

## FIUME PANARO (PROVINCIA DI MODENA)

AVVIO ADEGUAMENTO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL SISTEMA ARGINALE ALLA PORTATA PROGETTUALE DI RIFERIMENTO,  
 TRAMITE INTERVENTI DI SISTEMAZIONE MORFOLOGICA DELL'ALVEO,  
 ADEGUAMENTO IN QUOTA E IN SAGOMA, A VALLE DELLA CASSA AL CONFINE PROVINCIALE.  
 INTERVENTO REALIZZABILE PER STRALCI FUNZIONALI.

(Ordinanza n. 8 del 23/06/2015, allegato 1, codice intervento n. 11784,  
 come modificata Ordinanza n. 2 del 23/02/2016)

(MO-E-1346)

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

STRALCIO NUOVO RILEVATO ARGINALE IN SINISTRA IDRAULICA

TRA IL PONTE SANT'AMBROGIO E LA CONFLUENZA CON IL T. TIEPIDO IN COMUNE DI MODENA

GIUGNO 2019

ELABORATO:

### RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	VERIFICA
00	PRIMA EMISSIONE	GIUGNO 2019	G.M. Orlandi	M. Spada
01				

RUP *Dott. Ing. FEDERICA PELLEGRINI*

Supporto al RUP

*Dott. Geol. STEFANO PARODI*  
*Dott. Ing. STEFANO BALDINI*

ATI:

MANDATARIA



20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264  
 fax 0226681553 – E-Mail: etatec@etatec.it

*Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI*  
*Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI*  
*Dott. Ing. STEFANO CROCI*  
*Dott. Ing. FILIPPO MALINGENGO*

MANDANTI

**STUDIO PAOLETTI**  
 INGEGNERI ASSOCIATI

20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264  
 fax 0226681553 – E-Mail: studiopaoletti@etatec.it

*Dott. Ing. CRISTINA GIUSEPPINA PASSONI*

 **Ing. Claudio Marcello S.r.l.**

20122 MILANO – via Visconti di Modrone, 18  
 tel. 0276020695–0276391291, fax 0276023532  
 E-Mail: info@studiomarcello.it

*Dott. Ing. CARLO CLAUDIO MARCELLO*  
*Dott. Ing. PAOLO MEDA*  
*Dott. Ing. MARIA CRISTINA SOMASCHI*

*Studio Associato di Geologia Spada*



24020 RANICA (BG) – via Donizetti, 17  
 tel. 035516090–035513738  
 E-Mail: info@studiogeospada.it

*Dott. Geol. MARIO SPADA*  
*Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI*  
*Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI*

 **ARCHITETTURA E CITTA' STUDIO ASSOCIATO**  
 architettura e paesaggio

43123 PARMA – via Archimede, 2  
 tel. 0521491914, fax 0521243969  
 E-Mail: info@assarch.it

*Dott. Arch. PAOLA CAVALLINI*  
*Dott. Arch. MICHELE MUSIARI*



28047 Oleggio (NO) – viale Paganini, 9  
 tel. 032194885, fax 0321961008  
 PEC atuttoprogetto@pec.it, E-Mail info@atuttoprogetto.com

*Geom. PAOLO MASSARA*  
*Geom. FILIPPO BELLONI*  
*Geom. VALENTINA MANTOAN*

 **SAP**  
 Società Archeologica S.r.l.

46020 QUINGENTOLE (MN) – Strada Fienili, 39/a  
 tel. 038642287, fax 038642591  
 E-Mail: mail@archeologica.it

*Dott. ALBERTO MANICARDI*  
*Dott.ssa ELISA LERCO*

TIPOLOGIA

PP

COMMESSA

250–28

DOCUMENTO

ATTI

NUMERO

A.3

SCALA

## INDICE

<b>1.0 PREMESSE</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Programma di lavoro</b>	<b>5</b>
<b>2.0 OPERE DI PROGETTO ED ASSETTO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO DEI LUOGHI DI INTERVENTO</b>	<b>8</b>
<b>3.0 ASSETTO GEOLOGICO</b>	<b>12</b>
<b>4.0 ASSETTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>22</b>
<b>5.0 SUBSIDENZA DEL SUOLO</b>	<b>30</b>
<b>6.0 SISMICITA' DELL'AREA</b>	<b>32</b>
<b>6.1 Caratteri generali</b>	<b>32</b>
<b>6.2 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base</b>	<b>35</b>
<b>6.3 L'evento sismico del maggio 2012</b>	<b>37</b>
<b>6.4 Pericolosità sismica locale</b>	<b>41</b>
<b>7.0 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO PRELIMINARE DI RIFERIMENTO</b>	<b>43</b>
<b>7.1 Sezione geologico tecnica di riferimento</b>	<b>45</b>
<b>8.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>48</b>

## 1.0 PREMESSE

La presente relazione ha lo scopo di illustrare e dettagliare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche del tratto di territorio in sponda idrografica sinistra del fiume Panaro, in Comune di Modena a valle della vasca di laminazione, compreso tra la via Emilia ed il fiume stesso, nel tratto tra il ponte sul torrente Tiepido e ponte S. Ambrogio.

La stessa è parte integrante del progetto di fattibilità tecnico economica, predisposto dalla scrivente A.T.P. “ETATEC Studio Paoletti s.r.l. – Studio Paoletti ing. Associati – ing. Claudio Marcello s.r.l. - Studio associato di geologia Spada – A+C Architettura e Città – A tutto progetto – SAP Società archeologica s.r.l.” aggiudicataria della gara pubblica “MO-E-1346 – progettazione di fattibilità tecnica ed economica (preliminare), definitiva, esecutiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione relativa ai lavori sul fiume Panaro (Provincia di Modena) di adeguamento strutturale e funzionale del sistema arginale tramite interventi di sistemazione morfologica dell’alveo, di adeguamento in quota ed in sagoma a valle della cassa e fino al confine provinciale” su incarico di A.I.PO – Agenzia Interregionale per il Fiume Po.

Lo Scrivente RTP ha completato, nel novembre 2018, il progetto esecutivo dei lavori di adeguamento e consolidamento previsti dal contratto principale.

La presente attività, conferita al RTP con un contratto integrativo, è relativa alla realizzazione ed al completamento del sistema arginale difensivo del Panaro nel tratto iniziale, in Comune di Modena, lungo la via Emilia tra il torrente Tiepido ed il Panaro, per la protezione idraulica della stessa via Emilia e degli insediamenti residenziali, industriali ed artigianali ivi presenti.

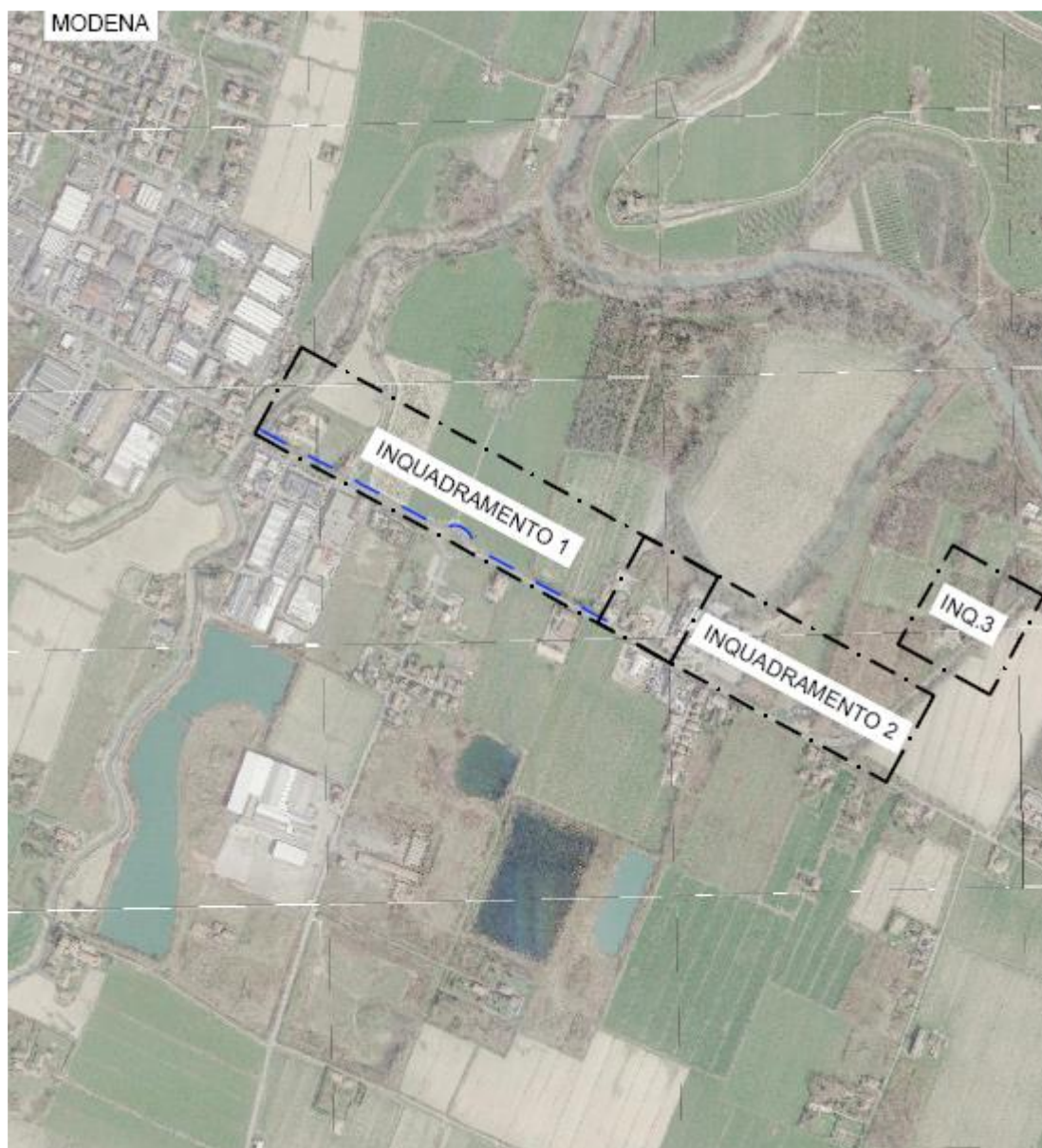


Figura 1: Aree di intervento (per “inquadramenti” vedi fig. 2).

Le caratteristiche geologiche, litologiche, idrogeologiche e sismiche delle aree interessate dallo studio hanno grande importanza per la progettazione delle opere.

Le analisi e le valutazioni seguenti fanno riferimento, oltre che alla documentazione tecnica disponibile sia nella letteratura scientifica che presso gli Enti territoriali, alla

conoscenza acquisita dagli Scriventi sulle aree poste immediatamente a valle, lungo il fiume Panaro, studiate ed investigate per l'incarico già completato.

La relazione si concentra sugli aspetti geologici, idrogeologici e sismici; le analisi e le valutazioni a carattere geotecnico sono contenute nella relazione specifica a firma dello Studio Marcello.

### **1.1 Programma di lavoro**

Le aree lungo il fiume Panaro tra lo stante 0 sul torrente Tiepido ed il Confine di Modena sono state investigate con una campagna di indagini geognostiche e geofisiche successive, a partire dal 2015 e fino al 2017, a supporto di una serie di progetti di adeguamento, consolidamento e ricalibratura del sistema arginale vigente.

La sintesi delle conoscenze acquisite ed il dettaglio di tutte le indagini svolte (prove CPTu, CPTu con cono sismico, sondaggi con prove di permeabilità in foro, indagini elettriche ed elettromagnetiche, prove di laboratorio ecc.) sono contenuti nella relazione geologica degli Scriventi del novembre 2018 a supporto del progetto esecutivo dei lavori principali del contratto.

Per il presente lavoro, dal punto di vista geologico e geologico tecnico, si farà espressamente riferimento alle indagini eseguite dalla Soc. Sogea sulla sponda sinistra del torrente Tiepido, tra gli stanti 0 e 2, proprio di fronte ad una delle zone di intervento. Oltre ai risultati di tutte le campagne di indagini, sono stati consultati per il presente lavoro, una serie di documenti tecnici, come di seguito dettagliato:

1. Autorità di Bacino del Fiume Po *“Verifiche tecniche delle vasche di laminazione sugli affluenti del fiume Po - Cassa di espansione sul Fiume Panaro nel Comune di San Cesario sul Panaro (MO)”* – (2010) – Progetto SISMA - Parma



2. Boccaletti M. et al. (2004), *“Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”* Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse, Firenze - SELCA, Firenze.
3. Boccaletti M. et al. (1985) *“Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines”*, Tectonophysics, 117, 7-38.
4. Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, *Foglio 201 - Modena (2009)* - ISPRA – Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna
5. Castiglioni G.B., Bondesan A., Bondesan M., Cavallin A. & Gasperi G. (Eds.) (1998) *“Carta Geomorfologica della Pianura Padana”*. S.EL.CA., Firenze.
6. Comune di Modena (sett. 2015) *“Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza – relazione tecnica e tavole grafiche”* – RTP geol. G. Masotti, geol. R. Saloni, geol. A Fiori
7. Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). *“DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database”* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
8. Martelli L., Romani M, Regione Emilia Romagna. *“Microzonazione sismica e analisi delle condizioni limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di maggio-giugno 2012 (Ordinanza del Commissario Delegato – Presidente della Regione E.R. ) – Relazione illustrativa”*.
9. Pieri M. & Groppi G. (1981) *“Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy)”* C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. n°414, 1-13.

10. Provincia di Modena (2006) *“Variante al PTCP in attuazione del PTA D.lgs. 152/06, L.R. 3/99, L.R. 20/00 Quadro Conoscitivo Preliminare”*
11. Regione Emilia-Romagna & CNR (2002) *“Carta geologico-strutturale dell’Appennino emiliano-romagnolo”*, scala 1:250.000. Selca, Firenze.
12. Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP (1998) *“Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna”* (A cura di Di Dio). S.EL.CA. (Firenze) pp. 120.
13. Regione Emilia-Romagna Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, (2012) – *“Terremoto 2012 - geologia, rilievi agibilità, analisi dei danni”* pp. 64. (<http://ambiente.regione.emiliaromagna.it/geologia/divulgazione/pubblicazioni/libri/terremoto-2012-geologia-rilievi-agibilita-analisi-dei-danni> ).
14. Ricci Lucchi F. et al. (1982) *“Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico”* .
15. SRT Servizio Risorse Territorio *“Valutazione della pericolosità sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica in Comune di Modena (relazione e tavole grafiche)”* – (2010).

Ulteriori elementi cartografici, in formato .pdf o in formato shape sono stati presi dal:

- GEOPORTALE Regione Emilia Romagna, con particolare riferimento all’assetto geologico, idrogeologico e sismico ed alla banca dati del sottosuolo,
- GEOPORTALE della Provincia di Modena, con particolare riferimento agli elaborati, sia del quadro conoscitivo sia del documento finale, del PTCP e della successiva variante.

I dati sono stati rivisti e rielaborati sulla scorta della conoscenza dei luoghi ed in base ad una serie di rilievi di dettaglio eseguiti nell’area.

## **2.0 OPERE DI PROGETTO ED ASSETTO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO DEI LUOGHI DI INTERVENTO**

Il progetto, come in precedenza indicato, prevede il completamento del sistema di difesa arginale del fiume Panaro in sponda idrografica sinistra, in Comune di Modena, lungo la via Emilia tra il ponte sul torrente Tepido ed il ponte S. Ambrogio.



*Figura 2: Ubicazione delle opere di progetto*

Si tratta di interventi articolati, che vanno a completare ed adeguare idraulicamente le attuali opere di difesa, nate in maniera puntuale a protezione dei singoli insediamenti urbanistici.

Il presente progetto comprende quindi: nuove arginature, rialzo e ringrosso di arginature esistenti, nuovi muri di protezione e rialzo e consolidamento di muri esistenti.

L'area in esame è interamente localizzata in territorio del Comune di Modena, a valle della cassa di laminazione delle piene, lungo la via Emilia nel tratto compreso tra due ponti: quello sul torrente Tiedido ad ovest e quello sullo stesso fiume Panaro ad est.



Per quanto riguarda le dinamiche generali del fiume Panaro è importante rammentare che nella zona pedecollinare, a valle di Spilamberto verso la via Emilia e in pianura, si riducono sempre più i fenomeni di trasporto e deposito delle ghiaie, mentre diventano importanti il trasporto torbido ed i depositi limosi-sabbiosi.

Il corso d'acqua è caratterizzato dalla presenza di arginature che lo accompagnano da poco a monte della via Emilia fino allo sbocco in Po.

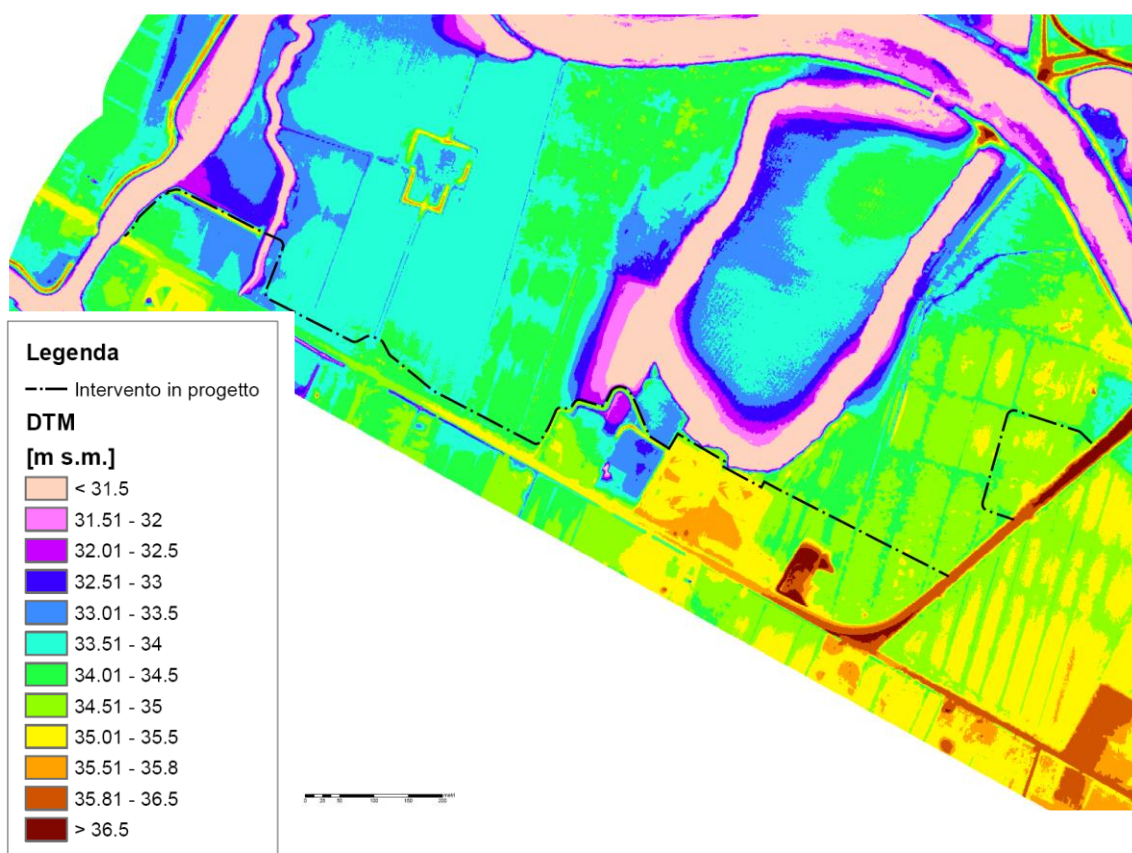
Tra la stazione di ponte di S. Ambrogio fino allo sbocco in Po, il fiume è caratterizzato dalla quasi scomparsa delle ghiaie a favore di sedimenti più fini, il cui trasporto avviene quasi totalmente in sospensione.

Inoltre, le rive del fiume sono caratterizzate da arginature sempre più alte.

A monte del tratto arginato, sfruttando una depressione naturale, è stata realizzata una cassa di espansione per il controllo delle piene fluviali, che consente l'immagazzinamento di grossi volumi di acqua durante le piene stagionali, che sono caratteristiche dei fiumi a regime torrentizio, con grandi vantaggi dal punto di vista della sicurezza idraulica.

L'area in esame è situata proprio in questa zona di transizione, tra la vasca di laminazione e l'inizio del tratto arginato, in una zona, che per la particolare conformazione ed articolazione idraulica e morfologica, risulta fortemente vulnerabile nei confronti dei fenomeni di allagamento, da parte del fiume Panaro ma anche del torrente Tiepido.

L'immagine seguente mostra l'altimetria dell'area di intervento, come ricavata dal DTM della zona.



*Figura 3: Altimetria, ricavata da DTM, dell'area di intervento.*

L'immagine evidenzia la notevole articolazione morfologica, idrologica ed idraulica dell'area di interesse.

Le quote del p.c. sono fortemente variabili, con valori minimi di 31-31,5 m. s.l.m. in corrispondenza dei corsi d'acqua, e valori massimo superiori a 36 m. s.l.m. nel tratto di via Emilia che sale verso ponte S. Ambrogio.

Le quote medie del terreno variano tra 33 e 35 m. s.l.m.

Dal punto di vista idrologico – idraulico l'immagine di fig. 3 mette in evidenza una serie di elementi e precisamente:

- fiume Panaro: scorre nella parte nord-est della cartografia, con andamento sinuoso;

- meandro abbandonato del fiume Panaro: in carta è ben evidente un pronunciato meandro, che si spinge verso sud, attraversando quasi integralmente i terreni a monte del tracciato del Panaro, fino alla via Emilia; il meandro è attualmente abbandonato dal corso d'acqua principale;
- torrente Tiepido: il suo corso caratterizza il margine ovest della carta;
- fossa Bernarda: corso d'acqua artificiale, che scorre circa parallelo al torrente Tiepido.

Il presente intervento deve quindi tenere in considerazione tutti questi elementi, di carattere morfologico ed idrologico, sia per le criticità idrauliche che per le possibili interferenze (fossa Bernarda, per es.); a tali aspetti si sommano l'elevata e dispersa urbanizzazione, la presenza di una via di comunicazione primaria quale la via Emilia e l'attuale esistenza di un sistema di protezione discontinuo, nato a tutela di specifici e puntuali interventi edilizi.

### **3.0 ASSETTO GEOLOGICO**

L'area di interesse è situata immediatamente a valle della zona di transizione tra il margine modenese della catena Appenninica e la Pianura Padana, nella fascia di alta Pianura.

Il contesto geodinamico è quello del Bacino Perisuturale Padano, formatosi in seguito all'orogenesi dell'Appennino settentrionale, la cui successione di depositi plio-quadernari presenta carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche, seguite da un prisma sedimentario fluviodeltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

Il riempimento del bacino ed il successivo passaggio alla sedimentazione continentale, non sono avvenuti in maniera progressiva e continua, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Ciò ha originato numerose superfici di discontinuità stratigrafica, che hanno permesso di suddividere i depositi di riempimento del bacino padano in unità stratigrafiche principali (Supersintema del Pliocene medio-superiore, Supersintema del Quaternario Marino e Supersintema Emiliano-Romagnolo)

Nella zona più distale delle conoidi, individuabile circa all'altezza della via Emilia, i depositi della conoide appenninica si intercalano alle successioni del sistema di sedimentazione della piana alluvionale, che si sviluppa sia al fronte che ai lati delle conoidi.

*In particolare, il territorio in esame è ubicato nella zona in cui si entra nel sistema di sedimentazione della piana alluvionale del fiume Panaro..*

La stratigrafia nell'area di interesse, con riferimento all'approccio utilizzato nella Carta Geologica alla scala 1:50.000 del progetto CARG è descritta nel testo e nelle immagini seguenti.

L'organizzazione spaziale dei depositi viene interpretata come il prodotto del riempimento del Bacino Padano che avviene in concomitanza al sollevamento del margine appenninico con il conseguente avanzamento verso NE dei sistemi deposizionali appenninici.

Questa unità comprende due sintemi distinti: Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES, separati da una discontinuità rilevabile nelle aree marginali della pianura legata a una fase tettonica di importanza regionale.

Nell'area di interesse affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati solo nel sottosuolo della pianura.

Ciascuno dei due sintemi testimonia un ciclo sedimentario trasgressivo-regressivo a grande scala con alla base depositi fluvio-deltizi e di piattaforma che passano rapidamente a depositi alluvionali con una generale tendenza della progradazione dei sistemi deposizionali verso l'alto stratigrafico.

All'interno dei Sintemi è possibile riconoscere delle sequenze sedimentarie di decine di metri di spessore (subsintemi) che testimoniano verosimilmente i cicli climatico-eustatici alla scala dei 40–100 ka e correlabili regionalmente per gran parte della pianura emiliano-romagnola.



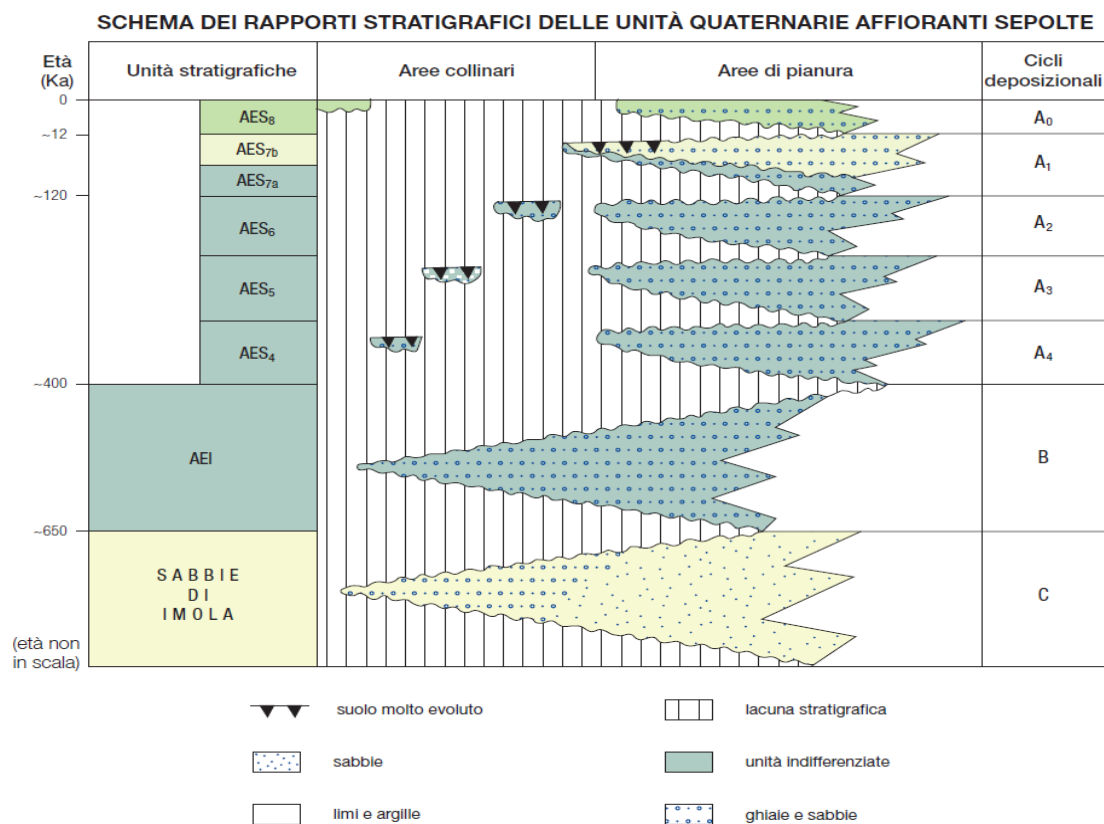


Figura 4: Schema stratigrafico delle unità quaternarie affioranti e sepolte nell'area del Foglio CARG 201 "Modena".

I subsintemi affioranti e presenti nel primo sottosuolo investigato dell'area di interesse sono: il Subsintema di Villa Verucchio (AES7, solo nel sottosuolo) e il Subsintema di Ravenna (AES8).

L'immagine seguente, tratta dallo studio di "Microzonazione sismica e analisi della condizione limite di emergenza", mostra una sintesi geologica per l'intero comune di Modena, ricavato dai rilievi del foglio CARG "Modena", sintesi che conferma quanto sopra già anticipato.

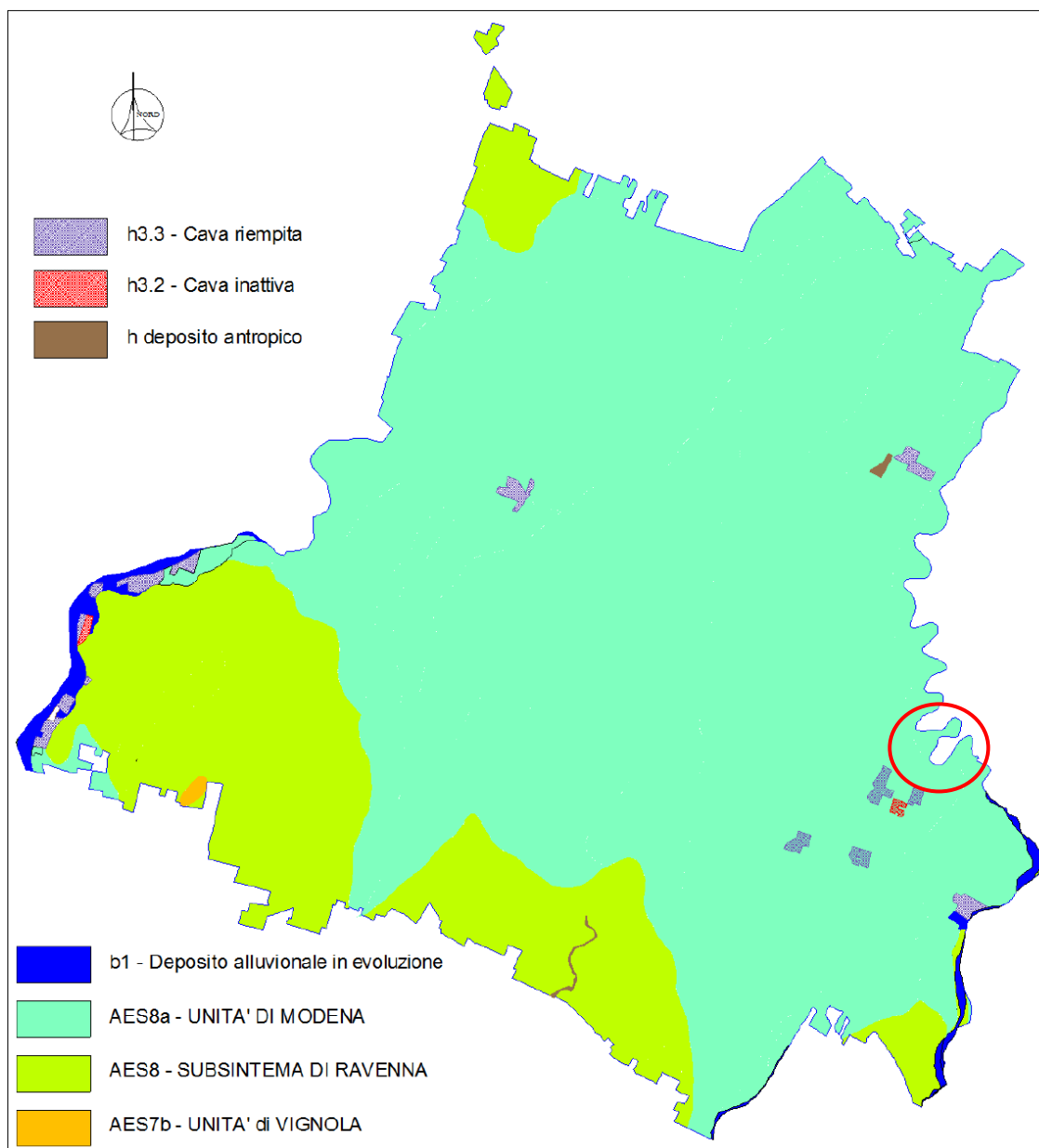


Figura 5: Schema geologico del Comune di Modena (dati CARG / RER Immagine tratta dalla relazione tecnica dello “studio di microzonazione sismica....” del Comune di Modena). In rosso la zona di intervento.

L'area di intervento ricade interamente nei depositi dell'Unità di Modena (AESD8a).

Di seguito una veloce descrizione geologica, sedimentologia e litologica delle unità presenti in superficie e nel sottosuolo).

### Subsintema di Villa Verucchio (AES7)

Non affiora nell'area di interesse mentre in prossimità del margine appenninico lo si può osservare in una limitata area nei dintorni di Scandiano e costituisce il gruppo di depositi terrazzati più estesi e ben riconoscibili nelle aree pedecollinari poste a sud. Nel sottosuolo costituisce l'unità più facilmente riconoscibile a causa del corpo ghiaioso tabulare presente al tetto.

Il Subsintema di Villa Verucchio è costituito da limi prevalenti con subordinate ghiaie e sabbie nella porzione inferiore e da depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi di conoide nella porzione superiore.

A valle delle conoidi ghiaiose prossime al margine della catena, l'intero Subsintema di Villa Verucchio passa a litologie limoso-argillose con intercalazioni di sabbie nella porzione superiore dell'unità, ove formano corpi nastriformi che seguono all'incirca la direzione dell'idrografia attuale.

Lo stesso è parzialmente suddiviso in unità di rango inferiore, l'unità di Vignola (AES7b), che comprende la parte superiore a granulometria grossolana e l'unità di Niviano che ne rappresenta la porzione inferiore generalmente più fine.

AES7 è caratterizzato da una tendenza *coarsening upward* in cui la parte inferiore prevalentemente fine (l'unità di Niviano), rappresenta il deposito del penultimo interglaciale, comprendendo quindi il Tirreniano.

La parte superiore prevalentemente grossolana (unità di Vignola – AES7d) rappresenta la sedimentazione caratteristica dell'ultima fase glaciale. Tale Unità affiora in maniera molto limitata nella zona sud-ovest del territorio di Modena (vedi fig. 5), mentre nella

restante parte del Comune rimane nel sottosuolo, ricoperta dai depositi del Subsintema di Ravenna e dell'Unità di Modena.

Lo spessore dell'unità è variabile da 0 ad oltre 70 metri.

Il limite inferiore nel sottosuolo è tracciato in corrispondenza del contrasto di facies tra le ghiaie sommitali dell'unità sottostante (Subsintema di Bazzano, AES6) ed i depositi fini alluvionali dell'unità di Niviano.

Il limite superiore del Subsintema Villa Verucchio è posto in corrispondenza del passaggio tra le ghiaie presenti a tetto dell'unità ed i depositi prevalentemente limoso argillosi che caratterizzano la parte inferiore del successivo Subsintema di Ravenna.

L'età è pleistocenica superiore, compresa tra i 120.000 anni B.P. (età dedotta dalla correlazione della parte inferiore dell'unità con i depositi tirreniani costieri della Romagna) e i 15.000 anni circa, età della più antica datazione attribuibile al Subsintema di Ravenna.

#### Subsintema di Ravenna (AES8)

E' costituita da sedimenti di piana alluvionale, prevalentemente fini, deposti nell'ultimo postglaciale, localmente al di sopra dell'esteso corpo ghiaioso attribuito all'unità di Vignola.

In figura 5 si evince che tale unità affiora direttamente ed estesamente lungo il confine meridionale del Comune di Modena ed in maniera sporadica a sud-est ed a nord.

Il limite inferiore del subsintema viene posto convenzionalmente al tetto dei corpi ghiaioso-sabbiosi ad elevata estensione laterale che caratterizzano la porzione sommitale di Villa Verucchio.

Verso nord mancano del tutto le ghiaie ed il limite con la unità di Vignola non è più contrassegnato da un netto cambiamento litologico, poiché qui la sedimentazione si è sviluppata, presumibilmente, con continuità e senza grandi variazioni. In queste aree la *base del subsistema è contrassegnata da alcuni metri di argille più o meno limose alle quali sono intercalati, a profondità variabili tra i 15 e i 25 metri, livelli centimetrici o decimetrici ricchi in sostanza organica.*

Il limite superiore del subsistema è caratterizzato dalla presenza di suoli a basso grado di alterazione con profilo inferiore ai 150 cm, parzialmente decarbonatato.

*In molte aree al tetto è presente un suolo meno evoluto del precedente, legato ad eventi deposizionali di età post-romana; i depositi con a tetto questi suoli sono stati attribuiti all'unità di Modena (si veda oltre).*

Il Subsistema di Ravenna si è deposto in condizioni post-glaciali e registra un ciclo sedimentario di tipo trasgressivo-regressivo.

Le determinazioni radiometriche effettuate sui livelli torbosi hanno fornito età variabili tra i 15.130 ed i 9.935 anni B.P. indicando che la sedimentazione della porzione basale del subsistema di Ravenna si sarebbe sviluppata su una piana alluvionale mal drenata, in un arco di tempo di almeno 5.000 anni.

All'intervallo basale ricco in sostanza organica segue una sedimentazione prevalentemente fine, più o meno spessa, di piana inondabile e canale/argine.

Le sabbie ed i limi sabbiosi affiorano secondo fasce allungate da sud a nord che, dipartendosi dal piede delle conoidi, corrispondono ad antichi argini fluviali od a fasce di migrazione di meandri, spesso in parte sepolti dalle alluvioni più recenti. La corrispondenza di alcune fasce limoso-sabbiose con dossi è indicativa della presenza di



argini fluviali naturali; le argille ed i limi hanno sovente una distribuzione del tutto irregolare che riflette una stratificazione lenticolare derivante da singoli episodi di tracimazione.

*La parte superiore del Subsintema, sino al piano campagna, è caratterizzata da maggiore frequenza di livelli limoso sabbiosi o limoso argillosi con frequenti intercalazioni sabbiose, a testimonianza di un aumento areale degli ambienti di argine e di rotta fluviale legati ad una maggiore dinamica dei corsi d'acqua.*

La sedimentazione grossolana, ghiaiosa, si presenta drasticamente più ridotta rispetto a quella dell'unità di Vignola.

La potenza massima del subsintema supera i 20 m. Lo spessore aumenta, oltre che allontanandosi dalla catena, anche lateralmente agli assi vallivi principali.

Il subsintema aggrada su una topografia più articolata dell'attuale, legata alla precedente fase deposizionale prevalentemente ghiaiosa ed una morfologia convessa dell'unità di Vignola.

L'età è pleistocenica superiore-olocenica. Le datazioni con il metodo C14 della base dell'unità oscillano tra 15.000 e 9.000 anni circa B.P.

All'interno del Subsintema di Ravenna è distinta l'Unità di Modena.

Unità di Modena (AES8a).

L'unità di Modena è caratterizzata dalla presenza al tetto di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo di alterazione inferiore a 100 cm, non decarbonatato (entisuolo ed inceptisuolo).

Ad essa appartengono i sedimenti depositi dopo l'età romana (post V secolo d.C.).

L'Unità costituisce, in superficie, la maggior parte del territorio del Comune di Modena e l'intera area di studio.

La base dell'unità è stata definita sulla base dei dati archeologici e dei dati pedologici.

L'unità di Modena è stata ulteriormente suddivisa in base alla granulometria dei depositi affioranti ed all'ambiente deposizionale: le ghiaie, in questo settore non sono presenti, le sabbie sono poco diffuse mentre i limi e le argille costituiscono la litologia prevalente.

Lo spessore può raggiungere gli 8 m circa, profondità alla quale si rinviene il piano archeologico romano in alcune aree della città di Modena. L'età è post V sec. d.C.-Attuale.

La sezione geologica di seguito riportata, tratta dal foglio CARG 201 "Modena" illustra chiaramente i rapporti stratigrafici sopra descritti.

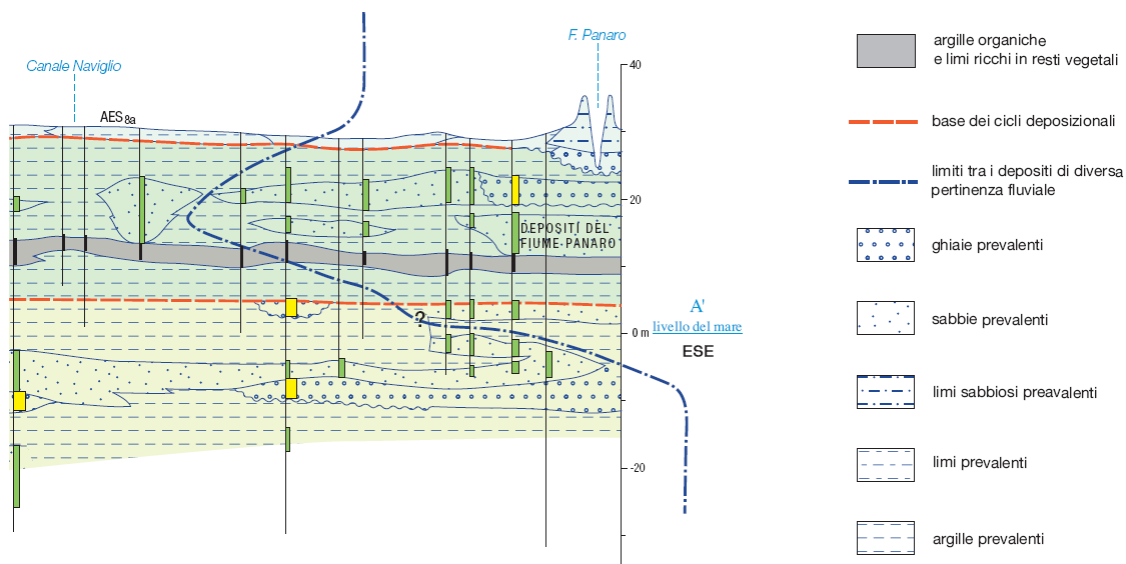


Figura 6: Sezione geologica WNW-ESE attraverso l'alveo del fiume Panaro poco a monte rispetto all'area di interesse (estratto del CRAG – foglio 201). Assetto geologico: in superficie (verde chiaro) i depositi AES8a, cui seguono i depositi AES8 (verdi) ed infine AES7b (giallini). Le litologie prevalenti sono definite nella legenda

Da un punto di vista dell'assetto strutturale la fascia di alta pianura si inserisce in un contesto tettonico di stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture a falde sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria.

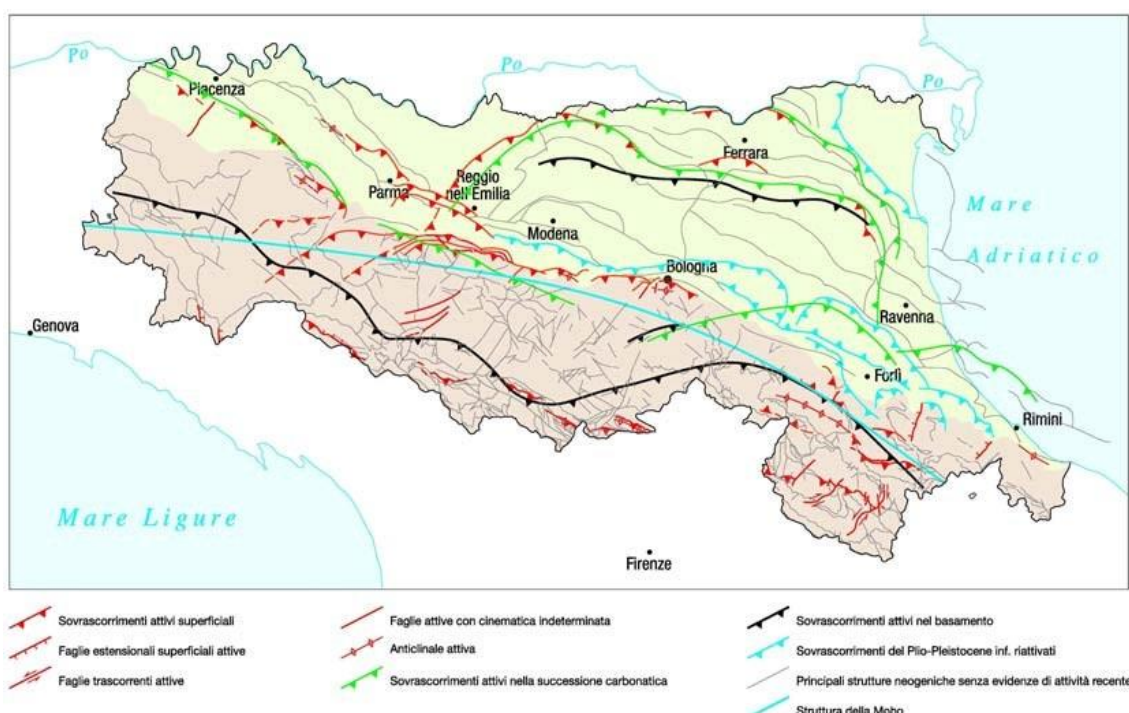


Figura 7: Assetto strutturale dell'Emilia-Romagna (da: "Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

La fascia di lineamenti strutturali più settentrionali, denominata Fronte di accavallamento esterno, appartiene all'arco delle "Pieghie Emiliane e Ferraresi" che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta.

## 4.0 ASSETTO IDROGEOLOGICO

La suddivisione della successione plio-quadernaria in unità idro-stratigrafiche (secondo la suddivisione dello studio di Regione Emilia-Romagna e ENI-Agip, 1998) definisce tre principali gruppi acquiferi: A, B, C.

Il gruppo A corrisponde con il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, il gruppo B con il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore ed il Gruppo C con il Quaternario marino Qm (Ricci Lucchi et al., 1982) e la parte sommitale della successione pliocenica (figura 4).

All'interno di ciascun gruppo è possibile riconoscere i complessi idrogeologici (A0,..., A4, B1,...,B4,C1,...,C4, corrispondenti in parte con i subsintemi) che sono definiti come corpi aventi litologie simili, una comprovata unità spaziale ed un grado di permeabilità che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto.

*Quelli compresi nel gruppo acquifero A costituiscono i corpi dove si concentrano i prelievi idrici nella pianura emiliano-romagnola.*

All'interno dei singoli complessi sono riconoscibili depositi con caratteristiche idrogeologiche ben distinte (vedi figura 8):

- I depositi di conoide alluvionale appenninica,
- i depositi della pianura alluvionale appenninica
- i depositi della pianura alluvionale e deltizia padana.

L'area di interesse ricade nel conoide del fiume Panaro.



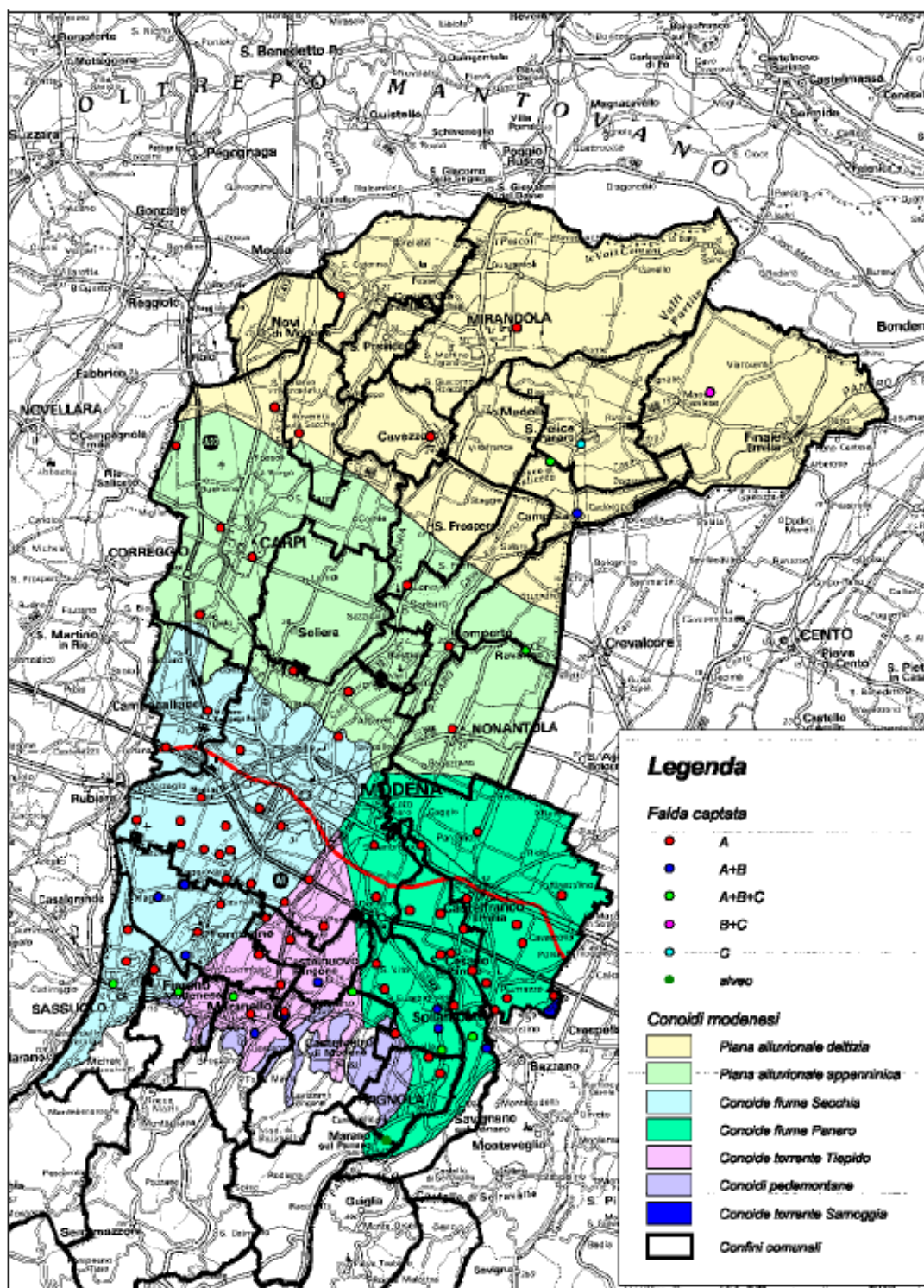


Figura 8: Differenziazione dei depositi all'interno degli acquiferi captati in Provincia di Modena



La zona di pianura ove si localizza l'area di interesse è costituita dalla conoide del fiume Panaro, che può essere definita, in generale, come un sistema acquifero multistrato.

Nella parte di alta pianura, nella porzione apicale della conoide i livelli ghiaiosi sono amalgamati e costituiscono un unico corpo acquifero, che poggia su formazioni argillose plio-pleistoceniche con spessori variabili inizialmente da pochi metri e con terrazzamenti nella porzione valliva, fino a raggiungere potenze di circa 200 m all'altezza dell'area di interesse.

Nella porzione più a valle, corrispondente al corpo centrale della conoide, i lobi ghiaioso-sabbiosi sono generalmente separati tra loro da livelli di depositi a granulometria fine quali argille, limi e sabbie fini.

Questi livelli fungono da acquitardi generando una falda multistrato ma, anche se talvolta raggiungono spessori di 20÷25 metri, non riescono ad assicurare un totale isolamento tra gli acquiferi, sia per effetti di drenanza sia anche a causa della grande densità dei pozzi che favorisce l'interconnessione delle falde.

In questa area di interesse strategico, in virtù dell'elevato spessore degli acquiferi e della naturale protezione, sono localizzati i maggiori e più significativi prelievi di acque sotterranee dell'intera provincia.

L'alimentazione degli acquiferi avviene principalmente per infiltrazione di acque meteoriche dalla superficie, in corrispondenza dell'affiorare di terreni permeabili o di acque fluviali dai subalvei; in subordine avviene uno scambio di acque tra diversi livelli acquiferi.

Per la valutazione quantitativa della falda acquifera a scala ampia, si fa riferimento alla elaborazione cartografica della distribuzione spaziale dei valori medi delle misure del livello piezometrico, riferito al livello del mare, e della soggiacenza, riferito al piano campagna così come riportate nel PTCP della Provincia di Modena (Figura 9).

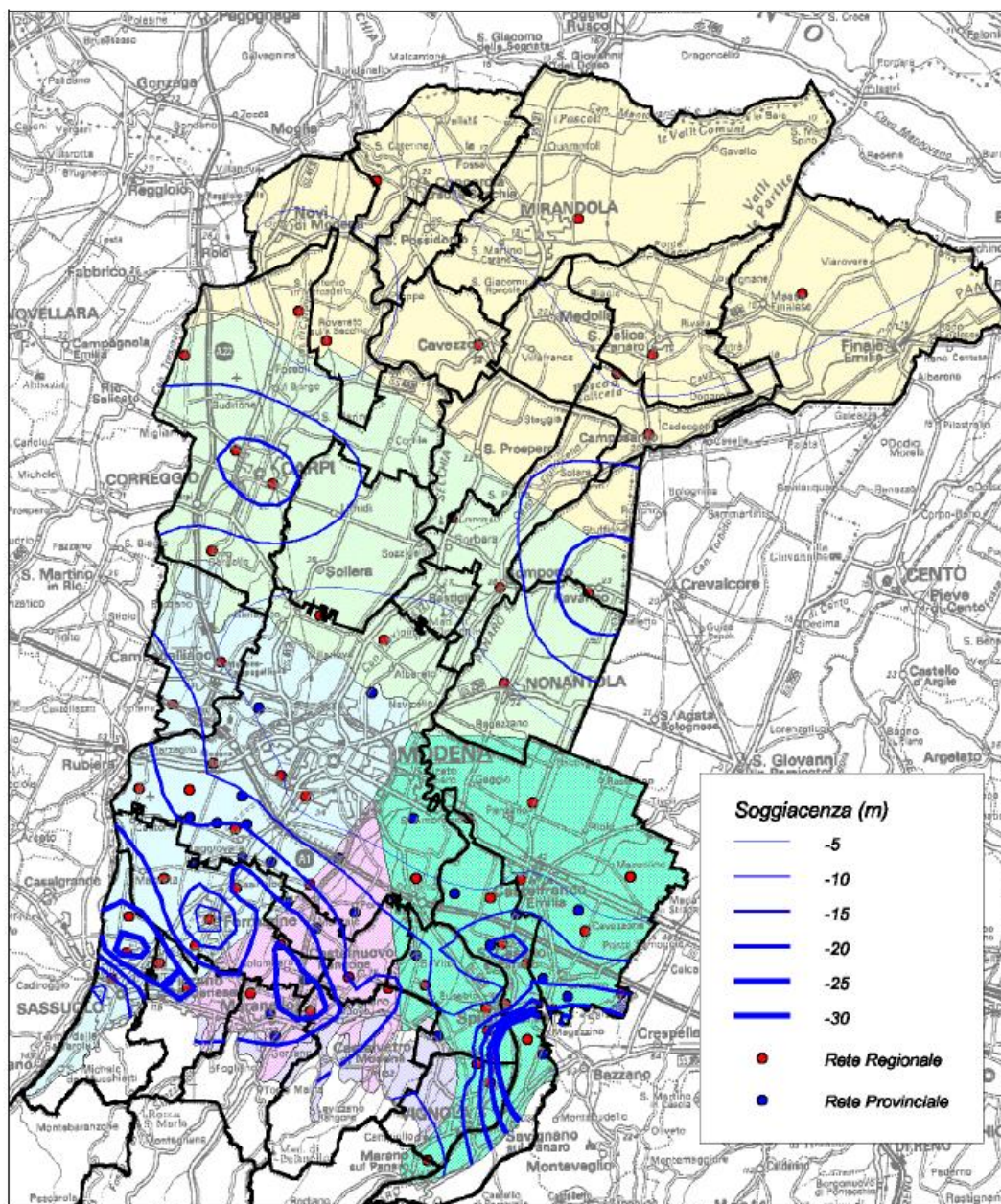


Figura 9: Soggiacenza (m) media anno 2005.



La soggiacenza maggiore si riscontra in corrispondenza del settore delle conoidi alluvionali dove si arriva a valori medi di oltre 30 m dal piano campagna (anno 2005) mentre il livello di falda tende a risalire nel settore di pianura appenninica e padana con valori medi inferiori ai 5 metri dal piano campagna.

*Nella zona di interesse il valore della soggiacenza è minore di 5 metri dal p.c.*

Dati più aggiornati temporalmente possono essere trovati nel rapporto sullo stato delle acque sotterranee di ARPAE del 2016.

La distribuzione della piezometria evidenzia valori elevati nelle zone vallive di margine appenninico, che si attenuano poi passando alle conoidi libere, all'altezza di Spilamberto, fino ad arrivare alle zone di pianura alluvionale, che a nord-est di Mirandola si caratterizzano per i valori di piezometria più bassi.

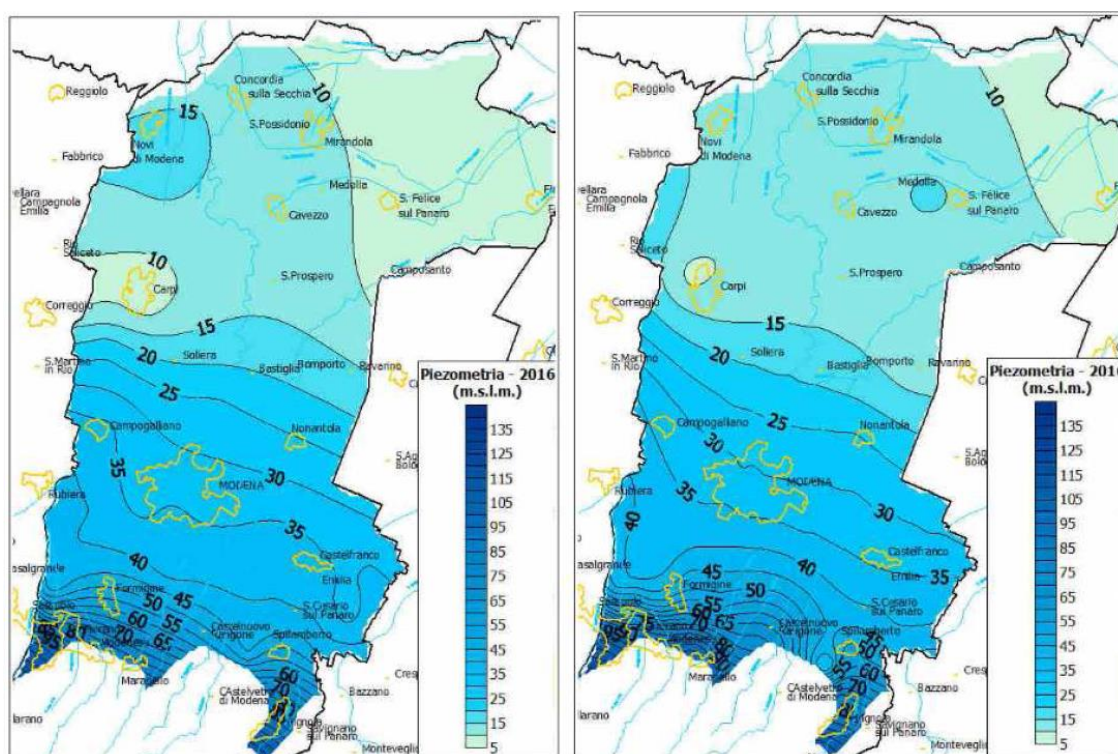


Figura 10: Livello piezometrico nei corpi idrici liberi e confinati superiori (a sinistra) e nei corpi idrici liberi e confinati inferiori (a destra) sulla base dei dati del monitoraggio anno 2016



- Polo estrattivo 7 – Modena (a monte della cassa di laminazione),
- Piezometro RER MO-F01 posti lungo l'asta del Panaro.

I grafici sono di seguito visualizzati.

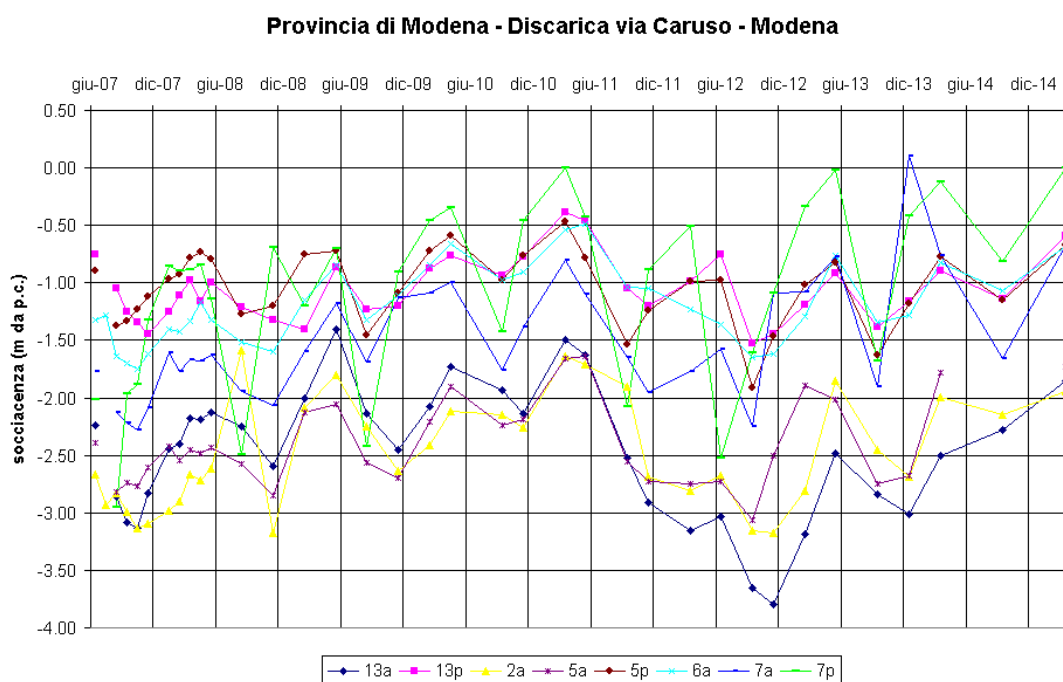


Figura 12: Valori di soggiacenza misurati ai piezometri della discarica di via Caruso a Modena tra il giugno 2007 ed il marzo 2015.

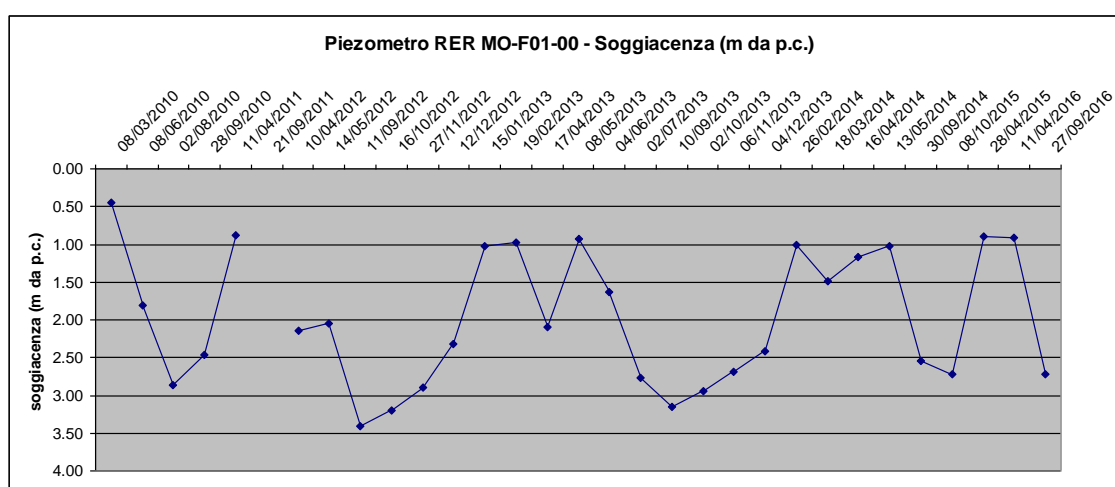


Figura 13: Valori di soggiacenza misurati al piezometro RER MO-F01-00 tra marzo 2010 e settembre 2016.



*Le misurazioni sopra riportate non sembrano evidenziare particolari trend nei periodi di monitoraggio.*

*Le variazioni piezometriche sembrano essere principalmente connesse alla stagionalità ed alle condizioni meteoriche dell'anno.*

*La soggiacenza è generalmente inferiore ai 3 metri dal p.c., mediamente tra 1 e 2 metri dal p.c.*

## 5.0 SUBSIDENZA DEL SUOLO

La pianura modenese è soggetta ad un lento movimento di abbassamento del suolo, stimato in qualche mm/anno, sia per il carico tettonico che flette il bacino sedimentario, sia per la progressiva compattazione dei sedimenti dovuta al loro stesso peso.

A questo fenomeno naturale tuttavia, nel periodo tra gli anni '60 e '70, si è andata a sovrapporre una componente di subsidenza di origine antropica imputabile principalmente al forte prelievo idrico dalle falde in seguito all'industrializzazione dell'area urbana, fino a divenire causa dominante.

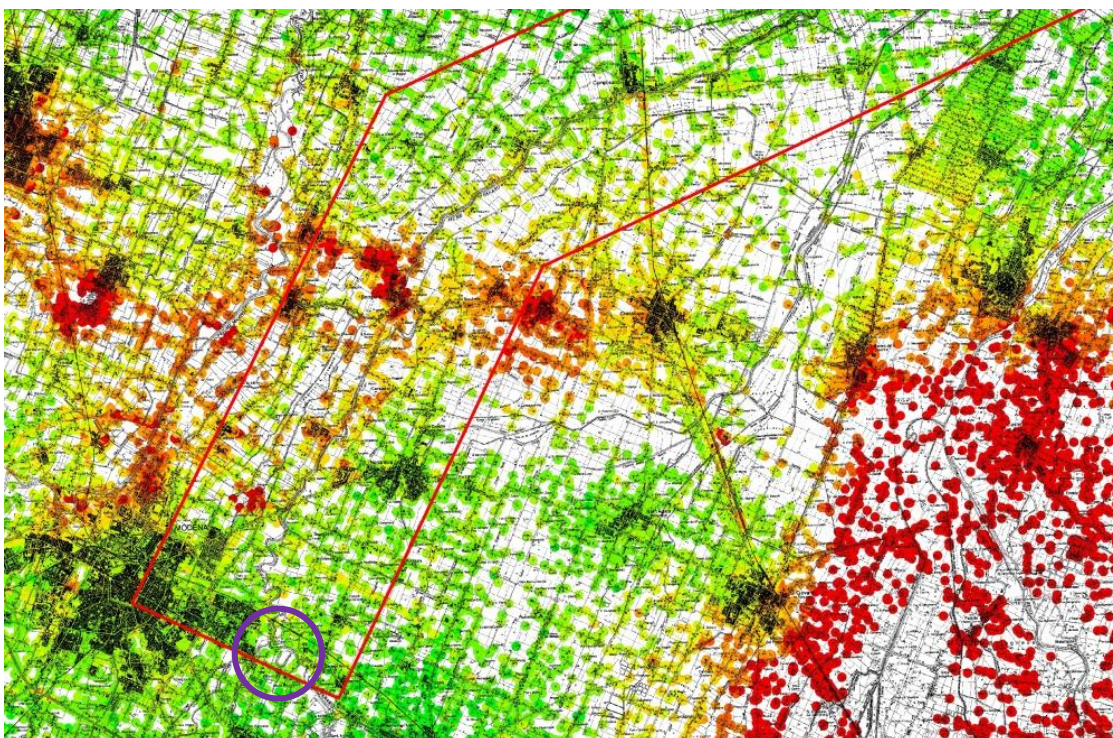
Il fenomeno di subsidenza è da mettere in relazione anche alla particolare struttura stratigrafica dei depositi alluvionali sepolti, che sono costituiti da successioni di materiali a litologia grossolana, ghiaie e sabbie generalmente poco compressibili, alternati a depositi a litologia fine, limi ed argille, soggetti a diversa compressibilità in funzione delle pressioni neutre dell'acqua in essi contenuta.

Gli emungimenti idrici hanno condotto a forti abbassamenti dei livelli piezometrici della falda, che ha successivamente innescato un veloce processo di compattazione nel sottosuolo e di abbassamento alla superficie dell'ordine dei diversi cm/anno.

Malgrado nei decenni successivi il livello medio delle acque sotterranee sia stato aumentato così come la pressione dell'acqua nelle argille, il fenomeno della subsidenza è ancora ben evidente dalle ultime campagne di rilievo interferometrico della Regione Emilia-Romagna (2002-2006 e 2007-2011, Figura 14).

I valori di abbassamento superiore ad 1 cm/anno sono concentrati nel settore compreso tra lo spigolo nord della città di Modena, Sorbara, Bomporto e Ravarino.

Questo settore fa parte della sinclinale regionale che si sviluppa a fronte delle pieghe emiliane ed è caratterizzato da un ispessimento della successione plio-quadernaria, con la predominanza di potenti intervalli di depositi fini, generalmente decametrici, intervallati a livelli sabbiosi metrici. Le condizioni geologiche sono predisponenti e l'attività antropica, attraverso la depressurizzazione degli acquiferi, è stata scatenante.



*Figura 14: Velocità di abbassamento del suolo (dati interferometrici 2007-2011). Tassi di subsidenza: in rosso superiori a 1 cm/anno, in arancione compresi tra 1 e 0,5 cm/anno, in giallo tra 0,5 e 0,2 cm/anno, in verde inferiori a 0,2 cm/anno (in viola la zona di interesse).*

Gli effetti dei prelievi nel sottosuolo, seppure diminuiti, si stanno ancora manifestando a causa dell'inerzia dell'intero sistema idrogeologico, inoltre proprio lungo la direttrice Carpi-Bomporto.

Nella zona di interesse la mappa di figura 14 non evidenzia problematiche e/o criticità relative alla subsidenza, con valori pressoché nulli o comunque inferiori a 0,5 cm/y.



## 6.0 SISMICITA' DELL'AREA

### 6.1 Caratteri generali

L'area di interesse ricade in un settore interessato da **terremoti storici** che più volte hanno raggiunto intensità pari al VII - VIII grado della scala MCS (Locati et al. 2016); gli epicentri dei numerosi eventi con magnitudo pari o superiore a 3 si posizionano lungo il margine appenninico-padano, nel medio ed alto Appennino e nel settore occidentale della pianura (figura 15)

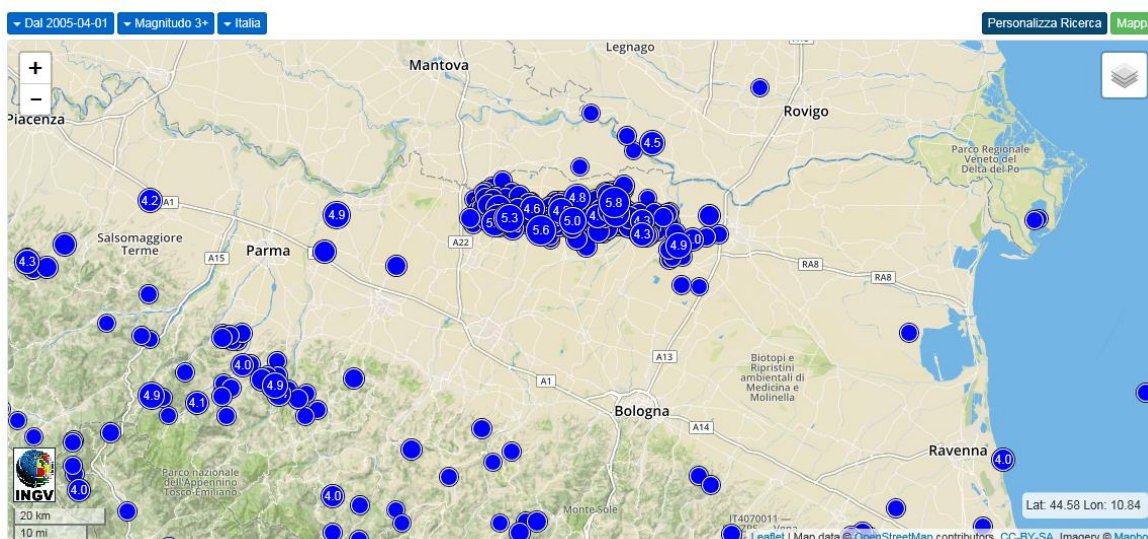
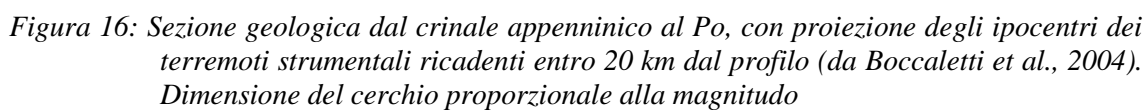


Figura 15: Carta degli epicentri dei principali terremoti con magnitudo pari o superiore a 3 dal 2005 ad oggi (INGV, <http://cnt.rm.ingv.it/>).

L'attività lungo il margine appenninico-padano è presumibilmente legata al fronte della struttura nota come thrust pedeappenninico (Boccaletti et al., 1985; Boccaletti et al., 2004).

L'attività della zona occidentale della pianura è dovuta all'attività delle strutture sepolte della Pianura Padana quali le Pieghe Ferraresi (dorsale sepolta che forma un arco tra Reggio Emilia e Ravenna) e le Pieghe Emiliane (Pieri & Groppi, 1981) (figura 17).



In riferimento alla zonazione sismogenetica del territorio Italiano ZS9 (Meletti e Valenise, 2004 - utilizzata per le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale),



il territorio comunale di Modena si colloca, prevalentemente, all'interno della Zona sismogenetica 912 denominata "Dorsale Ferrarese" che rappresenta la fascia più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale con la presenza di alcune importanti linee sismotettoniche ed all'interno della quale, al di sotto di spesse coltri di sedimenti alluvionali, sono presenti imponenti strutture compressive.

Una porzione meridionale del territorio si colloca all'interno della Zona sismogenetica 913 denominata "Appennino Emiliano-Romagnolo" che costituisce una fascia di transizione nella quale convivono meccanismi di fagliazione diversi, essenzialmente compressivi a Nord-Ovest e distensivi a Sud-Est.

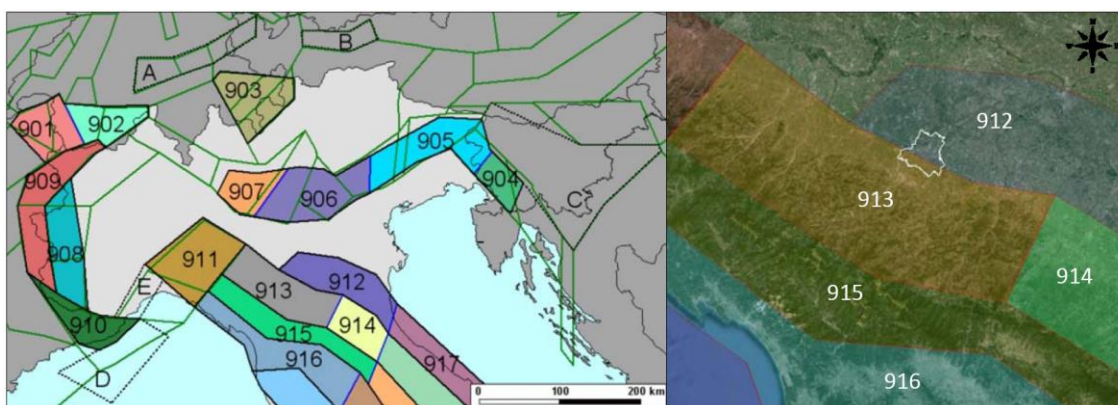


Figura 17: Zone sismogenetiche ZS9 in relazione al Comune di Modena

La tabella seguente contiene i principali dati relativi a numero di eventi. Magnitudo massima, profondità e profondità efficace dei sismi per le due zone sismogenetiche 912 e 913.

Zona	Numero eventi Md>2	Numero eventi Md>2.5	Numero eventi Md>3	Magnitudo massima Md	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
912	180	141	54	4.6	5-8	7
913	767	362	100	4.8	12-20	13

Gli eventi sismici registrati a Modena, estratti dal Catalogo Parametrico Italiano dei Terremoti (CPTI15) sono riassunti nella figura seguente.

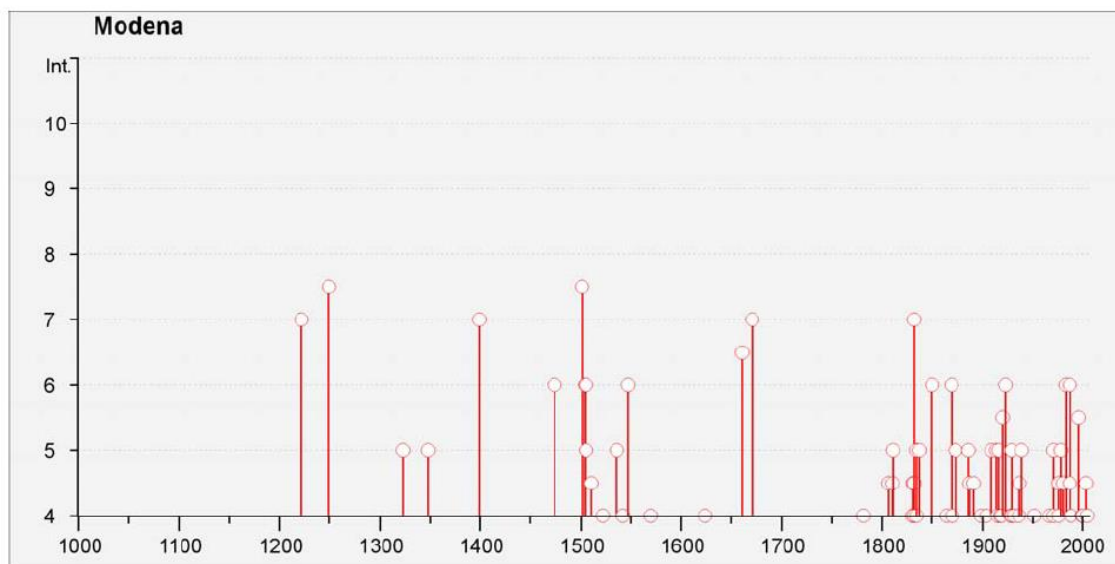


Figura 18: Diagramma della storia sismica di Modena (catalogo sismico CPTI15)

## 6.2 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

Questi aspetti sono comunemente indicati anche come “**pericolosità sismica di base**” e sono quelli considerati per definire le zone della classificazione sismica nazionale; da queste caratteristiche deriva la sollecitazione (accelerazione) attesa, per il calcolo della quale non sono valutate le caratteristiche locali ed il territorio è considerato uniforme, cioè pianeggiante e costituito da suolo rigido in cui la velocità di propagazione delle onde S è maggiore di 800 m/s (“suolo A” dell’Eurocodice 8, dell’O.P.C.M. 3274/2003 e del D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le costruzioni”).

Per la valutazione della pericolosità sismica di base il riferimento è la recente Carta di pericolosità sismica INGV, recepita dall’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 2006 (figura 19), in cui sono indicati i valori di accelerazione di picco al suolo ( $a_g$ ) per tutto il territorio nazionale.

## Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

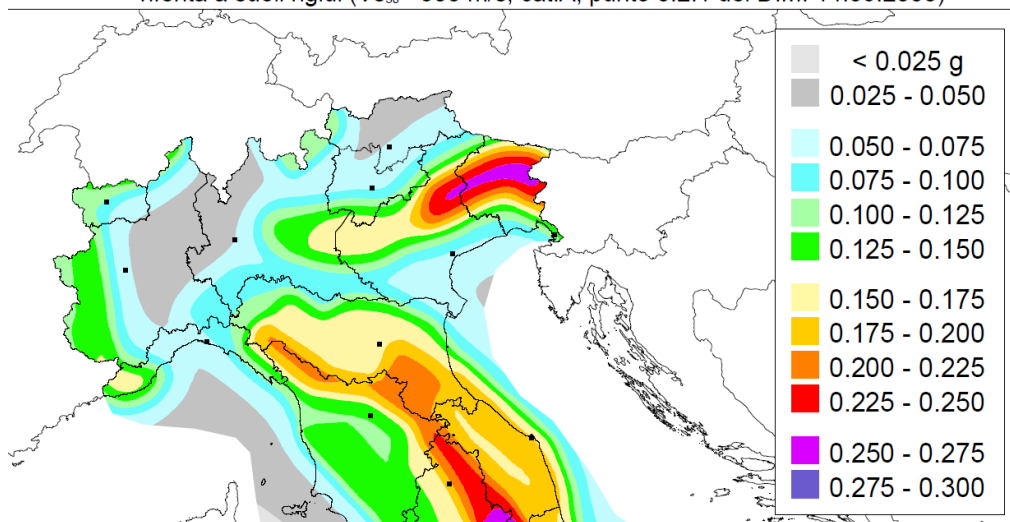


Figura 19: Stralcio della mappa di pericolosità sismica (INGV, [http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/mappa\\_opcm3519.pdf](http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/mappa_opcm3519.pdf))

La pericolosità sismica di un territorio consiste nella valutazione dello scuotimento del suolo atteso con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo temporale, ovvero della probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Con l'OPCM 3274/2003 (GU n.108 dell'8 maggio 2003), sono state definite le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa (PGA) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) su suolo rigido e pianeggiante, valutata su una griglia di calcolo che ha una densità di 20 punti per grado corrispondente, quindi, a circa un punto ogni 5 km.

I valori di accelerazione di picco su suolo rigido ( $a_g$ ) attesi sul territorio comunale di Modena sono compresi tra 0,158 e 0,163 g.

Il valore della  $a_g$  di riferimento riportato nell'allegato A4 della Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n° 112/2007, corrisponde, per il comune di Modena, a 0,163 g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

***Il comune di Modena appartiene alla zona 3 a sismicità bassa*** così come definito in base alla pericolosità sismica dall'Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003 (Allegato 1, punto 3 "prima applicazione").

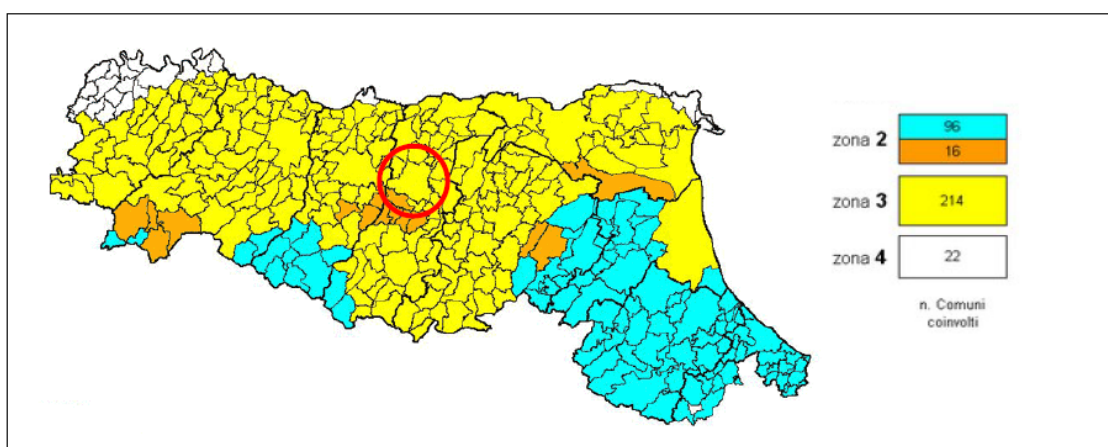


Figura 20: Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna; le 4 categorie di classificazione sono determinate in base alla pericolosità sismica

### **6.3 L'evento sismico del maggio 2012**

Il 20 maggio 2012, alle 04:03, un terremoto di magnitudo  $M_L=5.9$  (Magnitudo Locale) della scala Richter ha colpito la Pianura Padana.

L'epicentro è stato individuato in Provincia di Modena, tra Mirandola e Finale Emilia, l'ipocentro ad una profondità di circa 6.3 km. Molte scosse si sono succedute lo stesso giorno di cui due con magnitudo superiore a 5.0.

Nove giorni dopo, il 29 maggio 2012 alle 09:00, un altro forte terremoto di magnitudo  $M_L=5.8$ , ha colpito nuovamente la pianura modenese (figura 22).



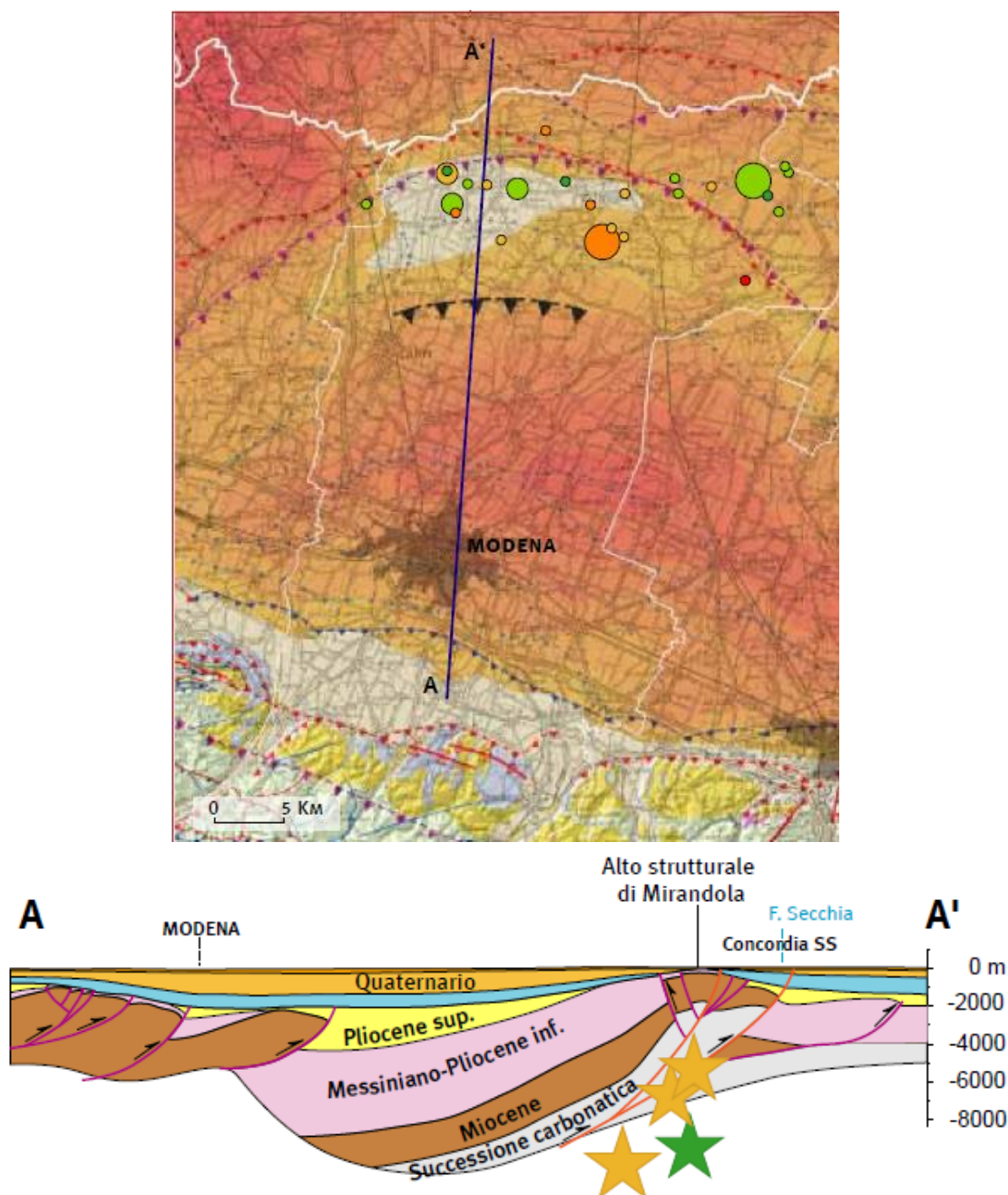


Figura 21: Tratto da “Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”.

Mappa: Linee rosse: involucri dei fronti delle principali strutture sepolte.

I cerchi rappresentano gli epicentri delle scosse  $ML > 4$ ; le dimensioni dei simboli sono proporzionali alla magnitudo. I colori indicano la profondità degli ipocentri; cerchi verdi: profondità fino a 7 km; cerchi gialli: profondità tra 7 e 10 km; cerchi arancio: profondità tra 10 e 15 km; cerchi rossi; profondità oltre 15 km.

Sezione geologica attraverso la pianura modenese A-A', con proiezione degli ipocentri  $ML > 5$ . Le dimensioni dei simboli sono proporzionali alla magnitudo.

Stelle gialle: eventi del 29 maggio; stella verde: evento del 3 giugno.



La scossa è stata localizzata vicino a Medolla, circa 10 chilometri a ovest della scossa principale del 20 maggio, ad una profondità di circa 10.2 km.

Lo stesso giorno, sono state registrate numerose scosse tra le quali altre due con magnitudo superiore a 5.0. In generale, le scosse di magnitudo superiore a 5.0 sono state sette, l'ultima delle quali il 3 giugno 2012 alle ore 21:20.

Gli effetti dei terremoti sono stati di intensità fino al VII-VIII grado ovvero le maggiori scosse sismiche sono state percepite come fortissime e hanno prodotto notevoli danni: il danneggiamento di edifici di grandi dimensioni, quali castelli e torri, chiese e campanili, capannoni industriali e diffusi effetti di liquefazione.

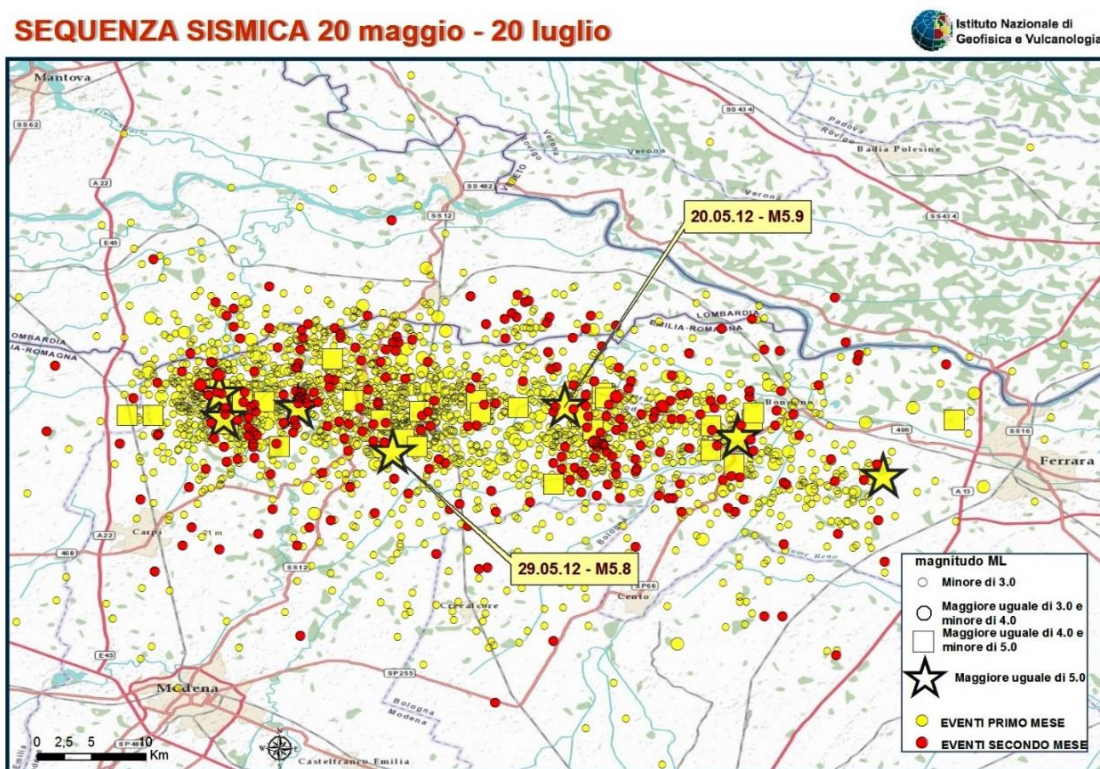


Figura 22: Sequenza sismica 20 maggio – 20 luglio 2012 (INGV, [www.INGV.it](http://www.INGV.it))

Questo settore della Pianura Padana era già stato interessato da terremoti di intensità superiore al VII grado nel 1346, nel 1570 e nel 1796 (Locati et al., 2016).

L'ultima crisi sismica presenta forti analogie, in termini di danni ed effetti ambientali osservati, con il terremoto ferrarese del 1570.

*I valori di accelerazione registrati durante i terremoti emiliani del maggio 2012 sono localmente piuttosto elevati, talora più del 20% dell'accelerazione di gravità.*

Secondo la carta di pericolosità sismica nazionale le accelerazioni di riferimento attese in queste zone sono dell'ordine del 15% dell'accelerazione di gravità.

L'aumento dello scuotimento registrato in superficie, rispetto a quello atteso, dipende dalle locali caratteristiche del sottosuolo.

Il sottosuolo delle aree colpite dai territori del maggio 2012 è costituito, per varie decine di metri dalla superficie, da sedimenti alluvionali argillosi e sabbiosi geologicamente molto giovani e quindi poco consolidati; da questa condizione dipende l'aumento dello scuotimento in superficie.

L'aumento dello scuotimento nella parte più superficiale del sottosuolo è anche una delle cause del fenomeno ambientale più eclatante che è stato osservato cioè la **liquefazione**, manifestatasi con la fuoriuscita di sabbia e limo da pozzi, piccoli crateri e fratture del terreno, lunghe anche varie decine di metri, subito dopo le scosse principali del 20 e 29 maggio.

Questi fenomeni hanno interessato anche i centri abitati dove si sono verificati danni ingenti ed hanno assunto particolare rilevanza nei centri abitati di S. Carlo, frazione di S. Agostino, e di Mirabello, in Provincia di Ferrara, dove gli effetti secondari successivi alla liquefazione hanno reso temporaneamente inagibili alcuni edifici, tratti di strade e le reti di servizi presenti.

In sintesi, i principali effetti osservati sul terreno sono stati la formazione di vulcanelli, crateri, rigonfiamenti e rotture del terreno, cedimenti, sollevamenti di marciapiedi, deformazioni orizzontali.

Tali effetti, dovuti alla liquefazione di livelli sabbiosi del sottosuolo, sono stati osservati in varie località in corrispondenza di canali fluviali abbandonati.

Fortunatamente non risultano evidenze di fenomeni di fluidificazione, il cui effetto principale è la perdita di capacità portante capace di determinare gravi effetti di instabilità (es. affondamento e/o ribaltamento di edifici pesanti, galleggiamento di serbatoi interrati).

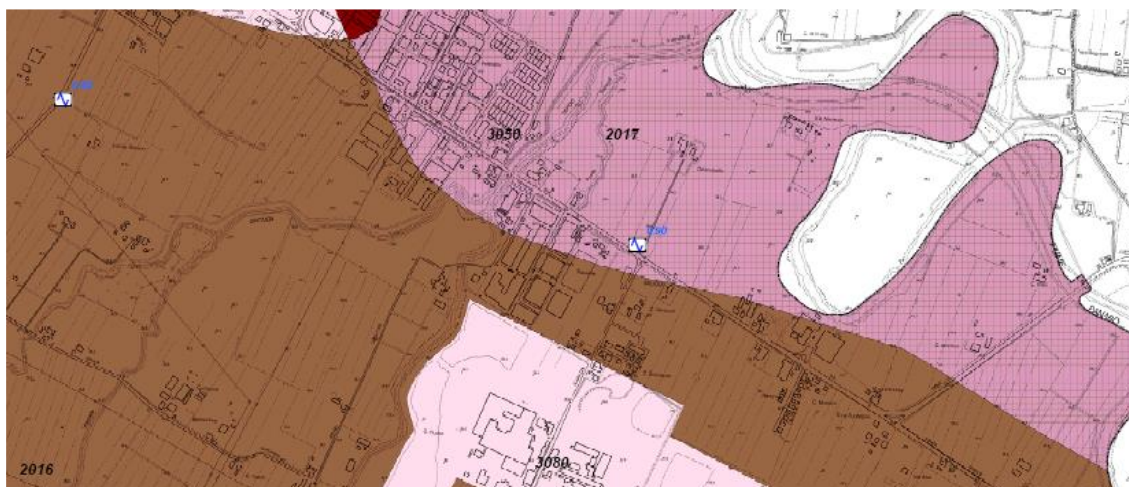
#### **6.4 Pericolosità sismica locale**

Il territorio Comunale di Modena è stato oggetto di un accurato studio per le problematiche sismiche a livello locale ed i risultati sono sintetizzati nel documento “Microzonazione sismica ed analisi delle condizioni limite per l'emergenza” del settembre 2015, a cura dei geol. Casotti, Saloni e Fiori.

Tale studio analizza puntualmente tutti gli elementi di carattere geologico, geologico tecnico e geofisico disponibili sul territorio Comunale, per analizzare la possibile risposta dei diversi comparti ad un evento sismico.

Un importante documento di sintesi che viene prodotto nell'ambito dello studio è la “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”, in cui il territorio Comunale è stato diviso in aree che possono presentare comportamenti, risposte e problematiche analoghe in caso di sisma.

L'estratto per l'area di interesse è di seguito riportato.

**2016**

Zona 16 – Aree con substrato rigido rilevato a profondità maggiori di 100 m con alternanze di limi e argille e Vs30 media < 225 m/s. Approfondimenti di II° Livello

**2017**

Zona 17 – Aree con substrato rigido rilevato a profondità maggiori di 100 m con alternanze di limi e argille e livelli sabbiosi potenzialmente liquefacibili nei primi 20 m (Vs30 media < 225 m/s) . Approfondimenti di III° Livello

**3050**

ZALQ1 – Zona di attenzione per liquefazioni tipo I

Figura 23: Estratto della “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” del Comune di Modena

*L’area di interesse risulta suddivisa in due possibili scenari di pericolosità sismica:*

- 2016: possibili amplificazioni litologiche;
- 2017 (3050): possibili fenomeni di liquefazione.

*La suddivisione è indicativa ed è basata sui limitati dati disponibili sull’area a livello di analisi a scala comunale.*

*Tali aspetti dovranno essere affrontati e verificati con indagini e le verifiche adeguate a supporto dei successivi gradi di progettazione.*



## 7.0 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO PRELIMINARE DI RIFERIMENTO

In questa fase di progettazione di fattibilità tecnica ed economica non sono state effettuate indagini geognostiche specifiche.

Stante la fase preliminare, la disponibilità di dati geognostici e geofisici del sottosuolo derivanti dalle campagne svolte tra il 2015 ed il 2017 (a supporto di vari interventi e progetti), e considerato anche il modesto impatto geotecnico delle opere di progetto, si è ritenuto in accordo con i Progettisti di fare riferimento ad un unico modello geologico di sottosuolo, ricavato dai dati disponibili più vicini alla zona di interesse.

Nel caso specifico si è fatto riferimento alle indagini tra gli stanti 0-2 del Panaro - sponda sinistra del torrente Tiepido, proprio di fronte ad una delle zone di intervento.

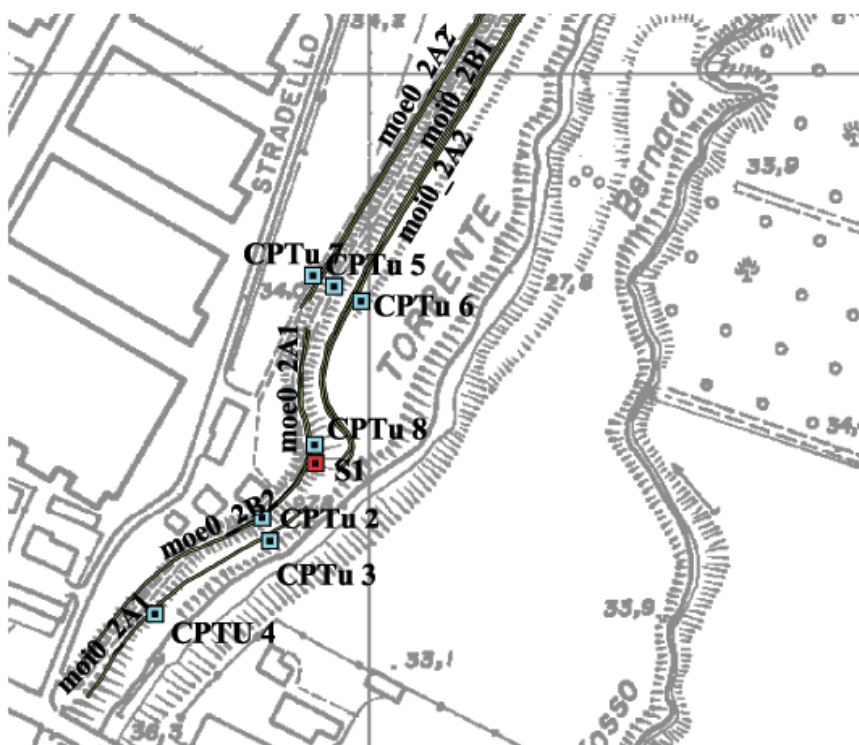


Figura 24: Ubicazione e tipologia di indagini disponibili lungo la sponda sinistra del torrente Tiepido utilizzati per le seguenti valutazioni ("CPTu" – prove penetrometriche statiche con piezocono – "S1": sondaggio con prove di permeabilità in foro e prelievo campioni – "mo" indagini elettromagnetiche)



Il progetto delle indagini geognostiche e geofisiche di approfondimento specifico è allegato al presente lavoro; tali indagini dovranno sicuramente essere eseguite a supporto della progettazione definitiva.

Per maggiori dettagli sulle prove a disposizione e sui risultati delle stesse è possibile fare riferimento alla relazione geologica di supporto al progetto definitivo MO-E-1346 del novembre 2017.

Prima di procedere con l'illustrazione del modello geologico-tecnico di riferimento, alcune indicazioni sulle modalità di analisi dei dati geotecnici.

Tutte le prove penetrometriche eseguite sono state elaborate con uno specifico software di analisi allo scopo di ricavare tutti i parametri di caratterizzazione litologica, resistenza, deformabilità e permeabilità lungo l'intera verticale di prova. Le singole verticali di prova sono poi state suddivise in livelli omogenei per caratteristiche litologiche e parametri geotecnici ed idrogeologici.

L'assetto stratigrafico delle sezioni è stato definito utilizzando i dati dei sondaggi geognostici e le prove CPTu / SCPTu con l'elaborazione del parametro SBT e SBTn (normalizzato) di Robertson (2009) per il riconoscimento della granulometria dei terreni presenti, collegando tra loro i diversi livelli con una continuità litologica e parametrica.

L'andamento della falda nella condizione dello stato di fatto è stato ricavato dalle misure disponibili nei fori di investigazione e/o in quelli più vicini, operando eventuali adeguamenti e/o completamenti, qualora necessario, sulla base del quadro idrogeologico in precedenza illustrato.

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei vari livelli individuati, in termini di parametri di resistenza, deformabilità e permeabilità, si sono utilizzati tutti i dati disponibili e quindi:

- Valori calcolati dalle prove CPTu ed SCPTu secondo le formule di letteratura che verranno in seguito dettagliate,
- Risultati delle prove di laboratorio,
- Risultati delle prove di permeabilità in sito,
- Dati bibliografici, di letteratura e di precedenti lavori in zona (vedi par. 1.1).

La scelta dei parametri, stante l'ampiezza delle aree oggetto delle analisi e la tipologia di opera coinvolte (argini in terra, di notevoli dimensioni ed estensione oggetto di opere di risagomatura e consolidamento) si è basata su una media ragionata del valore che influenza il comportamento dello strato in oggetto, prendendo in considerazione tutti i dati di cui sopra.

In caso di variazioni importanti all'interno dello stesso strato si è fatto sempre riferimento, in via cautelativa, ai valori medi minimi individuati nelle prove e nelle analisi di riferimento.

La caratterizzazione dei parametri è stata effettuata sempre sia in condizioni drenate (lungo termine) che in condizioni non drenate (comportamento a breve termine) per consentire ai progettisti le verifiche di stabilità delle opere in qualsiasi situazione, al fine di valutare caso per caso le condizioni di maggiore criticità (con l'eccezione dei livelli granulari, in cui il comportamento è solamente drenato).

### **7.1 Sezione geologico tecnica di riferimento**

Per il presente progetto si è deciso di utilizzare come riferimento la sezione geologico-tecnica prodotta per gli stanti 0-2 del fiume Panaro (in realtà lungo il torrente Tiepido in sponda sinistra), per la vicinanza all'area di intervento.

La sezione tipo era stata elaborata con l'utilizzo di n° 3 prove penetrometriche statiche con piezocono e di 1 sondaggio con prove di laboratorio sui campioni.

In alcuni livelli, nelle medesime condizioni di drenaggio, è stata indicata una doppia caratterizzazione, basata sia su prove CPTu che di laboratorio, prove che consentono di definire in maniera differente la componente attritiva e quella coesiva.

La sezione generale di riferimento è di seguito visualizzata.

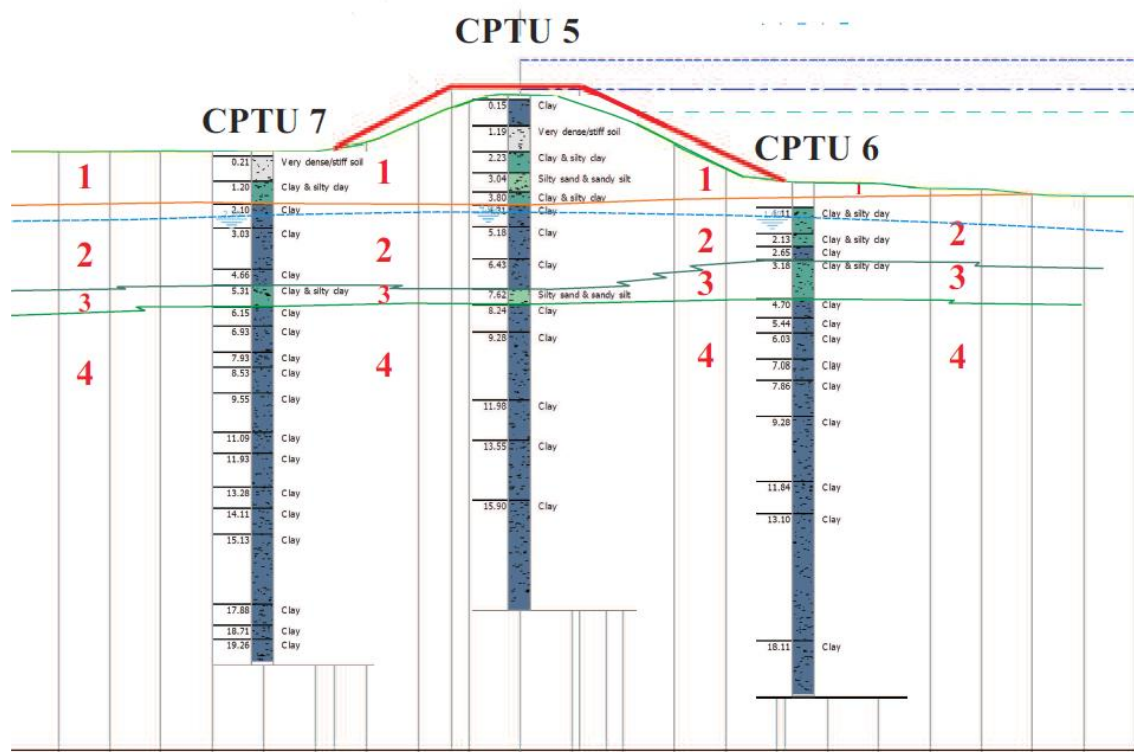


Figura 25: Sezione geologico – tecnica – di riferimento

Livelli	Caratterizzazione litologica	K (m/sec)	Cu (KPa)	C' (KPa)	$\phi'$	$\gamma$ (KN/mc)	$\gamma_s$ (KN/mc)
Livello 1	Argine - sabbie fini limose e limi sabbiosi	2,0 E-7	65	0 5	36-37 32	19	20
Livello 2	Limi argillosi, argille limose ed argille	9,0 E-8	45	10	27	19	20
Livello 3	Sabbie limose e limi sabbiosi	1,0 E-6		0	33-35	19	20
Livello 4	Argille ed argille limose media consistenza	1,0 E-8	85	4 25	25 21	19	20

Figura 26: Parametri geologico tecnici caratteristici della sezione di riferimento

La falda è posta ad una profondità variabile da 1 a 2 metri da l p.c.

Il livello 1 è connesso alla realizzazione del rilevato arginale del torrente Tiepido.

Lo stesso deve quindi essere considerato per le analisi sulla sponda destra del torrente Tiepido.

Per le opere che saranno realizzate a partire dal p.c. naturale, senza la presenza di argini preesistenti, tale livello non deve essere considerato e la prima unità geologiche del sottosuolo coincide con il livello 2.

Per quanto riguarda la pericolosità sismica locale:

- le prove disponibili indicano un suolo di categoria C;
- le verifiche di liquefazione dei suoli eseguite secondo il metodo NCEER Robertson e Wride (1998) sulle prove CPTu 5-6-7 hanno indicato un potenziale di liquefazione basso.

## 8.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il progetto prevede il completamento del sistema di difesa arginale del fiume Panaro in sponda idrografica sinistra, in Comune di Modena, lungo la via Emilia tra il ponte sul torrente Tepido ed il ponte S. Ambrogio.

Si tratta di interventi articolati, che vanno a completare ed adeguare idraulicamente le attuali opere di difesa, nate in maniera puntuale a protezione dei singoli insediamenti urbanistici.

L'intervento comprende nuove arginature, rialzo e ringrosso di arginature esistenti, nuovi muri di protezione e rialzo e consolidamento di muri esistenti.

Si tratta di opere di grande importanza del punto di vista della sicurezza idraulica, in considerazione anche dell'elevata urbanizzazione delle aree e della presenza della via Emilia, di entità limitata: le nuove arginature in terra raggiungono un'altezza massima di circa 2,5 metri ed anche i muri, sia quelli da sopralzare che da realizzare ex novo, hanno altezze analoghe simili.

I terreni nel sottosuolo sono in prevalenza costituiti da limi ed argille, con subordinate sabbie.

La falda è ad una profondità media di 1-2 metri dal p.c.

Per questa fase di progettazione di fattibilità tecnica ed economica è stato utilizzato, per un predimensionamento delle opere, il modello geologico tecnico descritto in precedenza, derivato dalla corposa campagna di indagini per gli interventi sulle arginature del Panaro, dallo stante 0 fino al confine della Provincia di Modena.

Le indagini disponibili, le verifiche ed i sopralluoghi in sito non hanno evidenziato particolari elementi di criticità, tali da compromettere la fattibilità delle opere.



L'assetto geologico dovrebbe essere sufficientemente omogeneo, con la presenza di un elemento di attenzione rappresentato dal meandro abbandonato del fiume Panaro, nelle cui vicinanze si potrebbero rinvenire livelli sabbiosi e/o recenti meno addensati.

A supporto della progettazione definitiva sarà necessario procedere con una serie di indagini e di approfondimenti di carattere geologico, geologico-tecnico, idrogeologico e sismico, al fine di poter affrontare tutte le tematiche connesse alla progettazione geotecnica e precisamente:

- stabilità locale e globale delle opere,
- cedimenti del sottosuolo per le nuove opere,
- possibili fenomeni di filtrazione sotto i nuovi argini,
- pericolosità sismica locale (liquefazione ed amplificazione).

A tale fine è stato sviluppato un piano di indagini specifiche che comprende:

- n° 2 sondaggi a carotaggio con prelievo campioni indisturbati e prove di permeabilità Lugeon in foro;
- analisi di laboratorio sui campioni di terreni, sia per la caratterizzazione (granulometria, limiti di Atterberg, ecc.) sia per i parametri di resistenza;
- n° 8 prove penetrometriche statiche con piezocono, per caratterizzare il sottosuolo in maniera indiretta in termini di deformabilità, resistenza, permeabilità e per le verifiche sismiche sulla potenziale liquefazione;
- n° 2 prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico per la parametrizzazione delle onde P ed S nel sottosuolo.

La profondità di investigazione delle prove è di 15 metri per i sondaggi e le CPTu, in modo da consentire di effettuare le verifiche inerenti il tema della liquefazione.

La profondità è estesa a 30 metri per il cono sismico, per la valutazione della classe di sottosuolo ai fini sismici.

Non sono state previste indagini geofisiche quali HVSR, MAWS e REMI perché la presenza della vicina via Emilia, molto trafficata, potrebbe comportare problemi di acquisizione ed elaborazione dei dati.

Le prove sono state distribuite in modo da investigare tutto il tracciato delle nuove arginature, anche in relazione all'accessibilità dei siti.

I due sondaggi a carotaggio continuo sono stati ubicati verso i due estremi est ed ovest dell'arginatura principale, in modo da verificare la possibile differenza litologica e di comportamento ai fini sismici delle due zone, segnalata dallo studio di microzonazione sismica del Comune di Modena (fig. 23).

Milano, giugno 2019

## I PROFESSIONISTI INCARICATI:

ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI

Dott. Ing. Stefano Croci

ING. CLAUDIO MARCELLO s.r.l.

Dott. Ing. Carlo Claudio Marcello

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

Dott. Geol. Mario Spada

A+C\_ARCHITETTURA E CITTA' STUDIO ASSOCIATO

Arch. Paola Cavallini

A TUTTO PROGETTO – STUDIO ASSOCIATO DEI GEOMETRI  
PAOLO MASSARA E FILIPPO BELLONI SOCIETA' SEMPLICE

Geom. Paolo Massara

SAP SOCIETA' ARCHEOLOGICA S.R.L.

Dott. Agostino Favaro