

AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA

Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma

MO-E-1383-CODICE OPERA N.1392 – CUP:B94H20001600001 – INTERVENTI DI ADEGUAMENTO E MESSA IN SICUREZZA DELLA CASSA DI LAMINAZIONE DEL FIUME SECCHIA ALLA NORMATIVA DPR 1363/59 E DM 26/06/2014.

4° LOTTO FUNZIONALE: COUTILIZZO INVASO AD USO IRRIGUO – CIG:94819039E1

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

**R.02.a – RELAZIONE TECNICA
(ASPETTI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E SISMICI)**

IL RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI:

CAPOGRUPPO MANDATARIA



PER IL R.T.P.:

IL PROGETTISTA GENERALE:
DOTT. ING.
FULVIO BERNABEI

IL CSP:
DOTT. ING.
NICOLA PESSARELLI

IL RUP:

DOTT. ING.
MASSIMO VALENTE

DATA: DICEMBRE 2022

REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	CONTR.	APPR.

INDICE

1	Premesse	3
1.1	Normativa di riferimento	4
1.2	Interventi in progetto	5
2	Indagini geognostiche	10
2.1	Sondaggi	10
2.1.1	<i>Sondaggi a carotaggio continuo</i>	10
2.1.2	<i>Sondaggio a carotaggio continuo orizzontale</i>	11
2.1.3	<i>Sondaggio con prova Down-Hole</i>	11
2.2	Prova Down - Hole	12
3	Inquadramento territoriale	15
3.1	Geologia	15
3.2	Geomorfologia	23
3.3	Idrogeologia	27
3.3.1	<i>Struttura degli acquiferi</i>	27
3.3.2	<i>Dinamica della prima falda</i>	30
3.3.2.1	Campagna misure livelli piezometrici	36
3.3.2.2	Influenza dei livelli idrici e della piovosità sulla falda	39
3.3.2.3	Oscillazioni giornaliere dei livelli di falda	42
4	Studio sismotettonico	44
4.1	Inquadramento geologico regionale	44
4.2	Caratteristiche sismotettoniche	47
4.2.1	<i>Studio sismotettonico della Regione Emilia Romagna</i>	47
4.2.2	<i>Sorgenti sismogenetiche dal DISS 3.3</i>	52
4.3	Storia sismica	55
4.3.1	<i>La sequenza sismica del 2012 in Emilia</i>	61

5	Sismicità	67
5.1	Classificazione sismica del territorio	67
5.2	Categoria di sottosuolo	70
5.3	Coefficienti sismici di progetto	72
6	Caratteri litostratigrafici, idrogeologici	74
7	Interpretazione delle prove in situ e delle analisi	76
7.1	Depositi coesivi	76
7.1.1	<i>Coesione non drenata da pocket penetrometer</i>	76
7.2	Depositi granulari	77
7.2.1	<i>Densità relativa</i>	77
7.2.2	<i>Angolo di attrito interno</i>	77
7.2.3	<i>Modulo elastico</i>	77
8	Modello geotecnico	78
9	Rischio di liquefazione	81

1 Premesse

La presente relazione descrive lo studio geologico, idrogeologico e sismico effettuato a supporto del progetto di fattibilità tecnica ed economica del IV lotto funzionale degli “Interventi di adeguamento e messa in sicurezza della cassa di laminazione del fiume Secchia alla normativa DPR 1363/59 e DM26/06/2014”; lotto che ha la finalità di consentire anche un uso irriguo dell’invaso.

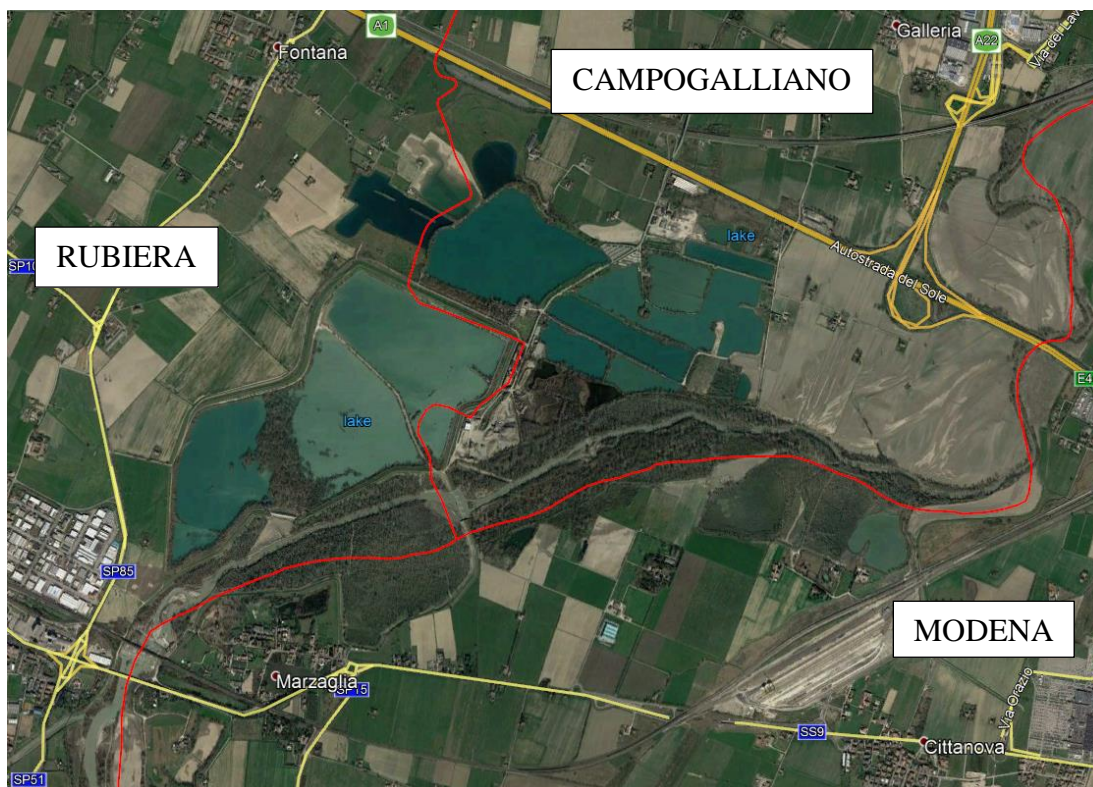


Foto 1 – Cassa di espansione del fiume Secchia (da Google Earth)

Detto studio è stato svolto nel rispetto della normativa vigente, richiamata nel successivo paragrafo 1.1, e in particolare alle “Norme tecniche per le costruzioni”, di cui al Decreto ministeriale 17 gennaio 2018, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018.

Allo scopo, inizialmente, sono state svolte una serie di analisi tematiche relative alle caratteristiche fisiche del territorio in esame, basandosi, su studi precedenti, carte tematiche e rilevamenti diretti di campagna.

Quindi, per la comprensione dell'assetto litostratigrafico, idrogeologico e geotecnico dell'area d'intervento, è stata effettuata un'analisi dei dati derivanti da indagini già effettuate nell'ambito della progettazione dei precedenti lotti.

A supporto dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici;

- Tav. 3.a – Planimetria con ubicazione indagini eseguite
- Tav. 3.b – Carta geologica e geomorfologica
- Tav. 3.c – Carta idrogeologica
- Tav. 3.d – Sezione geologica e idrogeologica
- Tav. 3.e – Profilo geotecnico
- Tav. 3.f – Carta di microzonazione sismica

In calce alla presente relazione sono allegati i report di tutte le indagini geognostiche e geofisiche citate e rappresentate in Tav. 3°.

1.1 Normativa di riferimento

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17-01-2018, Circolare 11 febbraio 2019;
- “Linee-guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe”, prodotte da INGV e diffuse ai Concessionari/Gestori con nota MIT-D.G. Dighe n. 0021530 del 27/09/2018.
- D.G.R. 1164 (2018) – Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna;
- “Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26.06.2014 (NTD14) e al D.M. 17.01.2018 (NTC18). Verifiche Sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari e accessorie”, luglio 2018, a cura della D.G. Dighe del M.I.T.;
- Decreto ministeriale 17-01-2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Decreto ministeriale 26-06-2014 – Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

- Decreto ministeriale 14-01-2008 – Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni Allegati A e B;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007
- Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica – Linee Guida 2005 AGI Associazione Geotecnica Italiana
- O.P.C.M. 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"
- Eurocodice 7.2 (2002) – Progettazione geotecnica –Parte I: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI
- Eurocodice 7.3 (2002) – Progettazione geotecnica –Parte II: Progettazione assistita da prove in sito – UNI
- Circolare P.C.M. 07-04-1999, n. DSTN/2/7311 “Legge 584/1994 Competenze del Servizio Nazionale Dighe. Precisazioni”.
- Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997) – Progettazione geotecnica –Parte I: Regole Generali – UNI
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. 1977 AGI Associazione Geotecnica Italiana

1.2 Interventi in progetto

Come anticipato, le opere in progetto riguardano il IV lotto funzionale degli “Interventi di adeguamento e messa in sicurezza della cassa di laminazione del fiume Secchia alla normativa DPR 1363/59 e DM26/06/2014”, finalizzato a dare all’opera una funzione plurima, in particolare immagazzinando e poi successivamente riutilizzando, per scopi

irrigui, una piccola porzione della risorsa idrica defluita nella vasca a seguito di eventi di piena.

A tal fine il presente progetto di fattibilità tecnico – economica prevede la costruzione (internamente all’invaso laterale) di un impianto di sollevamento operante tra i livelli 40.00 e 41.00 m s.l.m e di una condotta di adduzione, destinati a ottimizzare la capacità del sistema di approvvigionamento e di distribuzione della risorsa irrigua nel bacino del “Canale di Carpi” afferente al comprensorio del Consorzio di Bonifica dell’Emilia-Centrale (CBEC), sito a valle della Via Emilia. In sostanza, l’obiettivo del presente progetto sarà dunque quello di stoccare e movimentare successivamente a fini irrigui un volume complessivo di circa 980.000 m³ di acqua proveniente dalle piene del fiume Secchia nel periodo dell’anno compreso tra il mese di marzo e il mese di giugno; volume, è importante sottolineare, posto totalmente al di sotto della quota del piano campagna corrispondente al piede del paramento di valle delle arginature costituenti la parte emersa della cassa.

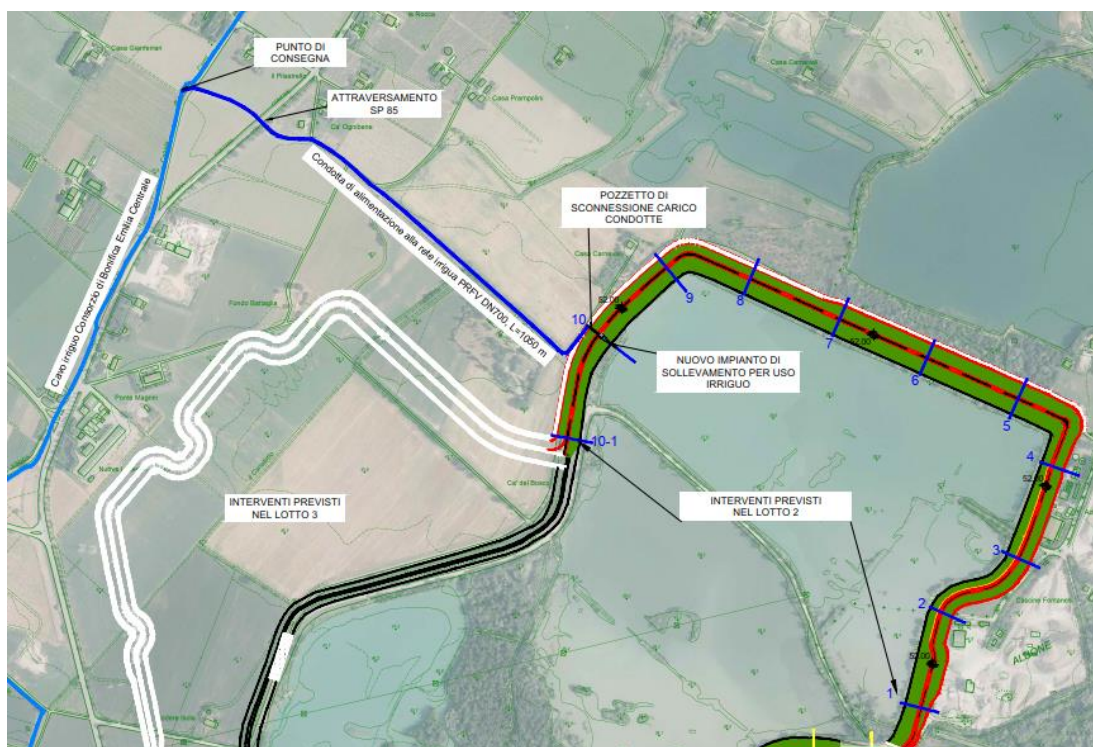


Fig. 1 – Stralcio della planimetria di progetto con indicati gli interventi previsti nel IV lotto

Fatto presente poi, che lo svuotamento dell’intero invaso fino a quota 41.00 m s.l.m. avverrà in concomitanza con il procedere del ramo discendente dell’evento di piena

attraverso le luci di fondo del nuovo manufatto di regolazione (a tal proposito, per dettaglio, vedi quanto riportato nella relazione idraulica allegata al progetto esecutivo dei lavori del 1° lotto MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia ...*omissis*...) e immaginando che il volume destinato all'irrigazione possa venire stoccato nell'invaso durante gli eventi piovosi dei mesi di marzo - aprile, la procedura di svuotamento del bacino in derivazione al di sotto della quota 41.00 m s.l.m., si svilupperà, durante l'anno, secondo le due modalità sinteticamente di seguito descritte.

A) Modalità 1: (ordinaria - da effettuarsi dalla metà di giugno ai primi di marzo)

Lo svuotamento dell'invaso laterale avverrà solo attraverso l'apertura del manufatto di scarico secondo le modalità già in uso oggi presso il gestore dell'opera, fino al raggiungimento del livello di invaso "vuoto" posto a quota 40.00 – 39.50 m s.l.m.

B) Modalità 2: (straordinaria - da effettuarsi dai primi di marzo alla metà di giugno)

Lo svuotamento dell'invaso laterale avverrà attraverso il funzionamento del manufatto di sollevamento proposto nel presente progetto, che permetterà di erogare nel comprensorio del Consorzio di Bonifica dell'Emilia-Centrale (CBEC) fino ad una portata massima di 400 l/s.

È importante sottolineare che, l'utilizzo dell'invaso ai fini irrigui sarà comunque subordinato a quello di difesa idraulica e non interferirà con quest'ultimo. Infatti, non potendo escludere a priori che in tale periodo si possano verificare eventi che richiedano l'utilizzo dell'intera capacità dell'invaso di laminazione, è stato previsto che, a seguito di allerta, l'utilizzo per uso irriguo venga sospeso e si proceda con l'immediato svuotamento dell'accumulo presente al momento, fino a che non si raggiungano le condizioni di livello previste per l'invaso "vuoto" (39.50 m s.l.m.).

La suddetta procedura prevederà di utilizzare il monitoraggio continuo delle condizioni meteo e dei sistemi di allerta e previsione delle piene in uso presso AIPO (FEWS - Flood Early Warning System), tramite il quale, a fronte di una ipotesi di pioggia sul bacino, risulterà possibile ottenere una stima dell'entità della portata di piena transitabile in corrispondenza di varie sezioni del corso del Secchia, tra cui una posta in prossimità dell'invaso.

In presenza dunque di una previsione di piena nelle successive 48 ore, che stimi il raggiungimento di una portata a Rubiera pari o superiore a $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (valore cautelativo rispetto al valore di $750 \text{ m}^3/\text{s}$ per l'attivazione dell'invaso laterale), si procederà all'immediato svuotamento del bacino tramite l'apertura dell'esistente scarico di fondo, riportandosi così nelle condizioni di svuotamento previste dalla modalità A prima descritta.

In estrema sintesi, all'interno del lotto IV, sono previsti i seguenti interventi:

- nuovo impianto di sollevamento con 2 pompe sommerse centrifughe;
- manufatto in cls contenente l'impianto di sollevamento e la condotta di attraversamento dell'argine, comprensivo di un pozzo per accedere all'attrezzatura e di un pozzetto di sconnessione e carico condotta adduttrice;
- condotta adduttrice PRFV DN700, della lunghezza di 1050 m fino al punto di consegna nel cavo del Consorzio di Bonifica Emilia Centrale

Coerentemente con quanto disposto dalle NTC 2018 (Cap. 2.4), in accordo con i progettisti, sono stati definiti i seguenti parametri di progetto:

- VITA NOMINALE: “Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni o di importanza strategica” la cui vita nominale è $V_n \geq 100$ anni (come definito dalla Tab. 2.4.I delle N.T.C. 01/2018);
- CLASSE D'USO: Classe III: “Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso” (come definito dal paragrafo 2.4.2 delle N.T.C. 01/2008);
- PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA: Considerata la classe d'uso III, il coefficiente d'uso è $C_u = 1.50$ (cfr. Tab. 2.4.II delle N.T.C. 01/2018), e di conseguenza la Vita di riferimento è $V_R = V_N \cdot C_u = 150$ anni.

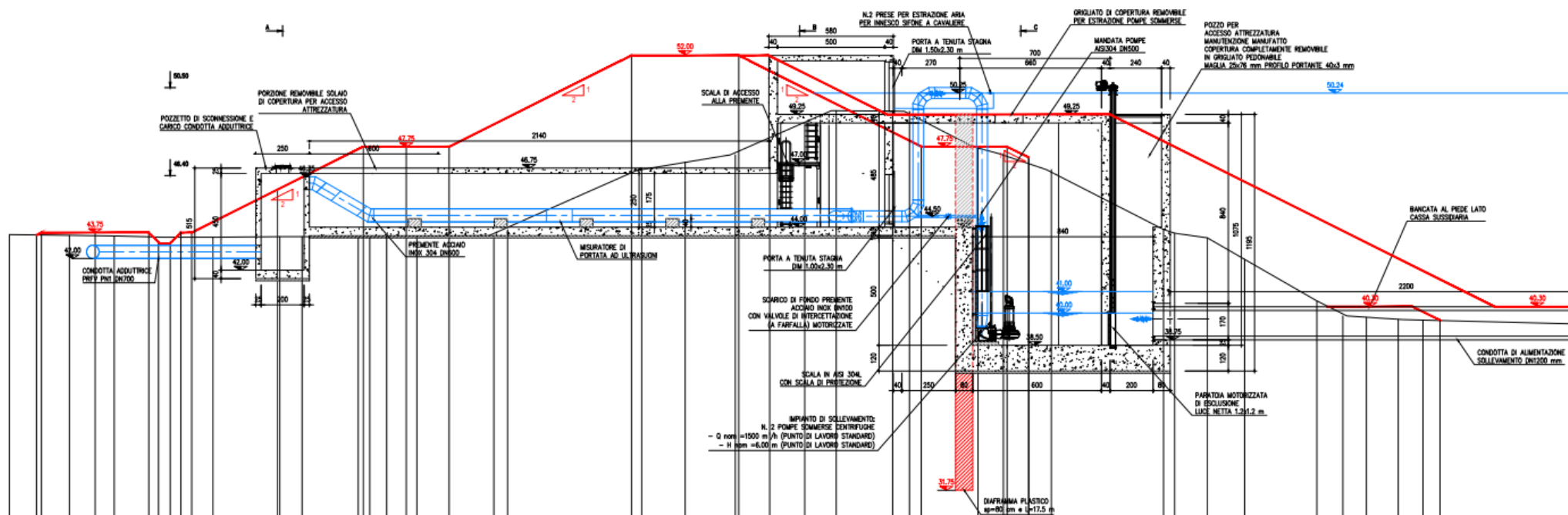


Fig. 2 – Stralcio della sezione di progetto raffigurante l'impianto di sollevamento e l'attraversamento arginale previsti nel IV lotto

2 Indagini geognostiche

Per poter ricostruire le caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni dell'area oggetto di studio, sono stati esaminati i dati derivanti da campagne d'indagini pregresse o effettuate nell'ambito della progettazione dei precedenti lotti, descritte nei paragrafi successivi.

La loro ubicazione è raffigurata in Tav. 3.a – Planimetria con ubicazione indagini, mentre, i relativi report sono allegati in calce alla presente relazione.

2.1 Sondaggi

Sono stati considerati diversi tipi di sondaggio con differenti finalità che verranno illustrate nelle specifiche descrizioni:

- sondaggi a carotaggio continuo (4);
- sondaggi a carotaggio continuo orizzontali (1);
- sondaggi con prova *down-hole* (1).

2.1.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Per la conoscenza delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nell'area oggetto d'intervento sono stati considerati 4 sondaggi a carotaggio continuo.

In Tab. 1, per ciascun sondaggio sono riportati:

- anno
- codice
- ditta esecutrice
- posizione
- quota in m s.l.m.
- massima profondità raggiunta in m

anno	codice	ditta esecutrice	posizione	quota (m.s.l.m.)	profondità (m)
1976	S10_Magispo_Ril	SO.RI.GE. s.r.l.	p.c.	42.90	30.0
2006	S4_AiPo_Pz	Citiemme s.r.l.	p.c.	43.13	25.0
2006	S6_AiPo_Pz	Citiemme s.r.l.	sommità	50.00	25.0
2018/19	D_6_S_3	Elletipi/Socotec Italia ¹	sommità	49.50	39.0

Tab. 1– Tabella riepilogativa dei sondaggi a carotaggio continuo

2.1.2 Sondaggio a carotaggio continuo orizzontale

Nell'ambito della progettazione dei lotti precedenti, laddove era emersa la presenza di un nucleo ghiaioso all'interno dei rilevati arginali, sono stati realizzati alcuni sondaggi orizzontali per verificare lo spessore di materiale fine, a copertura di tale nucleo.

Tra questi, tutti effettuati da Elletipi/Socotec nel 2019, l'unico a ricadere nell'area d'interesse del presente studio è il D_6_SO_4, con quota di 44.43 m s.l.m. e profondo 5 m.

2.1.3 Sondaggio con prova Down-Hole

Nell'ambito della campagna effettuata a corredo del progetto definitivo dei lotti I, II e III, tra le varie indagini, in corrispondenza della spalla del manufatto di derivazione nell'invaso laterale, è stato effettuato anche il sondaggio BS1-DH, spinto fino alla profondità di 50 m e attrezzato con un tubo in PVC del diametro di 3 pollici.

Tale tubo è stato reso solidale con il terreno mediante cementazione con boiacca di cemento, iniettata mediante pompa a bassa pressione.

¹ La campagna di indagine 2018-2019 è stata affidata da AIPO alla ditta Elletipi s.r.l. che nel marzo 2019 è stata assorbita per incorporazione in Socotec Italia S.r.l.. Pertanto i primi certificati della campagna di indagine sono intestati Elletipi, mentre i successivi sono intestati Socotec Italia.

Una volta che il cemento ha fatto presa, si è proceduto all'esecuzione della prova sismica del tipo Down-Hole descritta nel successivo paragrafo 2.2.

2.2 Prova Down - Hole

La prova Down-Hole è stata eseguita con cadenza delle misure pari ad un metro, dal p.c. fino a fondo sondaggio, ad una profondità di 80 metri, utilizzando un sismografo collegato ad un geofono da foro tridimensionale con almeno una terna di geofoni orientati secondo gli assi $x - y - z$.

Gli impulsi sismici sono stati originati con procedure specifiche in modo da generare, oltre alle onde di compressione (Onde P), anche onde a componente di taglio orizzontale (onde SH), essendo queste utilizzabili per la determinazione del Modulo dinamico G_0 e del Modulo di Young E.

Le prove sismiche *Down-Hole* sono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo).

Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio elettromeccanico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 1 m).

Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungono il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato. Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di

compressione e l'energia dell'onda trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto.

L'analisi interpretativa dei dati prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

L'interpretazione dei dati così acquisiti consente di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde sia di pressione che di taglio in funzione della profondità.

Durante lo studio dei dati a disposizione ottenuti dall'elaborazione della prova *Down-Hole* sono stati riscontrati disturbi circostanti, dovuti ad una posizione del sondaggio limitrofa a zone di grande traffico.

In Fig. 3 viene riportato il grafico, in funzione della profondità della velocità delle sole onde S derivate dall'elaborazione della prova, necessarie per determinare la categoria sismica del sottosuolo.

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio, sotto il piano di posa della fondazione e fino al substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s. ($V_{s,eq}$), è definita come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e V_i sono lo spessore e la velocità delle onde dello strato i-esimo fondazione, N il numero degli strati e H la profondità del substrato.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, come in questo caso, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso in esame, considerando cautelativamente i 30 m partendo dal piano di fondazione del manufatto (circa 8 m), si è determinata una $V_{s,30}$ pari a **304 m/s**, a cui consegue che il terreno è classificabile in **categoria C**: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti".

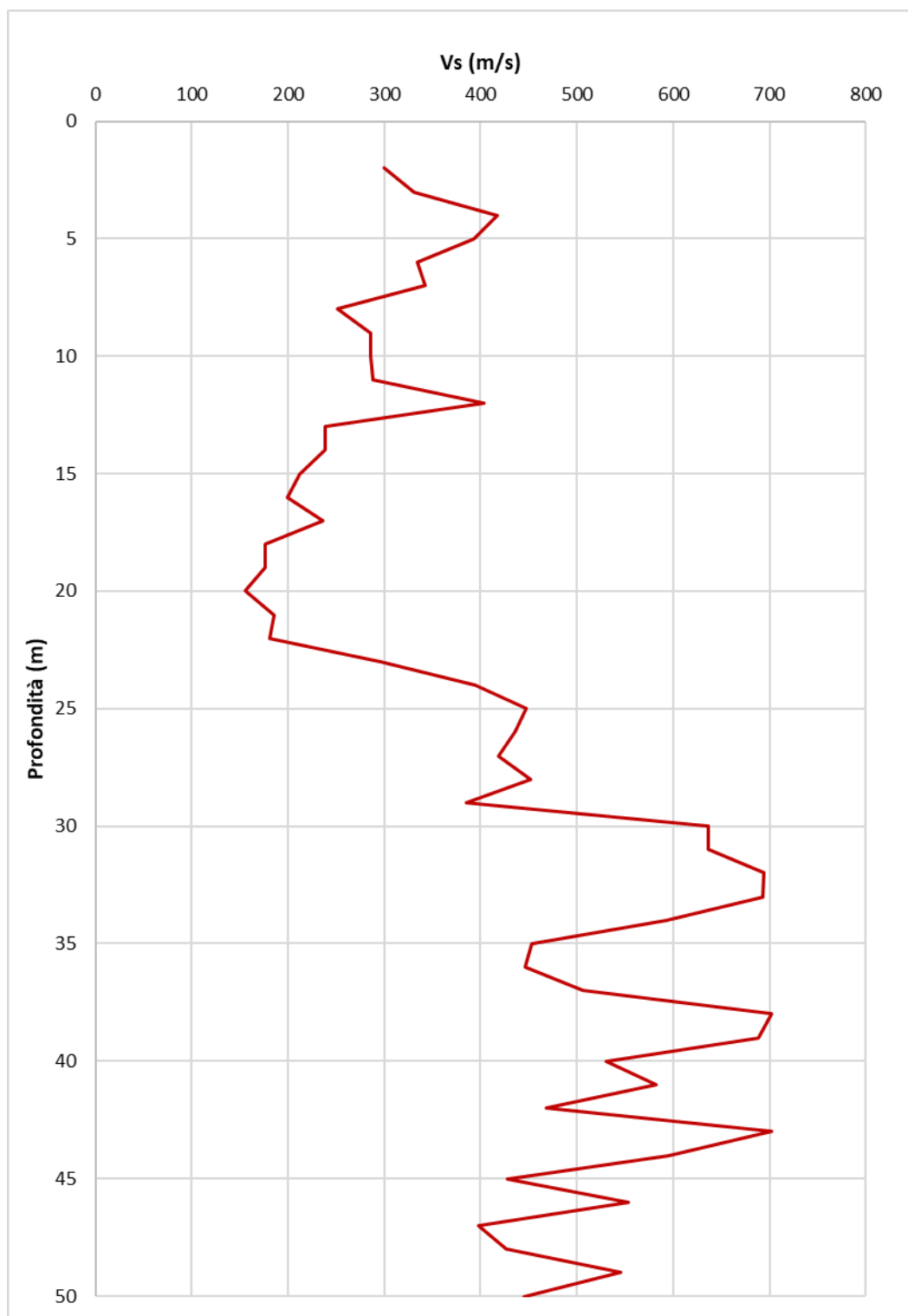


Fig. 3 – Valori di Vs in funzione della profondità misurati con la prova Down-Hole

3 Inquadramento territoriale

3.1 Geologia

L'area in esame, dal punto di vista geologico, ricade nella pianura modenese, la quale, a sua volta, è compresa in quella emiliano-romagnola che costituisce il settore meridionale della pianura padana, la più grande piana alluvionale d'Italia, formata dai depositi del fiume Po e dei suoi affluenti.

Essa ha cominciato a formarsi nel Pleistocene medio, circa 500.000 anni fa, quando, a seguito del sollevamento in atto, il mare si è spostato dal margine appenninico, via via sempre più verso est, sino alla sua attuale posizione.

Il sottosuolo è contraddistinto da un forte accumulo di sedimenti alluvionali quaternari che appoggiano, con discontinuità a discordanza semplice, sul substrato di sedimenti marini del pliocene superiore e del pleistocene inferiore.

Tale corpo sedimentario è il risultato dell'evoluzione dei corsi d'acqua, legata sia alle variazioni climatiche pleistoceniche sia ai recenti movimenti tettonici della zona di margine, vale a dire di quella fascia interposta tra la Pianura s.l. in abbassamento e l'Appennino in sollevamento.

È possibile riconoscere nella Pianura dell'Emilia-Romagna alcuni ambienti deposizionali: le conoidi alluvionali sono tipiche della zona pedeappenninica, ad esse fa seguito la piana alluvionale, che passa verso costa alla piana deltizia del fiume Po ed alla piana costiera.

I sedimenti di questi ambienti deposizionali sono costituiti prevalentemente da: ghiaie nelle conoidi alluvionali; sabbie, limi ed argille nella piana alluvionale; sabbie nella piana deltizia e costiera.

L'assetto geostrutturale delle formazioni prequaternarie è caratterizzato da una successione plicativa ad anticlinali e sinclinali spesso fagliate e sovrascorse, con assi a vergenze appenniniche (cfr. Fig. 4).

In tale schema la pianura Modenese è caratterizzata da due distinti fasce di *thrust*: il primo, più meridionale, detto fronte di accavallamento appenninico (P.T.F.),

costituisce il limite della catena appenninica affiorante; il secondo, detto fronte di accavallamento esterno (E.T.F), definisce il limite dell'Appennino sepolto, rappresentato dalle strutture anticlinali delle pieghe ferraresi.

L'andamento strutturale dell'Appennino sepolto può essere interpretato come effetto di una compressione e di un raccorciamento crostale che, secondo i moderni schemi geodinamici, risulta legato ad un doppio fenomeno di subduzione e/o ispessimento della crosta. In tale quadro d'insieme si giustifica lo sviluppo della rete idrografica maggiore che risulta conforme ai principali assi di sinclinali sepolte.

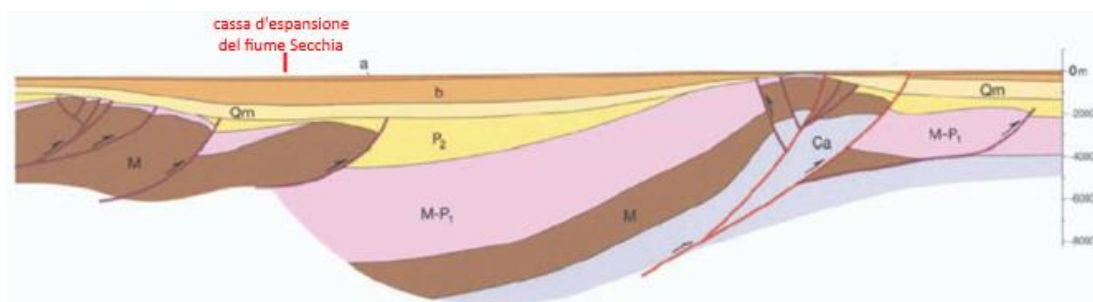


Fig. 4 - Sezione geologica della pianura modenese dal Fronte di accavallamento pedeappenninico (PTF) al Fronte di accavallamento esterno (ETF) (da Boccaletti e al., 2004)

La pianura emiliano-romagnola è caratterizzata da due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, originata dal fiume Po; la seconda, trasversale, nordest-vergente, originata dai sistemi di alimentazione appenninica.

Sulla base delle direzioni di progradazione possono essere individuate le seguenti classi di sistemi deposizionali:

- pianura pedemontana ad alimentazione appenninica
- pianura alluvionale ad alimentazione appenninica
- pianura alluvionale di alimentazione assiale (paleo Po)

L'area in esame ricade nel settore più settentrionale del sistema deposizionale di pianura pedemontana ad alimentazione appenninica (conoide del fiume Secchia) al passaggio con la pianura alluvionale sempre ad alimentazione appenninica.

Il rapporto tra materiali grossolani e fini, elevato nella zona di alta pianura, decresce linearmente procedendo verso valle e verso le zone più interne delle aree perifluviali (zone d'interconoide).

I sedimenti sono organizzati in grandi sistemi di conoide alluvionale, dove le litologie grossolane (ghiaie e sabbie) costituiscono estesi corpi tabulari, interdigitati da cunei di materiali essenzialmente fini (limi e argille).

In altri termini la “Pianura pedemontana” è il frutto della coalescenza dei sistemi di conoide alluvionale e delle zone d’interconoide.

A scala padana la successione quaternaria ha un forte carattere regressivo con sabbie e peliti torbiditiche alla base, seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

In conformità con quanto assunto dal Servizio Geologico e cartografico della Regione Emilia-Romagna, le unità stratigrafiche definite ed utilizzate nel presente studio rientrano nella classe delle Sequenze Deposizionali *sensu Mitchum et Al.* (1977).

Dal punto di vista gerarchico si distinguono due Sequenze Principali (Supersintemi secondo la terminologia delle U.B.S.U.) denominate come segue:

- Supersintema del Quaternario Marino, costituito da terreni paralici e marini depositi tra il Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore.
- Supersintema Emiliano-Romagnolo, costituito da depositi di ambiente continentale depositi a partire da 800.000 anni BP.

Attraverso lo studio dei profili sismici, delle analisi di facies dettagliata di sezioni affioranti e pozzi per la ricerca di idrocarburi, il Supersintema Emiliano-Romagnolo è stato suddiviso in SD minori denominate, Sintema Emiliano–Romagnolo Inferiore (AEI), e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES).

Queste due unità sono separate, in corrispondenza del margine appenninico, da una superficie di discontinuità, spesso con discordanza angolare ed erosione, testimonianza di una fase tettonica regionale, databile 450.000 anni BP.

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore risulta, a sua volta, suddiviso in subsintemi identificabili in affioramento mediante caratteristiche morfo-pedostratigrafiche: si tratta, infatti, di depositi di conoide alluvionale, terrazzati, le cui ultime superfici deposizionali, ora relitte, poste a quote diverse e separate da scarpate erosive, presentano evoluzione pedostratigrafica differente.

Gli stadi sedimentari dei subsintemi risultano principalmente legati al succedersi delle oscillazioni climatiche avvenute nel quaternario e in misura minore alla modesta

attività tettonica rilevata. Per i corsi d'acqua che hanno edificato questa porzione di pianura ebbero grande significato soprattutto le fasi iniziali delle glaciazioni, durante le quali il progredire dei climi freschi e piovosi favoriva fasi di abbondante sedimentazione lungo i corsi d'acqua. In questo periodo i torrenti appenninici crearono ai piedi dei rilievi estese conoidi e piane alluvionali. I periodi glaciali furono caratterizzati dall'abbassamento del livello marino e questo produsse un aumento della capacità erosiva dei torrenti quaternari, che incisero i depositi delle precedenti fasi iniziali delle glaciazioni. In questo modo le antiche piane alluvionali e le estese conoidi furono successivamente incise dai corsi d'acqua e rimasero come superfici relitte sospese sui fondivalle formando i pianori che vengono detti terrazzi. Infine, tra una glaciazione e l'altra, si registra il minimo dell'attività fluviale e conseguente retrogradazione della conoide alluvionale.

Ciascun subsintema è stato deposto per un arco temporale di 125.000-128.000 anni, corrispondente alla durata di un ciclo glaciale. Al suo interno, ad una fase iniziale di intensa sedimentazione di materiale per lo più grossolano, segue un periodo contraddistinto da prevalente erosione e minore deposizione di materiale più fine (argilla e limo).

Come raffigurato in Tav. 3.b – Carta geologica e geomorfologica, le litologie affioranti, che costituiscono il terreno di fondazione degli argini della cassa d'espansione e quelli in cui sarà posizionata la condotta adduttrice prevista nel IV lotto, sono riferibili all'unità di Modena" (AES8a), sottounità del subsintema di Ravenna (AES8), prevalentemente costituita da depositi fluviali grossolani, ghiaiosi, alternati a sabbie e limi, di età post-romana.

Lo spessore massimo dell'unità è di circa 10 metri. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di centimetri).

Il contatto di base con i subsintemi più antichi è erosivo, mentre, il limite di tetto è una superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente alla superficie topografica.

La dinamica fluviale, influenzata dall'attività tettonica e dalle variazioni climatiche, ha dato origine, nell'area d'interesse a vari ordini di terrazzi. Sono chiaramente riconoscibili i depositi in evoluzione (b1) che costituiscono l'alveo attuale, un primo

terrazzo di primo ordine, che coincide con la conoide attuale, su cui si sviluppa gran parte della cassa oggetto d'intervento, posto a quote superiori di qualche metro rispetto all'alveo attuale, e terrazzi più esterni, corrispondenti con la conoide recente e la zona di transizione tra conoide e media pianura (cfr. Fig. 5 e Fig. 6).

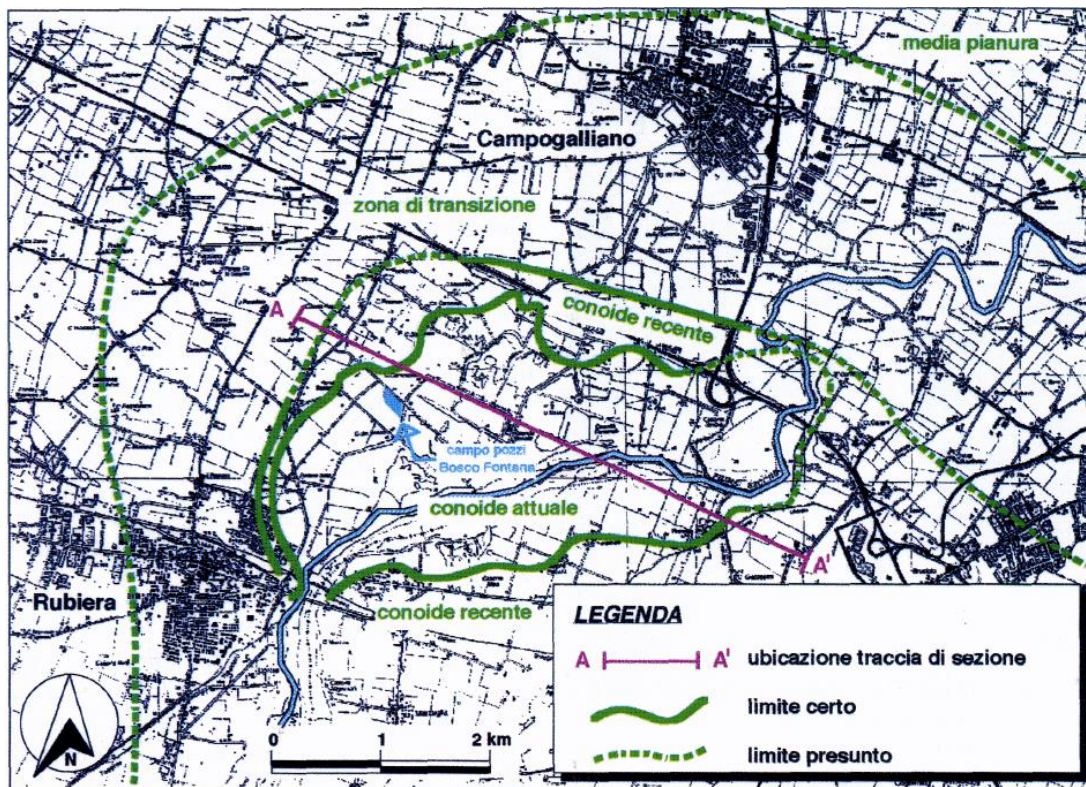
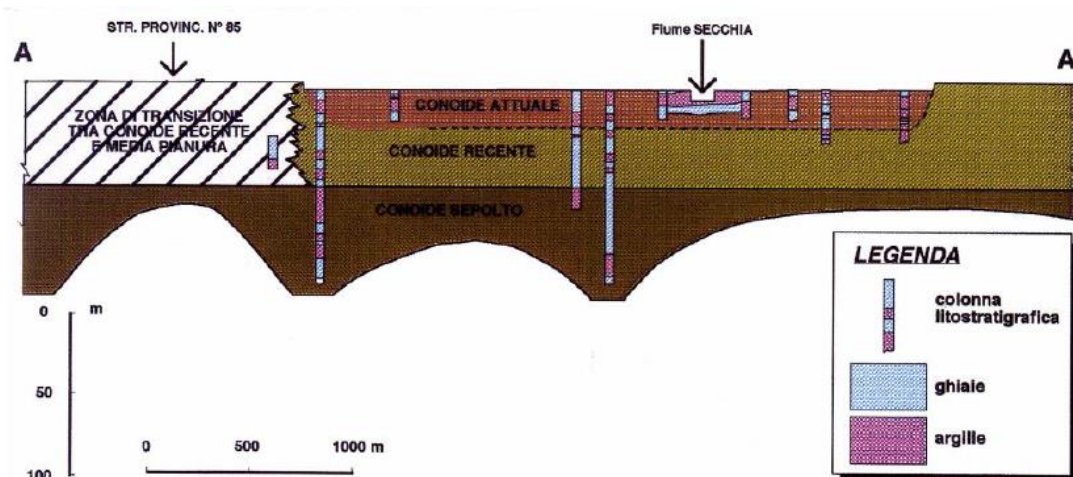


Fig. 5 – Planimetria della porzione nord-occidentale del conoide del fiume Secchia (da Studio geologico-minerario per la Variante Generale 2016 al PAE del Comune di Rubiera)



**Fig. 6 – Sezione geologica schematica della porzione nord-ovest del conoide del fiume Secchia
(da Comune di Carpi, 1995 - Relazione sullo stato dell'ambiente a Carpi. 1990 -1994)**

I depositi più superficiali del terrazzo del primo ordine sono costituiti prevalentemente da depositi di canale, argine e rotta fluviale, prevalentemente limoso-sabbiosi e, in subordine, ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, riferibili, come già indicato, all'unità di Modena (AES8a); i depositi dei terrazzi più antichi sono costituiti da depositi di tracimazione, in prevalenza limi sabbiosi e argillosi, riferibili all'unità di Modena (AES8a) e al subsistema di Ravenna (AES8).

Relativamente ai depositi più profondi risulta interessante esaminare la sezione raffigurata in Fig. 7, la cui traccia è riportata in Fig. 8, stralcio della Sezione 52 e della Sezione tratta dal sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna.

Da essa, si evince che i depositi del ciclo deposizionale più recente (AES) hanno una potenza di poco inferiore ai 200 m, mentre la base del ciclo deposizionale più antico si incontra ad una profondità di oltre 300 m.

Questo forte spessore di depositi alluvionali si spiega con la posizione strutturale dell'area, localizzata sul fianco settentrionale dell'anticlinale dovuta all'attività dell'insieme strutturale costituito dal *thrust* pedeappenninico e dalle Pieghe Emiliane e che determina la rapida immersione verso nord del substrato marino.

Il substrato dei depositi continentali è costituito da sedimenti costieri e lagunari, prevalenti sabbie e ghiaie alternate a depositi fini, riferibili alle Sabbie di Imola o Sabbie Gialle Auctt., di età compresa tra 800.000 e 650.000 anni (parte inferiore del Pleistocene medio).

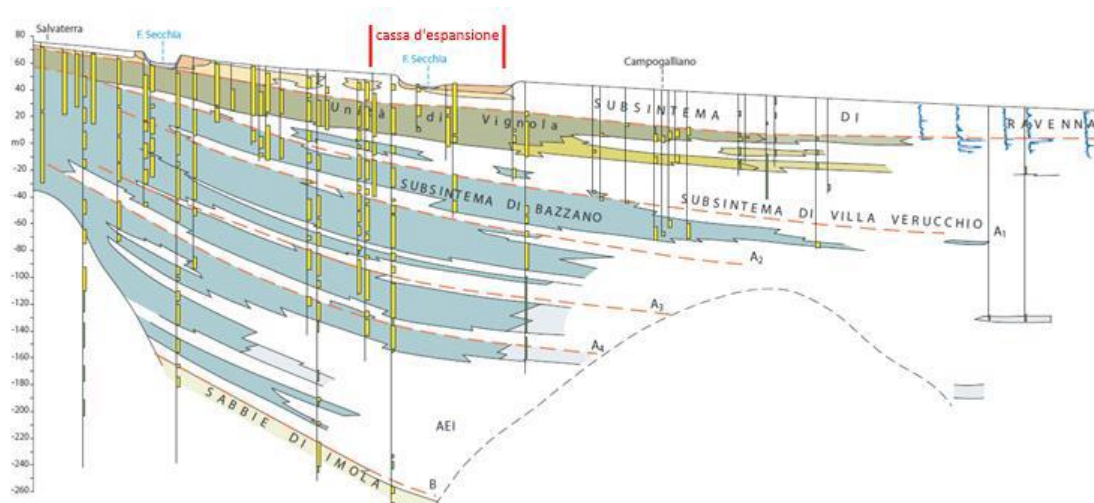


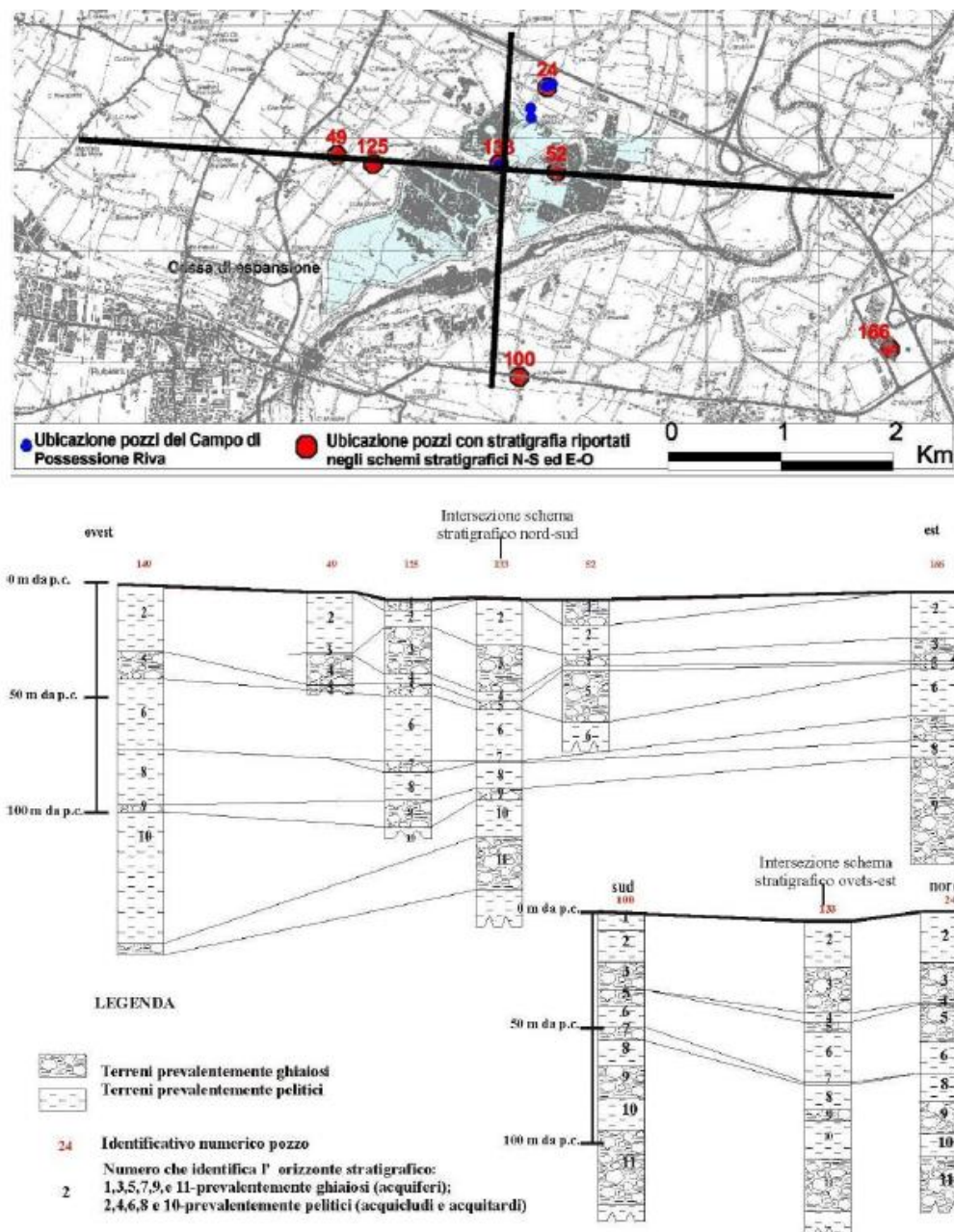
Fig. 7 – Stralcio della Sezione 52 scaricata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna



Fig. 8 – Traccia della Sezione 52 (in rosso) un cui stralcio è riportato in Fig. 7 (da sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna)

Per l'assetto stratigrafico dell'areale in esame, riferito ai primi 100÷120 m di profondità, si può, in prima battuta, fare riferimento allo Studio geologico-minerario per la Variante Generale 2016 al PAE del Comune di Rubiera (RE), in cui, basandosi

sui dati di pozzi per acqua, sono state raffigurate due sezioni, una con andamento est-ovest, l'altra nord-sud (cfr. Fig. 9).



Rimandando allo studio sopraccitato per quanto attiene una possibile correlazione tra le unità litologiche individuate nelle sezioni e le unità stratigrafiche “formali”, in

questa sede, ci si limita a evidenziare la forte variabilità delle caratteristiche tessiturali dei sedimenti che costituiscono il sottosuolo in esame.

3.2 Geomorfologia

Gli eventi morfogenetici, responsabili dell'attuale assetto del territorio oggetto di studio, sono riconducibili essenzialmente alla dinamica fluviale del periodo pleistocenico ed olocenico, alla quale, nel periodo storico, si è sovrapposta l'attività antropica mirata alla stabilizzazione e alla modellazione delle superfici del suolo compatibilmente alle esigenze economiche, produttive ed insediative.

Le interazioni tra i vari fattori morfogenetici hanno dato luogo ad un paesaggio relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane debolmente degradanti verso nord-est con gradiente topografico estremamente basso.

Le aree di pertinenza di corsi d'acqua (in particolare il fiume Secchia) sono rimaste le uniche in cui si osserva una evoluzione morfologica dipendente da fattori naturali.

Al contrario, la pianura circostante esprime il congelamento di una situazione originatasi antecedentemente alla limitazione degli alvei fluviali entro percorsi prefissati, in cui le opere di bonifica agraria, infrastrutturazione ed insediamento hanno conferito alla superficie topografica un assetto costante ed uniforme livellando tutte le asperità del terreno.

I pochi rilievi presenti sono costituiti dai rilevati stradali, dai ponti e dagli argini dei corsi d'acqua.

Come anticipato nel paragrafo precedente, in zona, sono presenti vari ordini di terrazzi: alle quote inferiori si trovano i depositi in evoluzione dell'alveo attuale; quindi, un primo terrazzo recente; a seguire, un terrazzo di primo ordine, su cui si sviluppa gran parte della cassa oggetto di studio, posto a quote superiori di qualche metro rispetto all'alveo attuale, e, infine, altri terrazzi più antichi.

Sempre da un punto di vista geomorfologico, l'area in esame si colloca nella porzione occidentale della conoide del fiume Secchia che, con la tipica forma a ventaglio molto piatta, si estende da Sassuolo (a Sud) fino a Campogalliano (a Nord) e presenta

gradienti medi dello 0,7% nella parte apicale (sino ad una quota topografica di circa 50 m s.l.m.) e dello 0,3% nella parte distale.

La terminazione frontale della conoide, a Nord, è marcata dalla presenza di un orlo di scarpata, con altezze massime dell'ordine dei 4÷5 m che viene denominata localmente “orlo del Rivone”.

La cassa di espansione del fiume Secchia è stata realizzata fra il 1975 e il 1978, su una zona compresa in area di affioramento di alluvioni ghiaiose e sabbiose, antiche, interessata da cave di inerti, ai due lati di un tratto di fiume precedentemente caratterizzato da attività di deposito e con alvei multipli, in treccia, ma, a partire dagli anni 1950÷1960 con attività erosiva e formazione di canale unico.

Il cambiamento della attività morfogenetica del fiume è stato determinato dalle attività estrattive di sabbie e ghiaie dall'alveo, condotte nella pianura a valle del margine dell'appennino.

La stessa zona della cassa di espansione era interessata, da tempo, da importanti cave. Subito a monte della cassa di espansione la presenza di due briglie limita l'apporto residuo di alluvioni grossolane e, attualmente, il fiume scorre in un alveo unico, canalizzato, entro depositi alluvionali depositati in occasione delle inondazioni della cassa stessa, con sponde interessate da erosione laterale.

A riguardo, di particolare interesse ai fini del presente studio è l'erosione che interessa, per un centinaio di metri, la sponda destra del corso d'acqua, in corrispondenza della sezione arginale 38, nell'unica zona in cui il rilevato risulta praticamente in frodo; a contrastare la quale è stata posizionata una difesa in massi ciclopici (cfr. Foto 2).



Foto 2 – Vista aerea (da *Google Earth*) dell’erosione della sponda destra del fiume Secchia in un tratto in cui l’argine della cassa d’espansione è praticamente in frodo

Al termine delle piene che inondano la cassa di espansione avviene il deposito di sedimenti fini, sabbie, limi e argille e accumulo di legname flottante.

Nella zona in destra del fiume, nella cassa di espansione in linea, a partire dell'entrata in funzione della cassa stessa, è avvenuto il deposito di alluvioni che ha determinato l'innalzamento del fondo, di circa 6 m nella zona prossima al manufatto di regolazione e di circa 4÷2 m nella parte a monte.



Foto 3 – Depositi alluvionali post 1978 all'interno della cassa in sponda destra

Tale innalzamento risulta essere avvenuto prevalentemente negli ultimi 20÷25 anni, probabilmente con velocità crescente nel tempo. Ciò può spiegarsi con la presenza delle cavità di cava sul fondo originario, che hanno assorbito l'alluvionamento iniziale e anche con la progressiva invasione del bosco e della vegetazione del sottobosco, che determina minore velocità di deflusso delle acque invasate e minore capacità di trasporto di materiale solido da parte delle acque uscenti dalla cassa. Ulteriore causa del rallentamento della velocità della corrente in uscita può essere la tendenza all'ostruzione della bocca di uscita di destra, determinata dall'accumulo di sedimenti subito a monte della stessa.

La cassa d'espansione si estende prevalentemente in sinistra e, più limitatamente, in destra idrografica del Fiume Secchia, subito a valle di Rubiera (RE), ed è orientata, approssimativamente, in direzione SW-NE.

Il bacino d'invaso è caratterizzato dalla presenza di un'arginatura perimetrale e di un'arginatura interna parallela all'alveo, cosicché risulta suddiviso in 2 vasche distinte: una di dimensioni minori, che si sviluppa lungo l'asta fluviale ed è delimitata a valle dal manufatto regolatore, l'altra, di dimensioni maggiori, posta nel settore nord-

orientale, con presenza di 3 bacini lacuali con livello medio dell'acqua a quota 39,50 m s.l.m.

La quota di coronamento delle arginature maestre è di circa 49,50 m s.l.m.

Altre cave sottofalda non più in attività sono ubicate nella zona appena a nord della cassa, prima del rilevato dell'autostrada A1.

Relativamente alla problematica data dalla presenza, all'interno della cassa, di sedimento fine e dalla sempre maggiore tendenza a trattenerne di nuovo, nel 2018 è stato eseguito un primo intervento di manutenzione straordinaria che ha previsto l'asportazione di depositi alluvionali post 1978, della cassa in linea, nella zona subito a monte della parte destra della traversa di regolazione.

3.3 Idrogeologia

3.3.1 Struttura degli acquiferi

Le caratteristiche degli acquiferi del territorio in esame vanno inquadrare nel modello evolutivo tridimensionale, idrogeologico e stratigrafico, dell'intera Pianura Padana Emiliano-Romagnola.

Secondo i più recenti studi (cfr. Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998) si distinguono, sia in superficie che nel sottosuolo 3 Unità Idrostratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C, a loro volta suddivise in 12 unità, gerarchicamente inferiori, denominate Complessi di Acquiferi (cfr. Fig. 10). Esse affiorano sul margine meridionale del Bacino Idrogeologico della Pianura per poi immergersi verso nord al di sotto dei sedimenti depositati dal fiume Po e dai suoi affluenti negli ultimi 20.000 anni, contenenti acquiferi di scarsa estensione e potenzialità (Acquifero Superficiale).

Ciascun Gruppo Acquifero risulta idraulicamente separato, almeno per gran parte della sua estensione, da quelli sovrastanti e sottostanti, grazie a livelli argillosi di spessore

plurimetrico sviluppati a scala regionale, denominati Barriere di Permeabilità Regionali.

Al suo interno ogni Gruppo è composto da serbatoi acquiferi sovrapposti e giustapposti, parzialmente o totalmente isolati tra loro, suddivisi, in senso orizzontale, in Complessi Acquiferi, da barriere di permeabilità costituite da corpi geologici decimetrici, a prevalente granulometria fine, interpretabili come sistemi deposizionali interdeltizi o di interconoide e bacino interfluviale.

Nella zona in esame il Gruppo Acquifero A risulta affiorante o subaffiorante ed è caratterizzato da ghiaie e ciottoli dominanti.

Il Gruppo Acquifero A è ulteriormente suddivisibile in 5 Complessi Acquiferi, riferibili ad altrettante Unità Idrostratigrafiche-Sequenziali: il Complesso Acquifero A₀, il Complesso Acquifero A₁, il Complesso Acquifero A₂, il Complesso Acquifero A₃ e il Complesso Acquifero A₄.

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE					ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE							
AFFIORANTI			SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO						
QUATERNARIO CONTINENTALE	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI CIVATELLO	UNITA' DI VILLA DEL BOSCO	UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	ORIZZONTE DI FORSOLO	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE 0.125	A	A1
														A2
														A3
														A4
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	MILAZZANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1
														B2
														B3
														B4
P2	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE	PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.65	~0.8	~1.0	~2.2	~3.3-3.6	~3.9	0.89 PLEISTOCENE INFERIORE 1.72 PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE 3.55 PLIOCENE INFERIORE MIOCENE	C	C1
														C2
														C3
														C4
														C5
ACQUITARDO BASALE														

Fig. 10 – Schema idrostratigrafico della Pianura Emiliano-Romagnola

Nella sezione riportata in Fig. 7 a pag. 21, in corrispondenza della cassa d'espansione del fiume Secchia, sembrerebbe che, in superficie, sia presente un serbatoio, sede della prima falda, di spessore inferiore ai 10 m, sovrastante un importante sistema acquitardo che lo separa dagli acquiferi sottostanti. In effetti il quadro idrostratigrafico, esaminato con maggior dettaglio, alla luce delle numerose indagini effettuate, risulta più complesso, come verrà descritto nel capitolo 4.

In generale, facendo riferimento alla Relazione geologico-tecnica redatta da AIPO a supporto del Progetto Preliminare dei “Lavori di laminazione del fiume Secchia”, *sono stati riconosciuti due sistemi acquiferi principali che possono essere differenziati, nella porzione di studio, come di seguito riportato:*

- 1) sistema acquifero superficiale;
 - 2) sistema acquifero profondo.
- 1) Il sistema acquifero superficiale si identifica a partire dal p.c. sino ad una profondità di circa 50-60 m dal p.c. e risulta costituito da un orizzonte di ghiaie prevalenti che, in direzione Nord, tende a compartimentarsi in più orizzonti ghiaiosi, separati tra loro da lenti limoso-argillose che, localmente, possono creare condizioni di confinamento-semiconfinamento delle falde ivi contenute. In corrispondenza di questo sistema acquifero sono localizzati solo i filtri più superficiali dei pozzi acquedottistici di Bosco Fontana e del nuovo pozzo P5 posto a Nord della cassa d'espansione; mentre è concentrato tutto il prelievo ad opera dei pozzi del campo acquedottistico di Fondo Albone (Possessione Riva). In quest'ultimo campo pozzi si rinviene nei primi 20 m del sottosuolo la presenza di litologie prevalentemente fini (limoso-argillose), dal momento che tali pozzi ricadono nel settore posto a Nord, zona distale della conoide, definito dalla citata scarpata del Rivone.
- 2) Il sistema acquifero profondo si identifica a partire da una profondità di circa 70 m dal p.c. (campo pozzi Bosco Fontana) sino ad oltre 100 m dal p.c.. Si tratta di orizzonti di ghiaie prevalenti, localmente separati da setti di natura argillosa. In corrispondenza di questo sistema acquifero sono localizzati i tratti filtranti più profondi dei pozzi acquedottistici di Bosco Fontana e del pozzo P5 posto a Nord della cassa d'espansione.

Dai dati stratigrafici disponibili tra i due sistemi acquiferi si rileva la presenza di un orizzonte continuo, a granulometria fine (argille e limi prevalenti), avente uno spessore variabile all'incirca tra 30 e 40 m che separa i due sistemi, sebbene sia utile segnalare che nel settore a Nord della cassa di espansione è stato riscontrato (cfr. relazioni Pellegrini *et alii*, 1990 e Gasparini, 2001) un fenomeno di drenanza dalla falda profonda alla falda superficiale.

3.3.2 Dinamica della prima falda

Per definire la dinamica delle acque contenute nel primo acquifero, sono stati ricostruiti gli andamenti delle isopieze (curve ad ugual livello statico s.l.m.), riferiti a quattro situazioni differenti, ritenute le più significative tra quelle rilevate:

- misure effettuate dal 15 al 17 novembre 2017 (Fig. 11)
- misure effettuate dal 2 al 4 febbraio 2019 (Fig. 12)
- misure effettuate il 14 maggio 2019 (Fig. 13)
- misure effettuate il 24 maggio 2022 (Fig. 14)

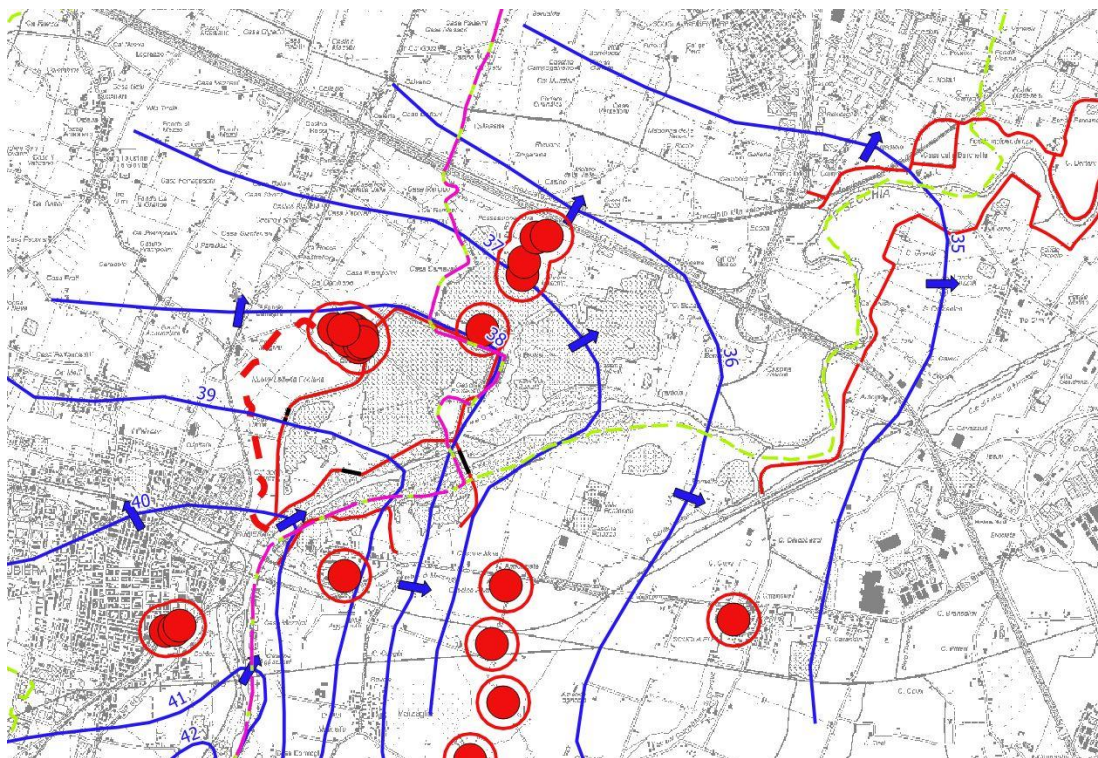


Fig. 11 – Superficie freatica campagna novembre 2017

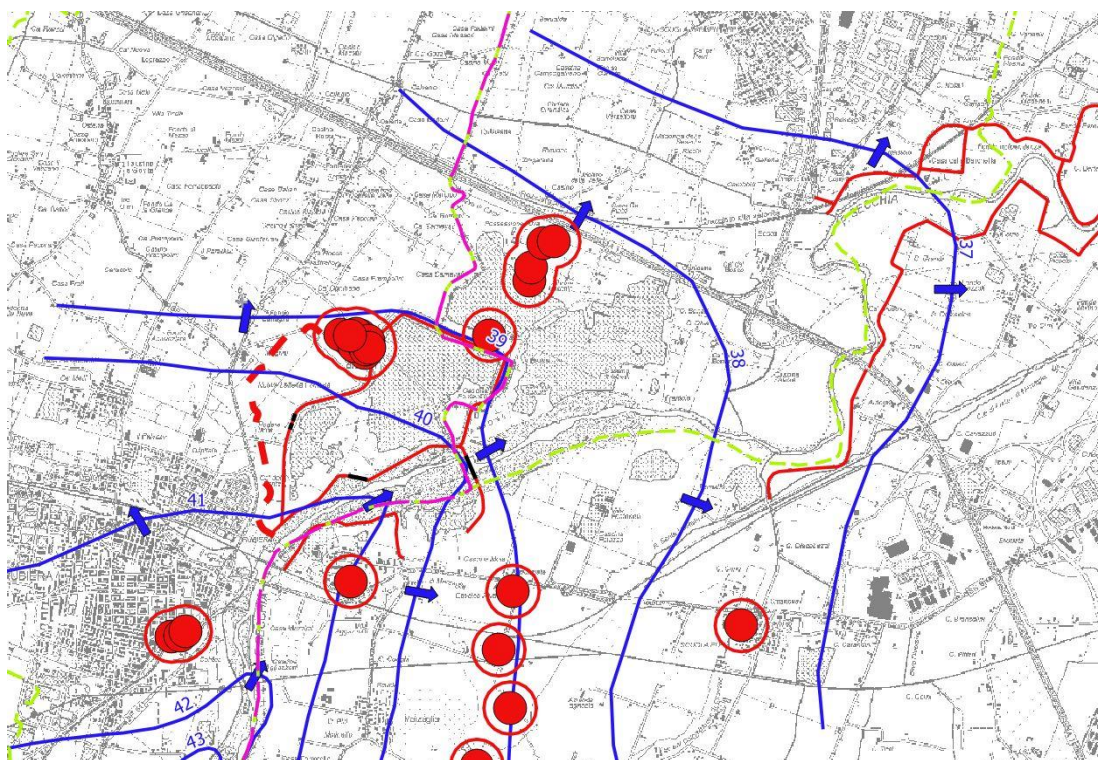


Fig. 12 – Superficie freatica campagna febbraio 2019

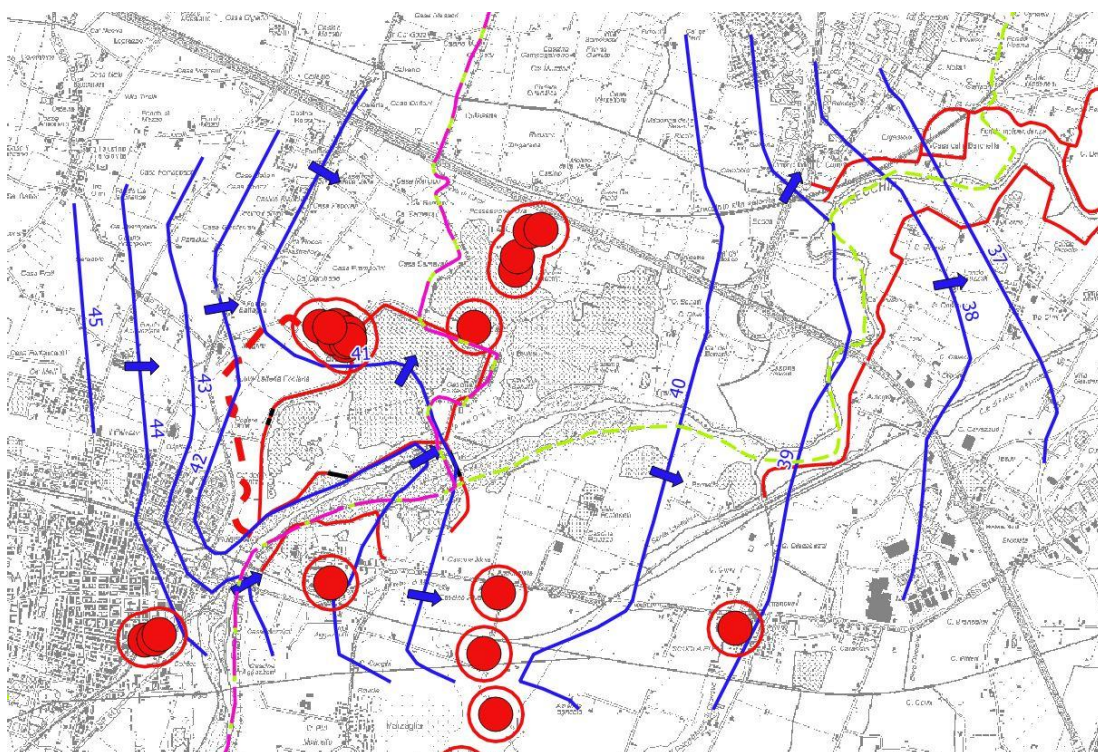


Fig. 13 – Superficie freatica campagna maggio 2019

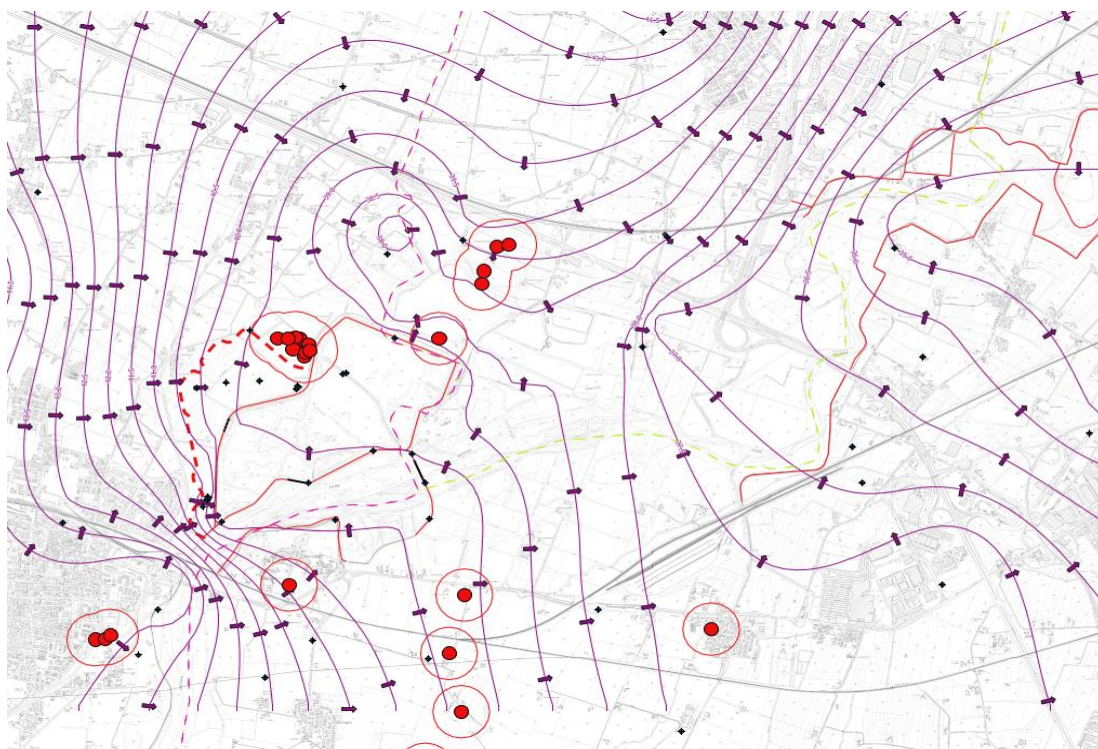


Fig. 14 – Superficie freatica campagna maggio 2022

In particolare, tra queste, va segnalata la maggiore precisione delle carte riferite alle misure di Maggio 2019 e 2022, poiché sono state realizzate sulla base di un più alto numero di dati (cfr. Tab. 2 in cui sono riportate tutte le misure effettuate): in esse, infatti, è più evidente l'azione del lago posto all'interno della cassa che, essendo in comunicazione con una falda inclinata, pur con un gradiente basso, dell'ordine dello 0,5÷1‰, esercita, ovviamente, un richiamo a monte e un'alimentazione a valle; inoltre, mostrano, con chiarezza, la presenza del cono di depressione indotto dal campo pozzi di Bosco Fontana.

id	database	SIGLA	Profondità Raggiunta dalla prova	TIPO INDAGINE	COMUNE	Quota p.c.	Quota assoluta falda			
							falda 11/17	falda 2/19	falda 5/19	falda 5/22
1	campagna		28	Pozzo	RUBIERA	41.85	35.75		39.26	37.65
2	campagna		80	Pozzo	CAMPOGALLIANO	45.08	36.88		39.65	39.78
3	campagna		8	Pozzo	CAMPOGALLIANO	40.9	36.50		40.20	36.76
4	PAE_Rubiera	C2-P2		piezometro	RUBIERA	45.4	37.17	40.09	41.10	39.14
5	PAE_Rubiera	C6-P6		piezometro	RUBIERA	45.6	37.55	40.38	41.32	39.59
6	campagna		10.3	Pozzo	MODENA	39	33.87		37.40	35.19

id	database	SIGLA	Profondità Raggiunta dalla prova	TIPO INDAGINE	COMUNE	Quota p.c.	Quota assoluta falda			
							falda 11/17	falda 2/19	falda 5/19	falda 5/22
7	campagna			Pozzo	MODENA	38.6	34.60		38.04	36.12
8	campagna			Pozzo	MODENA	39.98	35.13	37.18	38.48	36.73
9	campagna			Pozzo	MODENA	39.68	35.04		38.18	36.60
10	campagna			Pozzo	MODENA	45.1	35.76		38.88	37.79
11	CARG	201100P627	23	Pozzo	RUBIERA	52.69	39.69		44.53	42.87
12	campagna		13.8	Pozzo	MODENA	49.6	36.70		40.27	CHIUSO
13	Aipo-piezometri	S12		piezometro	CAMPOGALLIANO	49.86	37.06	39.86	40.99	39.37
14	campagna		20	piezometro	MODENA	53	38.09	40.85	41.89	40.71
15	campagna	B33-PZ	20	piezometro	MODENA	53.43	38.54			DIVELTO
16	CARG	201100P401	15	piezometro	RUBIERA	48.98	39.08	41.93	43.06	41.09
17	PAE_Rubiera	C8-P8		piezometro	RUBIERA	46.2	37.69		41.11	39.85
18	campagna			lago di cava	RUBIERA	40.7	38.60			39.50
19	campagna			lago di cava	RUBIERA	40.7	38.60			39.62
20	Aipo-piezometri	S10	12	piezometro	MODENA	49.86		40.33	40.77	39.98
21	Ind. 2018/19	D_3_S_4	35	piezometro	RUBIERA	49.61		40.92	43.04	38.82
22	Ind. 2018/19	D_1_S_5	20	piezometro	MODENA	49.33			42.12	39.81
23	Ind. 2018/19	B_S_2	40	piezometro	RUBIERA	49.3		40.13	41.72	CHIUSO
24	Ind. 2018/19	D_6_S_2	39	piezometro	CAMPOGALLIANO	49.54		39.54	40.25	38.11
25	Ind. 2018/19	D_3_S_1	33	piezometro	RUBIERA	49.28		41.20	42.29	CHIUSO
26	Ind. 2018/19	D_2_S_1	20	piezometro	RUBIERA	50.8			45.50	45.25
27	Ind. 2018/19	I_Pozzo_V	20	Pozzo	RUBIERA	45			40.50	CHIUSO
28	Ind. 2018/19	I_Pozzo_M	20	Pozzo	RUBIERA	48.5			42.79	40.68
29	Ind. 2018/19	A_S_3_N	36	piezometro	CAMPOGALLIANO	49.18			40.52	38.78
30	Ind. 2018/19	D_7_S_1_r	20	piezometro	RUBIERA	44.14			40.25	DIVELTO
31	Ind. 2018/19	I_S_PZ_1	35	piezometro	RUBIERA	47			46.50	45.30
32	Ind. 2018/19	I_S_PZ_2	40	piezometro	RUBIERA	46.25			44.28	42.90
33	Ind. 2018/19	I_S_PZ_3	15	piezometro	RUBIERA	43.8			40.73	40.29
34	Ind. 2018/19	I_S_PZ_4	15	piezometro	CAMPOGALLIANO	43.8			41.32	41.72
35	Ind. 2018/19	I_S_PZ_5	15	piezometro	CAMPOGALLIANO	42			39.33	38.86
36	Ind. 2018/19	I_S_PZ_6	18	piezometro	CAMPOGALLIANO	38.5			37.20	36.99
37	Ind. 2018/19	I_S_PZ_7	15	piezometro	MODENA	36.9			36.50	35.43
38	Ind. 2018/19	I_S_PZ_8	15	piezometro	MODENA	42.2			38.89	37.98
39	Ind. 2018/19	I_S_PZ_9	15	piezometro	MODENA	44.3			39.55	38.22

id	database	SIGLA	Profondità Raggiunta dalla prova	TIPO INDAGINE	COMUNE	Quota p.c.	Quota assoluta falda			
							falda 11/17	falda 2/19	falda 5/19	falda 5/22
40	Ind. 2018/19	I_S_PZ_10	15	piezometro	RUBIERA	54.3			45.15	43.88
271	Ind. 2018/19	I_S_PZ_V1	20	piezometro	RUBIERA	45		39.52	40.69	CHIUSO
272	Ind. 2018/19	I_S_PZ_V2	20	piezometro	RUBIERA	45		39.55	40.71	CHIUSO
273	Ind. 2018/19	I_S_PZ_V3	20	piezometro	RUBIERA	45			40.44	CHIUSO
281	Ind. 2018/19	I_S_PZ_M1	20	piezometro	RUBIERA	48.5			42.72	40.63
282	Ind. 2018/19	I_S_PZ_M2	20	piezometro	RUBIERA	48.5		41.50	42.67	/
283	Ind. 2018/19	I_S_PZ_M3	20	piezometro	RUBIERA	48.5			42.79	/

Tab. 2 – Misure del livello di falda

In tutte le figure si osserva, principalmente, una direzione prevalente del flusso idrico (perpendicolare a quella delle isopieze), verso nord-est, in accordo con quanto indicato in precedenti studi (vedi in particolare, quelli a supporto del progetto definitivo del “Raccordo Autostradale Campogalliano-Sassuolo, di collegamento tra la A22 e la SS 467 Pedemontana”, dei PSC di Rubiera e di Modena, della Variante Generale 2016 al Piano delle Attività Estrattive del Comune di Rubiera) e con la dinamica dell’intero sistema acquifero.

Relativamente ai rapporti col fiume Secchia, le curve isofreatiche presentano, perlopiù, una concavità verso monte, con asse in corrispondenza del corso d’acqua, a testimoniare un’azione alimentante da parte dello stesso corpo idrico. Fa eccezione quanto rilevato nel maggio 2022, ovvero, che il fiume, a valle della cassa e dei laghi posti più a nord, risulta essere drenante con un andamento della falda in direzione sud-est nella porzione nord-orientale della carta.

Da segnalare sono anche le numerose perturbazioni locali, imputabili soprattutto agli emungimenti.

I rilievi del livello di falda relativi a due fasi opposte, una di alto e una di basso piezometrico (rispettivamente del maggio 2019 e 2022), sono stati raffigurati anche nella Carta idrogeologica di Tav. 3.c; elaborato in cui si sono indicati anche i punti di misura e la permeabilità dei terreni superficiali, distinguendo le seguenti classi:

- Permeabilità primaria bassa per porosità
- Permeabilità primaria medio-bassa per porosità

- Permeabilità primaria media per porosità
- Permeabilità primaria elevata per porosità
- Permeabilità primaria estremamente elevata per porosità

Per quanto riguarda una disamina più dettagliata dei rapporti tra la piovosità, i livelli idrici del fiume e delle casse e i livelli di falda si rimanda al paragrafo 3.3.2.2.

La soggiacenza della falda, considerata durante i periodi di magra (novembre 2017 e maggio 2022), risulta variabile: nell'ordine dei 10÷15 m da piano campagna, nel settore meridionale, e si riduce a circa 3÷5 m in quello settentrionale.

A fine maggio 2019, a seguito di eventi piovosi che hanno provocato piene particolarmente lunghe e intense, la variabilità della soggiacenza è risultata ancor più evidente, passando dai 9÷11 m da piano campagna nella porzione di territorio a sud della cassa, ai 3÷7 m in quella a nord, per poi ridursi ulteriormente a circa 0÷2 m (falda subaffiorante) in quella orientale.

Nelle campagne di novembre 2017 e febbraio 2019 l'andamento è pressoché identico, varia solamente la quota della falda che, risulta più alta di circa 2 m nel mese invernale. Il livello statico risulta ulteriormente innalzato di altri 2 nelle misure di maggio 2019.

Il regime delle escursioni freatiche è di tipo unimodale, con un massimo primaverile (aprile-maggio) e un minimo tardo-estivo (settembre).

A riguardo un'elaborazione interessante è quella proposta dal Dott. Geol. Giorgio Gasparini, nello Studio geologico-minerario a supporto della Variante Generale 2016 al Piano delle Attività Estrattive del Comune di Rubiera, ove vengono rappresentati gli andamenti annuali, nel quinquennio 2001-2005, del livello statico medio dei pozzi n° 1, n° 12 e n° 13 del Campo pozzi Fontana di AIMAG S.p.A. (cfr. Fig. 15).

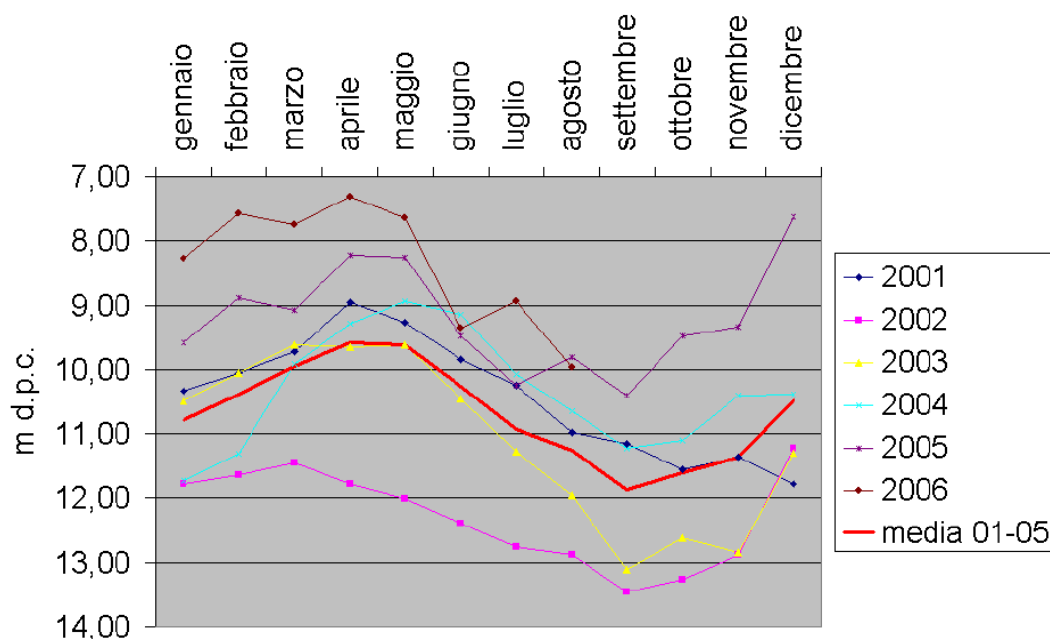


Fig. 15 – Andamenti annuali, nel quinquennio 2001-2005, del livello statico medio dei pozzi n° 1, n° 12 e n° 13 del Campo pozzi Fontana di AIMAG S.p.A. (da Variante Generale 2016 al P. A.E. del Comune di Rubiera)

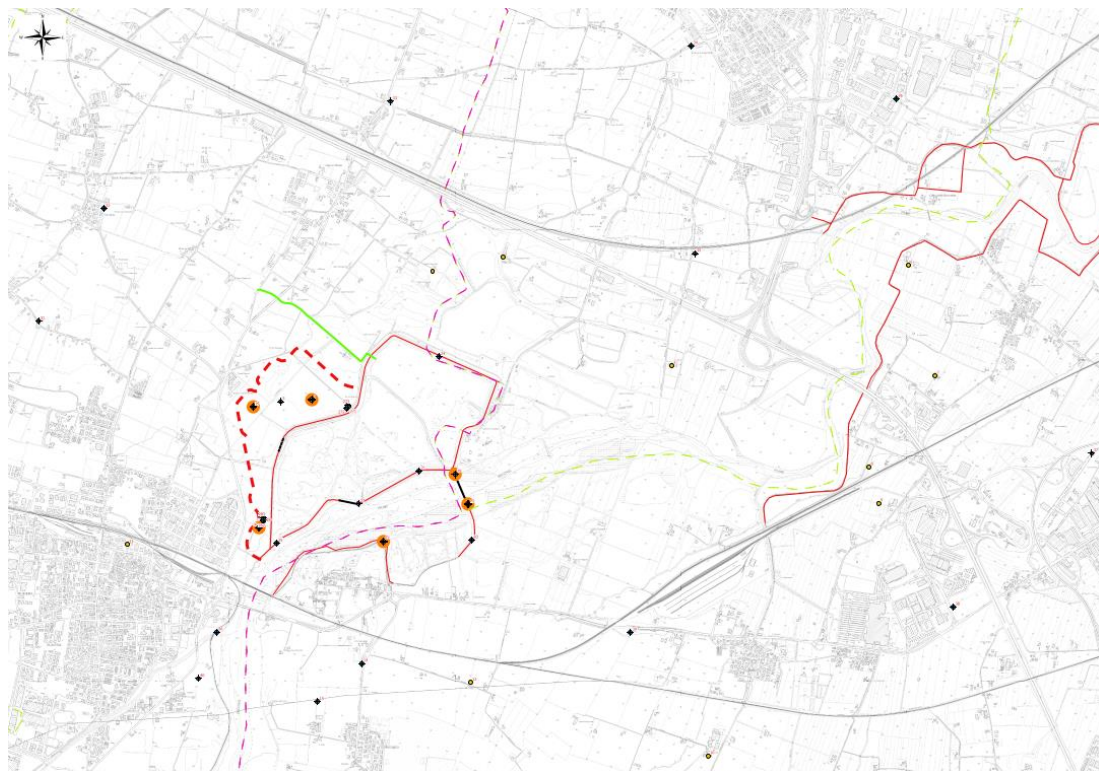
Dall'esame di Fig. 15, si osserva un'escursione media nell'ordine dei 2,5 m e un'escursione massima (nel 2003) pari a circa 3,5 m.

Infine, va segnalato che i dati disponibili sull'area convergono nell'indicare, a partire dagli anni '60, un significativo *trend* storico di abbassamento della falda causato da 3 principali fattori: il sempre maggiore fabbisogno idrico per gli scopi antropici, l'inalveamento del fiume Secchia dovuto, principalmente, alle attività estrattive infra-golenali e i cambiamenti climatici.

3.3.2.1 Campagna misure livelli piezometrici

Al fine di poter analizzare l'andamento della falda con continuità, per un periodo di tempo adeguato, integrando le misure effettuate precedentemente, con inizio nel maggio 2020, presso la Cassa Secchia, è stato eseguito un monitoraggio piezometrico che ha previsto l'installazione di sei misuratori di pressione in continuo più una serie

di misure manuali, negli stessi piezometri e in altri al contorno, con cadenza mensile, trimestrale o annuale, a seconda della loro ubicazione.



Punti di misura del livello della falda



Punti di misura del livello della falda dotati di freatimetro a lettura continua

Fig. 16 – Ubicazione dei punti di monitoraggio della Cassa Secchia

In Fig. 17 si riporta il grafico con le quote della falda misurate nei sei piezometri dotati di misuratore di pressione messe a confronto con i livelli idrometrici del fiume Secchia (sia a monte che a valle dello sbarramento in linea) e con il livello idrometrico dello sfioratore che rappresenta il livello all'interno della cassa.

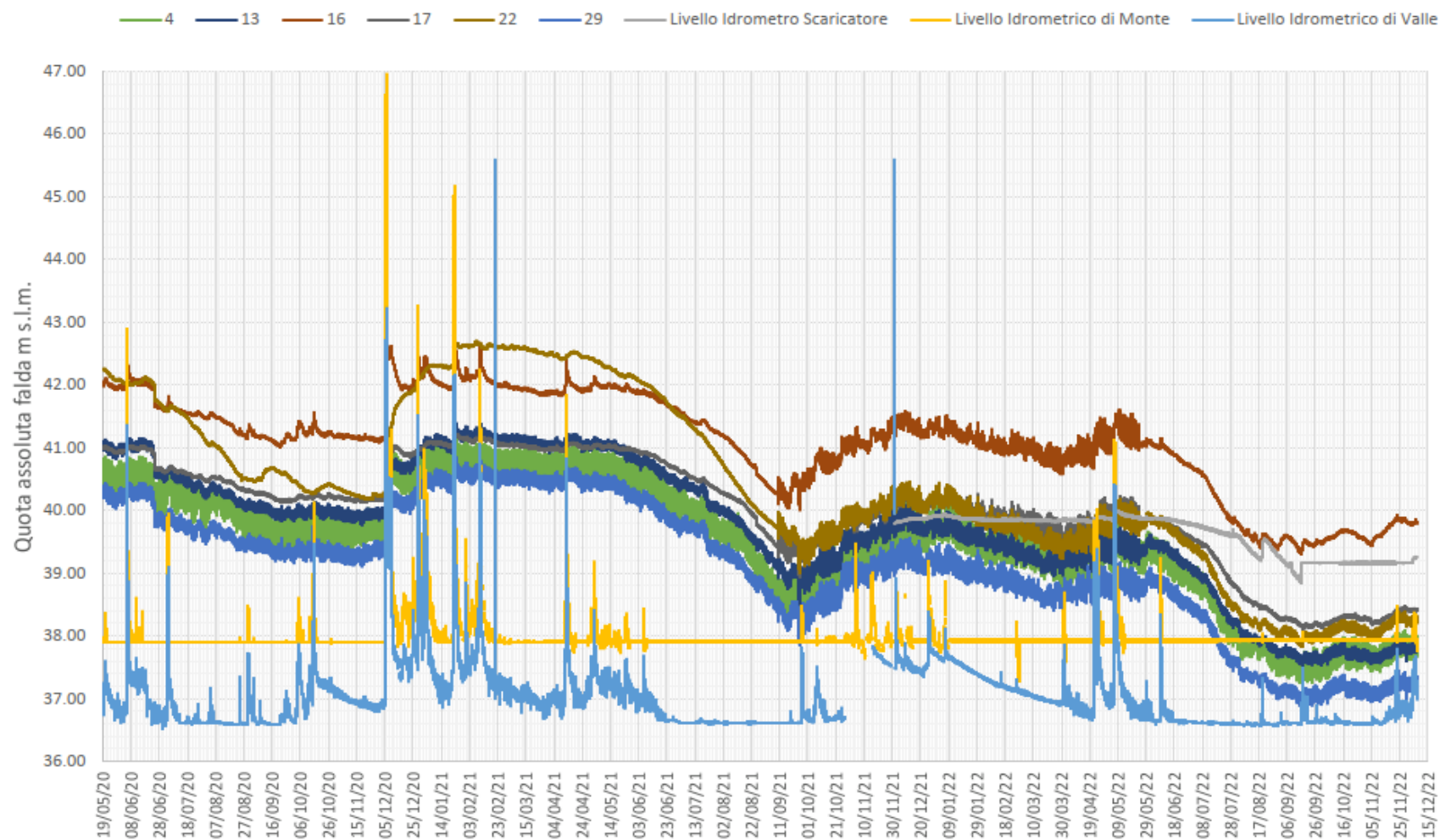


Fig. 17 – Andamento della falda nei piezometri di monitoraggio della Cassa Secchia

Da notare è anche il generale abbassamento dei livelli freatici che, a seconda dei periodi dell'anno, risultano nel 2021 tra 0 e 1 m inferiori a quelli del 2020 e nel 2022 tra 1,5 e 3 m inferiori a quelli del 2021 .

Per verificare la variazione dei livelli idrici all'intorno della cassa è stato posto un sensore piezometrico con datalogger nel piezometro C2-P2, ubicato a nord della cassa, ad una distanza di circa 160 m dall'argine della cassa stessa (Fig. 18 – Ubicazione del piezometro C2-P2 Fig. 18). Il piezometro, che misura i livelli della prima falda con cadenza oraria, è stato installato ad inizio febbraio ed ha proseguito le misurazioni fino a fine maggio.

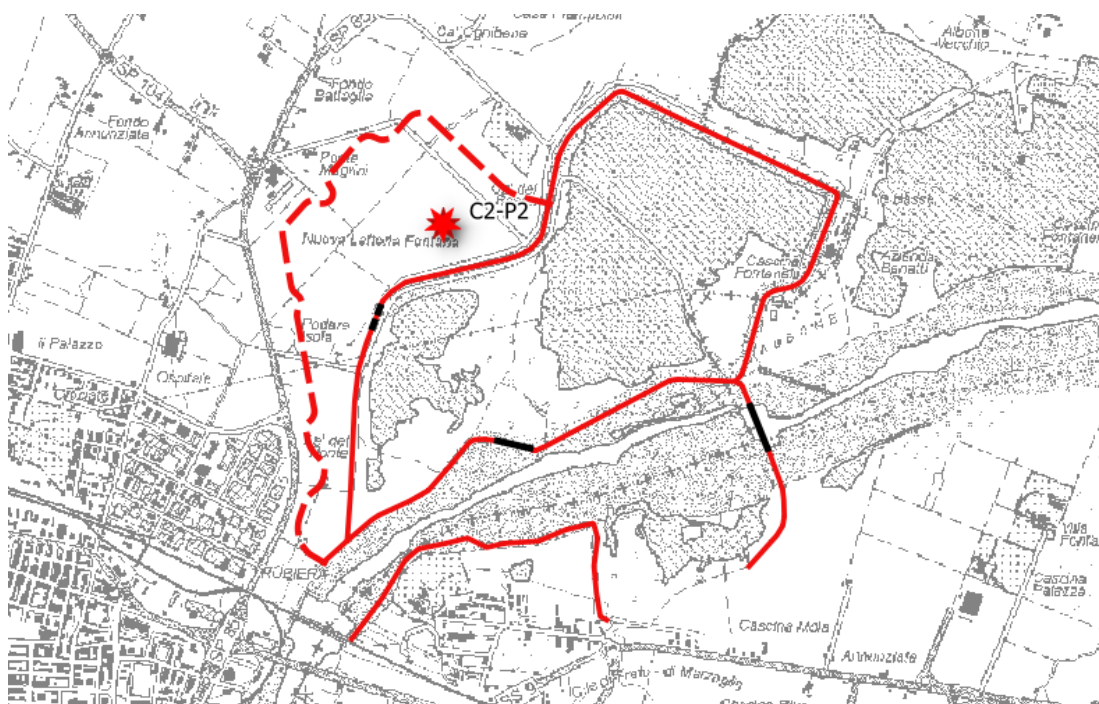


Fig. 18 – Ubicazione del piezometro C2-P2

Nella successiva Fig. 19 viene riportato il livello statico della falda, confrontato con le precipitazioni giornaliere registrate nella stazione di Marsaglia.

È evidente che il periodo fino a fine marzo, in assenza di precipitazioni, ha comportato un modesto abbassamento della falda. Le precipitazioni dei mesi di aprile e maggio hanno consentito di invertire la tendenza, ma con una variazione di circa 60-70 cm, molto graduale. È solo dal 12 maggio che si ha un innalzamento repentino, non ricollegabile alle precipitazioni.

I livelli statici della falda sono stati, quindi, confrontati con i livelli idrici del Secchia (sensore “Rubiera casse monte”). Il grafico di confronto è riportato in Fig. 20.

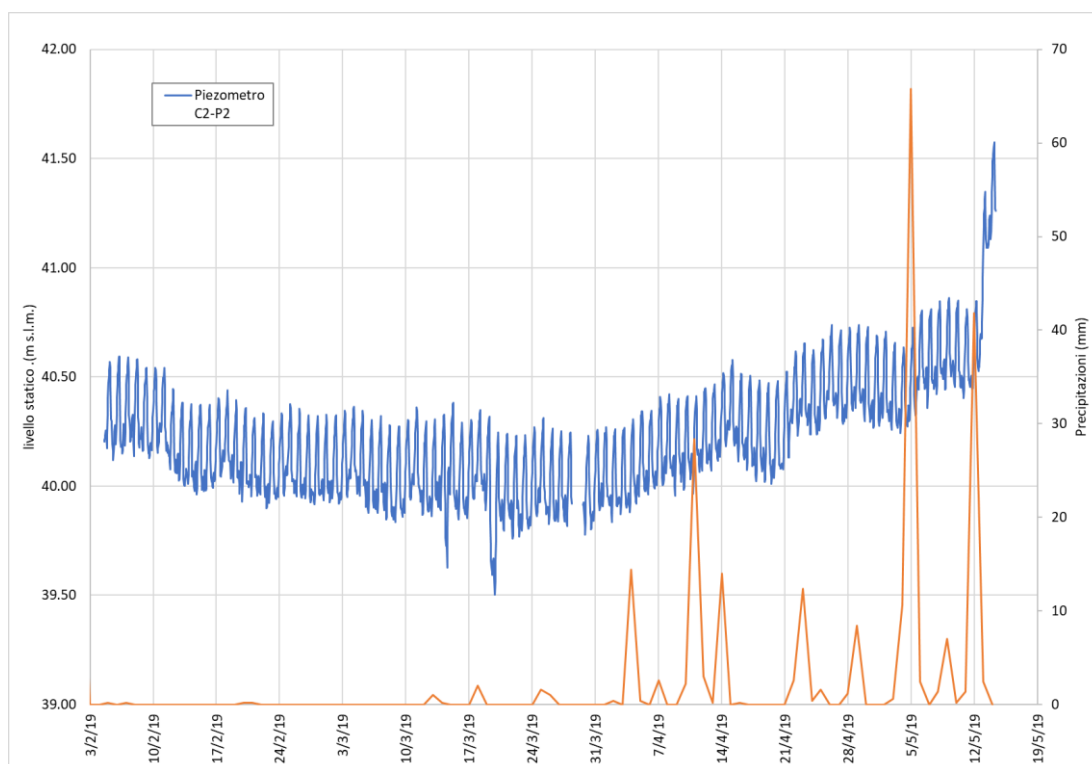


Fig. 19 – Livello statico della falda del piezometro C2-P2 confrontato con le precipitazioni

Anche in questo caso la correlazione appare analoga a quella delle precipitazioni, tranne che per l'innalzamento del 12 maggio. Appare evidente, infatti, che la piena in tale data è la sola causa del repentino innalzamento del livello di falda.

La spiegazione di tale fenomeno è legata alla quota di sfioro del manufatto di derivazione nell'invaso laterale, posta a 45.35 m s.l.m..

Fintanto che la piena rimane confinata nella cassa in linea, come è avvenuto per le piene precedenti a quella del 12 maggio, la falda ne risente in maniera molto modesta,

ma appena si determina l'invaso della casse laterale la falda reagisce in maniera repentina e con innalzamenti significativi.

Tale situazione è illustrata con maggiore chiarezza in Fig. 21, in cui vengono riportati i livelli riferiti al solo periodo 5-12 maggio 2019, ed in cui è riportata anche la quota di sfioro del manufatto derivatore.

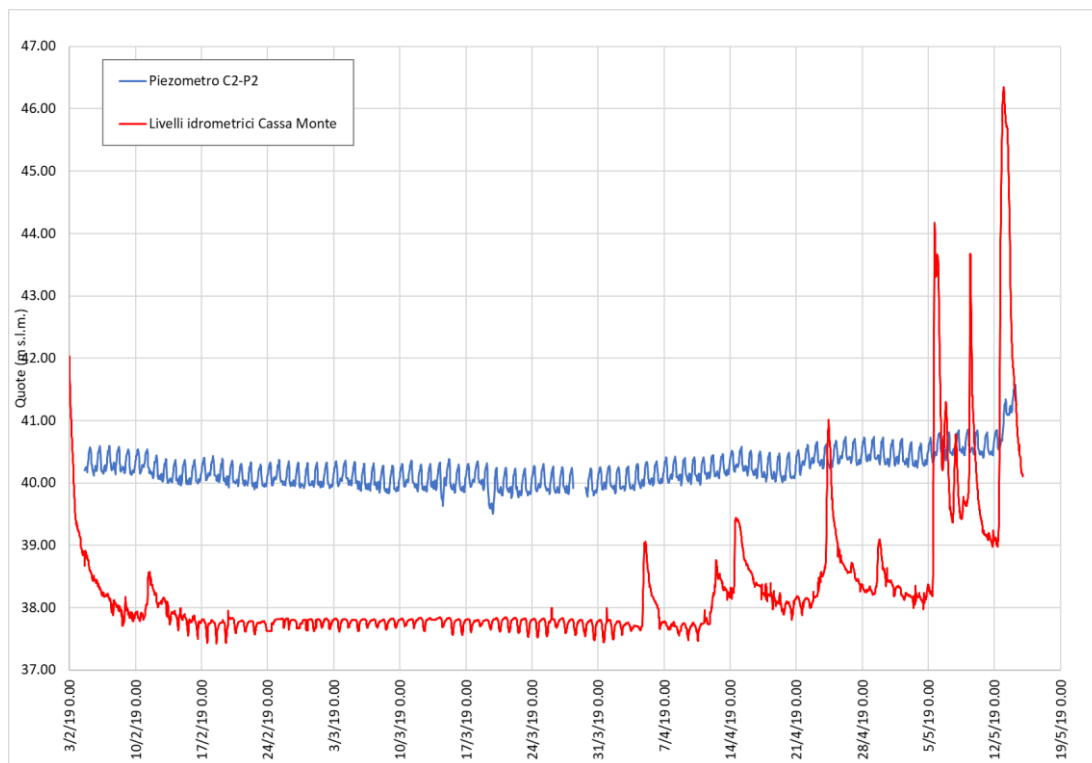


Fig. 20 – Livello statico della falda del piezometro C2-P2 confrontato con il livello idrico del F. Secchia

Il livello idrometrico del Secchia raggiunge la quota di sfioro tra le 18.30 e le 19.00 del 12 maggio, riversando le acque nella cassa laterale. La falda reagisce con un ritardo di poche ore, con un innalzamento che prosegue anche dopo che la piena è scesa sotto la quota di sfioro. Tale fenomeno è legato al fatto che il lago della cassa laterale ha mantenuto livelli superiori a quelli della falda più a lungo rispetto alla durata della piena.

Le considerazioni sopra esposte consentono di evidenziare che tra i laghi delle casse e la falda esiste un interscambio diretto, molto veloce, legato all'elevata permeabilità dei depositi ghiaiosi che costituiscono l'acquifero. Di conseguenza, l'immagazzinamento di una, seppur limitata, porzione della risorsa idrica defluita nella vasca, come previsto

nel progetto del IV lotto, porterà un piccolo innalzamento dei livelli freatici nelle aree al contorno.

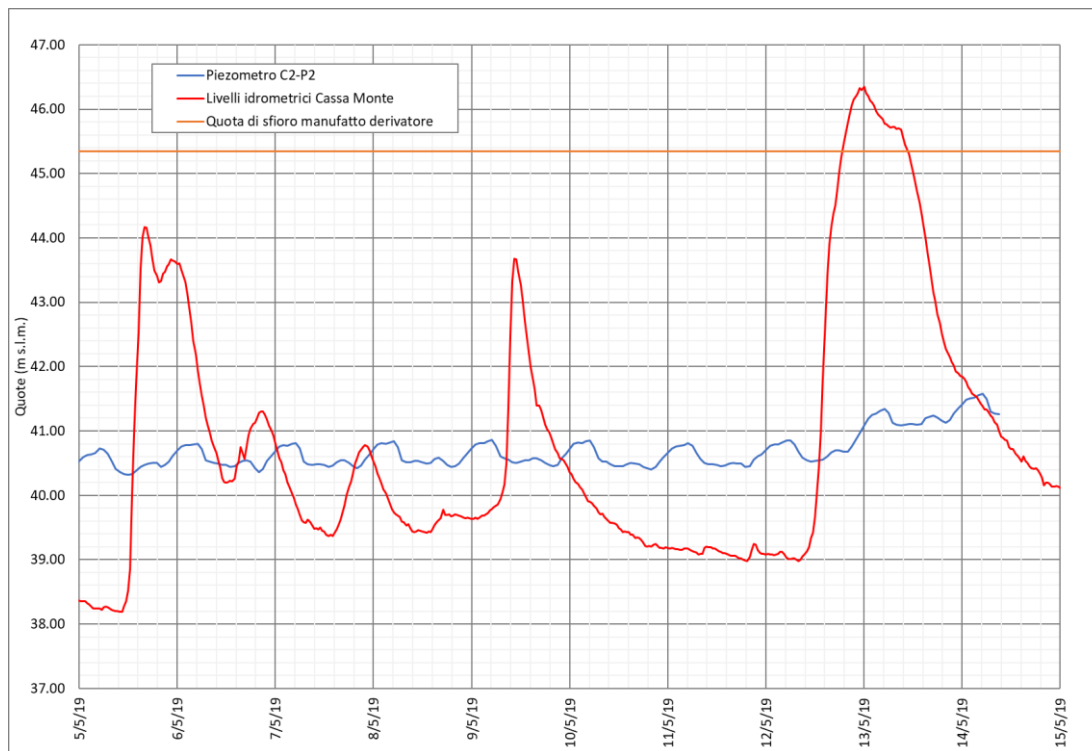


Fig. 21 – Livello statico della falda del piezometro C2-P2 confrontato con il livello idrico del F. Secchia nel periodo 5-14 maggio 2019

3.3.2.3 Oscillazioni giornaliere dei livelli di falda

I grafici presentati nelle figure precedenti evidenziano che durante l'intero giorno i livelli di falda subiscono oscillazioni costanti, molto regolari, con entità pari a circa 40 cm.

Come ben evidenziato dal grafico di Fig. 22, tale oscillazione è imputabile ad un pompaggio remoto che inizia regolarmente alle ore 6:00. Dall'inizio del pompaggio e fino alle ore 12:00-14:00, si assiste ad un abbassamento progressivo dei livelli, che poi si stabilizzano, con oscillazioni più modeste, fino alle 21:00, quando il pompaggio viene arrestato.

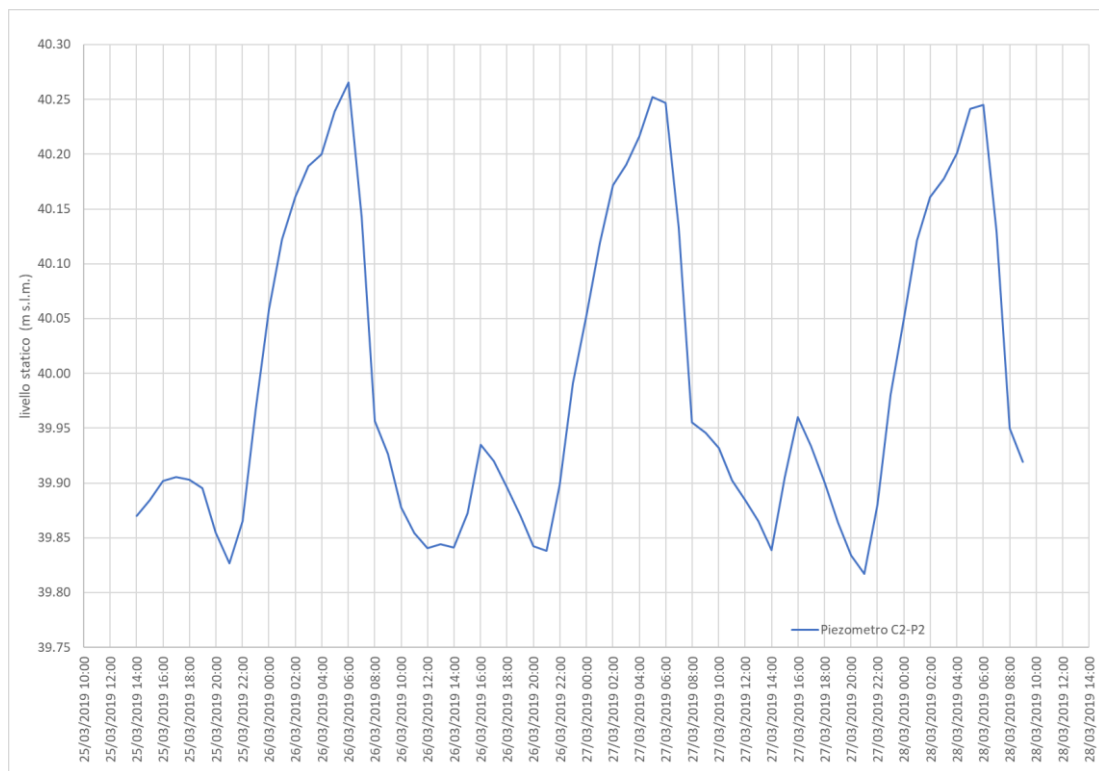


Fig. 22 – Oscillazioni giornaliere del livello statico nel piezometro C2-P2

4 Studio sismotettonico

Nei seguenti paragrafi vengono descritte le caratteristiche sismotettoniche dell'area d'intervento rappresentate anche in Tav. 3.f – Carta di microzonazione sismica.

4.1 Inquadramento geologico regionale

L'area di interesse è caratterizzata dalla presenza delle strutture sepolte dell'Appennino settentrionale che si incuneano sotto la Pianura Padana.

Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinguibili, l'Appennino settentrionale e la Pianura Padana sono strettamente correlati. Le strutture appenniniche, infatti, proseguono ben oltre l'attuale limite morfologico catena-pianura, il cosiddetto margine appenninico-padano, ricoperte dai sedimenti quaternari padani (Fig. 23) dando origine a dorsali sepolte note come Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri e Groppi, 1981). Il vero fronte appenninico è quindi dato dai fronti degli accavallamenti delle Pieghe Emiliane e Ferraresi sulla piattaforma padano-veneta ed è attualmente localizzato circa in corrispondenza del fiume Po (Fig. 23 e Fig. 24)

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

L'Appennino settentrionale può essere suddiviso in tre fasce parallele all'asse della catena:

- una settentrionale, o esterna, comprendente i fronti padani sepolti (Pieghe Emiliane, Ferraresi ed Adriatiche in Fig. 23), il fronte pedeappenninico (margine pedeappenninico in Fig. 23) e il basso appennino emiliano-romagnolo;
- una centrale e orientale, corrispondente alla zona assiale della catena, comprendente l'alto Appennino tosco-emiliano e tosco-romagnolo e i bacini intermontani toscani;
- una meridionale, o interna, corrispondente alla zona ligure-tirrenica.

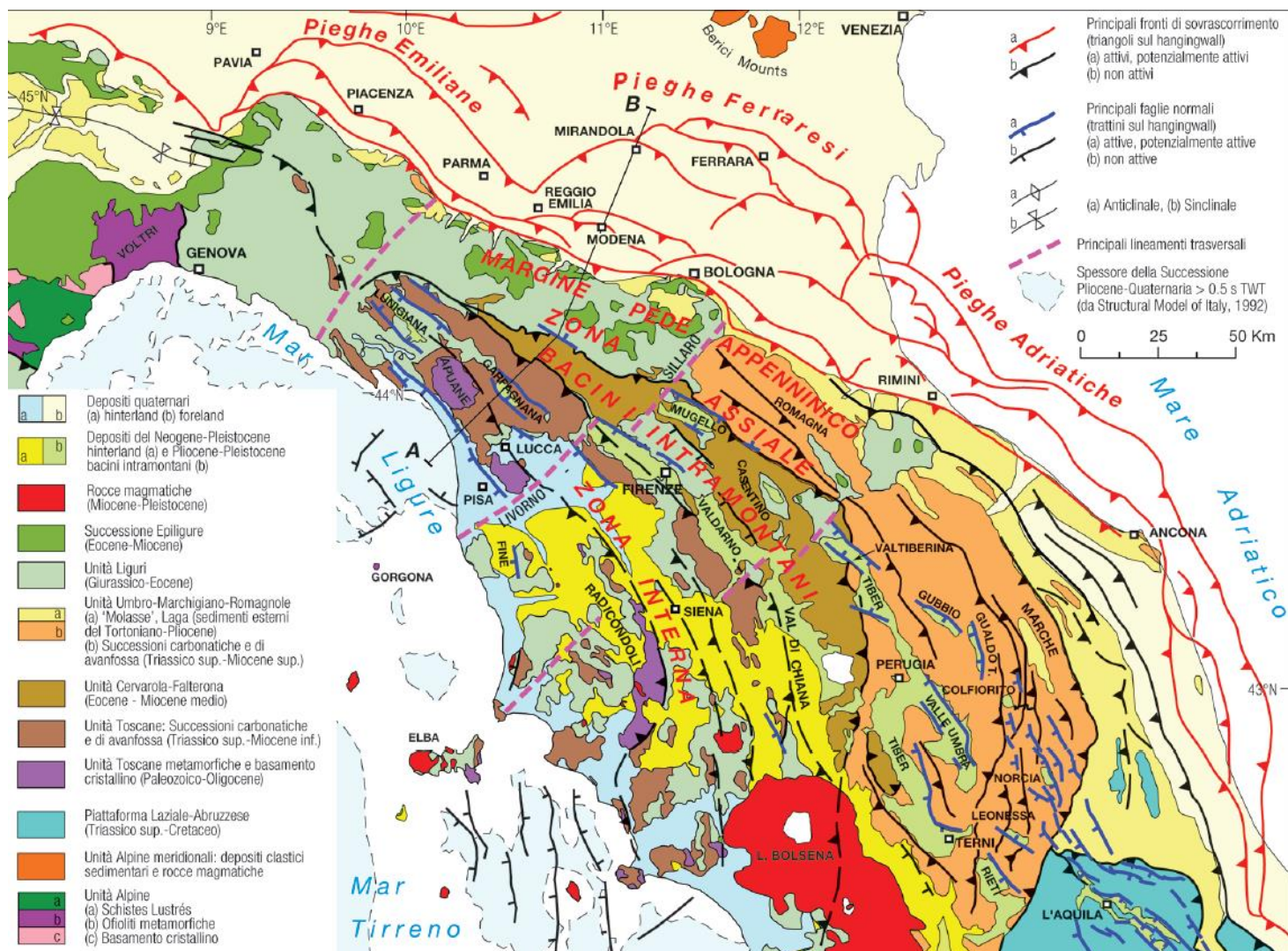


Fig. 23 – Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale e della Pianura Padana (da Note illustrative della carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe)²

² A cura di Luca Martelli (coord.), Marco Bonini, Lorenzo Calabrese, Giacomo Corti, Giulio Ercolessi, Fabio Carlo Molinari, Luigi Piccardi, Silvia Pondrelli, Federico Sani, Paolo Severi

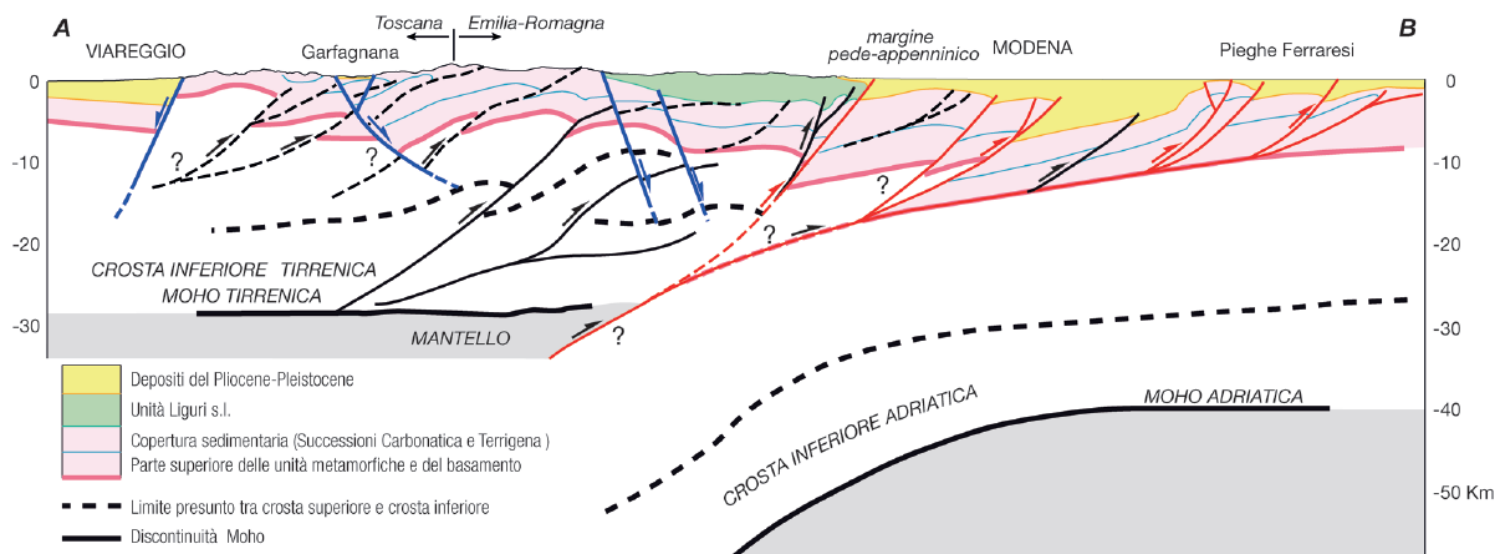


Fig. 24 – Sezione geologica dal Mar Ligure al F. Po (traccia in Fig. 23) (da Note illustrative della carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe)

La catena appenninica settentrionale è formata da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica, e il dominio Tosco- Umbro-Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui deposizione inizia nel Triassico.

La strutturazione delle unità appartenenti al Dominio Ligure avviene in più fasi tettoniche durante la formazione della catena eo-alpina (Cretaceo-Eocene) Europa-vergente (Boccaletti e Guazzone, 1970). Questo processo è legato alle fasi di chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese con subduzione della litosfera oceanica sotto l'Adria. È a partire dall'Oligocene superiore che inizia la formazione della catena dell'Appennino settentrionale a spese della crosta dell'Adria e della sua copertura sedimentaria, attraverso un processo di deformazione continentale polifasica. In particolare, nell'ambito di tale processo, si possono riconoscere due stadi compressivi principali: durante il primo, che si sviluppa dall'Oligocene superiore al Pliocene inferiore, viene definita la strutturazione dell'arco dell'Appennino settentrionale (stadio collisionale); nel secondo stadio, a partire dal Piacenziano, viene coinvolto il settore esterno della catena, con un jumping del fronte compressivo al quale si accompagna anche un cambiamento nella tipologia dei sedimenti che caratterizzano le

avanfosse. Nel primo stadio, infatti, si sviluppa un sistema di avanfossa migrante verso est, costituito dalle note unità Macigno, Cervarola, Marnoso-Arenacea, Laga, con alimentazione principalmente di tipo alpino; nel secondo stadio si hanno sedimenti di tipo molassico, con apporto prevalentemente appenninico (Formazione di Porto Garibaldi e Sabbie di Asti). Durante quest'ultimo stadio si verificano anche importantissime riattivazioni di parti già strutturate della catena interna che possono sia coinvolgere strutture preesistenti, sia generare nuove strutture con trend anche diverso da quelle precedentemente costituite. La deformazione si manifesta pertanto in maniera più diffusa e complessa, ed ai fenomeni di sovrascorrimento si accompagnano sempre più frequentemente fenomeni di trascorrenza lungo l'asse della catena (stadio post-collisionale).

L'area di studio costituisce il raccordo fra la parte esterna della catena strutturata nel Miocene superiore-Pliocene inferiore e il settore padano-adriatico in cui le deformazioni, sepolte, sono prevalentemente di età Pliocene superiore-Quaternario, in parte tuttora attive.

4.2 Caratteristiche sismotettoniche

4.2.1 Studio sismotettonico della Regione Emilia Romagna

Per avere un quadro degli elementi che concorrono alla pericolosità sismica del territorio indagato non si può non fare riferimento agli studi che la Regione Emilia-Romagna ha condotto, a partire dalla fine degli anni '90, principalmente, in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche, e che, nell'anno appena concluso (2018), hanno consentito di pubblicare la "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe".

Ai fini della realizzazione di tale cartografia, sono risultate fondamentali l'identificazione e la rappresentazione delle strutture tettoniche attive; dove, per strutture tettoniche attive, in questo caso, si intendono quelle che mostrano chiare evidenze di influenza sull'evoluzione morfologica del paesaggio attuale o hanno

deformato orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 anni, età attribuita al limite inferiore del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (*marker* stratigrafico più importante alla scala del territorio d'interesse).

Le strutture che presentano evidenze minori o meno certe di influenza sull'evoluzione morfologica del paesaggio attuale o di deformazione degli orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 anni sono, invece, definite potenzialmente attive.

Inoltre, strutture attive e potenzialmente attive sono state suddivise in:

- affioranti, ovvero che hanno deformato la superficie topografica o, in pianura, hanno deformato la parte più superficiale del sottosuolo, vale a dire fino a profondità inferiori di 100 m dal piano campagna;
- sepolte, ovvero che mostrano evidenze di attività recenti o in atto (es. associazione con eventi sismici) ma a carico di orizzonti stratigrafici profondi almeno alcune centinaia di metri e non arrivano a deformare i livelli superficiali del sottosuolo (≥ 100 m da p.c.).

In Fig. 25 è riportata una mappa delle principali strutture attive e potenzialmente attive che, nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe”, sono rappresentate, per chiarezza d'illustrazione, in forma sintetica, tracciando le proiezioni in superficie delle intersezioni dei fronti principali delle strutture tettoniche con la base dei depositi pliocenici.

Dall'analisi delle profondità dei terremoti per i quali sono state calcolate soluzioni focali, si evince che i meccanismi di tipo estensionale sono frequenti soprattutto nei primi 15÷20 km della zona assiale della catena e del versante ligure-toscano, mentre i meccanismi inversi sono più frequenti nel settore padano-adriatico; in catena i meccanismi di tipo compressivo sono localizzati per lo più a profondità maggiori di 20 km; i meccanismi di tipo trascorrente sembrano più frequenti nella parte occidentale della Regione dove sono stati localizzati anche a profondità elevate.

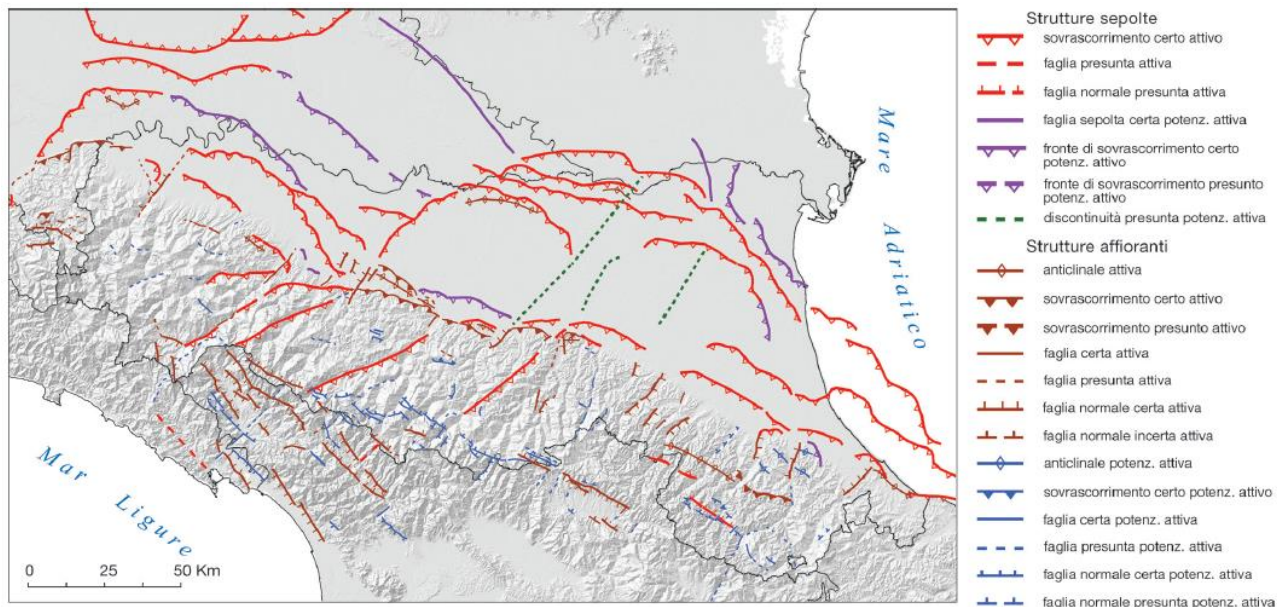


Fig. 25 – Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe”

La rappresentazione di sezioni con ipocentri ricadenti all’intorno di 10 km ha, invece, evidenziato una concentrazione degli ipocentri dei terremoti strumentali che definiscono un’ampia fascia, la quale, dalla zona padano-adriatica, immerge verso sud-ovest, mentre nel versante tirrenico i terremoti sembrano meno concentrati. In alcuni casi queste fasce sembrano essere la prosecuzione in profondità delle strutture attive riconosciute nei primi 10÷15 km; tali fasce potrebbero quindi identificare zone di faglia profonde attive e sismogenetiche.

In Fig. 26 è mostrato il confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” e le zone del catalogo DISS 3.2, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell’area italiana³.

In Fig. 27, invece, viene riportato lo stralcio della Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna relativa all’area delle Casse.

³ DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

Come si può constatare la struttura di faglia attiva più vicina alle casse è localizzata a Nord di Campogalliano ed è considerata una faglia sepolta.

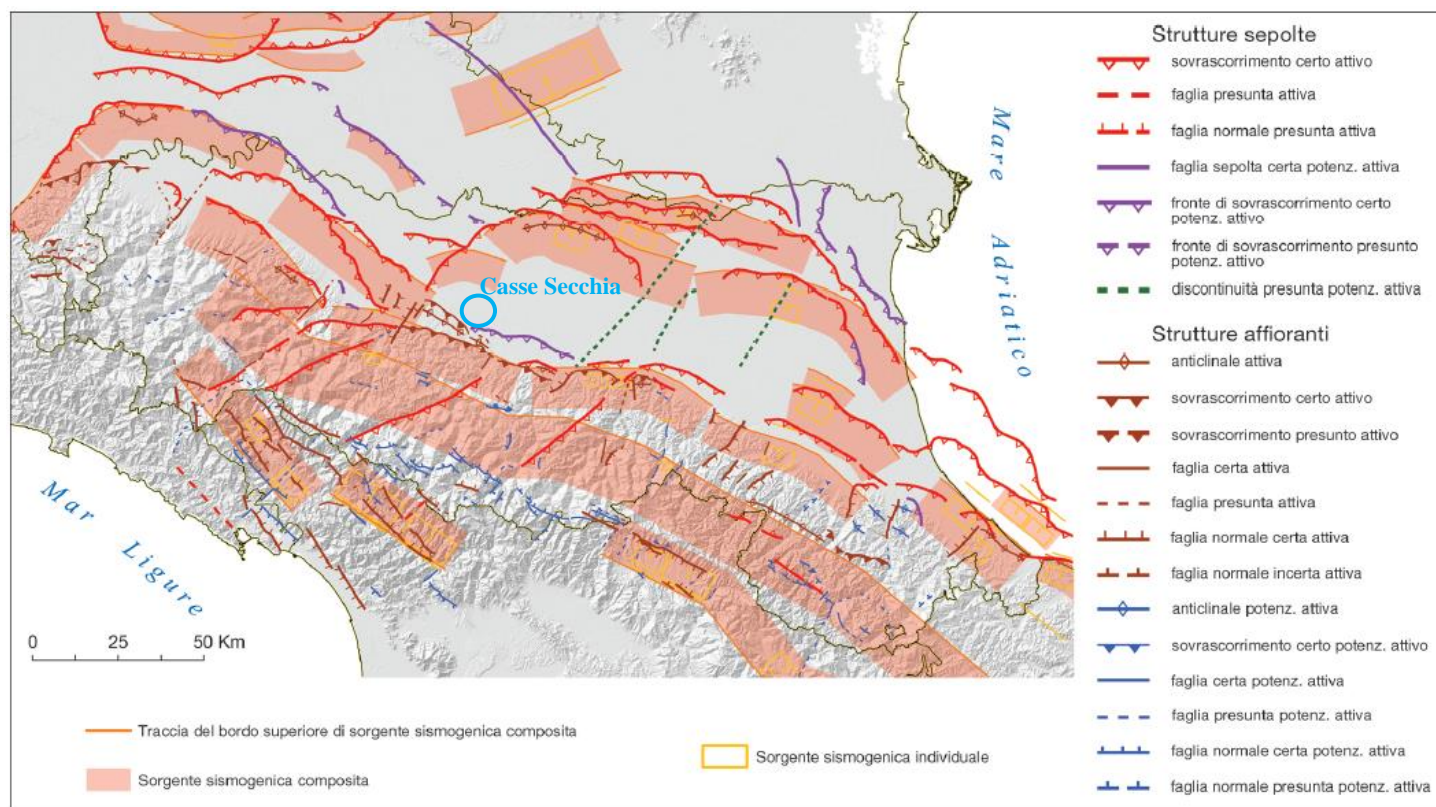
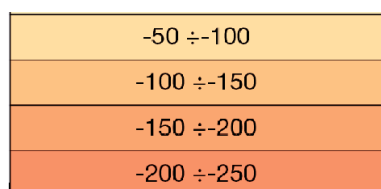
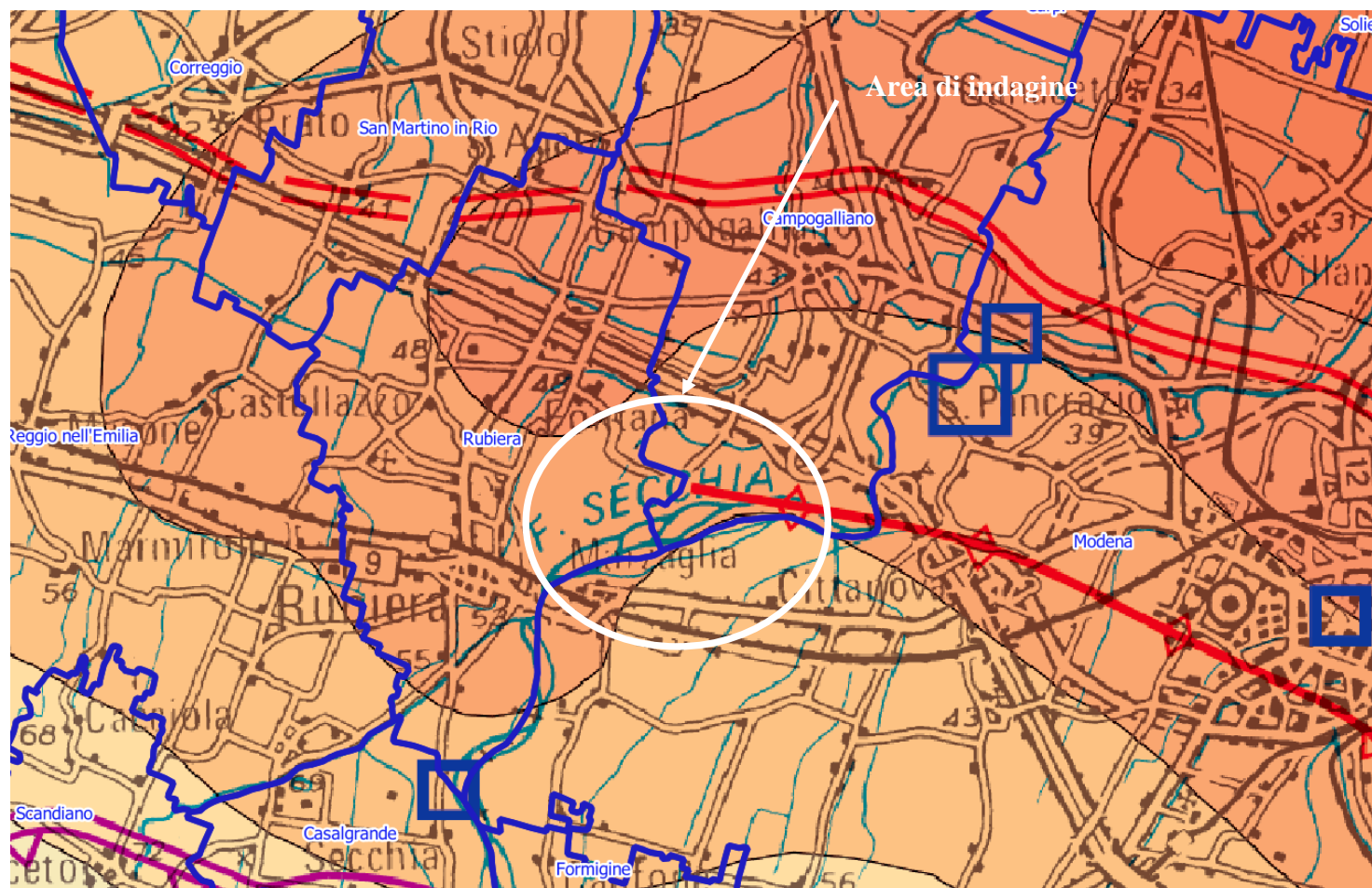
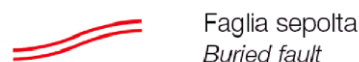


Fig. 26 – Mappa di confronto tra le strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” e le zone sismogenetiche del DISS 3.2



Isobate della base del Sintema Emiliano Romagnolo riferito al livello del mare

Strutture tettoniche attive
Active tectonic structures



Epicentri dei terremoti (da CPT115)
Earthquake epicenters (from CPT115)

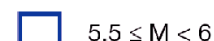
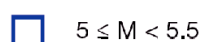
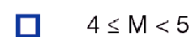


Fig. 27 – Stralcio della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe”

4.2.2 Sorgenti sismogenetiche dal DISS 3.3

Nel presente capitolo vengono presentate le sorgenti sismogenetiche limitrofe all'area di indagine catalogate del DISS 3.3, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area italiana⁴.

In Fig. 28 è riportata un'immagine con l'ubicazione dell'intervento oggetto di studio e tutte le potenziali sorgenti sismogenetiche per un intorno di oltre 40 Km.

Il DISS è costituito da sorgenti sismogenetiche rappresentate nelle tre dimensioni, ottenute parametrizzando la geometria e la cinematica di grandi faglie attive ritenute in grado di generare terremoti di magnitudo (M_w) superiore a 5.5. In altre parole, le sorgenti sismogenetiche sono state definite tridimensionalmente all'interno della crosta terrestre, e descritte dal punto di vista geometrico (come la faglia è posizionata nello spazio) e cinematico (come la faglia si può muovere).

Nel DISS è stato scelto di caratterizzare esclusivamente sorgenti ritenute in grado di generare terremoti di magnitudo superiore a 5.5 per due motivi principali:

- la magnitudo 5.5 è usualmente considerata il valore “di soglia” oltre il quale la faglia responsabile dei terremoti assume dimensioni tali da poter essere identificata attraverso le metodologie geologiche;
- in Italia, per via delle tipologie costruttive prevalenti, la magnitudo 5.5 viene usualmente vista come il limite inferiore per cui un terremoto crostale può causare scuotimento tale da creare danni significativi all'edificato.

Va sottolineato inoltre come il DISS si interessi esclusivamente di censire strutture primarie, cioè di quelle faglie che, prendendo in carico la maggior parte della deformazione tettonica e muovendosi in profondità, causano i terremoti principali e il relativo scuotimento.

Le sorgenti oggi presenti nel DISS sono tutte rigorosamente basate su dati geologici e geofisici e le principali appartengono a due tipologie: le Sorgenti Sismogenetiche

⁴ DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>.

Individuali (Individual Seismogenic Sources, ISS), ideate per descrivere nel dettaglio le faglie responsabili di specifici forti terremoti già avvenuti o che si ritiene potranno avvenire, e le Sorgenti Sismogenetiche Composite (Composite Seismogenic Sources, CSS) ideate per descrivere sistemi di faglia estesi, ancorché con un livello di dettaglio necessariamente minore. Va precisato che le Sorgenti Sismogenetiche Individuali sono sempre associate a terremoti documentati, mentre ciò non avviene per le Sorgenti Sismogenetiche Composite, che sono state ideate proprio per rappresentare un dataset di sorgenti sismogenetiche potenziali il più possibile esauriente.

Come evidenziato nella figura seguente le principali sorgenti sismogenetiche composite al contorno dell'area in studio, nell'intorno di circa 20 Km, sono:

- a Nord
 - ITCS049 Campegine – Correggio con magnitudo massima Mw - 6.6
 - ITCS051 Carpi – Poggio Renatico con magnitudo massima Mw - 6.9
- a Sud
 - ITCS046 Langhirano - Sassuolo con magnitudo massima Mw - 6.8
 - ITCS047 Castelvetro di Modena – Castel San Pietro Terme con magnitudo massima Mw - 6.8

All'interno di queste strutture sono presenti le seguenti sorgenti sismogenetiche individuali:

- ITIS107 Mirandola con magnitudo massima Mw - 6.0
- ITIS103 Crespellano con magnitudo massima Mw – 5.6
- ITIS091 Casalecchio di Reno con magnitudo massima Mw – 5.5

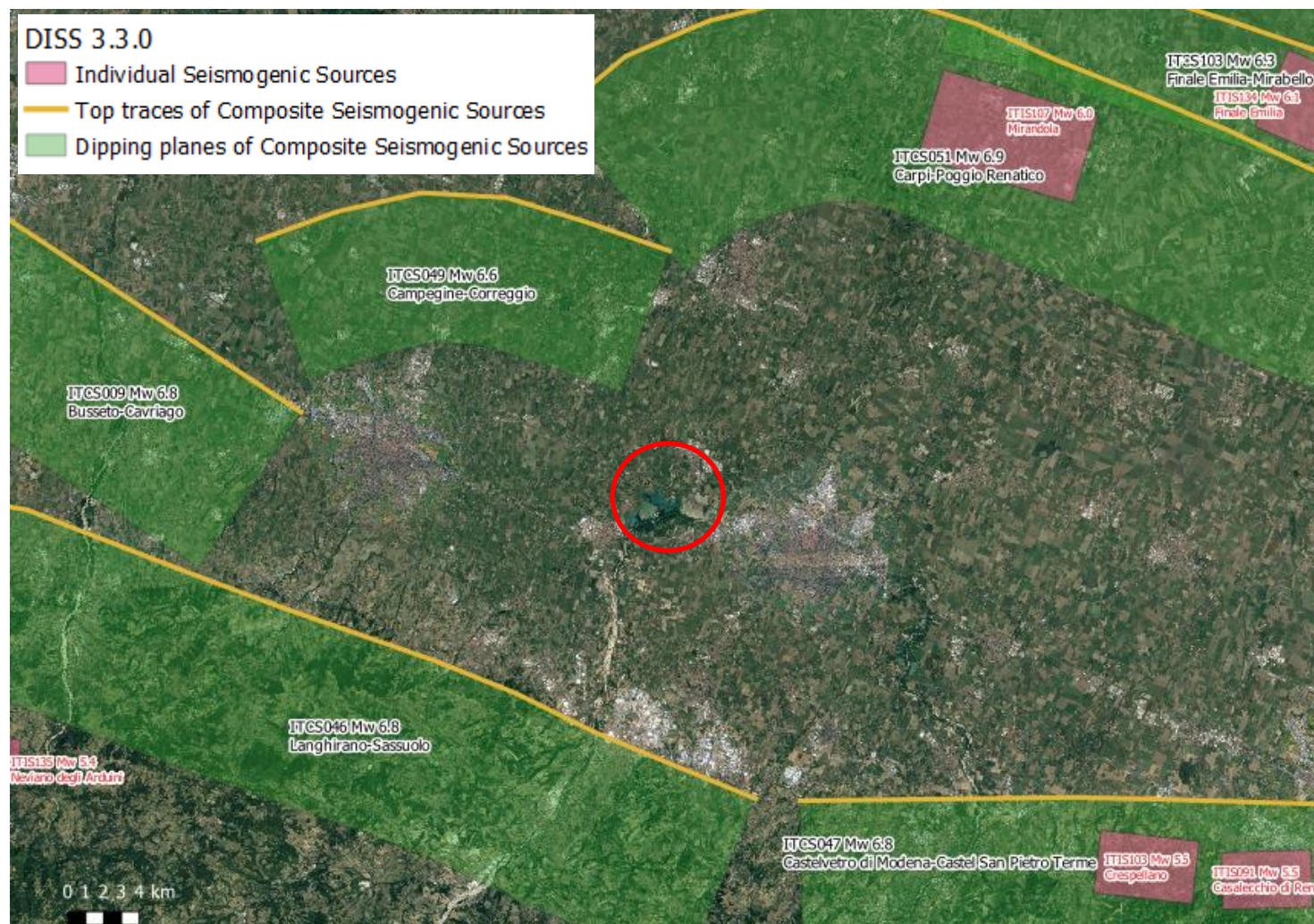


Fig. 28 – Sorgenti sismogenetiche dal Catalogo DISS 3.3

4.3 Storia sismica

La storia sismica del territorio del comune di Modena è stata desunta da "*DBMI15, database macrosismico italiano*"⁵, database realizzato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti che contiene i dati macrosismici provenienti da studi dello stesso GNDT e di altri enti.

Secondo quanto indicato in DBMI15, la storia sismica a Modena è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 29, mentre in Tab. 3 sono elencati gli eventi di maggiore intensità verificatisi sul territorio, indicando per ciascuno di essi, oltre alla stessa intensità al sito (I_s), l'anno, la data (comprendente mese, giorno ora ed eventualmente, minuto) in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (I_o) e la magnitudo momento (M_w).

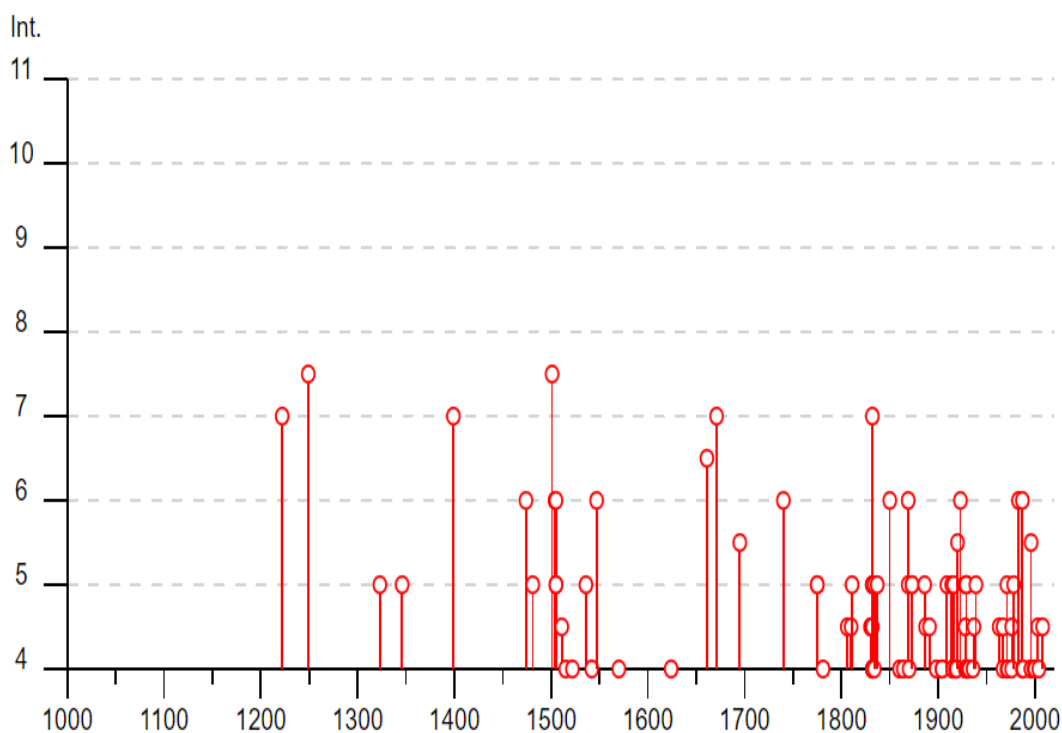


Fig. 29 - Grafico rappresentante gli eventi sismici di Modena

⁵ 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.
doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
7	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	7-8	5.68
7-8	1249 09	Modena	6-7	4.86
5	1323 02 25 19	Bologna	5	4.16
5	1346 02 08	Modena	5	4.16
HF	1348 01 25	Alpi Giulie	9	6.63
3	1349 09 09 08 15	Viterbese		
7	1399 07 20 23	Appennino modenese	7	5.1
6	1474 03 11 20 30	Modena	5	4.16
5	1481 02 07 22 45	Pianura emiliana	5	4.16
7-8	1501 06 05 10	Modenese	9	6.05
6	1504 12 31 04	Bolognese	6	5.02
6	1505 01 03 02	Bolognese	8	5.62
5	1505 01 20 23 50	Bolognese	5-6	4.76
5	1505 01 27 02 40	Bolognese	5	4.16
4-5	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	9	6.32
4	1515 10 25 12 35	Pianura Padana		
4	1522 10 05 00 10	Pianura Padana	5	4.71
5	1536 08 17 00 05	Appennino settentrionale	6-7	5.12
4	1542 06 13 02 15	Mugello	9	6.02
6	1547 02 10 13 20	Reggiano	7	5.1
F	1561 11 24 01 25	Ferrarese	5-6	4.4
4	1570 11 17 19 10	Ferrarese	7-8	5.44
F	1608 01 06 22 20	Reggio nell'Emilia	5-6	4.4
4	1624 03 19	Argenta	7-8	5.43
6-7	1661 03 21 23	Modenese	6-7	4.86
F	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	9	6.05
7	1671 06 20 10	Modenese-Reggiano	7	5.27
5-6	1695 02 25 05 30	Asolano	10	6.4
6	1740 03 06 05 40	Garfagnana	8	5.64
5	1775 01 04 18	Appennino emiliano	4	4.43
5	1775 01 05 22 45	Appennino emiliano	5	4.55
F	1779 07 14 19 30	Bolognese		
F	1779 11 23 18 30	Bolognese	5	4.7
F	1779 12 24 17	Appennino pistoiese	5-6	4.59
4	1781 04 04 21 20	Faentino	9-10	6.12
4-5	1806 02 12	Reggiano	7	5.21
4-5	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	6	5.06
5	1811 07 15 22 44	Modenese-Reggiano	6-7	5.13
3	1818 12 09 18 55	Parmense	7	5.24
3	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	8	5.72
4-5	1830 01 26 04 30	Alto Reno	5	4.53
3	1831 07 14 15 30	Reggiano	5-6	4.6
4-5	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	7-8	5.48
4	1832 03 11 06 45	Carpi	5	4.51
4-5	1832 03 11 08 45	Parmense		
4	1832 03 12 08 45	Reggiano		
7	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5.51
5	1832 03 14 04 40	Reggiano		
5	1832 03 14 07 41	Reggiano		
4	1832 04 19 14 14	Reggiano		
4	1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	9	5.96
3	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	6-7	5.08
5	1834 10 04 19	Bolognese	6	4.71

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
5	1837 04 11 17	Lunigiana	9	5.94
F	1846 08 14 12	Colline Pisane	9	6.04
6	1850 09 18 06 20	Modenese	5	4.16
F	1854 06 16 13 25	Imola	5	4.57
F	1857 02 01	Parmense-Reggiano	6-7	5.11
4	1860 07 17 13 43 31.00	Reggiano	4-5	3.93
4	1864 03 15	Zocca	6-7	4.84
6	1869 06 25 13 58	Appennino bolognese	7-8	5.43
5	1869 12 13 02 53	Sassuolo	5	4.57
4	1870 10 30 18 34	Forlivese	8	5.61
F	1871 01 22 21 30	Pianura romagnola	6	4.95
2-3	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	8	5.85
5	1873 05 16 19 35	Reggiano	6-7	5.01
5	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	9-10	6.29
3-4	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	6-7	5.26
F	1874 10 07	Imolese	7	4.96
3	1881 01 24 16 14	Bolognese	7	5.22
F	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	6	5.01
5	1886 10 15 02 20	Collecchio	6	4.7
4-5	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	9	6.27
4-5	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Ilasi	8-9	5.87
NF	1891 08 01 13 32 22.00	Lugo	4-5	4.36
3	1892 01 05	Garda occidentale	6-7	4.96
3	1892 05 17 03 08 15.00	Carpinetti	5	4.28
NF	1894 02 09 12 48 05.00	Valle d'Ilasi	6	4.74
3	1894 11 27 05 07	Bresciano	6	4.89
3	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	8	5.5
3	1895 08 07 19 49 32.00	Appennino tosco-emiliano	5	4.67
4	1898 03 04 21 05	Parmense	7-8	5.37
2	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	7	5.02
3-4	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	7-8	5.44
F	1902 08 04 22 36 10.00	Lunigiana	6	4.78
F	1902 12 04 16 35 01.00	Lunigiana	5	4.35
NF	1903 07 27 03 46	Lunigiana	7-8	5.19
4	1904 02 25 18 47 50.00	Reggiano	6	4.81
4	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	6	4.82
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	7	5.1
3-4	1908 06 02 22 30	Frignano	4-5	4.5
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	6-7	5.36
NF	1910 03 22 23 29	Bassa modenese	5	4.16
2	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	7	5.26
3	1912 09 12 21 15	Carpi	4	3.76
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	7	5.63
4	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	11	7.08
4	1915 10 10 23 10	Reggiano	6	4.87
3	1916 05 17 12 50	Riminese	8	5.82
F	1916 07 27 18 38	Garfagnana	5-6	4.56
5	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	8	5.82
4	1918 05 06 08 05	Reggiano	5-6	4.41
4	1918 11 10 15 12 28.00	Appennino forlivese	9	5.96
4	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	10	6.38
5-6	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	10	6.53
NF	1920 10 06 22 47	Mantovano	4-5	4.14
6	1923 06 28 15 12	Modenese	6	5.04
3	1926 01 01 18 04 03.00	Carniola interna	7-8	5.72

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
3	1927 11 20 10 24 12.00	Appennino reggiano	5	4.29
4	1928 06 13 08	Carpi	6	4.67
4-5	1928 07 25 01 25	Carpi	4-5	3.93
4	1929 04 10 05 44	Bolognese	6	5.05
NF	1929 04 12 00 32	Bolognese	4	4.82
5	1929 04 19 04 16	Bolognese	6-7	5.13
5	1929 04 20 01 10	Bolognese	7	5.36
4	1929 04 22 08 26	Bolognese	6-7	5.1
5	1929 04 29 18 36	Bolognese	6	5.2
5	1929 05 11 19 23	Bolognese	6-7	5.29
4	1930 10 24 00 52	Appennino tosco-emiliano	4	3.97
3	1930 10 26 07 14	Appennino tosco-emiliano	4	4.21
4	1930 10 26 07 31	Modenese	4	4.12
4	1931 06 10 17 02	Modenese	4	4.59
4	1932 04 19 00 17	Modenese	4	3.63
3	1934 06 13 09 06	Val di Taro-Lunigiana	6	5.14
4	1936 10 18 03 10	Alpago Consiglio	9	6.06
4-5	1937 12 10 18 04	Frignano	6	5.3
5	1939 10 15 14 05	Garfagnana	6-7	4.96
2	1939 10 31 06 47	Lunigiana	5-6	4.85
3	1951 05 15 22 54	Lodigiano	6-7	5.17
3	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	5	4.73
4-5	1963 11 04 15 46	Bassa modenese	5	4.16
NF	1965 11 09 15 35	Appennino reggiano	5	4.17
4-5	1967 04 03 16 36 18.00	Reggiano	5	4.44
4	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	6	5.05
5	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	8	5.51
4	1971 09 11 23 18 12.00	Pianura emiliana	5	4.19
4	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	5	4.87
4-5	1976 05 06 20	Friuli	9-10	6.45
3	1976 09 11 16 35 02.44	Friuli	7-8	5.6
4	1976 09 15 09 21 19.01	Friuli	8-9	5.95
3	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	4-5	4.61
5	1978 12 25 22 53 41.00	Bassa modenese	5	4.39
NF	1980 11 23 18 34 52.00	Irpina-Basilicata	10	6.81
3	1980 12 23 12 01 06.00	Piacentino	6-7	4.57
6	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	6-7	5.04
NF	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	7	5.62
2-3	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	6	4.43
6	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	6	4.71
4	1987 05 08 11 10 27.88	Bassa modenese	6	4.44
2	1988 02 08 11 24 46.14	Garfagnana	6	4.34
4	1988 03 15 12 03 16.17	Reggiano	6	4.57
3	1992 04 17 11 59 07.29	Appennino bolognese	4-5	4.11
3	1995 08 24 17 27 33.00	Appennino pistoiese	6	4.45
2-3	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	7	4.82
5-6	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	7	5.38
4	1996 10 26 04 56 54.10	Pianura emiliana	5-6	3.94
4	1996 12 16 09 09 53.08	Pianura emiliana	5-6	4.06
3	1997 05 12 22 13 52.50	Pianura emiliana	4-5	3.68
3	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	8-9	5.97
3-4	1998 02 21 02 21 13.30	Pianura emiliana	5	3.93
3	1998 03 26 16 26 17.03	Appennino umbro-marchigiano		5.26
4	1999 07 07 17 16 12.59	Frignano	5	4.67
4	2000 06 18 07 42 07.68	Pianura emiliana	5-6	4.4

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
3	2002 06 08 20 13 07.10	Frignano	4	4.23
NF	2002 06 18 22 23 38.10	Frignano	4	4.3
4-5	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	6	5.24
4	2004 11 24 22 59 38.55	Garda occidentale	7-8	4.99
4-5	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	6-7	5.36
3	2011 07 17 18 30 27.31	Pianura lombardo-veneta	5	4.79

Tab. 3 – Eventi sismici di maggiore intensità i cui effetti si sono risentiti a Modena

Dalla lettura dei dati si evidenzia che il massimo evento sismico censito a Modena si è verificato il 5 Giugno 1501 con un'intensità dell'VII-VIII grado della scala MCS. Tutti i terremoti registrati nel CPTI15 al contorno delle Casse del Secchia per una distanza di circa 50 Km sono stati rappresentati in Fig. 30.

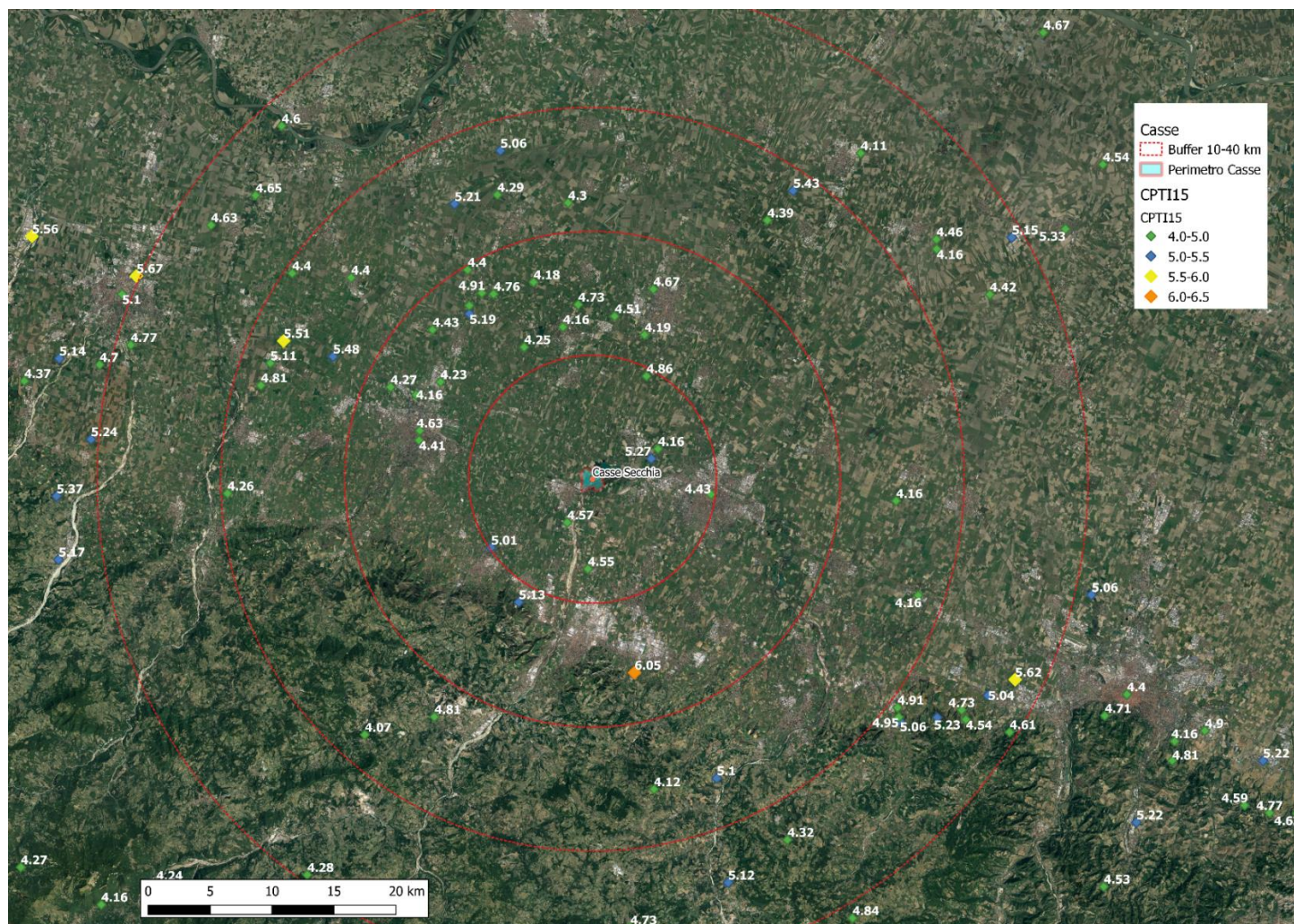


Fig. 30 – Terremoti registrati al contorno delle Casse Secchia con $M_w > 4$ (dal Catalogo CPTI15)

4.3.1 La sequenza sismica del 2012 in Emilia

Di particolare interesse, per lo studio in oggetto, è l'analisi della sequenza sismica del 2012 iniziata il 20 maggio 2012 alle ore 4.03, con epicentro Mirandola (MO), in occasione del quale è stata registrata una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter.

Tale sisma è stato seguito da numerosissime altre scosse, (1437 fino al 4 giugno - Fonte INGV) di cui 6 di magnitudo superiore a 5. In Fig. 31 è riportata la distribuzione temporale delle scosse sismiche nel periodo compreso tra il 20 maggio ed il 4 giugno 2012 e la relativa intensità.

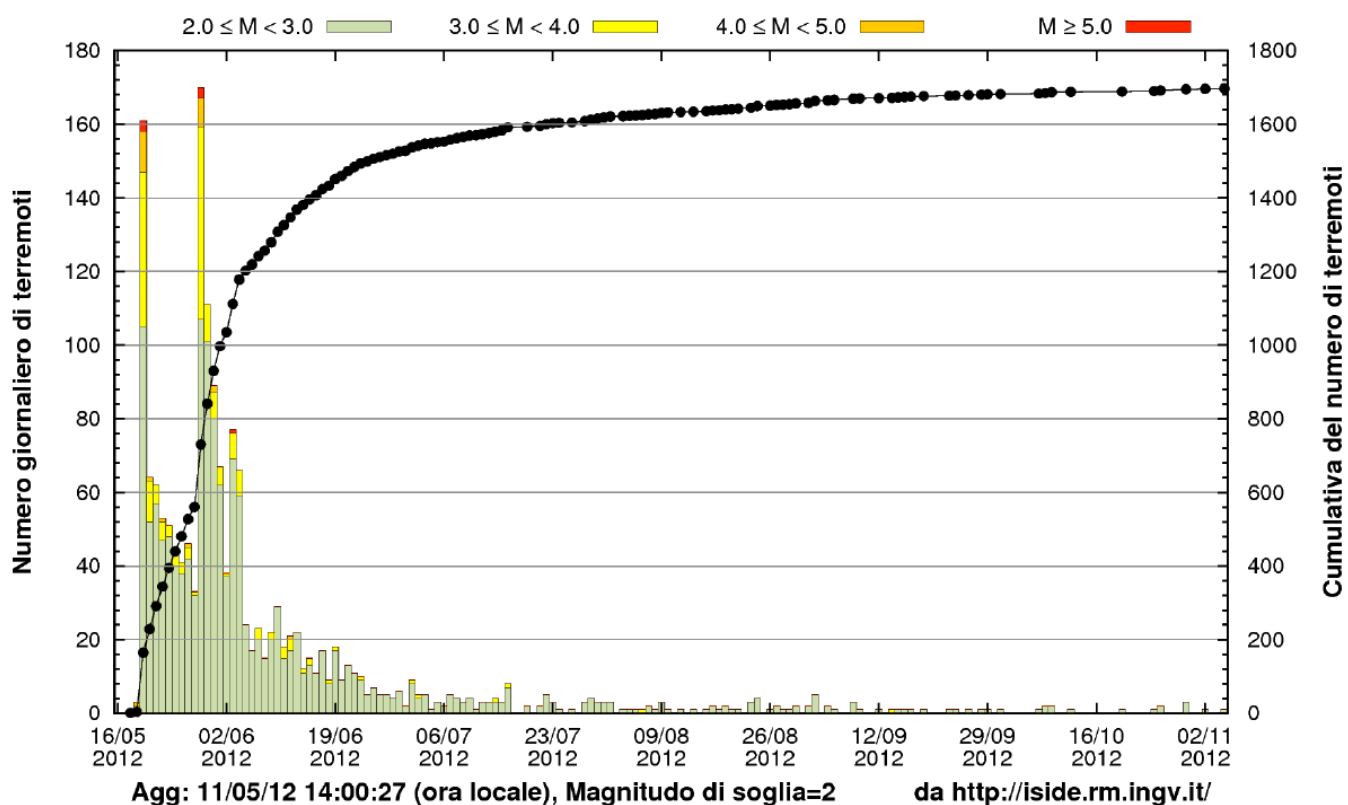


Fig. 31 – Sequenza sismica dal 20 maggio al 5 novembre 2012

In Fig. 32 è riportata la distribuzione spaziale dei sismi con magnitudo maggiore di 4. Come si può notare dalla figura la profondità degli ipocentri è quasi sempre superficiale (5-10 Km).

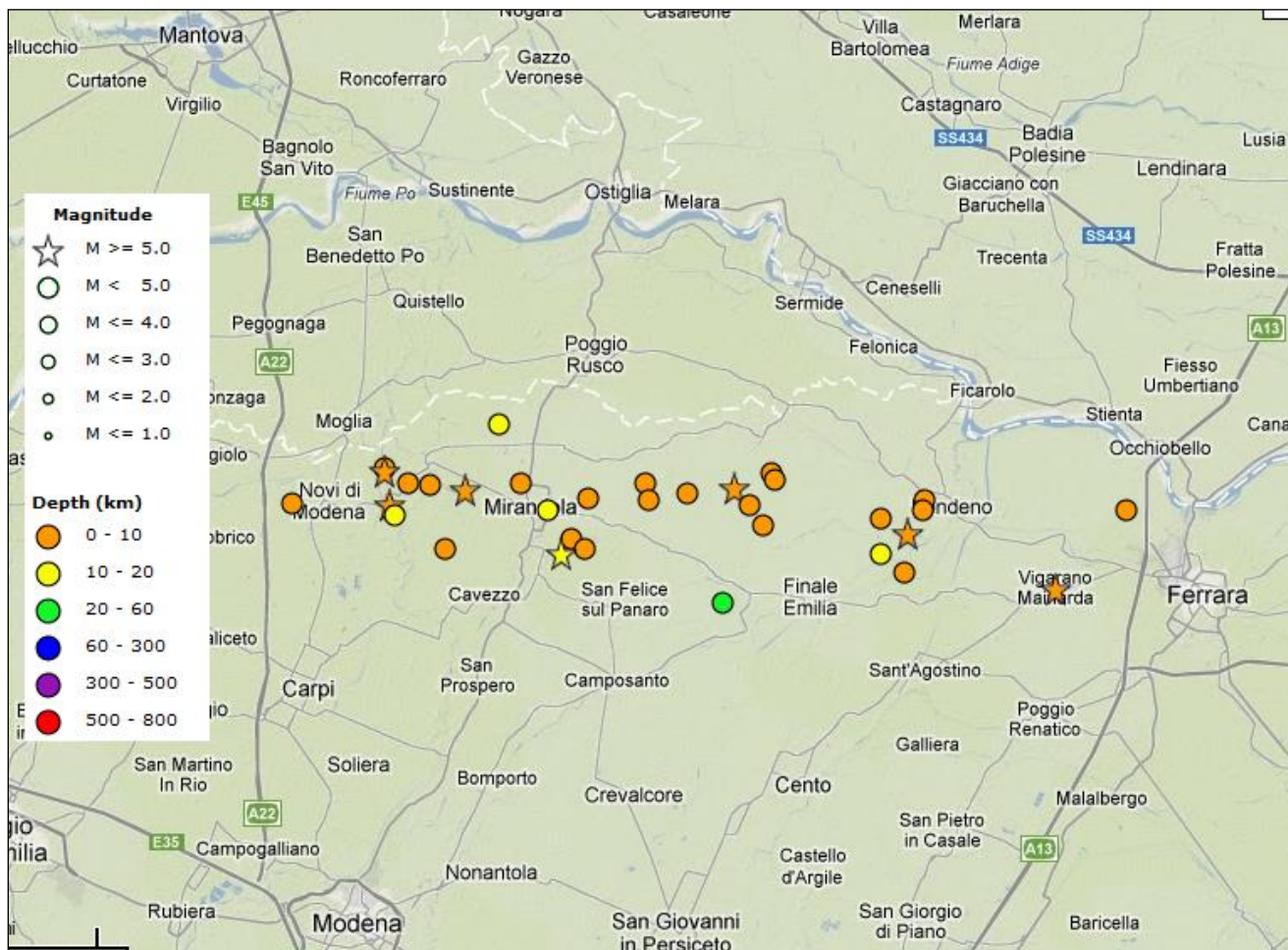


Fig. 32 – Distribuzione degli epicentri dei sismi con magnitudo > 4
(da <http://iside.rm.ingv.it>)

L'elaborazione dei dati della rete sismica nazionale ha consentito ad INGV di verificare che il sisma è legato ad un meccanismo di tipo compressivo, con direzione di massima compressione nord-sud. Tale meccanismo è compatibile con la “struttura di Mirandola”, faglia già valutata come potenziale sorgente sismogenetica, con magnitudo massima attesa pari a 5.9 della scala *Richter*.

In effetti il sisma, secondo le interpretazioni di INGV, è imputabile proprio al movimento della faglia di Mirandola, associata al sistema delle Pieghe Ferraresi, di cui si è già illustrato in precedenza.

In Fig. 33 è rappresentata una sezione schematica delle strutture sismogenetiche che hanno generato il terremoto.

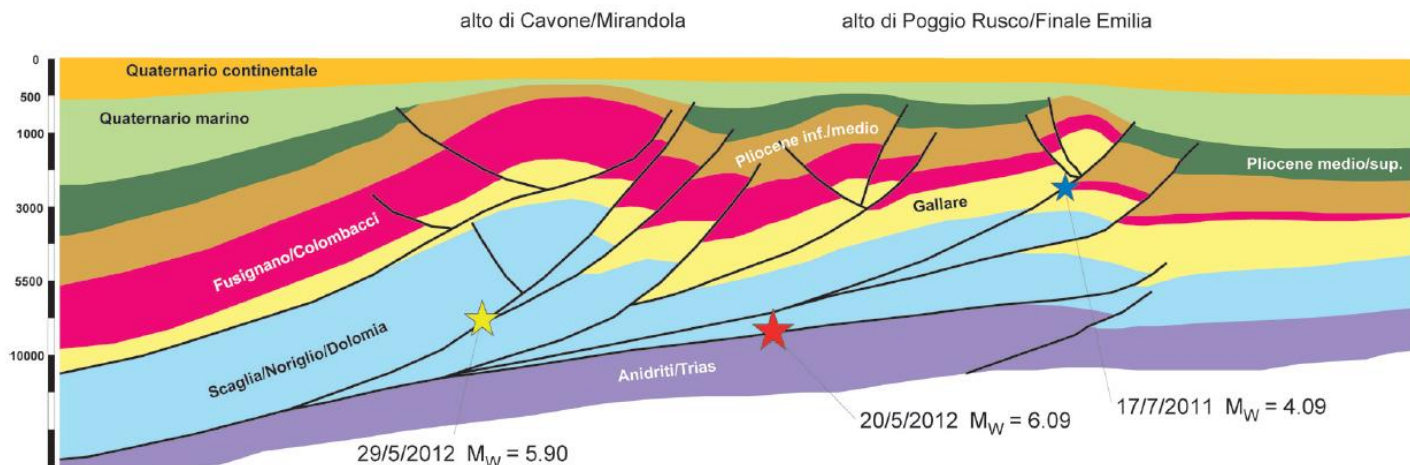


Fig. 33 – Sezione geologica attraverso le zone ipocentrali della sequenza sismica emiliana (da Note illustrative della Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e zone limitrofe)

L'evento di magnitudo $M_w=5.9$ del 20/5/2012 è stato risentito in tutto il nord-Italia e le *shakemap* calcolate subito dopo l'evento confermano queste osservazioni. In particolare, nella zona epicentrale le accelerazioni massime (PGA) sono state stimate fino a 0.3g, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità. Analoga accelerazione è stata calcolata per il sisma del 29/5/2012, che ha presentato una magnitudo pari a 5.8 della scala Richter.

Questi valori sono tuttavia stimati in quanto non vi sono dati da stazioni sismiche poste all'epicentro stesso o negli immediati paraggi per cui sono da ritenersi solo indicativi. La stazione di registrazione più vicina (appartenente alla Rete Accelerometrica Nazionale), ubicata a Mirandola (MRN), si trova ad una distanza di 13.3 km dall'epicentro dell'evento più significativo (20 maggio). Il picco massimo d'accelerazione registrato, in occasione dell'evento più forte (IA) è di 0.309 g, e, come mostrato in Fig. 35, corrisponde alla componente verticale (UP-DOWN). Inferiori

risultano i picchi corrispondenti alle due componenti orizzontali (0.264 in direzione SUD-NORD e 0.261 in direzione OVEST-EST).

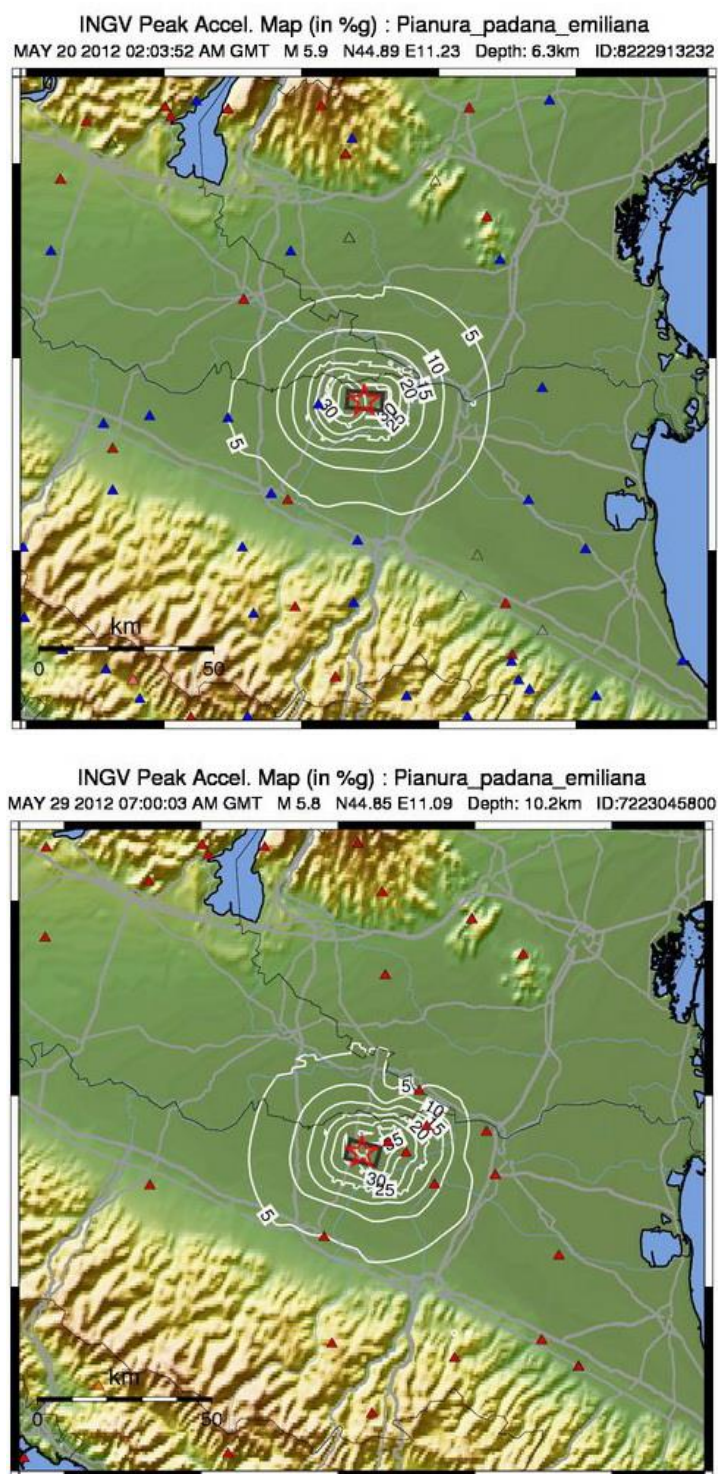


Fig. 34 – Mappe di accelerazione massima stimata al suolo (in % g) per i sismi del 20 e 29 maggio 2012

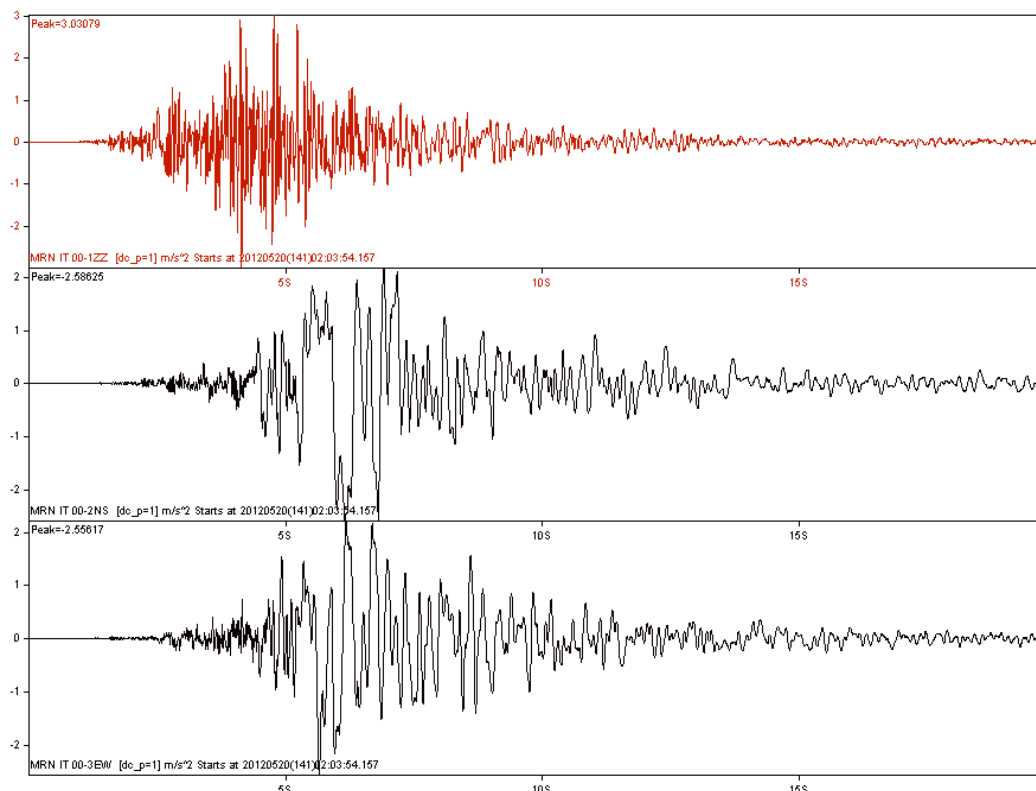


Fig. 35 - Sisma del 20/5/2012. Accelerogramma delle componenti (dall'alto in basso) Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest (acc. m/s/s, tempo s) registrate dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale (www.protezionecivile.gov.it)

La sequenza sismica del 2012 ha fornito anche importanti informazioni relativamente alla deformazione del terreno in superficie. Infatti, sebbene le faglie che hanno generato i terremoti non siano capaci (n grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie) hanno comunque deformato la topografia del suolo con valori massimi prossimi ai 20 cm per il sisma del 20 maggio e di circa 12 cm per il sisma del 29.

In Fig. 36 si riporta l'interferogramma *Radarsat* ottenuta dall'analisi di immagini radar Cosmo-SkyMed. La tecnica utilizzata è l'interferometria differenziale *DInSAR*.

L'interferogramma è una rappresentazione delle deformazioni del suolo avvenute tra le date di due immagini radar. Può essere letto come una mappa dei movimenti del suolo proiettati secondo la direzione di vista dei satelliti in termini di cicli di colore. Ciascun ciclo (o frangia) indica una deformazione del suolo (tra le due date) di 1.5 cm

per ottenere lo spostamento totale vanno sommate le frange con lo stesso verso del ciclo di colore.

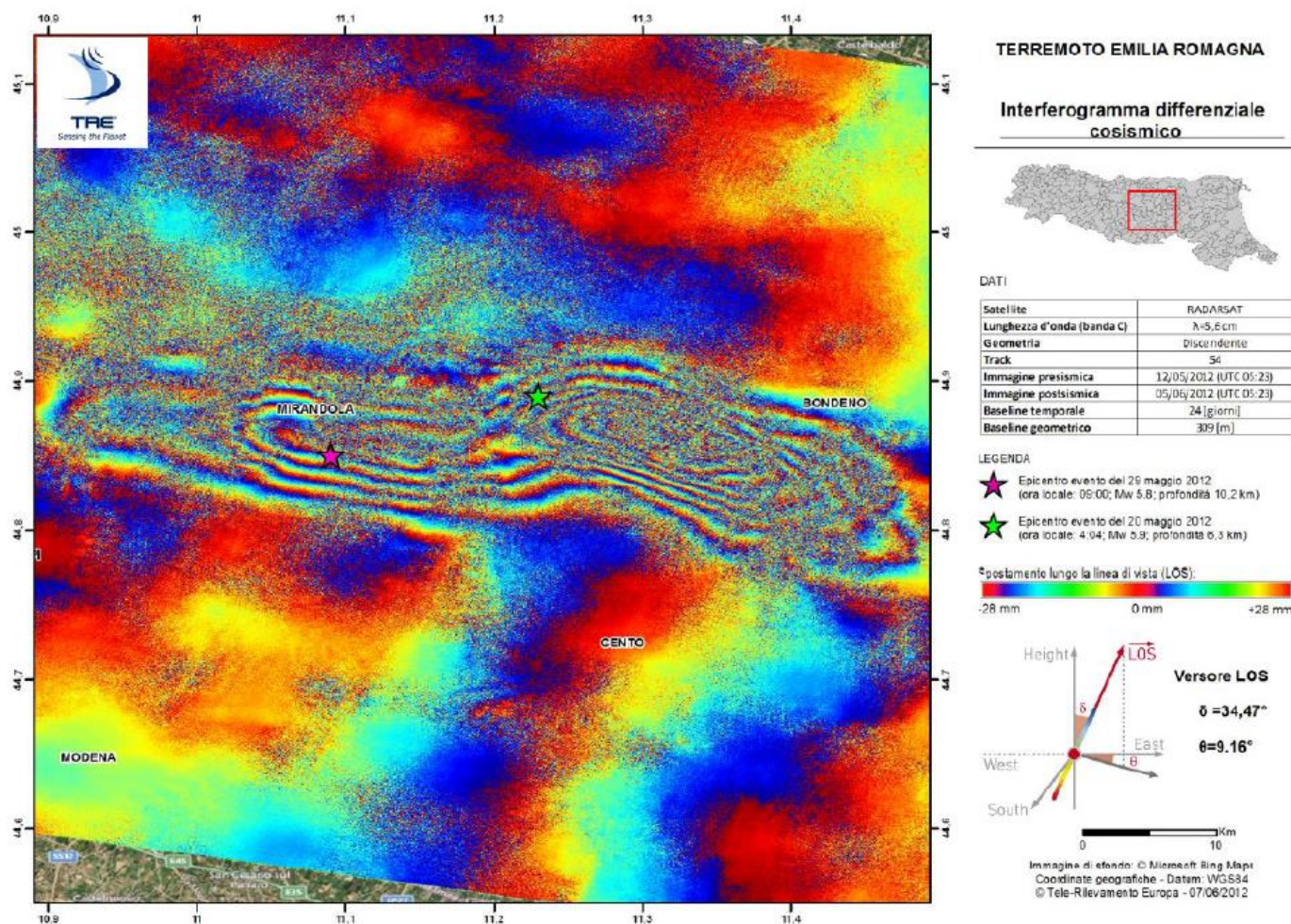


Fig. 36 – Interferogramma Radarsat comprendente i maggiori eventi della sequenza emiliana tra le date 12/5 e 5/ 2012 (da Luzi L. “La Sequenza sismica del maggio 2012 in Emilia”)

5 Sismicità

5.1 Classificazione sismica del territorio

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. La delibera della giunta regionale 23 luglio 2018 n.1164 aggiorna la classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia Romagna, riclassificando il territorio. Secondo tale aggiornamento, come indicato in Fig. 37, il territorio dei comuni di Modena, Campogalliano (MO) e Rubiera (RE) sono identificati in zona 3 (a sismicità bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, inferiori a $0,15 \cdot g$ (dove g è l'accelerazione di gravità).

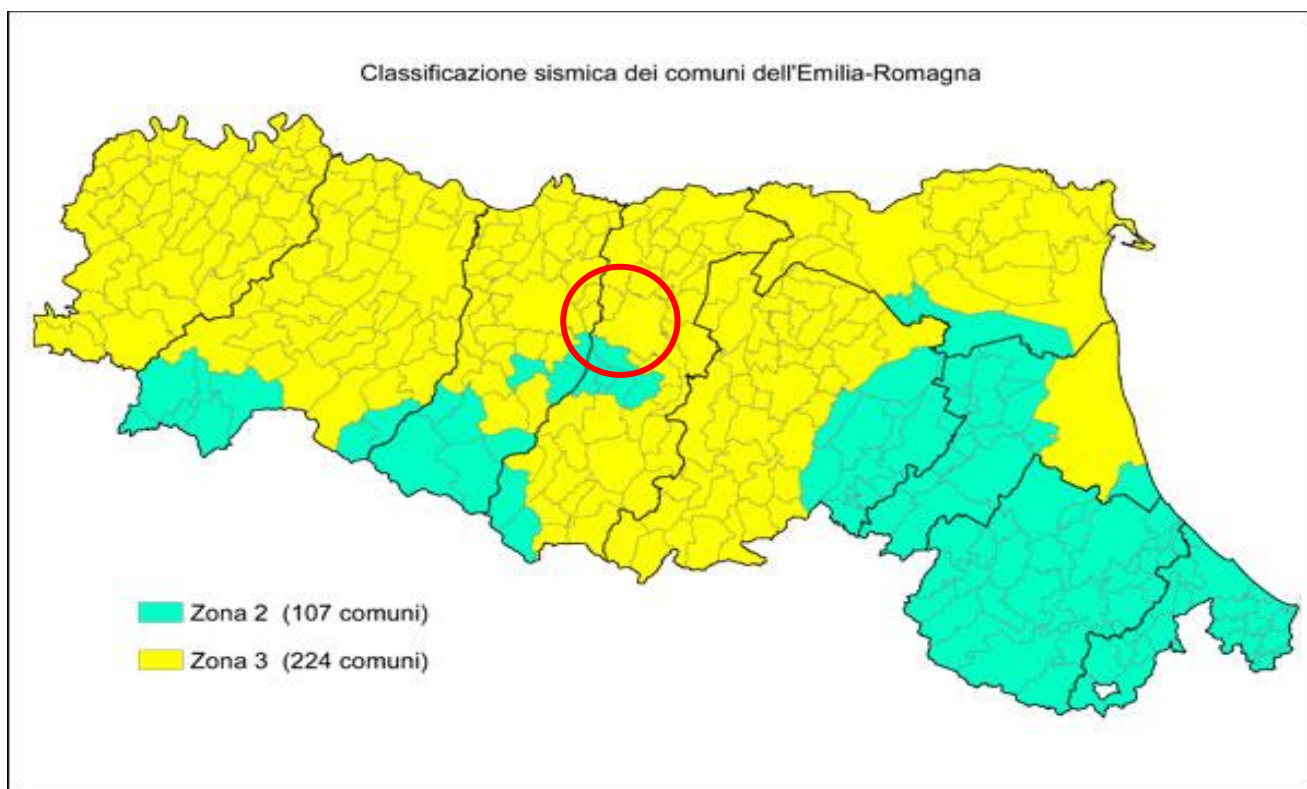


Fig. 37 - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna

Tale classificazione ha tuttavia esclusivo valore amministrativo; infatti, alle Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14-01-2008, è allegato un documento sulla

pericolosità sismica (Allegato A), in cui l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; cfr. Fig. 38), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno.

Per determinare il tempo di ritorno (T_R) si utilizza l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

dove V_R è il periodo di riferimento della costruzione, mentre P_{V_R} è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

Per determinare il tempo di ritorno sono stati utilizzati i parametri dell'opera in progetto già indicati nel paragrafo 1.2:

- VITA NOMINALE: “Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni o di importanza strategica” la cui vita nominale è $V_n \geq 100$ anni (come definito dalla Tab. 2.4.I delle N.T.C. 01/2018);
- CLASSE D'USO: Classe III: “Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni

di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso” (come definito dal paragrafo 2.4.2 delle N.T.C. 01/2008);

- PERIODO DI RIFERIMENTO PER L’AZIONE SISMICA: Considerata la classe d’uso III, il coefficiente d’uso è $C_u=1.50$ (cfr. Tab. 2.4.II delle N.T.C. 01/2018), e di conseguenza la Vita di riferimento è $V_R=V_N \cdot C_u=150$ anni.

Inoltre, sono stati definiti gli stati limite che forniscono le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (vedi Tab. 3.2.I del Paragrafo 3.2.1 delle NTC 01/2018), per lo stato limite ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV) con probabilità pari al 10% e per lo stato limite di esercizio di Danno (SLD) con probabilità pari al 63%.

Dato che il sito in esame non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* possono essere ricavati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione e i quattro vertici.

Alla luce di quanto sopradescritto i valori dei tre parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche sono riportati nella seguente Tab. 4.

Stato Limite	Tempo di ritorno $T_R(\text{anni})$	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
SLO	90	0.078	2.470	0.276
SLD	151	0.099	2.433	0.281
SLV	1424	0.241	2.401	0.303
SLC	2475	0.290	2.400	0.309

Tab. 4 – Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite

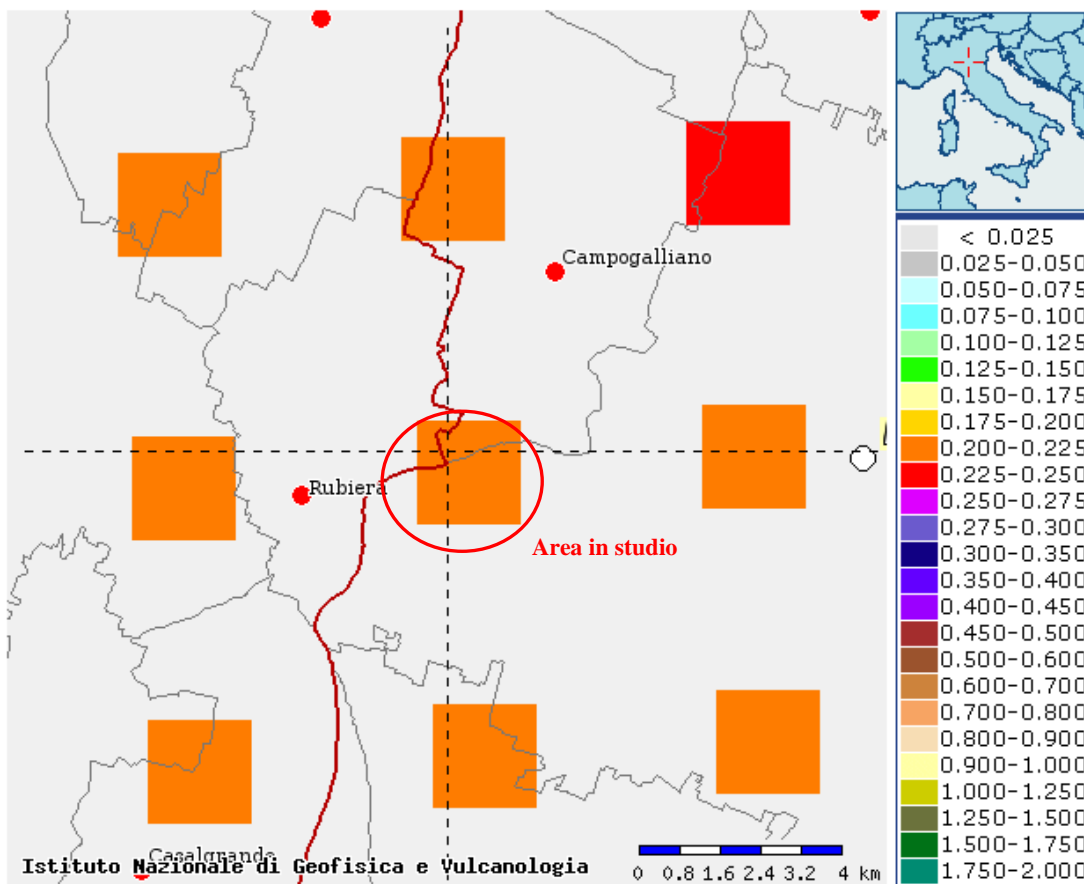


Fig. 38- Mappatura dell'accelerazione orizzontale massima del terreno (ag) con tempi di ritorno di 1475 anni per lo stato limite SLV

5.2 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 17-01-2018 definisce 5 categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità equivalente delle onde sismiche trasversali fino al substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s.

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio, sotto il piano di posa della fondazione e fino al substrato, ($V_{s,eq}$), è definita come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e V_i sono lo spessore e la velocità delle onde dello strato i -esimo fondazione, N il numero degli strati e H la profondità del substrato.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 5 - Categorie sismiche dei terreni

Sulla base dei dati ottenuti dal Down-Hole disponibile per il sito (cfr. paragrafo 2.2), si è constatato che i terreni appartengono alla **categoria sismica C**.

5.3 Coefficienti sismici di progetto

Sulla base della categoria di appartenenza del terreno il D.M. 17-01-2018 introduce i coefficienti S_s (coefficiente di amplificazione stratigrafica) e C_c (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo) per tener conto dell'amplificazione stratigrafica del valore dell'azione sismica di progetto. Per le categorie B, C, D e, questi due parametri possono essere calcolati attraverso le espressioni riportate in Tab. 6, dove i valori di F_0 e T_C^* sono relativi al sottosuolo di categoria A, g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Tab. 6 - Valori dei parametri S_s e C_c

Con i valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* riportati in Tab. 4 e, per le diverse categorie di suolo, in riferimento ai diversi stati limite, si ottengono i parametri di amplificazione per il fabbricato oggetto di studio, riportati nella successiva Tab. 7:

	S_s	C_c	S_t	A_{max} (m/s ²)	Beta	K_h	K_v
SLO	1.500	1.610	1.000	1.144	0.200	0.023	0.012
SLD	1.500	1.600	1.000	1.454	0.200	0.030	0.015
SLV	1.350	1.560	1.000	3.186	0.280	0.091	0.045
SLC	1.280	1.550	1.000	3.642	0.280	0.104	0.052

Tab. 7 – Coefficienti sismici di progetto

L'analisi della superficie topografica ha, invece, consentito di escludere la presenza di effetti locali legati a elementi morfologici. Il sito oggetto di indagine è ubicato in zona pianeggiante, dove il piano campagna ha un angolo di inclinazione $<15^\circ$ e di conseguenza non si ha amplificazione topografica.

6 Caratteri litostratimetrici, idrogeologici

I sondaggi geognostici nel paragrafo 2.1, hanno consentito di ricostruire, con un buon grado di dettaglio, l'assetto litostratimetrico e idrogeologico in corrispondenza dell'area d'intervento.

In particolare, è stato possibile redigere una sezione longitudinale e una trasversale (cfr. Tav. 3.d – Sezione geologica e idrogeologica), in cui sono stati distinti livelli costituiti da terreni a differente tessitura e conseguentemente caratterizzati da diversi gradi di permeabilità, facendo riferimento alle seguenti unità.

all'interno dei corpi arginali

- terreni prevalentemente limoso-argillosi a permeabilità da bassa a molto bassa
- terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi a permeabilità da media a elevata

nei terreni di fondazione

- terreni prevalentemente argillosi a permeabilità da bassa a molto bassa
- terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi a permeabilità da media a elevata

Da un esame delle sezioni di Tav. 3.d si che lo schema stratigrafico in corrispondenza dell'area d'intervento può essere così sintetizzato:

CORPO ARGINALE

- Altezza = all'incirca 10 m (considerando che si presume che in parte sia stato realizzato in escavazione delle ghiaie preesistenti)
- Litologia = variabile, dalle argille alle ghiaie
- Grado di permeabilità = variabile, in funzione della tessitura dei depositi

TERRENI DI FONDAZIONE

Orizzonte 1

- Profondità = da 10 a 12,5 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi
- Grado di permeabilità = da medio a elevato

Orizzonte 2

- Profondità = da 12,5÷21,5 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente argillosi

- Grado di permeabilità = da basso a molto basso

Orizzonte 3

- Profondità = da 21,5÷30 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi
- Grado di permeabilità = da medio a elevato

Orizzonte 4

- Profondità = da 30 a 34,5 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente argillosi
- Grado di permeabilità = da basso a molto basso

Orizzonte 5

- Profondità = da 34,5 a 39 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi
- Grado di permeabilità = da medio a elevato

7 Interpretazione delle prove in situ e delle analisi

Come già illustrato, le indagini hanno evidenziato la presenza, nel sottosuolo, di alternanze di depositi a comportamento coesivo e orizzonti ghiaiosi.

Per gli orizzonti coesivi, si è fatto riferimento ai valori di *pocket penetrometer*, registrati durante l'esecuzione dei sondaggi, oltre a dati derivanti da analisi di laboratorio effettuate nell'ambito delle precedenti fasi progettuali.

Gli orizzonti granulari sono stati, invece, caratterizzati utilizzando i risultati delle prove SPT eseguite durante i sondaggi a carotaggio continuo.

Nei successivi paragrafi sono riepilogate le varie correlazioni che hanno consentito di ricavare i parametri geotecnici dai dati penetrometrici (*pocket penetrometer* e prove SPT).

7.1 Depositi coesivi

Come sopraindicato, la definizione dei parametri geotecnici dei terreni coesivi (coesione non drenata, coesione efficace, angolo di attrito interno, modulo edometrico) è stata effettuata prevalentemente sulla base di analisi di laboratorio effettuate nell'ambito della progettazione dei precedenti lotti (I, II e III). Soltanto per la definizione della coesione non drenata si è fatto riferimento anche ai valori di *pocket penetrometer* misurati in campagna nel corso dei sondaggi, soprattutto per valutare la variabilità della c_u all'interno dei diversi orizzonti.

7.1.1 Coesione non drenata da *pocket penetrometer*

Per la determinazione del valore di c_u da *pocket penetrometer* si è utilizzata la formula

$$c_u = \frac{PP}{N_k}$$

dove:

PP = valore di *pocket penetrometer*,

N_k = coefficiente stimato pari a 1,6 sulla base dei valori di c_u derivanti da analisi di laboratorio effettuate nell'ambito della progettazione dei lotti I, II e III.

7.2 Depositi granulari

7.2.1 Densità relativa

La determinazione della densità relativa D_r è stata effettuata con la formula di *Meyerof* (1957)

$$D_r = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{\sigma'_v + 0.7}}$$

7.2.2 Angolo di attrito interno

L'angolo di attrito interno (ϕ') può essere ricavato indirettamente dai valori di N_{SPT} mediante la correlazione proposta da *Shioi e Fukuni* (*Japanese National Railway* 1982):

$$\Phi = 27 + N_{SPT} * 0.3$$

7.2.3 Modulo elastico

Il valore del modulo elastico E è stato ricavato mediante la relazione proposta da *D'Apollonia*, partendo dal valore di N_{SPT} :

$$E = 7.71 * N_{SPT} + 191$$

con il modulo elastico espresso in Kg/cm^2 .

8 Modello geotecnico

L'individuazione del modello geotecnico è stata basata sull'interpretazione della stratigrafia dei terreni riportata nelle sezioni litostratigrafiche descritte nel capitolo 6, correlando i dati riferiti alle diverse unità litologiche con i relativi parametri geotecnici, come indicato nel paragrafo 7.

In particolare, le caratteristiche di resistenza al taglio e di deformabilità, relative a ciascun orizzonte, sono state espresse sia in termini di *range* che di valori caratteristici (da utilizzare per valutazioni semiprobabilistiche, in ottemperanza alle N.T.C. 2018).

A riguardo, va precisato che il valore caratteristico dell'angolo di attrito del terreno è stato valutato come il valore corrispondente al 5° percentile della distribuzione della media, considerando una distribuzione gaussiana.

Per i valori di modulo edometrico, modulo elastico, coesione non drenata e coesione efficace si è invece utilizzata una distribuzione log-normale.

Quanto al peso di volume, il valore caratteristico è stato valutato con frattili al 50% (valori mediani).

Osservando Tav. 3.e – Profilo geotecnico, si osserva che il modello geotecnico in corrispondenza dell'area d'intervento è il seguente:

CORPO ARGINALE

- Altezza = all'incirca 10 m (considerando che si presume che in parte sia stato realizzato in escavazione delle ghiaie preesistenti)
- Litologia = variabile, dalle argille alle ghiaie
- Caratteristiche geotecniche:
 - in parte a comportamento coesivo con:
 - $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
 - $C_u = 50 \div 240 \text{ kPa}$; $C_{uK} = 120 \text{ kPa}$
 - $C'_K = 10 \text{ KPa}$
 - $\phi'_K = 28^\circ$
 - $E_{edK} = 8.2 \text{ Mpa}$
 - in parte a comportamento granulare con:
 - $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

- $\phi'_K = 31^\circ \div 38^\circ$; $\phi'_K = 33.2^\circ$
- $E_{yK} = 40 \text{ MPa}$

TERRENI DI FONDAZIONE

Orizzonte 1

- Profondità = da 10 a 12,5 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi
- Caratteristiche geotecniche:
 - comportamento granulare con:
 - $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$
 - $\phi'_K = 32^\circ \div 47^\circ$; $\phi'_K = 37^\circ$
 - $E_y = 28 \div 64 \text{ Mpa}$; $E_{yK} = 40.6 \text{ MPa}$

Orizzonte 2

- Profondità = da 12,5÷21,5 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente argillosi
- Caratteristiche geotecniche:
 - comportamento coesivo con:
 - $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
 - $C_u = 30 \div 180 \text{ kPa}$; $C_{uK} = 81.4 \text{ kPa}$
 - $C'_K = 9 \text{ KPa}$
 - $\phi' = 23^\circ \div 31^\circ$; $\phi'_K = 28.5^\circ$
 - $E_{ed} = 2.9 \div 6.5 \text{ MPa}$; $E_{edK} = 5.1 \text{ MPa}$

Orizzonte 3

- Profondità = da 21,5÷30 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi
- Caratteristiche geotecniche:
 - comportamento granulare con:
 - $\gamma = 21.5 \text{ kN/m}^3$
 - $\phi'_K = 37^\circ \div 50^\circ$; $\phi'_K = 42.1^\circ$
 - $E_y = 40 \div 73 \text{ Mpa}$; $E_{yK} = 53 \text{ MPa}$

Orizzonte 4

- Profondità = da 30 a 34,5 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente argillosi
- Caratteristiche geotecniche:
 - comportamento coesivo con:
 - $\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$
 - $C_u = 30 \div 175 \text{ kPa}$; $C_{uK} = 93.9 \text{ kPa}$
 - $E_{ed} = 8 \text{ MPa}$

Orizzonte 5

- Profondità = da 34,5 a 39 m da sommità arginale
- Litologia = Terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi
- Caratteristiche geotecniche:
 - comportamento granulare con:
 - $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$
 - $\phi'_K = 37^\circ \div 46^\circ$; $\phi'_K = 39.5^\circ$
 - $E_y = 40 \div 61 \text{ Mpa}$; $E_{yK} = 46.7 \text{ MPa}$

9 Rischio di liquefazione

Ai sensi delle NTC 2018 (§ 7.11.3.4.2) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

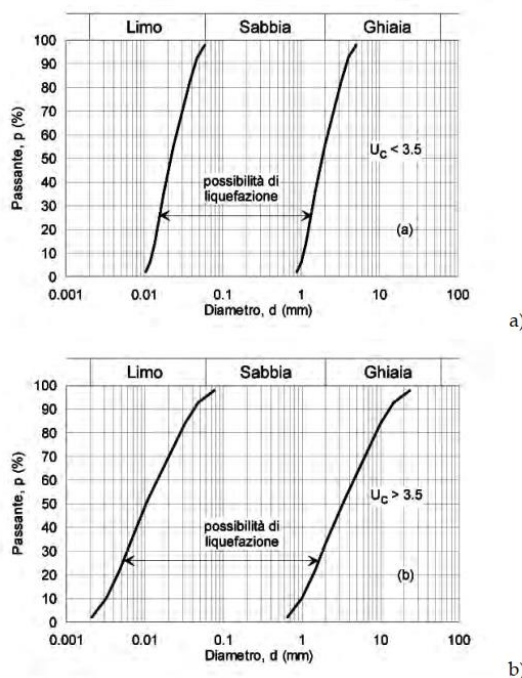
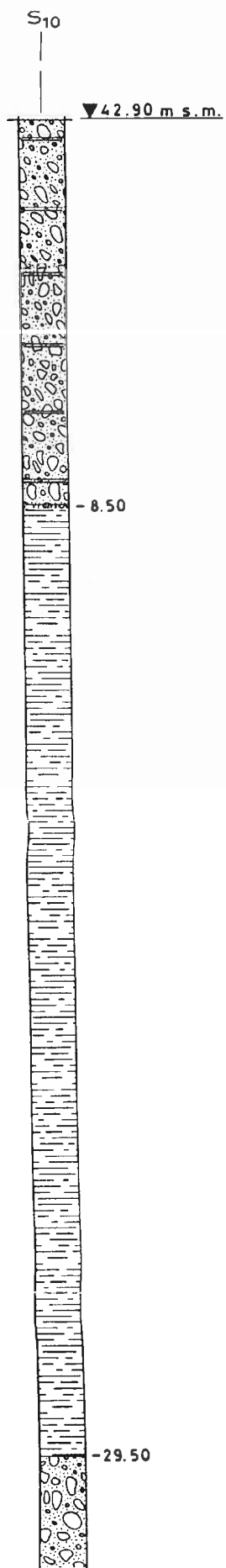


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione




Fig. 39 – Stralcio delle Fig. 7.11.1 a) e b) delle NTC 2018

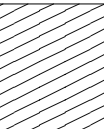
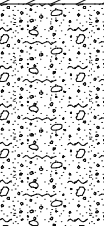
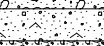


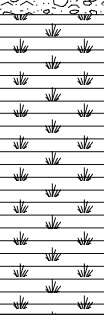
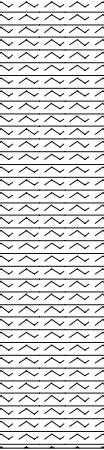
Nell'area interessata dall'intervento non sono presenti lenti sabbiose, pertanto la verifica a liquefazione viene omessa

REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE



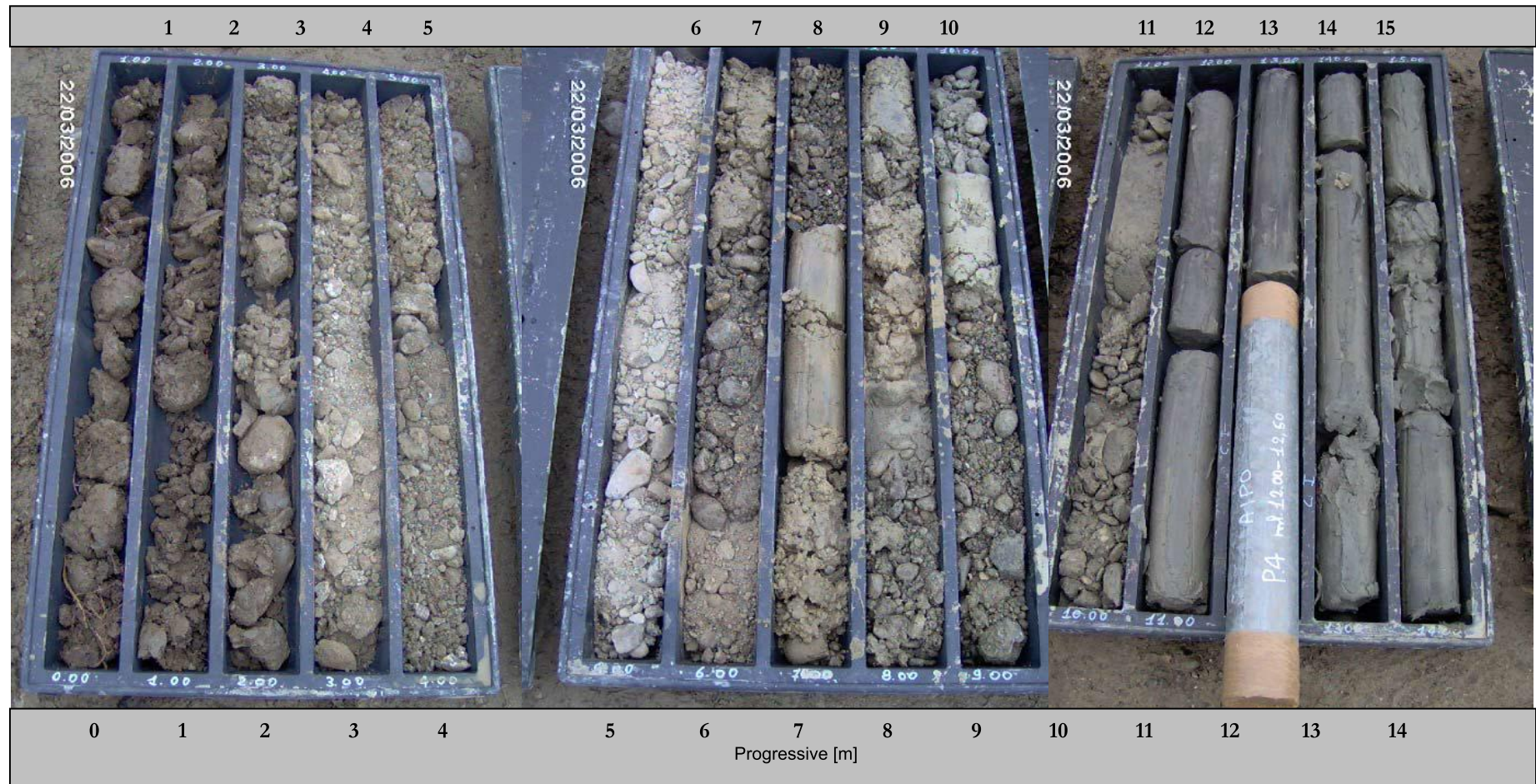
ditta SO.RI.GE.

 COMPAGNIA TORINESE MONITORAGGI  Dalla N. 833/1952  CNA	Committente <u>AIPO - AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO</u>		SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	<u>Monitoraggio manufatti di laminazione delle piene del Fiume Secchia</u>	S4	1/1
	Località	<u>Campogalliano (Modena)</u>		
	Inizio Perforazione	<u>15/03/2006</u>	Fine Perforazione	<u>16/03/2006</u>
	Scala	<u>1:100</u>	Il geologo Dott. S. Josa	

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tipo Casagrande	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [cm/s]
0.00	2.40		Terreno di riporto costituito prevalentemente da limo argilloso con ghiaia e ciottoli sparsi, colore bruno.	6.30	rolazione a carotaggio continuo diam. 101mm	127mm	90-100%	10.50							
-2.40	4.30		Ghiaia prevalentemente medio-fine con sabbia limosa a livelli prevalente, moderatamente addensata, colore nocciola.												
-6.70	0.60		Sabbia limosa con subordinata frazione ghiaiosa, moderatamente addensata, colore bruno-nocciola.												
-7.30	0.40		Limo debolmente sabbioso-ghiaioso, poco consistente, colore brunastro.												
-7.70	3.30		Ghiaia eterometrica con sabbia e/o sabbia limosa a livelli prevalente, rari ciottoli, moderatamente addensata, colore grigio-nocciola.												
-11.00	5.60		Argilla da debolmente torbosa a torbosa, poco consistente, colore grigio-nerastro.										12.00 C.I. N.1 12.50		
-16.60	8.40		Argilla debolmente limosa, da poco a moderatamente consistente con la profondità, colore grigiastro.										20.00 C.I. N.2 20.50		
-25.00															

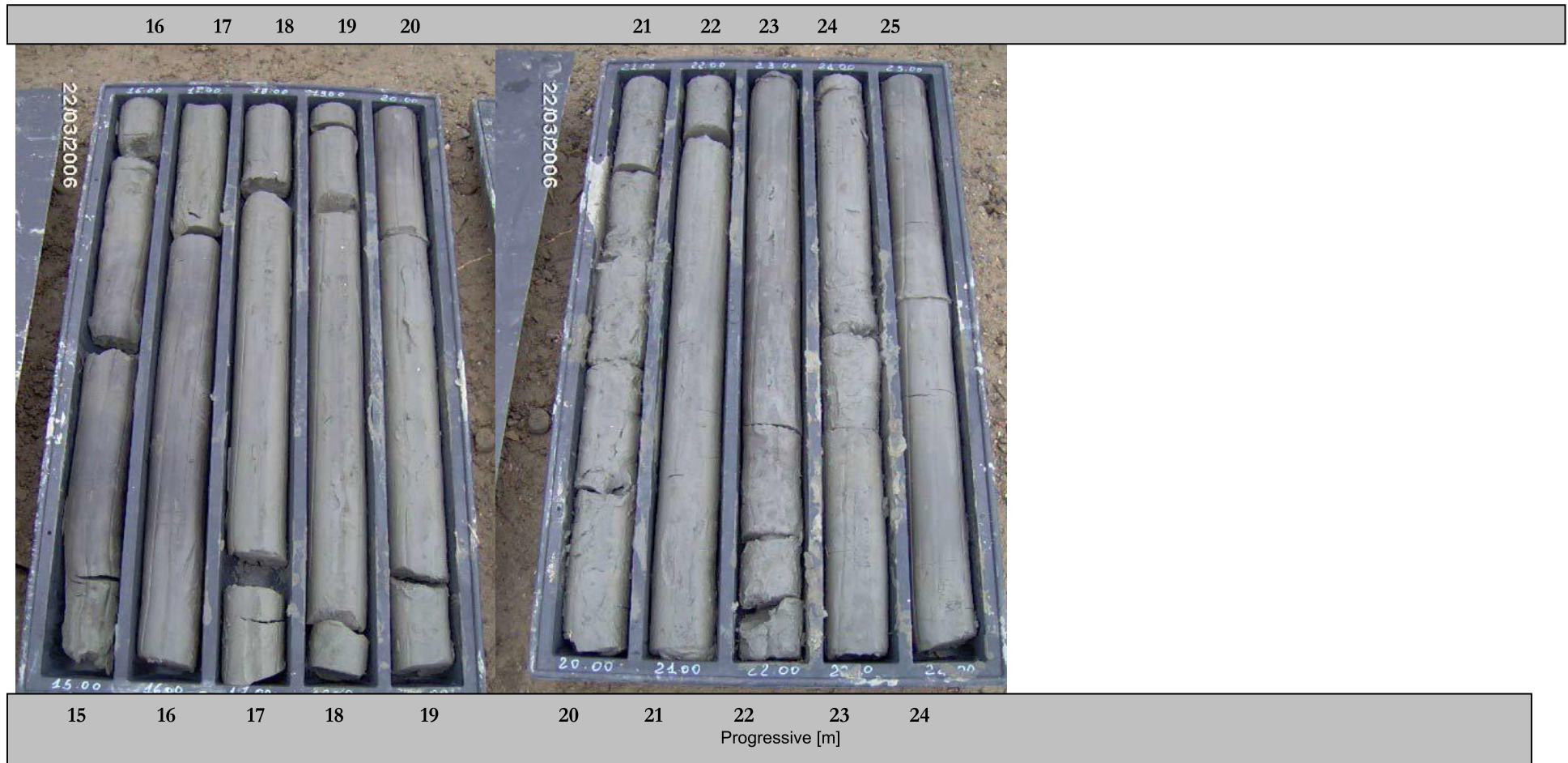
DEPOSITO CASSETTE: presso il laboratorio AIPO di Parma.

Fiume Secchia – (Modena -Reggio Emilia) - Sondaggio S4 (L=25.00m)



Cassette 1-3 da 0.00m a 15.00m da p.c.

Fiume Secchia – (Modena -Reggio Emilia) - Sondaggio S4 (L=25.00m)



Cassette 4-5 da 15.00m a 25.00m da p.c.

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po

CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE D6S3

C. SITO N°: S190077

PROFONDITA': 39,00 m

ESECUZIONE: 20/12/18 - 09/01/19

OPERATORE: BARONE

RIVESTIMENTO: 37,50 m

COMMESSA: 17812/18

RESPONSABILE: FOGLI

QUOTA:

Indisturbato S S.P.T
Rimaneggiato L Lefranc
Ambientale V Vane Test

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.P. kPa	T.V. kPa	PROVE			METODO E UTENSILE	FALDA	
				TIPO	NUM.	PROF.			TIPO	NUM.	PROF.			
1			Limo ghiaioso debolmente sabbioso, debolmente argilloso, da 0 a 1 m presenti frammenti di laterizio											
2														
3	3,00											SPT 1 3,00 - 3,45 m 3 - 6 - 9		
4														
5			Limo argilloso - ghiaioso - debolmente sabbioso, grigio											
6	5,90											SPT 2 6,00 - 6,45 m 4 - 3 - 6		
7														
8	7,40		Argilla limosa, marrone											
9														
10	10,00		Ghiaia poligenica (da arrotondata a sub-arrotondata) e ciottoli in matrice limosa - sabbiosa									SPT 3 9,00 - 9,45 m 31 - 32 - 31		
11														
12			Ghiaia poligenica e ciottoli in matrice sabbiosa - limosa grigio - marrone	CR 1		10,50 11,50			L		10,50 11,50			
13	12,60													
14			Argilla limosa ghiaiosa grigia, sabbioso il tratto 14,50 ÷ 15,40 m	Sh 1		13,50 13,80								
15	15,40											SPT 4 15,00 - 15,45 m 3 - 6 - 13		
16							100	50						
17							200	100						
18			Alternanza decimetrica di: argilla limosa e argilla debolmente limosa grigia e grigio scura, presenza di concrezioni carbonatiche				100	50						
19							75	35						
20				Sh 2		18,90 19,60	100	50						

Carotiere semplice - corona widia ø 101 mm

10,80

Foro non attrezzato

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po

CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE D6S3

C. SITO N°: S190077

PROFONDITA': 39,00 m

ESECUZIONE: 20/12/18 - 09/01/19

OPERATORE: BARONE

RIVESTIMENTO: 37,50 m

COMMESSA: 17812/18

RESPONSABILE: FOGLI

QUOTA:



Indisturbato
Rimaneggiato
Ambientale

S S.P.T
L Lefranc
V Vane Test







METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.P. kPa	T.V. kPa	PROVE			METODO E UTENSILE	FALDA	
				TIPO	NUM.	PROF.			TIPO	NUM.	PROF.			
21			Alternanza decimetrica di: argilla limosa e argilla debolmente limosa grigia e grigio scura, presenza di concrezioni carbonatiche				150 150	70 70						
22	21,50						25	10						
23														
24														
25			Ghiaia poligenica in matrice sabbiosa - limosa marrone, presente tratto di argilla limosa tra 25,50 e 26.00 m											
26														
27														
28														
29			Alternanza decimetrica di argilla limosa e limo argilloso grigio (marrone il tratto 30,10 ÷ 30,30 m)											
30	30,10						50 50	25 25						
31			Sabbia medio - fine limosa, grigia				100	50						
32	31,50 32,00													
33	32,70		sabbia fine limosa, marrone											
34														
35														
36														
37			Ghiaia poligenica da arrotondata a sub-arrotondata in matrice sabbiosa - limosa, marrone											
38														
39	39,00													
40			FINE SONDAGGIO											

Carotiere semplice - corona widia ø 101 mm

Foro non attrezzato

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)
 PERFORAZIONE D6S3 C. SITO N°: S190077
 ESECUZIONE: 20/12/18 - 09/01/19 OPERATORE: BARONE
 COMMESSA: 17812/18 RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 39,00 m
 RIVESTIMENTO: 37,50 m
 QUOTA:

	Indisturbato		S.P.T
	Rimaneggiato		Lefranc
	Ambientale		Vane Test

UBICAZIONE

Località: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

Coordinate: N 44,666927°
 E 10,806711°



Ubicazione del sondaggio









Cassetta 1: 0 - 5 m

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE D6S3 C. SITO N°: S190077
ESECUZIONE: 20/12/18 - 09/01/19 OPERATORE: BARONE
COMMESSA: 17812/18 RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 39,00 m
RIVESTIMENTO: 37,50 m
QUOTA:

	Indisturbato		S.P.T
	Rimaneggiato		Lefranc
	Ambientale		Vane Test



Cassetta 2: 5 - 10 m



Cassetta 3: 10 - 15 m



Cassetta 4: 15 - 20 m

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po

CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE D6S3

C. SITO N°: S190077

PROFONDITA': 39,00 m

ESECUZIONE: 20/12/18 - 09/01/19

OPERATORE: BARONE

RIVESTIMENTO: 37,50 m

COMMESSA: 17812/18

RESPONSABILE: FOGLI

QUOTA:



Indisturbato
Rimaneggiato
Ambientale



S.P.T
Lefranc
Vane Test



Cassetta 5: 20 - 25 m



Cassetta 6: 25 - 30 m









Cassetta 7: 30 - 35 m

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE D6S3 C. SITO N°: S190077
 ESECUZIONE: 20/12/18 - 09/01/19 OPERATORE: BARONE
 COMMESSA: 17812/18 RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 39,00 m
 RIVESTIMENTO: 37,50 m
 QUOTA:

	Indisturbato		S.P.T
	Rimaneggiato		Lefranc
	Ambientale		Vane Test



Cassetta 8: 35 - 39 m

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it**SOCOTEC**
COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE: D6SO4

C. SITO N°:

SF190126

PROFONDITA': 5.00 m



Indisturbato



S.P.T

ESECUZIONE: 08/04/19

OPERATORE:

BARONE

RIVESTIMENTO:



Rimaneggiato



Lefranc

COMMESSA: 17812/18

RESPONSABILE:

FOGLI

QUOTA: p.c.



Ambientale



Vane Test

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.P. kPa	T.V. kPa	PROVE			METODO E UTENSILE	FALDA	
				TIPO	NUM.	PROF.			TIPO	NUM.	PROF.			
1			Limo argilloso sabbioso debolmente ghiaioso di colore marrone chiaro			0.50						Carotiere semplice - corona widia ø 101 mm	Falda non rilevata	
2	2.40					1.50								
3			Ghiaia eterogenea in matrice limosa-sabbiosa di colore marrone chiaro			3.00								
4						4.00								
5	5.00													
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														

 Il Direttore Tecnico SO:
 ing. Massimo Dei Iasi

d6so4_SF190126 - pag 1 di 2

 Il Responsabile Prove in Sito:
 dott. Massimo Romagnoli

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it



SOCOTEC

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE: D6S04

C. SITO N°: SF190126

PROFONDITA': 5.00 m

ESECUZIONE: 08/04/19

OPERATORE: BARONE

RIVESTIMENTO:

COMMESSA: 17812/18

RESPONSABILE: FOGLI

QUOTA: p.c.



Indisturbato

Rimaneggiato

Ambientale



S.P.T

Lefranc

Vane Test

UBICAZIONE

LOCALITA': Cassa di espansione del Fiume Secchia -
Rubiera (RE)

PERFORAZIONE: D6S04

UBICAZIONE: Lat.: 44,667434°

Long.: 10,806994°









Ubicazione del sondaggio



Cassetta 1: 0 - 5 m

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)
PERFORAZIONE BS - 1 C. SITO N°: S180852
ESECUZIONE: 07/11 - 14/11/18 OPERATORE: BARONE
COMMESSA: 17812/18 RESPONSABILE: FOGLI - MAGHINI

PROFONDITA': 50.00 m
RIVESTIMENTO: 49.50 m
QUOTA:







 Indisturbato  S.P.T
 Rimaneggiato  Lefranc
 Ambientale  Vane Test

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.P. kPa	T.V. kPa	PROVE			METODO E UTENSILE	FALDA	TUBO DH
				TIPO	NUM.	PROF.			TIPO	NUM.	PROF.			
0,20			Terreno vegetale marrone											
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
11,50														
12														
13														
14														
14,20														
15														
15,20														
16														
17														
18														
19														
20														

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE BS - 1 C. SITO N°: S180852
ESECUZIONE: 07/11 - 14/11/18 OPERATORE: BARONE
COMMESSA: 17812/18 RESPONSABILE: FOGLI - MAGHINI

PROFONDITA': 50.00 m
RIVESTIMENTO: 49.50 m
QUOTA:

 Indisturbato  S.P.T
 Rimaneggiato  Lefranc
 Ambientale  Vane Test

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.P. kPa	T.V. kPa	PROVE			METODO E UTENSILE	FALDA	TUBO DH
				TIPO	NUM.	PROF.			TIPO	NUM.	PROF.			
21			Alternanza di argilla limosa grigia e argilla debolmente limosa grigio scura, presenti concrezioni carboniose				100	50						
22							75	30						
22							100	50						
22	22,30						75	30						
22	22,55						100	50						
23			Ghiaia poligenica (arrotondata e sub-arrotondata) in matrice sabbiosa - debolmente limosa giallo ocra				125	65						
24														
25														
26			Ghiaia poligenica (arrotondata e sub-arrotondata) in matrice sabbiosa, a tratti sabbiosa - limosa marrone, visibili livelli ossidati giallastri spessi 3 - 4 cm											
27														
28	27,60						25							
28	27,85		Argilla limosa marrone molle, visibili tracce di torba nerastra											
29														
30														
31														
32														
33			Ghiaia poligenica (arrotondata e sub-arrotondata) in matrice sabbiosa, a tratti sabbiosa - limosa marrone, visibili tratti ossidati giallastri spessi 3 - 4 cm											
34														
35														
36														
37			Argilla limosa marrone molle, visibili tracce di torba nerastra											
38	37,90													
38	38,05													
39			Ghiaia poligenica (arrotondata e sub-arrotondata) in matrice sabbiosa, a tratti sabbiosa - limosa marrone, visibili livelli ossidati giallastri spessi 3 - 4 cm											
40														

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE BS - 1

C. SITO N°: S180852

PROFONDITA': 50.00 m

ESECUZIONE: 07/11 - 14/11/18

OPERATORE: BARONE

RIVESTIMENTO: 49.50 m

COMMESSA: 17812/18

RESPONSABILE: FOGLI - MAGHINI

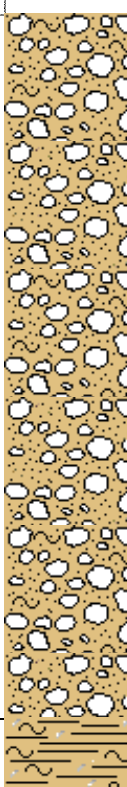

QUOTA:



Indisturbato
Rimaneggiato
Ambientale



S.P.T
Lefranc
Vane Test

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.P. kPa	T.V. kPa	PROVE			METODO E UTENSILE	FALDA	TUBO DH
				TIPO	NUM.	PROF.			TIPO	NUM.	PROF.			
41			Ghiaia poligenica (arrotondata e sub-arrotondata) in matrice sabbiosa, a tratti sabbiosa - limosa marrone, visibili livelli ossidati giallastri spessi 3 - 4 cm, da 45 a 48.85 m presenti sporadici ciottoli grandi 6 - 7 cm		CR 3	47,50 48,00						Carotiere semplice - corona widia ø 101 mm		Tubo DH in PVC 0 ÷ 50 m, ø esterno 80 mm
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49	48,85													
50	50,00													
FINE SONDAGGIO														
51														
52														
53														
54														
55														
56														
57														
58														
59														
60														

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po

CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE BS - 1

C. SITO N°: S180852

PROFONDITA': 50.00 m

ESECUZIONE: 07/11 - 14/11/18

OPERATORE: BARONE

RIVESTIMENTO: 49.50 m

COMMESSA: 17812/18

RESPONSABILE: FOGLI - MAGHINI

QUOTA:



Indisturbato
Rimaneggiato
Ambientale



S.P.T
Lefranc
Vane Test

UBICAZIONE

Località: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

Coordinate: N 44.657631°

E 10.803432°



Ubicazione del sondaggio



Cassetta 1: 0 - 5 m

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po

CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)

PERFORAZIONE BS - 1

ESECUZIONE: 07/11 - 14/11/18

COMMESSA: 17812/18

C. SITO N°: S180852

OPERATORE: BARONE

RESPONSABILE: FOGLI - MAGHINI

PROFONDITA': 50.00 m

RIVESTIMENTO: 49.50 m

QUOTA:



Indisturbato

Rimaneggiato

Ambientale



S.P.T

Lefranc

Vane Test



Cassetta 2: 5 - 10 m



Cassetta 3: 10 - 15 m









Cassetta 4: 15 - 20 m

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)
PERFORAZIONE BS - 1
ESECUZIONE: 07/11 - 14/11/18
COMMESSA: 17812/18

C. SITO N°: S180852
OPERATORE: BARONE
RESPONSABILE: FOGLI - MAGHINI

PROFONDITA': 50.00 m
RIVESTIMENTO: 49.50 m
QUOTA:

	Indisturbato		S.P.T
	Rimaneggiato		Lefranc
	Ambientale		Vane Test



Cassetta 5: 20 - 25 m



Cassetta 6: 25 - 30 m









Cassetta 7: 30 - 35 m

COMMITTENTE: AIPO - Agenzia interregionale per il Fiume Po
CANTIERE: Cassa di espansione del Fiume Secchia - Rubiera (RE)
PERFORAZIONE BS - 1
ESECUZIONE: 07/11 - 14/11/18
COMMESSA: 17812/18

C. SITO N°: S180852
OPERATORE: BARONE
RESPONSABILE: FOGLI - MAGHINI

PROFONDITA': 50.00 m
RIVESTIMENTO: 49.50 m
QUOTA:

	Indisturbato		S.P.T
	Rimaneggiato		Lefranc
	Ambientale		Vane Test




Cassetta 8: 35 - 40 m



Cassetta 9: 40 - 45 m

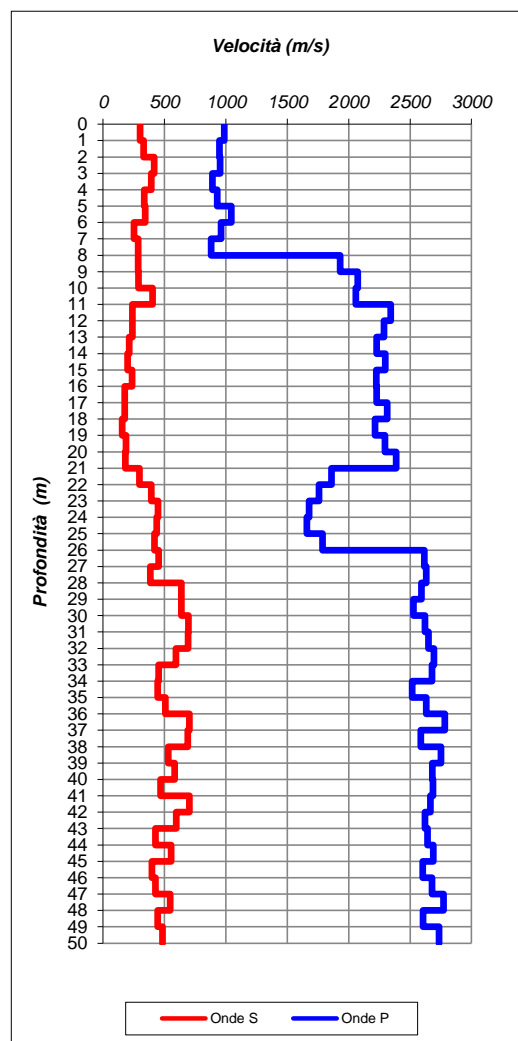
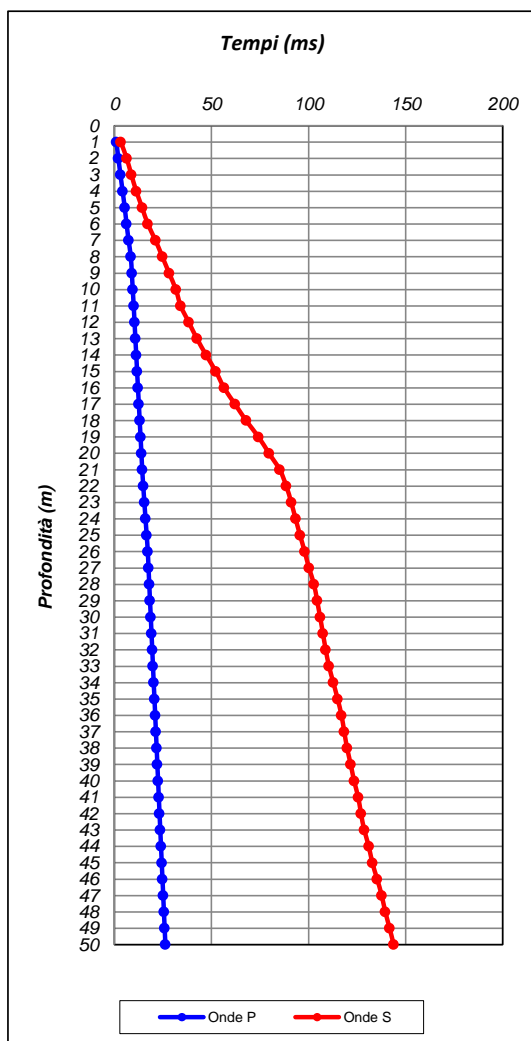


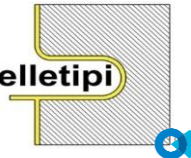
Cassetta 10: 45 - 50 m

 A COMPANY OF SOCOTEC			TEST REPORT					1/3	
			DOWN HOLE						
CLIENTE:			AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po						
LAVORO:			(MO-E-1357) Affidamento del servizio di progettazione di fattibilità tecnico ed economica (preliminare), definitiva, esecutiva, il coordinamento della sicurezza in fase di progettazione relativa agli interventi di adeguamento del sistema di laminazione delle piene della cassa di espansione del fiume Secchia (Provincia di Modena)						
UBICAZIONE:			Versante sud lago artificiale						
NOME TEST:			DH BS1						
DATA DI ESECUZIONE			07-14/11/2018						
COORDINATE			Y	44°39'27.47"N					
			X	10°48'12.36"E					
Profondità (m)	Onde P		Onde S		Poisson	Young (MPa)	Taglio (MPa)	Bulk (MPa)	γ (kN/m ³)
	(ms)	(m/sec)	(ms)	(m/sec)					
1,00	1,01	987,65	3,33	300,09	0,45	469,2	161,9	1537,6	18,0
2,00	2,07	948,78	6,36	330,49	0,43	559,5	195,5	1350,5	17,9
3,00	3,12	951,63	8,75	417,28	0,38	861,0	311,7	1205,7	17,9
4,00	4,24	890,27	11,30	393,12	0,38	757,8	274,8	1042,9	17,8
5,00	5,31	930,76	14,29	334,80	0,43	570,9	200,2	1280,4	17,9
6,00	6,27	1043,52	17,21	342,44	0,44	610,7	212,1	1686,8	18,1
7,00	7,31	960,14	21,19	250,99	0,46	330,4	112,9	1501,5	17,9
8,00	8,45	880,00	24,69	285,32	0,44	416,7	144,6	1182,6	17,8
9,00	8,97	1930,37	28,19	286,40	0,49	485,1	162,9	7183,6	19,9
10,00	9,45	2072,42	31,66	287,78	0,49	497,2	166,8	8429,6	20,1
11,00	9,94	2057,42	34,14	403,87	0,48	971,1	328,1	8077,1	20,1
12,00	10,36	2342,49	38,33	238,57	0,49	352,0	117,7	11193,4	20,7
13,00	10,80	2287,13	42,52	238,59	0,49	350,1	117,1	10606,1	20,6
14,00	11,25	2226,35	47,23	212,15	0,50	275,3	92,0	10015,0	20,5
15,00	11,69	2298,93	52,24	199,62	0,50	245,6	82,1	10776,7	20,6
16,00	12,14	2223,63	56,47	236,65	0,49	342,2	114,5	9957,6	20,4
17,00	12,58	2226,42	62,15	175,89	0,50	189,4	63,3	10054,0	20,5
18,00	13,02	2312,27	67,82	176,63	0,50	192,7	64,3	10941,4	20,6
19,00	13,47	2215,16	74,23	155,83	0,50	148,6	49,6	9958,9	20,4
20,00	13,90	2294,90	79,62	185,61	0,50	212,3	70,9	10749,2	20,6
21,00	14,32	2387,59	85,16	180,61	0,50	202,9	67,8	11752,8	20,8
22,00	14,86	1859,86	88,53	296,52	0,49	515,6	173,4	6590,0	19,7
23,00	15,43	1757,93	91,07	393,86	0,47	892,2	302,7	5627,3	19,5
24,00	16,03	1677,17	93,30	447,44	0,46	1132,7	387,5	4927,5	19,4
25,00	16,63	1659,89	95,60	435,87	0,46	1073,9	367,0	4833,6	19,3
26,00	17,19	1787,38	97,99	418,32	0,47	1007,8	342,5	5796,9	19,6
27,00	17,57	2614,39	100,20	452,07	0,48	1288,2	433,9	13931,5	21,2
28,00	17,95	2631,19	102,80	384,71	0,49	937,2	314,7	14300,8	21,3
29,00	18,34	2593,36	104,37	636,30	0,47	2518,5	857,8	13105,4	21,2
30,00	18,73	2527,22	105,94	636,92	0,47	2504,4	854,1	12308,3	21,1
31,00	19,11	2621,14	107,38	693,90	0,46	2991,3	1022,8	13230,5	21,2
32,00	19,49	2649,78	108,83	693,30	0,46	2996,1	1023,8	13590,0	21,3
33,00	19,86	2694,08	110,51	592,16	0,47	2211,9	750,0	14523,7	21,4
34,00	20,24	2678,92	112,72	452,64	0,49	1299,9	437,6	14744,2	21,4
35,00	20,63	2516,86	114,97	445,82	0,48	1240,6	418,0	12766,6	21,0
36,00	21,01	2631,38	116,94	506,46	0,48	1615,2	545,4	13995,5	21,3
37,00	21,37	2781,46	118,37	702,01	0,47	3115,6	1062,6	15265,3	21,6
38,00	21,76	2586,93	119,82	688,71	0,46	2936,3	1004,3	12830,9	21,2
39,00	22,12	2750,45	121,70	530,57	0,48	1792,4	605,3	15458,3	21,5
40,00	22,50	2681,47	123,42	582,20	0,48	2136,5	724,1	14395,1	21,4
41,00	22,87	2685,30	125,56	468,13	0,48	1390,3	468,3	14785,6	21,4
42,00	23,24	2665,12	126,98	702,30	0,46	3077,7	1052,1	13747,8	21,3
43,00	23,62	2621,37	128,66	594,62	0,47	2212,5	751,1	13595,7	21,2
44,00	24,00	2641,38	131,00	427,35	0,49	1155,6	388,7	14330,5	21,3
45,00	24,37	2687,56	132,81	553,90	0,48	1938,3	655,8	14564,8	21,4
46,00	24,76	2601,51	135,32	397,92	0,49	999,2	335,7	13902,3	21,2
47,00	25,13	2677,72	137,66	426,97	0,49	1157,8	389,3	14793,1	21,4
48,00	25,49	2771,02	139,50	545,06	0,48	1894,2	640,0	15687,8	21,5
49,00	25,88	2605,12	141,74	445,09	0,48	1247,9	420,2	13834,4	21,2
50,00	26,24	2735,40	143,81	483,36	0,48	1488,8	501,6	15396,4	21,5

DOWN HOLE

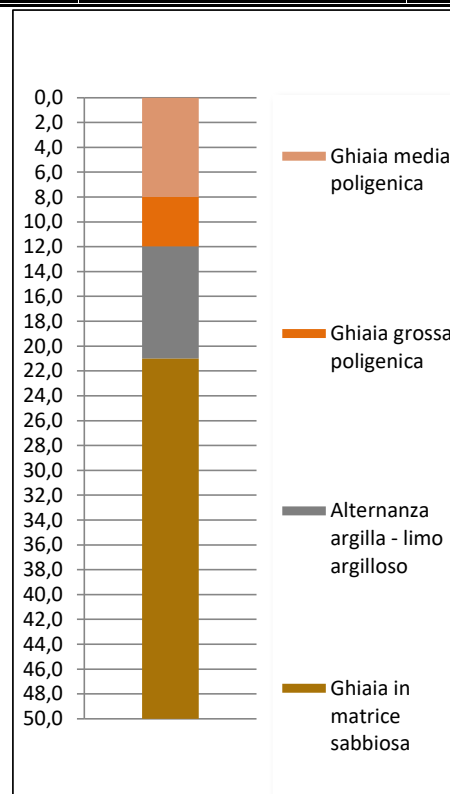
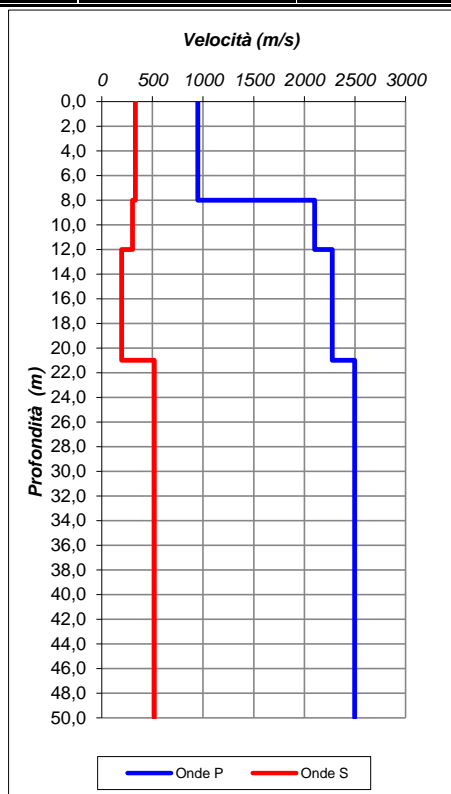
CLIENTE:	AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po		
LAVORO:	(MO-E-1357) Affidamento del servizio di progettazione di fattibilità tecnico ed economica (preliminare), definitiva, esecutiva, il coordinamento della sicurezza in fase di progettazione relativa agli interventi di adeguamento del sistema di laminazione delle piene della cassa di espansione del fiume Secchia (Provincia di Modena)		
UBICAZIONE:	Versante sud lago artificiale		
NOME TEST:	DH BS1		
DATA DI ESECUZIONE	07-14/11/2018		
COORDINATE	Y	44°39'27.47"N	
	X	10°48'12.36"E	



 <small>A COMPANY OF SOCOTEC</small>	TEST REPORT	3/3
	DOWN HOLE	

CLIENTE:	AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po	
LAVORO:	(MO-E-1357) Affidamento del servizio di progettazione di fattibilità tecnico ed economica (preliminare), definitiva, esecutiva, il coordinamento della sicurezza in fase di progettazione relativa agli interventi di adeguamento del sistema di laminazione delle piene della cassa di espansione del fiume Secchia (Provincia di Modena)	
UBICAZIONE:	Versante sud lago artificiale	
NOME TEST:	DH BS1	
DATA DI ESECUZIONE	07-14/11/2018	
COORDINATE	Y	44°39'27.47"N
	X	10°48'12.36"E

Profondità base(m)	Onde P	Onde S	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	γ (kN/m ³)
	Velocità (m/sec)	Velocità (m/sec)					
8,00	949,09	331,82	0,43	563,75	197,06	1349,48	17,9
12,00	2100,68	304,15	0,49	556,65	186,88	8665,35	20,2
21,00	2274,71	195,73	0,50	235,59	78,73	10527,94	20,5
50,00	2496,29	518,43	0,48	1667,21	564,21	12329,14	21,0



V_{S eq} (5-35)	Suolo
291	-