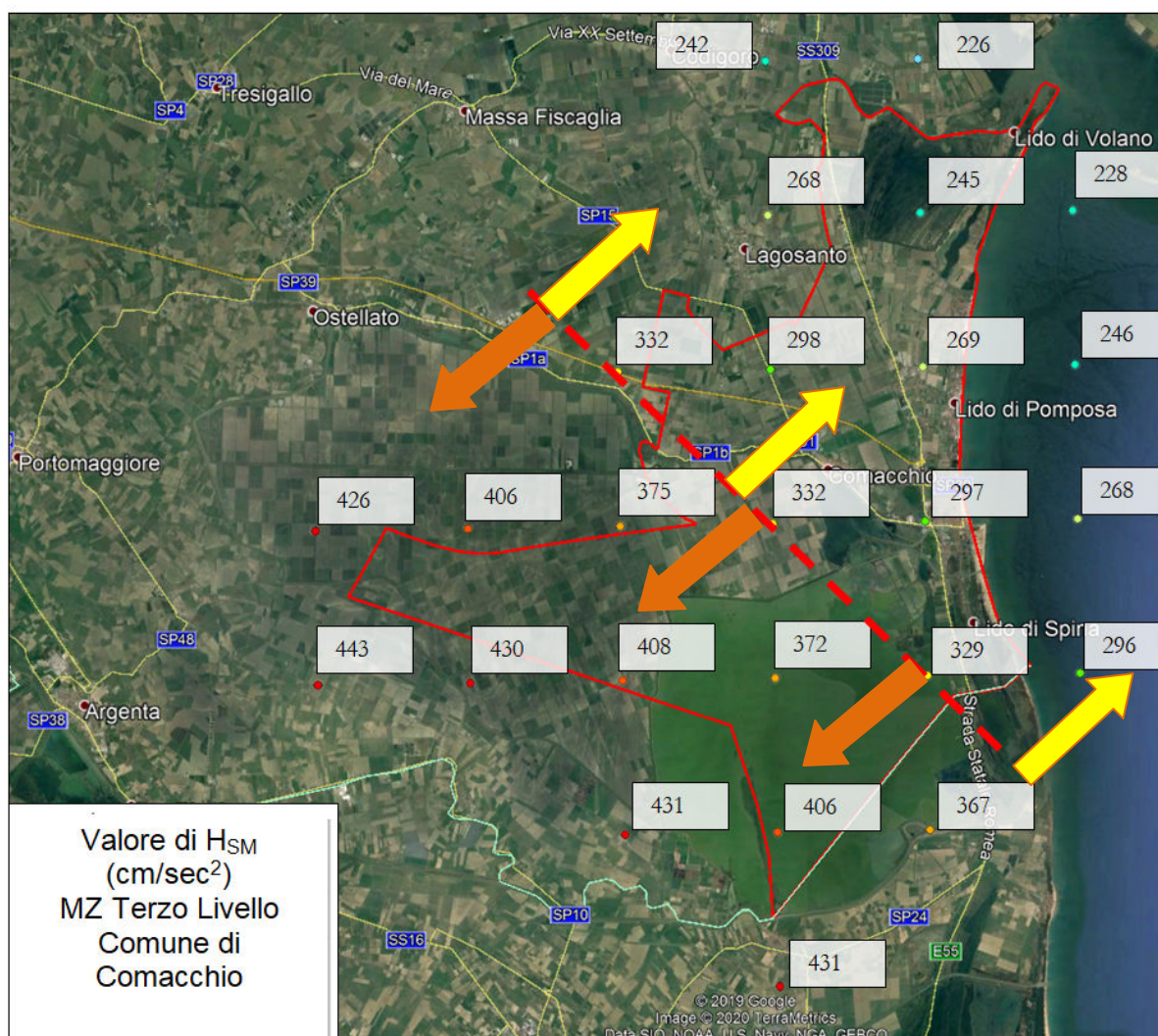
"Il parametro  $H_{SM}$  può essere discretizzato in classi in modo semiquantitativo, relativo al livello di squotimento, il potenziale danno agli edifici e l'intensità strumentale. Le possibili soglie delle classi per i valori  $H_{SM}$  proposti da Naso et Alii (2019) possono variare da "basso-molto 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> )	≤ 180	180 < $H_{SM}$ ≤ 340	340 < $H_{SM}$ ≤ 650	650 < $H_{SM}$ ≤ 1240	> 1240
potential damage	none - very light	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
instrumental intensity	≤ VI	VII	VIII	IX	≥ X

**Tabella 7.2**

Come visibile in **FIGURA 7.7.** e nelle tavole allegate, nel territorio comunale le fasce individuate appartengono alla "moderato-basso" per la parte centro settentrionale del comune e alla "moderato" la parte meridionale-occidentale, che però non presenta centri abitati.

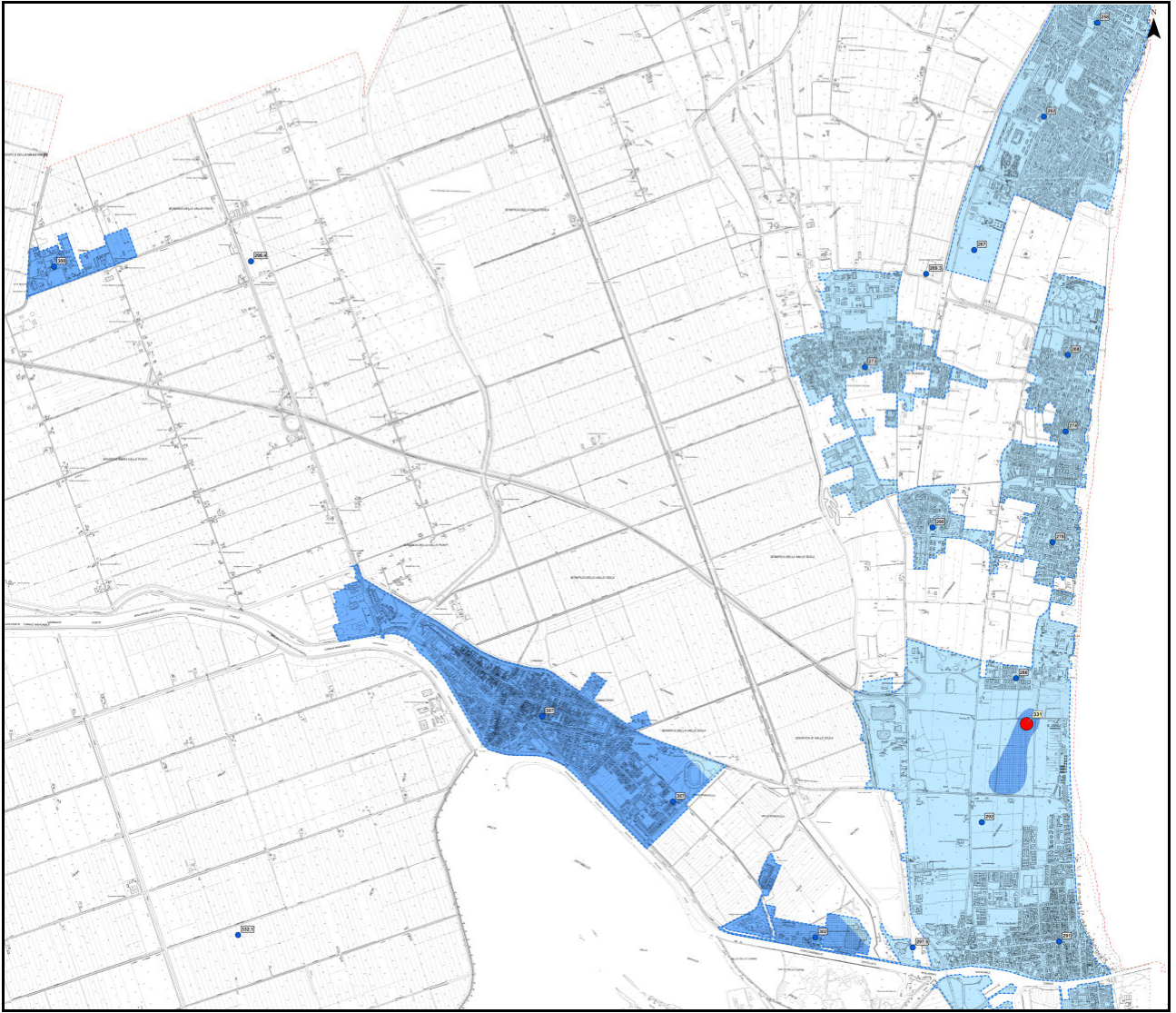


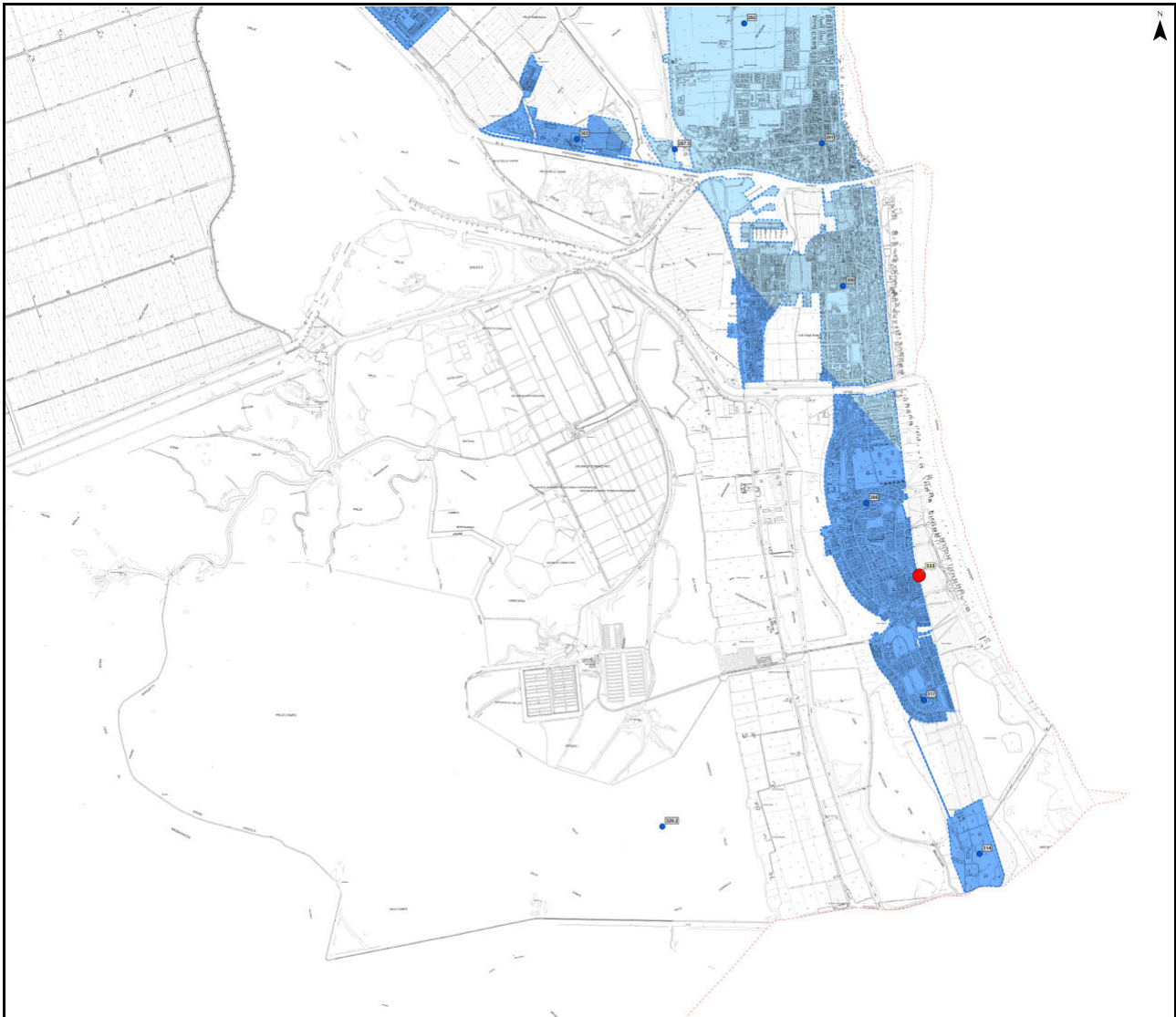
**Figura 7-7** - distribuzione dei valori  $H_{SM}$  (0,1-0,4 sec)

Di seguito in **FIGURA 7.8** si riportano in mappa i valori di  $H_{SM01-05}$  per le aree oggetto di studio di microzonazione sismica.



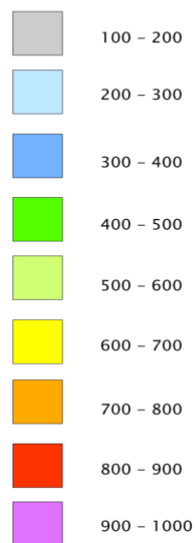








### Legenda

HSM ( $\text{Cm/s}^2$ )



 Zone di Attenzione per instabilità per liquefazione

 Valore puntuale di HSM

 Valore puntuale di HSM ottenuto con analisi di RSL

*Figura 7-8 - intervalli di valori di  $H_{SM,01-05}$  per le aree oggetto di studio di microzonazione sismica*

Il calcolo dei valori degli HSM per intervalli diversi dallo 0,1sec-0,5sec è riportato nel capitolo successivo, in quanto deriva dalle analisi della risposta sismica locale, ove si calcolano gli spettri in accelerazione.



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

Nel comune di Comacchio 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. TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il riferimento normativo per questo studio è la **Delibera Num. 2245 del 27/12/2018** avente per oggetto: "*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 Terzo Livello di Approfondimento*".

### *Finalità*

- Conferma delle condizioni di pericolosità indicate dai precedenti livelli di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la microzonazione sismica.  
- Valutazione più approfondita della risposta sismica locale, in termini di amplificazione e/o stima degli indici di rischio, nelle seguenti situazioni:

- a) aree soggette a liquefazione e densificazione;
- b) aree instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti; in tali condizioni sono raccomandate analisi bidimensionali;
- d) aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).

Questo livello di analisi è quindi finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree instabili e potenzialmente instabili, di quelle soggette a liquefazione e densificazione sempre ai fini della redazione della carta di microzonazione.

Gli ambiti in cui sono presenti criticità geologiche che richiedono il terzo livello di approfondimento devono essere già individuati attraverso il primo livello di analisi, nella Carta delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

### *Elaborati da produrre*

Oltre agli elaborati dei livelli di approfondimento precedenti per le aree in cui viene effettuato il terzo livello di approfondimento dovranno essere forniti, come requisiti minimi:

- la perimetrazione dettagliata, a scala almeno 1:10.000 (preferibilmente di maggiore dettaglio) 5 , delle aree indagate e i valori indicativi della pericolosità locale (indice di liquefazione, grado di stabilità, cedimenti attesi, ...);
- nel caso di analisi di risposta sismica locale, gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento pari al 5% e le mappe di amplificazione in termini di:
  1. PGA/PGA 0 ;
  2. SI/ SI 0 ;
  3. A/A 0 ;
  4. H MS .

Il programma delle prove, sia nei terreni stabili che in quelli instabili, deve essere commisurato alla specificità del caso.

La tipologia e il numero delle prove devono essere adeguatamente descritti e motivati nella relazione. La caratterizzazione geotecnica dei terreni dovrà essere effettuata sia in campo statico che dinamico. Dovranno essere utilizzate solo tecniche di prova di riconosciuta affidabilità per le quali esistono riferimenti nella letteratura scientifica. I valori di velocità di propagazione delle onde sismiche ( $V_p$  e  $V_s$ ) dovranno essere acquisiti tramite misure dirette tipo down-hole o cross-hole o dedotti dalle curve di dispersione delle onde di superficie misurate; laddove le condizioni geologiche lo permettano potranno essere effettuate prove penetrometriche statiche con cono sismico o con dilatometro sismico.

Qualora gli strumenti di pianificazione consentano la realizzazione di opere nelle aree instabili, in quelle potenzialmente instabili e in quelle soggette a rischio di liquefazione e densificazione, dovranno essere forniti elaborati di quantificazione degli indici potenziali di rischio atteso e una stima dei potenziali cedimenti e/o

spostamenti. Tali valutazioni dovranno essere supportate da prove sperimentali in sito e in laboratorio e dovranno essere condotte in conformità ai principi e ai metodi della Geotecnica Sismica.

Negli Allegati A3 e A4 degli indirizzi regionali sono indicate alcune procedure di riferimento.

Negli ambiti di studio in cui sono presenti aree suscettibili di liquefazione, tali da comprendere più aggregati strutturali o aggregati strutturali estesi, se il numero delle verifiche lo consente, potrà essere effettuata una suddivisione del territorio in base al valore dell'Indice di Liquefazione  $I L$ , interpolando i risultati delle verifiche puntuali, in aree a rischio di liquefazione basso ( $I L \leq 2$ ), medio ( $2 < I L \leq 5$ ), elevato ( $5 < I L \leq 15$ ) o molto elevato ( $I L > 15$ ); in accordo con le recenti indicazioni della Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del DPC non dovranno essere rappresentate le aree a rischio di liquefazione basso ( $I L \leq 2$ ).

Nella relazione dovranno essere descritti in dettaglio i procedimenti e i codici di calcolo utilizzati e i risultati delle prove sperimentali in sito e in laboratorio. Dovranno essere chiaramente specificati anche i criteri per la definizione del bedrock sismico.

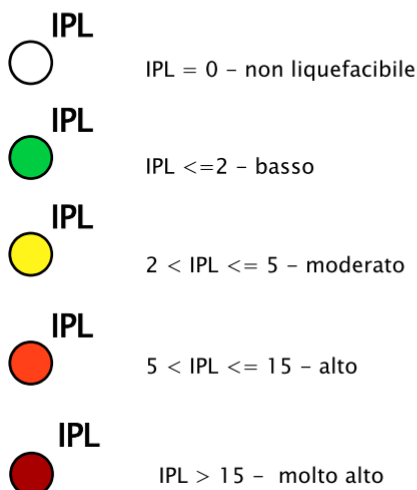
Come segnale di input per il calcolo degli effetti locali è possibile utilizzare gli accelerogrammi disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

## 9.1. CARTA DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Le Carte di microzonazione sismica di III Livello – Indice del potenziale di Liquefazione IPL sono calcolate utilizzando il metodo Boulanger & Idriss 2014 e vengono riprodotte in scala 1:10.000, suddivise in 3 tavole A, B e C ed interessano tutto il territorio comunale.

Le carte dell'indice del potenziale di liquefazione sono state realizzate attraverso tutte le prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), sia bibliografiche estrapolate dall'archivio della regione Emilia Romagna sia realizzate dallo scrivente, presenti sul territorio comunale di Comacchio. Ad ogni punto d'indagine realizzato sul territorio corrisponde un diverso colore in funzione del valore del potenziale di liquefazione stimato con il calcolo; inoltre per ogni indagine presente sul territorio comunale viene riportato il valore puntuale di  $I_{PL}$ .

### IPL – Indice del potenziale di liquefazione (calcolati con la metodologia Idriss & Boulanger 2014 con $CFC = 0$ )



L'indice del potenziale di liquefazione è un valore adimensionale che parte da 0 ed esprime il grado di pericolosità dovuto a liquefazione delle sabbie in caso di sisma. Sulla base dei valori di questo indice si esprime una diversa classificazione del potenziale di liquefazione (**Tabella 9.1**) indicata con diversi colori in carta, come riportato da D.G.R. 2245/2018 e dalla successiva D.G.R. 630/2019 della Regione Emilia Romagna.

Indice del Potenziale di Liquefazione $I_L$	Classificazione D.G.R. 2245 del 2018	Colori nella carta
0,00	Rischio di liquefazione nullo	Verde scuro
0,00 ≤ 2,00	Rischio di liquefazione basso	Verde chiaro
2,00 ≤ 5,00		Giallo
5,00 ≤ 15,00	Rischio di liquefazione elevato	Arancione
≥15,00	Rischio di liquefazione estremamente elevato	Rosso scuro

**Tabella 9-1** - Classificazione dell'indice del potenziale di liquefazione

Successivamente verrà spiegato come è stato calcolato questo valore e i dati di input utilizzati.

Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione vanno impiegate le procedure che nell'Ingegneria Geotecnica Sismica vengono denominati 'metodi semplificati'. Tali metodi sono basati su prove geotecniche quali le CPTU (penetrometrie a punta elettrica con piezocono) e attraverso i dati ottenuti di CSR e CRR si procede poi a valutare, ad ogni quota  $z$  del deposito, compresa nei primi 20 m, il coefficiente di sicurezza rispetto alla possibilità di liquefazione:



$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

dove:

$$CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm} = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$

è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale  $\sigma'_{v0}$ , per terremoto di magnitudo  $M = 7.5$  e pressione efficace di riferimento  $\sigma'_v = 1atm$ ;

$MSF$  è il fattore di scala della magnitudo che è funzione, oltre che dal valore della magnitudo dell'azione sismica di riferimento, anche del metodo di stima di  $CRR$ ;

$K_\sigma$  è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata;

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio ciclica media indotta dall'azione sismica di riferimento, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale  $\sigma'_{v0}$ , ove  $a_{maxs}$  è il picco di accelerazione al piano campagna,  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $\sigma_{v0}$  e  $\sigma'_{v0}$  sono le tensioni verticali rispettivamente totale e efficace alla profondità considerata, ed  $r_d$  è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica per effetto della deformabilità del terreno che può essere stimato con relazioni empiriche associate ai diversi metodi di stima di  $CRR$  (e di  $MSF$ ). Il valore della tensione tangenziale media  $\tau_{media} = 0.65 \tau_{max}$  al variare della profondità può essere più precisamente determinato con analisi di risposta sismica locale.

Tra i metodi semplificati basati sui risultati di prove CPTe/CPTu è particolarmente raccomandato dalle delibere regionali il recente metodo di *Boulangier e Idriss, 2014*.

Si riporta di seguito lo stralcio della DGR 630/2019 con la sequenza logica del calcolo.

## A2.2 Metodo basato sui risultati di prove CPTe/CPTu (Boulanger e Idriss, 2014)

Tutti i metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione che utilizzano i risultati di prove penetrometriche statiche sono calibrati sull'apparecchiatura a punta elettrica (CPTe/CPTu). L'uso di tali metodi con i risultati di prove CPT a punta meccanica può condurre ad una sovrastima della resistenza CRR e quindi del fattore di sicurezza.

$$1. q_{c1N} = C_N \cdot \frac{q_c}{p_a}$$

$$C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m \leq 1.7$$

$$m = 1.338 - 0.249 \cdot (q_{c1Ncs})^{0.264} \quad \text{con } 21 \leq q_{c1Ncs} \leq 254$$

( $q_{c1Ncs}$  è definito al punto 2 e  $m$  è determinato per via iterativa;  $p_a$  è la pressione atmosferica)

$$2. q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \left( 11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6} \right) \cdot \exp \left[ 1.63 - \frac{9.7}{FC + 2} - \left( \frac{15.7}{FC + 2} \right)^2 \right]$$

FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di dati specifici per il sito, FC può essere stimato con l'espressione empirica<sup>2</sup>:

$$FC = 80 I_c - 137$$

in cui  $I_c$  è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

con

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma'_{v0}} \cdot 100$$

$$Q_n = \left( \frac{q_c - \sigma'_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$$

$$3. CRR = \exp \left[ \frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.80 \right]$$

$$4. MSF = 1 + (MSF \left[ 8.64 \exp \left( \frac{-M}{4} \right) - 1.325 \right])_{max}$$

$$MSF \left( \frac{q_{c1Ncs}}{180} \right)_{max}^3$$

<sup>2</sup> L'espressione deriva dalla seguente correlazione tra  $I_c$  e FC proposta da Boulanger e Idriss (2014):  
 $I_c = [(FC+137)/80] - C_{FC}$  dove ( $-C_{FC}$ ) è l'errore che, per il set di dati utilizzato dagli Autori, presenta media nulla e deviazione standard 0.29.

Qualora si disponga di dati specifici per il sito, il parametro  $C_{FC}$  può essere appositamente calibrato mantenendo la stessa forma funzionale (lineare) della suddetta correlazione, o forme funzionali differenti.

In mancanza di dati specifici per il sito, è lecito invece determinare FC dalla curva di regressione media ottenuta da Boulanger e Idriss (2014), ovvero assumere nella suddetta correlazione  $C_{FC}=0$ .

$$5. K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_d}\right) \leq 1.0$$

$$C_{\sigma} = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 0.3$$

$$6. CSR = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

$$7. F_L = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_{v0}=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma}$$

Nelle equazioni precedenti M è la magnitudo momento del terremoto di riferimento.

La curva CRR –  $q_{c1Ncs}$  è mostrata in Figura 2b.

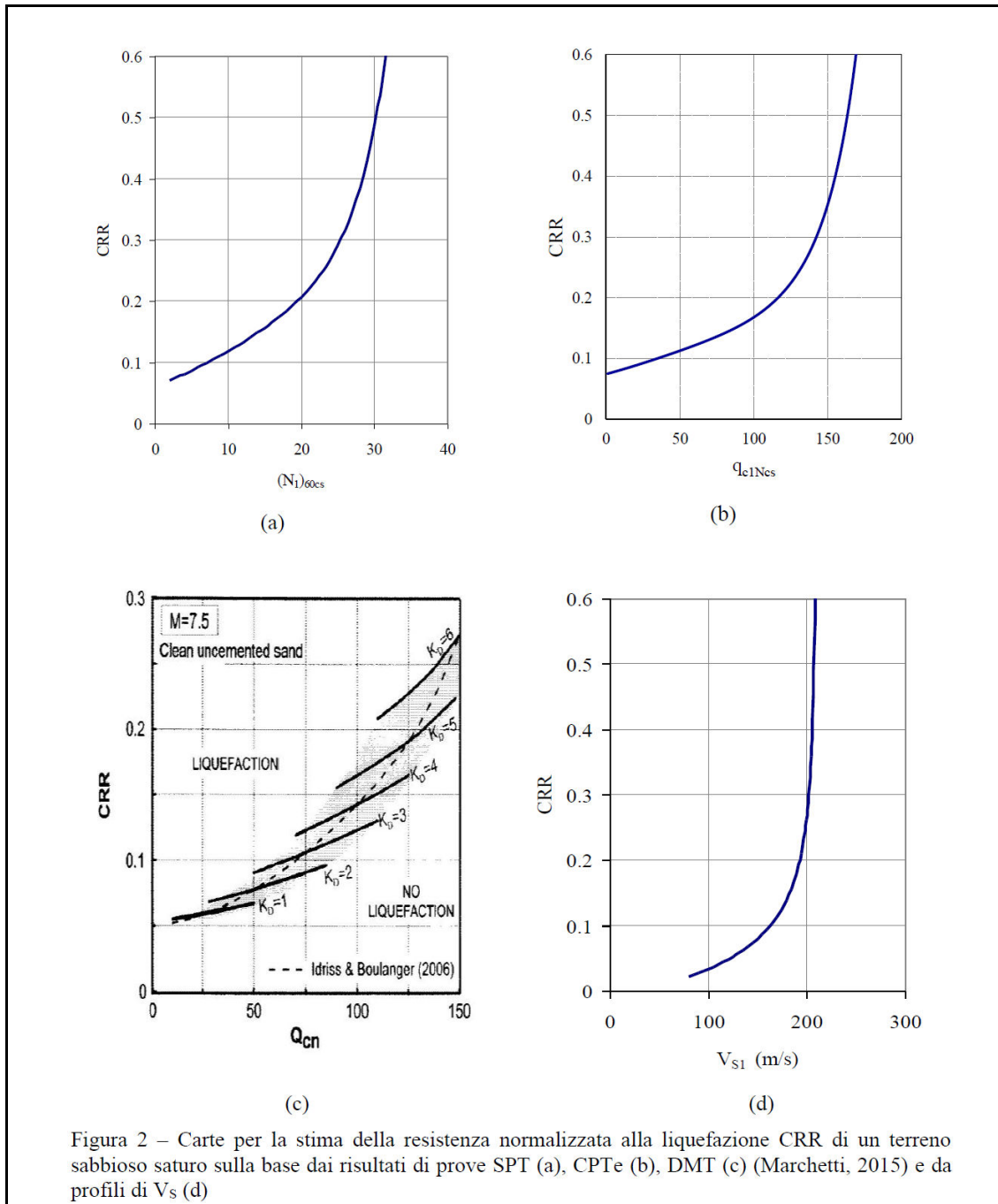


Figura 2 – Carte per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione CRR di un terreno sabbioso saturo sulla base dai risultati di prove SPT (a), CPTe (b), DMT (c) (Marchetti, 2015) e da profili di  $V_s$  (d)



L'indice del potenziale di liquefazione,  $I_L$ , è definito dalla seguente relazione:

### Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

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

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

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

where:

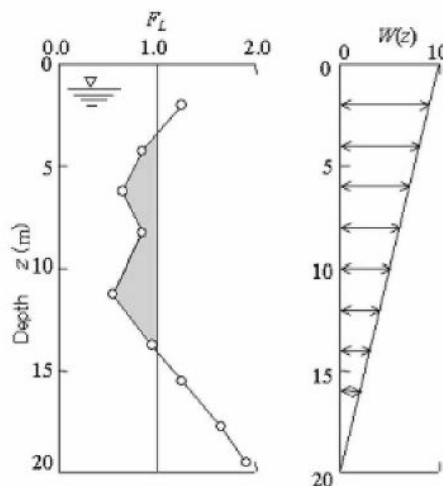
$F_L = 1 - F.S.$  when F.S. less than 1

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

$z$  depth of measurement in meters

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

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



Graphical presentation of the LPI calculation procedure

Mentre per Iwasaki (1982) il calcolo tiene conto degli strati ove  $FL \leq 1$ , con Somnez (2003) si tiene conto degli strati ove  $FL \leq 1,2$ .

Altra particolarità del metodo di Somnez è che per valori di  $FL$  compresi tra 1,2 e 0,95 la funzione variabile  $F(z)$  si discosta da quella di Iwasaki, e per Somnez è:

$$\begin{array}{ll} F(z) = 0 & \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) & \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) = 1 - F_L & \text{per } F_L \leq 0.95 \end{array}$$

Per il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione è stato utilizzato il software di calcolo dal nome C-Liq, versione 3.0.3.2.



Questo software è in grado di elaborare le prove penetrometriche statiche a punta elettrica e con i relativi dati di input è in grado di calcolare il fattore di sicurezza alla liquefazione e tutto ciò che concerne questo rischio.

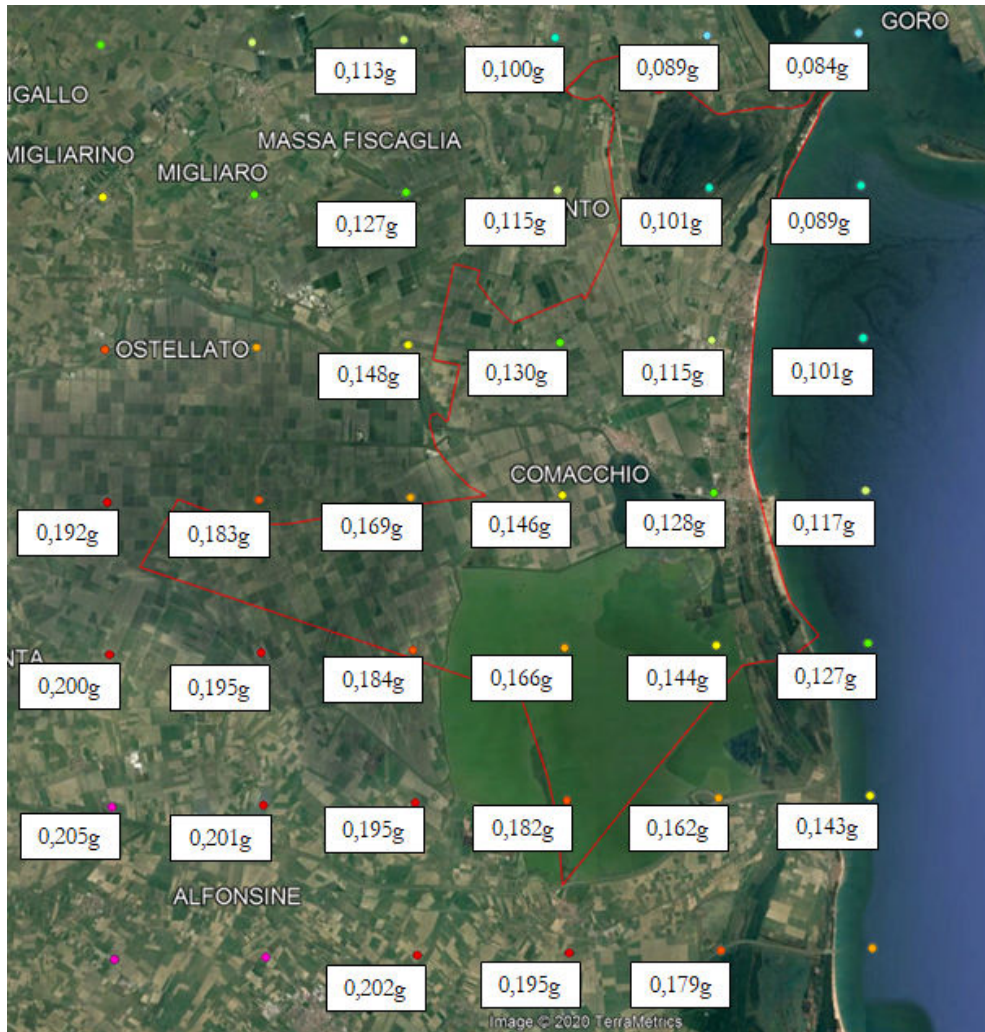
Per il calcolo dell'indice di liquefazione sono stati considerati gli esiti degli studi di II livello, ove sono stati determinati i fattori di amplificazione. La mappa delle PGA in superficie è riportata in **FIGURA 9.1**; esse variano da 0,084g nell'estremità nord orientale fino a 0,190g nell'estremità sud occidentale (che si trova nella grande Bonifica del Mezzano, ove non sono presenti aree oggetto di studio di MZ).

La Magnitudo di progetto, come da studi di II Livello, è stata considerata pari a  $M_w=5,30$ . Il livello freatico di tutte le indagini realizzate è stato considerato indicativamente pari a -1,00 m da p.c..

Ovviamente queste carte hanno un valore indicativo, in quanto sono basate su pochi punti d'indagine sparsi per il territorio comunale.

Occorre dividere il territorio oggetto di studio in:

- a) aree suscettibili di liquefazione o densificazione
- b) aree di versante instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree con rapide variazioni della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali;
- d) aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).



**Figura 9-1** - valori ai nodi ID della  $PGA$  in superficie (comprensiva del fattore di amplificazione stratigrafico)

Nella Carta dell'indice di liquefazione (Boulanger & Idriss 2014 senza fattore di correzione  $C_{FC}$ ) si rileva che gran parte del territorio comunale di Comacchio è caratterizzato da un indice di liquefazione nullo. Fanno eccezione alcune aree di ridotte dimensioni; esse sono distribuite una tra Portogaribaldi e Lido degli Scacchi, una a Portogaribaldi, una in via Marina, due nel capoluogo a Comacchio ed una a Lido di Spina; un'area più estesa è riscontrabile nella zona "bassa" di Lido degli Estensi (in quelle che era geomorfologicamente una probabile piallassa).

Nelle tabelle che seguono si riportano anche i valori di IPL calcolati con il metodo di Robertson (2010), per un utile confronto.

Una volta rappresentati tutti i punti con i relativi valori di IPL, si è constatato che per lo più il territorio oggetto di studio di microzonazione sismica appare sostanzialmente stabile per eventi con tempo di ritorno  $T_R=475$  anni. Infatti i valori si mantengono per la maggior parte al di sotto del valore di  $IPL < 2$ .

Le restanti aree hanno un valore di  $2 < IPL \leq 5$ , per cui il rischio di liquefazione è comunque moderato.

Secondo il metodo di Robertson invece prevale una diffusa stabilità in tutto il territorio comunale.

VACCOLINO			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
187150U510	0.10	0.00	0.00
U39-18	0.10	0.00	0.00

LIDO DI VOLANO			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
187160U507	0.09	0.00	0.00
205040U504	0.09	0.00	0.00
P811	0.09	0.00	0.00
P820	0.09	0.00	0.00
P1320	0.09	0.00	0.00
P822	0.09	0.00	0.00

LIDO DELLE NAZIONI			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
U54-13	0.11	0.00	0.04
205030U511	0.11	0.00	0.00
205030U507	0.11	0.00	0.00
U137-14	0.11	0.00	0.00
205070U503	0.11	0.00	0.00
U31-16	0.11	0.00	0.00
U11-14	0.11	0.00	0.05
U30-16	0.11	0.00	0.00
U112-14	0.11	0.00	0.02
U72-15	0.11	0.00	0.00
U83-16	0.11	0.00	0.00
U09-16	0.11	0.00	0.00
U146-14	0.11	0.00	0.00
U63-18_1	0.11	0.00	0.00
U63-18_2	0.11	0.00	0.02
205070U506	0.11	0.00	0.00

LIDO DI POMPOSA			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
205070U512	0.11	0.00	0.01
U01-12	0.11	0.00	0.16
U45-14	0.11	0.00	0.78
U81-16	0.11	0.00	0.02
U24-16	0.11	0.00	0.04
U133-14	0.11	0.00	0.01



SAN GIUSEPPE			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
205070U513	0.11	0.00	0.00
U50-14	0.11	0.00	0.00
U07-19	0.11	0.00	0.00
U15-17	0.11	0.00	0.00
U33-17	0.11	0.00	0.00
U147-14	0.11	0.00	0.00
U53-18	0.11	0.00	0.00
205070U509	0.11	0.00	0.00

LIDO DEGLI SCACCHI - PORTOGARIBALDI			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
U105-14	0.12	0.00	1.44
U42-17	0.12	0.00	0.09
U69-13	0.12	0.00	1.61
205110U503	0.12	0.00	0.00
U85-14_3	0.12	0.03	4.31
U85-14_2	0.12	0.02	3.62
U85-14_1	0.12	0.20	3.17
205110U513	0.12	0.00	0.02
205110U506	0.13	0.00	0.01
U10-19	0.13	0.00	2.41
U48-17	0.13	0.00	0.48
U15-12	0.13	0.00	0.36

VIA MARINA			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
205110U505	0.13	0.00	0.00
U21-16_2	0.13	0.00	0.20
U21-16_1	0.13	0.37	2.10
U02-12	0.13	0.00	2.09

VOLANIA			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
205060U505	0.13	0.00	0.00
U31-17	0.13	0.00	1.34
U09-14	0.13	0.00	0.07

COMACCHIO CAPOLUOGO			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
205060U513	0.13	0.00	0.00
205070U510	0.13	0.00	0.08
U22-17	0.13	0.00	1.80
U106-15	0.13	0.00	0.48
U136-14	0.13	0.00	0.05
205110U501	0.13	0.00	0.00
U40-18	0.13	0.00	2.52
U22-19	0.13	0.01	0.57
U56-15	0.13	0.00	0.90
205110U504	0.13	0.00	0.51
CPTU_2004	0.13	0.01	0.76
U19-18_1	0.13	0.00	0.84
U19-18_2	0.13	0.00	0.56
U29-17	0.13	0.00	0.58
U124-13	0.13	0.00	1.63
U122-14	0.13	0.00	1.47
U96-14	0.13	0.01	3.06
U92-15	0.13	0.00	2.13
U23-17	0.13	0.00	1.51
U50-16_1	0.13	0.00	0.87
205110U505	0.13	0.00	0.00

LIDO DEGLI ESTENSI			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 C <sub>FC</sub> =0
U95-16_1	0.13	0.00	0.59
U95-16_2	0.13	0.00	1.00
U45-19	0.13	0.00	1.46
205110U514	0.13	0.00	4.13
U24-17	0.13	0.00	1.11
U37-14	0.13	0.00	4.51
U97-14	0.13	0.00	3.13
U58-14	0.13	0.00	2.14
U20-19_1	0.13	0.00	0.09
U20-19_2	0.13	0.00	0.69
205110U510X	0.13	0.00	0.00
U23-19_1	0.13	0.00	1.72
U19-13	0.13	0.00	0.09
U34-19_2	0.13	0.00	0.19
U22-14	0.13	0.04	1.72
U45-16	0.13	0.00	0.13

LIDO DI SPINA			
Nome Prova	ag/g	IPL Robertson 2010	IPL B&I 2014 $C_{Fc}=0$
U05-16	0.14	0.00	0.39
205160U506	0.14	0.00	0.11
205150U501	0.14	0.00	0.22
U70-16	0.14	0.00	0.93
U67-16	0.14	0.00	1.17
U04-16	0.14	0.00	1.46
U19-14	0.14	0.00	2.71
U54-15	0.14	0.00	4.14
205160U501	0.14	0.00	0.15
U03-19	0.14	0.00	0.63
205160U505	0.14	0.00	1.36
U55-13	0.14	0.02	3.82
205160U502	0.14	0.00	0.06
U34-19_1	0.14	0.00	4.62
U34-19_2	0.14	0.00	0.2

Tracciare i limite delle aree in questo contesto geomorfologico non è facile.

Ci si è aiutati dalla constatazione che generalmente i valori di IPL compresi tra 2 e 5 appartengono alle aree più depresse topograficamente, all'interno del sistema degli allineamenti di paleodune costiere. Queste aree sono associabili ad aree di piallassa (a Lido degli Estensi), dove l'energia idrodinamica deposizionale era più bassa rispetto alla battigia vera e propria. Tra Porto Garibaldi e Lido degli Estensi corrispondono ad una fascia infradunare, orientata nord-sud.

In teoria dunque dovrebbero rivestire una certa importanza i contenuti in fine dei depositi sabbioso prevalenti.

Infatti il metodo di Idriss & Boulanger 2014 prevede una attenzione alla misura del contenuto in fine reale, misurato attraverso analisi granulometriche di laboratorio.



*Aree più depresse infradunari, tra Lido degli Scacchi e Porto Garibaldi.*

## 9.2. Approfondimento sul metodo di Boulanger & Idriss 2014

Il metodo di Boulanger & Idriss 2014, a rigore, andrebbe utilizzato nel modo di seguito esposto. La pubblicazione originale degli autori indica che il contenuto in fine v'è stimato con questa formula:

For the present study, the relationship for estimating FC was developed by first regressing  $I_c$  against FC using the combined data sets in Figure 2.10 to obtain the least-squares fit,

$$I_c = \frac{(FC+137)}{80} + \varepsilon \quad (2.29)$$

where  $\varepsilon$  = an error term, which was found to have a mean of 0 and a standard deviation of 0.29 and be unbiased against FC. This equation can then be inverted to provide the following form for estimating FC,

$$FC = 80(I_c + C_{FC}) - 137 \quad (2.30)$$
$$0\% \leq FC \leq 100\%$$

where  $C_{FC}$  is a fitting parameter that can be adjusted based on site-specific data when available. The sign convention for  $C_{FC}$  is set opposite to that for the error term  $\varepsilon$  in Equation 2.29 so that a positive  $C_{FC}$  corresponds to a larger estimate of FC. The regression of  $I_c$  against FC was preferred over regressing FC directly against  $I_c$  because this is a calibration or inverse regression problem (e.g., Draper and Smith 1998). This expression with  $C_{FC} = 0.0, -0.29,$  and  $0.29$  (i.e., +/- an amount equal to the standard deviation in the general correlation) is shown in Figure 2.11. The curves envelope approximately 2/3 of the data points, as expected. The term  $C_{FC}$  can be calibrated to site specific data by regressing  $I_c$  against FC using the equation,

$$I_c = \frac{(FC+137)}{80} - C_{FC} \quad (2.31)$$

La DGR 630/2019 riporta la formula per la stima del contenuto in fine, in modo parziale:

FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di determinazione sperimentale di laboratorio FC può essere stimato con l'espressione empirica:

$$FC = 80 I_c - 137$$

in cui  $I_c$  è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

Nelle note a fondo pagina è indicato:

<sup>2</sup> L'espressione deriva dalla seguente correlazione tra  $I_c$  e FC proposta da Boulanger e Idriss (2014):

$I_c = [(FC+137)/80] - C_{FC}$  dove  $(-C_{FC})$  è l'errore che, per il set di dati utilizzato dagli Autori, presenta media nulla e deviazione standard 0.29.

Qualora si disponga di dati specifici per il sito, il parametro  $C_{FC}$  può essere appositamente calibrato mantenendo la stessa forma funzionale (lineare) della suddetta correlazione, o forme funzionali differenti.

In mancanza di dati specifici per il sito, è lecito invece determinare FC dalla curva di regressione media ottenuta da Boulanger e Idriss (2014), ovvero assumere nella suddetta correlazione  $C_{FC}=0$ .



L'importanza di stimare il fattore di correzione del contenuto in fine  $C_{FC}$  sembra fondamentale per gli autori, al fine di utilizzare il loro metodo, Boulanger & Idriss 2014.

La stima del  $C_{FC}$  può essere fatta solo attraverso prelievo di campioni con misura in laboratorio del contenuto in fine reale, per cui in assenza di questo parametro, se si usa la sola prova penetrometrica statica per stimare il contenuto in fine, si perviene a risultati estremamente cautelativi per non dire molto penalizzanti.

Quindi utilizzando solo le penetrometrie CPTU, senza analisi granulometriche, si adotta un comportamento cautelativo.

Nella sede della progettazione definitiva ed esecutiva delle opere saranno dunque necessari gli approfondimenti per pervenire a risultati più obbiettivi e probabilmente meno penalizzanti.

### **9.2.1. L'importanza delle analisi granulometriche**

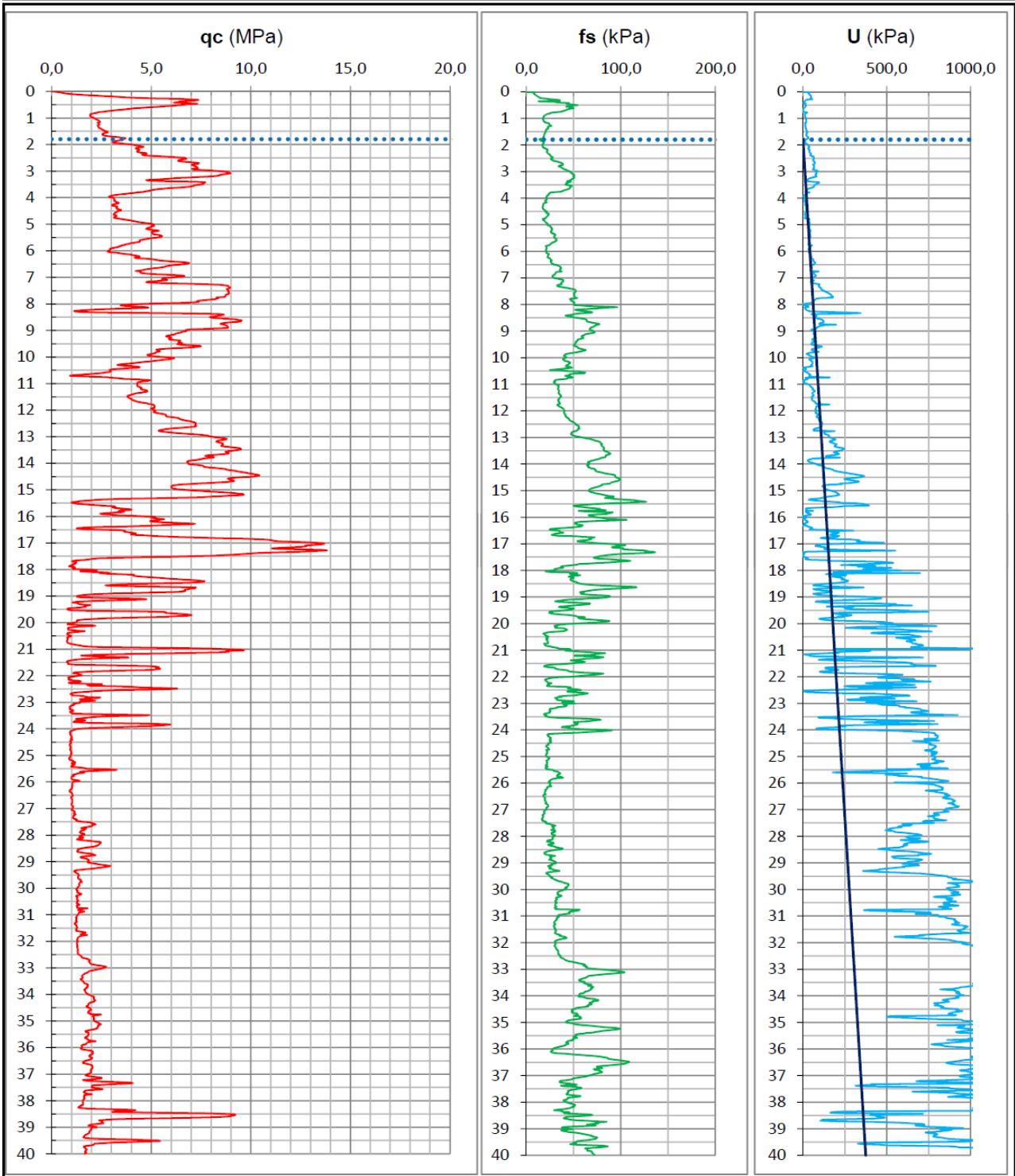
A Lido delle Nazioni è stato eseguito un carotaggio, la cui particolarità è stata quella di avere "scarotato" i campioni per via meccanica, senza acqua, in questo modo vi è stato poco disturbo in merito al dilavamento che l'acqua può provocare. Le analisi granulometriche sono state effettuate nei primi 20m, ogni 50cm di profondità.

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U63-18	CPTU1

COMMITTENTE: C.A.D.F. s.p.a.  
CANTIERE: via Scolo Spadina, Lido delle Nazioni (Fe)  
DATA: 08/11/2018

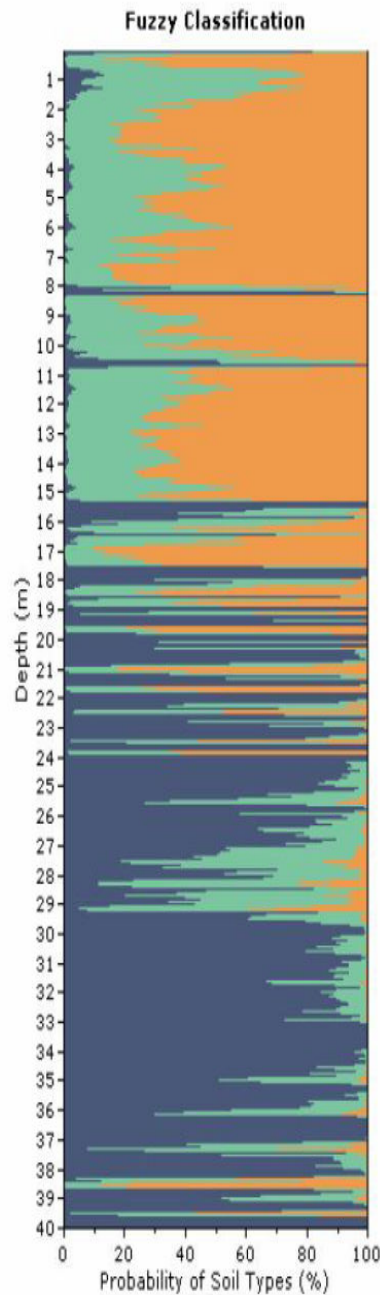
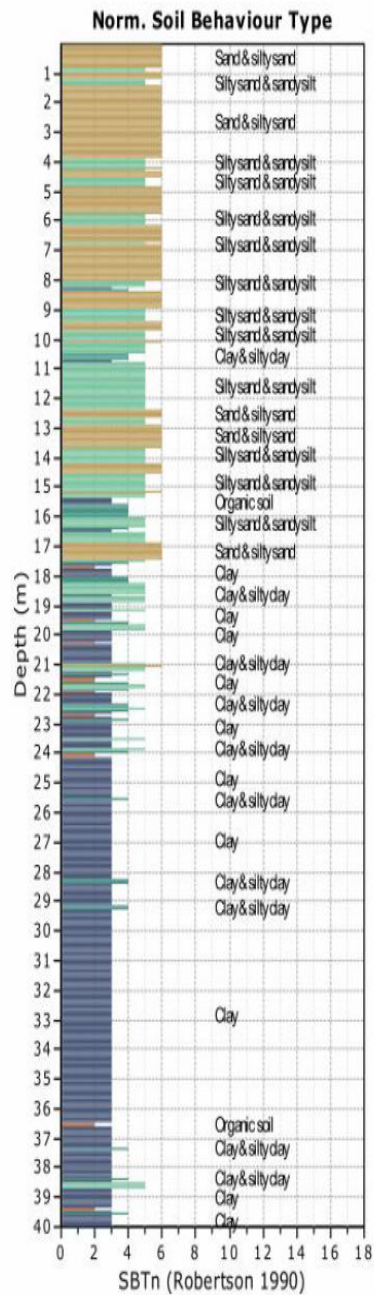
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 40,00  
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,80  
PREFORO (m da p.c.): 0,00



<b>Dott. Geol. Thomas Veronese</b> Via Romea, 80 44023 Vaccolino (FE)			Inizio Esecuzione 11/02/2019	Fine Esecuzione 15/02/2019	Metodo Perfor. Carotaggio Continuo	Sondaggio BH2								
			Quota p.c.			Attrezzo Sonda MC T 800								
Committente CADF Spa					Località Lido delle Nazioni Fe									
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]			Foto		Livello Acqua	Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente T. Veronese						
					Data 11/02/19	Mt. p.c. 1.80	35.00	Operatore Elletipi						
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P. kg/cm2	T.V. kg/cm2	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					N1	N2	N3		
1	1.50					Sabbia limosa nocciola								
2	2.00					Sabbia limosa marrone							1,80	
3			RI	C1	3-3.50	Sabbia limosa con muscovite marrone								
4														
5	5.00													
6			RI	C2	6-6.50	Sabbia limosa micacea con resti conchigliari marrone scuro								
7														
8														
9	8,60		RI	C3	8,5-9.00	Limo sabbioso deb. argilloso nerastro								
	9.00													
	10,50													
													12	
													21	

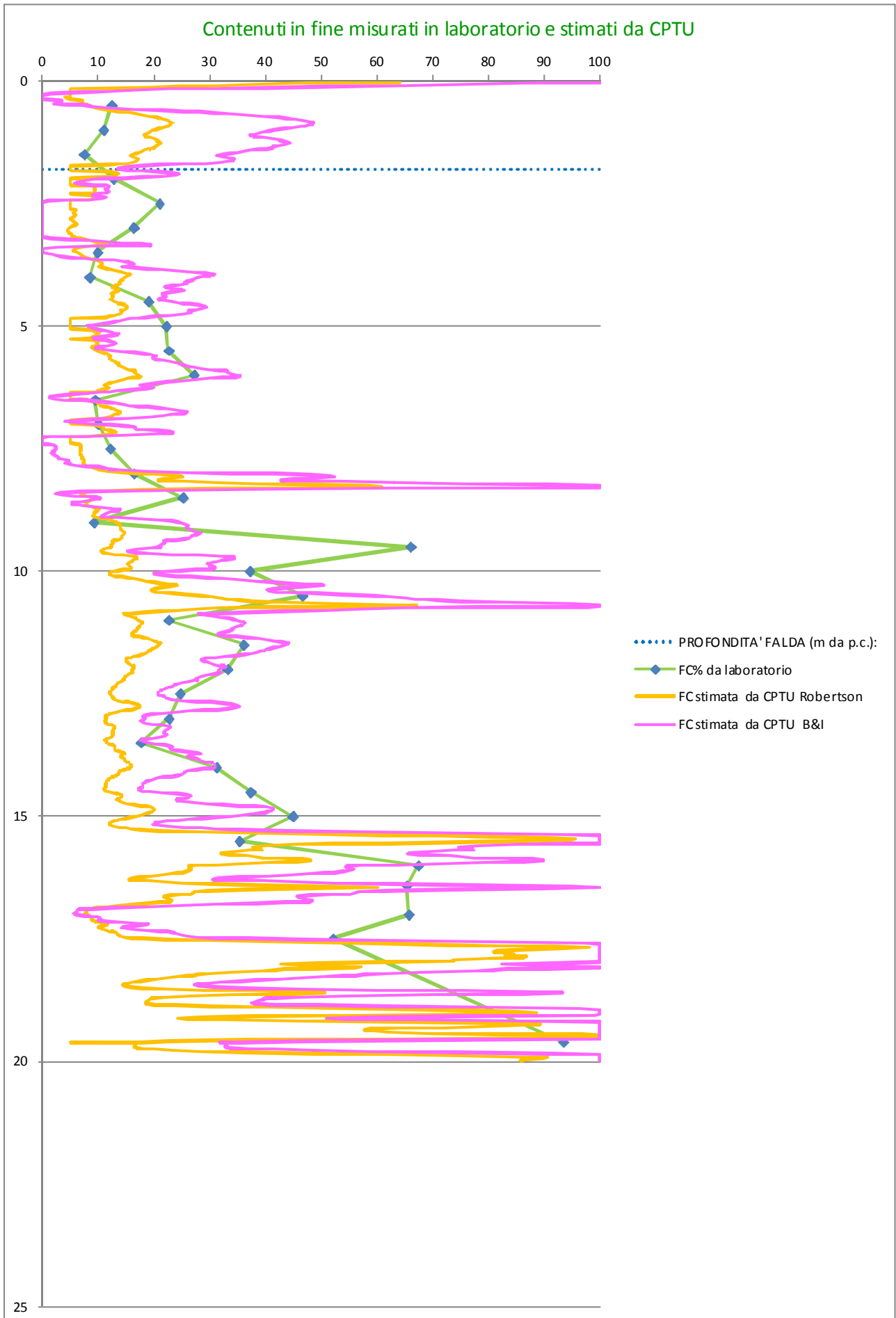
<b>Dott. Geol. Thomas Veronese</b> <b>Via Romea, 80 44023 Vaccolino (FE)</b>			Inizio Esecuzione 11/02/2019		Fine Esecuzione 15/02/2019		Metodo Perfor. Carotaggio Continuo			Sondaggio BH2						
			Quota p.c.					Attrezzo Sonda MC T 800								
Committente CADF Spa							Località Lido delle Nazioni Fe									
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RJ] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]					Foto		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente T. Veronese					
							Data 11/02/19	Mt. p.c. 1.80	35.00		Operatore Elletipi					
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P. kg/cm2	T.V. kg/cm2	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro		
			tipo	num	PROF					R.Q.D.	N1	N2			N3	
11	10,50		SH_SH4	10,5-11,10		Alternanze di sabbia limosa e limo sabbioso argilloso marrone e grigio scuro										
	11,10					SH4										
12						Sabbia limosa grigio scuro								12		
13																
14																
15	15,50					Limo e sabbia fine grigio scuro										
16	16,40						SH_SH5	16,4-17,00								
17	17,00					Limo e limo argilloso debolmente sabbioso grigio										
18	18,20															
19	19,00					Limo argilloso e limo grigio										
19	19,60						SH_SH6	19-19,60								
	20,00													21		





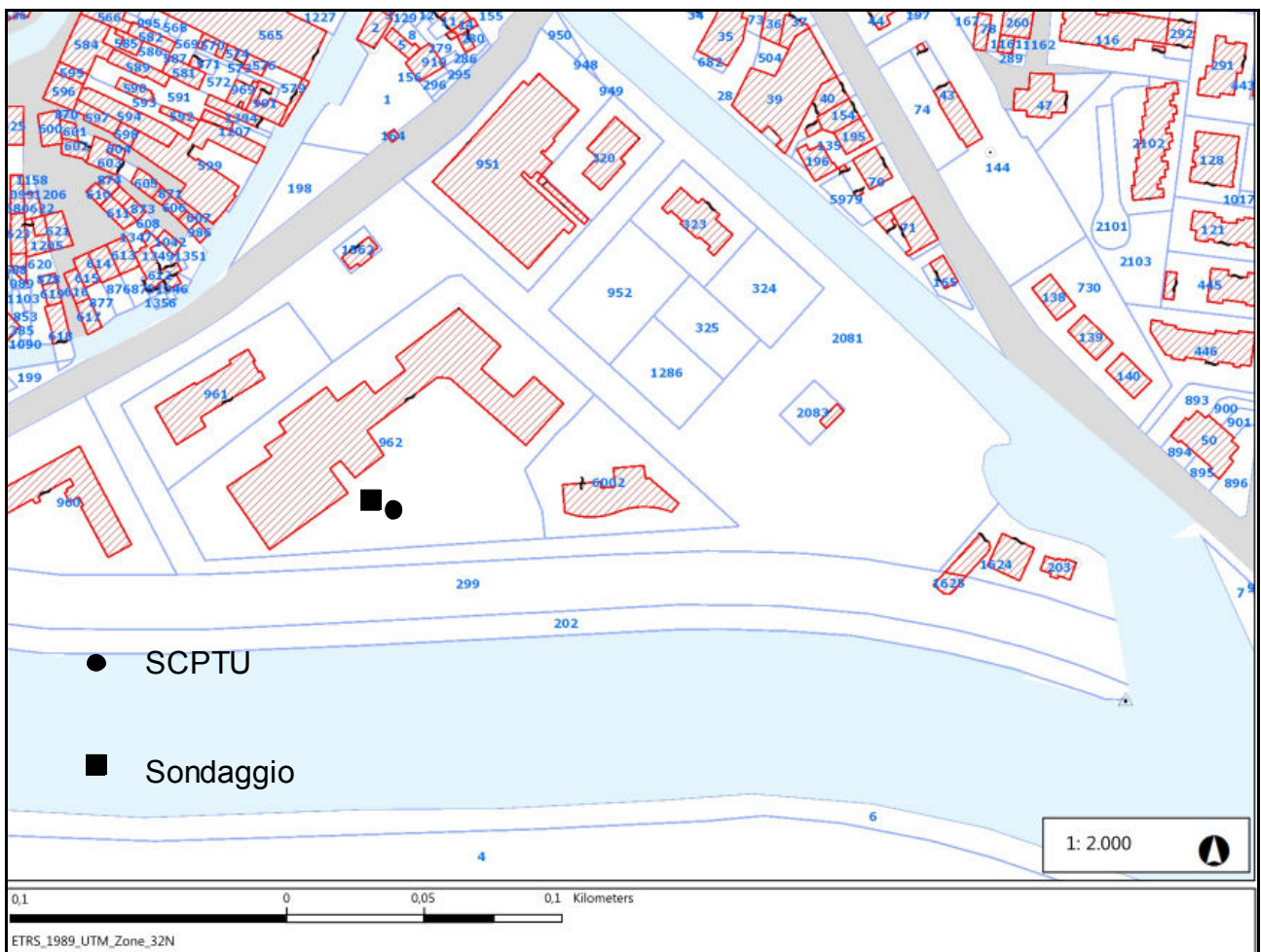
	da	a	EC%
MZ1	0	0.5	12.4
MZ2	0.5	1	11
MZ3	1	1.5	7.5
MZ4	1.5	2	12.7
MZ5	2	2.5	2.1
MZ6	2.5	3	16.3
MZ7 Cadf	3	3.5	9.8
MZ8	3.5	4	8.5
MZ9	4	4.5	19
MZ10	4.5	5	22.2
MZ11	5	5.5	22.6
MZ12	5.5	6	27.2
MZ13 Cadf	6	6.5	9.4
MZ14	6.5	7	10
MZ15	7	7.5	12.1
MZ16	7.5	8	16.4
MZ17	8	8.5	25.2
MZ18 Cadf	8.5	9	9.2
MZ19	9	9.5	66
MZ20	9.5	10	37.2
MZ21	10	10.5	46.6
MZ21 bis Cadf	10.5	11	22.6
MZ22	11.1	11.5	36
MZ23	11.5	12	33.2
MZ24	12	12.5	24.7
MZ25	12.5	13	22.7
MZ26	13	13.5	17.6
MZ27	13.5	14	31.2
MZ28	14	14.5	37.3
MZ29	14.5	15	44.9
MZ30	15	15.5	35.3
MZ31	15.5	16	67.4
MZ32	16	16.4	65.3
MZ33 Cadf	16.4	17	65.7
MZ34	17	17.5	52.1
MZ35 Cadf	19	19.6	93.4

I metodi per stimare il contenuto in fine da prova penetrometrica forniscono dei valori indicativi, come si può vedere dal diagramma proposto di seguito, ove sono comparati i contenuti in fine da laboratorio e quelli stimati da Robertson 2010 e da Boulanger & Idriss 2014, nel loro processo di calcolo per stimare la CRR dei depositi.



### 9.3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

A Comacchio capoluogo è stato progettato e diretto un carotaggio finalizzato al campionamento dei terreni per sottoporli a prove di colonna risonante, in modo da ricavare curve sito specifiche di G/Go e di D, per i terreni comacchiesi.



*Stralcio catastale Scuola Fattibello con ubicazione indagini effettuate in sito*

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA</b> <b>DIAGRAMMI DI RESISTENZA</b>	RIF. PROVA:	CPTU n°:
	U29-17	CPTU1

COMMITTENTE: Comune di Comacchio

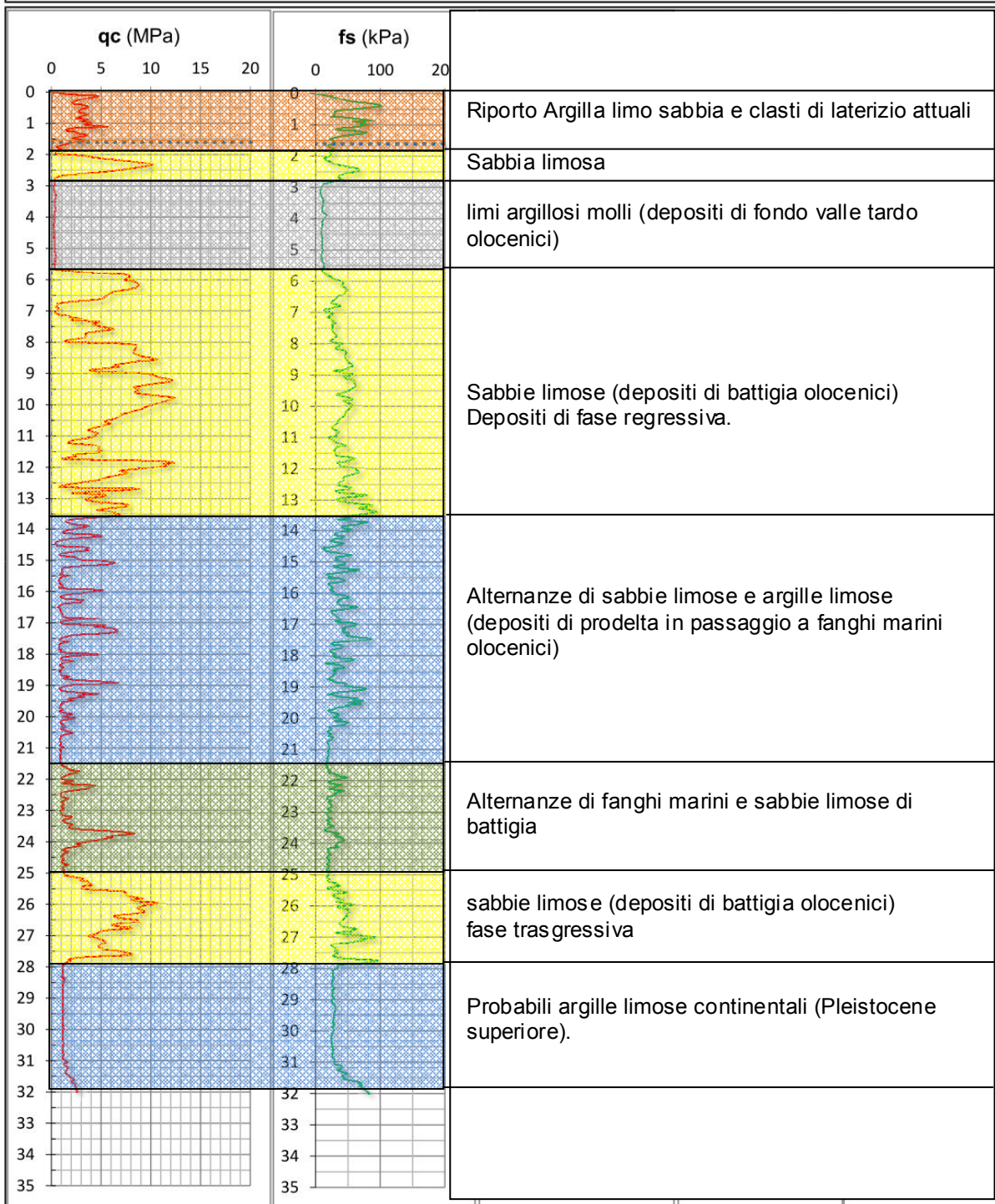
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 32,00

CANTIERE: Scuola via Fattibello, Comacchio (Fe)

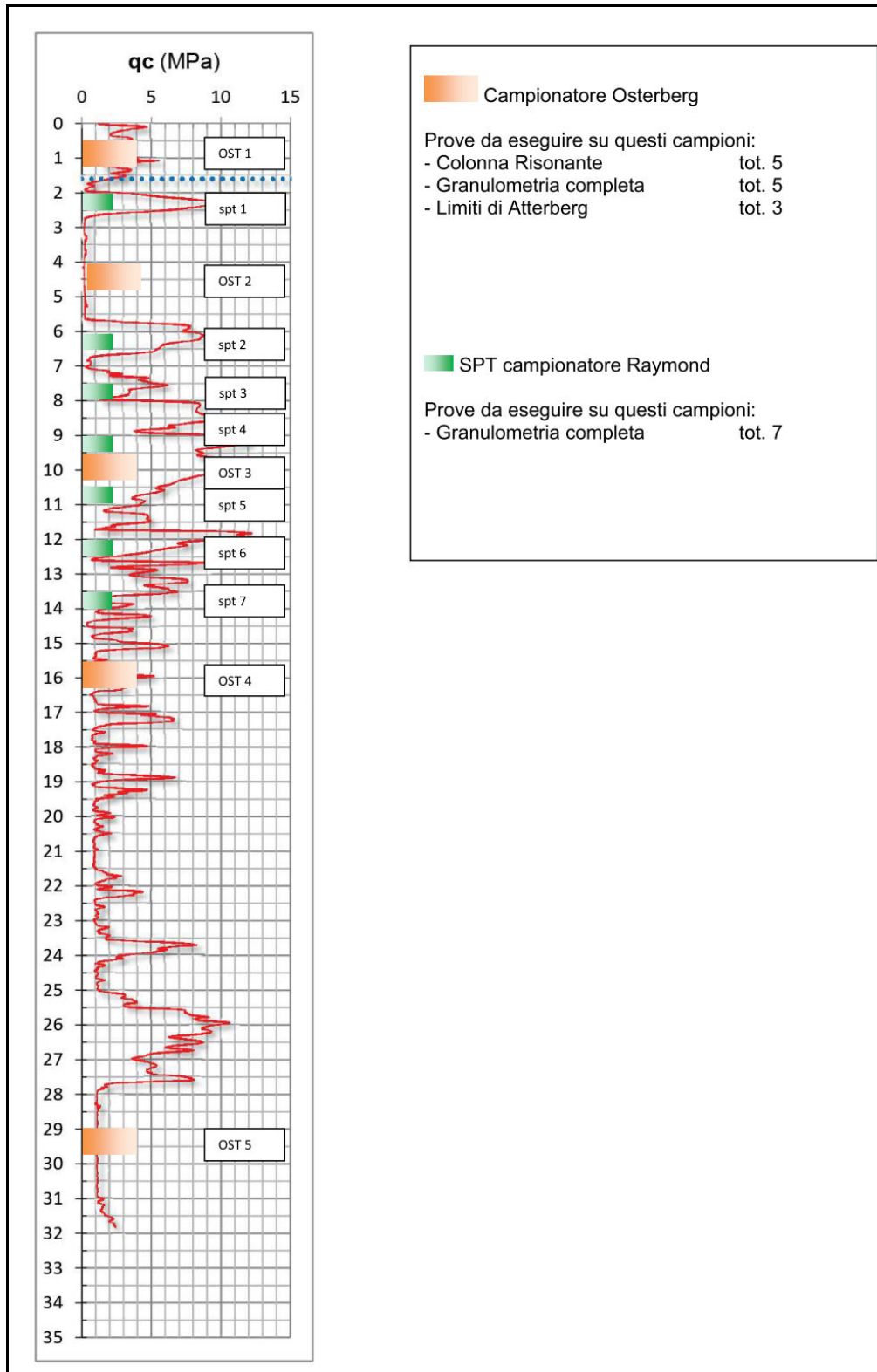
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,60

DATA: 21/04/2017

PREFORO (m da p.c.): 0,00







Sui 5 campioni indisturbati sono state effettuate delle prove di colonna risonante, delle analisi granulometriche e per i terreni coesivi, anche la determinazione dei limiti di Atterberg.



elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC.



### PROVA DI COLONNA RISONANTE (ASTM D 4015)

<b>Committente:</b>	dott. geol. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro - Ferrara		<b>Certificato di prova N°:</b>  <b>Verbale di accettazione N°:</b>
<b>Località:</b>	Comacchio (FE)		
<b>Cantiere:</b>	Scuola Via Fattibello		<b>Commessa:</b> 16636/17  <b>Data ricevimento campione:</b>  <b>Data prova:</b> 07/06/17  <b>Data emissione certificato:</b>
<b>Sondaggio:</b>	S1	<b>Umidità Naturale</b> Wn = 22%	
<b>Campione:</b>	Ost 1	<b>Limite Liquido</b> LL = 40%	
<b>Profondità (m):</b>	0.50 - 0.90	<b>Limite Plastico</b> LP = 26%	
		<b>Indice Plastico</b> IP = 13%	

DATI INIZIALI			DATI DI PROVA			DATI FINALI		
<b>Altezza:</b>	140.00	mm	<b>Tipo di campione:</b>	Sabbia da grossa a fina con limo ghiaioso argillosa marrone grigiastro con frammenti lateritici		<b>Altezza:</b>	139.78	mm
<b>Diametro:</b>	70.00	mm		<b>Fattore Raggio Eq.:</b>	0,707	-	<b>Diametro:</b>	69.89
<b>Raggio eq.:</b>	24.745	mm	<b>Coefficiente B:</b>	0.94	%	<b>Raggio eq.:</b>	24.710	mm
<b>Massa:</b>	980.6	g	<b>Pressione cella:</b>	470	kPa	<b>Massa:</b>	978.1	g
<b>W:</b>	21.7	%	<b>Contropressione:</b>	450	kPa	<b>W:</b>	39.3	%
<b>γ:</b>	17.85	kN/m <sup>3</sup>				<b>γ:</b>	18.24	kN/m <sup>3</sup>
<b>γ<sub>s</sub>:</b>	14.67	-				<b>γ<sub>s</sub>:</b>	13.10	-
<b>e:</b>	0.81	-				<b>e:</b>	1.06	-

	Frequenza Risonanza (Hz)	Momento Torcente (Nm)	Def. Taglio max (%)	Vel. Onde Taglio V <sub>s</sub> (m/s)	Modulo Taglio G (MPa)	G/G <sub>0</sub>	Rapporto Smorz. D (%)	ΔU/σ <sup>3</sup>
<b>Test 1*</b>	90.40	0.0002	3.40E-05	113.96	23.64	1.000	4.11	0.000
<b>Test 2</b>	89.60	0.0006	8.90E-05	112.95	23.22	0.982	4.17	0.000
<b>Test 3</b>	89.20	0.0015	2.34E-04	112.45	23.01	0.973	4.27	0.000
<b>Test 4</b>	87.40	0.0060	9.78E-04	110.18	22.09	0.934	4.94	0.000
<b>Test 5</b>	87.00	0.0150	1.90E-03	109.67	21.89	0.926	5.44	0.000
<b>Test 6</b>	85.40	0.0250	2.78E-03	107.66	21.09	0.892	5.88	0.000
<b>Test 7</b>	78.60	0.0500	7.31E-03	99.09	17.87	0.756	7.28	0.003
<b>Test 8</b>	75.60	0.0750	1.19E-02	95.30	16.53	0.699	8.39	0.003
<b>Test 9</b>	62.40	0.1999	3.69E-02	78.66	11.26	0.476	11.34	0.022
<b>Test 10</b>	52.60	0.3500	7.36E-02	66.31	8.00	0.338	13.87	0.087
<b>Test 11</b>	42.00	0.5000	1.22E-01	52.95	5.10	0.216	16.44	0.196
<b>Test 12</b>	30.20	0.7499	2.95E-01	38.07	2.64	0.112	20.46	0.400
<b>Test 13</b>	17.40	0.9998	9.58E-01	21.93	0.88	0.037	24.90	0.793
<b>Test 14</b>	7.80	1.1993	4.72E+00	9.83	0.18	0.008	31.19	1.000

\* Test 1 corrispondente al valore G<sub>0</sub>

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio Terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli



**elletipi s.r.l.**

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: [www.elletipi.it](http://www.elletipi.it) - email: [info@elletipi.it](mailto:info@elletipi.it)

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC.



## PROVA DI COLONNA RISONANTE (ASTM D 4015)

<b>Committente:</b>	dott. geol. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro - Ferrara		<b>Certificato di prova N°:</b>	
<b>Località:</b>	Comacchio (FE)		<b>Verbale di accettazione N°:</b>	
<b>Cantiere:</b>	Scuola Via Fattibello		<b>Commessa:</b> 16636/17	
<b>Sondaggio:</b>	S1	Umidità Naturale	W <sub>n</sub> =	54%
<b>Campione:</b>	Ost 2	Limite Liquido	LL =	62%
<b>Profondità (m):</b>	5,00 - 5,60	Limite Plastico	LP =	34%
		Indice Plastico	IP =	28%
			<b>Data ricevimento campione:</b>	
			<b>Data prova:</b>	07/06/17
			<b>Data emissione certificato:</b>	

DATI INIZIALI		DATI DI PROVA		DATI FINALI	
Altezza:	140.00 mm	Tipo di campione:	Limo argilloso debolmente sabbioso grigio con torba sostanza organica e resti conghigliari	Altezza:	136.08 mm
Diametro:	70.00 mm	Fattore Raggio Eq.:	0,707 -	Diametro:	67.95 mm
Raggio eq.:	24.745 mm	Coefficiente B:	0,98 %	Raggio eq.:	24.025 mm
Massa:	903.1 g	Pressione cella:	510 kPa	Massa:	857.8 g
W:	53.5 %	Contropressione:	450 kPa	W:	41.1 %
γ:	16.44 kN/m <sup>3</sup>			γ:	17.38 kN/m <sup>3</sup>
γ <sub>s</sub> :	10.71 -			γ <sub>s</sub> :	12.32 -
e:	1.47 -			e:	1.19 -

	Frequenza Risonanza (Hz)	Momento Torcente (Nm)	Def. Taglio max (%)	Vel. Onde Taglio V <sub>s</sub> (m/s)	Modulo Taglio G (MPa)	G/G <sub>0</sub>	Rapporto Smorz. D (%)	ΔU/σ <sup>3</sup>
Test 1*	79.00	0.0001	2.80E-05	105.06	17.68	1.000	2.45	0.000
Test 2	78.60	0.0003	9.50E-05	104.52	17.50	0.990	2.48	0.000
Test 3	78.20	0.0010	3.35E-04	103.99	17.32	0.980	2.51	0.000
Test 4	78.20	0.0020	7.02E-04	103.99	17.32	0.980	2.70	0.000
Test 5	78.20	0.0030	1.09E-03	103.99	17.32	0.980	2.71	0.000
Test 6	77.40	0.0100	3.54E-03	102.93	16.97	0.960	2.84	0.000
Test 7	75.40	0.0250	6.44E-03	100.27	16.10	0.911	3.53	0.000
Test 8	73.40	0.0400	1.15E-02	97.61	15.26	0.863	4.97	0.000
Test 9	66.40	0.1000	2.85E-02	88.30	12.49	0.706	6.72	0.000
Test 10	61.80	0.1700	4.72E-02	82.18	10.82	0.612	7.64	0.014
Test 11	56.80	0.2500	7.00E-02	75.53	9.14	0.517	9.05	0.035
Test 12	52.00	0.3300	9.73E-02	69.15	7.66	0.433	10.89	0.063
Test 13	45.80	0.5000	1.64E-01	60.91	5.94	0.336	13.11	0.112
Test 14	38.60	0.7499	2.94E-01	51.33	4.22	0.239	15.02	0.165
Test 15	32.20	0.9998	5.03E-01	42.82	2.94	0.166	17.07	0.264
Test 16	25.60	1.3000	8.48E-01	34.04	1.86	0.105	19.05	0.388
Test 17	20.25	1.5000	1.39E+00	26.93	1.16	0.066	20.69	0.509
Test 18	14.55	1.6999	2.43E+00	19.35	0.60	0.034	23.75	0.597

\* Test 1 corrispondente al valore G<sub>0</sub>

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanva

Il Direttore del Laboratorio Terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli



**elletipi s.r.l.**

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: [www.elletipi.it](http://www.elletipi.it) - email: [info@elletipi.it](mailto:info@elletipi.it)

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC.

UNI EN ISO 9001:2008  
UNI EN ISO 14001:2004  
BS OHSAS 18001:2007



SISTEMI DI GESTIONE  
CERTIFICATI

### PROVA DI COLONNA RISONANTE (ASTM D 4015)

<b>Committente:</b>	dott. geol. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro - Ferrara
<b>Località:</b>	Comacchio (FE)
<b>Cantiere:</b>	Scuola Via Fattibello
<b>Sondaggio:</b>	S1
<b>Campione:</b>	Ost 3
<b>Profondità (m):</b>	9.50 - 10.10

<b>Certificato di prova N°:</b>	
<b>Verbale di accettazione N°:</b>	256/17

<b>Commessa:</b>	16636/17
<b>Data ricevimento campione:</b>	23/05/17
<b>Data prova:</b>	15/06/17
<b>Data emissione certificato:</b>	

DATI INIZIALI	
Altezza:	140.00 mm
Diametro:	70.00 mm
Raggio eq.:	24.745 mm
Massa:	1022.9 g
W:	26.5 %
γ:	18.62 kN/m <sup>3</sup>
γ <sub>s</sub> :	14.73 -
e:	0.80 -

DATI DI PROVA	
<b>Tipo di campione:</b>	Sabbia medio fine grigio
Fattore Raggio Eq.:	0,707 -
Coefficiente B:	0.93 %
Pressione cella:	545 kPa
Contropressione:	450 kPa

DATI FINALI	
Altezza:	139.31 mm
Diametro:	69.65 mm
Raggio eq.:	24.625 mm
Massa:	1014.9 g
W:	32.0 %
γ:	19.12 kN/m <sup>3</sup>
γ <sub>s</sub> :	14.49 -
e:	0.86 -

	Frequenza Risonanza (Hz)	Momento Torcente (Nm)	Def. Taglio max (%)	Vel. Onde Taglio V <sub>s</sub> (m/s)	Modulo Taglio G (MPa)	G/G <sub>0</sub>	Rapporto Smorz. D (%)	ΔU/σ <sup>3</sup>
Test 1*	160.20	0.0003	2.80E-05	200.91	74.39	1.000	0.27	0.000
Test 2	159.80	0.0007	7.30E-05	200.41	74.02	0.995	0.39	0.000
Test 3	159.00	0.0025	2.82E-04	199.41	73.28	0.985	0.42	0.000
Test 4	158.20	0.0055	6.06E-04	198.40	72.54	0.975	0.44	0.000
Test 5	156.60	0.0085	9.34E-04	196.40	71.08	0.956	0.58	0.000
Test 6	156.20	0.0200	1.29E-03	195.90	70.72	0.951	0.69	0.000
Test 7	153.20	0.0350	2.35E-03	192.13	68.03	0.915	1.03	0.000
Test 8	141.60	0.0750	6.41E-03	177.59	58.12	0.781	1.93	0.014
Test 9	136.20	0.1096	9.36E-03	170.81	53.77	0.723	2.17	0.029
Test 10	126.00	0.2200	1.94E-02	158.02	46.02	0.619	3.05	0.140
Test 11	112.40	0.3499	3.05E-02	140.97	36.62	0.492	4.36	0.307
Test 12	92.20	0.5995	5.33E-02	115.63	24.64	0.331	8.53	0.584
Test 13	61.60	0.8995	1.13E-01	77.25	11.00	0.148	17.59	0.690

\* Test 1 corrispondente al valore G<sub>0</sub>

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio Terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli





**elletipi s.r.l.**

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: [www.elletipi.it](http://www.elletipi.it) - email: [info@elletipi.it](mailto:info@elletipi.it)

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC.



## PROVA DI COLONNA RISONANTE (ASTM D 4015)

<b>Committente:</b> dott. geol. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro - Ferrara	<b>Certificato di prova N°:</b> <b>Verbale di accettazione N°:</b> 256/17												
<b>Località:</b> Comacchio (FE)													
<b>Cantiere:</b> Scuola Via Fattibello	<b>Commessa:</b> 16636/17 <b>Data ricevimento campione:</b> 23/05/17 <b>Data prova:</b> 12/06/17 <b>Data emissione certificato:</b>												
<b>Sondaggio:</b> S1													
<b>Campione:</b> Ost 4													
<b>Profondità (m):</b> 15.50 - 16.10	<table border="1"> <tr> <td>Umidità Naturale</td> <td>Wn =</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>Limite Liquido</td> <td>LL =</td> <td>49%</td> </tr> <tr> <td>Limite Plastico</td> <td>LP =</td> <td>31%</td> </tr> <tr> <td>Indice Plastico</td> <td>IP =</td> <td>18%</td> </tr> </table>	Umidità Naturale	Wn =	36%	Limite Liquido	LL =	49%	Limite Plastico	LP =	31%	Indice Plastico	IP =	18%
Umidità Naturale	Wn =	36%											
Limite Liquido	LL =	49%											
Limite Plastico	LP =	31%											
Indice Plastico	IP =	18%											

DATI INIZIALI		DATI DI PROVA		DATI FINALI				
Altezza:	140.00 mm	Limo con argilla debolmente sabbioso grigio	Tipo di campione:	Altezza:	137.56 mm			
Diametro:	70.00 mm			Fattore Raggio Eq.: 0,707 -	Diametro:	68.75 mm		
Raggio eq.:	24.745 mm				Coefficiente B: 0,99 %	Raggio eq.:	24.305 mm	
Massa:	1000.9 g					Pressione cella: 600 kPa	Massa:	972.7 g
W:	35.9 %						Contropressione: 450 kPa	W:
γ:	18.22 kN/m <sup>3</sup>	γ:	19.05 kN/m <sup>3</sup>					
γ <sub>s</sub> :	13.41 -	e:	0.88 -					
e:	0.98 -							

	Frequenza Risonanza (Hz)	Momento Torcente (Nm)	Def. Taglio max (%)	Vel. Onde Taglio V <sub>s</sub> (m/s)	Modulo Taglio G (MPa)	G/G <sub>0</sub>	Rapporto Smorz. D (%)	ΔU/σ <sup>3</sup>
Test 1*	152.00	0.0002	3.00E-05	187.71	67.42	1.000	0.51	0.000
Test 2	152.00	0.0004	5.60E-05	187.71	67.42	1.000	0.55	0.000
Test 3	151.60	0.0006	7.90E-05	187.21	67.06	0.995	0.57	0.000
Test 4	151.60	0.0010	1.39E-04	187.21	67.06	0.995	0.62	0.000
Test 5	151.60	0.0020	2.81E-04	187.21	67.06	0.995	0.67	0.000
Test 6	150.40	0.0050	7.19E-04	185.73	66.00	0.979	0.73	0.000
Test 7	149.60	0.0070	1.05E-03	184.74	65.30	0.969	0.76	0.000
Test 8	148.40	0.0150	1.56E-03	183.26	64.26	0.953	0.89	0.000
Test 9	147.00	0.0300	2.50E-03	181.53	63.05	0.935	1.03	0.000
Test 10	142.60	0.0498	5.44E-03	176.10	59.34	0.880	1.29	0.000
Test 11	139.20	0.0800	8.54E-03	171.90	56.54	0.839	1.53	0.000
Test 12	134.20	0.1300	1.27E-02	165.73	52.55	0.779	2.05	0.006
Test 13	126.00	0.2493	2.10E-02	155.60	46.33	0.687	3.58	0.026
Test 14	117.80	0.3996	3.17E-02	145.47	40.49	0.601	5.43	0.057
Test 15	107.40	0.6990	4.68E-02	132.63	33.66	0.499	7.25	0.131
Test 16	95.80	0.9995	6.32E-02	118.31	26.78	0.397	8.49	0.226
Test 17	84.80	1.2999	8.17E-02	104.72	20.98	0.311	9.43	0.289
Test 18	74.40	1.5996	1.07E-01	91.88	16.15	0.240	10.58	0.337
Test 19	64.80	1.9998	1.46E-01	80.02	12.25	0.182	11.58	0.433

\* Test 1 corrispondente al valore G<sub>0</sub>

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanva

Il Direttore del Laboratorio Terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli



**elletipi s.r.l.**

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC.

UNI EN ISO 9001:2008  
UNI EN ISO 14001:2004  
BS OHSAS 18001:2007



SISTEMI DI GESTIONE  
CERTIFICATI

### PROVA DI COLONNA RISONANTE (ASTM D 4015)

<b>Committente:</b> dott. geol. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro - Ferrara	<b>Certificato di prova N°:</b> <b>Verbale di accettazione N°: 256/17</b>												
<b>Località:</b> Comacchio (FE)													
<b>Cantiere:</b> Scuola Via Fattibello	<b>Commessa:</b> 16636/17 <b>Data ricevimento campione:</b> 23/05/17 <b>Data prova:</b> 05/06/17 <b>Data emissione certificato:</b>												
<b>Sondaggio:</b> S1													
<b>Campione:</b> Ost 5	<table border="1"> <tr> <td>Umidità Naturale</td> <td>W<sub>n</sub> =</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>Limite Liquido</td> <td>LL =</td> <td>61%</td> </tr> <tr> <td>Limite Plastico</td> <td>LP =</td> <td>29%</td> </tr> <tr> <td>Indice Plastico</td> <td>IP =</td> <td>22%</td> </tr> </table>	Umidità Naturale	W <sub>n</sub> =	36%	Limite Liquido	LL =	61%	Limite Plastico	LP =	29%	Indice Plastico	IP =	22%
Umidità Naturale	W <sub>n</sub> =	36%											
Limite Liquido	LL =	61%											
Limite Plastico	LP =	29%											
Indice Plastico	IP =	22%											
<b>Profondità (m):</b> 29,00 - 29,60													

DATI INIZIALI		DATI DI PROVA		DATI FINALI	
Altezza:	100.00 mm	Tipo di campione:	Limo argilloso debolmente sabbioso grigio	Altezza:	96.76 mm
Diametro:	50.00 mm	Fattore Raggio Eq.:	0,707 -	Diametro:	48.30 mm
Raggio eq.:	17.675 mm	Coefficiente B:	0.92 %	Raggio eq.:	17.075 mm
Massa:	357.5 g	Pressione cella:	730 kPa	Massa:	338.4 g
W:	35.9 %	Contropressione:	450 kPa	W:	32.2 %
γ:	17.86 kN/m <sup>3</sup>			γ:	19.09 kN/m <sup>3</sup>
γ <sub>s</sub> :	13.14 -			γ <sub>s</sub> :	14.44 -
e:	1.02 -			e:	0.87 -

	Frequenza Risonanza (Hz)	Momento Torcente (Nm)	Def. Taglio max (%)	Vel. Onde Taglio V <sub>s</sub> (m/s)	Modulo Taglio G (MPa)	G/G <sub>0</sub>	Rapporto Smorz. D (%)	ΔU/σ <sup>3</sup>
Test 1*	111.20	0.0001	3.50E-05	212.43	80.10	1.000	1.12	0.000
Test 2	111.20	0.0002	7.20E-05	212.43	80.10	1.000	1.14	0.000
Test 3	111.20	0.0003	9.40E-05	212.43	80.10	1.000	1.16	0.000
Test 4	111.20	0.0010	3.15E-04	212.43	80.10	1.000	1.18	0.000
Test 5	109.60	0.0020	6.59E-04	209.38	77.81	0.971	1.31	0.000
Test 6	108.80	0.0028	8.95E-04	207.85	76.68	0.957	1.37	0.000
Test 7	104.60	0.0100	3.04E-03	199.82	70.87	0.885	1.60	0.000
Test 8	99.20	0.0400	1.08E-02	189.51	63.74	0.796	1.75	0.000
Test 9	95.80	0.0600	1.66E-02	183.01	59.45	0.742	1.85	0.000
Test 10	90.80	0.0998	2.63E-02	173.46	53.40	0.667	3.13	0.008
Test 11	85.80	0.1500	3.59E-02	163.91	47.69	0.595	4.76	0.013
Test 12	76.20	0.3000	6.49E-02	145.57	37.61	0.470	8.84	0.020
Test 13	65.00	0.4998	1.12E-01	124.17	27.37	0.342	11.04	0.040
Test 14	55.20	0.7500	1.82E-01	105.45	19.74	0.246	13.36	0.082
Test 15	45.80	1.0000	2.80E-01	87.50	13.59	0.170	15.95	0.143
Test 16	35.80	1.2994	4.69E-01	68.39	8.30	0.104	16.91	0.225
Test 17	25.40	1.5997	9.66E-01	48.52	4.18	0.052	18.48	0.343

\* Test 1 corrispondente al valore G<sub>0</sub>

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio Terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

Queste indagini consentono di poter eseguire delle analisi di risposta sismica locale sul territorio comacchiese.

Avendo a disposizione il profilo di Vs profondo di Lido di Spina ed avendo eseguito una apposita prova SCPTU in corrispondenza di esso, è stato possibile eseguire una analisi di risposta sismica locale sitospecifica.

Lido di Spina è il territorio antropizzato più a sud del Comune di Comacchio, avvicinandosi al comune di Ravenna ci si avvicina anche alla zona sismogenetica Z912, per cui qui sono attese le accelerazioni maggiori.

In Allegato si riporta lo studio effettuato.

Quello che emerge è riassunto nella seguente tabella che riporta i fattori di amplificazione calcolati comparati con quelli da abachi regionali.

#### LIDO DI SPINA

		ABACHI	RSL
F.A. PGA/PGA0		1,3	1,35
F.A. SA1	0,1 - 0,5 sec	1,3	1,39
F.A. SA2	0,4 - 0,8 sec	2,1	2,18
F.A. SA3	0,7 - 1,1 sec	2,5	2,56
F.A. SA4	0,5 - 1,5 sec	2,4	2,43
F.A. SI1	0,1 - 0,5 sec	1,5	1,41
F.A. SI2	0,5 - 1,0 sec	2,3	2,32
F.A. SI3	0,5 - 1,5 sec	2,6	2,34

Come si può notare c'è una pressoché totale convergenza di risultati.

La stessa operazione è stata condotta a Porto Garibaldi, nel settore compreso tra questo abitato e Lido degli Scacchi.

I risultati a cui si perviene sono i seguenti:

#### PORTO GARIBALDI

		ABACHI	RSL
F.A. PGA/PGA0		1,3	1,38
F.A. SA1	0,1 - 0,5 sec	1,3	1,38
F.A. SA2	0,4 - 0,8 sec	2,1	2,20
F.A. SA3	0,7 - 1,1 sec	2,5	2,95
F.A. SA4	0,5 - 1,5 sec	2,4	2,67
F.A. SI1	0,1 - 0,5 sec	1,5	1,38
F.A. SI2	0,5 - 1,0 sec	2,3	2,45
F.A. SI3	0,5 - 1,5 sec	2,6	2,52

Nella struttura di archiviazione dati del comune di Comacchio sono stati inseriti gli spettri di Output del massimo involuppo (utilizzati per lo studio di risposta sismica locale) in formato txt rappresentati secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica del dipartimento di Protezione Civile nazionale – Microzonazione sismica versione 4.1.1.

Gli spettri rinominati ComacchioSAO01 rappresentano il massimo involuppo per lo studio di R.S.L. condotto per il sito di Porto Garibaldi, mentre quelli rinominati ComacchioSAO02 rappresentano il massimo involuppo per lo studio di R.S.L. condotto per il sito di Lido di Spina.

Inoltre sono stati inseriti anche i 3 accelerogrammi di input e i 3 di output per i due siti studiati, così rinominati:

- ComacchioAccI01 – Accelerogrammi di Input Porto Garibaldi
- ComacchioAccI02 – Accelerogrammi di Input Lido di Spina
- ComacchioAccO01 – Accelerogrammi di Output Porto Garibaldi
- ComacchioAccO02 – Accelerogrammi di Output Lido di Spina

ALLEGATO ANALISI  
DELLA RISPOSTA  
SISMICA LOCALE E  
CALCOLO DEGLI HSM

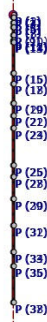


**Ubicazione sito:** comune di Comacchio Ferrara  
**Lido di Spina e Porto Garibaldi**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

**ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Colonna di controllo (1)



Archivio: LIDOSP~1.lsr - Data : 09/05/2020

**Oggetto:** MZ Comacchio

**Committente**

Comune di Comacchio

**Progettista**

Geologo Thomas Veronese

*Thomas Veronese*

The stamp is circular and contains the text: "ORDINE DEI GELOGHI REGIONE EMILIA-ROMAGNA", "Emilia-Romagna", "GELOGO", and "VERONESE". The name "Thomas Veronese" is written in blue ink across the stamp.

## Sommario

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
1.1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	4
1.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
<b>2.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
2.1.	ASSETTO TETTONICO .....	7
2.2.	TERREMOTI STORICI E MAGNITUDO .....	18
2.2.1.	LA MAGNITUDO ATTESA.....	25
2.3.	CLASSIFICAZIONE SISMICA .....	31
	<i>Legge 2/ 2/ 74 n. 64 .....</i>	<i>31</i>
	<i>OPCM 3274 del 20/03/2003 .....</i>	<i>32</i>
	<i>D.M. 14/09/2005 .....</i>	<i>33</i>
	<i>OPCM 3519/2006 .....</i>	<i>33</i>
	<i>D.M. 14/01/2008 "nuove NTC" e successivo D.M. 17/02/2018 "aggiornamento delle NTC" .....</i>	<i>34</i>
	<i>"Atto di indirizzo, n°112 del 2 maggio 2007" per la Pianificazione territoriale ed urbanistica.....</i>	<i>34</i>
	<i>"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 2193, DEL 21 DICEMBRE 2015" PER LA PLANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA.....</i>	<i>36</i>
	<i>"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 1164, DEL 23 LUGLIO 2018" AGGIORNAMENTO DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DI PRIMA APPLICAZIONE DEI COMUNI DELL'EMILIA ROMAGNA.....</i>	<i>38</i>
	<i>"DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 630, DEL 29 APRILE 2019" PER LA PLANIFICAZIONE TERRITORIALE ED URBANISTICA.....</i>	<i>39</i>
2.4.	CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE .....	45
2.5.	CENNI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA OLOCENICA .....	47
2.6.	CENNI SULLA SUBSIDENZA .....	60
<b>3.</b>	<b>DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....</b>	<b>68</b>
3.1.	INDAGINI PREGRESSE .....	68
3.2.	INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA .....	70
3.3.	PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	73
3.3.1.	ANALISI GRANULOMETRICA .....	74
3.3.2.	LIMITI DI ATTERBERG.....	74
<b>4.</b>	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>75</b>
4.1.	SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO .....	80
4.2.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI).....	81
4.3.	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES).....	81
4.4.	SUBSINTEMA DI BAZZANO – AES 6.....	83
4.5.	SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO – AES 7.....	83
4.6.	SUBSINTEMA DI RAVENNA – AES 8 E UNITA' DI MODENA – AES8A.....	84
<b>5.</b>	<b>INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....</b>	<b>89</b>
5.1.	CAUSE SCATENANTI PER LA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE .....	89
5.2.	DISTRIBUZIONE E DIMENSIONI DELLE FORME GEOMORFOLOGICHE .....	92
<b>6.</b>	<b>METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI .....</b>	<b>98</b>
7.1.	CARTA DELLE INDAGINI.....	98
7.2.	CARTA GEOLOGICO TECNICA .....	100
7.3.	CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI $F_0$ DEL TERRENO .....	102
7.4.	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA .....	105
7.5.	CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs) .....	110
	<i>Correlazione empirica da penetrometrie.....</i>	<i>113</i>
	<i>Misure dirette mediante sismocono.....</i>	<i>115</i>
	<i>Indagini geofisiche.....</i>	<i>115</i>

7.6.	CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE .....	117
<b>8.</b>	<b>CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....</b>	<b>128</b>
<b>9.</b>	<b>TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....</b>	<b>129</b>
9.1.	CARTA DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	131
9.2.	APPROFONDIMENTO SUL METODO DI BOULANGER & IDRIS 2014 .....	143
	9.2.1. <i>L'importanza delle analisi granulometriche.....</i>	<i>144</i>
9.3.	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	150
	<b>ALLEGATO ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E CALCOLO DEGLI HSM.....</b>	<b>159</b>
<b>1 -</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>163</b>
1.1 -	IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA DI CALCOLO DELL'AMPLIFICAZIONE LOCALE.....	165
1.2 -	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	166
<b>2 -</b>	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>167</b>
<b>3 -</b>	<b>METODO DI CALCOLO ADOTTATO E DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO LSR 2D .....</b>	<b>168</b>
3.1 -	METODO LINEARE EQUIVALENTE.....	168
3.2 -	SOLUZIONE ALLA SINGOLA ITERAZIONE MEDIANTE FEM .....	170
	<i>Smorzamento.....</i>	<i>171</i>
	<i>Free-field boundaries .....</i>	<i>171</i>
3.3 -	PROCEDIMENTO ITERATIVO.....	172
3.4 -	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI .....	172
<b>4 -</b>	<b>INPUT - LIDO DI SPINA.....</b>	<b>173</b>
4.1 -	CURVE DI DECADIMENTO DEI MATERIALI - LIDO DI SPINA.....	173
4.2 -	STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI SINGOLI STRATI - LIDO DI SPINA .....	181
4.3 -	ACCELEROGRAMMI E SPETTRI DI INPUT - LIDO DI SPINA .....	193
4.4 -	MODELLO DI CALCOLO FEM - LIDO DI SPINA.....	195
<b>5 -</b>	<b>OUTPUT - LIDO DI SPINA .....</b>	<b>196</b>
5.1 -	ACCELEROGRAMMI OUTPUT - LIDO DI SPINA.....	196
5.2 -	SPETTRI OUTPUT - LIDO DI SPINA .....	197
5.3 -	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI - LIDO DI SPINA.....	199
5.4 -	PARAMETRIZZAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA DERIVANTE DALLA RSL - LIDO DI SPINA.....	200
<b>6 -</b>	<b>CALCOLO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE - LIDO DI SPINA.....</b>	<b>202</b>
<b>7 -</b>	<b>CALCOLO DEGLI HSM - LIDO DI SPINA.....</b>	<b>213</b>
<b>8 -</b>	<b>ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE PORTO GARIBALDI - OUTPUT.....</b>	<b>219</b>
8.1 -	SPETTRI OUTPUT - PORTO GARIBALDI .....	220
8.2 -	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI - PORTO GARIBALDI.....	222
8.3 -	PARAMETRIZZAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA DERIVANTE DALLA RSL- PORTO GARIBALDI.....	222
<b>9 -</b>	<b>CALCOLO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE - PORTO GARIBALDI.....</b>	<b>224</b>
<b>10 -</b>	<b>CALCOLO DEGLI H<sub>SM</sub> - PORTO GARIBALDI.....</b>	<b>227</b>
<b>11 -</b>	<b>CONFRONTO DEI RISULTATI .....</b>	<b>232</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>234</b>

## 1 - Introduzione

In passato si è potuto osservare, a seguito di terremoti distruttivi, una distribuzione anomala del danneggiamento delle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di modeste dimensioni.

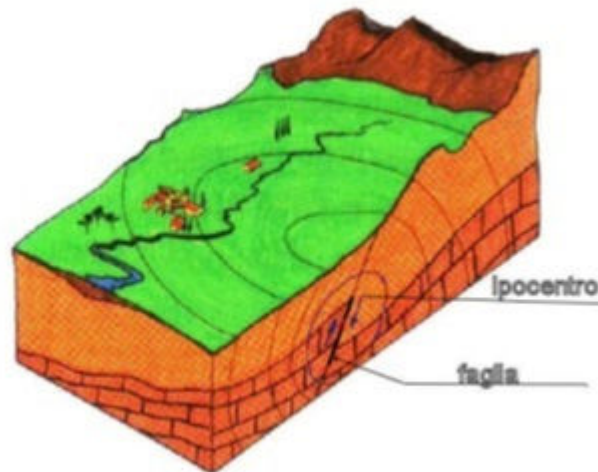
Oltre alle intrinseche differenze della vulnerabilità sismica delle costruzioni ed alle differenti caratteristiche dinamiche delle stesse, tali cause possono essere attribuite principalmente alle modificazioni delle caratteristiche del moto sismico indotte da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

Il moto sismico in un determinato sito, infatti, è influenzato da tre parametri importanti:

- Il meccanismo di sorgente;
- La propagazione;
- La risposta sismica locale;

I primi due fattori dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'evento sismico; questi variano in funzione delle caratteristiche della sorgente (magnitudo e tipo di rottura della faglia) e dalla distanza tra il sito in esame e la sorgente.

La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.



**Figura 1** - Schema della rottura del terreno e generazione e propagazione delle onde sismiche.

In altre parole le caratteristiche del sito sono le responsabili delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (terremoto di riferimento), subisce attraversando gli strati dal bedrock fino alla superficie (Lanzo G. et al,1999).

Nella Figura 1 è rappresentato uno schema della rottura fragile del terreno in profondità con conseguente generazione di onde che si irradiano dall'ipocentro.

Se si ipotizza di avere installato un sismometro ad una grande distanza dall'ipocentro un possibile segnale registrato potrebbe essere quello mostrato nella Figura 2. Il segnale inizia con l'arrivo delle onde P caratterizzate da alte frequenze a bassa ampiezza. Successivamente arrivano le onde S che si propagano meno velocemente delle P e sono di frequenza più bassa e di maggiore ampiezza. Queste ultime sono in genere la causa dei maggiori danni. Le onde P e quelle S, come già descritto nel capitolo A sono chiamate onde di volume per distinguerle da quelle di superficie che sono più lente.





Figura 2 - Tipico sismogramma registrato in superficie a grande distanza.

In generale si può dire che le onde generate dalla sorgente sismica sono di due differenti tipi, cioè quelle associate a stati deformativi di compressione-dilatazione volumetrica, dette onde **P** che si propagano con velocità  $V_p$  pari a:

$$V_p = \sqrt{\frac{M_v}{\rho}}$$

con:

$$M_v = \lambda + 2G$$

dove:

- $\lambda$  = modulo di Lamé del terreno;
- $G$  = modulo elastico del taglio del terreno;
- $\rho$  = densità del volume del terreno.

Per le onde **P** il moto oscillatorio delle particelle di terreno avviene parallelamente alla direzione di propagazione. Le onde **S** sono associate a deformazione di taglio ed hanno una velocità  $V_s$  pari a:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Il moto delle particelle di terreno è in tal caso perpendicolare alla direzione di propagazione. Il campo di spostamenti, in genere, è scomposto in due componenti perpendicolari tra di loro: le onde **SV** polarizzate nel piano verticale contenente la sorgente e le onde **SH** polarizzate nel piano orizzontale (piano della superficie libera del terreno in direzione perpendicolare al precedente).

Per maggiore chiarezza, se si considera il piano  $\pi$  verticale e contenente la direzione di propagazione dell'onda incidente, il moto della particella di terreno perpendicolare a tale piano costituisce l'onda **SH**, viceversa il moto nel piano costituisce l'onda **SV**.

Le onde **P** e **S** arrivate in superficie possono trasformarsi parzialmente in onde di diverso tipo (**P** in **S** oppure **S** in **P**) oppure in onde superficiali chiamate così perché viaggiano in superficie attenuandosi rapidamente con la profondità. Queste ultime si differenziano in onde di Rayleigh quando il moto della particella di terreno è in un piano verticale oppure onde di Love quando il moto è in un piano orizzontale.

Con riferimento alla Figura 3, il fenomeno della propagazione delle onde può essere descritto come segue. Nella sua complessità morfologica, litologica e stratigrafica, un territorio può essere rappresentato come un insieme di formazioni superficiali, interessate dai loro fenomeni evolutivi tipici, poggianti su formazioni più profonde, i cui

andamenti possono essere stati resi complessi fino alla creazione di affioramenti dai fenomeni tettonici ed orogenetici.

Prevalentemente, le formazioni profonde saranno costituite da rocce ignee o metamorfiche di origine sedimentaria, mentre quelle superficiali saranno di natura sedimentaria più recente, coerenti od incoerenti, e quindi di caratteristiche meccaniche ben differenziate rispetto alle prime.

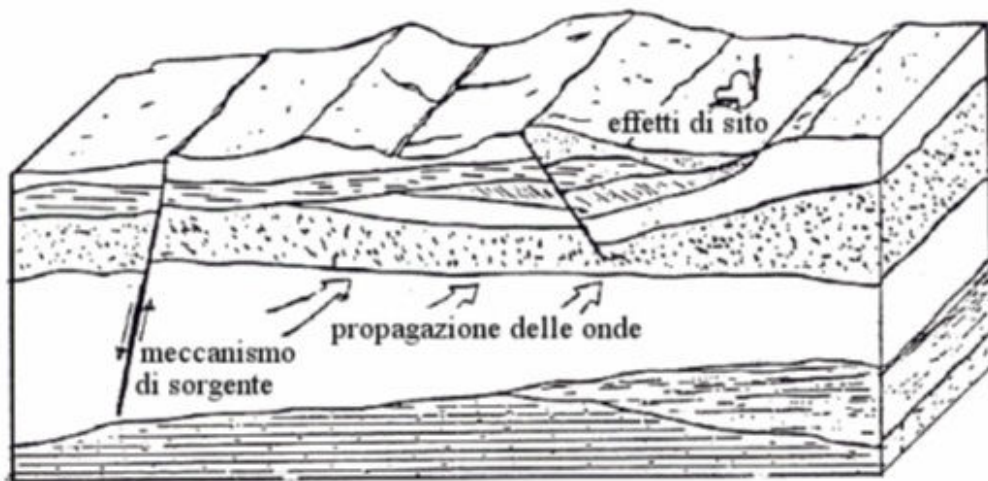
Le onde sismiche che si sono generate in profondità, e che sono già caratterizzate diversamente a seconda del meccanismo proprio della sorgente, subiscono una serie di modificazioni ulteriori (riflessioni e rifrazioni) nell'attraversare la crosta terrestre e giungere fino alle formazioni di base per il sito. Ad una certa distanza dall'epicentro, e per una porzione di territorio ragionevolmente limitata, il moto sismico apparirà come un fronte d'onda uniforme propagantesi dal basso verso l'alto, con una certa angolazione rispetto alla verticale, che viene trasmesso dalle formazioni di base a quelle superficiali.

Il moto al suolo tende a non dipendere più solamente dal tipo di rottura della sorgente e a diventare il risultato di due ulteriori meccanismi eventualmente combinati:

- la propagazione delle onde sismiche all'interno delle formazioni di base e dalla conformazione delle frontiere della stessa;
- la risposta dinamica delle formazioni superficiali.

Tutto ciò comporta una non omogeneità del moto vibratorio in superficie che può cambiare da punto a punto anche a breve distanza. Sugli aspetti quantitativi e qualitativi del fenomeno hanno pertanto grande rilevanza diversi fattori quali la natura delle onde sismiche incidenti ed in particolare il meccanismo di sorgente, le diversità fra le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, ed in particolare tra formazioni di base e superficiali, la conformazione e la giacitura degli strati, la presenza di falde idriche, l'entità dei fenomeni dissipativi ed altri ancora.

Al variare delle condizioni locali, il moto alla superficie risulterà quindi differente per quanto attiene ai suoi caratteri principali e cioè: ampiezza, contenuto in frequenza e durata. Si osserva che tutti e tre questi caratteri sono significativi e concorrono a causare il danneggiamento delle strutture e l'instabilità dei terreni (frane, cedimenti, liquefazioni).

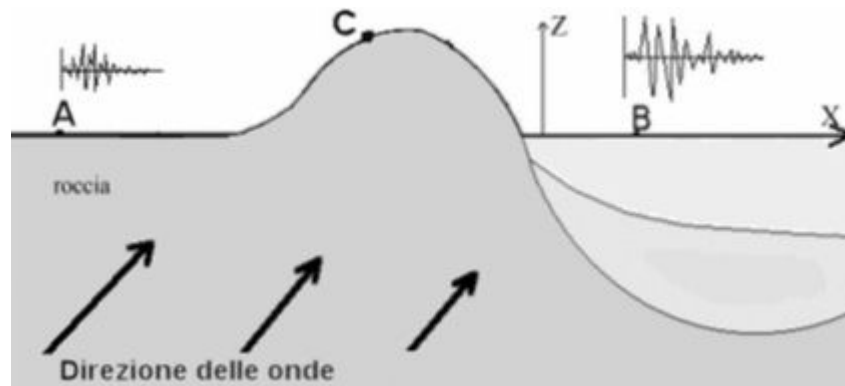


*Figura 3. Schema di una situazione reale.*

### **1.1 - Impostazione del Problema di Calcolo dell'Amplificazione Locale**

Per illustrare gli aspetti principali del fenomeno della risposta sismica locale si paragoni il moto in corrispondenza di tre siti, indicati con A, B e C nella Figura 4, posti alla stessa distanza dalla sorgente sismica durante lo stesso evento sismico. Si supponga inoltre che il primo sito sia su un semispazio affiorante (per esempio roccia) e il secondo B su un deposito alluvionale posto al di sopra del semi spazio ed il terzo C su di un rilievo.

In corrispondenza della coltre alluvionale si verifica, rispetto al moto sul semi spazio affiorante, una amplificazione del moto in particolari campi di frequenza e una deamp1ificazione negli altri campi. Analogamente sul rilievo in C si verificheranno focalizzazioni oppure diradazioni di onde per effetto della forma del rilievo e della direzione di incidenza delle onde.



*Figura 4. Schema della propagazione delle onde dalla sorgente e delle differenti condizioni locali.*

In letteratura si parla di effetti stratigrafici o monodimensionali nel caso in cui le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi in direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento roccioso siano essenzialmente attribuibili a fenomeni di filtraggio. L'amplificazione delle onde sismiche dipende, in questo caso dalla stratigrafia del sottosuolo, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza del moto sismico.

Il termine “effetti di bacino” è utilizzato quando le onde incidenti incontrano una valle alluvionale; in tal caso ai fenomeni sopra descritti si sovrappongono quelli dovuti al manifestarsi di fenomeni complessi di interazione tra le onde, che possono sommarsi o elidersi a vicenda, e generazione di onde superficiali. Spesso ai bordi della valle si verificano maggiori amplificazioni, dette: “effetti di bordo”.

Con “effetti topografici” si intendono le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate essenzialmente da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare geometria della superficie (per es. la cresta di un rilievo o un canyon) e sono molto influenzati dalla lunghezza d'onda del moto incidente e dalla direzione di incidenza.

Lo scopo delle analisi di amplificazione sismica locale è quello di determinare il moto in B oppure in C una volta noto il moto nel sito di riferimento A. Tale moto di riferimento è in genere determinabile in via statistica (analisi di pericolosità) o deterministica dallo studio del meccanismo di rottura della sorgente nell'ipotesi che tra la sorgente stessa ed il sito in esame il mezzo sia omogeneo ed isotropo.

Come è facile immaginare le caratteristiche del moto in superficie sono fortemente influenzate, oltre che dalla geometria degli strati e delle loro proprietà meccaniche, anche dalle caratteristiche del moto incidente, cioè dalla direzione di propagazione, dal suo contenuto energetico e dalla direzione del moto delle particelle del terreno.

## **1.2 - Normativa di Riferimento**

La normative di riferimento per lo studio del problema in esame sono:

- NTC 2018 Cap 7.11.3.1 (Risposta Sismica Locale).

## 2 - Risposta Sismica Locale

Come già detto in precedenza, il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I passi da seguire nello studio del problema della risposta sismica locale sono:

1. Definizione input sismico;
2. Stima dell'accelerazione di base;
3. Dati di disaggregazione;
4. Estrazione, conversione e normalizzazione accelerogrammi di input;
5. Analisi di Risposta Sismica Locale;
6. Inserimento sismostratigrafia di input (derivata da indagine sismica MASW);
7. Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica.

Le analisi numeriche che consentono di valutare gli effetti del sito nell'amplificazione delle onde sismiche possono essere distinte in:

- Analisi numeriche monodimensionali;
- Analisi numeriche bidimensionali;
- Analisi numeriche tridimensionali.

Il primo approccio consente di definire una realistica risposta sismica stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali. Questo approccio è ritenuto la via ufficiale delle NTC 2018 (Cap. 3.2.2) e consente, in determinati casi e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo, elementi di risparmio rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazione per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli di normativa.

Il secondo approccio è da preferire in quelle situazioni in cui il sottosuolo presenta una geometria variabile in cui, oltre alla profondità, è importante considerare un'altra delle due restanti dimensioni spaziali. Un esempio di situazione che richiede l'utilizzo di modelli bidimensionali è il caso delle aree marginali delle valli alluvionali, in cui alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli effetti di bordo connessi alla geometria del problema.

Il terzo approccio necessita di modelli complessi che richiedono capacità computazionali notevoli; solo recentemente iniziano ad avere una certa diffusione grazie al rapido sviluppo degli strumenti informatici. Il loro utilizzo è principalmente concentrato sulla valutazione delle amplificazioni in presenza di effetti morfologici, data l'importanza assunta in queste analisi dalla conoscenza precisa e dalla gestione di un modello tridimensionale del terreno.



### 3 - Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D

Il codice di calcolo LSR 2d, alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. QUAD4 e QUAD4M), consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

#### 3.1 - Metodo lineare equivalente

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Figura 5. La tensione  $\tau$  dipende dalla deformazione  $\gamma$  e dalla sua derivata  $\dot{\gamma}$ , secondo la relazione:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

dove:

- $G$  = Modulo di taglio;
- $\eta$  = viscosità del mezzo;

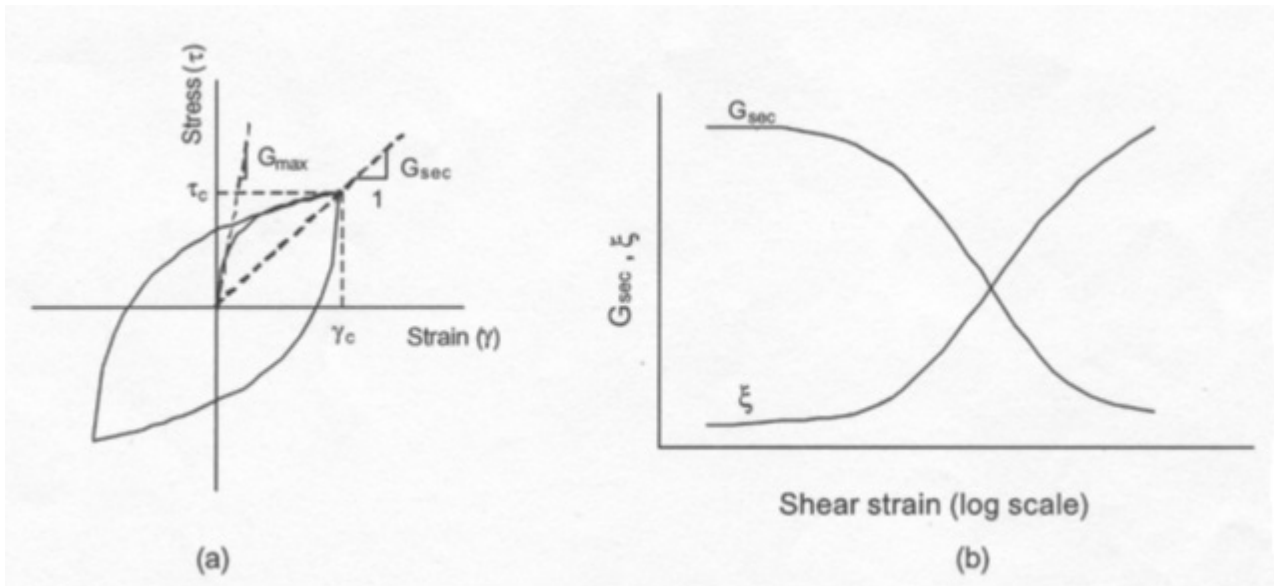


Figura 5. Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Figura 5. Il modulo di taglio equivalente,  $G$ , è preso considerando il modulo di taglio secante  $G_s$ . È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva  $G_s - \gamma$  non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva  $\tau - \gamma$  e sussiste la seguente relazione:

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento  $D$ , definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- $\Delta W^{dissp}$  = quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- $W^{max}$  = massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico;

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Figura 5b).

### 3.2 - Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'  $i$ -esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (figura 6) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

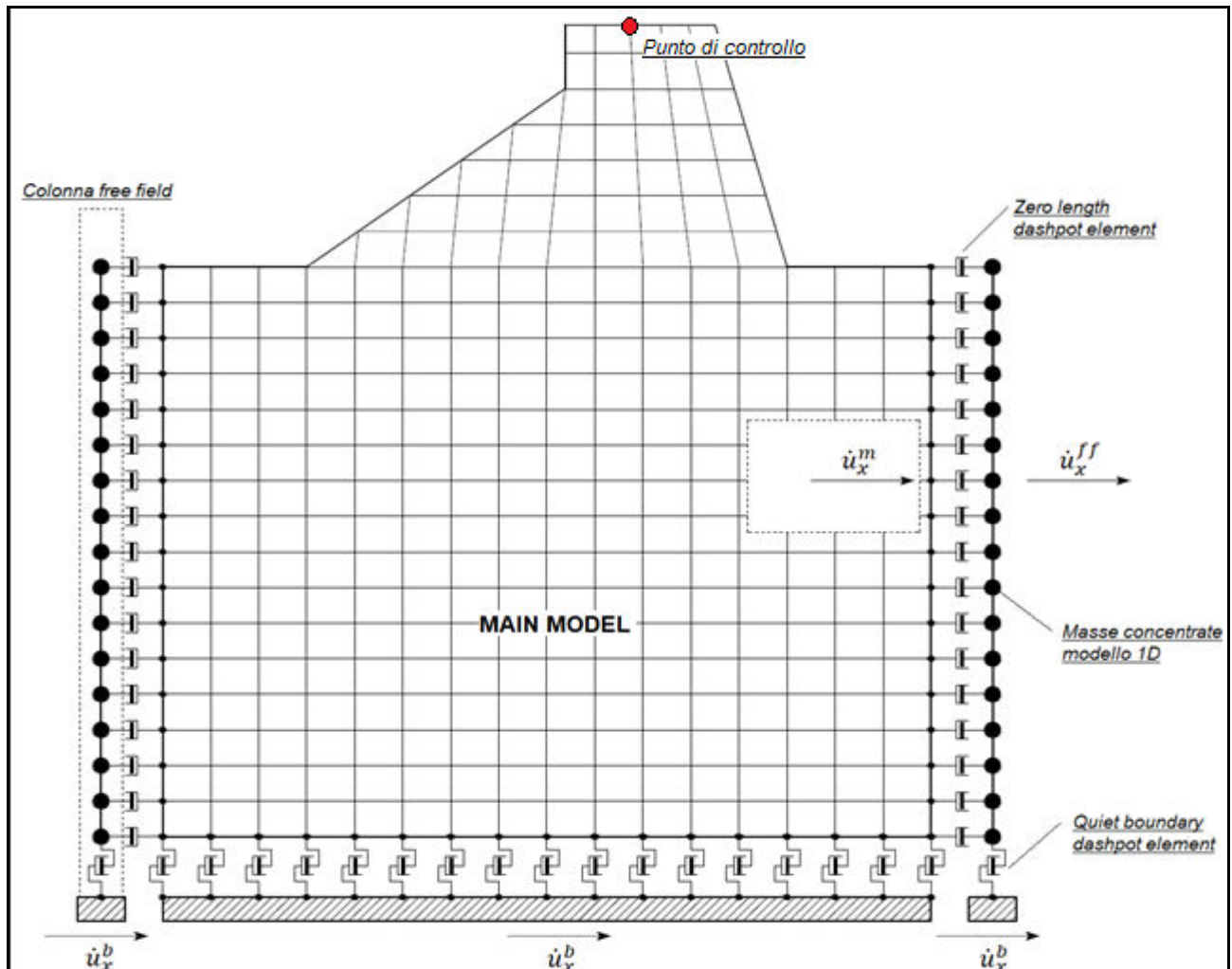


Figura 6. Discretizzazione FEM del deposito di terreno.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

- $M$  = matrice di massa del sistema;
- $C$  = matrice di smorzamento del sistema;
- $K$  = matrice di rigidità del sistema;
- $\ddot{u}, \dot{u}, u$  = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;
- $a_g$  = vettore di accelerazione alla base;

Tale equazione vale per ogni istante di tempo  $tn$  e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni  $tn$  viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

dove:

- $\Delta t$  = incremento temporale tra l'istante di tempo  $tn$  e  $tn - 1$ ;
- $\beta$  = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- $\gamma$  = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

### Smorzamento

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- $\alpha_q$  e  $\beta_q$  = coefficienti di smorzamento alla Reyleigh;

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

$$D_q = \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q \omega \right)$$

dove:

- $\omega_1$  = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$  con  $n = \omega_i / \omega_1$  (approssimato all'intero pari più grande) e  $\omega_i$  frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

### Free-field boundaries

Le condizioni di free-field sulle frontiere laterali vengono implementate mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi delle frontiere laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Le coordinate dei nodi delle frontiere laterali del modello e delle colonne free-field possono essere uguali. È necessario, affinché tali condizioni al contorno siano applicabili, che le frontiere laterali del modello siano perfettamente verticali. Le forze interne agli smorzatori possono essere ottenute mediante le seguenti equazioni:

$$F_x = -\rho V_p (\dot{u}_x^m - \dot{u}_x^{ff}) A \quad (1)$$



$$F_y = -\rho V_s (\dot{u}_y^m - \dot{u}_y^{ff}) A \quad (2)$$

dove:

- $\rho$ : densità di massa del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- $V_p$ : velocità delle onde P del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- $V_s$ : velocità delle onde S del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- $A$ : area di influenza relativa al nodo su cui agisce lo smorzatore;
- $\dot{u}_x^m$ : velocità del nodo del modello in direzione x;
- $\dot{u}_y^m$ : velocità del nodo del modello in direzione y;
- $\dot{u}_x^{ff}$ : velocità del nodo della colonna free-field in direzione x;
- $\dot{u}_y^{ff}$ : velocità del nodo della colonna free-field in direzione y.

Le componenti della velocità dei nodi delle colonne laterali ad ogni istante di tempo vengono ottenute mediante una soluzione numerica monodimensionale a masse concentrate dell'equazione di propagazione delle onde. Tale soluzione è affidata ad un processo di calcolo che opera in parallelo rispetto a quello impiegato per la soluzione del modello principale. In altre parole, per il generico passo di integrazione temporale, vengono dapprima ottenute le componenti delle velocità delle colonne di campo libero attraverso la soluzione 1D, per poi essere convertite in carichi applicati al modello principale mediante le equazioni (1) e (2).

### 3.3 - Procedimento iterativo

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Facendo riferimento alla Figura 7, lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico:

- definizione di curve  $\mathbf{G} = \mathbf{G}(\gamma)$  e  $\mathbf{D} = \mathbf{D}(\gamma)$  per i diversi strati;
- inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni ( $\mathbf{G0}$  e  $\mathbf{D0}$ );
- calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato ( $\gamma_1$ , Figura 7);
- aggiornamento dei valori  $\mathbf{G1} = \mathbf{G}(\gamma_1)$  e  $\mathbf{D1} = \mathbf{D}(\gamma_1)$ ;
- iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ( $\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$ ).

### 3.4 - Interpretazione dei risultati

Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM. Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

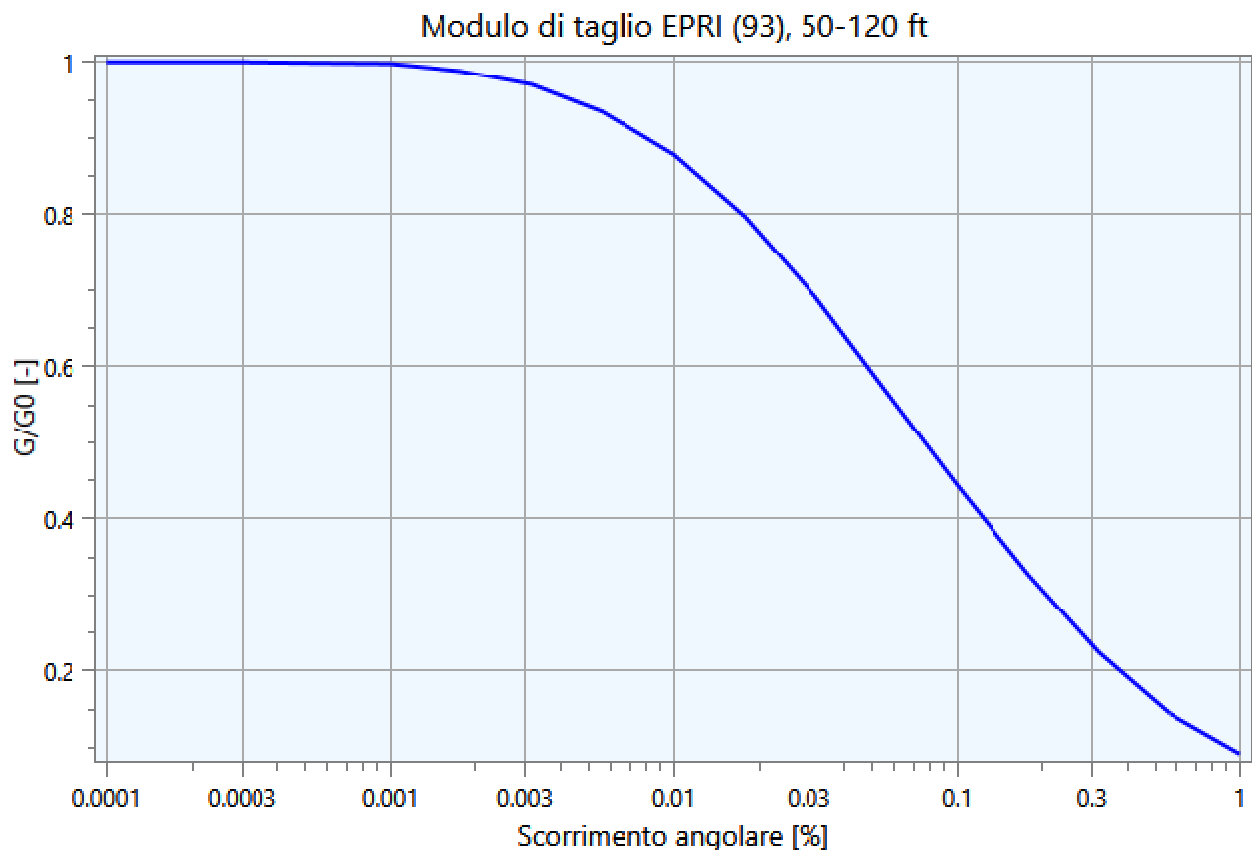
## 4 - Input - Lido di Spina

Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai dati di input utilizzati per lo studio della risposta sismica locale del deposito.

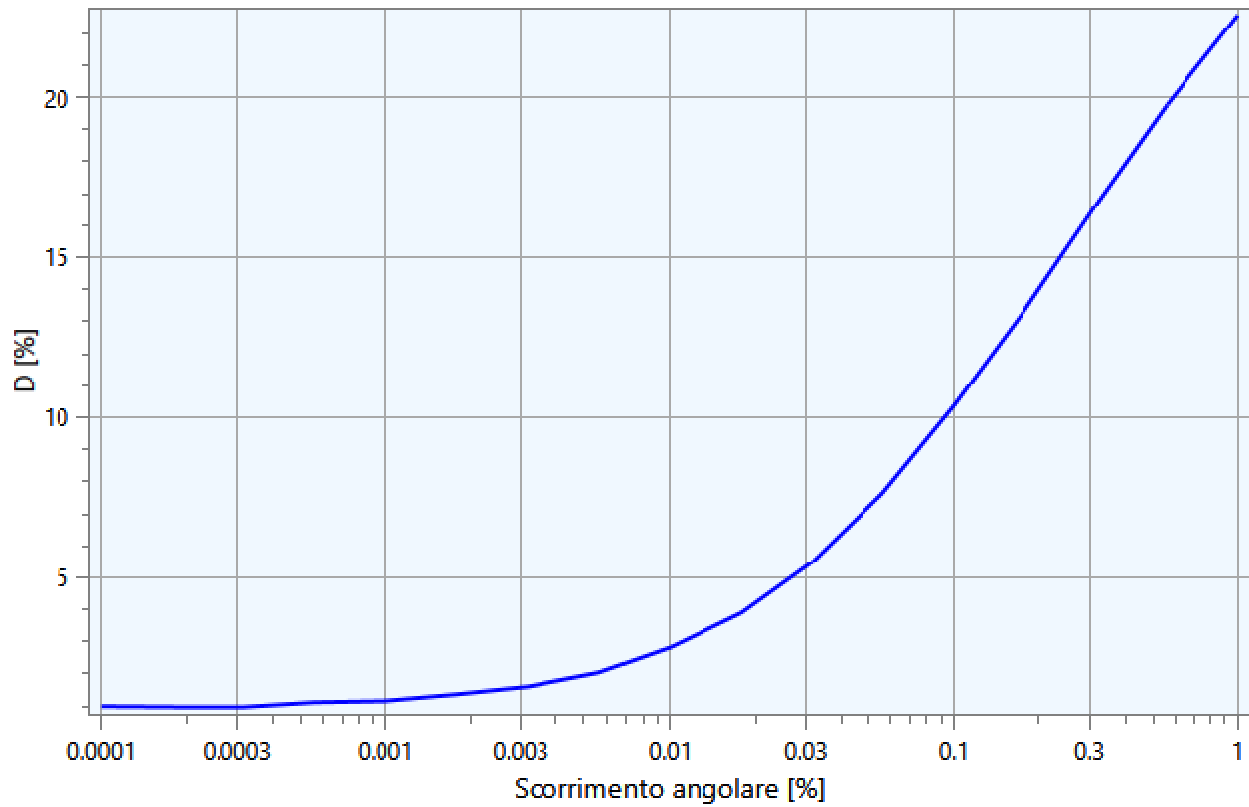
### 4.1 - Curve di Decadimento dei Materiali - Lido di Spina

All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio  $G$  ed un aumento del rapporto di smorzamento  $D$ . Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a  $G$  ed una  $D$ .

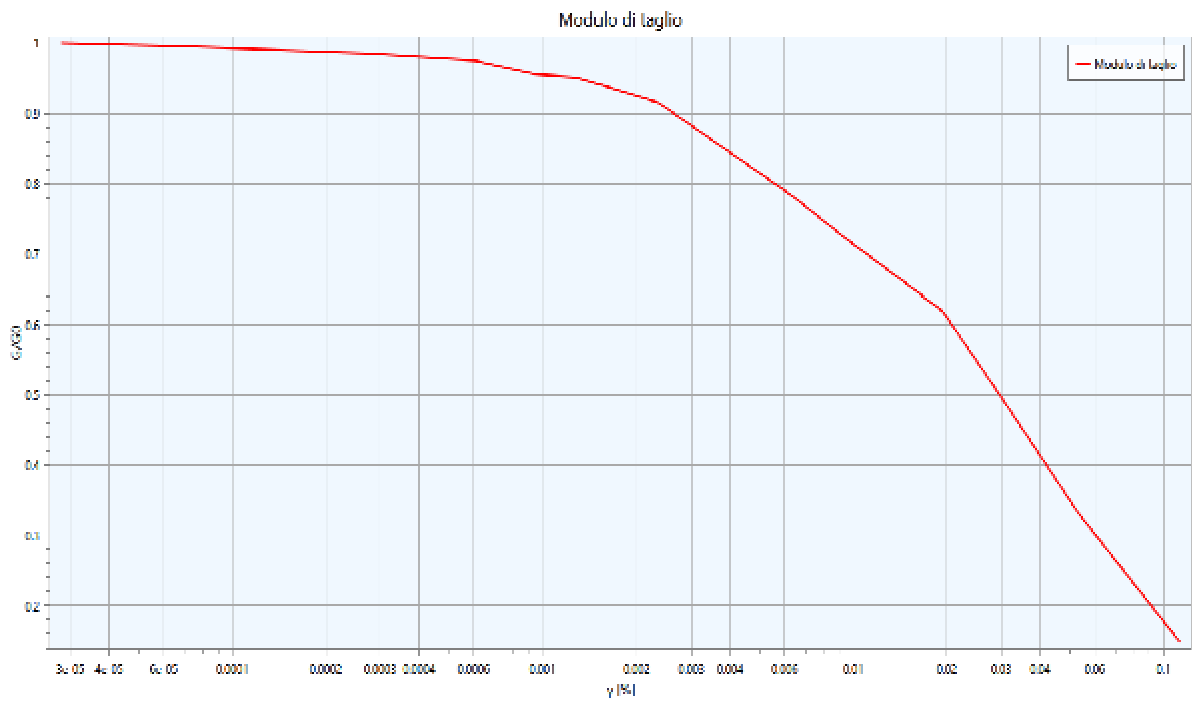
Di seguito si riportano le curve di riferimento utilizzate nell'analisi:



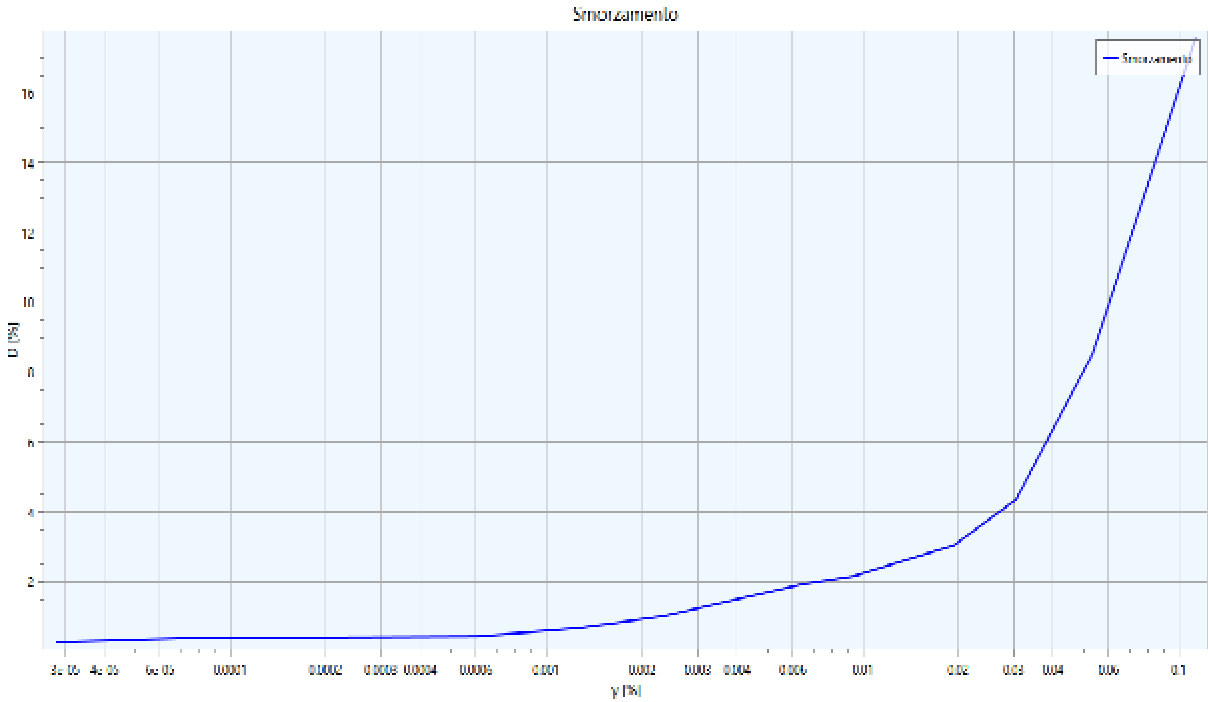
Smorzamento EPRI (93), 50-120 ft



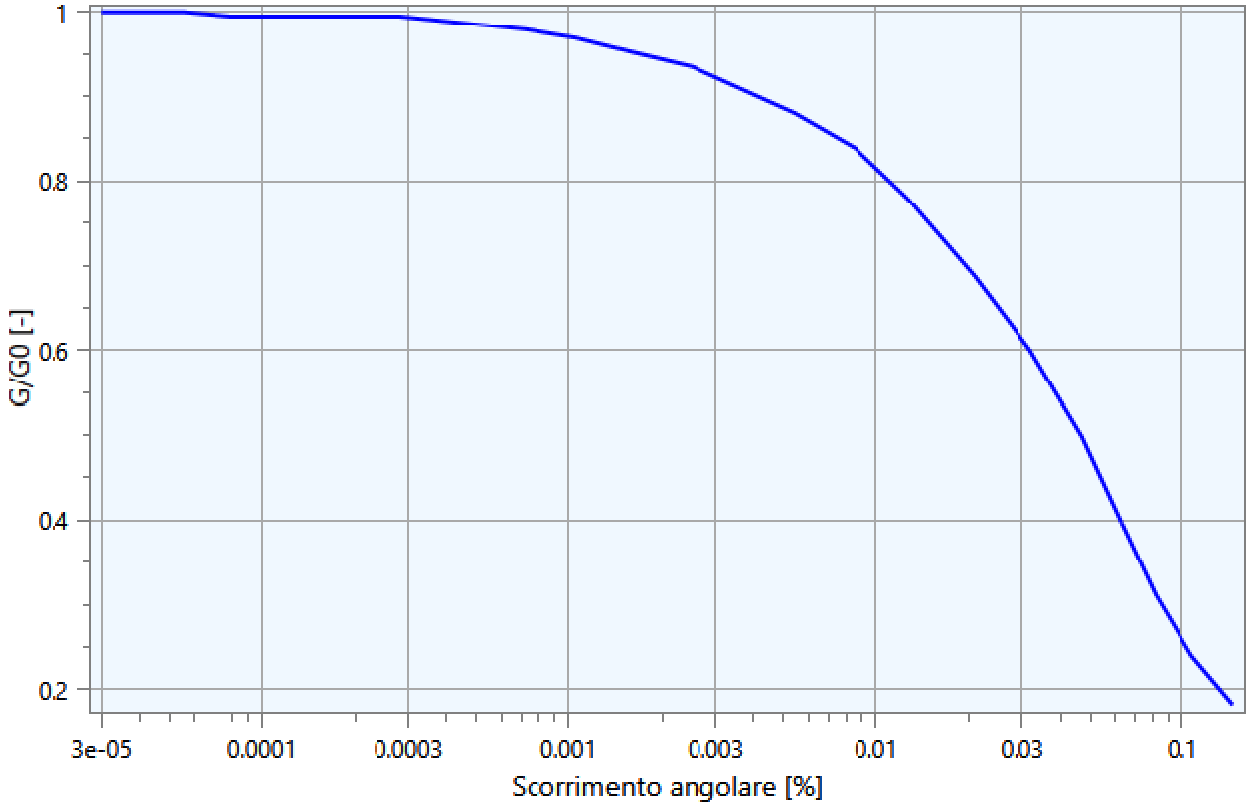
Modulo di Taglio CMACH 03



Smorzamento CMACH 03

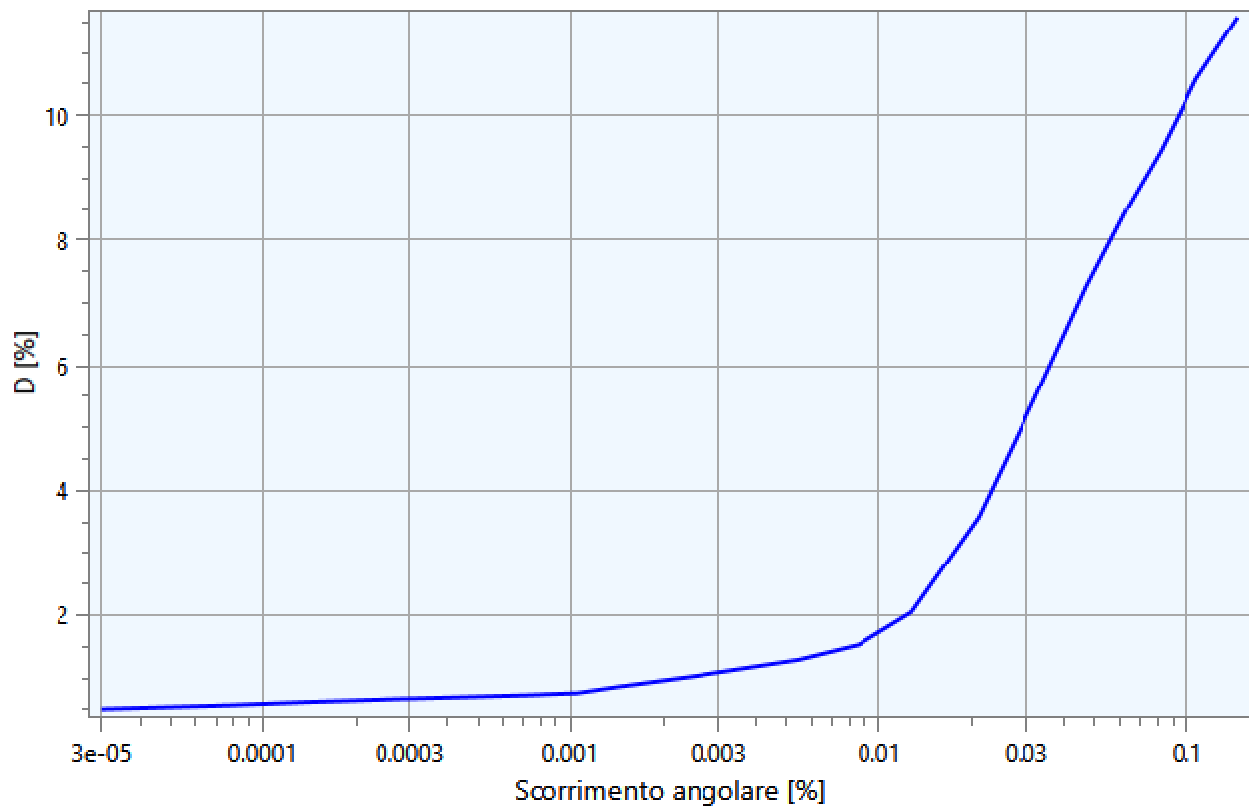


Modulo di taglio Cmach 04

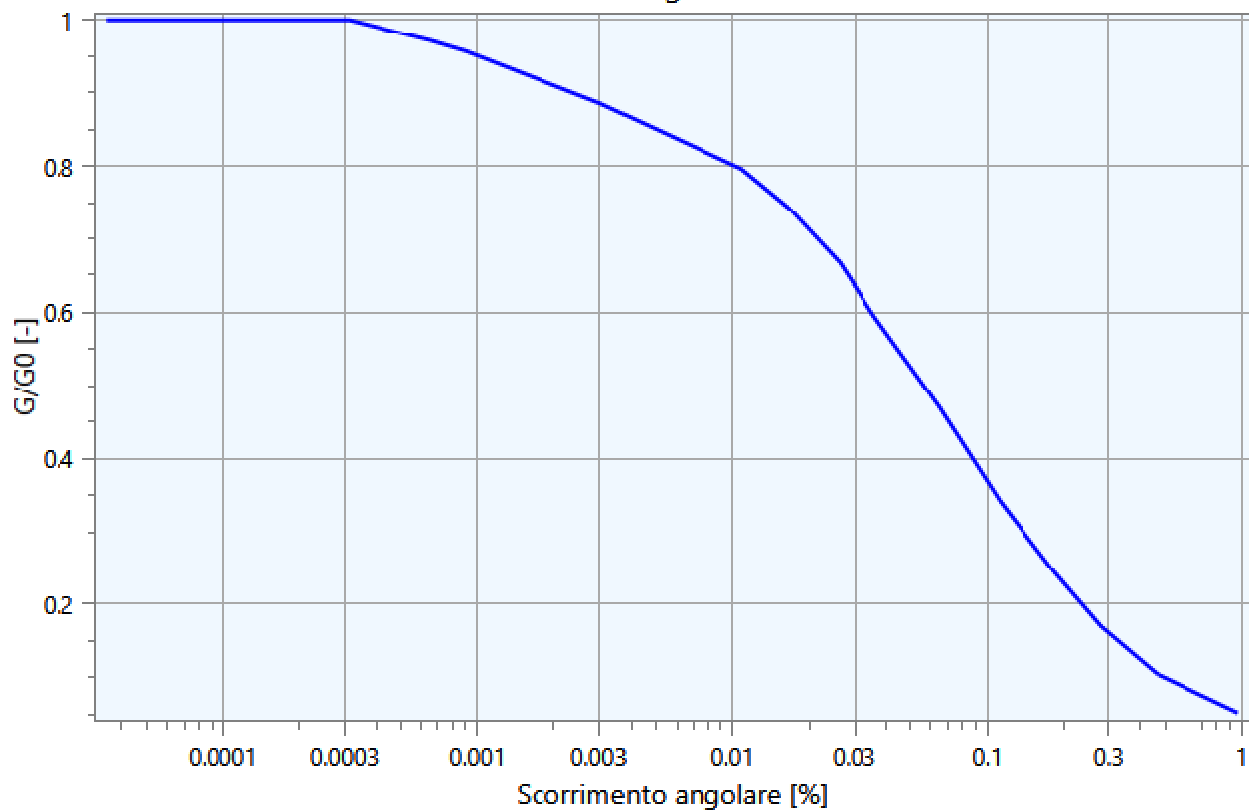




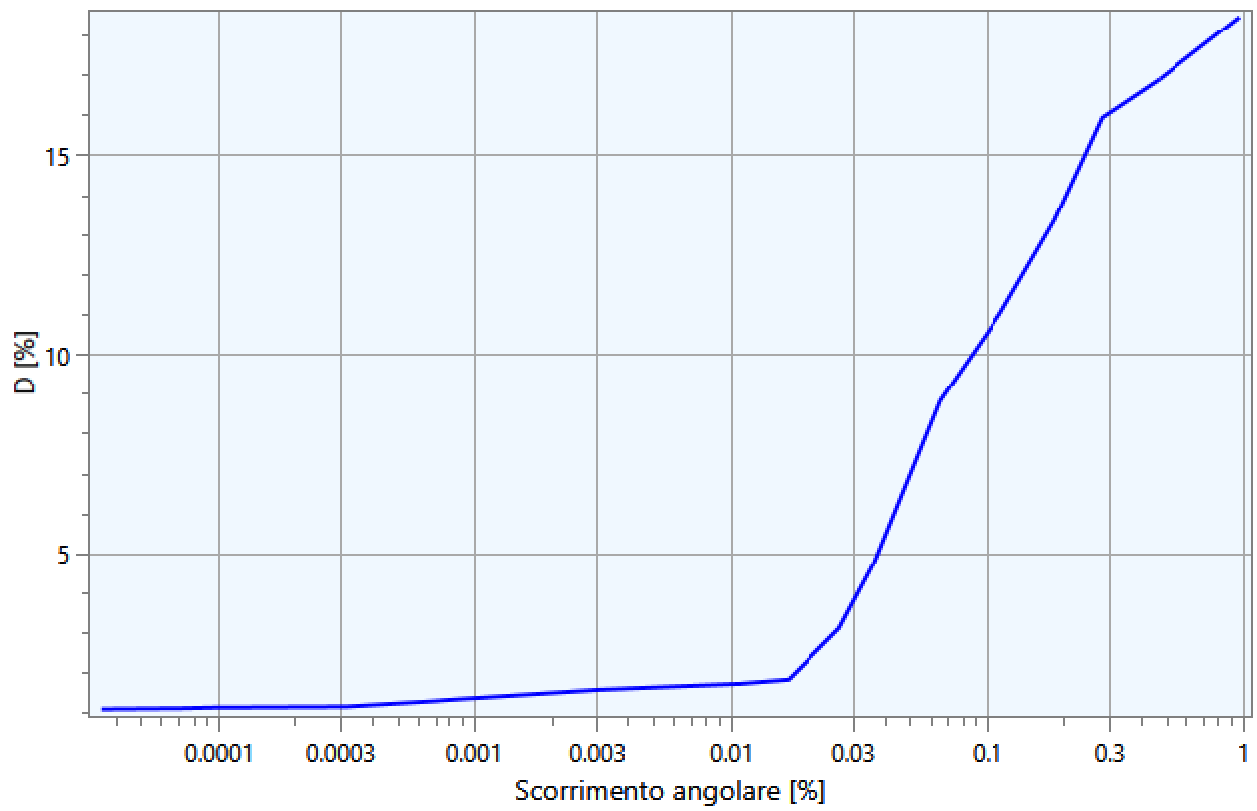
Smorzamento Cmach 04



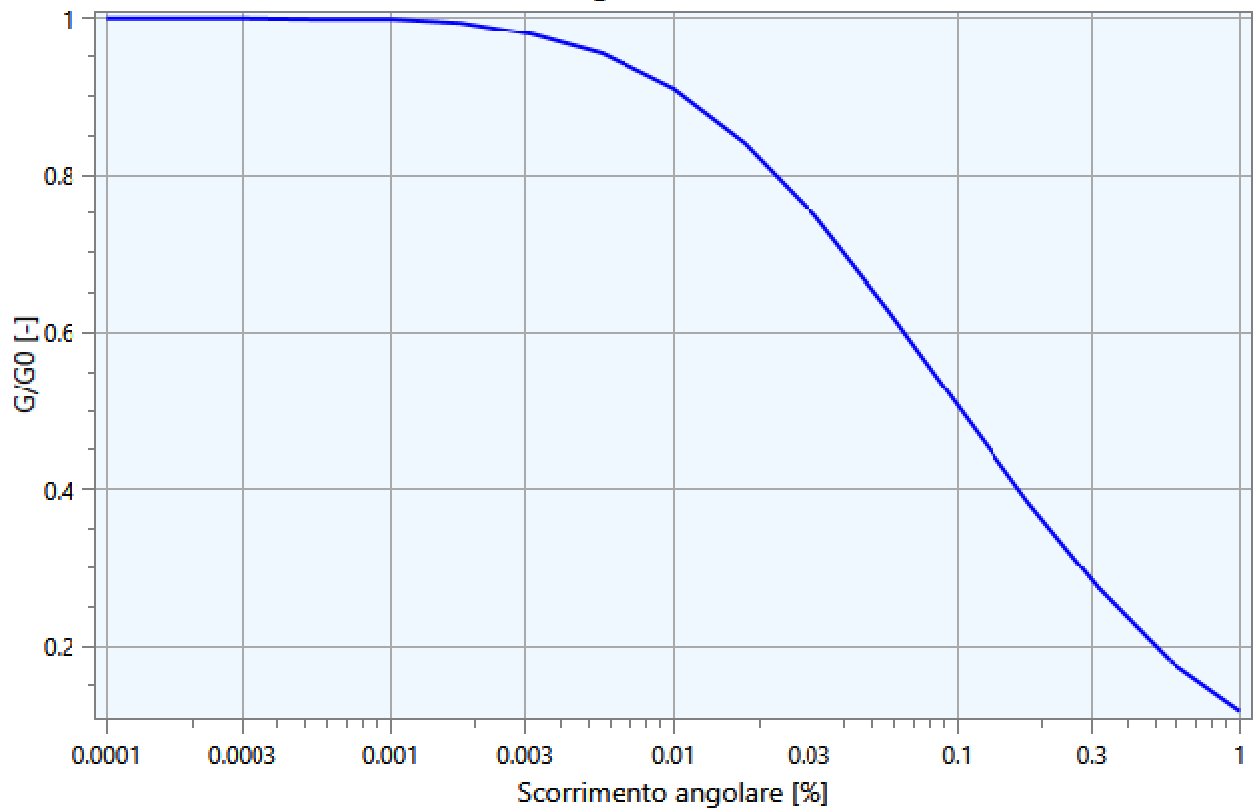
Modulo di taglio Cmach 05

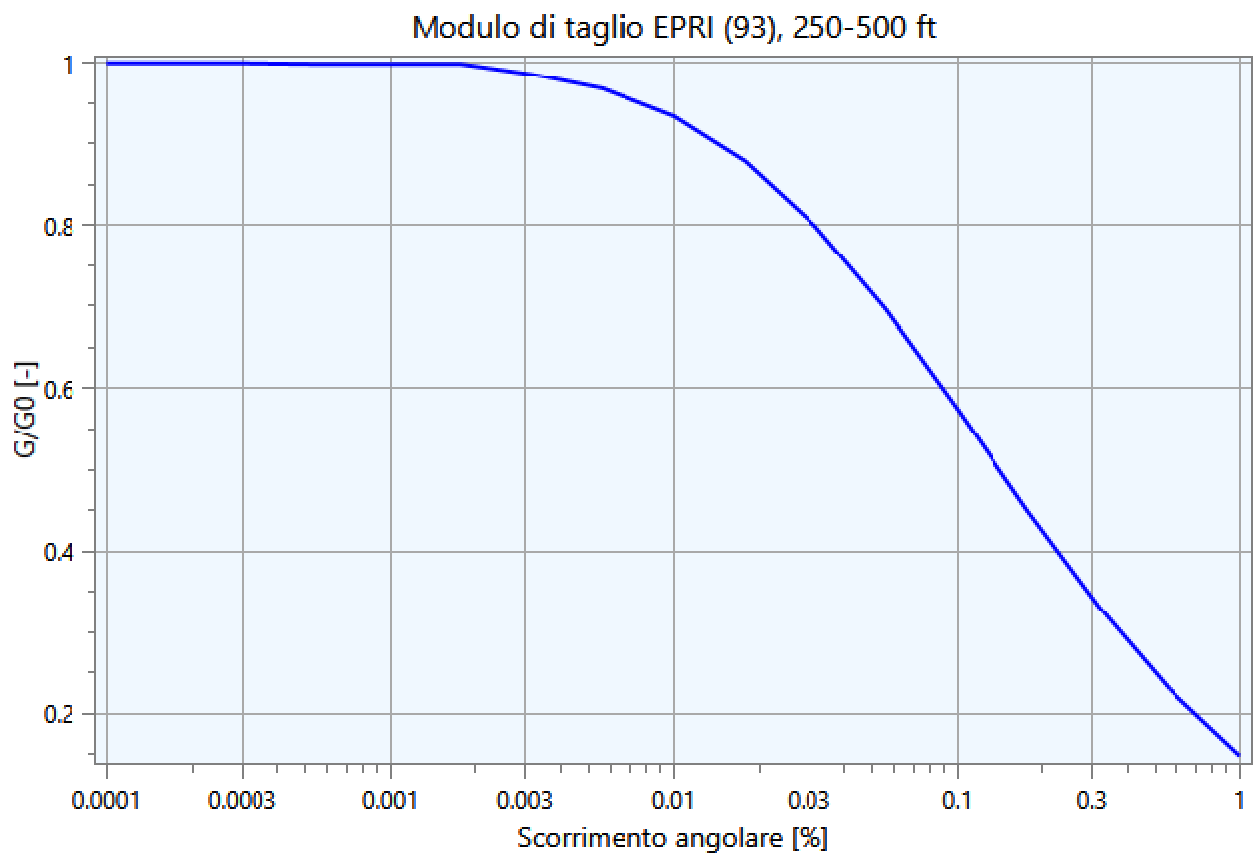
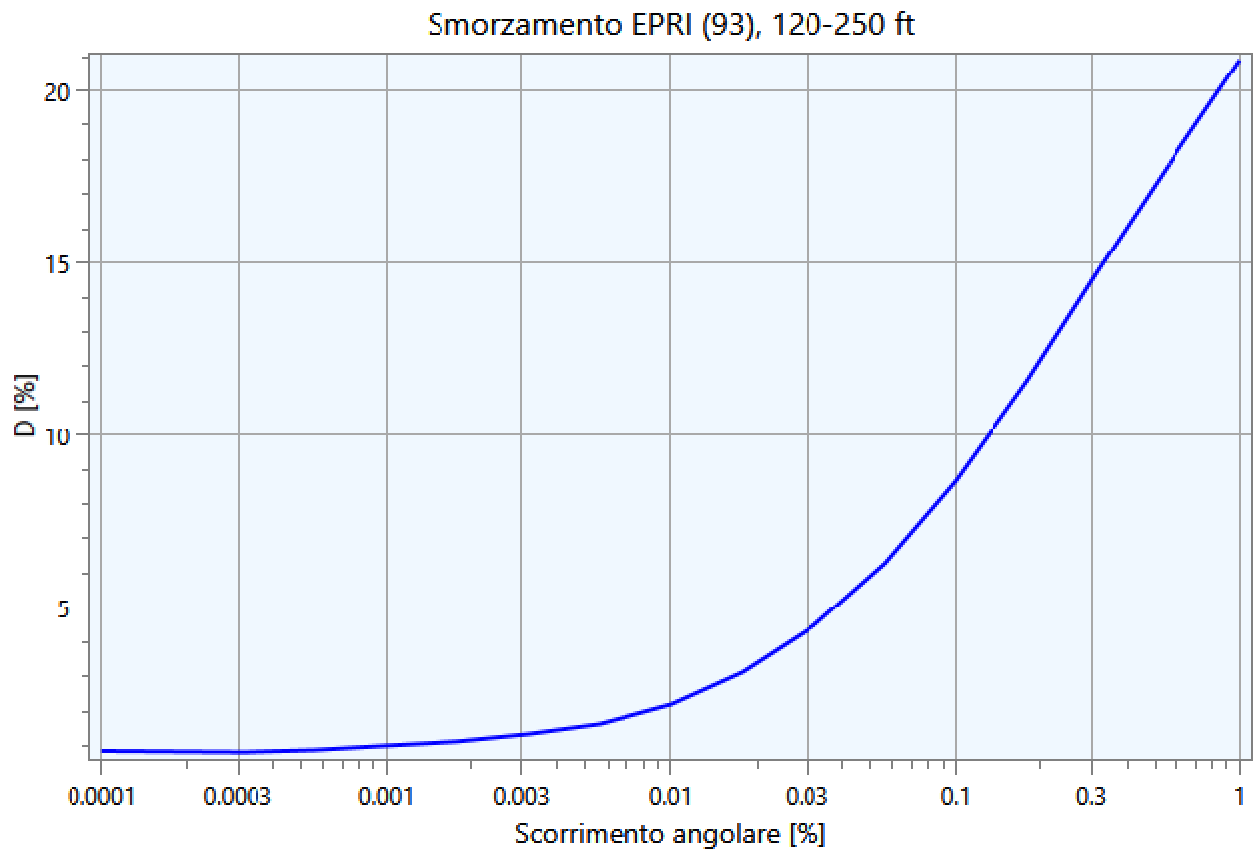


Smorzamento Cmach 05

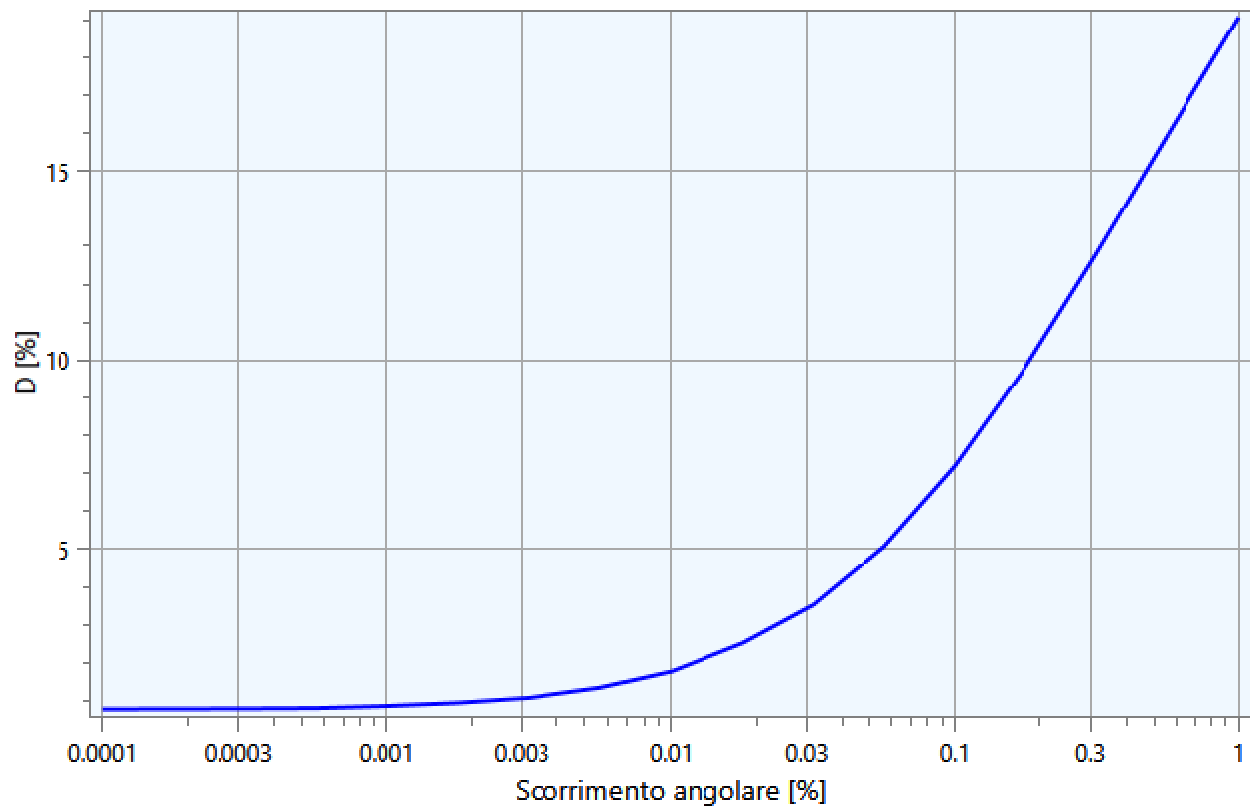


Modulo di taglio EPRI (93), 120-250 ft

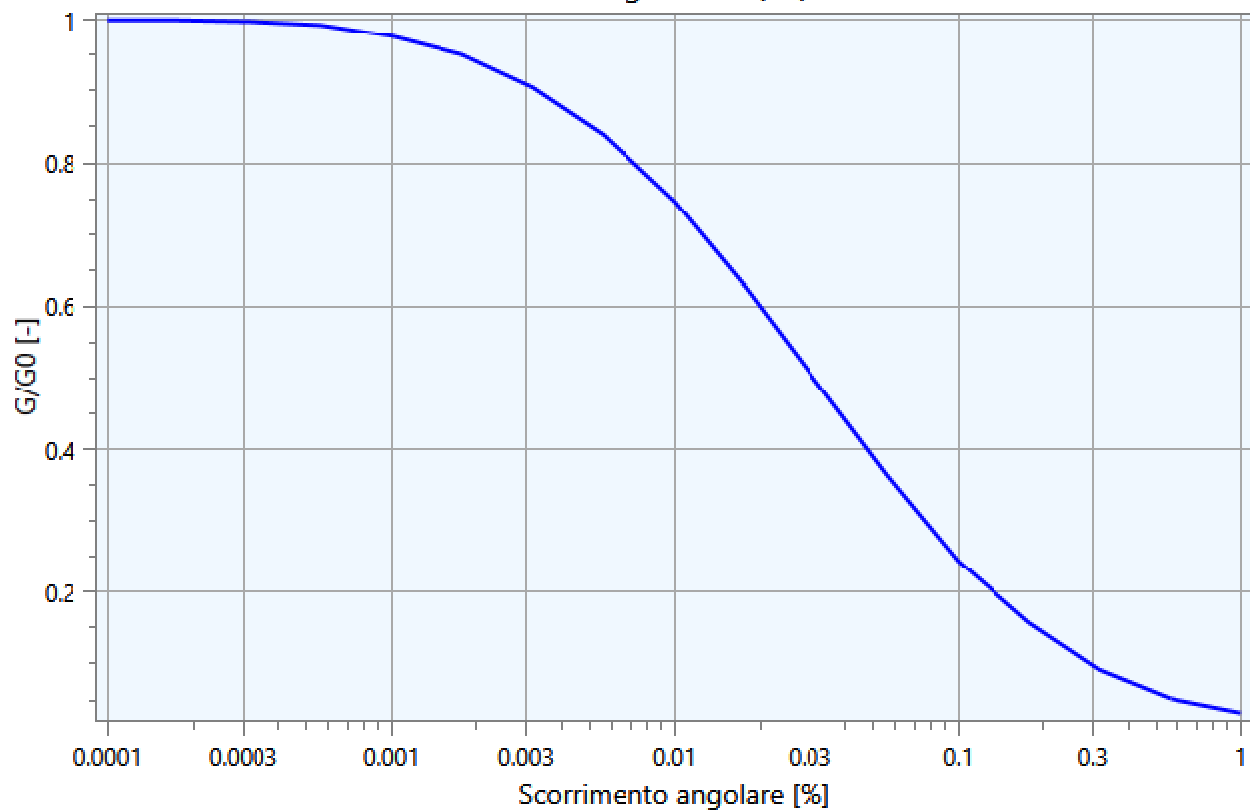


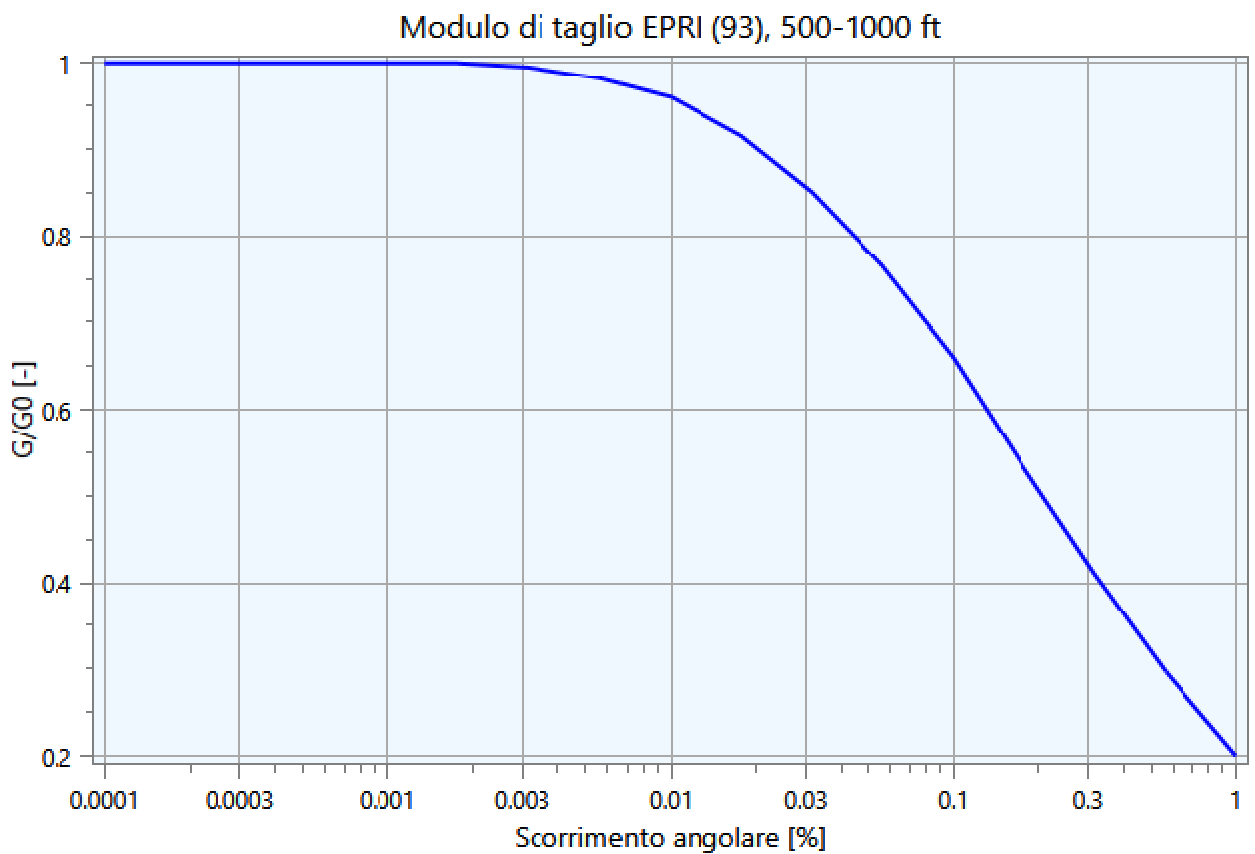
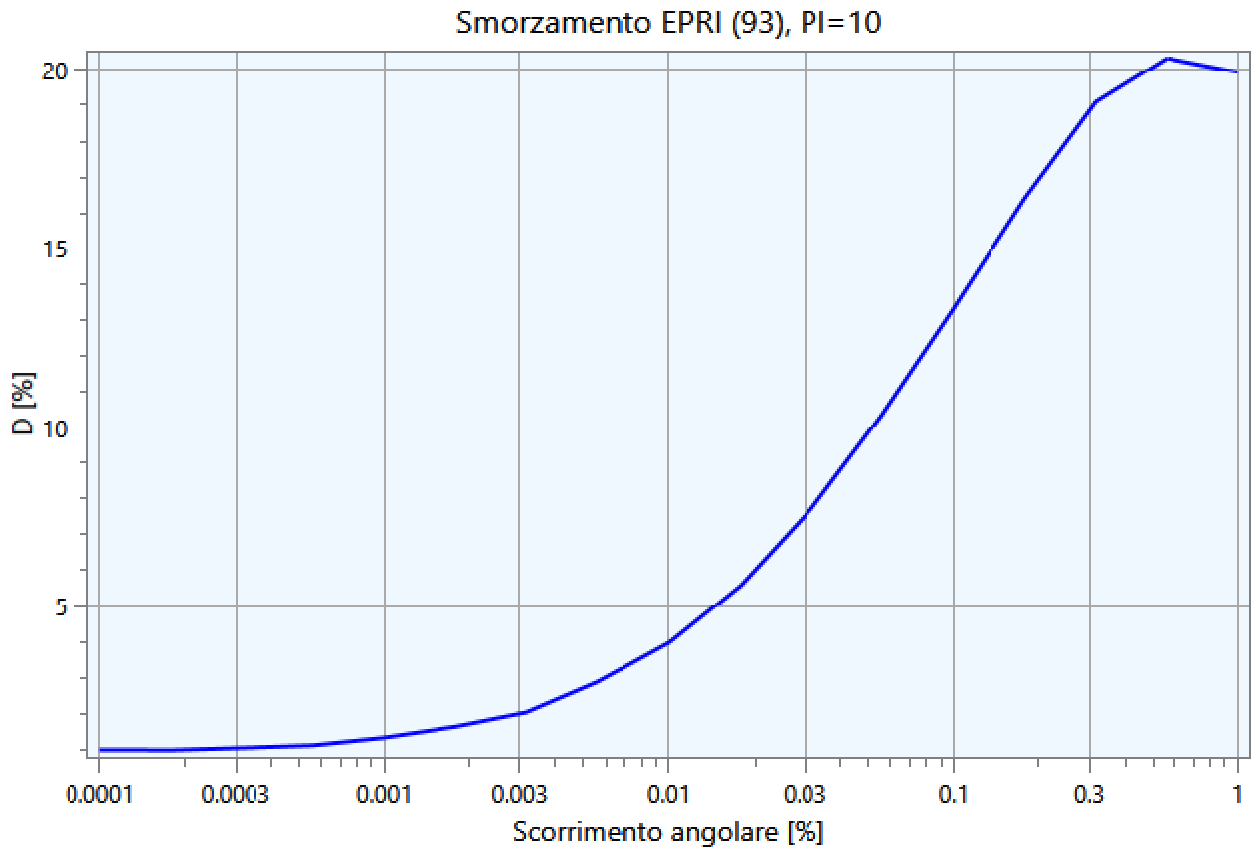


Smorzamento EPRI (93), 250-500 ft

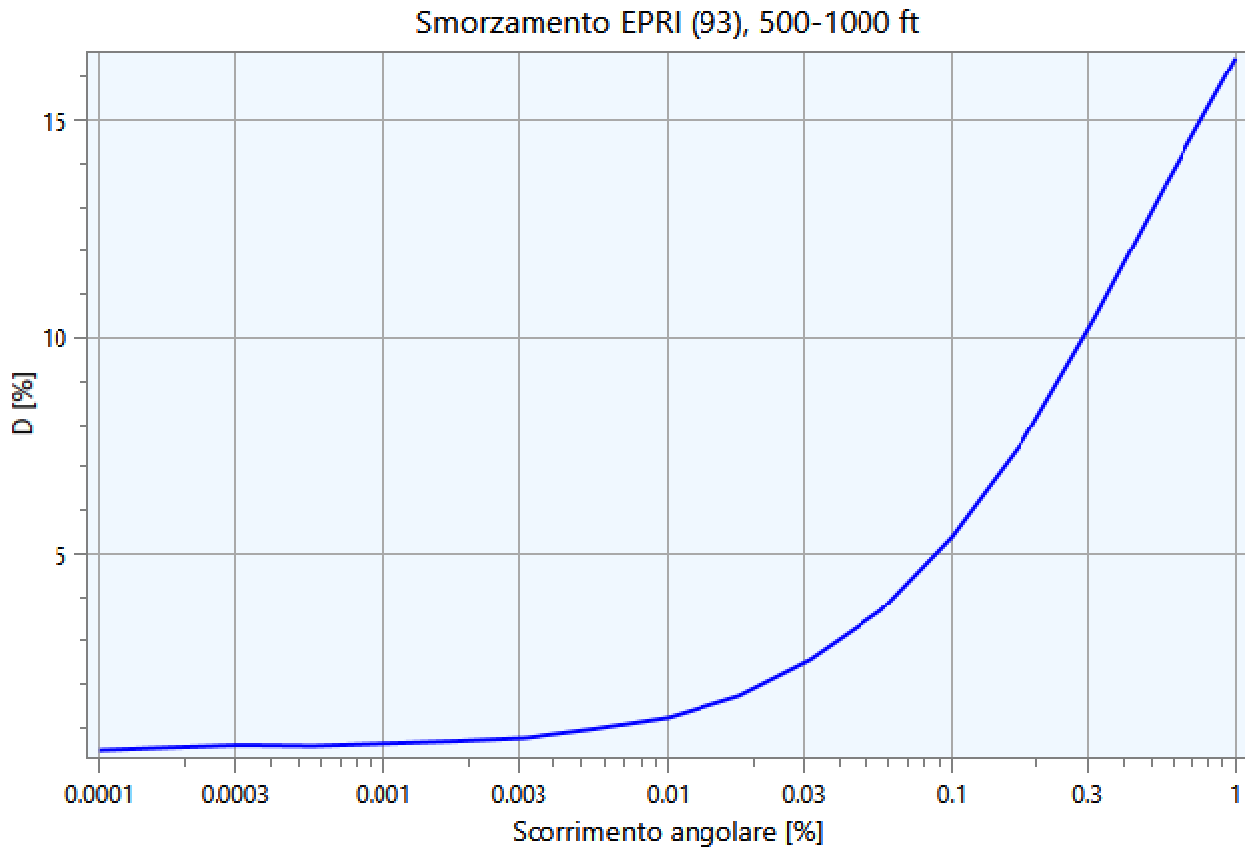


Modulo di taglio EPRI (93), PI=10









#### ***4.2 - Stratigrafia e Caratteristiche meccaniche dei singoli strati - Lido di Spina***

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato dal problema in esame, viene definita una stratigrafia di progetto che rappresenta l'andamento delle singole lenti di terreno in una sezione verticale.

I dati stratigrafici e quelli geofisici utilizzati sono i seguenti:

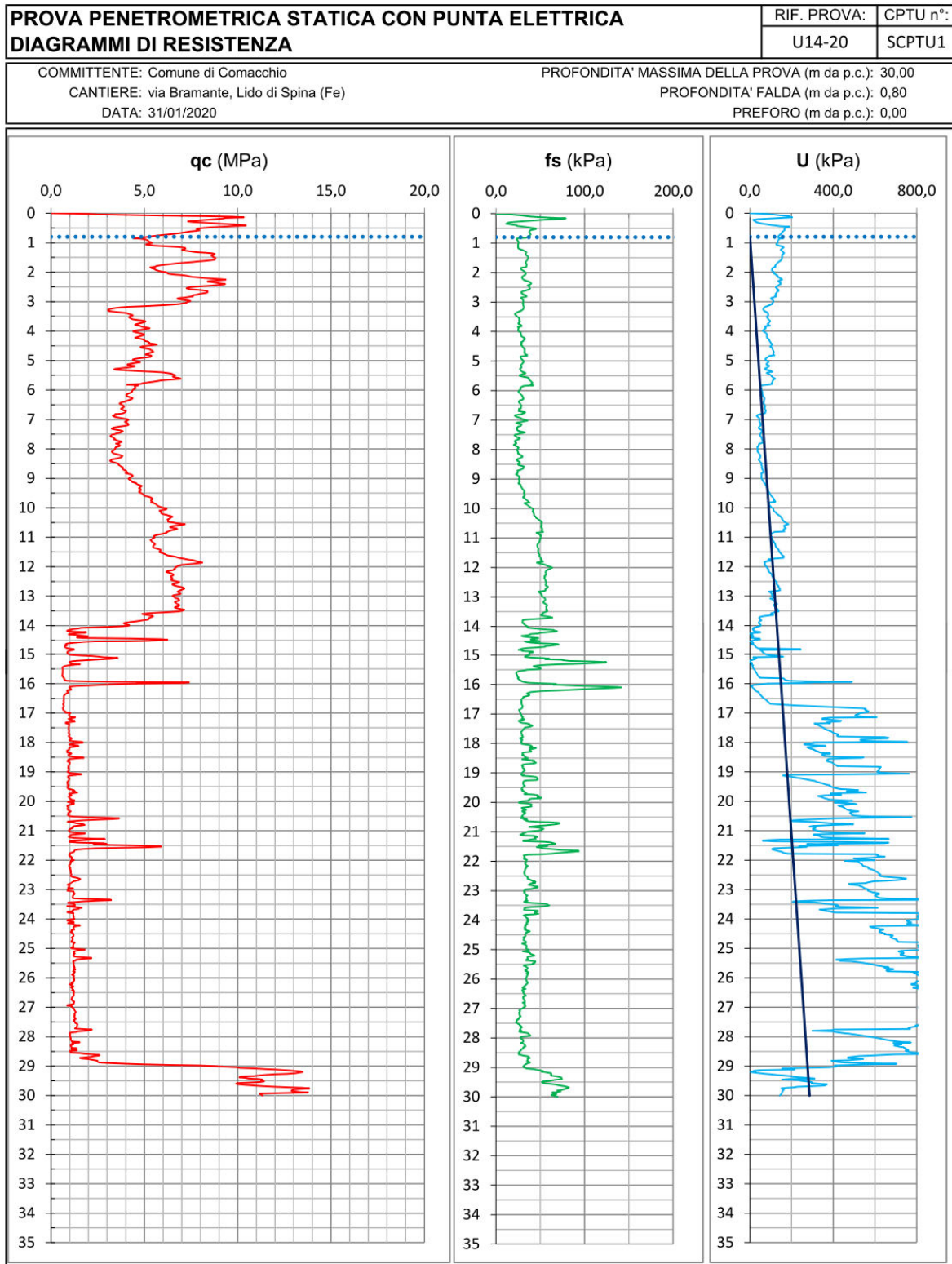
Prova SCPTU appositamente eseguita:

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA</b>	RIF. PROVA:	
<b>UBICAZIONE DELLE PROVE SVOLTE - FOTO PIAZZAMENTI</b>	U14-20	

COMMITTENTE: Comune di Comacchio  
 CANTIERE: via Bramante, Lido di Spina (Fe)  
 DATA: 31/01/2020



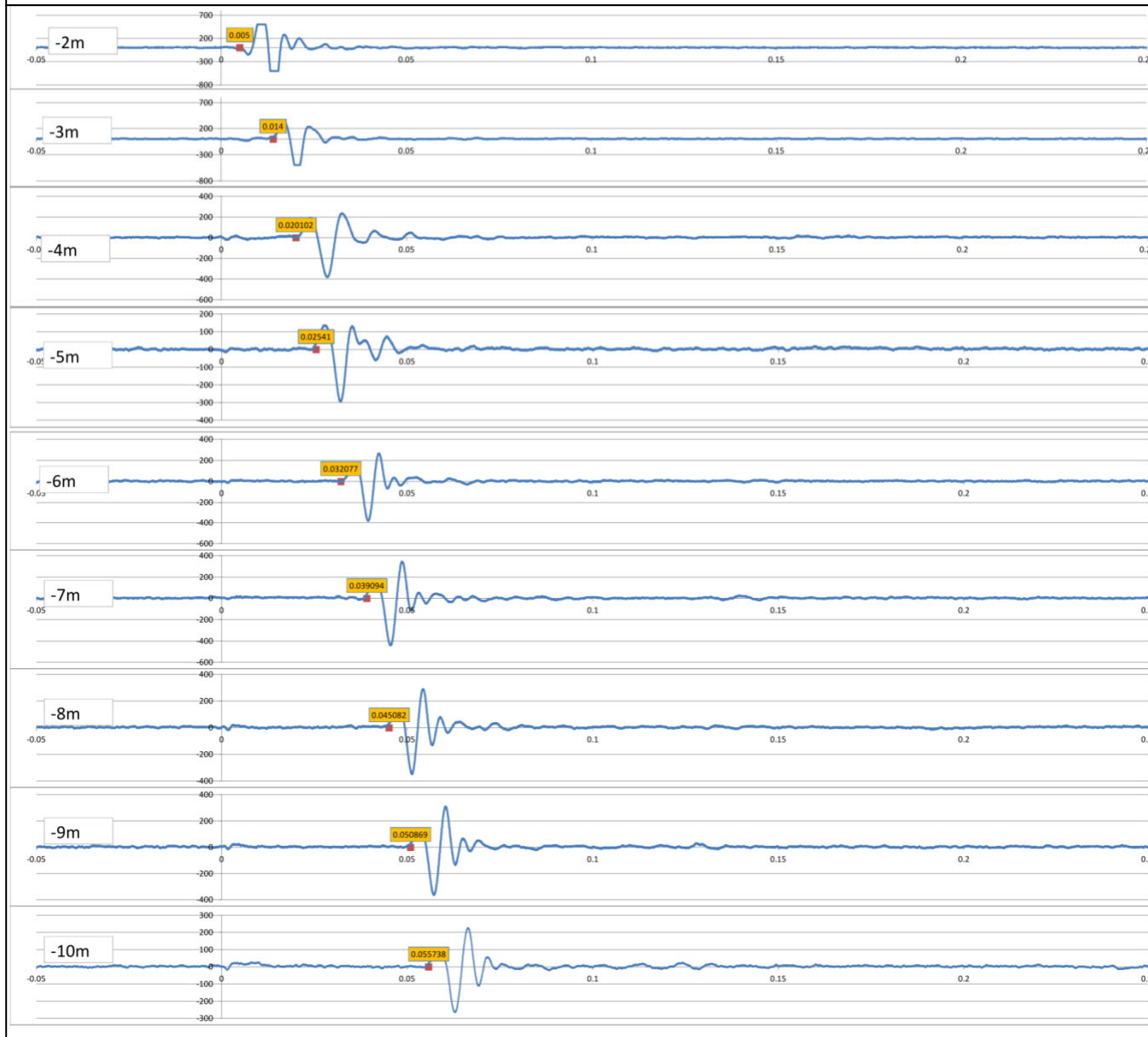
SCPTU1



La stratigrafia litologica è stata derivata dall'interpretazione della prova penetrometrica SCPTU14-20.

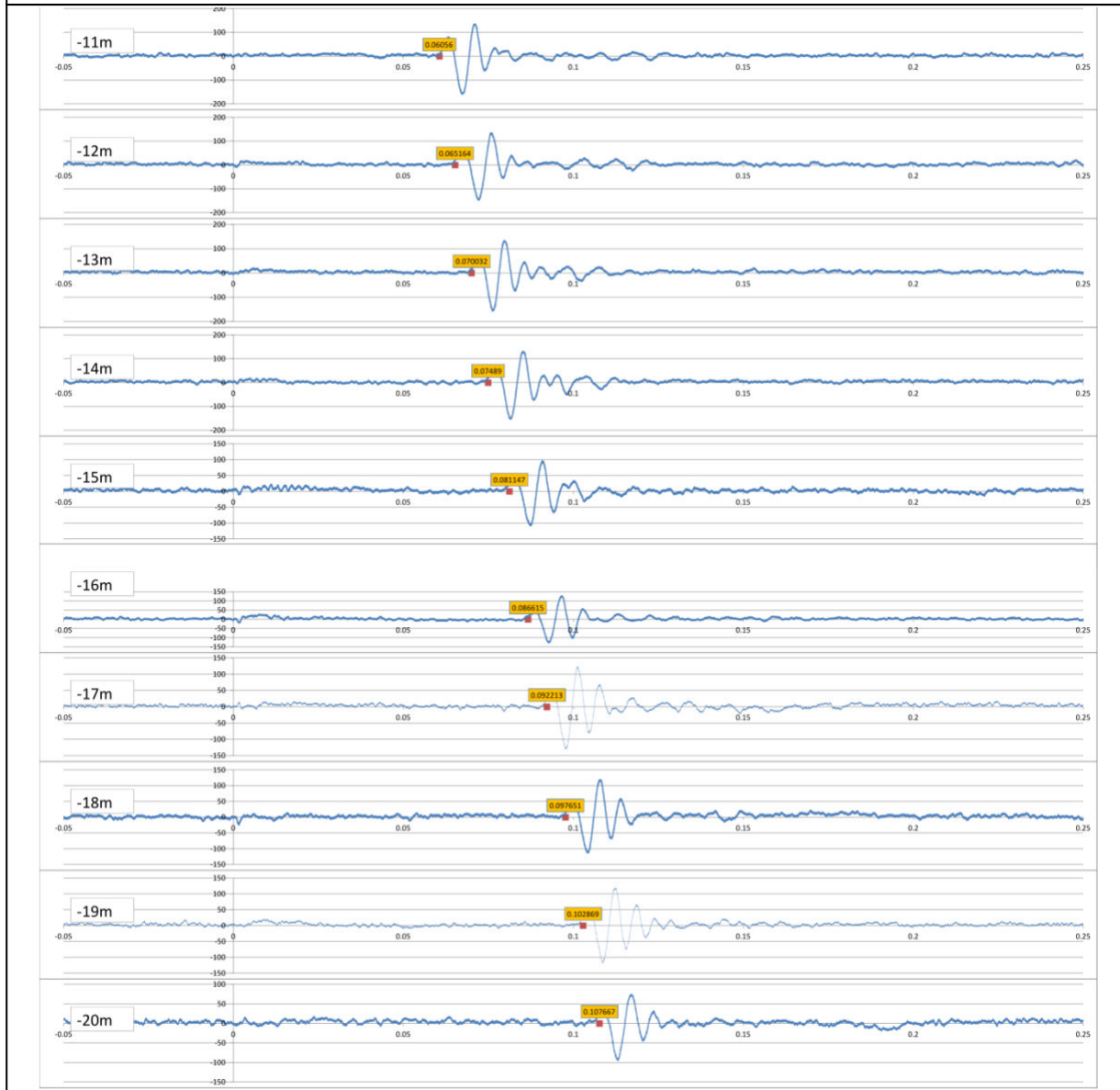
# Prova SCPTU U14-20 MZ Comacchio - 31/01/2020 - Tracce sismiche e lettura tempi di arrivo.

Relazione di Calcolo



# Prova SCPTU U14-20 MZ Comacchio - 31/01/2020 - Tracce sismiche e lettura tempi di arrivo.

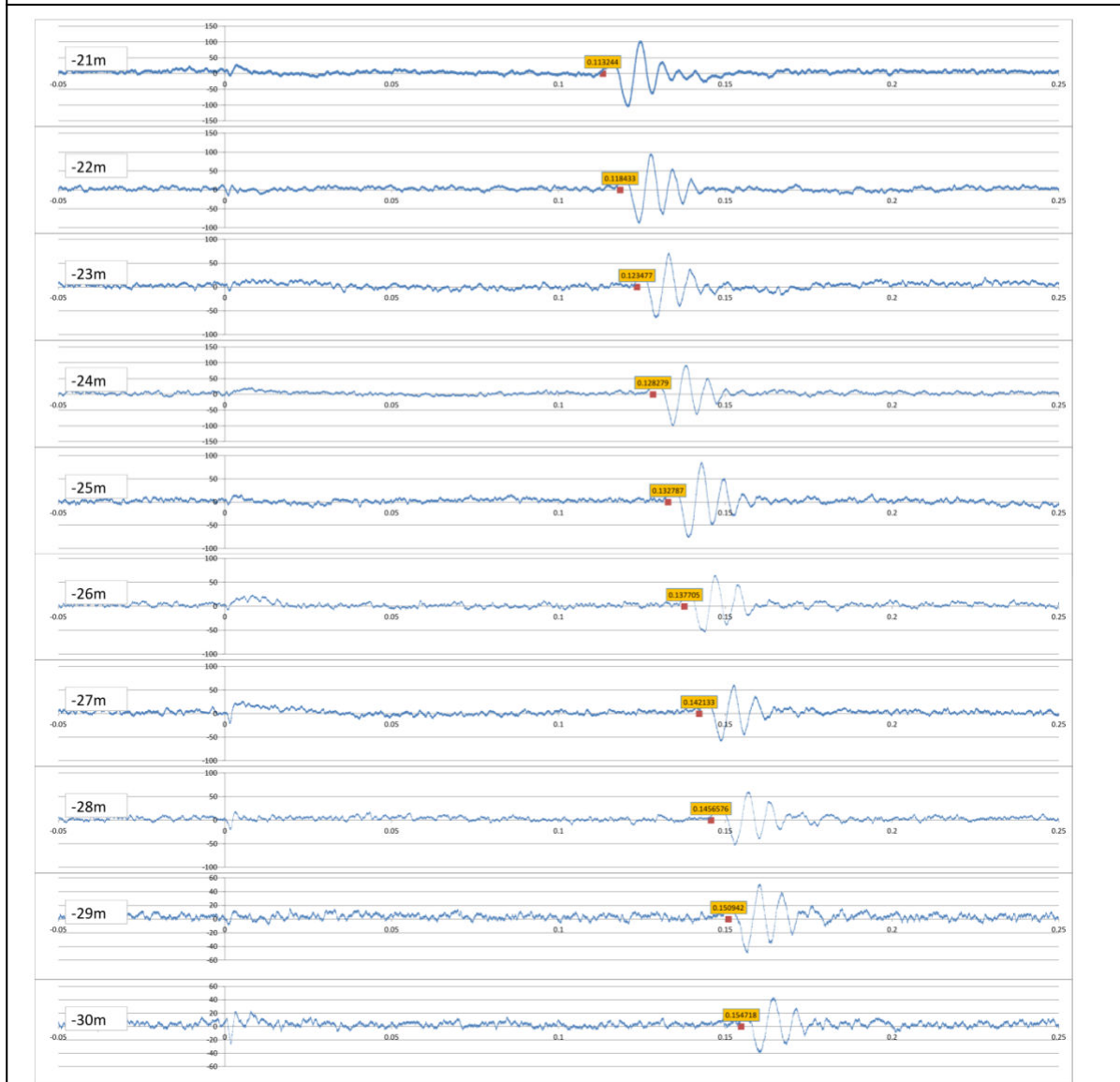
Relazione di Calcolo





# Prova SCPTU U14-20 MZ Comacchio - 31/01/2020 - Tracce sismiche e lettura tempi di arrivo.

Relazione di Calcolo



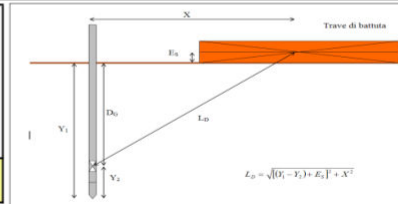
**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**PROVA DOWN HOLE SCPTU**

RIF. PROVA: CPTU n°:  
 U14-20 SCPTU1

COMMITTENTE: Comune di Comacchio  
 CANTIERE: via Bramante, Lido di Spina (Fe)  
 DATA: 31/01/2020

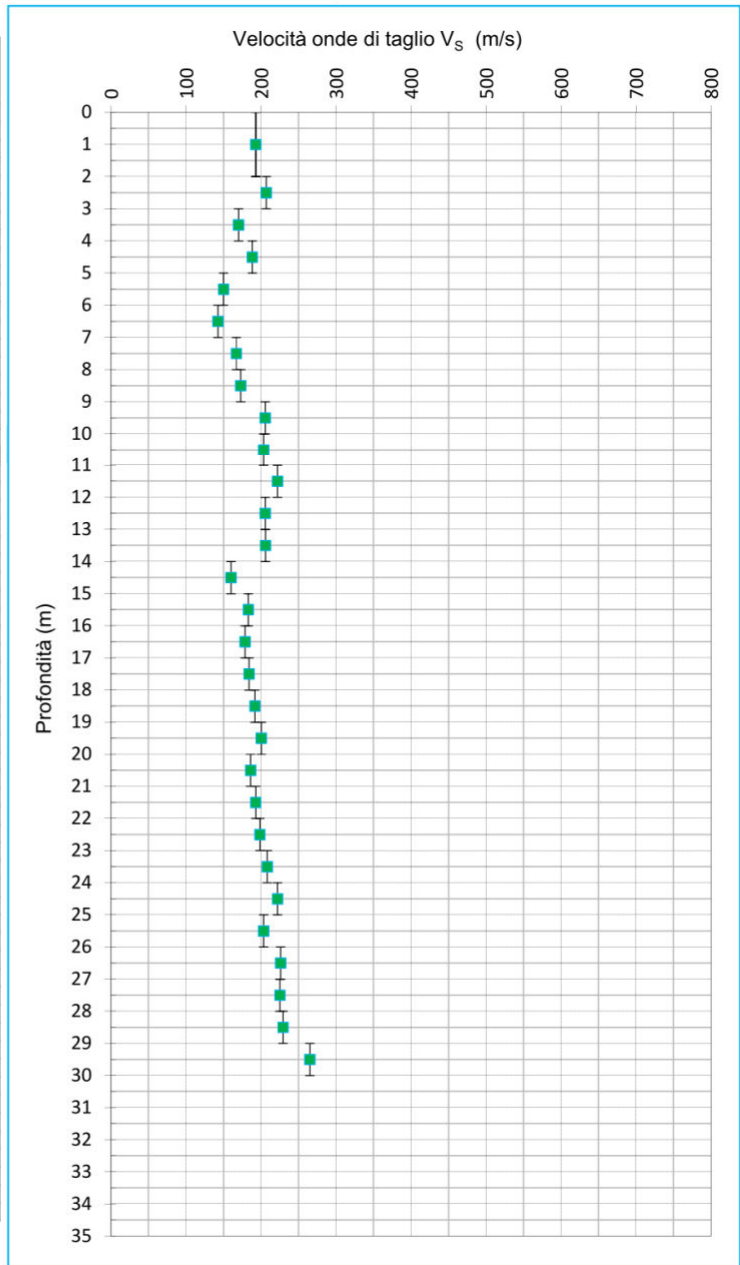
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
 PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,80  
 PREFORO (m da p.c.): 0,00

Peso mazza battente: 5Kg  
 Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN  
 Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB  
 Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m  
 Distanza punta-accelerometro Y<sub>2</sub>: 0,20 m



**V<sub>s30</sub> = 194 m/sec Categoria suolo di fondazione = C**

Distanza corretta L <sub>D</sub> punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		193
1,817	9,426	207
2,811	14,234	170
3,808	20,102	188
4,807	25,410	150
5,805	32,077	142
6,805	39,094	167
7,804	45,082	173
8,804	50,869	205
9,803	55,738	203
10,803	60,656	222
11,803	65,164	205
12,802	70,032	206
13,802	74,890	160
14,802	81,147	183
15,802	86,615	179
16,802	92,213	184
17,802	97,651	192
18,802	102,869	200
19,802	107,867	186
20,802	113,244	193
21,801	118,433	198
22,801	123,477	208
23,801	128,279	222
24,801	132,787	203
25,801	137,705	226
26,801	142,133	225
27,801	146,578	229
28,801	150,942	265
29,801	154,718	



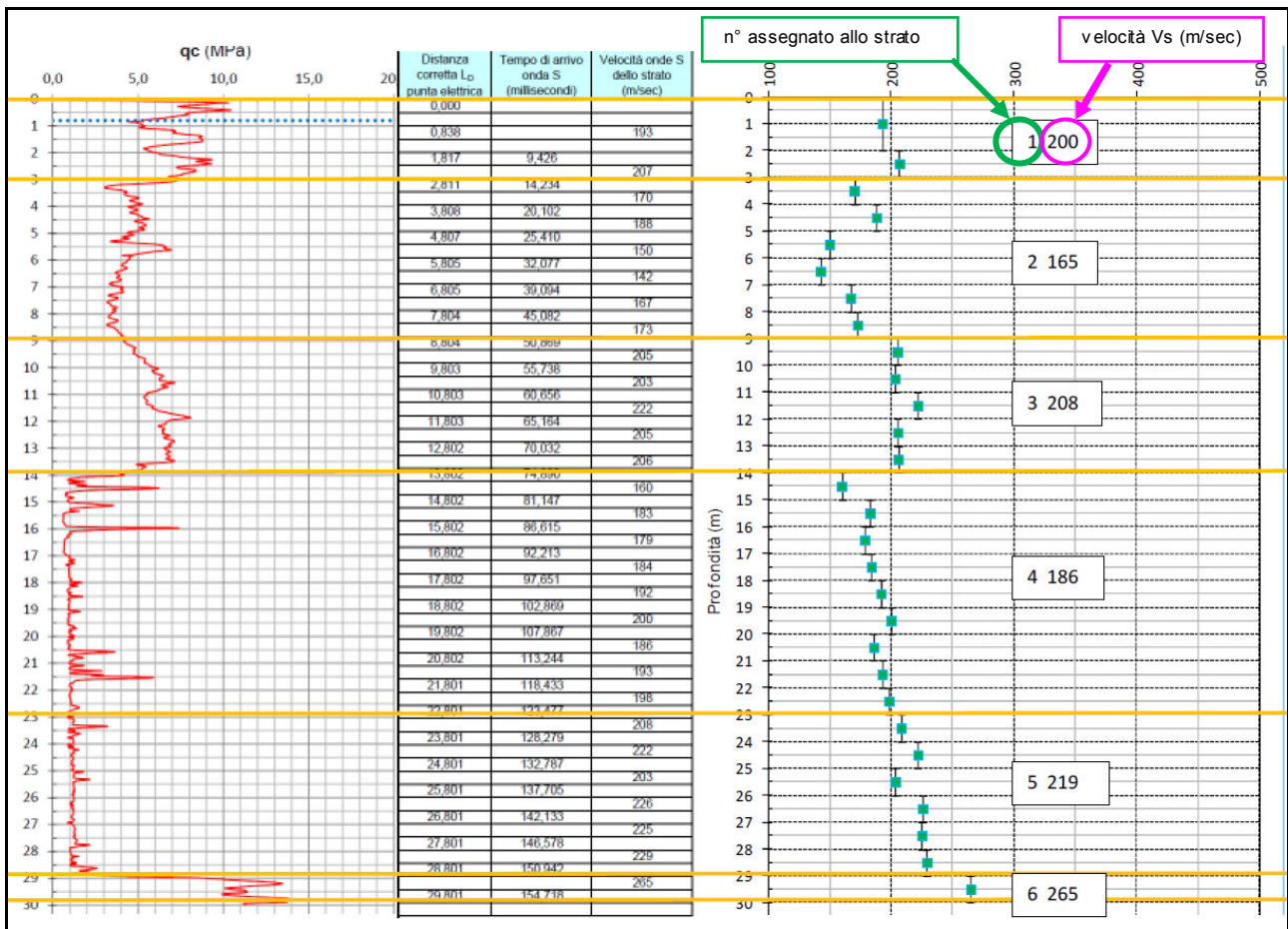


Diagramma delle resistenze della prova SCPTU, tabella valori di Vs e diagramma valori di Vs con suddivisione strati pseudomogenei a cui viene assegnato il numero e la Vs media.

Da una vicinissima prova CPTU eseguita dalla Regione Emilia Romagna per il progetto CARG, si ricava che lo strato sabbioso rilevato tra -29m e -30m dal p.c., ha un ridotto spessore, ovvero fino a -31m dal p.c., oltre riprendono sedimenti coesivi limoso argillosi. Viene allegata di seguito il diagramma delle resistenze della prova 205160U506.

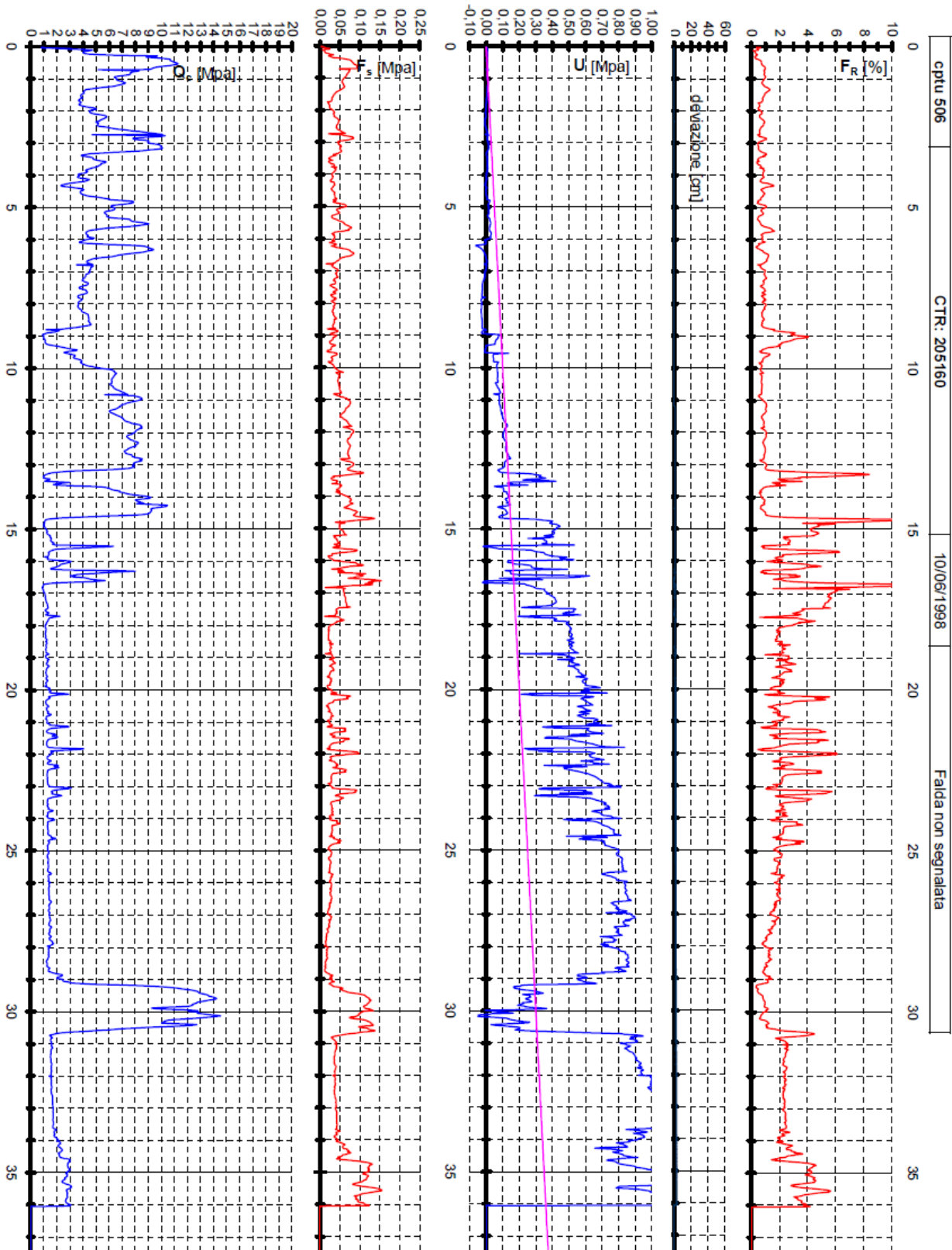
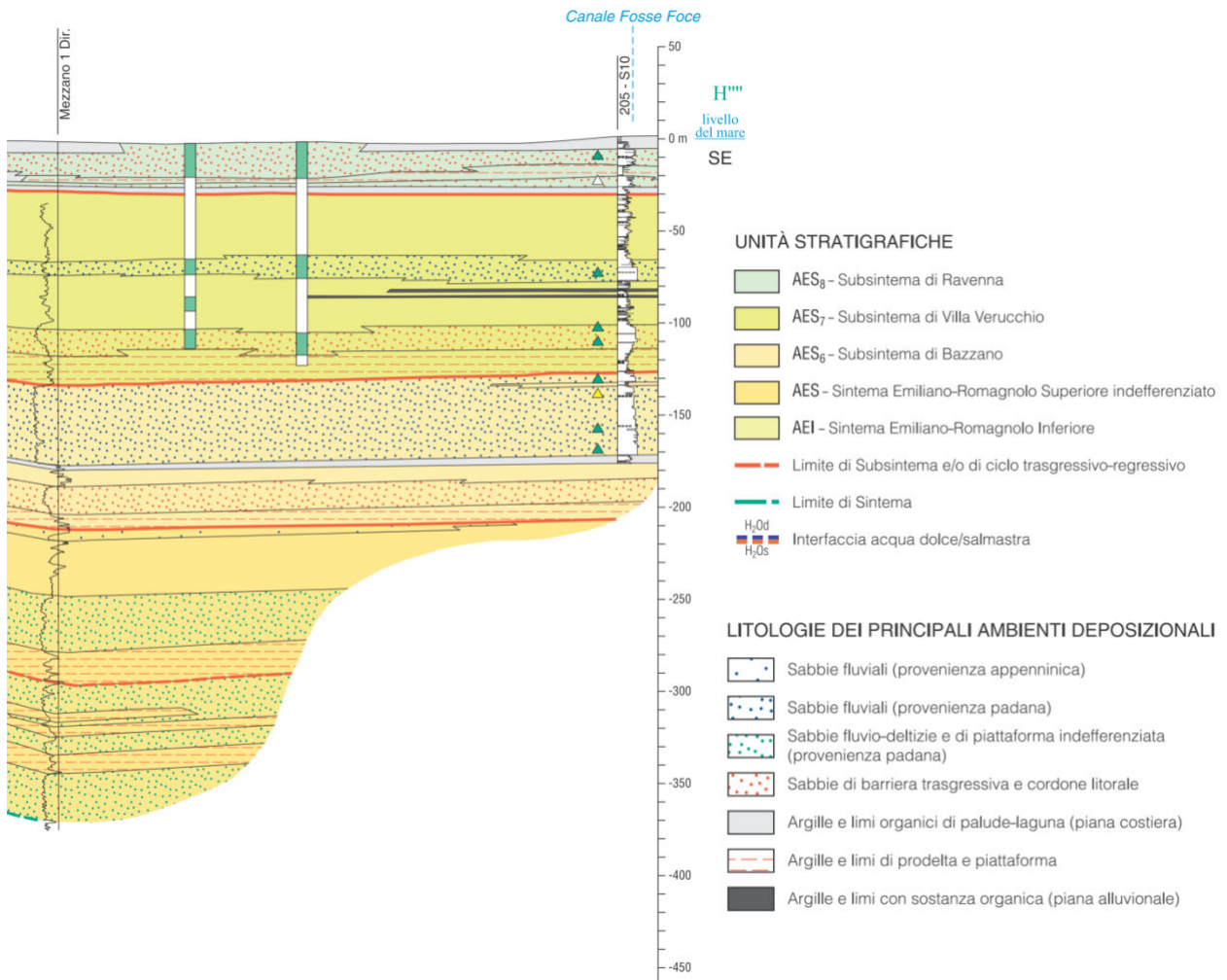


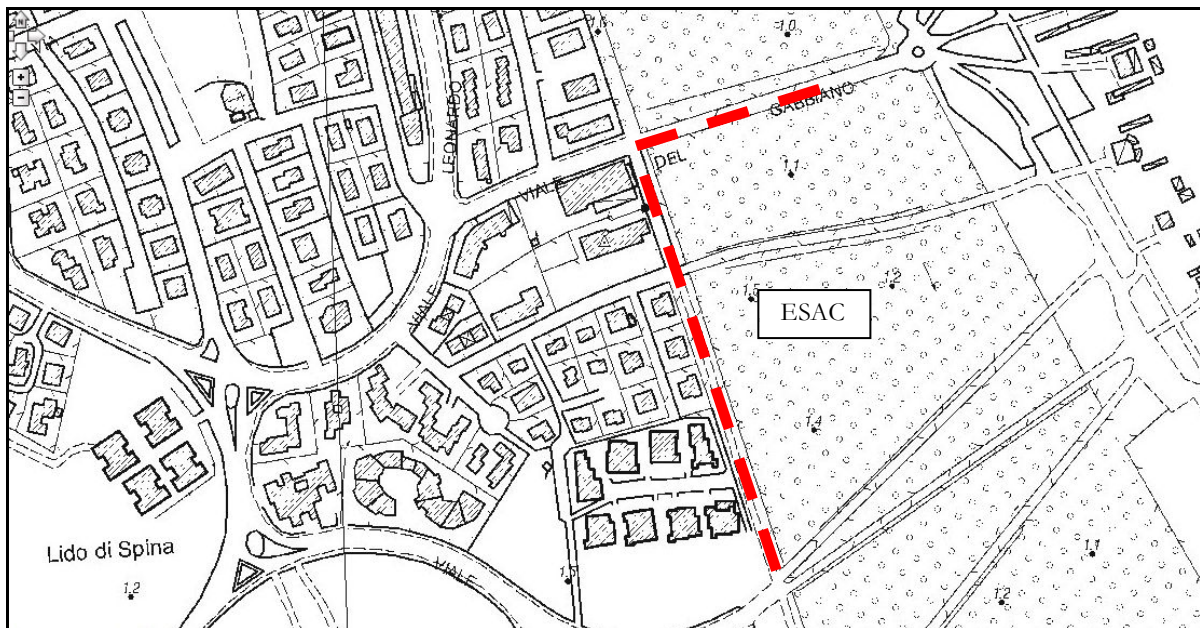
Diagramma delle resistenze della prova RER 205160U506

Il modello stratigrafico profondo è stato derivato invece dalla sezione geologica 093 (progetto CARG).





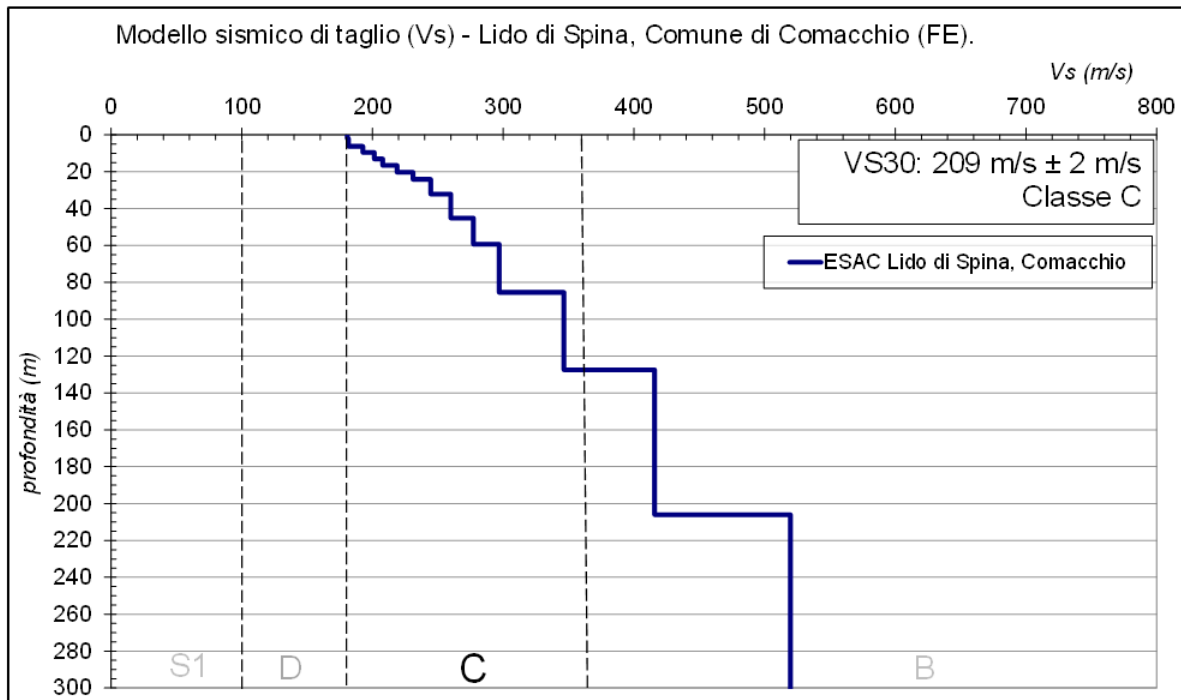
Il profilo di Vs profondo è ricavato dalla prova ESAC eseguita dall'Università di Ferrara.



Ubicazione dello stendimento prova geofisica ESAC e indagine H/V

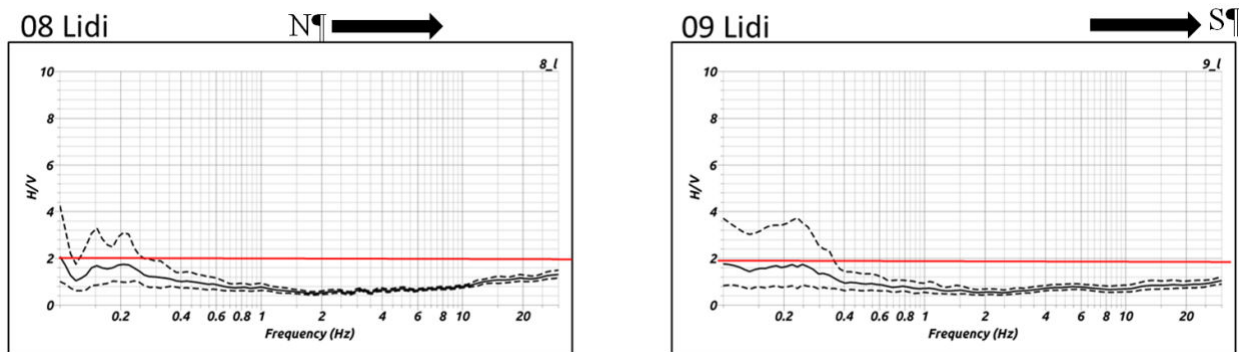


Di seguito si riportano i risultati delle indagini geofisiche, con il profilo profondo delle velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.



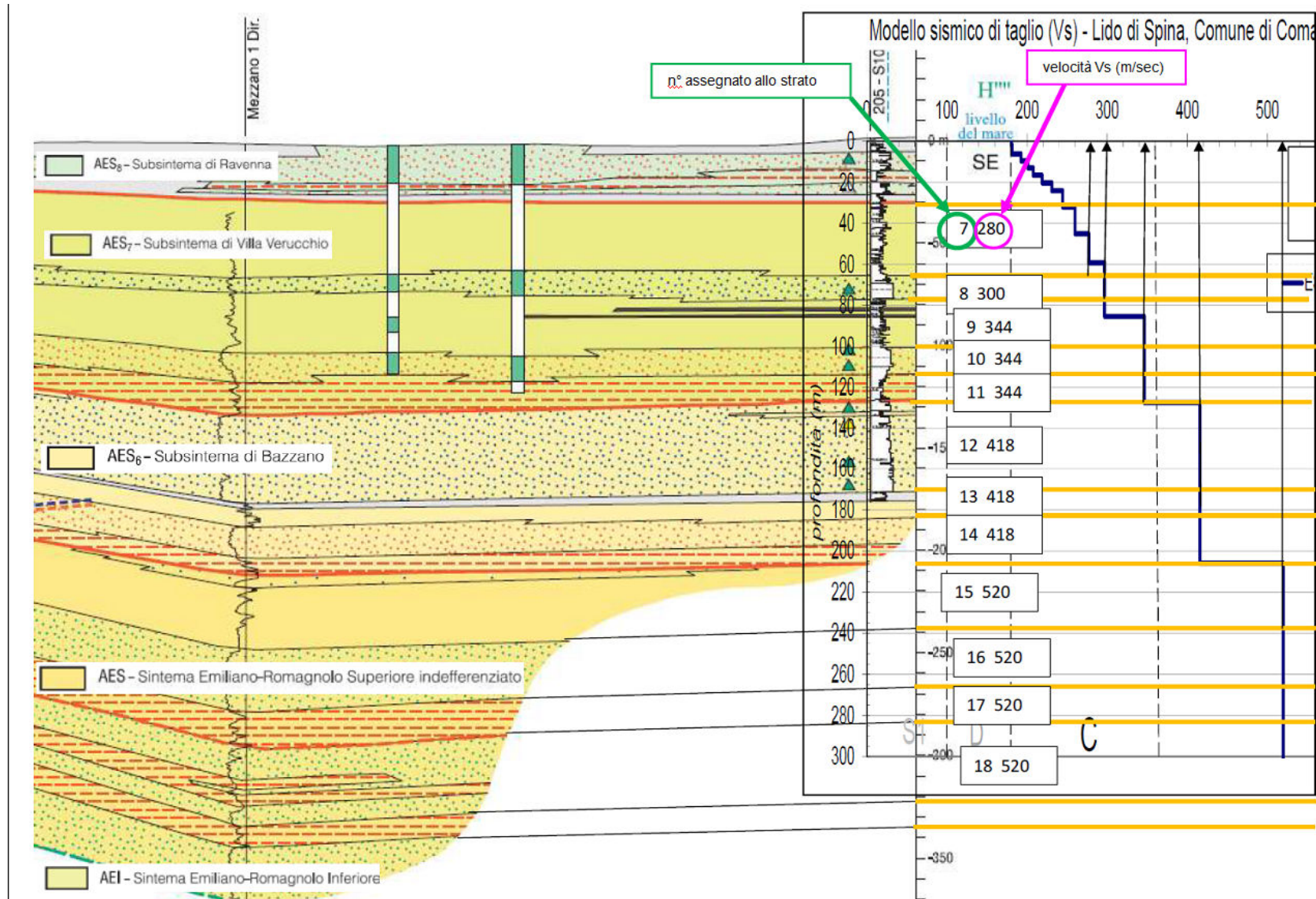
Profilo di Vs profondo profondo

In FIGURA 3.6. si riportano i risultati delle due prove a stazione singola HVSR.



Prove HVSR a Lido di Spina

Sovrapponendo il modello stratigrafico profondo con quello geofisico è possibile procedere alla definizione del modello per strati pseudomogenei da inserire poi nel codice di calcolo della RSL.



Modello stratigrafico profondo e modello geofisico profondo adottato per l'analisi di risposta sismica locale

Tale stratigrafia viene rappresentata nel piano verticale X-Z mediante una serie di spezzate ognuna delle quali identifica l'andamento del singolo strato. La prima di tali spezzate serve ad identificare l'orografia della porzione di sito oggetto di studio.

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica della stratigrafia di progetto:

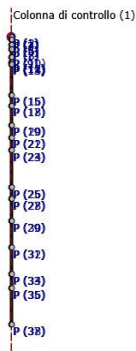


Figura 7. Stratigrafia di progetto.

Di seguito si riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

Strato	Descrizione	S [m]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	$\gamma$	Curva decadimento
Strato (1)		3.00	1900.00	200.00	0.35	EPRI (93), 50-120 ft
Strato (2)		6.00	1850.00	165.00	0.35	EPRI (93), 50-120 ft
Strato (3)		5.00	1900.00	208.00	0.35	EPRI (93), 50-120 ft
Strato (4)		9.00	1860.00	186.00	0.40	Cmach 04
Strato (5)		6.00	1820.00	219.00	0.40	Cmach 05
Strato (6)		2.00	1900.00	265.00	0.35	EPRI (93), 120-250 ft
Strato (7)		35.00	1850.00	280.00	0.35	Cmach 05
Strato (8)		12.00	1900.00	300.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (9)		22.00	1900.00	344.00	0.40	EPRI (93), PI=10
Strato (10)		14.00	1950.00	344.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (11)		14.00	1900.00	344.00	0.40	EPRI (93), PI=10
Strato (12)		42.00	1950.00	418.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (13)		13.00	2000.00	418.00	0.40	EPRI (93), PI=10
Strato (14)		25.00	2000.00	418.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (15)		30.00	2000.00	520.00	0.40	EPRI (93), PI=10
Strato (16)		30.00	2100.00	520.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Strato (17)		16.00	2100.00	520.00	0.40	EPRI (93), PI=10
Strato (18)		41.00	2100.00	520.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft

Tabella 1. Caratteristiche meccaniche strati.

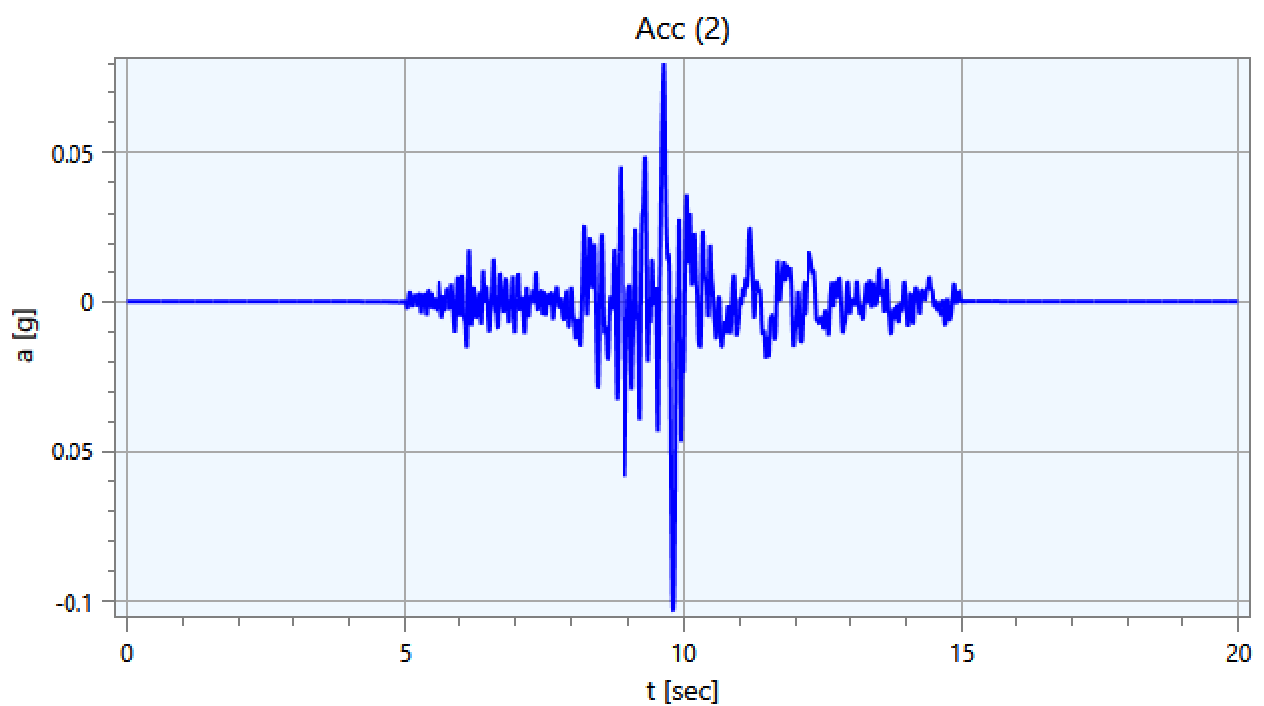
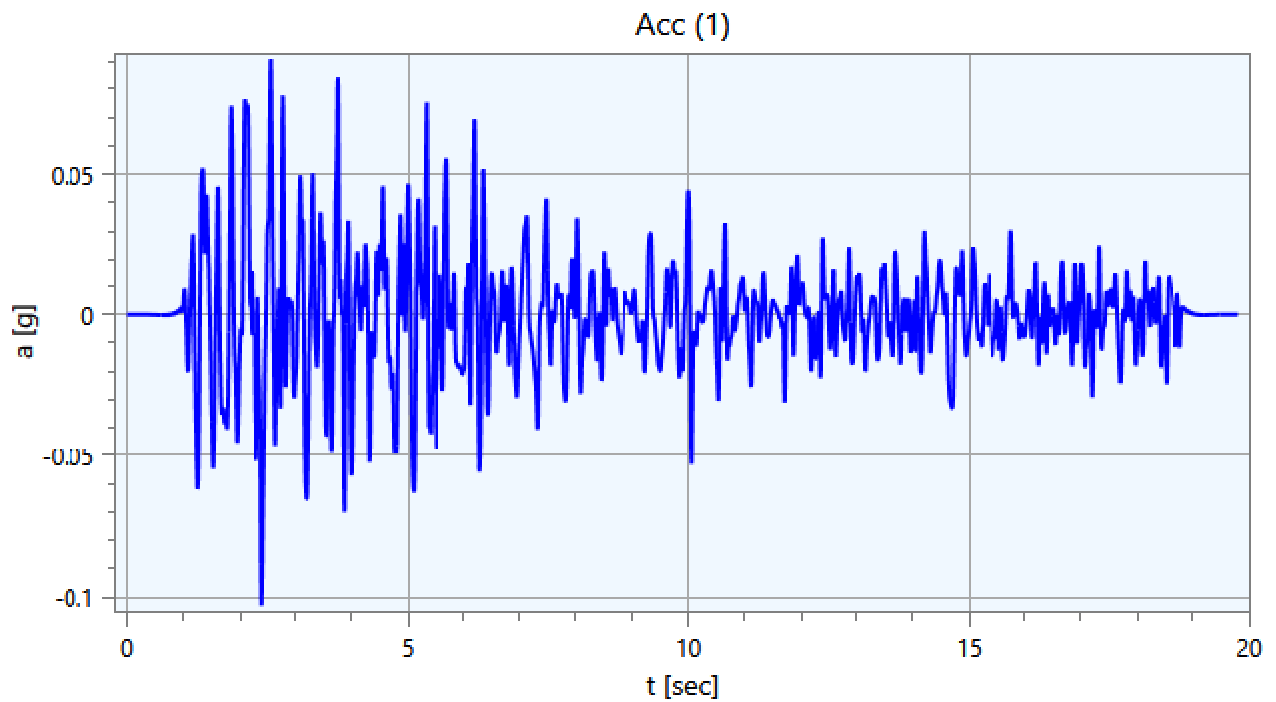
dove:

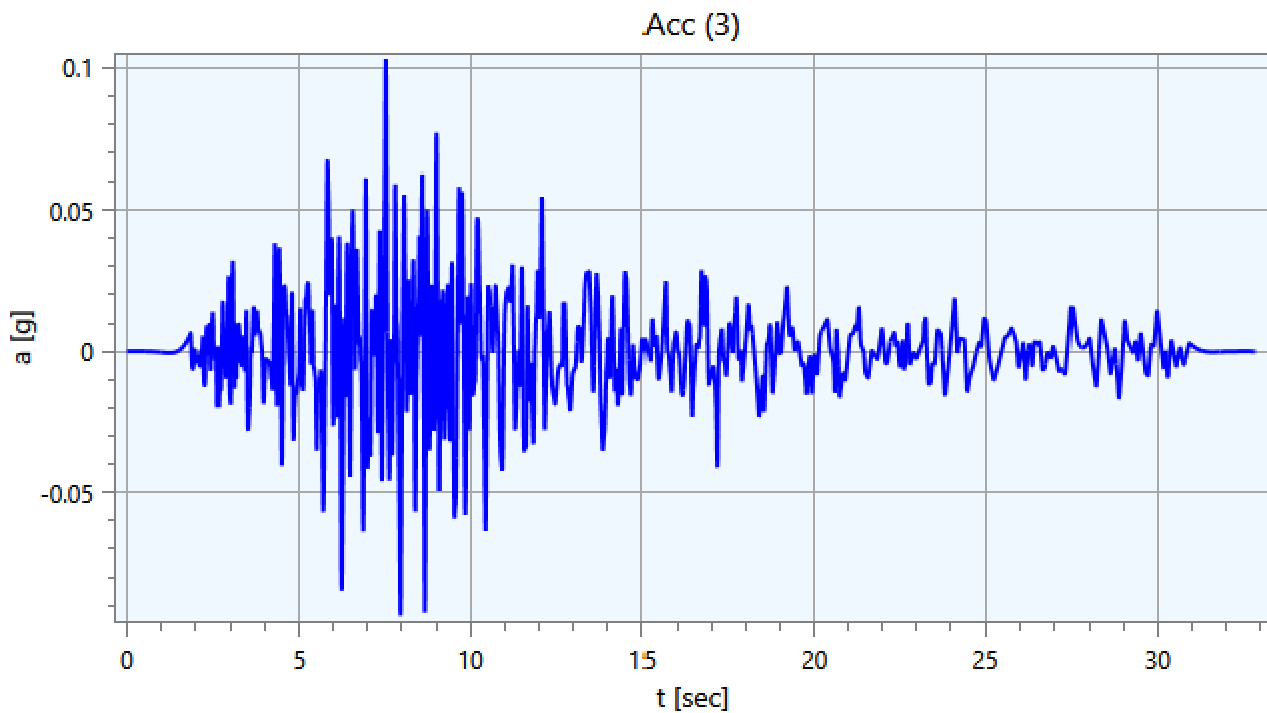
- **S** = spessore del singolo strato;
- **$\rho$**  = densità di massa del singolo strato;
- **Vs** = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- **$\gamma$**  = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

### 4.3 - Accelerogrammi e Spettri di Input - Lido di Spina

Gli accelerogrammi di input relativi allo stato limite in esame (SLV) sono forniti dalla Regione Emilia Romagna per ogni Comune del territorio regionale. Per le analisi di risposta sismica locale condotte all'interno degli studi di microzonazione sismica si deve fare riferimento alla terna di accelerogrammi fornita per quel comune.

Di seguito si riportano gli accelerogrammi di progetto riferiti ad una condizione detta di 'outcrop':





#### 4.4 - Modello di Calcolo FEM - Lido di Spina

Il modello di calcolo agli elementi finiti da utilizzare per lo studio della problematica in esame viene di seguito descritto.

Per ogni analisi, nel caso più generale, è necessario specificare due componenti di sollecitazione. In particolare vi sono, per ogni condizione, un accelerogramma di in direzione X (Orizzontale), ed uno in direzione Z (Verticale). Ad ogni analisi corrispondono una serie di condizioni di carico. Per ognuna di esse vengono specificate due componenti di accelerazione di input in outcrop. In tabella vengono riportate le condizioni di carico relative al caso in esame:

Analisi (1)

Condizione	Accelerogramma X
CDC (1)	Acc(1)
CDC (2)	Acc(2)
CDC (3)	Acc(3)

*Tabella 2. Condizioni di carico.*

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a tre o a quattro nodi del dominio. Il passo ed i rapporti di infittimento della mesh in corrispondenza dei punti di controllo sono dati di input e possono variare a seconda del caso. Il passo della mesh deve soddisfare la seguente relazione:

$$p \leq \frac{V_{s,min}}{8 f_{max}}$$

dove:

- $p$  = passo della mesh;
- $V_{s,min}$  = velocità delle onde di taglio minima presente nel modello;
- $f_{max}$  = frequenza massima che si vuole analizzare;



Le condizioni al contorno del problema in esame (posizione del bedrock) vengono prese in considerazione sul modello FEM mediante l'applicazione di smorzatori viscosi sui nodi facenti parte della porzione di terreno a contatto con il bedrock. Tali smorzatori esprimono due componenti (una orizzontale ed una verticale) di forza proporzionali alla velocità.

Le costanti di smorzamento  $C_x$  e  $C_z$  sono rispettivamente:

$$C_x = \rho_b * V_{sb} * V_{sb} \text{ e } C_z = \rho_b * V_{pb} * V_{pb}$$

dove:

- $\rho_b$  = densità di massa del substrato;
- $V_{sb}$  = velocità delle onde di taglio del substrato;
- $V_{pb}$  = velocità delle onde p del substrato;

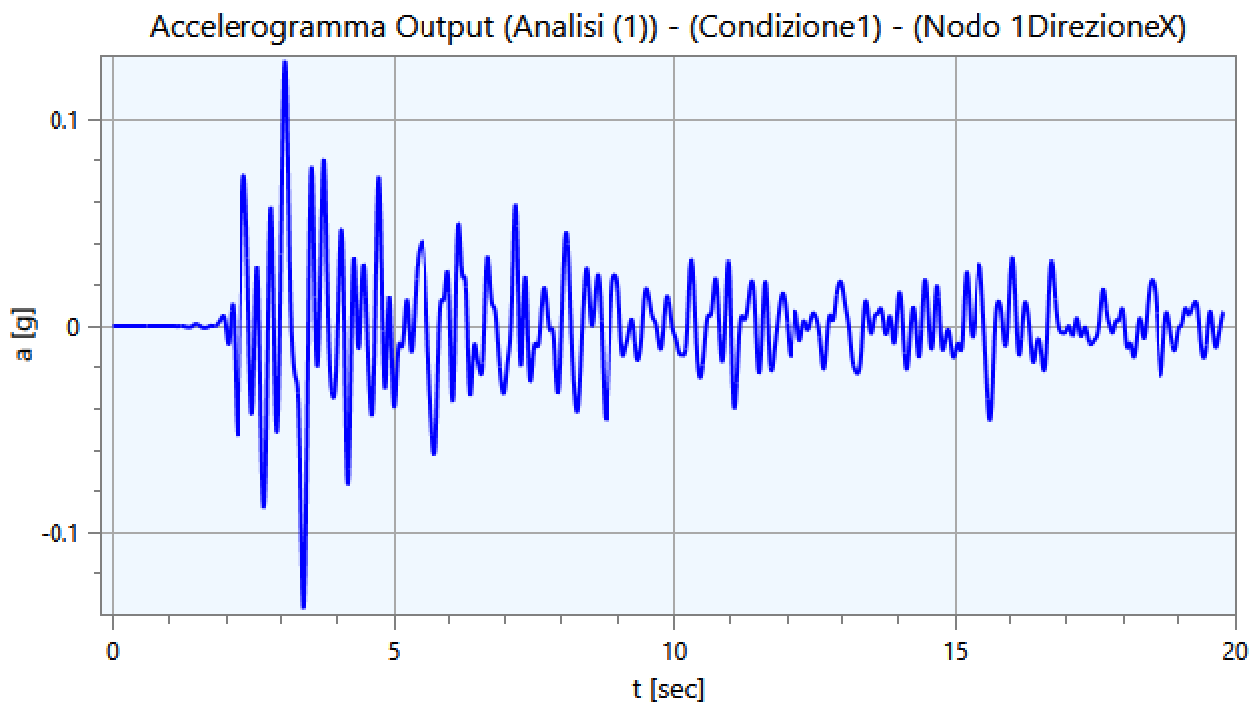
Sul modello possono essere applicati dei vincoli fissi nel caso in cui il substrato lo si volesse modellare come infinitamente rigido o per simulare un comportamento monodimensionale. In tal caso vengono applicati su tutti i nodi del modello dei vincoli in direzione verticale, in modo da consentire solo deformazioni di taglio.

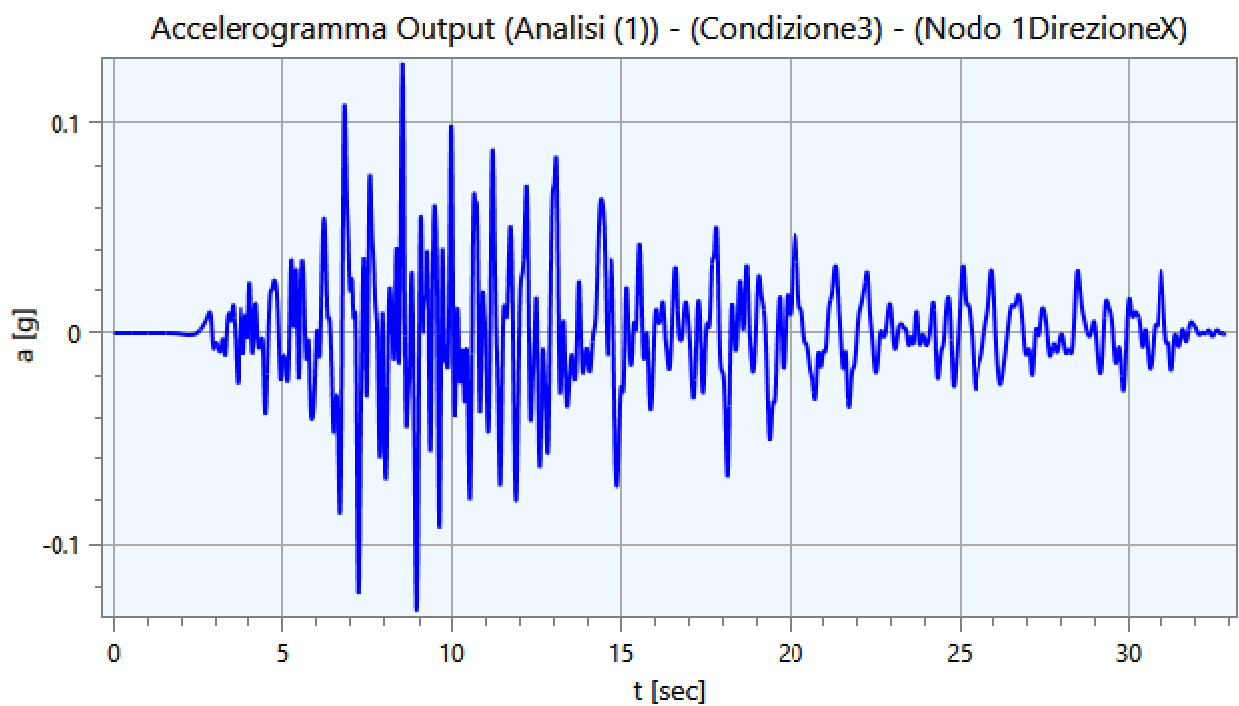
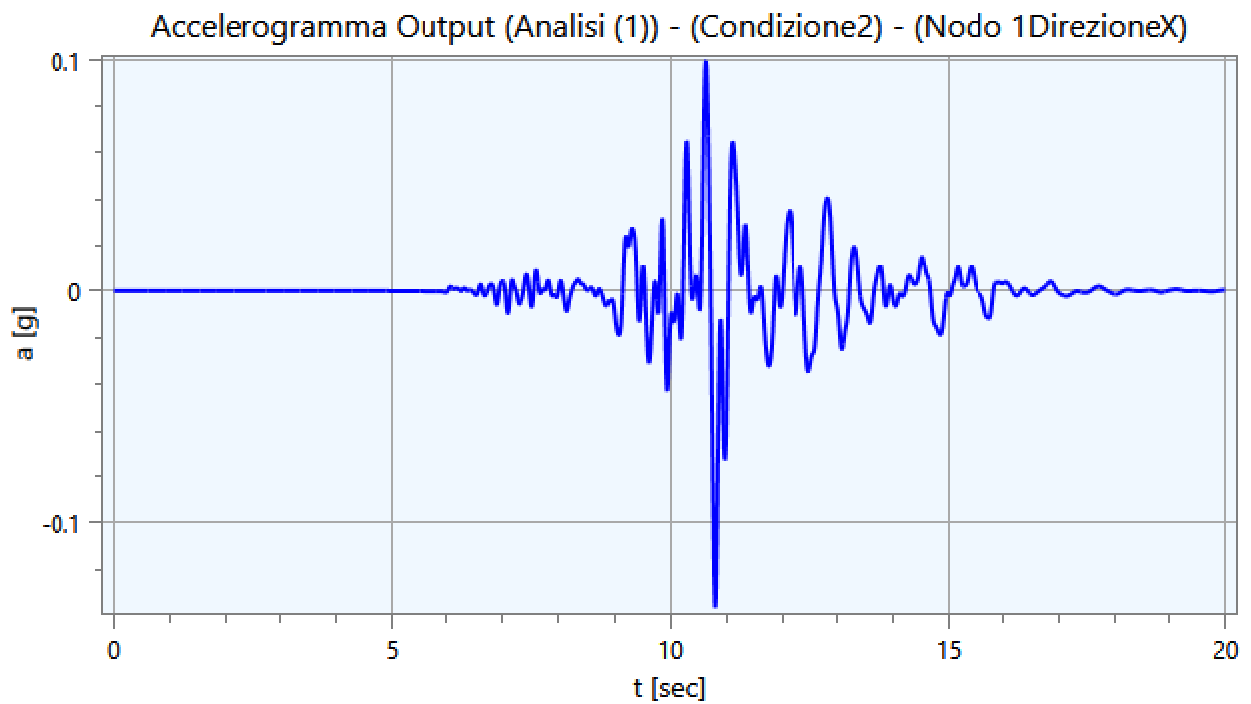
## 5 - Output - Lido di Spina

Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai risultati del calcolo.

### 5.1 - Accelerogrammi Output - Lido di Spina

Di seguito vengono riportati gli accelerogrammi relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:

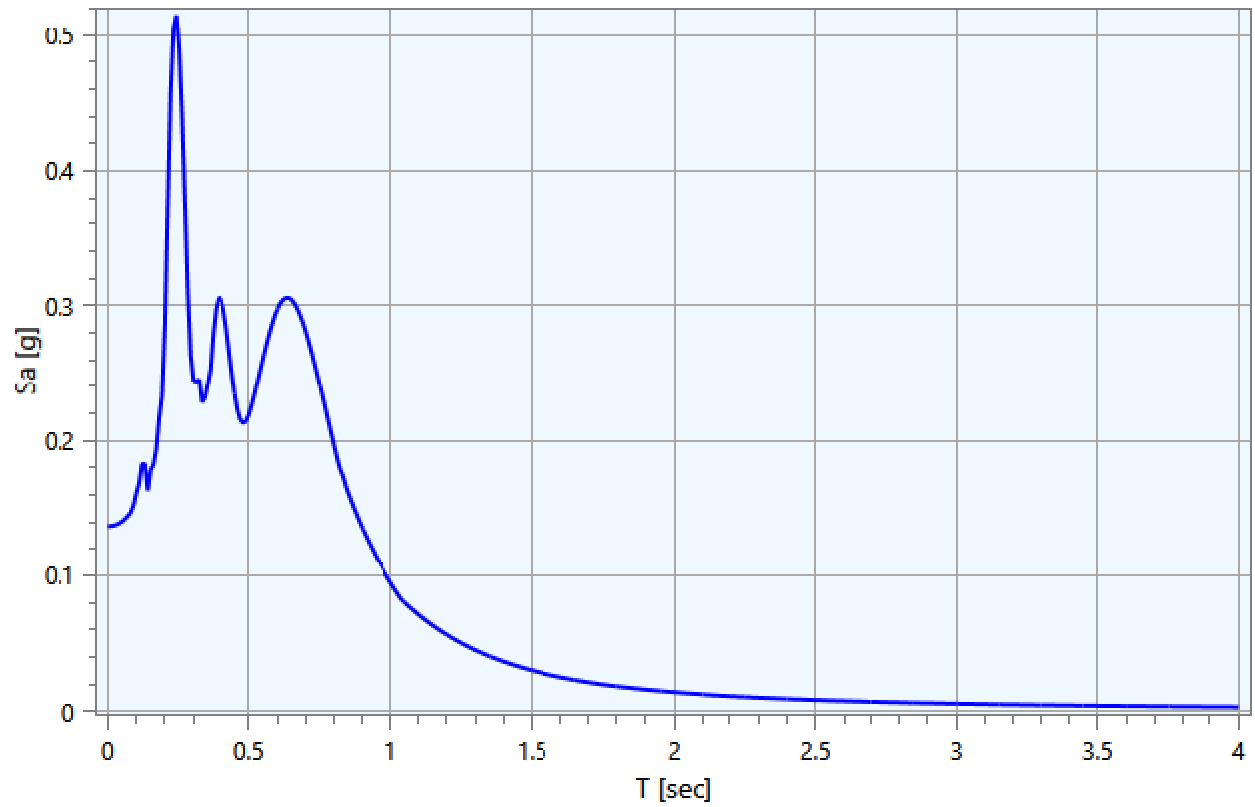




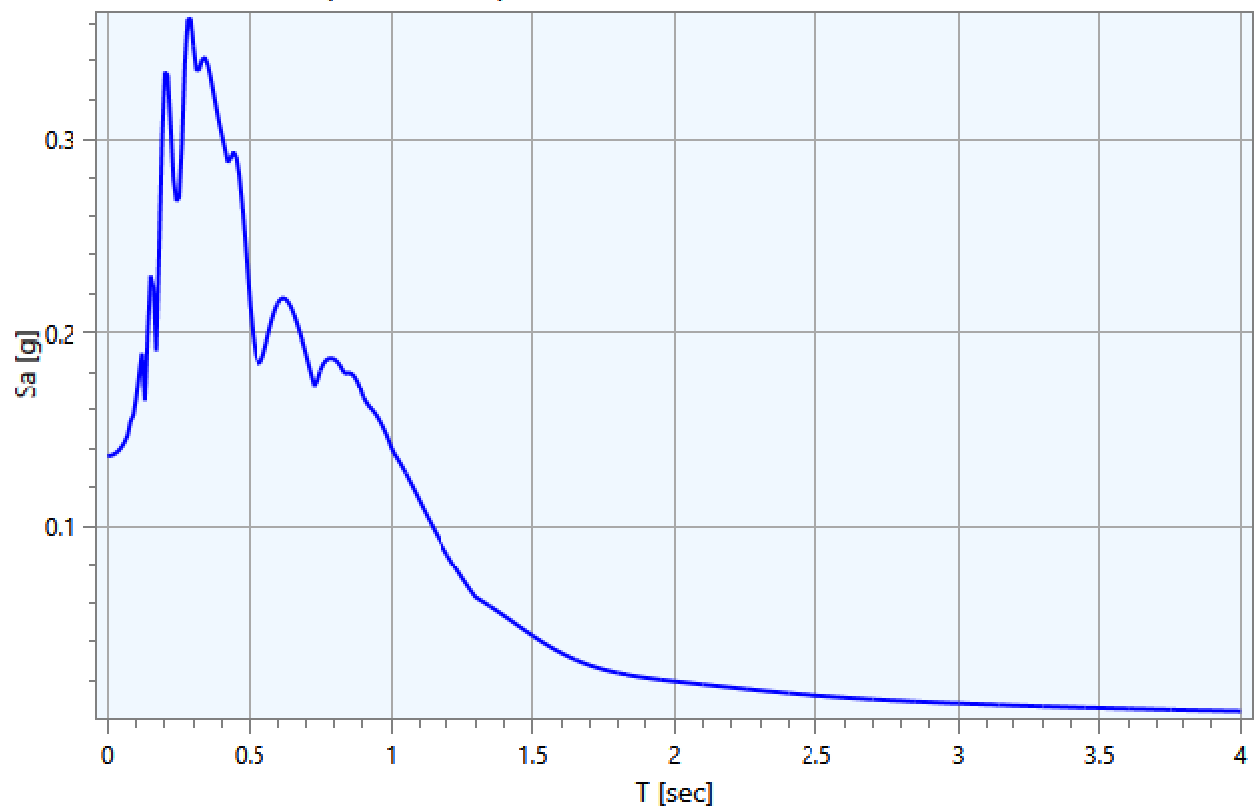
### 5.2 - Spettri Output - Lido di Spina

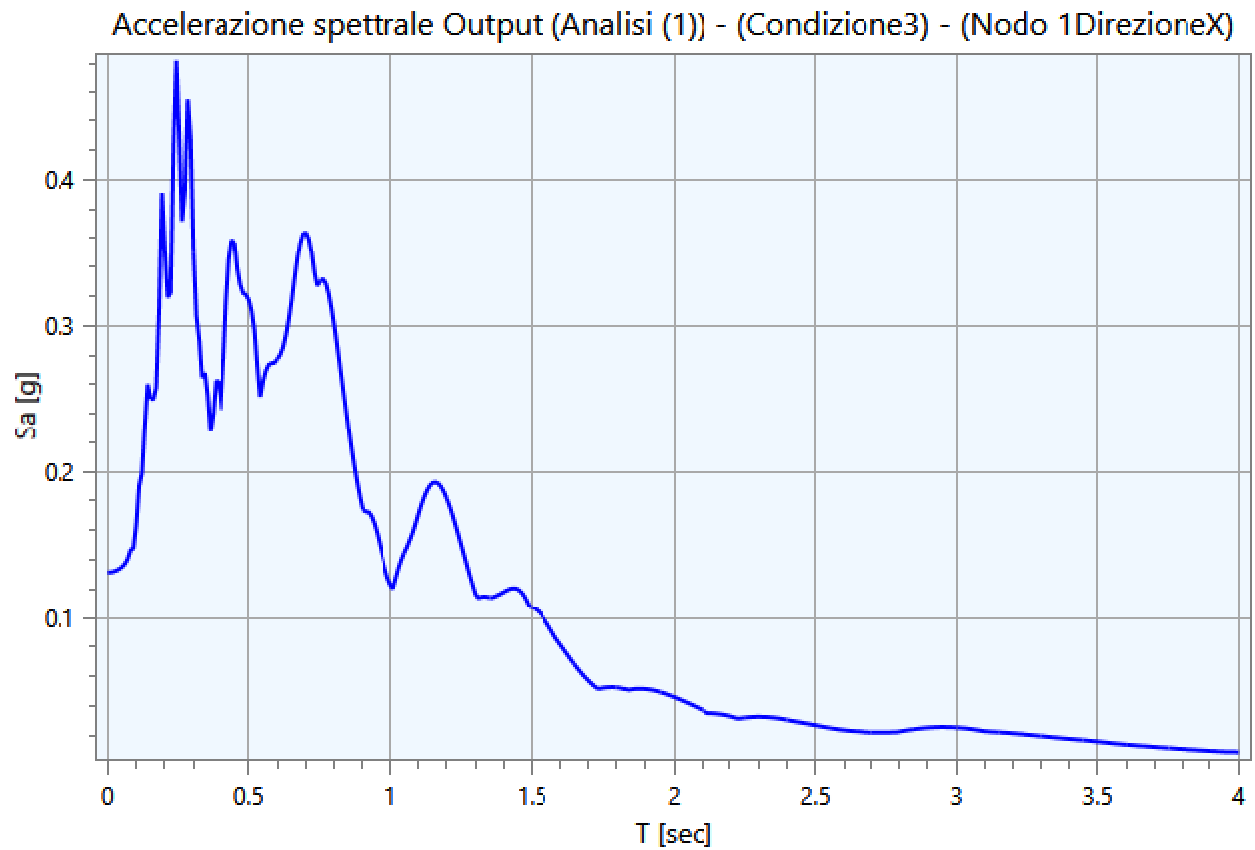
Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:

Accelerazione spettrale Output (Analisi (1)) - (Condizione1) - (Nodo 1DirezioneX)



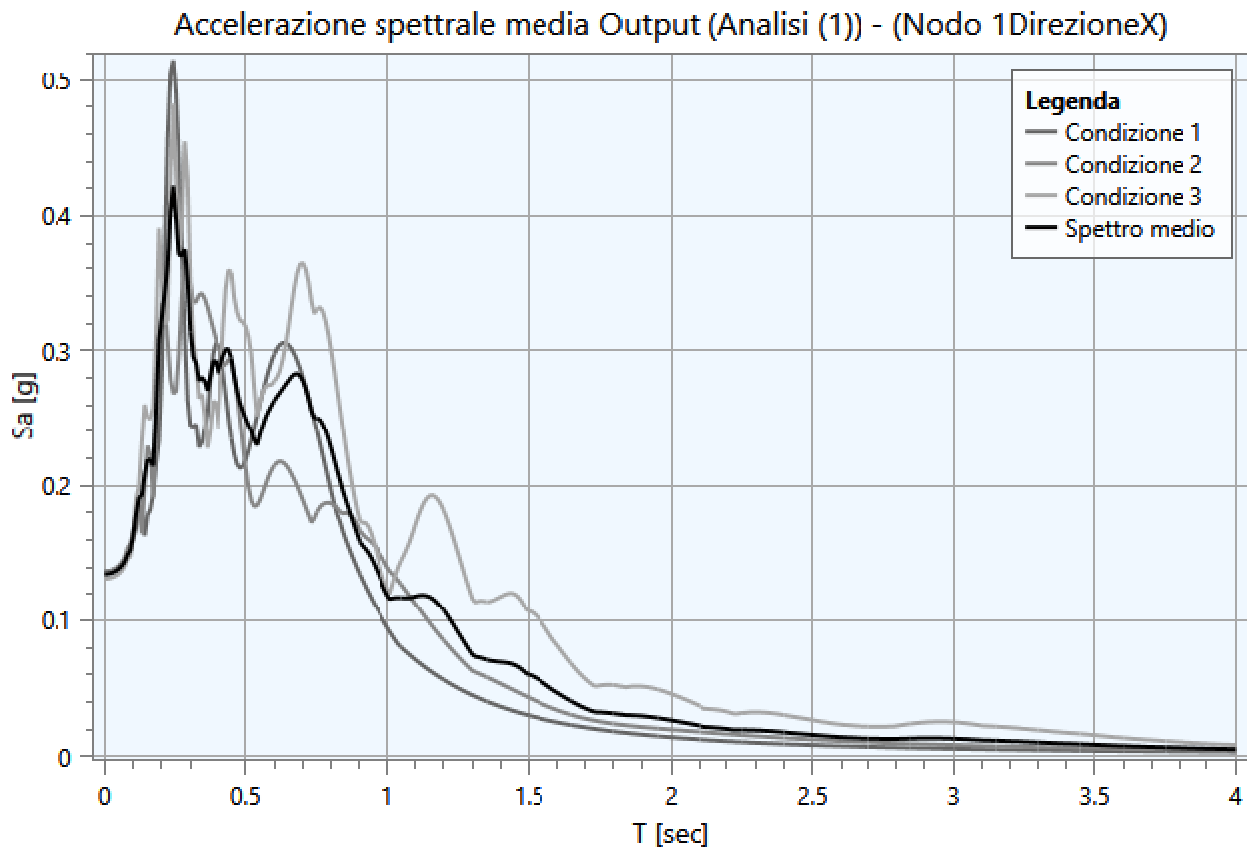
Accelerazione spettrale Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 1DirezioneX)





### 5.3 - Interpretazione dei risultati - Lido di Spina

Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:



#### 5.4 - Parametrizzazione dello spettro di risposta derivante dalla RSL - Lido di Spina

La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” (GdL MS, 2008 – parti I e II – punto 2.5.4.3.1 pag 92). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede:

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione ( $TA$ );
- il calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione ( $SA$ ) nell'intorno tra  $0.5 TA - 1.5 TA$ ;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità ( $TV$ );
- il calcolo del valor medio dello spettro in pseudovelocità ( $SV$ ) nell'intorno tra  $0.8 TV - 1.2 TV$ ;
- il calcolo del valore di  $T_c = 2\pi \frac{SV}{SA}$ ;
- il calcolo del valore di  $T_b = 1/3 T_c$ ;
- il calcolo del valore  $T_d = 4 a_g + 1.6$  con  $a_g$  uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra  $T_0, T_b, T_c, T_d, T_4$ .

Di seguito vengono riportati, per ogni analisi, i parametri degli spettri parametrizzati per i vari punti di controllo presenti nella sezione oggetto di studio.

Analisi (1)

Punto di controllo	$A_g$ [g]	F0	S	$A_{max}$ [g]	$T_b$ [sec]	$T_c$ [sec]	$T_d$ [sec]
P (1)	0.100	2.419	1.258	0.126	0.194	0.582	2.000

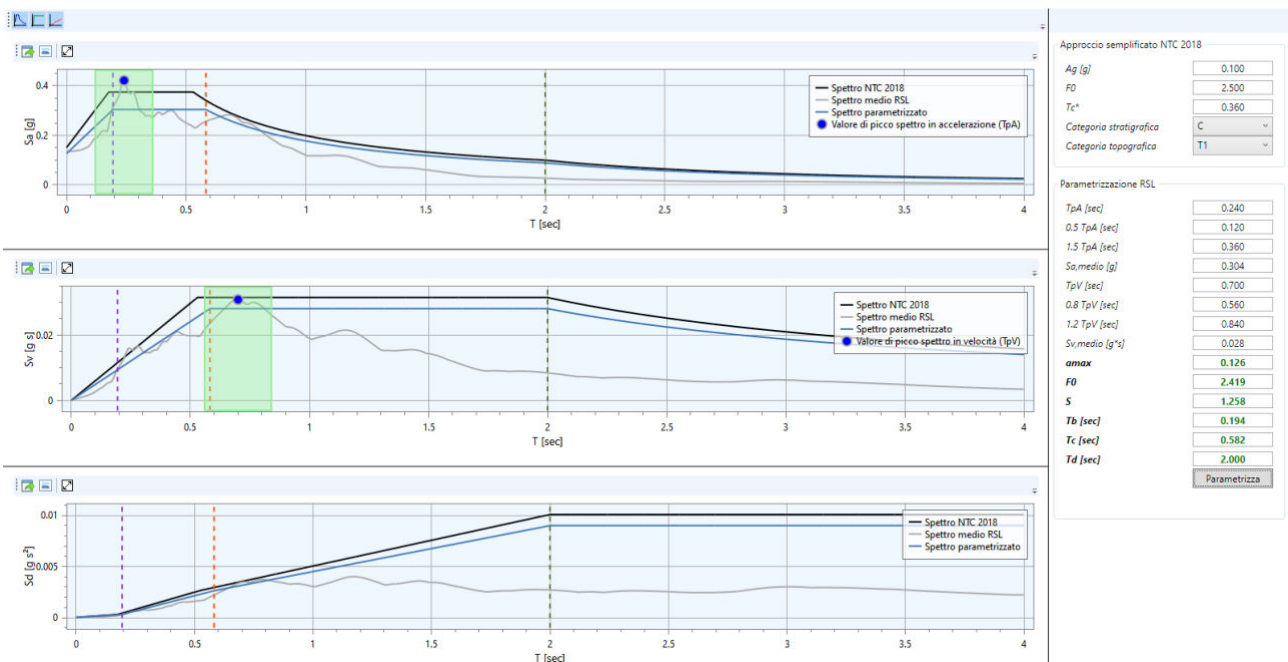
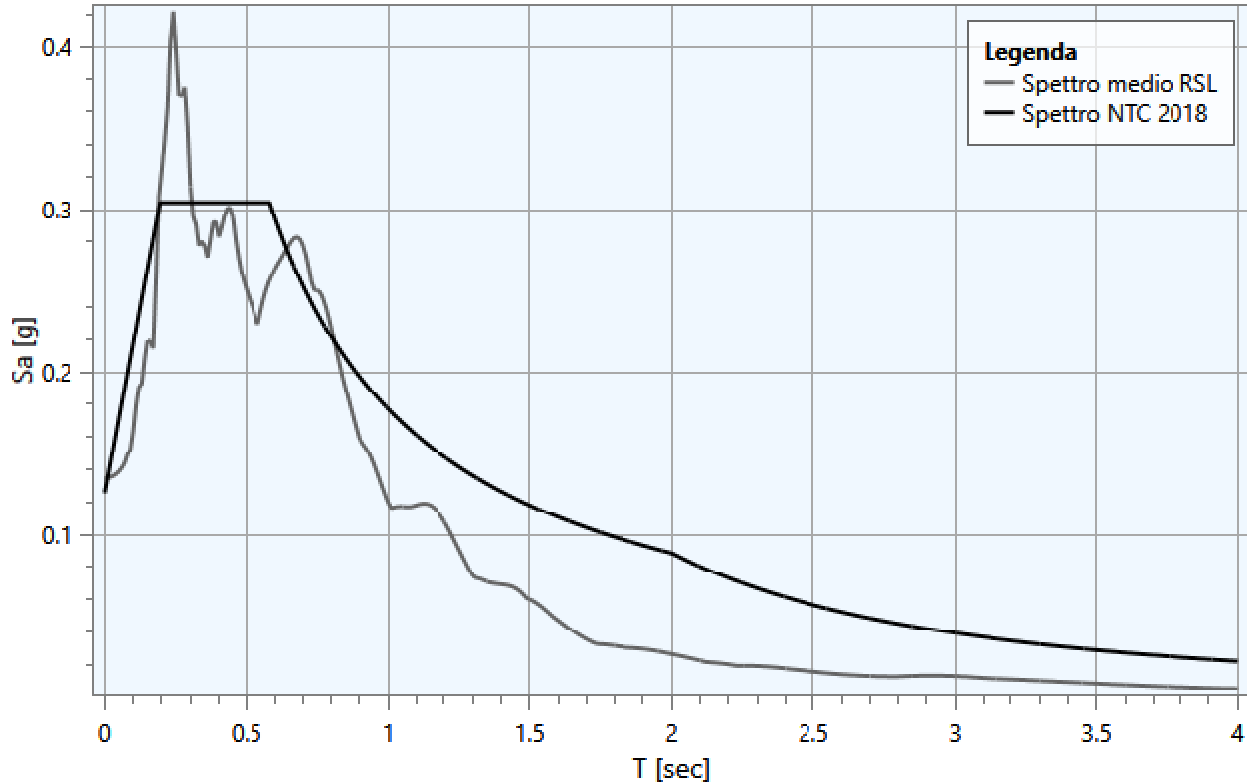
dove:

- $A_g$  : accelerazione orizzontale massima al sito;



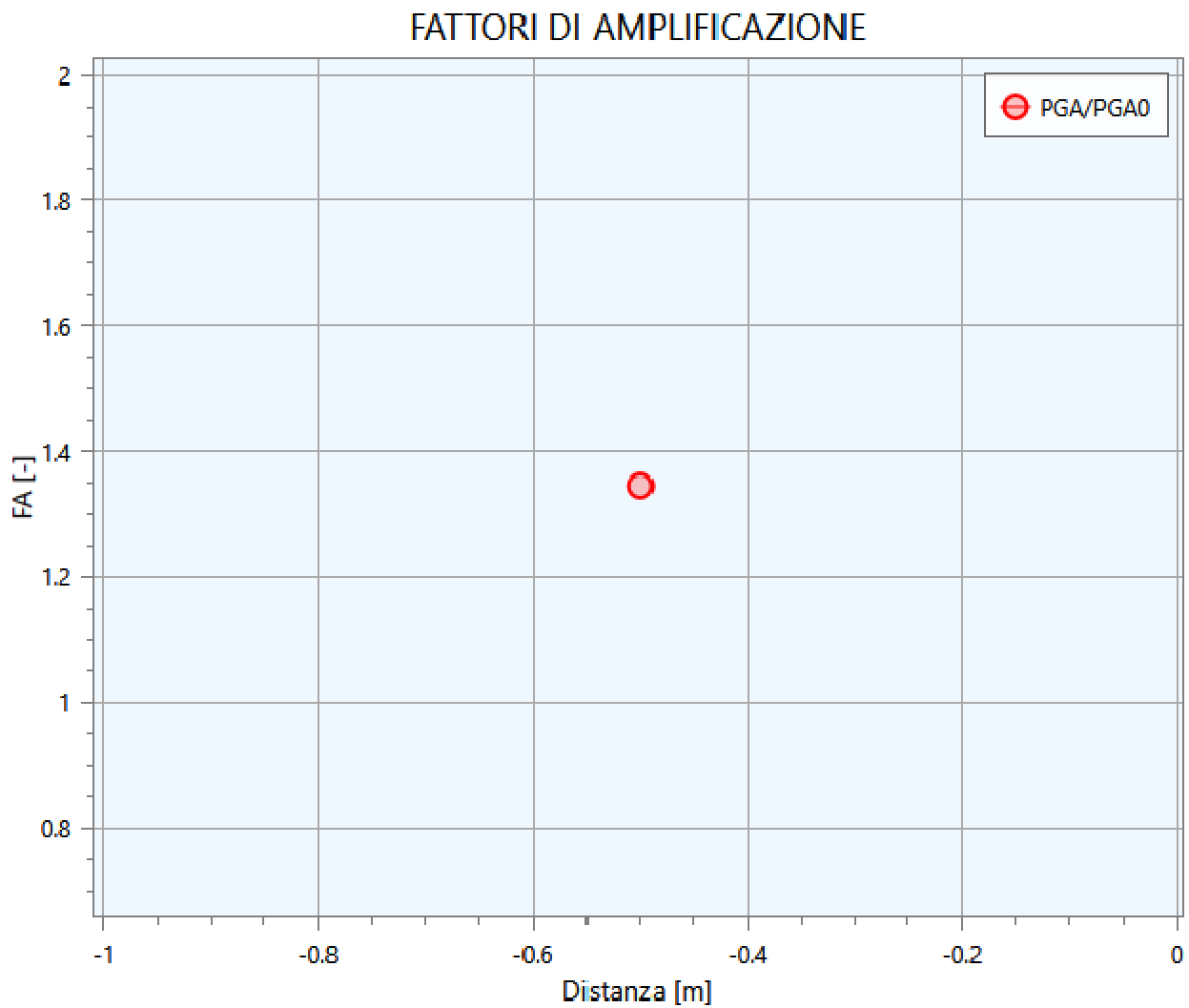
- **$F_0$**  : valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **$S$**  : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- **$A_{max}$**  : punto di ancoraggio a  $T=0$  dello spettro di output;
- **$T_b$**  : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- **$T_c$**  : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- **$T_d$**  : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

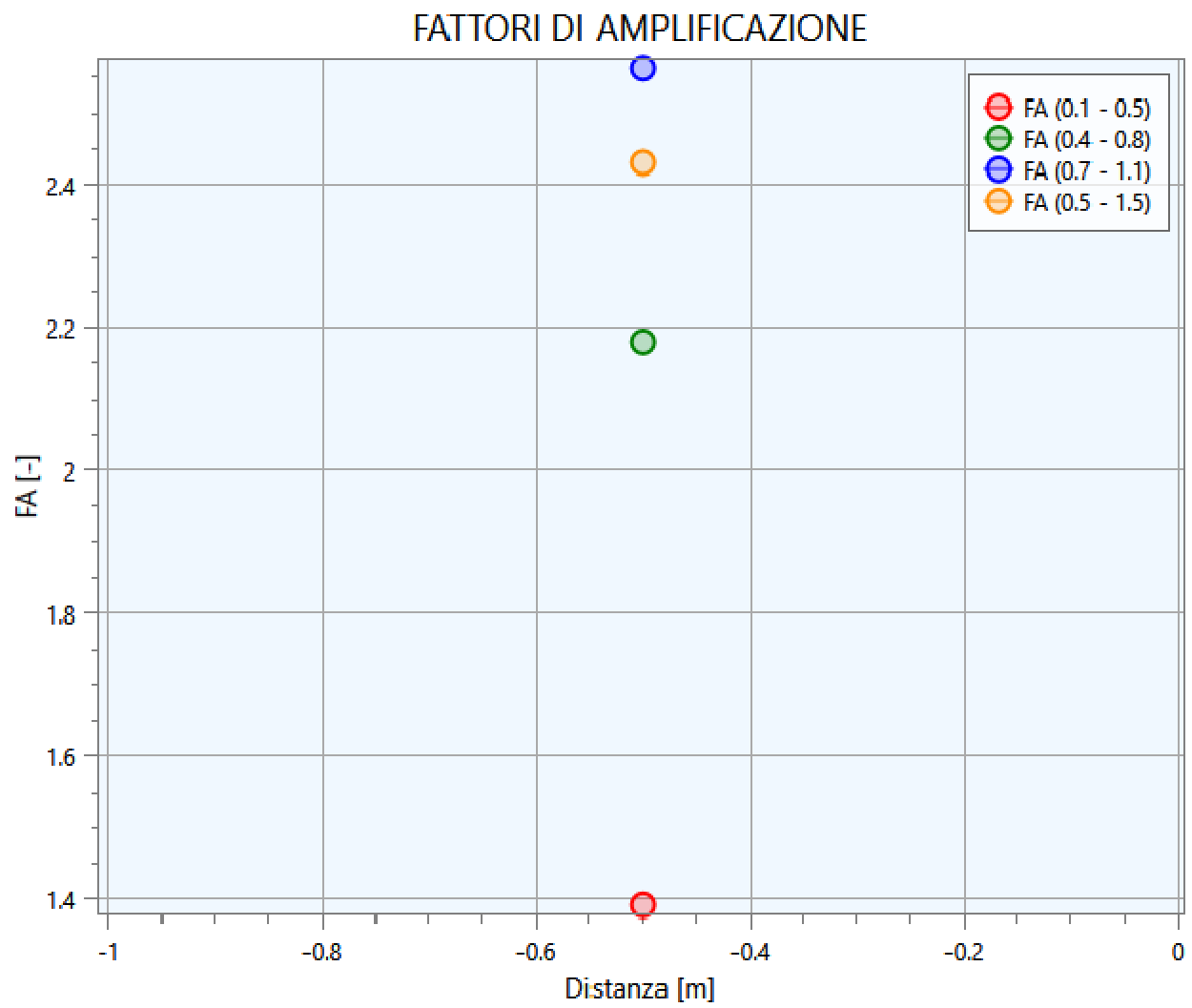
Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (1))

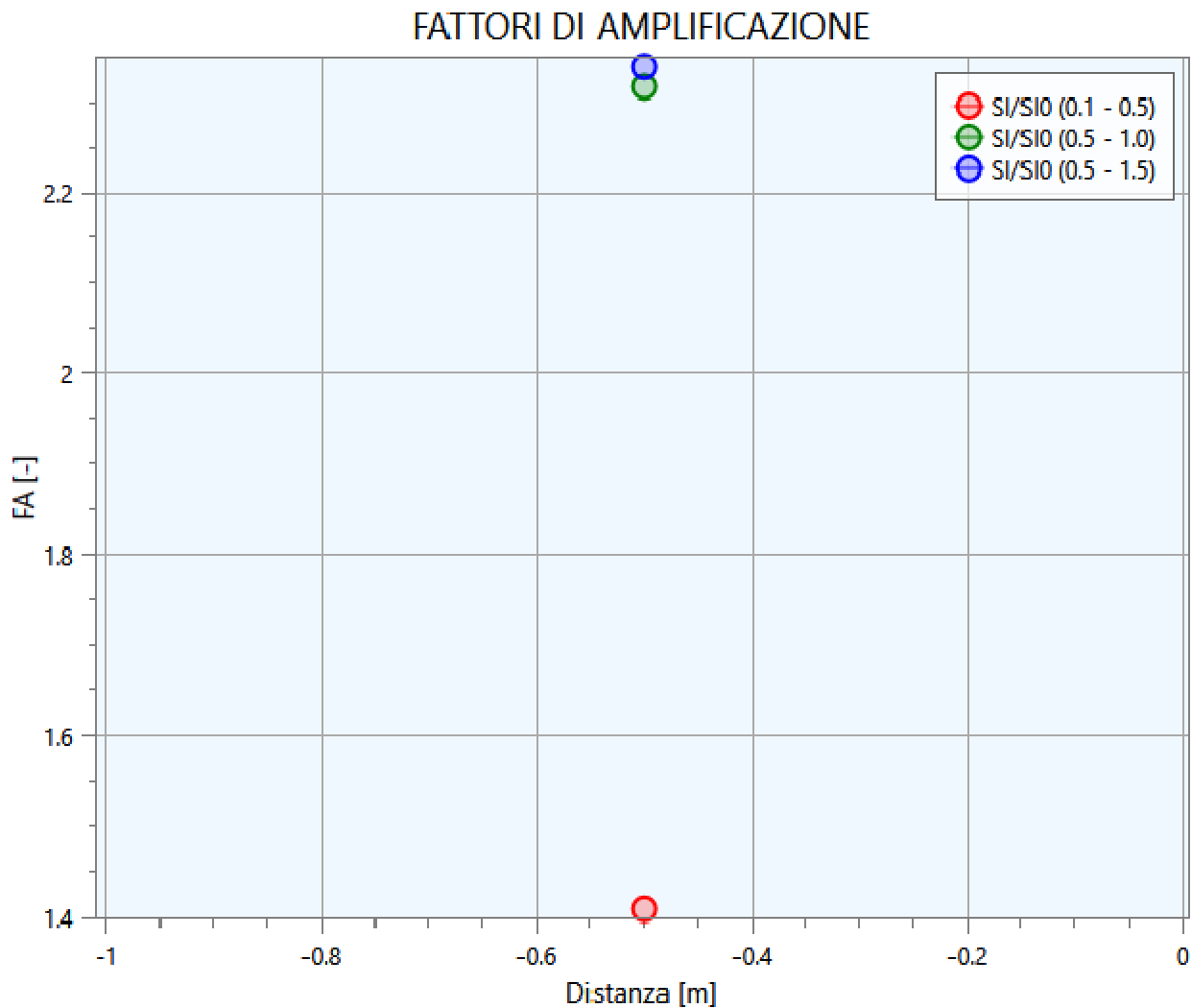


## 6 - Calcolo dei fattori di amplificazione - Lido di Spina

Attraverso il software LSR-2D è possibile calcolare il fattori di amplificazione F.A. per PGA, per S.A. e S.I..







Riassumendo in tabella, si trova convergenza molto buona con i valori degli abachi regionali.

		ABACHI	RSL
F.A. PGA/PGA0		1,3	1,35
F.A. SA1	0,1 - 0,5 sec	1,3	1,39
F.A. SA2	0,4 - 0,8 sec	2,1	2,18
F.A. SA3	0,7 - 1,1 sec	2,5	2,56
F.A. SA4	0,5 - 1,5 sec	2,4	2,43
F.A. SI1	0,1 - 0,5 sec	1,5	1,41
F.A. SI2	0,5 - 1,0 sec	2,3	2,32
F.A. SI3	0,5 - 1,5 sec	2,6	2,34

E' stato utilizzato anche il codice STRATA per ripetere l'analisi con gli stessi dati di INPUT, ove però è stata utilizzata per le sabbie di battaglia la Curva G/Go Cmach 03, che nel codice LSR-2D non porta a convergenza del calcolo iterativo.

G:\M2 Comacchio\RSL Lido di Spina\_OK\Mz Lido di Spina\_OK\con curva Cmach 3\Lido Spina\_3 acceler RER\_2.strata - Strata

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

**Soil Types**

Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G <sub>max</sub> Model	Damping Model	Notes
1 1	19.00	Cmach 3	Cmach 3	
2 2	18.50	Cmach 3	Cmach 3	
3 3	19.00	Cmach 3	Cmach 3	
4 4	18.60	Cmach 4	Cmach 4	
5 5	18.00	Cmach 5	Cmach 5	
6 6	19.00	Cmach 3	Cmach 3	
7 7	18.50	Cmach 5	Cmach 5	
8 8	19.00	EPRI (93), 120-250 ft	EPRI (93), 120-250 ft	
9 9	19.00	EPRI (93) Pi=10	EPRI (93), Pi=10	
10 10	19.50	EPRI (93), 250-500 ft	EPRI (93), 250-500 ft	
11 11	19.00	EPRI (93) Pi=10	EPRI (93), Pi=10	
12 12	19.50	EPRI (93), 250-500 ft	EPRI (93), 250-500 ft	
13 13	20.00	EPRI (93) Pi=10	EPRI (93), Pi=10	
14 14	20.00	EPRI (93), 500-1000 ft	EPRI (93), 500-1000 ft	
15 15	20.00	EPRI (93), Pi=50	EPRI (93), Pi=50	
16 16	21.00	EPRI (93), 500-1000 ft	EPRI (93), 500-1000 ft	
17 17	21.00	EPRI (93), Pi=50	EPRI (93), Pi=50	
18 18	21.00	EPRI (93), 500-1000 ft	EPRI (93), 500-1000 ft	

**Darendeli and Stokey Model Parameters**

Mean effective stress: 0.10 atm  
 Plasticity Index: 0  
 Over-consolidation ratio: 1.00  
 Excitation frequency: 0.1 Hz  
 Number of cycles: 1

**Nonlinear Property**

Bedrock Layer  
 Unit weight: 22.00 kN/m<sup>3</sup> Damping: 1.00 %  
 Water Table Depth  
 Depth: 1.00 m

G:\M2 Comacchio\RSL Lido di Spina\_OK\Mz Lido di Spina\_OK\con curva Cmach 3\Lido Spina\_3 acceler RER\_2.strata - Strata

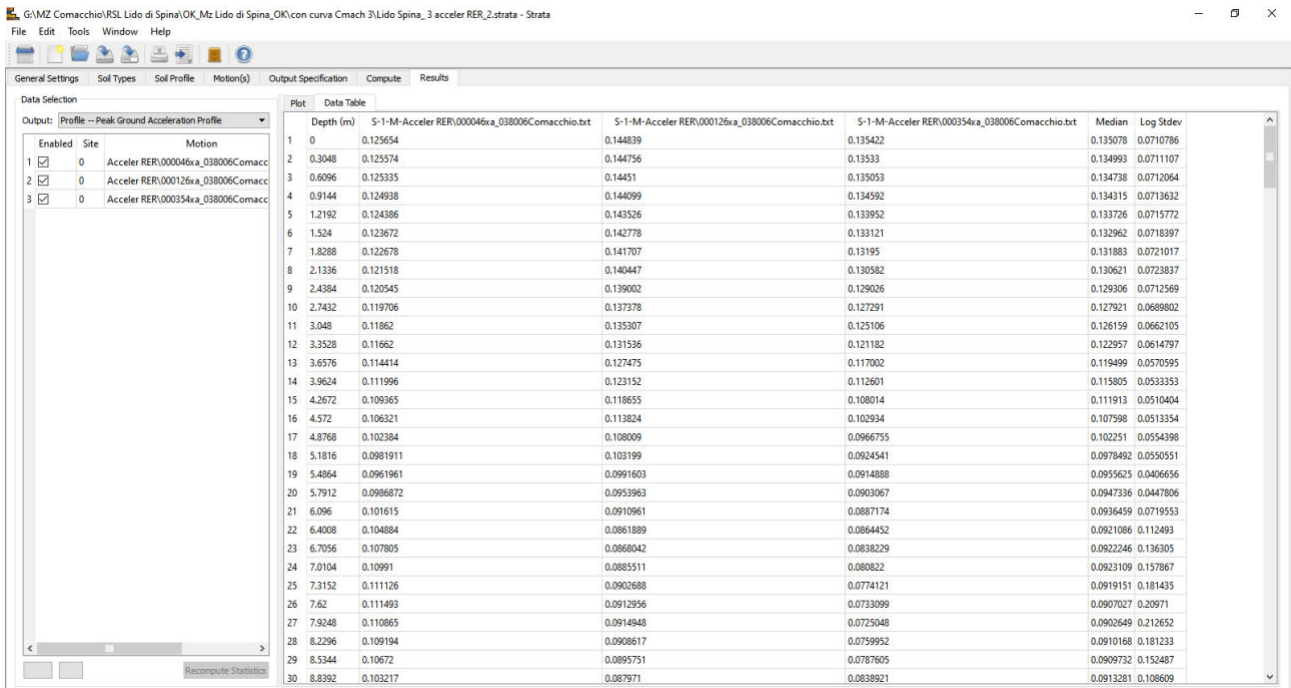
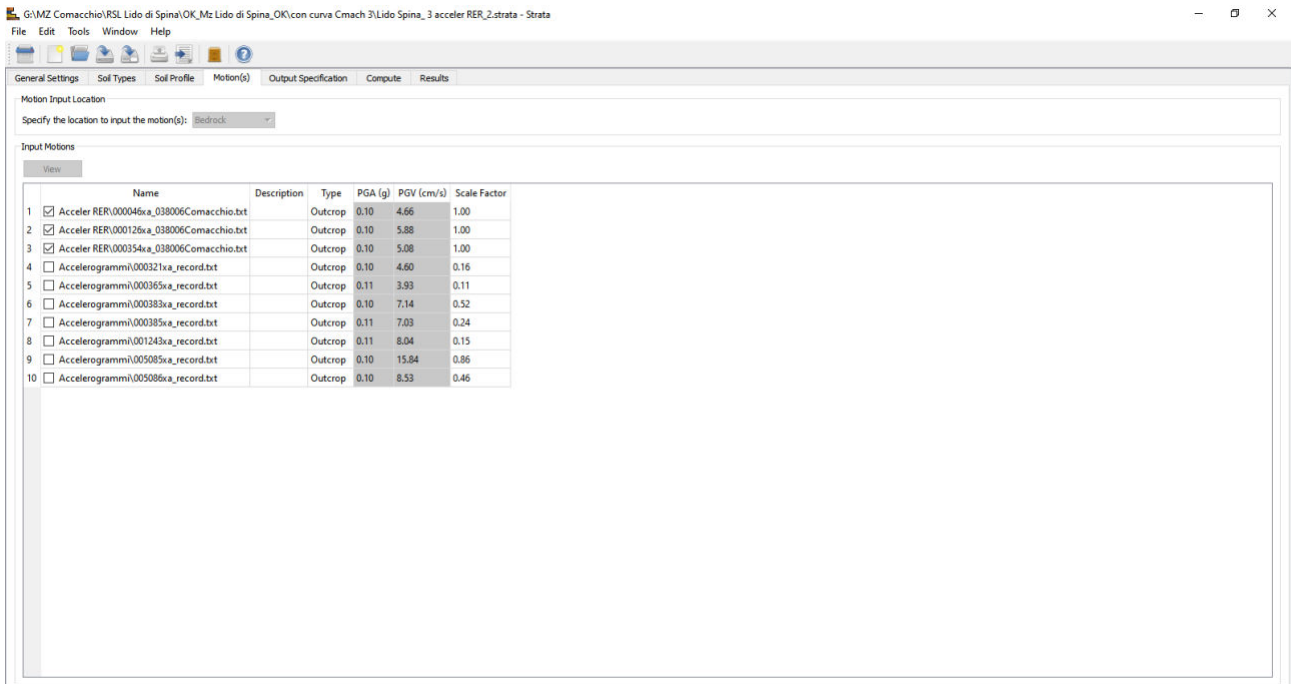
File Edit Tools Window Help

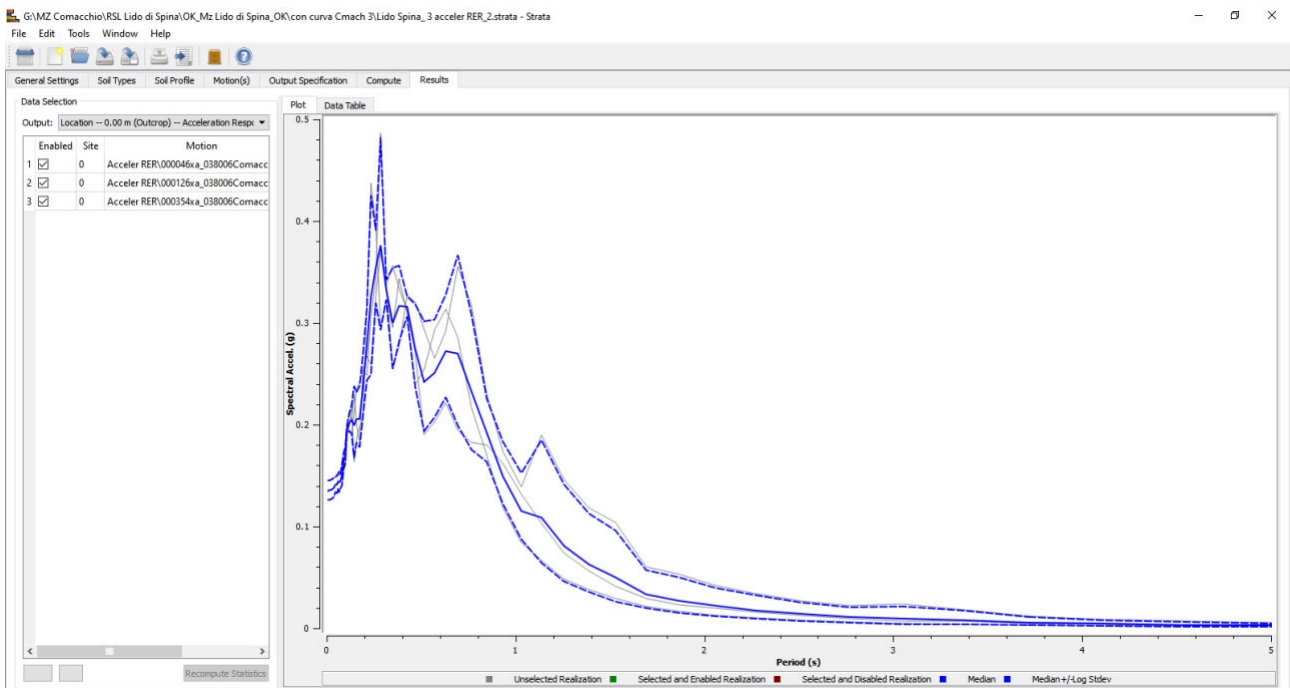
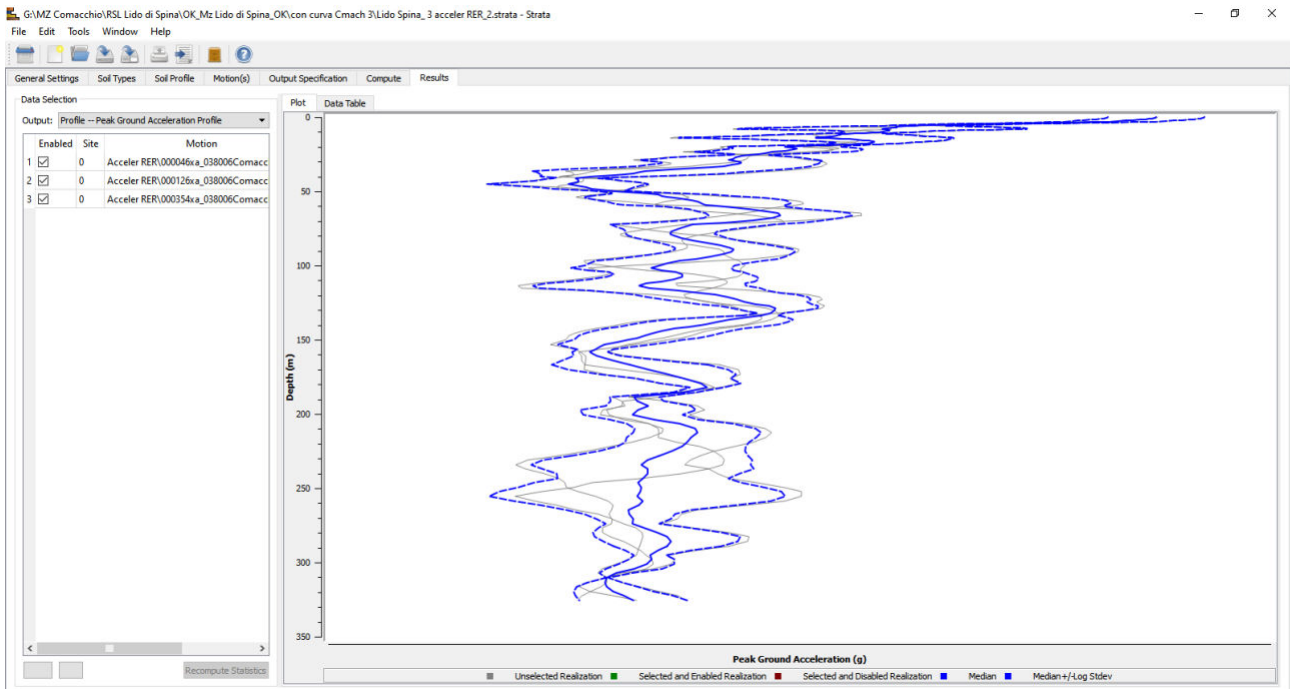
General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

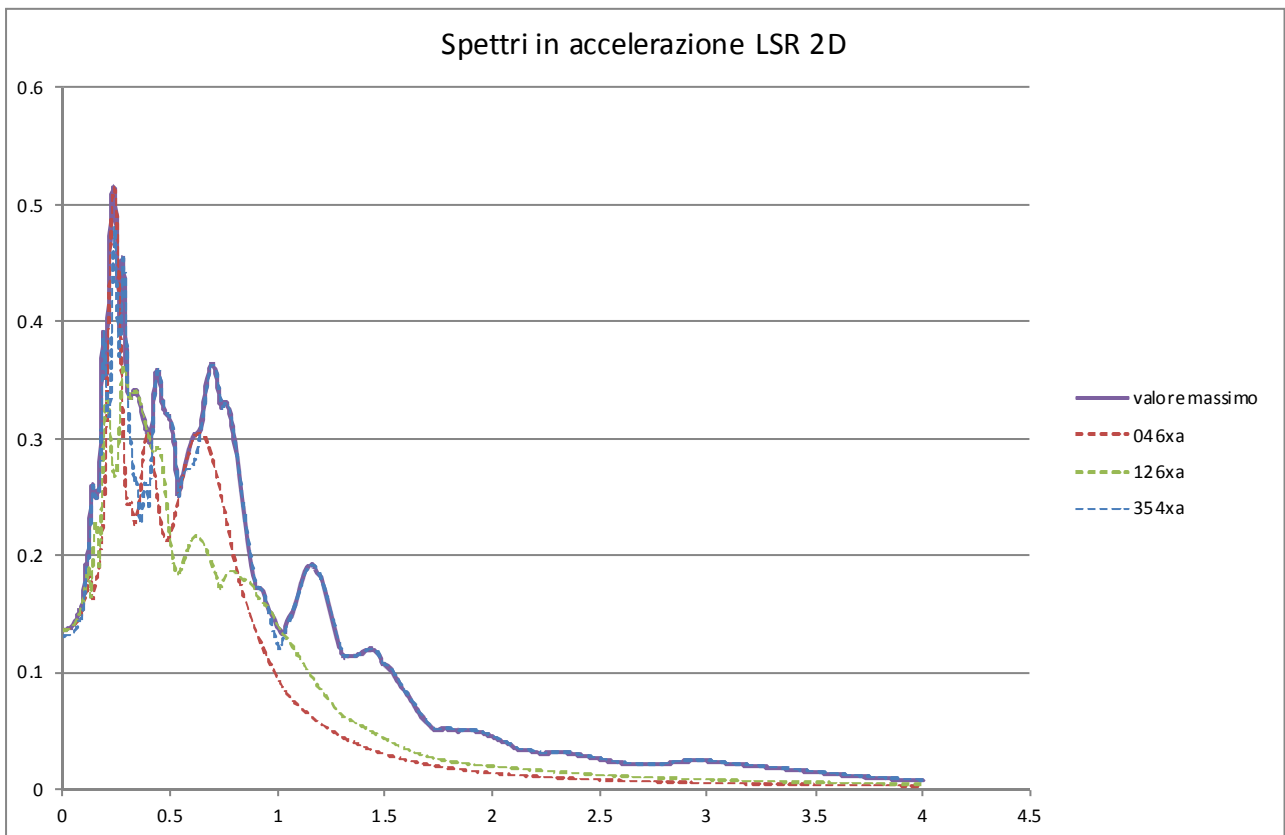
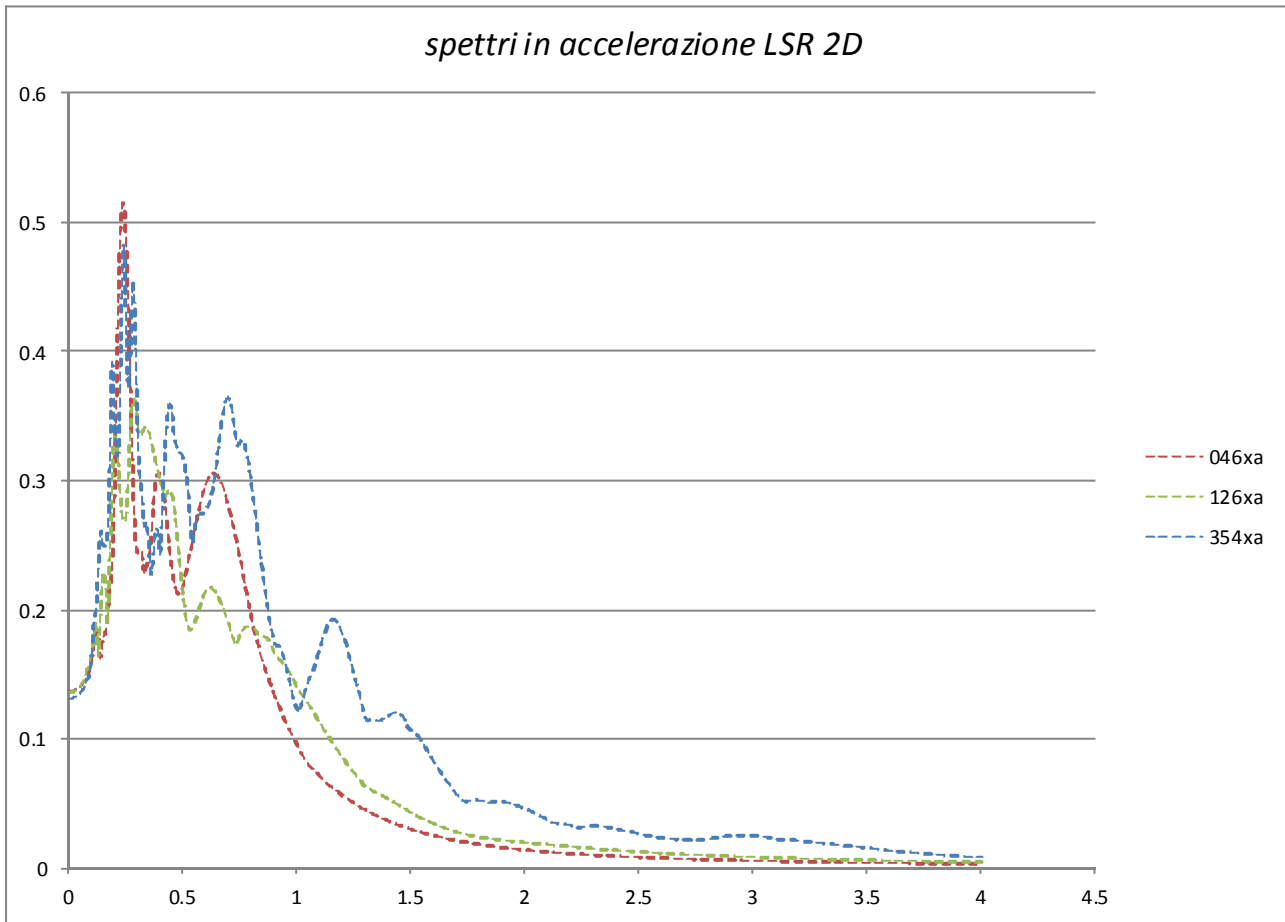
**Site Profile**

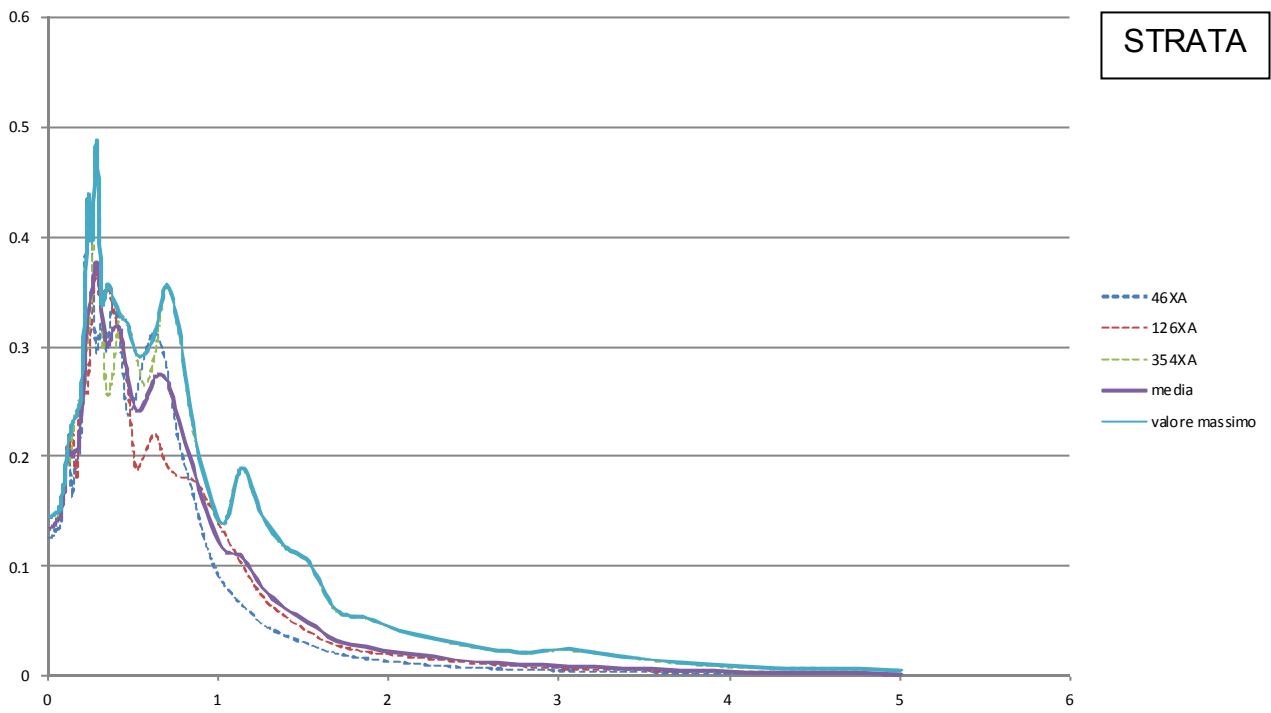
Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1 0.00	3.00	1	200.00
2 3.00	6.00	2	165.00
3 9.00	5.00	3	208.00
4 14.00	9.00	4	186.00
5 23.00	6.00	5	219.00
6 29.00	2.00	6	265.00
7 31.00	35.00	7	280.00
8 66.00	12.00	8	300.00
9 78.00	22.00	9	344.00
10 100.00	14.00	10	344.00
11 114.00	14.00	11	344.00
12 128.00	42.00	12	418.00
13 170.00	13.00	13	418.00
14 183.00	25.00	14	418.00
15 208.00	30.00	15	520.00
16 238.00	30.00	16	520.00
17 268.00	16.00	17	520.00
18 284.00	41.00	18	520.00
19 325.00	Half-Space	Bedrock	800.00



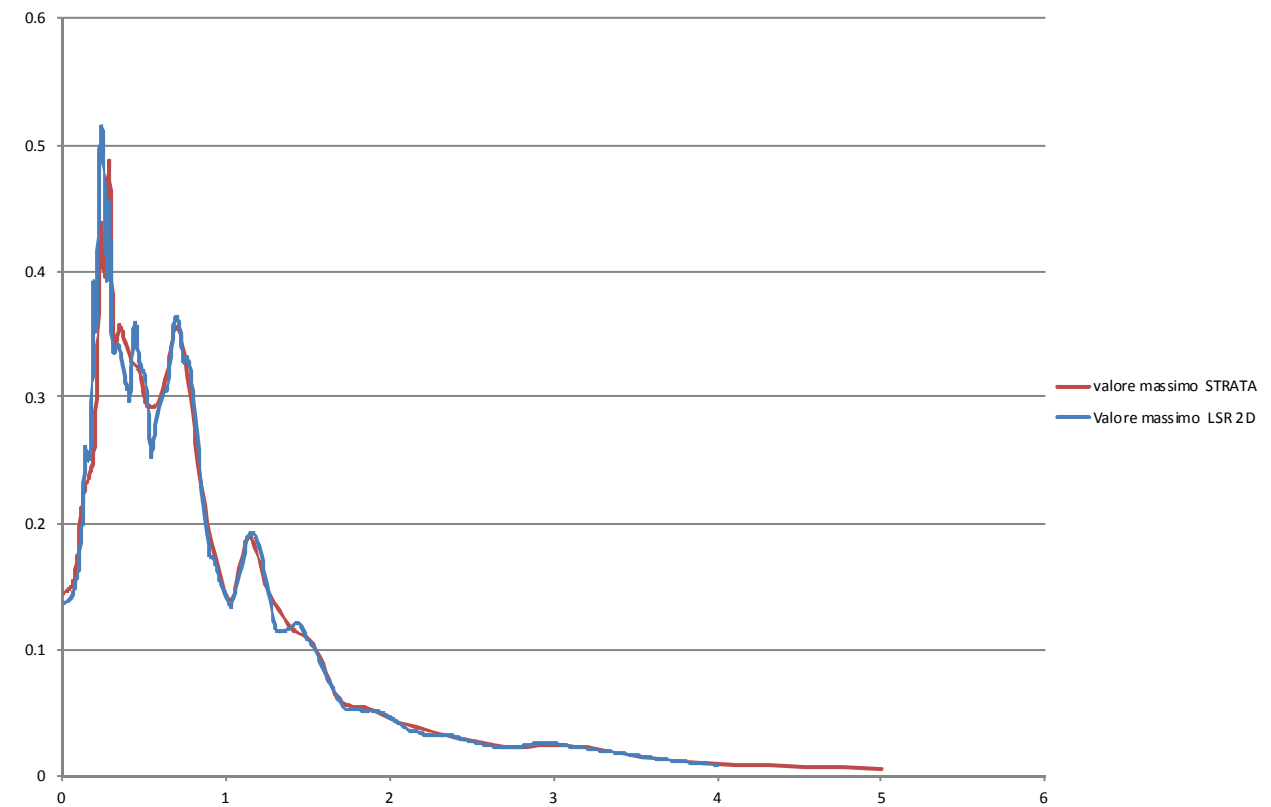


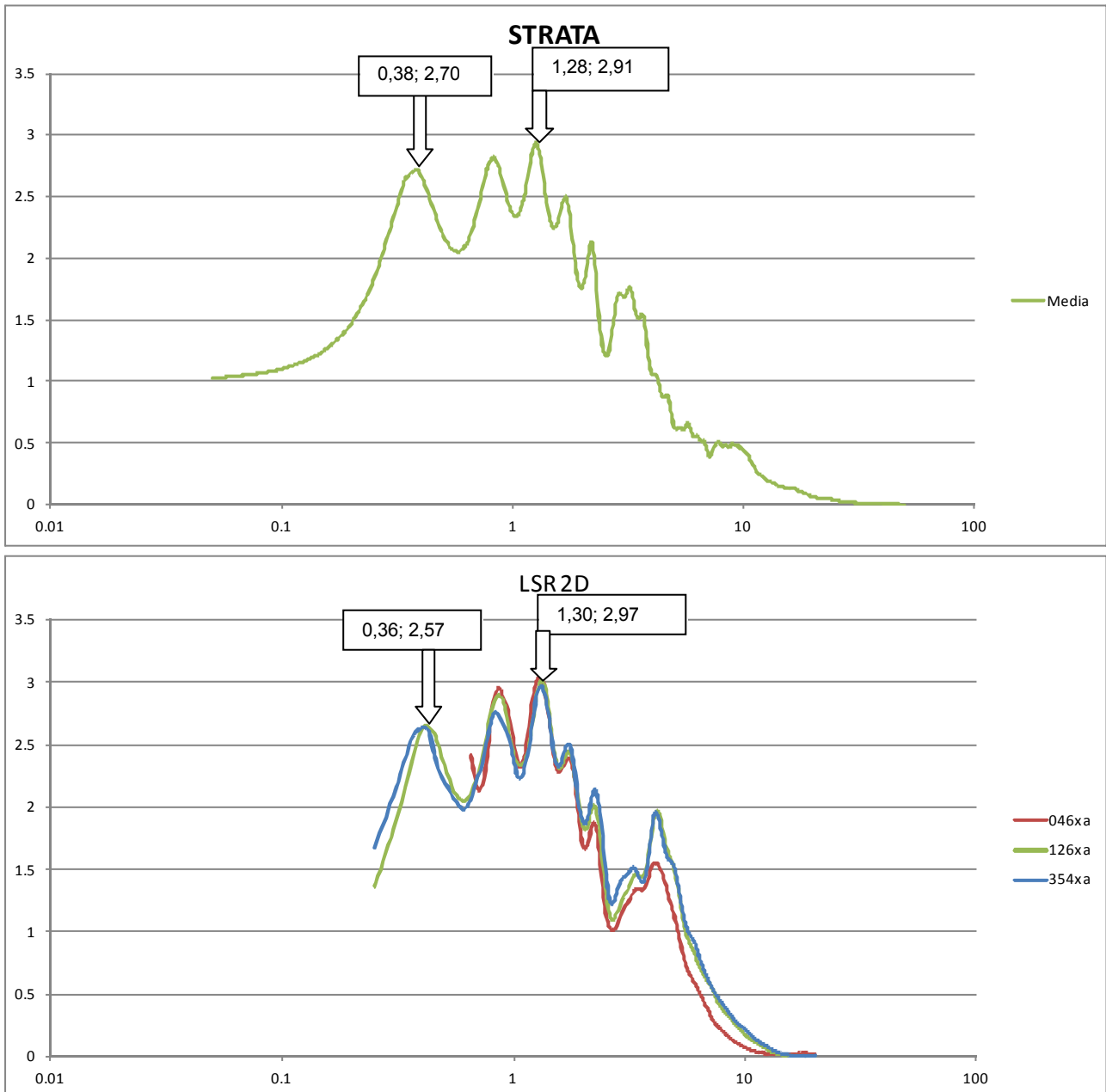






valore massimo LSR 2D





Come si può notare il risultato è pressoché identico, e questo valida l'analisi della risposta sismica locale, anche se per i depositi sabbiosi di battigia si sono utilizzate curve diverse per via di un problema di convergenza del calcolo iterativo che si manifestava nel software LSR 2D.

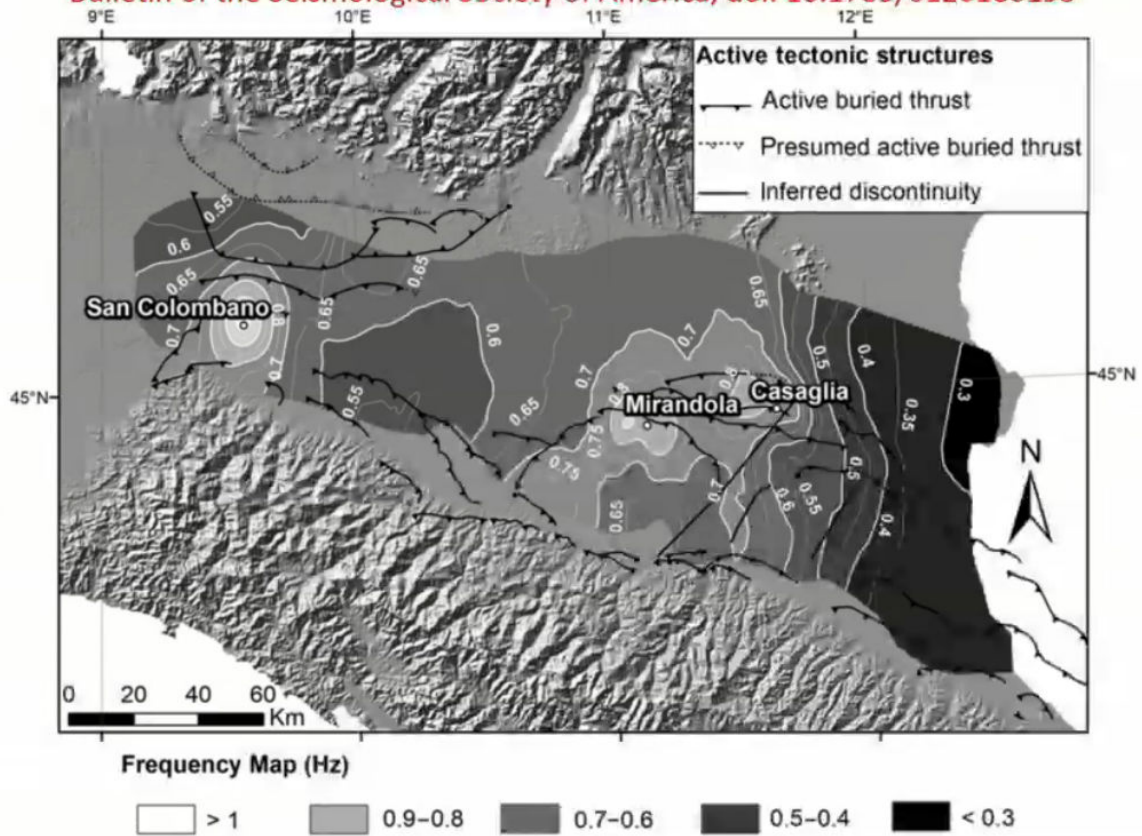
La funzione di trasferimento misurata in sito con prove HVSR è invece diversa da quella calcolata, anche se un modo principale di vibrare è stato calcolato intorno a 0,36 hz, come quello misurato, e questo si avvicina molto ai valori attesi in questa zona costiera dell'Emilia Romagna. Le curve misurate sono molto più appiattite.



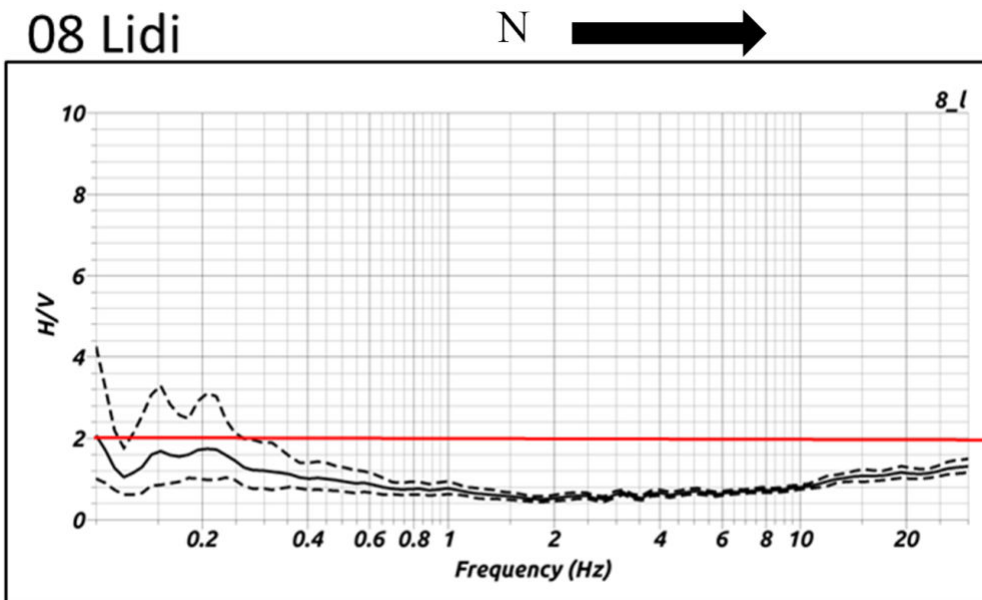
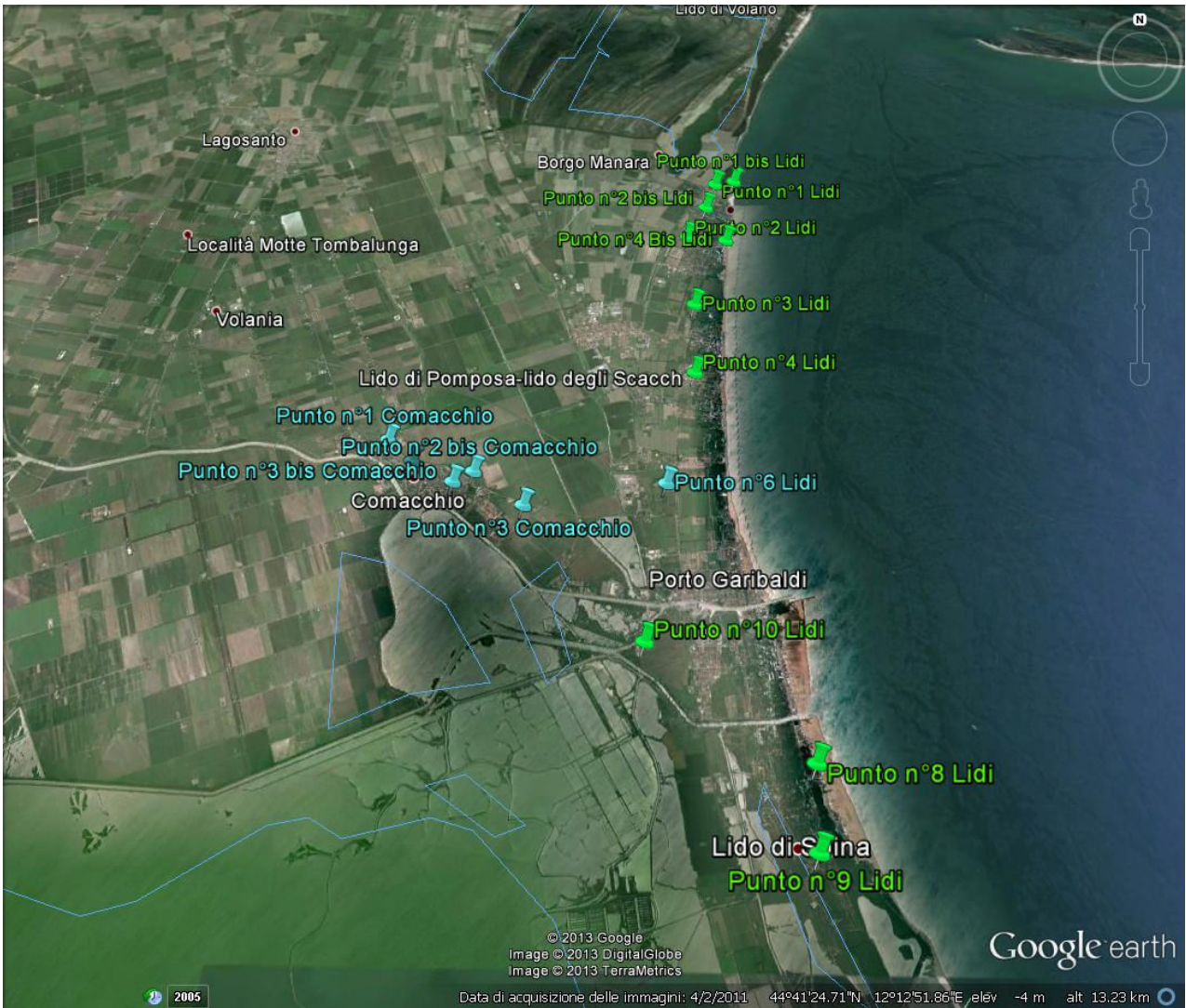
**Mapping the seismic bedrock of the Po Plain (Italy) through ambient-vibration monitoring**

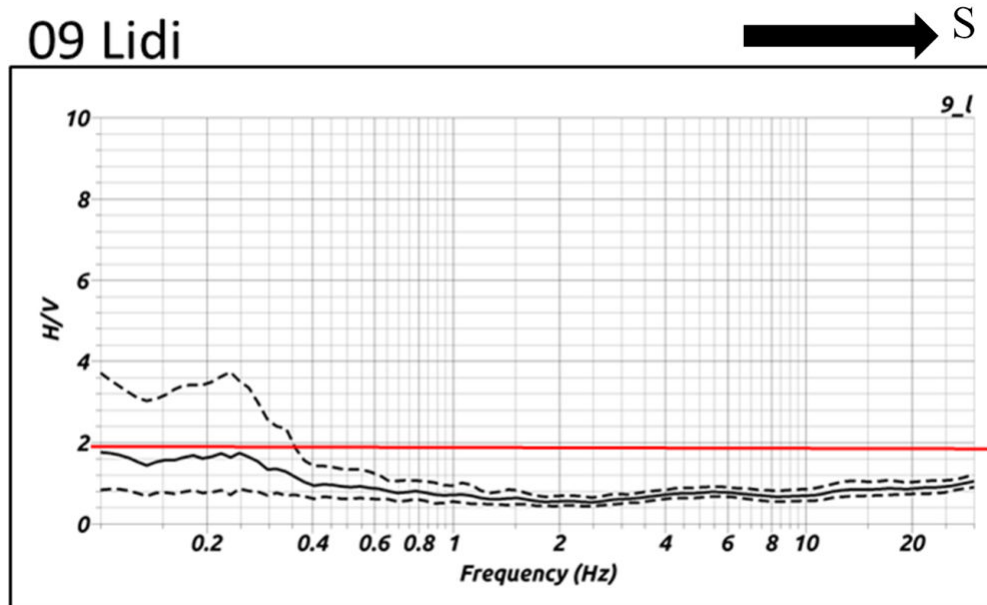
C. Mascandola, M. Massa, S. Barani, D. Albarello, S. Lovati, L. Martelli, and V. Poggi, 2018

Bulletin of the Seismological Society of America, doi: 10.1785/0120180193



Si riportano le due misure HVSR effettuate a Lido di Spina.





Questa difformità è tutta da comprendere e lascia un dubbio sull'analisi condotta in modo rigoroso, ma non convalidata appieno dalle risultanze delle misure di HVSR in sito.

Ove il bedrock sismico è molto profondo, i software di analisi di risposta sismica locale tendono a perdersi. Nel senso che fino a circa 120m/140m di profondità i dati inseriti condizionano l'analisi. Al di sotto di questa quota sembra essere tutto poco condizionante, e questo penalizza gli studi nelle aree con bedrock molto profondo.

Le misure di HVSR danno ottimi responsi in condizioni stratigrafiche che vedono contrasti di rigidezza importanti a piccole o modeste profondità. Forse queste misure andrebbero reinterpretate se condotte in zone di avanfossa come questa, con spessori molto estesi di sedimenti alluvionali con contrasti di rigidezza modestissimi e velocità di propagazione delle onde di taglio crescenti gradualmente con la profondità.

## 7 - Calcolo degli HSM - Lido di Spina

Il calcolo degli  $H_{SM}$  viene condotto per diversi intervalli di periodo richiesti dalla normativa regionale.

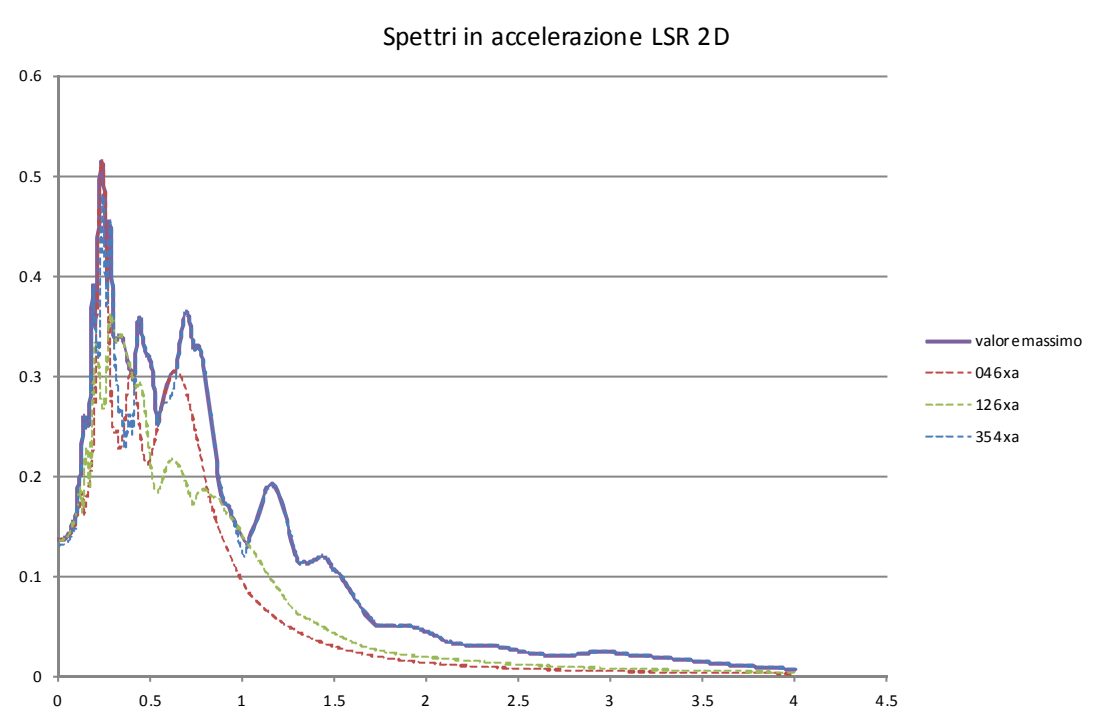
$$H_{SM0,1\text{sec}-0,5\text{sec}}$$

$$H_{SM0,4\text{sec}-0,8\text{sec}}$$

$$H_{SM0,7\text{sec}-1,1\text{sec}}$$

$$H_{SM0,5\text{sec}-1,5\text{sec}}$$

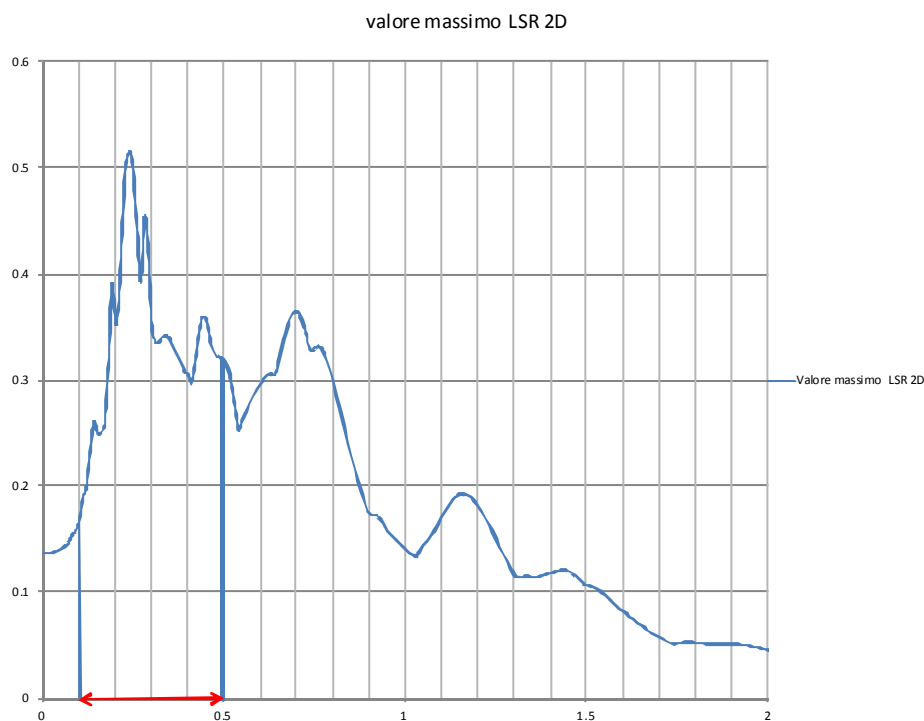
Considerato che si è operato con una terna di accelerogrammi non si utilizzerà il valore medio dei tre spettri, ma il massimo valore tra i tre spettri per ogni determinato periodo.



Definito lo spettro di riferimento si procede al calcolo dell'HSM, mediante foglio di calcolo Excel.

La prima operazione è quella di calcolare l'integrale della curva nel tempo  $dt$ , nel tratto di intervallo di periodo di interesse, pervenendo ad una grandezza che esprime una velocità. Il valore ottenuto va poi diviso per l'intervallo  $\Delta t$  allo studio, e quindi si ritorna ad avere una accelerazione.

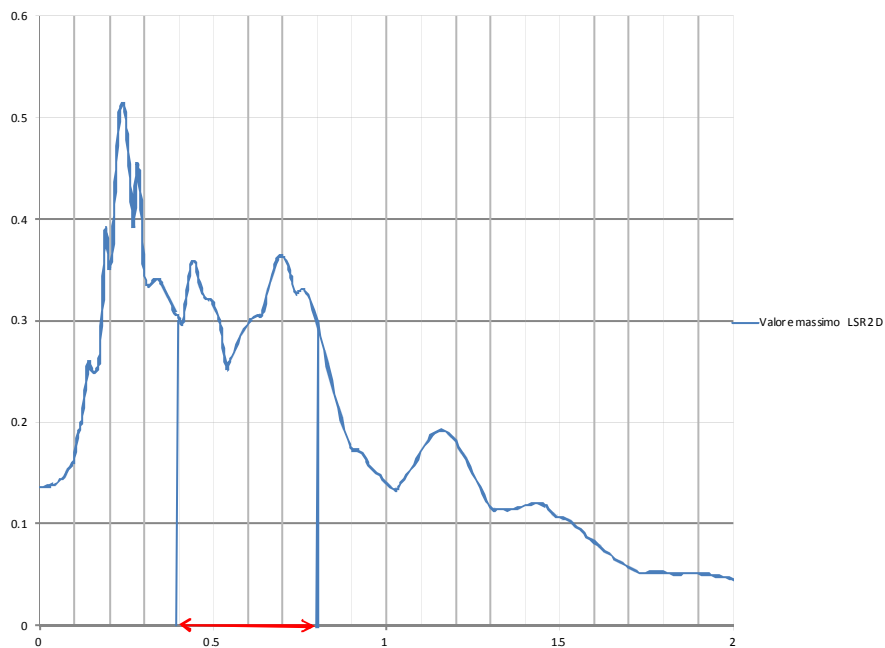
Il valore ottenuto è espresso l'accelerazione di gravità, va poi convertito in  $cm/sec^2$ .



		integrale
0.1	0.17	0.001782
0.11	0.19	0.001948
0.12	0.20	0.002158
0.13	0.23	0.002463
0.14	0.26	0.002554
0.15	0.25	0.002502
0.16	0.25	0.002542
0.17	0.26	0.00285
0.18	0.31	0.003513
0.19	0.39	0.003713
0.2	0.35	0.003638
0.21	0.38	0.004167
0.22	0.46	0.004815
0.23	0.51	0.005103
0.24	0.52	0.005026
0.25	0.49	0.004656
0.26	0.44	0.004166
0.27	0.39	0.004234
0.28	0.45	0.004411
0.29	0.43	0.00389
0.3	0.35	0.003428
0.31	0.34	0.003356
0.32	0.34	0.003382
0.33	0.34	0.003413
0.34	0.34	0.0034
0.35	0.34	0.003349
0.36	0.33	0.003277
0.37	0.32	0.003199
0.38	0.32	0.003123
0.39	0.31	0.003068
0.4	0.31	0.00301
0.41	0.30	0.003066
0.42	0.32	0.003307
0.43	0.35	0.00352
0.44	0.36	0.003581
0.45	0.36	0.00348
0.46	0.34	0.003333
0.47	0.33	0.003251
0.48	0.32	0.003216
0.49	0.32	0.003193
0.5	0.32	
	AREA	0.136073
	Hsm01_05	0.340181
		333 cm/sec <sup>2</sup>

$H_{SM} 0,1sec - 0,5sec$   
 $333 \text{ cm/sec}^2$

valore massimo LSR 2D

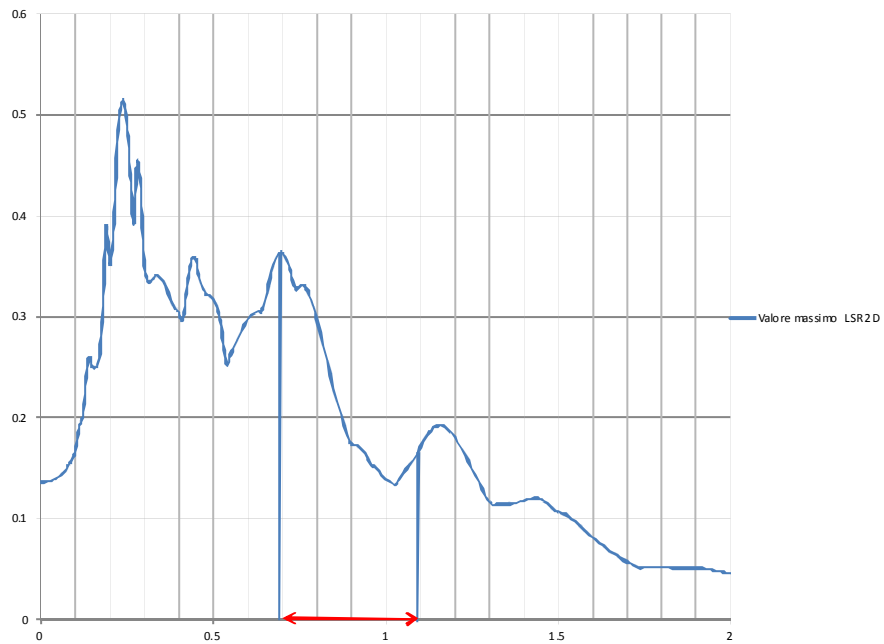




		integrale
0.4	0.305	0.00301
0.41	0.2969	0.003066
0.42	0.3162	0.003307
0.43	0.3451	0.00352
0.44	0.3589	0.003581
0.45	0.3573	0.00348
0.46	0.3386	0.003333
0.47	0.328	0.003251
0.48	0.3222	0.003216
0.49	0.321	0.003193
0.5	0.3176	0.003138
0.51	0.3099	0.003036
0.52	0.2973	0.002852
0.53	0.273	0.002626
0.54	0.2521	0.002571
0.55	0.2621	0.002658
0.56	0.2695	0.002736
0.57	0.2776	0.002814
0.58	0.2851	0.002885
0.59	0.2918	0.002946
0.6	0.2973	0.002994
0.61	0.3015	0.003029
0.62	0.3042	0.003049
0.63	0.3056	0.003056
0.64	0.3055	0.003112
0.65	0.3169	0.003244
0.66	0.3318	0.003387
0.67	0.3456	0.003511
0.68	0.3565	0.003598
0.69	0.363	0.003635
0.7	0.364	0.003618
0.71	0.3596	0.003549
0.72	0.3501	0.003432
0.73	0.3363	0.003318
0.74	0.3272	0.003287
0.75	0.3302	0.00331
0.76	0.3317	0.003301
0.77	0.3284	0.003248
0.78	0.3212	0.003162
0.79	0.3111	0.00305
0.8	0.2988	
		0.127098
	Hsm04_08	0.317745
		310 cm/sec <sup>2</sup>

$H_{SM} 0,4sec -$   
 $0,8sec$   
 $310 cm/sec^2$

valore massimo LSR 2D



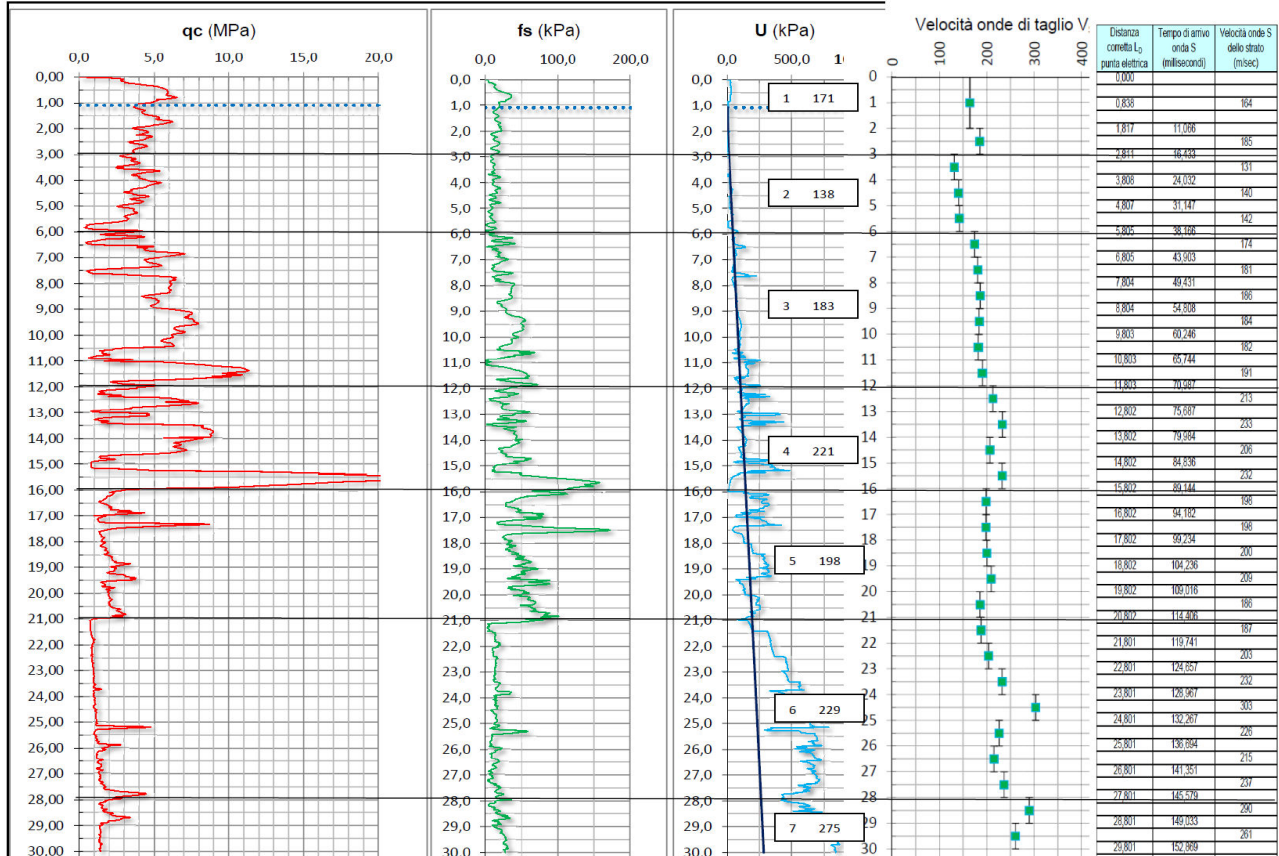


		integrale	1.01	0.1372	0.001361
0.5	0.3176	0.003138	1.02	0.135	0.001345
0.51	0.3099	0.003036	1.03	0.1339	0.001368
0.52	0.2973	0.002852	1.04	0.1397	0.001422
0.53	0.273	0.002626	1.05	0.1446	0.001466
0.54	0.2521	0.002571	1.06	0.1486	0.00151
0.55	0.2621	0.002658	1.07	0.1534	0.001558
0.56	0.2695	0.002736	1.08	0.1584	0.001614
0.57	0.2776	0.002814	1.09	0.1644	0.001677
0.58	0.2851	0.002885	1.1	0.1709	0.00174
0.59	0.2918	0.002946	1.11	0.177	0.001798
0.6	0.2973	0.002994	1.12	0.1825	0.001848
0.61	0.3015	0.003029	1.13	0.187	0.001887
0.62	0.3042	0.003049	1.14	0.1903	0.001913
0.63	0.3056	0.003056	1.15	0.1922	0.001925
0.64	0.3055	0.003112	1.16	0.1927	0.001923
0.65	0.3169	0.003244	1.17	0.1918	0.001907
0.66	0.3318	0.003387	1.18	0.1895	0.001878
0.67	0.3456	0.003511	1.19	0.186	0.001838
0.68	0.3565	0.003598	1.2	0.1815	0.001788
0.69	0.363	0.003635	1.21	0.1761	0.001731
0.7	0.364	0.003618	1.22	0.1701	0.001669
0.71	0.3596	0.003549	1.23	0.1637	0.001604
0.72	0.3501	0.003432	1.24	0.157	0.001536
0.73	0.3363	0.003318	1.25	0.1501	0.001466
0.74	0.3272	0.003287	1.26	0.1431	0.001397
0.75	0.3302	0.00331	1.27	0.1362	0.001328
0.76	0.3317	0.003301	1.28	0.1294	0.001262
0.77	0.3284	0.003248	1.29	0.1229	0.001198
0.78	0.3212	0.003162	1.3	0.1167	0.001154
0.79	0.3111	0.00305	1.31	0.114	0.001144
0.8	0.2988	0.002921	1.32	0.1147	0.001145
0.81	0.2854	0.002783	1.33	0.115	0.001145
0.82	0.2712	0.00264	1.34	0.1148	0.001146
0.83	0.2568	0.002497	1.35	0.1143	0.001144
0.84	0.2425	0.002356	1.36	0.1144	0.001148
0.85	0.2287	0.002222	1.37	0.1152	0.001157
0.86	0.2156	0.002095	1.38	0.1152	0.001157
0.87	0.2034	0.001979	1.39	0.1161	0.001166
0.88	0.1924	0.001875	1.4	0.1171	0.001177
0.89	0.1826	0.001783	1.4	0.1182	0.001188
0.9	0.174	0.001734	1.41	0.1193	0.001197
0.91	0.1727	0.001726	1.42	0.1201	0.001204
0.92	0.1725	0.001711	1.43	0.1206	0.001206
0.93	0.1697	0.001673	1.44	0.1206	0.001202
0.94	0.1648	0.001616	1.45	0.1197	0.001189
0.95	0.1583	0.001561	1.46	0.1181	0.001168
0.96	0.1538	0.001524	1.47	0.1154	0.001136
0.97	0.1509	0.001493	1.48	0.1118	0.001098
0.98	0.1477	0.001459	1.49	0.1078	0.001075
0.99	0.1441	0.001421	1.5	0.1072	
1	0.1401	0.001387			0.204736
				Hsm05-15	0.204736
					200 cm/sec <sup>2</sup>

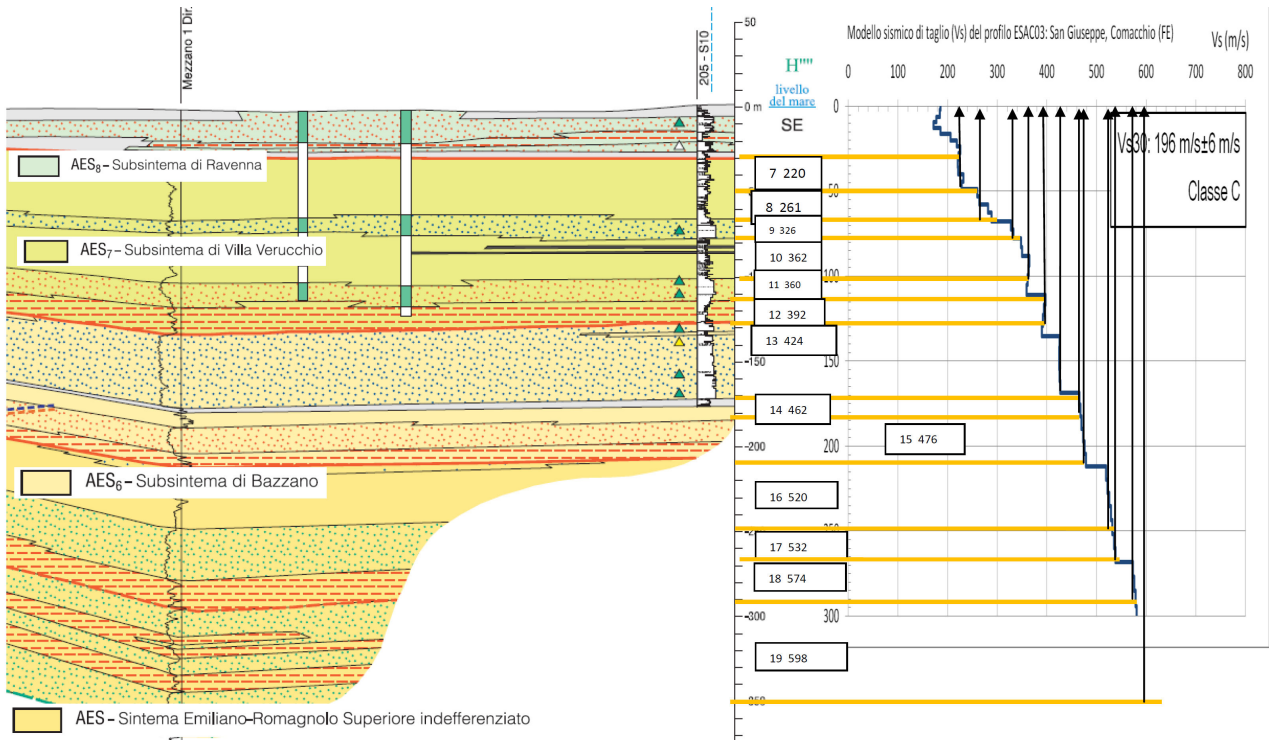
$H_{SM} 0,5sec -$   
 $1,5sec$   
 $200 cm/sec^2$

## 8 - ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE PORTO GARIBALDI - OUTPUT

Lo stesso tipo di analisi è stato eseguito a Porto Garibaldi.  
 Il modello stratigrafico e geofisico di Vs per i primi 30m è il seguente.

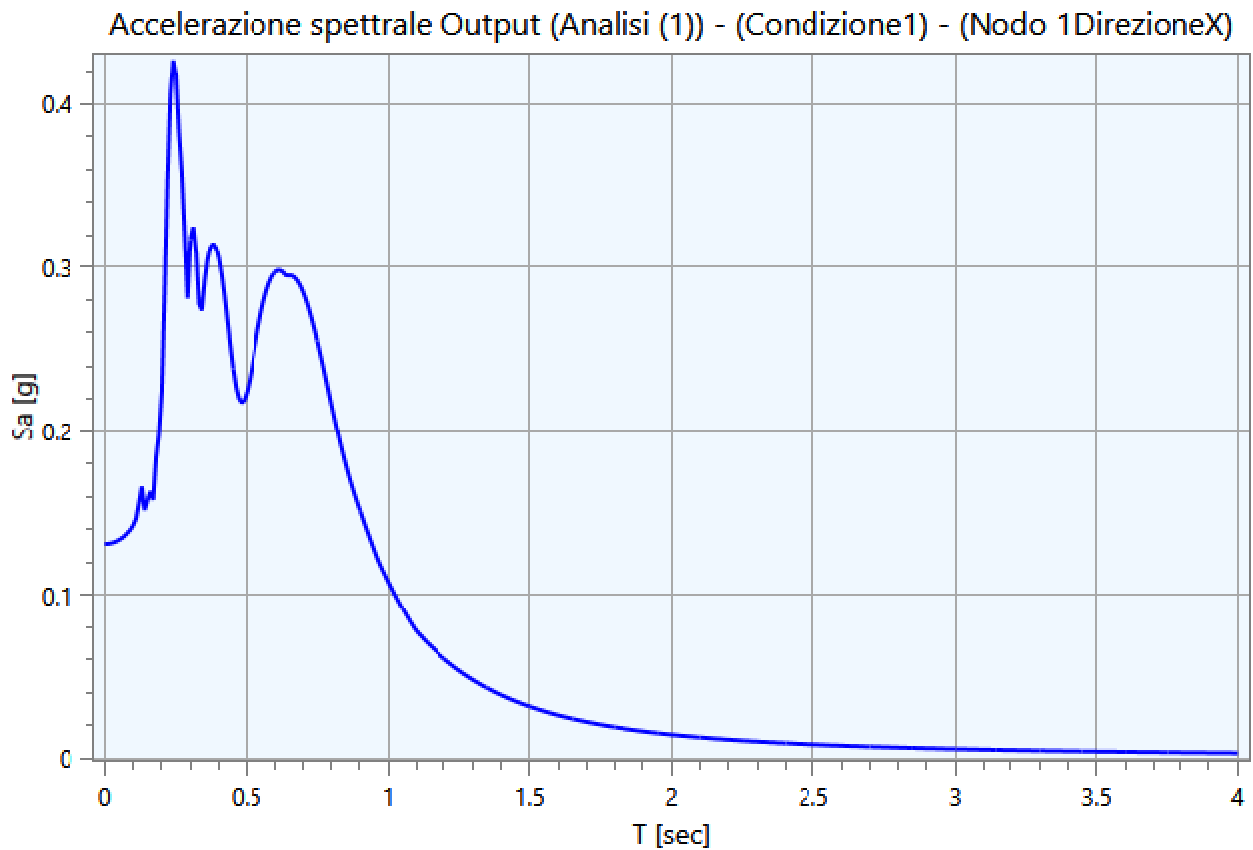


Di seguito invece è riportato il modello stratigrafico e geofisico di Vs profondo.

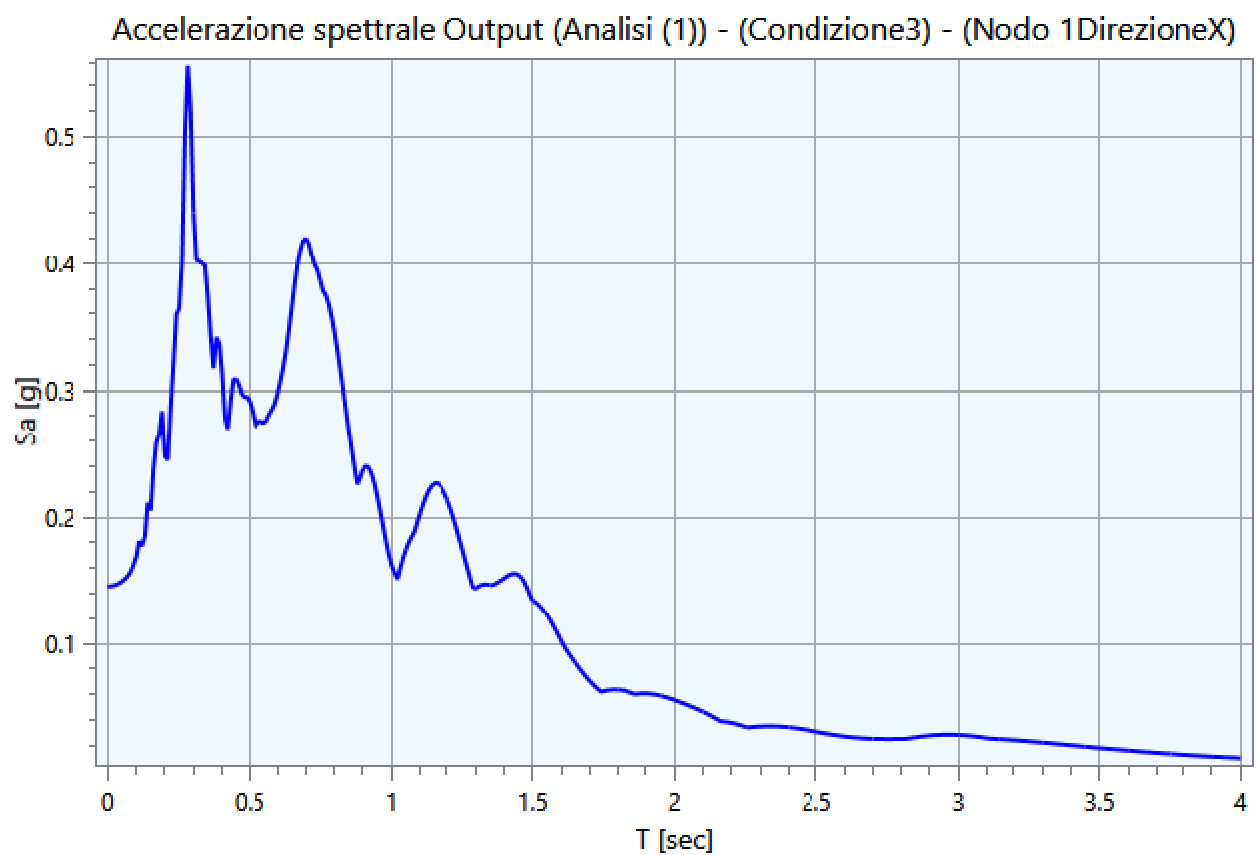
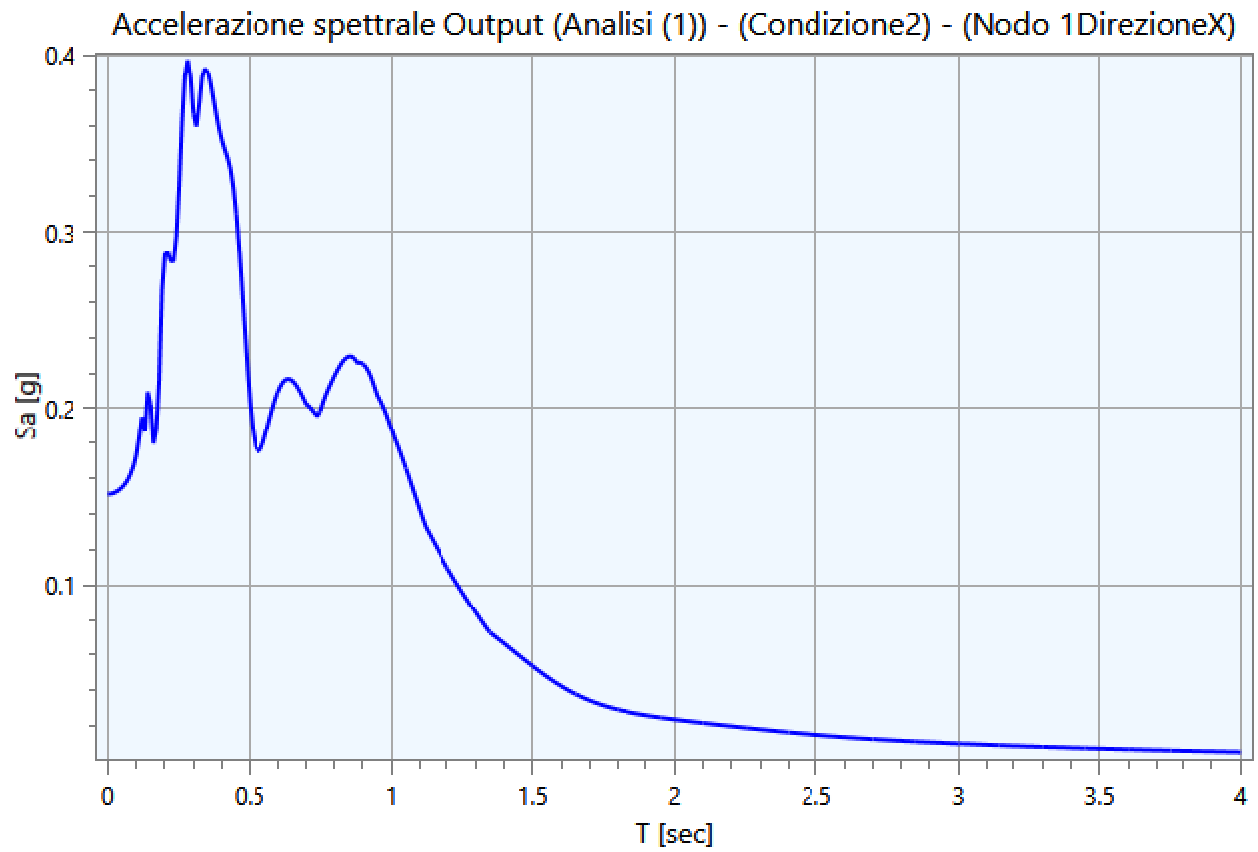


### 8.1 - Spettri Output - Porto Garibaldi

Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:

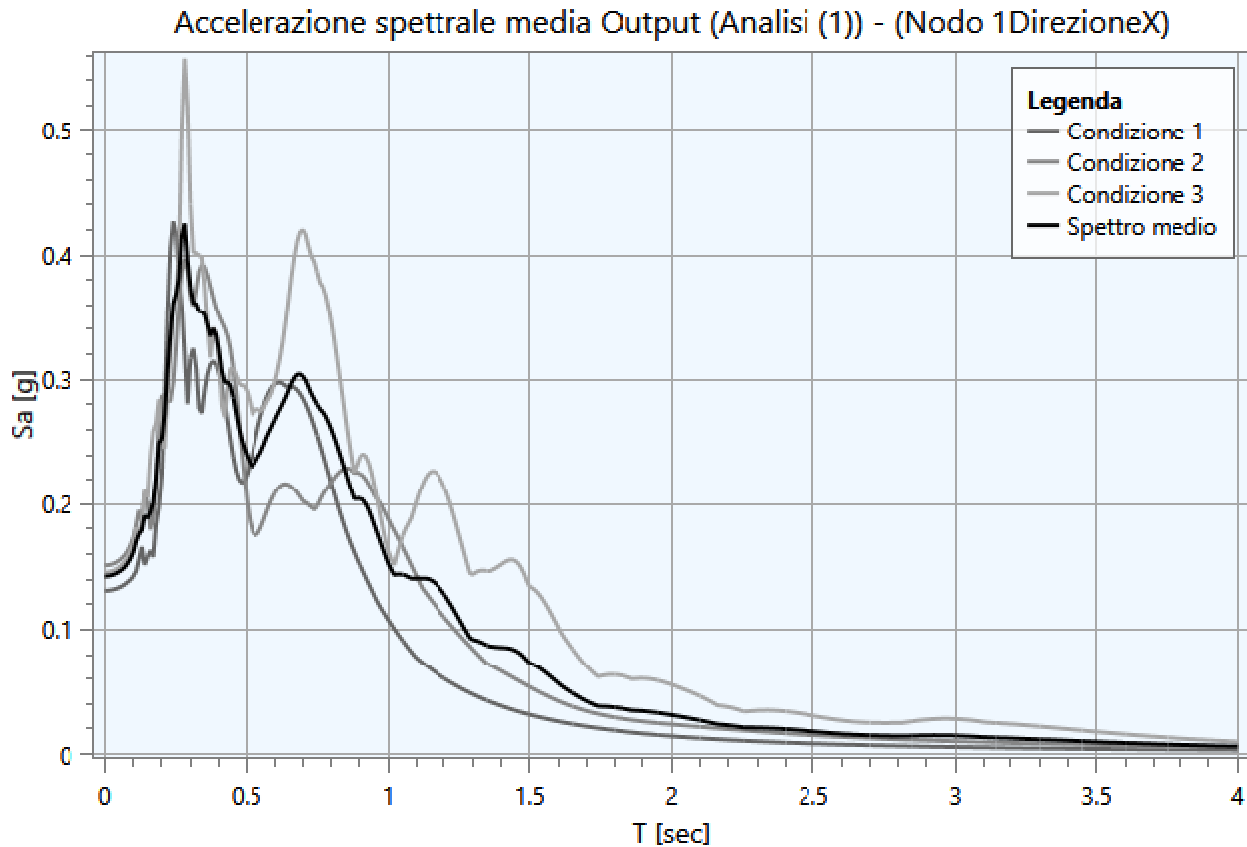






## 8.2 - Interpretazione dei risultati - Porto Garibaldi

Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:



## 8.3 - Parametrizzazione dello spettro di risposta derivante dalla RSL- Porto Garibaldi

La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” (GdL MS, 2008 – parti I e II – punto 2.5.4.3.1 pag 92). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede:

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione ( $TA$ );
- il calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione ( $SA$ ) nell'intorno tra  $0.5 TA - 1.5 TA$ ;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità ( $TV$ );
- il calcolo del valor medio dello spettro in pseudovelocità ( $SV$ ) nell'intorno tra  $0.8 TV - 1.2 TV$ ;
- il calcolo del valore di  $T_c = 2\pi \frac{SV}{SA}$ ;
- il calcolo del valore di  $T_b = 1/3 T_c$ ;
- il calcolo del valore  $T_d = 4 a_g + 1.6$  con  $a_g$  uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra  $T_0, T_b, T_c, T_d, T_4$ .

Di seguito vengono riportati, per ogni analisi, i parametri degli spettri parametrizzati per i vari punti di controllo presenti nella sezione oggetto di studio.

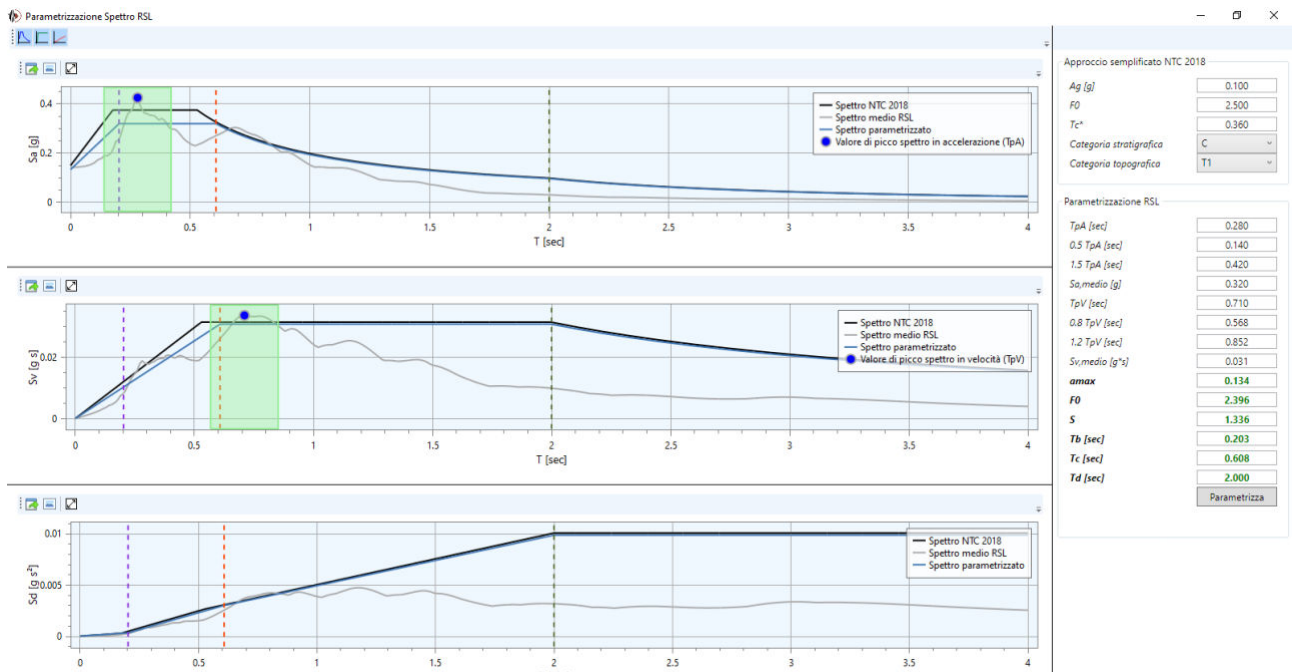
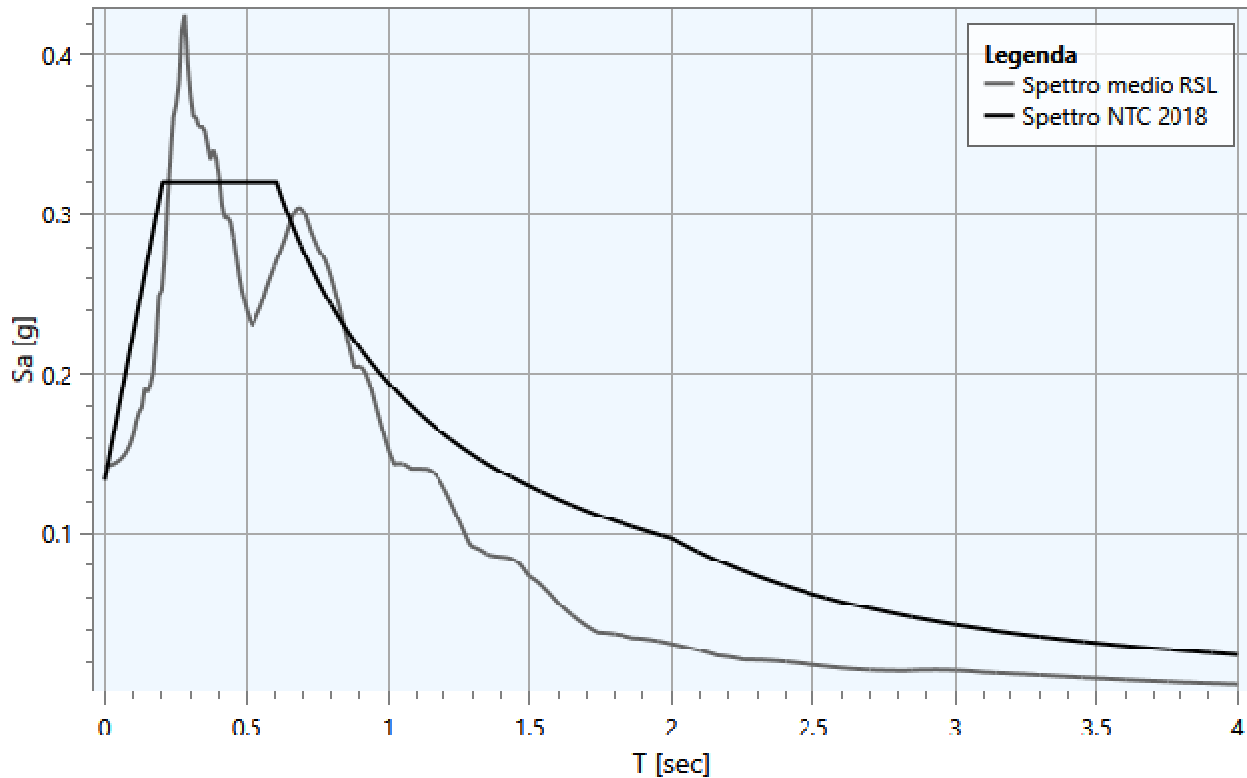
Analisi (1)

Punto di controllo	$A_g$ [g]	F0	S	$A_{max}$ [g]	$T_b$ [sec]	$T_c$ [sec]	$T_d$ [sec]
P (1)	0.100	2.396	1.336	0.134	0.203	0.608	2.000

dove:

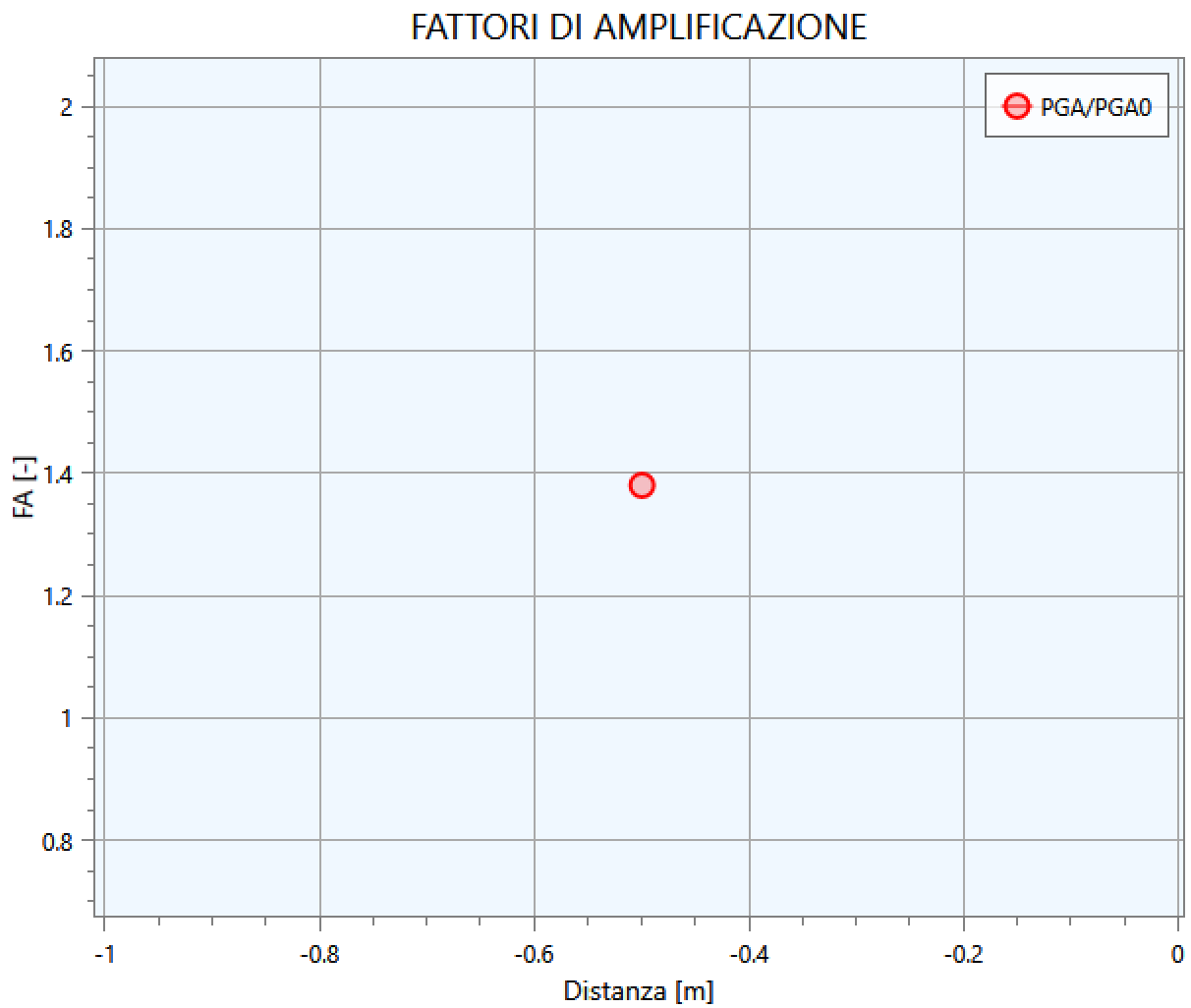
- $A_g$  : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  : valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $S$  : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- $A_{max}$  : punto di ancoraggio a  $T=0$  dello spettro di output;
- $T_b$  : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- $T_c$  : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- $T_d$  : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

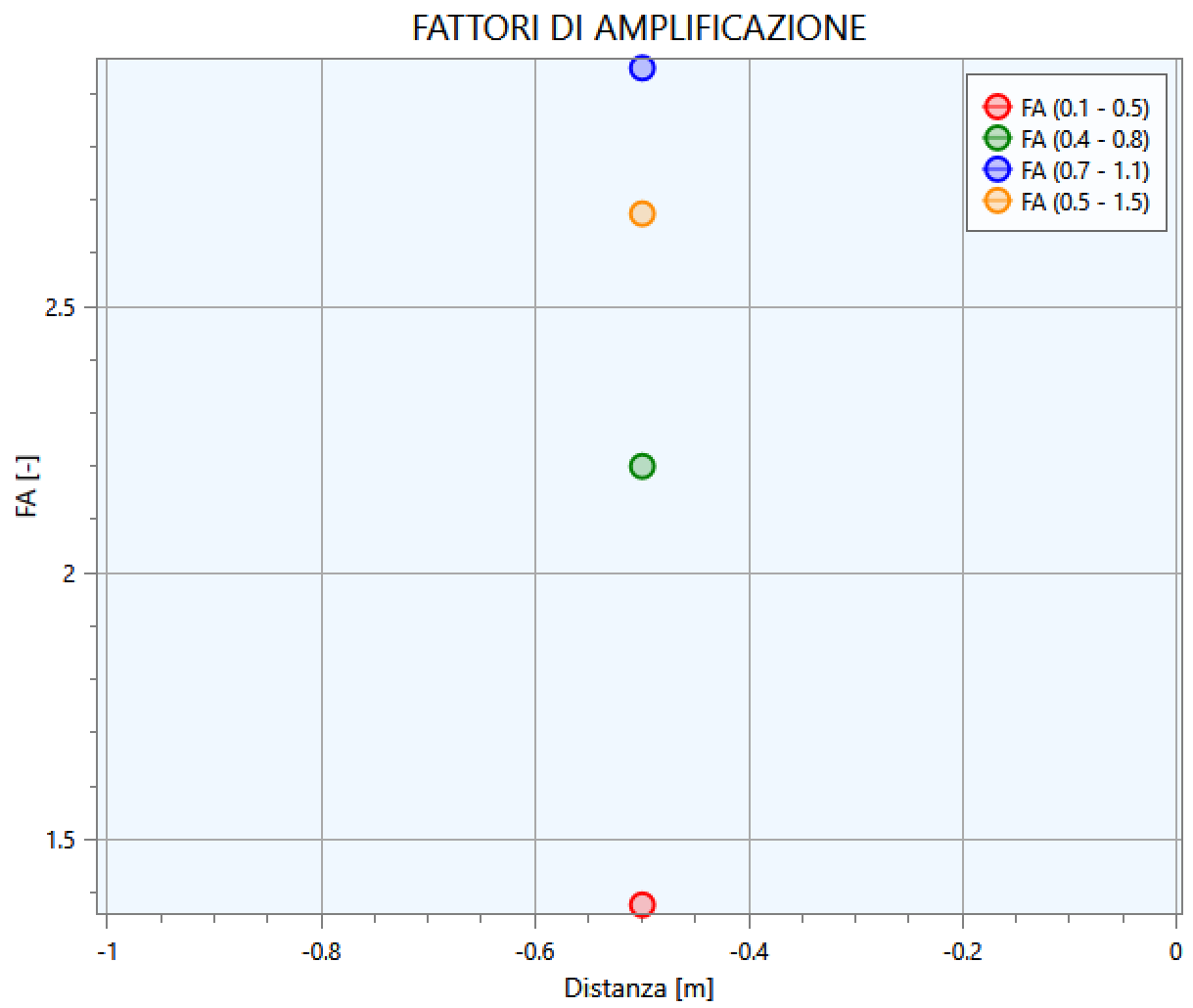
Parametrizzazione spettro (Analisi (1)) - (P (1))



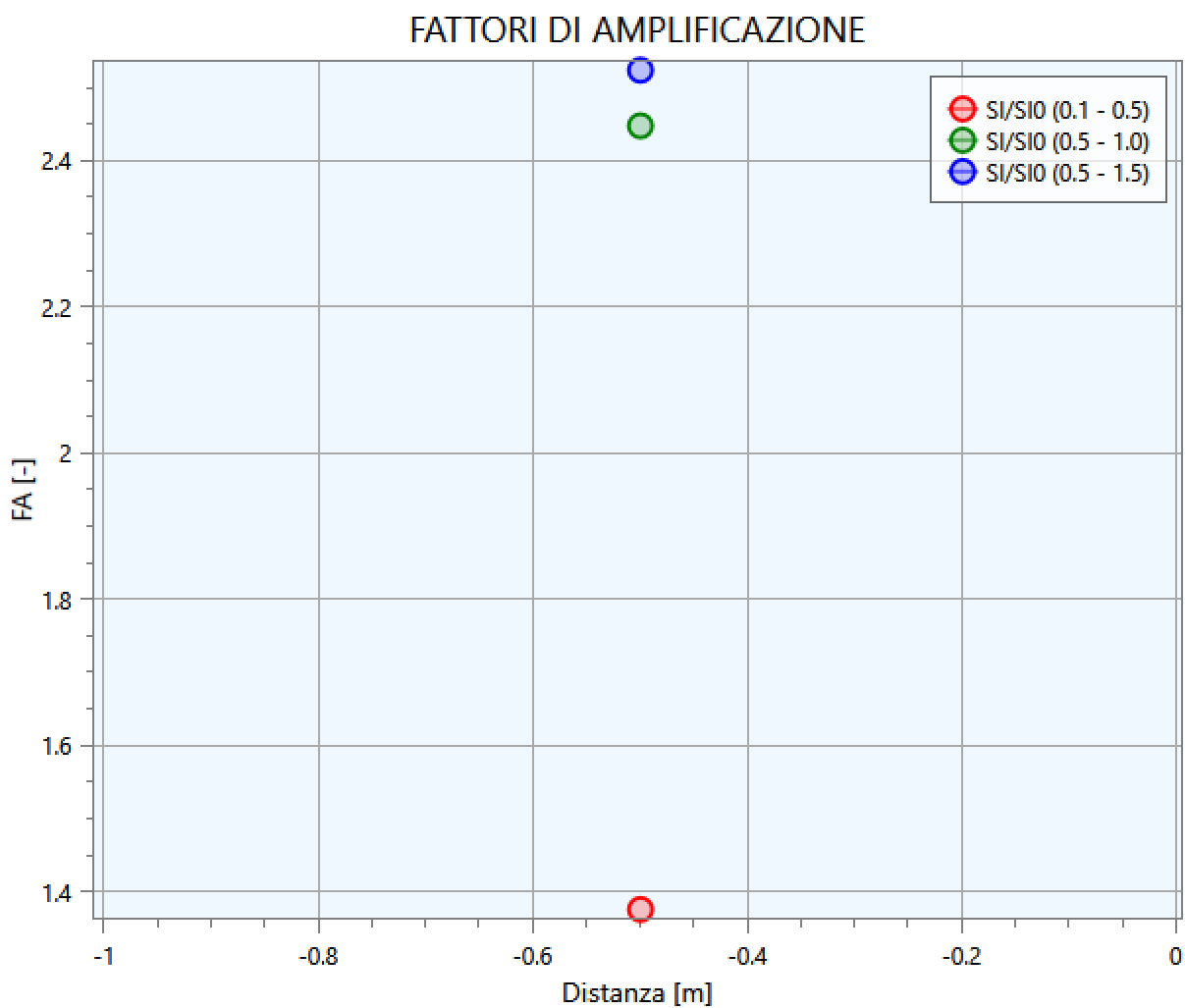
## 9 - CALCOLO DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE - Porto Garibaldi

Attraverso il software LSR 2D è possibile calcolare i fattori di amplificazione per PGA, SA e SI, derivanti dagli spettri di output della RSL.









		ABACHI	RSL
F.A. PGA/PGA0		1,3	1,38
F.A. SA1	0,1 - 0,5 sec	1,3	1,38
F.A. SA2	0,4 - 0,8 sec	2,1	2,20
F.A. SA3	0,7 - 1,1 sec	2,5	2,95
F.A. SA4	0,5 - 1,5 sec	2,4	2,67
F.A. SI1	0,1 - 0,5 sec	1,5	1,38
F.A. SI2	0,5 - 1,0 sec	2,3	2,45
F.A. SI3	0,5 - 1,5 sec	2,6	2,52

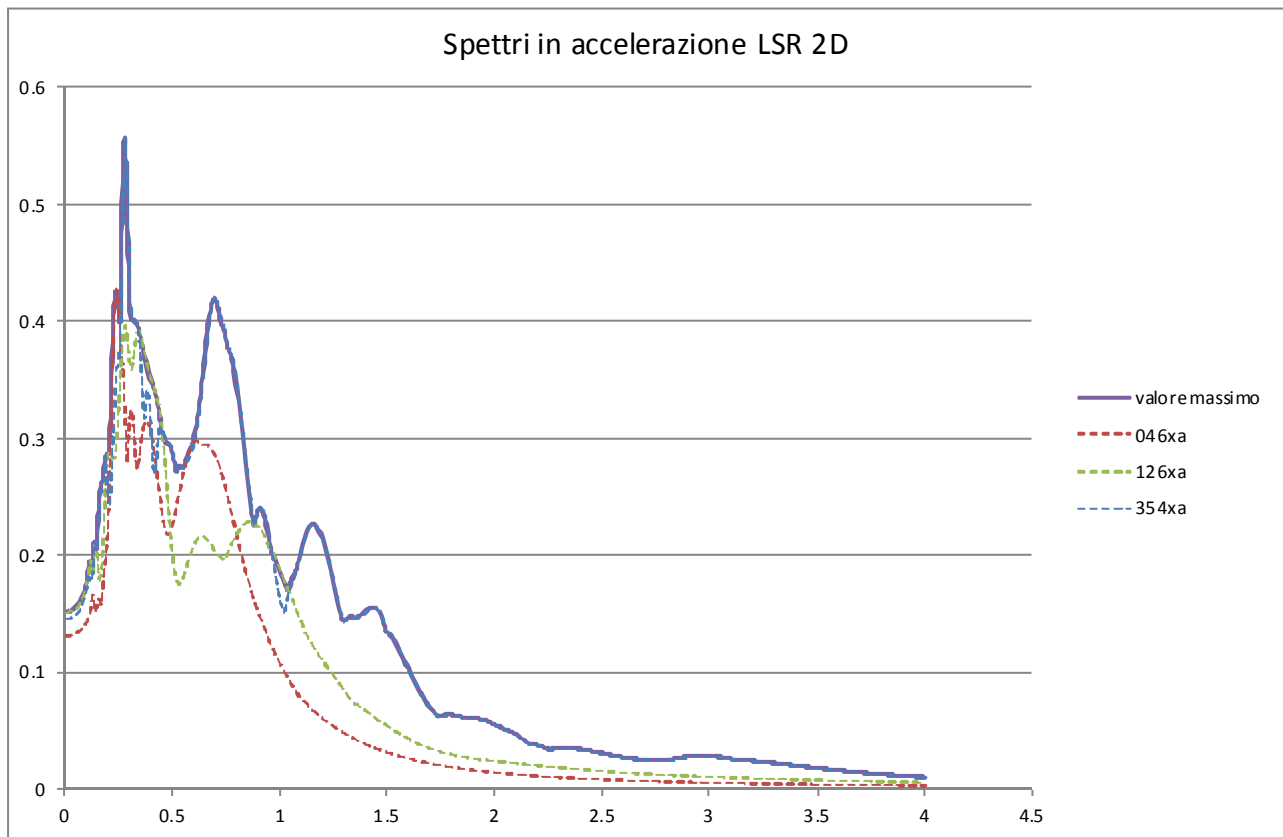
I valori ottenuti sono molto simili a quelli ottenuti con la RSL di Lido di Spina e simili ai fattori di amplificazione da abachi regionali, che vengono dunque confermati.

## 10 - CALCOLO DEGLI $H_{SM}$ - Porto Garibaldi

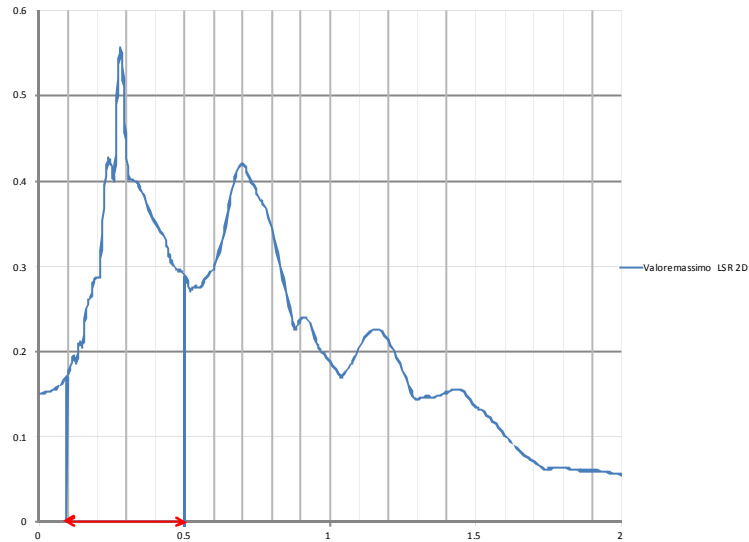
Definito lo spettro di riferimento si procede al calcolo dell' $H_{SM}$ , mediante foglio di calcolo Excel.

La prima operazione è quella di calcolare l'integrale della curva nel tempo  $dt$ , nel tratto di intervallo di periodo di interesse, pervenendo ad una grandezza che esprime una velocità. Il valore ottenuto va poi diviso per l'intervallo  $\Delta t$  allo studio, e quindi si ritorna ad avere una accelerazione.

Il valore ottenuto è espresso l'accelerazione di gravità, va poi convertito in  $cm/sec^2$ .



valore massimo LSR 2D

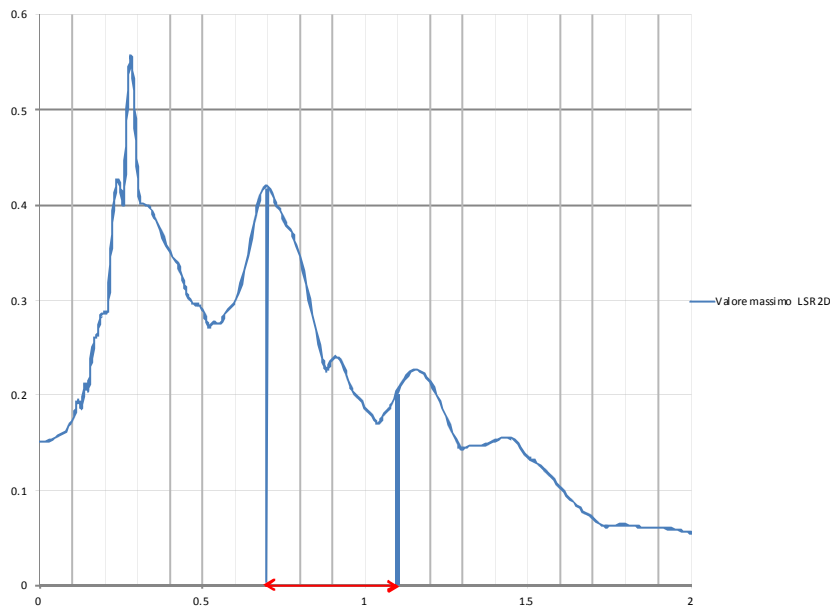


		integrale
0.1	0.17	0.001782
0.11	0.18	0.001892
0.12	0.20	0.001909
0.13	0.19	0.001991
0.14	0.21	0.002086
0.15	0.21	0.002221
0.16	0.24	0.002487
0.17	0.26	0.002622
0.18	0.27	0.002748
0.19	0.28	0.002855
0.2	0.29	0.002874
0.21	0.29	0.003212
0.22	0.35	0.003799
0.23	0.41	0.004162
0.24	0.43	0.004221
0.25	0.42	0.004094
0.26	0.40	0.004512
0.27	0.50	0.005291
0.28	0.56	0.005386
0.29	0.52	0.004802
0.3	0.44	0.004216
0.31	0.40	0.004021
0.32	0.40	0.004008
0.33	0.40	0.003991
0.34	0.40	0.003943
0.35	0.39	0.003869
0.36	0.38	0.003792
0.37	0.37	0.003704
0.38	0.37	0.003619
0.39	0.36	0.003545
0.4	0.35	0.003487
0.41	0.35	0.003437
0.42	0.34	0.003381
0.43	0.33	0.003297
0.44	0.32	0.003173
0.45	0.31	0.003067
0.46	0.30	0.003004
0.47	0.30	0.002964
0.48	0.30	0.002953
0.49	0.30	0.002929
0.5	0.29	
	AREA	0.135336
	Hsm01_05	0.338339
		331 cm/sec <sup>2</sup>

H<sub>SM</sub> 0,1sec -  
0,5sec  
331 cm/sec<sup>2</sup>



valore massimo LSR 2D

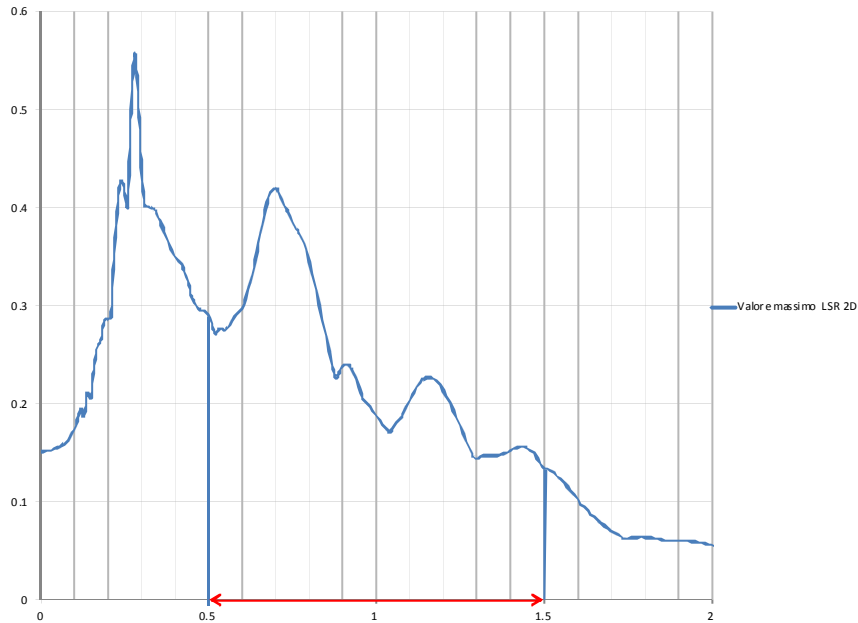


		integrale
0.7	0.4202	0.004182
0.71	0.4162	0.004116
0.72	0.407	0.00403
0.73	0.399	0.003969
0.74	0.3947	0.003905
0.75	0.3862	0.003822
0.76	0.3781	0.003764
0.77	0.3746	0.003711
0.78	0.3676	0.003626
0.79	0.3576	0.003515
0.8	0.3454	0.003385
0.81	0.3315	0.00324
0.82	0.3164	0.003086
0.83	0.3007	0.002927
0.84	0.2847	0.002768
0.85	0.2688	0.002612
0.86	0.2536	0.002464
0.87	0.2392	0.002327
0.88	0.2261	0.002288
0.89	0.2315	0.002349
0.9	0.2382	0.002394
0.91	0.2405	0.002398
0.92	0.239	0.002365
0.93	0.2339	0.0023
0.94	0.2261	0.002211
0.95	0.2161	0.002104
0.96	0.2047	0.002029
0.97	0.201	0.00199
0.98	0.197	0.001948
0.99	0.1926	0.001902
1	0.1878	0.001855
1.01	0.1832	0.001812
1.02	0.1791	0.001769
1.03	0.1747	0.001725
1.04	0.1702	0.001726
1.05	0.175	0.001778
1.06	0.1806	0.001827
1.07	0.1848	0.00187
1.08	0.1891	0.001928
1.09	0.1965	0.002002
1.1	0.2038	
		0.10601
	Hsm07_11	0.265025
		259 cm/sec2

$H_{SM} 0,7sec -$   
 $1,1sec$   
 $259 cm/sec^2$



valore massimo LSR 2D

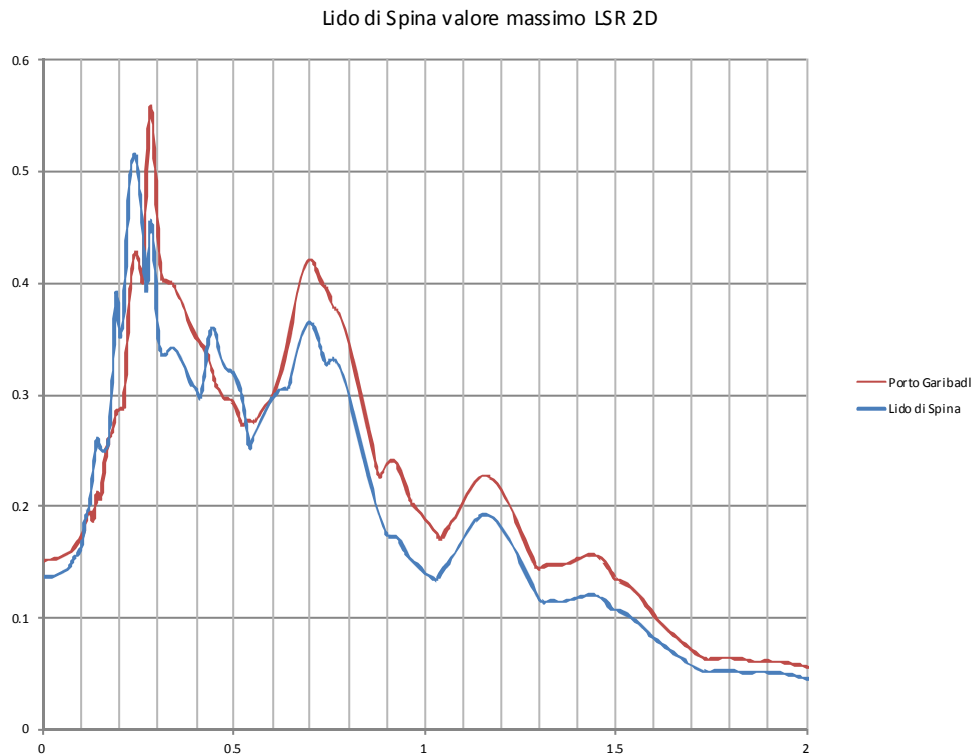


		integrale	1.01	0.1832	0.001812
0.5	0.2906	0.002863	1.02	0.1791	0.001769
0.51	0.282	0.002769	1.03	0.1747	0.001725
0.52	0.2717	0.002737	1.04	0.1702	0.001726
0.53	0.2757	0.002761	1.05	0.175	0.001778
0.54	0.2765	0.002757	1.06	0.1806	0.001827
0.55	0.2749	0.002765	1.07	0.1848	0.00187
0.56	0.278	0.002813	1.08	0.1891	0.001928
0.57	0.2846	0.002872	1.09	0.1965	0.002002
0.58	0.2898	0.002918	1.1	0.2038	0.002072
0.59	0.2937	0.002956	1.11	0.2105	0.002135
0.6	0.2974	0.003021	1.12	0.2164	0.002188
0.61	0.3067	0.003121	1.13	0.2212	0.00223
0.62	0.3175	0.003242	1.14	0.2247	0.002257
0.63	0.3308	0.003389	1.15	0.2266	0.002268
0.64	0.3469	0.003558	1.16	0.2269	0.002263
0.65	0.3647	0.003736	1.17	0.2257	0.002244
0.66	0.3825	0.003905	1.18	0.223	0.00221
0.67	0.3985	0.004047	1.19	0.219	0.002164
0.68	0.4109	0.004146	1.2	0.2138	0.002108
0.69	0.4182	0.004192	1.21	0.2077	0.002043
0.7	0.4202	0.004182	1.22	0.2009	0.001972
0.71	0.4162	0.004116	1.23	0.1935	0.001896
0.72	0.407	0.00403	1.24	0.1856	0.001816
0.73	0.399	0.003969	1.25	0.1776	0.001735
0.74	0.3947	0.003905	1.26	0.1693	0.001652
0.75	0.3862	0.003822	1.27	0.1611	0.001571
0.76	0.3781	0.003764	1.28	0.1531	0.001492
0.77	0.3746	0.003711	1.29	0.1453	0.001447
0.78	0.3676	0.003626	1.3	0.144	0.001448
0.79	0.3576	0.003515	1.31	0.1456	0.001462
0.8	0.3454	0.003385	1.32	0.1467	0.00147
0.81	0.3315	0.00324	1.33	0.1472	0.001472
0.82	0.3164	0.003086	1.34	0.1472	0.00147
0.83	0.3007	0.002927	1.35	0.1468	0.001468
0.84	0.2847	0.002768	1.36	0.1467	0.001473
0.85	0.2688	0.002612	1.37	0.1478	0.001485
0.86	0.2536	0.002464	1.38	0.1491	0.001498
0.87	0.2392	0.002327	1.39	0.1491	0.001498
0.88	0.2261	0.002288	1.4	0.1491	0.001498
0.89	0.2315	0.002349	1.41	0.1505	0.001513
0.9	0.2382	0.002394	1.42	0.1521	0.001529
0.91	0.2405	0.002398	1.43	0.1536	0.001543
0.92	0.239	0.002365	1.44	0.1549	0.001553
0.93	0.2339	0.0023	1.45	0.1557	0.001557
0.94	0.2261	0.002211	1.46	0.1557	0.001553
0.95	0.2161	0.002104	1.47	0.1548	0.001538
0.96	0.2047	0.002029	1.48	0.1527	0.00151
0.97	0.201	0.00199	1.49	0.1493	0.00147
0.98	0.197	0.001948	1.48	0.1446	0.001417
0.99	0.1926	0.001902	1.49	0.1388	0.001366
1	0.1878	0.001855	1.5	0.1343	0.001311
					0.240122
				Hsm05-15	0.240122
					235 cm/sec <sup>2</sup>

H<sub>SM</sub> 0,5sec -  
1,1sec  
235 cm/sec<sup>2</sup>

## 11 - CONFRONTO DEI RISULTATI

In sintesi, si riportano i due spettri per la zona di Porto Garibaldi (che può rappresentare Lido degli Scacchi, Porto Garibaldi e Lido degli Estensi) e per la zona di Lido di Spina (che può rappresentare Lido di Spina e Comacchio):



	Lido di Spina Valore $H_{SM}$ cm/sec <sup>2</sup>	Porto Garibaldi Valore $H_{SM}$ cm/sec <sup>2</sup>
$H_{SM}$ 0,1sec - 0,5sec	333	331
$H_{SM}$ 0,4sec - 0,8sec	310	330
$H_{SM}$ 0,7sec - 1,1sec	212	259
$H_{SM}$ 0,5sec - 1,5sec	200	235

"Il parametro  $H_{SM}$  può essere discretizzato in classi in modo semiquantitativo, relativo al livello di scuotimento, 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". Come si può vedere a Comacchio si rientra sempre nella classe di rischio "moderato-basso", in quanto in tutti gli intervalli di periodo il valore di  $H_{SM}$  è sempre compreso tra 180 e 340 cm/sec<sup>2</sup>.

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> )	≤ 180	180 < $H_{SM}$ ≤ 340	340 < $H_{SM}$ ≤ 650	650 < $H_{SM}$ ≤ 1240	> 1240
potential damage	none - very light	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
instrumental intensity	≤ VI	VII	VIII	IX	≥ X

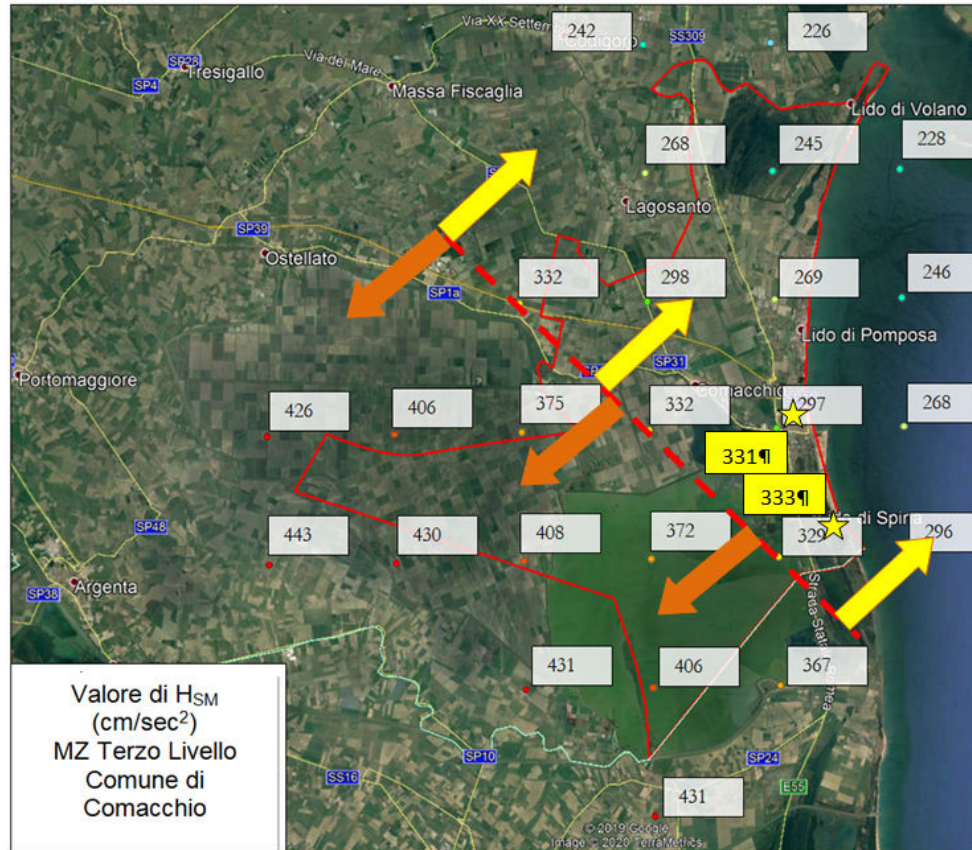
*Naso et Alii (2019)*

Per tutto il territorio comunale oggetto di studio di microzonazione sismica, si può adottare conservativamente questa classe di rischio.

Diventa difficile con gli strumenti a disposizione delle scrivente spingersi a fare analisi più puntuali, per ogni punto ID della griglia di riferimento.

Servirebbe fare delle Analisi di Risposta Sismica Locale per ogni punto della griglia qui sotto rappresentata.

Comunque non si sbaglia se si adotta una classe di rischio "moderato-basso" per tutti i centri abitati oggetto dello studio qui effettuato. Per la zona settentrionale (Vaccolino e Lido di Volano) è una assunzione conservativa.



Distribuzione degli  $H_{SM01-04}$  da abachi regionali e valori calcolati con RSL

Codigoro, li 09/05/2020

Dott. Geol. Thomas Veronese  
*Thomas Veronese*

## 10 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Albarello D., Castellaro S., (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In "Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica", *Ingegneria sismica*, a. XXVIII, n. 2.
- Amorosi A., (1997a) - Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sedimentary Geology*, 109: 135-153.
- Amorosi A., (1997b) - Miocene shallow-water deposits of the northern Apennines: A stratigraphic marker across a dominantly turbidite foreland-basin succession. *Geologie en Mijnbouw*, v. 75, p. 295-307.
- Amorosi A. & Farina M., (1995) - Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (Northern Italy). *Giornale di geologia*, 57: 3-16.
- ASTM, (1985) - Classification of Soils for Engineering Purposes. Annual Book of ASTM Standards, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, 1985, pp. 395-408.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P., (1990) - Structural model of Italy - Sheet n. 1, in: Castellarin A., Coli M., Dal Piaz G.V., Sartori R., Scandone P., Vai G.B. (Eds.), *Structural model of Italy*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Tanini C. and Vannucci G., (2004) - Seismotectonic Map of the Emilia-Romagna Region, 1:250.000. Regione Emilia-Romagna - CNR.
- Boccaletti M., Martelli L., (Coords) (2004) - Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna scala 1:250.000 e note illustrative. SELCA, Firenze.
- 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-CodiComacchio. 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 dip 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 - Nome per la riduzione del rischio sismico. Bollettino Ufficiale Regione Emilia-Romagna n. 44 del 12 marzo 2010.
- Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Romani M., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi G., Madiati C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G., Brammerini F., Speranza E., Conte C., Di Salvo G., Giuffrè M., Zuppiroli M., Guidi F., Vona V., Manicardi A., Mengoli B., Ugoletti C., Ricci L., (2013) - Microzonazione Sismica dell'area epicentrale del terremoto della pianura emiliana del 2012 (Ord. 70/2012). Atti 32° Convegno Nazionale Gngts, Trieste. Isbn: 978-88-902101-7-4.  
*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'Intinosante<sup>3</sup> 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) - Nome 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 fessurazioni presenti</i>	8
Figura 2-2 - <i>Inquadramento geologico strutturale dell'area deltizia</i>	9
Figura 2-3 - <i>Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR,1992)</i>	10
Figura 2-4 - <i>Schema Tettonico, tratto da "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" a cura di Luca Martelli e Mario Boccaletti (2004)</i>	11
Figura 2-5 - <i>Carta Sismotettonica Regione Emilia Romagna e ubicazione della sezione geologica E-E' riportata di seguito</i>	12
Figura 2-6 - <i>Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E'</i>	13
Figura 2-7 - <i>stralcio centrato sul comune di Comacchio della nuova carta sismotettonica dell'Emilia Romagna (anno 2017).</i>	14
Figura 2-8 - <i>stralcio della Sezione D-D' che passa poco ad ovest del comune di Comacchio</i>	15
Figura 2-9 - <i>Carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive</i>	16
Figura 2-10 - <i>Aree sismogenetiche in Emilia Romagna</i>	16
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>	17
Figura 2-12 - <i>Criteri di interrogazione adottati</i>	18
Figura 2-13 - <i><a href="https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/">https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/</a></i>	20
Figura 2-14 - <i><a href="https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/">https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/</a></i>	20
Figura 2-15	21
Figura 2-16 - <i>Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi.</i>	22
Figura 2-17 - <i>Ubicazione magnitudo dei principali sismi (<math>M_w \geq 4</math>) che hanno interessato la regione Emilia Romagna</i>	23
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>	24
Figura 2-19	25
Figura 2-20 - <i><a href="https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/">https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/</a></i>	26
Figura 2-21 - <i><a href="https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/">https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/</a></i>	27
Figura 2-22	28
Figura 2-23	30
Figura 2-24 - <i>Classificazione sismica secondo Legge 2/ 2/ 74 n. 64</i>	32
Figura 2-25 - <i>Nuova zonizzazione sismica del territorio regionale, dettaglio relativo alla Regione Emilia-Romagna.</i>	32
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>	33
Figura 2-27 - <i>accelerazioni di picco attese al bedrock secondo D.A.L. 112/ 2007</i>	34
Figura 2-28 - <i>Tabelle Costa3 per la stima dei fattori di amplificazione in funzione della <math>V_s30</math>.</i>	35
Figura 2-29 - <i>Tabelle Pianura2 per la stima dei fattori di amplificazione in funzione della <math>V_s30</math>.</i>	35
Figura 2-30 - <i>Territorio comunale di Comacchio con griglia dei punti e rispettivi valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido</i>	36
Figura 2-31 - <i>Mappa regionale di nuova classificazione sismica dei comuni DGR 1164, del 23/ 07/ 2018</i>	38
Figura 2-32 - <i>Ubicazione dei quattro profili di <math>V_s</math> profondi.</i>	39
Figura 2-33 - <i>Profili di <math>V_s</math> profondi.</i>	43
Figura 2-34 - <i>Accelerazioni PGA in superficie</i>	44
Figura 2-35 - <i>Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di fessurazioni presenti nel substrato roccioso profondo.</i>	46
Figura 2-36 - <i>Mappa della profondità della base dell'Olocene.</i>	47
Figura 2-37 - <i>profilo o sezione geologica del tratto compreso a est da Comacchio e a ovest dal bacino di Bonifica compreso tra MezzoComacchio 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).</i>	48
Figura 2-38 - <i>profilo o sezione geologica del progetto CARG passante per il territorio comunale di Comacchio</i>	48
Figura 2-39 - <i>tetto delle sabbie litorali - Subsistema di Ravenna (AES<sub>s</sub>)</i>	49
Figura 2-40 - <i>Carta geomorfologica del territorio comacchiese e datazione delle linee di costa</i>	51
Figura 2-41 - <i>Stralcio della carta geomorfologica fra il Po e le Valli di Comacchio, in cui si inserisce il comune di Comacchio</i>	53
Figura 2-42 - <i>Stralcio carta geomorfologica della provincia di Ferrara.</i>	54
Figura 2-43 - <i>successione delle linee di costa principali nell'area deltizia.</i>	55
Figura 2-44 - <i>sistema costiero interdeltizio, tratto da Le Blanc, 1972</i>	56

Figura 2-45 - Carta geologica di Pianura dell'Emilia Romagna.	58
Figura 2-46 - Carta geomorfologica del quadro conoscitivo del PSC del comune di Comacchio	59
Figura 2-47- stralcio della carta altimetrica della provincia di Ferrara	61
Figura 2-48 - Carta storica del 1814. ( <a href="http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp">http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp</a> )	62
Figura 2-49 - Carta storica del 1814. ( <a href="http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp">http://www.mokagis.it/html/applicazioni_mappe.asp</a> )	63
Figura 2-50 – 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> )	63
Figura 2-51 - Carta dei bacini di bonifica con evidenziate le date dell'avvenuto prosciugamento (M. Bondesan, 1994)	64
Figura 2-52 -La provincia di Ferrara a metà dell'800 prima delle Bonifiche meccaniche	65
Figura 2-53 - La provincia di Ferrara dopo le Bonifiche ottocentesche	65
Figura 2-54 - Carta della velocità di abbassamento dei suoli nel periodo 2011-2016.	66
Figura 2-55 - Mappa delle curve di uguale velocità di abbassamento periodo 2011/ 2016 espresse in mm/anno. Per Comacchio la velocità di abbassamento è compreso tra 2,5 e 5mm annui.	67
Figura 3-1 - Sondaggio a carotaggio continuo S1 - Lido delle Nazioni	72
Figura 4-1 – Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E'	75
Figura 4-2	76
Figura 4-3 - schema deposizionale dell'area allo studio. Schema delle relazioni fra scala cronologica, unità cronostratigrafiche, fasi paleoclimatiche tardoquaternarie, unità e limiti inconformi utilizzate nella cartografia della Regione Emilia Romagna e suddivisioni interne della sequenza deposizionale più recente.	77
Figura 4-4 - Isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES).	78
Figura 4-5 - Isobate della base del subsistema di Bazzano (AES6)	79
Figura 4-6 – Sezione n.93	79
Figura 4-7 - Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 350m di profondità.	80
Figura 4-8 - Suddivisione dei cinque cicli deposizionali trasgressivo-regressivi	82
Figura 4-9 - il Subsistema AES6	83
Figura 4-10 - il Subsistema AES7	84
Figura 4-11 - Spessore dei sedimenti olocenici appartenenti al Subsistema di Ravenna AES 8.	87
Figura 4-12 - Rapporto stratigrafico tra AES8 e AES8a	87
Figura 4-13 - Rapporto stratigrafico tra AES8 e AES7 in una sezione passante per Comacchio (Sez. 74).	88
Figura 5-1 - Ubicazione del territorio comunale di Comacchio rispetto alle fasce di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive.	89
Figura 5-2 - Profilo di Vs con bedrock sismico oltre i 300m di profondità	91
Figura 5-3 - Per valori di Vs30 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 Vs30 superiori a 185m/sec.	91
Figura 7-1 – Andamento delle frequenze fondamentali registrate con le prove HVSR	103
Figura 7-2 - Profilo di Vs profondo, con evidenziato il primo contrasto di impedenza che può essere all'origine del primo modo di vibrare	104
Figura 7-3 - Carta delle Vs30 su tutto il territorio comunale	113
Figura 7-4 - distribuzione dei valori ASI <sub>0,1-0,5</sub> /0,4sec	122
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)	123
Figura 7-6 - Schema per il calcolo del parametro HSM e mappatura HSM	123
Figura 7-7 - distribuzione dei valori HSM <sub>(0,1-0,4sec)</sub>	124
Figura 7-8 - intervalli di valori di HSM <sub>01-05</sub> per le aree oggetto di studio di microzonazione sismica	127
Figura 9-1 - valori ai nodi ID della pga in superficie (comprensiva del fattore di amplificazione stratigrafico)	138