

Regione Emilia-Romagna

Regione Emilia Romagna  
Comune di Jolanda di Savoia (FE)  
**IMPIANTO AGRIVOLTAICO  
E OPERE CONNESSE**  
Potenza Impianto 99,665 MWp



**PROPONENTE**

**BF ENERGY S.R.L.**

VIA XXIV Maggio 43 – 00187 ROMA - P.IVA: 15689751004 – PEC: bfenergy@legalmail.it

**PROGETTAZIONE**

**Ing. Massimo Zambello**

VIA I. ALPI 4 – 46100 - MANTOVA IT - P.IVA: 02627240209 – PEC: [solarit@lamiaptec.it](mailto:solarit@lamiaptec.it)  
Tel.: +390425 072 257– email: [info@solaritglobal.com](mailto:info@solaritglobal.com)

**COLLABORAZIONI**

Firme / Timbro

**FRUGES ENERGIA & AMBIENTE S.R.L.**

PIAZZA SANT'AMBROGIO 8 – 20123 MILANO –  
P.IVA: 10581360962 – PEC: fruges-ea@legalmail.it

**STUDIO TECNICO**

PER. IND. GIANNANDREA ARGIOLAS  
Via Torino n.16 – 58011 Capalbio (GR)  
Tel-Fax: 0564890345 – Mail: [studiotecnicoargiolas@gmail.com](mailto:studiotecnicoargiolas@gmail.com)

**COORDINAMENTO PROGETTUALE**

**SOLAR IT S.R.L.**



VIA I. ALPI 4 – 46100 - MANTOVA IT - P.IVA: 02627240209 – PEC: [solarit@lamiaptec.it](mailto:solarit@lamiaptec.it)  
Tel.: +390425 072 257– email: [info@solaritglobal.com](mailto:info@solaritglobal.com)

**TITOLO ELABORATO**

**Relazione preliminare alle indagini geologiche, geognostiche, geotecniche ed idrogeologiche**

LIVELLO DI PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILE NAME	DATA
DEFINITIVO	JO-RS-R05	IT-23-095-JO-RS-R05_0	28/11/2023

**REVISIONI**

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
A	28/11/2023	Emesso	TVE	MLA	MZA

# RELAZIONE PRELIMINARE

---

ALLE INDAGINI GEOLOGICHE,  
GEOGNOSTICHE,  
GEOTECNICHE ED  
IDROGEOLOGICHE



**Studio Servizi Tecnici**  
Settore geologia e ambiente

**DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE**

Via Roma, 10

44021 CODIGORO (Ferrara)

Tel e fax. 0533 / 713798 cell. 335-5240380

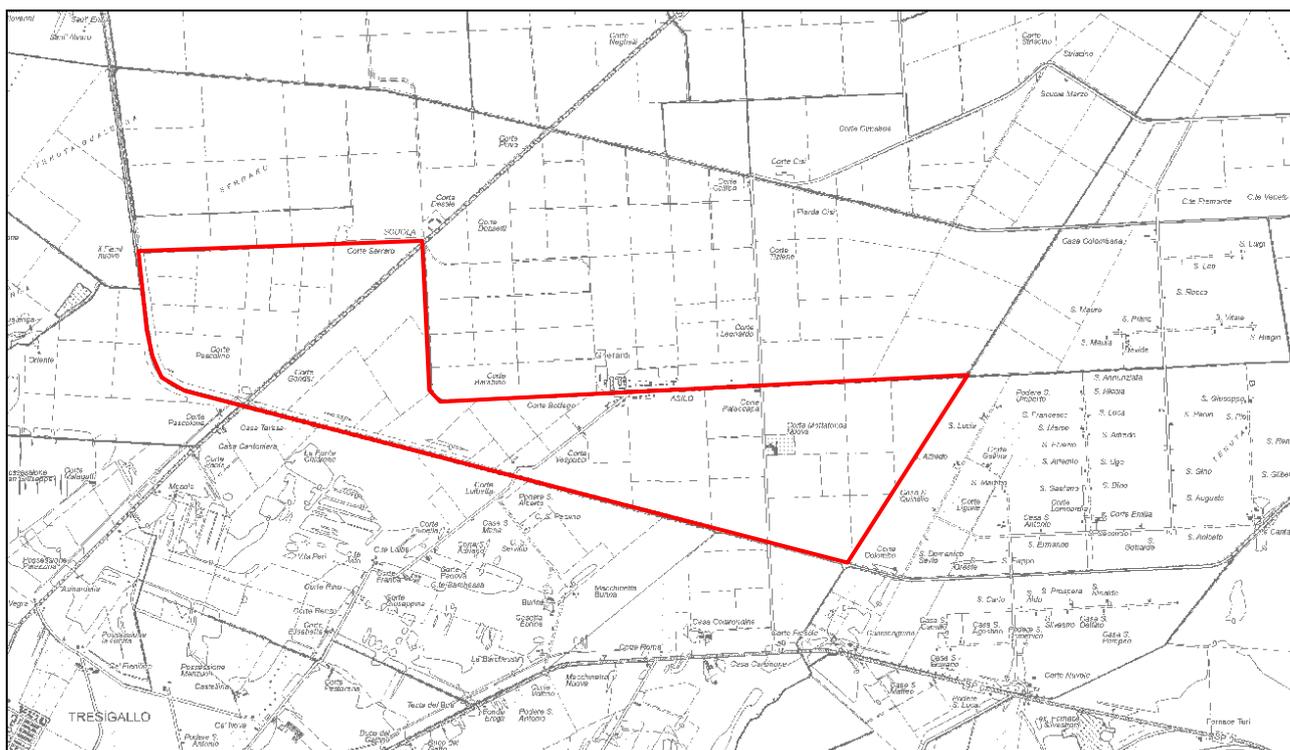
E-mail: [t.veronese@studio-sst.it](mailto:t.veronese@studio-sst.it)

PEC [thomas.veronese@pec.epap.it](mailto:thomas.veronese@pec.epap.it)

RELAZIONE PRELIMINARE DI MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA e  
GEOTECNICA SULLE INDAGINI

Comune di Jolanda di Savoia  
PROVINCIA DI FERRARA

Studio dei terreni di fondazione per il progetto preliminare di realizzazione di un  
impianto Agrivoltaico in comune di Jolanda di Savoia (Fe).



Committente: **CAD & DRAWING MANAGMENT**  
Sede in: via G. Frescobaldi n. 8  
44121 Ferrara (Fe)

28 novembre 2023

**S.S.T. SETTORE GEOLOGIA E AMBIENTE**

Geotecnica; Studio terreni di fondazione; Stabilità dei versanti; Rilevamento geologico;  
Rilievi topografici; Geofisica - Contributi allo Studio di Impatto Ambientale;  
Assistenza alle pubbliche amministrazioni negli studi di fattibilità e di realizzazione dei  
P.R.G., cimiteri, discariche, piani attività estrattive, studi di acquiferi per la tutela e per  
l'utilizzo di risorse idriche sotterranee; subirrigazioni.



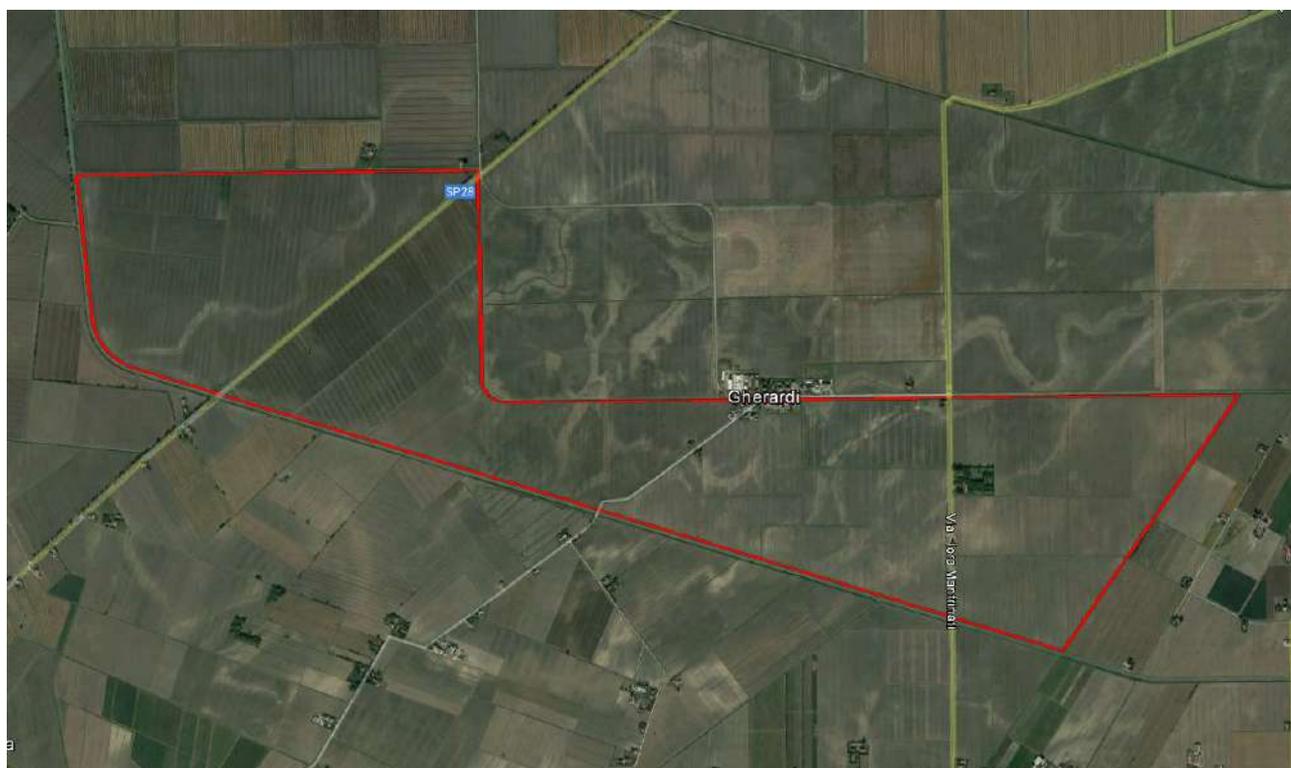
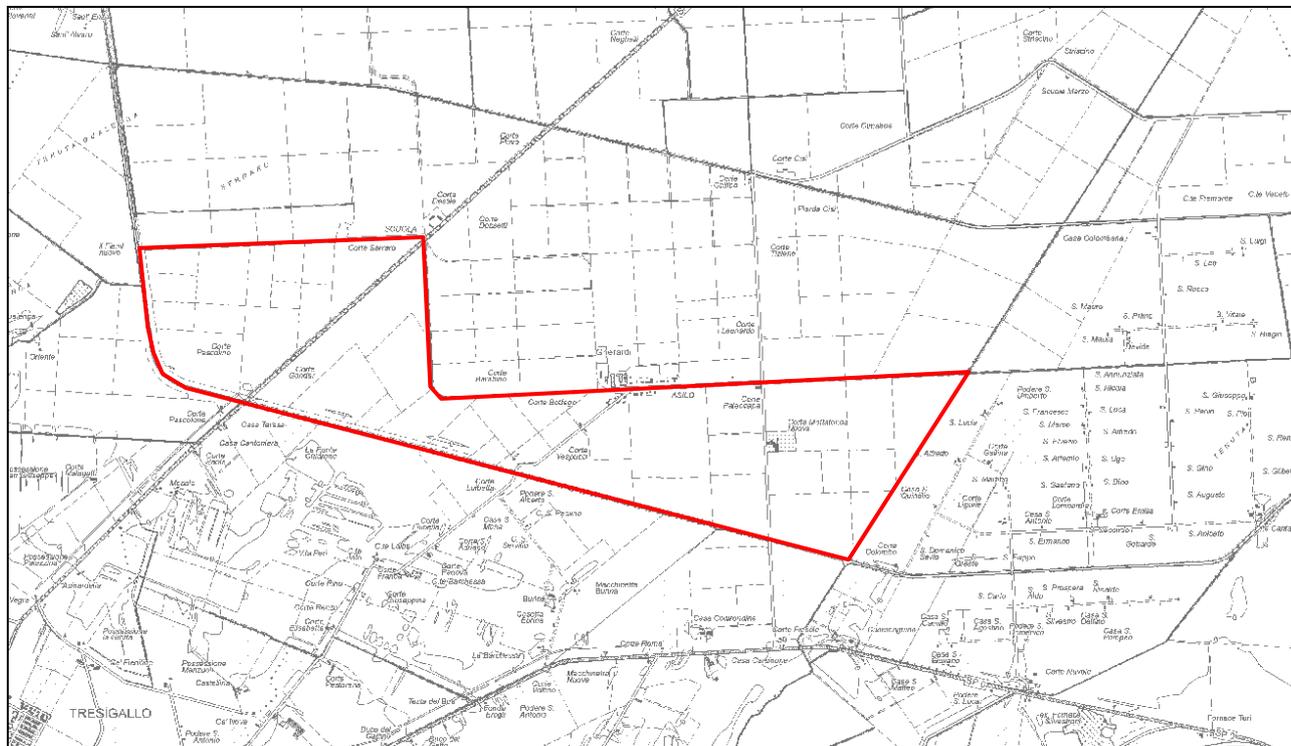
INDICE:

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. MODELLAZIONE GEOLOGICA .....</b>	<b>3</b>
2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA.....	3
2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI .....	10
2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI .....	19
2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI .....	25
<b>3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI .....</b>	<b>27</b>
3.1. DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA.....	27
<i>Categoria di suolo di fondazione.....</i>	<i>27</i>
<i>Parametri sismici secondo "D.M. 17 gennaio 2018" .....</i>	<i>34</i>
<i>Magnitudo di progetto .....</i>	<i>37</i>
3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE.....	38
3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI .....	41
<b>4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI .....</b>	<b>42</b>
4.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	44

## 1. PREMESSA

Su incarico della ditta CAD & DRAWING MANAGMENT, con sede in via G. Frescobaldi n. 8 a Ferrara (Fe), si redige lo studio per ricostruire una relazione preliminare di modellazione geologica, sismica e geotecnica sulle indagini per il progetto di "realizzazione di un impianto Agrivoltaico" in comune di Jolanda di Savoia (Fe), basata sulla raccolta di dati bibliografici.

In **FIGURA 1.1** si riporta l'ubicazione dell'area di intervento.



**FIGURA 1.1** – Planimetria dell'area di intervento a Jolanda di Savoia (Fonte: <http://visore.cgu-ferrara.it/Geovistaweb/default.aspx>)

## **Normativa e Raccomandazioni di riferimento**

- Decreto del Ministro delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare n. 7/2019 del C.S.LL.PP.: Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 Gazzetta Ufficiale n. 35/2019 - 11 febbraio 2019.
- Deliberazione della Giunta Regionale 12 aprile 2021, N. 476 Aggiornamento dell’”Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630”.
- Deliberazione della Giunta Regionale 26 aprile 2021, N. 564 integrazione della propria deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell’allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Art. 22 e 49, L.R. N. 24/2017)"
- Delibera di Giunta Regionale Num. 630 del 29/04/2019, Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r . n. 24/2017).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)  
“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)  
“Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)”.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)  
“Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)”.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.  
Eurocode EC-7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.  
Eurocode EC-8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.

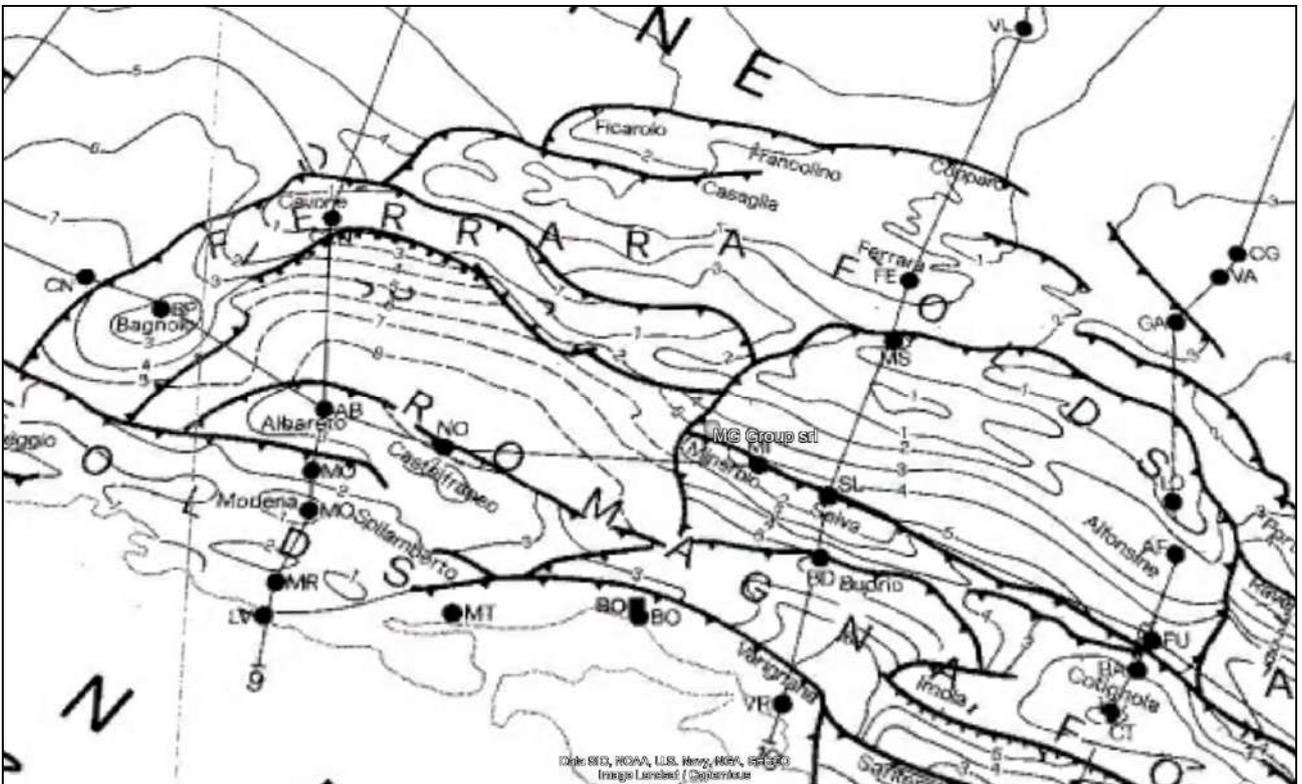
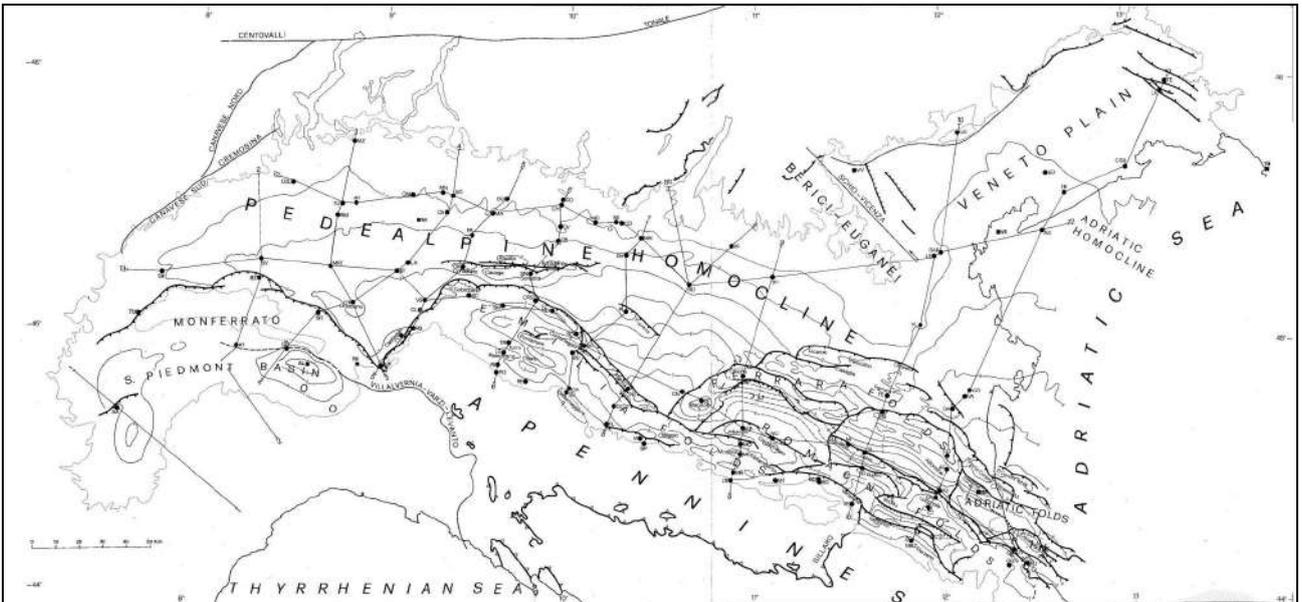
## **2. MODELLAZIONE GEOLOGICA**

### **2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL’AREA**

La Pianura Padana è un’area a basso rilievo morfologico ricoperta da un ingente spessore di sedimenti terrigeni Plio-Pleistocenici.

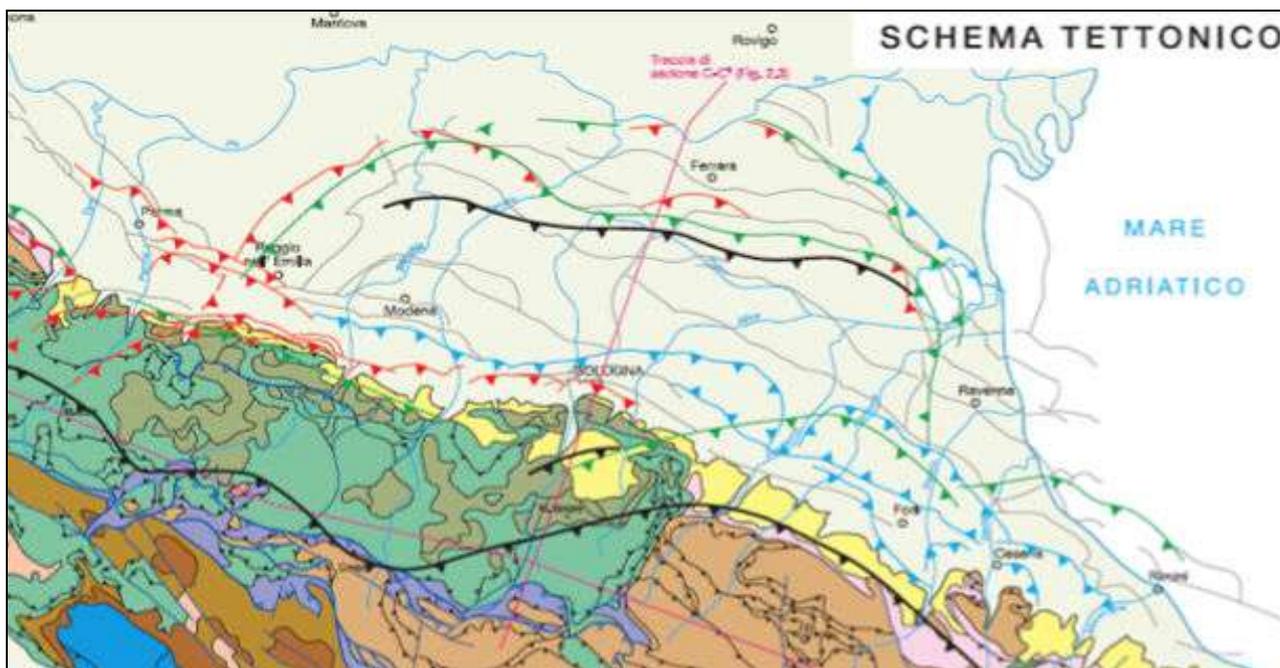
A grande scala, nella Pianura Padana si distinguono a nord le pieghe del Subalpino e, nella parte meridionale, tre strutture principali ad arco, costituite dai thrust più avanzati della catena appenninica. Da ovest a est: l’arco del Monferrato, l’arco Emiliano (Mirandola) e l’arco di Ferrara. Quest’ultimo si può suddividere in tre gruppi minori: le pieghe ferraresi, le pieghe romagnole e più a est le pieghe adriatiche, che costituiscono il vero fronte esterno (sepolto) della catena appenninica. L’arco ferrarese è sepolto al disotto di una sequenza Plio-Pleistocenica terrigena che copre la successione carbonatica mesozoica, che costituisce la vera ossatura dell’Appennino.

Nella **FIGURA 2.1** si apprezza lo spessore dei sedimenti alluvionali sopra quelli del Pliocene medio superiore.



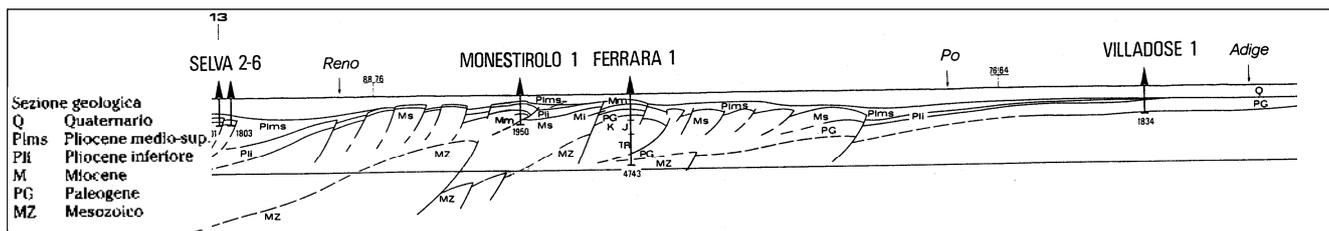
*FIGURA 2.1 - Mappa geologico-strutturale della Pianura Padana (Pieri e Groppi)*

Nella **FIGURA 2.2** viene riportata la mappa geologico-strutturale, dove si possono notare le principali strutture tettoniche sepolte in Pianura Padana.



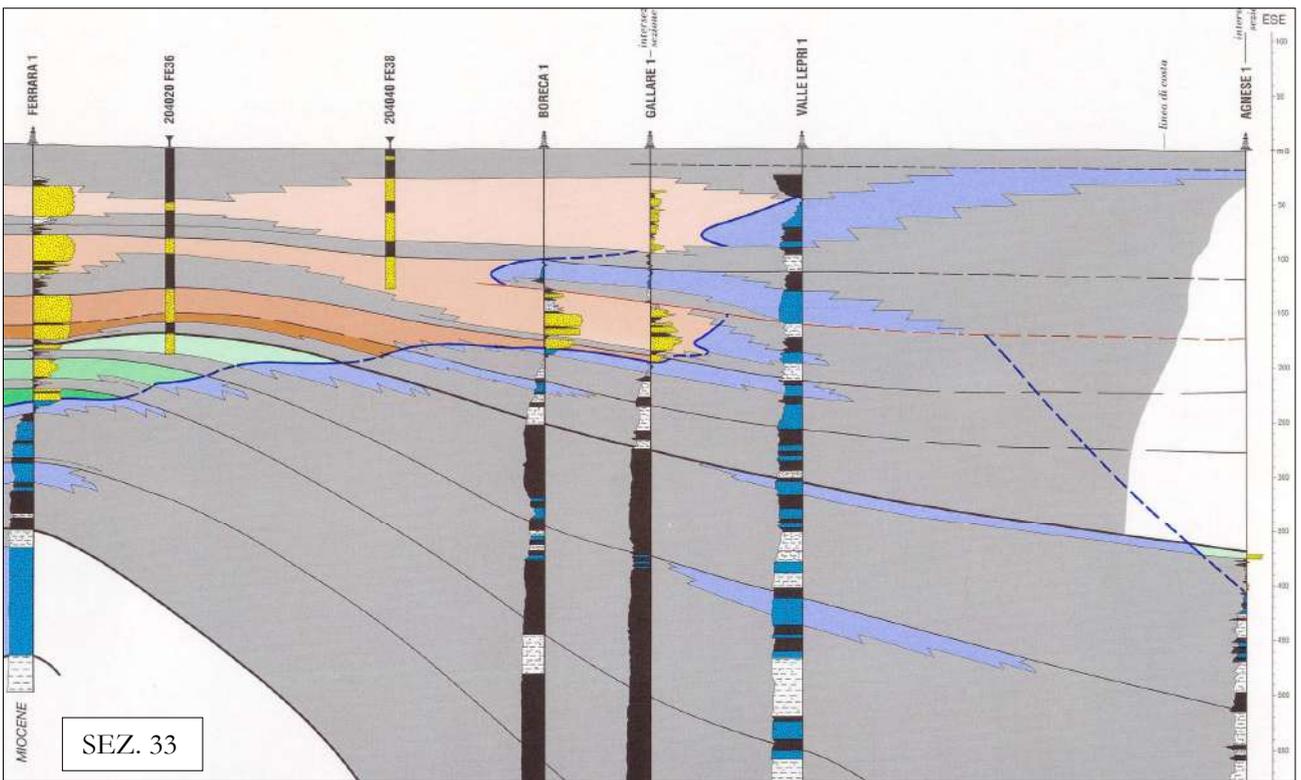
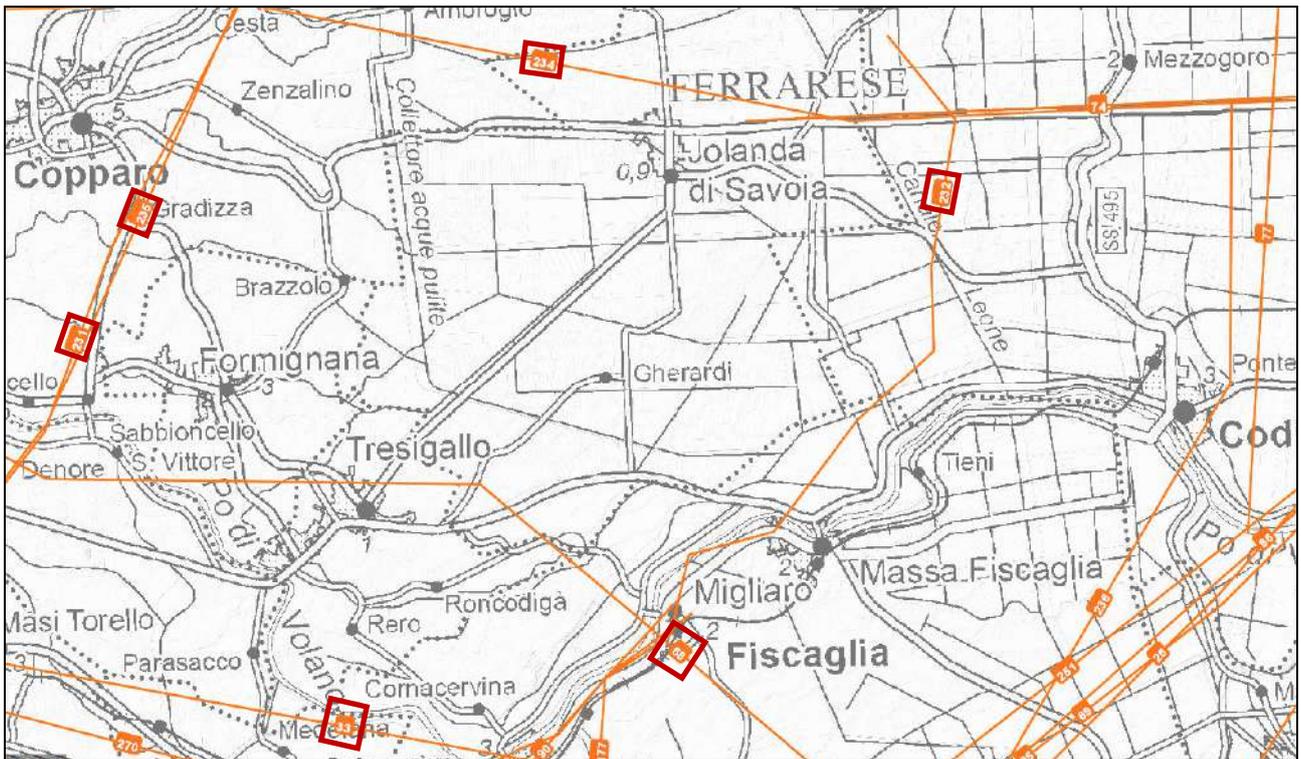
**FIGURA 2.2** - Mappa geologico-strutturale della Pianura Padana

Nella **FIGURA 2.3** si riporta la sezione geologica passante per Monestirolo, Ferrara e Villadose, in cui si possono apprezzare gli spessori dei sedimenti del Quaternario sopra i pliocenici, che coincide con il passaggio dai sedimenti sciolti a quelli litificati o pseudolitificati.



**FIGURA 2.3** – Principali strutture del substrato della Padania; ben visibile in sezione la Dorsale Ferrarese.

Nella **FIGURA 2.4** si riportano 6 sezioni geologiche passanti per l'area, estrapolate dal servizio geologico della regione Emilia Romagna; le sezioni 33 e 68 più profonde poste a sud dell'area e le sezioni 231, 232, 234 e 235 più superficiali collocate ad ovest, nord ed est, nell'intorno dell'area.



SEZ. 33

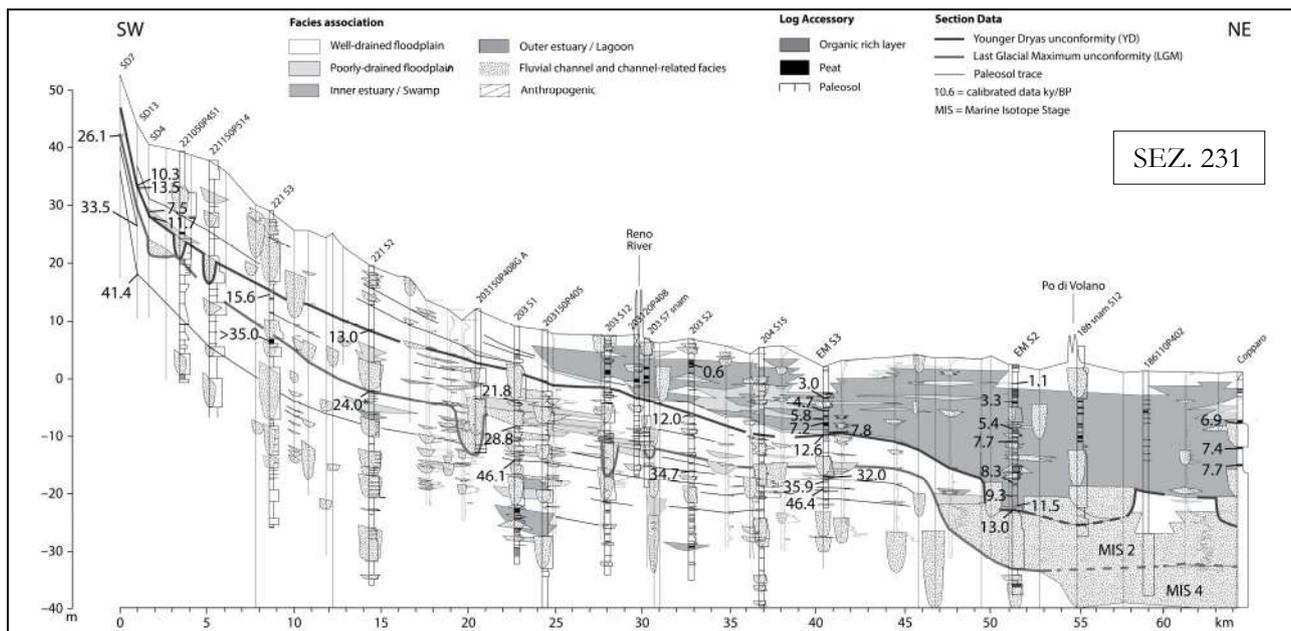
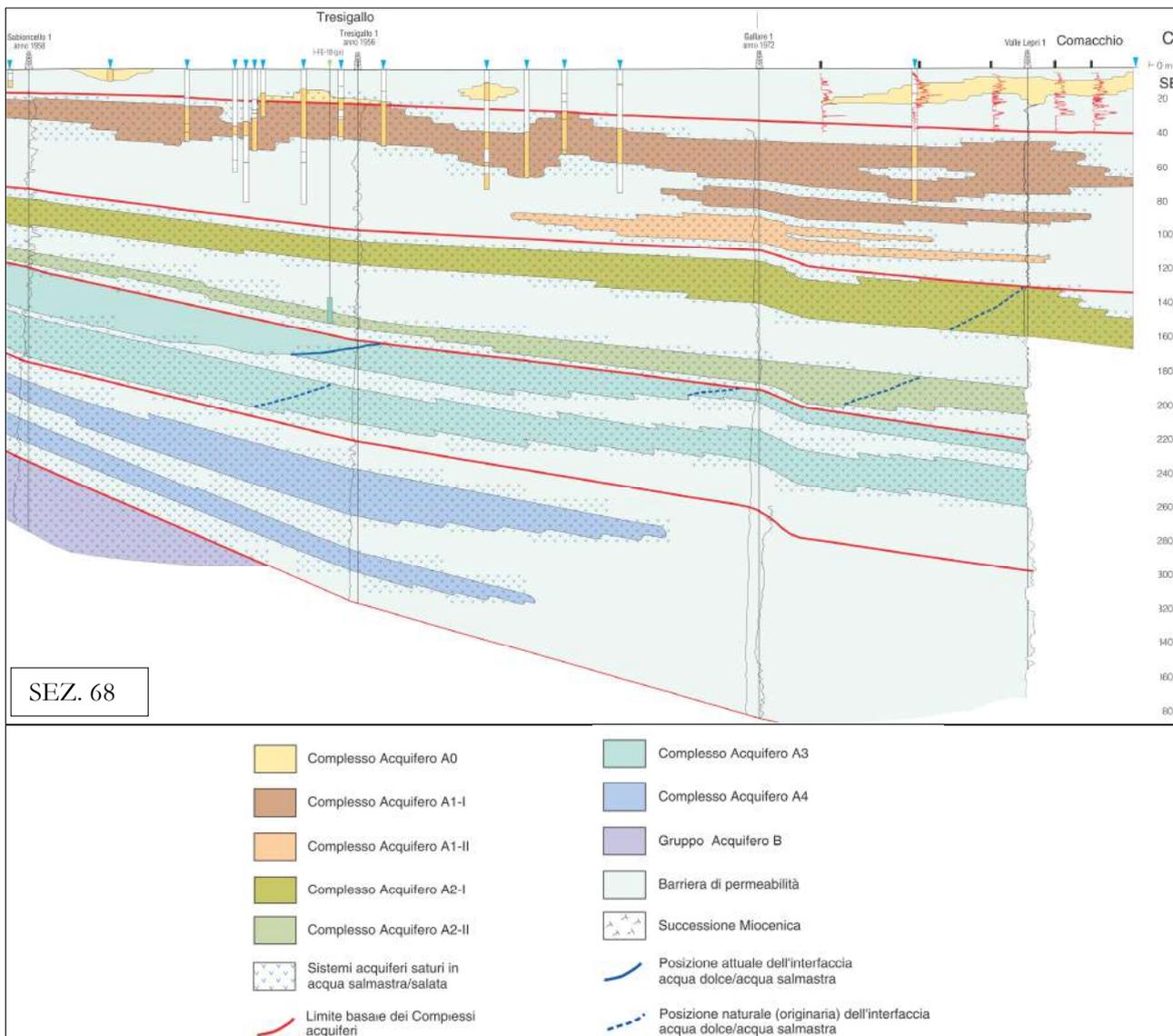
**PRINCIPALI LITOLOGIE DI PIANURA**

[Symbol]	GHIAIE
[Symbol]	GHIAIE SABBIOSE
[Symbol]	GHIAIE ARGILLOSE
[Symbol]	SABIE
[Symbol]	SABIE GHIAIOSE
[Symbol]	SABIE ARGILLOSE
[Symbol]	ARGILLE GHIAIOSE
[Symbol]	ARGILLE SABBIOSE
[Symbol]	ARGILLE E LIMI
[Symbol]	MARNE
[Symbol]	INTERVALLO MARCANTE
[Symbol]	LIVELLO SATURO D'ACQUA DOLCE
[Symbol]	LIVELLO SATURO D'ACQUA SALINISTRATIGRAFICA

- Limite di Gruppo Acquifero o di importanza Litologica
- Limite di Complesso Acquifero
- Limite tra Sistema Acquifero e Sistema Acquifero
- Limite acqua dolce/salata
- Superficie di trasgressione Terziaria
- Barriera di permeabilità regionale
- Sistema di raggi inverse
- Strato galea "Contessa"
- Faglia o contatto tettonico (senza o pseudo)
- Limite stratigrafico (senza o pseudo)
- Unconformity
- Superficie assiale di anclivale (senza o pseudo)
- Superficie assiale di anticlinali (senza o pseudo)

UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE				ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONO-STRATIGRAFICA (milioni di anni)
GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO		
A	A1			- 0.12	PLIISTOCENE SUPERIORE 0.125
	A2				
	A3				
	A4				
B	B1			- 0.30-0.45	PLIISTOCENE MEDIO
	B2				
	B3				
	B4				
C	C1			- 0.65	PLIISTOCENE INFERIORE 0.125
	C2				
	C3				
	C4				
	C5				
ACQUITURDO BASALE				- 3.5	PLIISTOCENE INF. MIOCENE





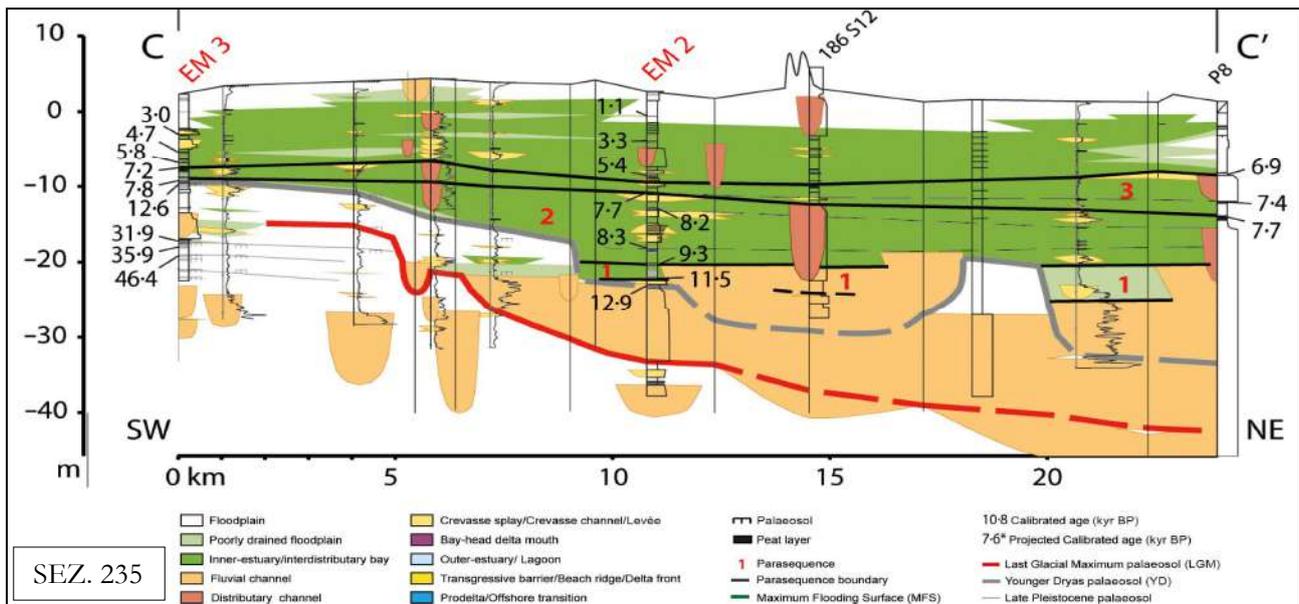
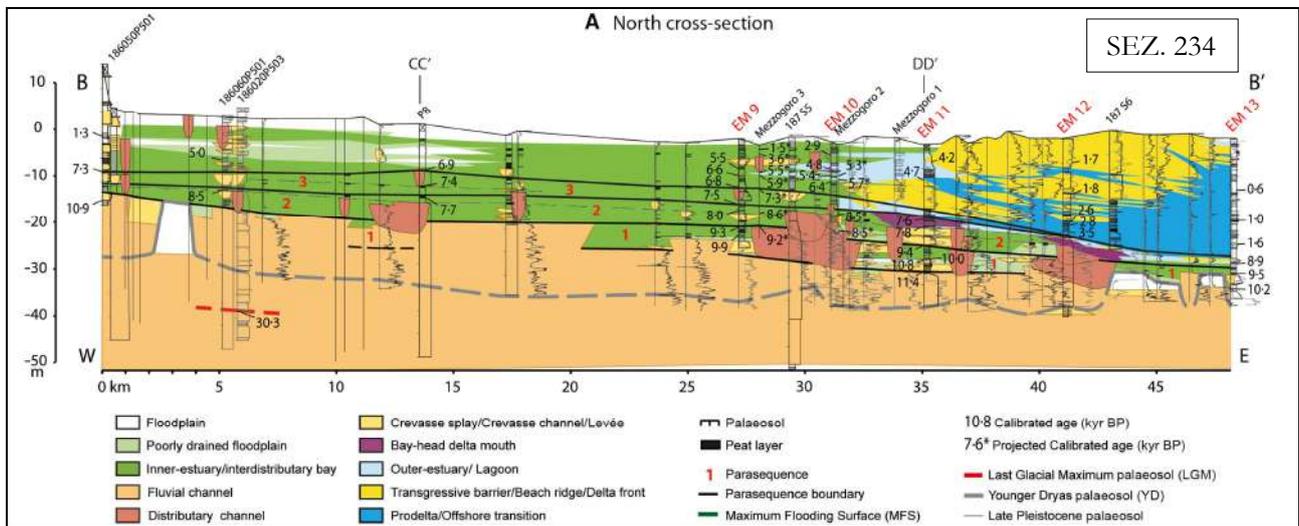
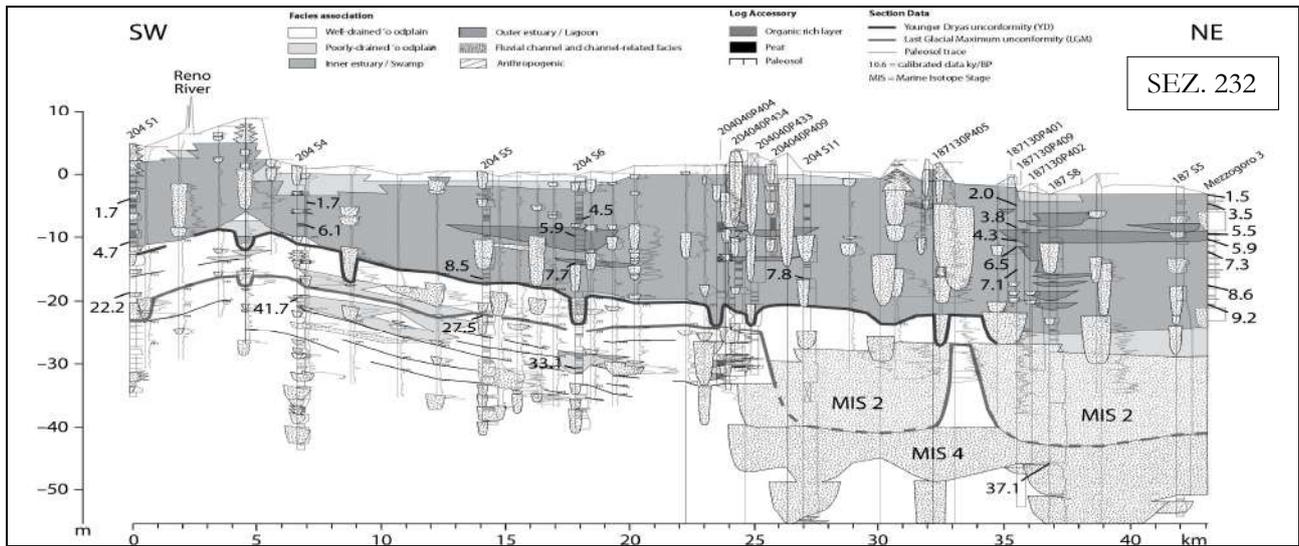
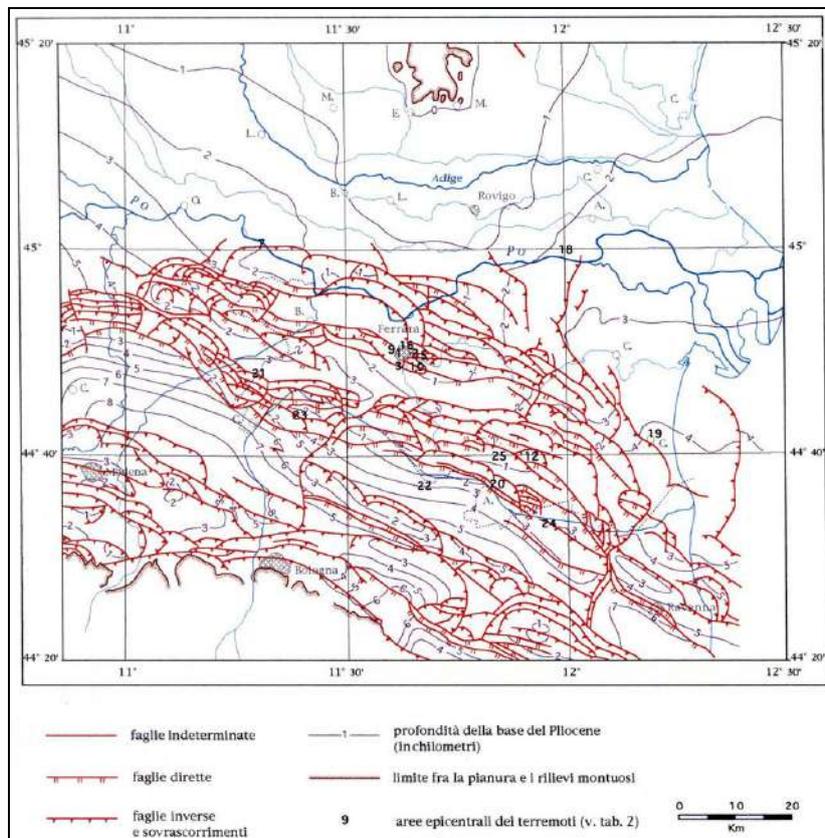


FIGURA 2.4 – Sezioni geologiche.

Nella FIGURA 2.5 viene riportata la Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e

sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine della nuova attribuzione alla Zona sismica 3, in cui il comune di Jolanda di Savoia è stato inserito nella OPCM 3274/2003.

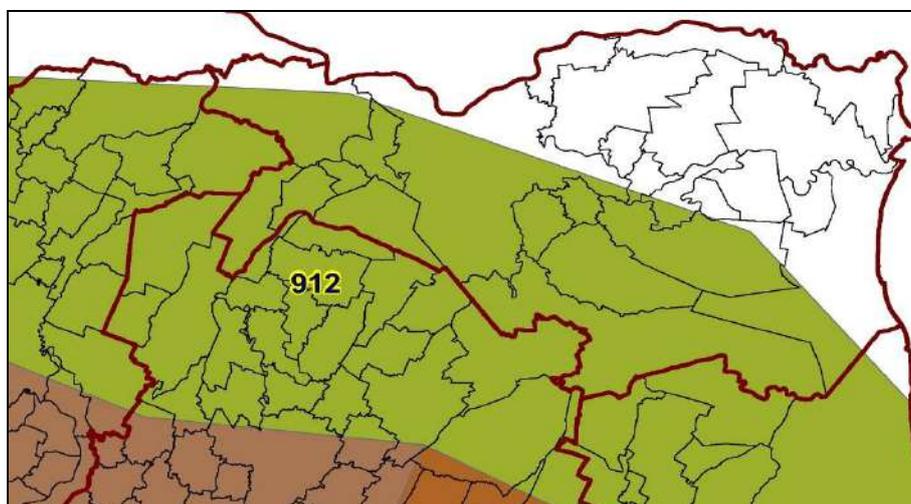
Come si può notare, nel substrato roccioso, posto a profondità di circa 2000 metri, sono presenti rari sistemi di faglie dovute a sovrascorrimenti.



**FIGURA 2.5** – Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR, 1992)

Si fa inoltre presente che tutto il territorio comunale di Jolanda di Savoia ricade all'esterno della zona sismogenetica 912 (**FIGURA 2.6**), l'area in esame ricade dunque al di fuori della Dorsale Ferrarese, e dunque non è sede epicentrale di eventi sismici di energie significative.

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di  $M = 6,14$ , in questa zona è previsto che si verifichino sismi con energie piuttosto limitate, di Magnitudo non superiori a 5,60.



**FIGURA 2.6** - Mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale

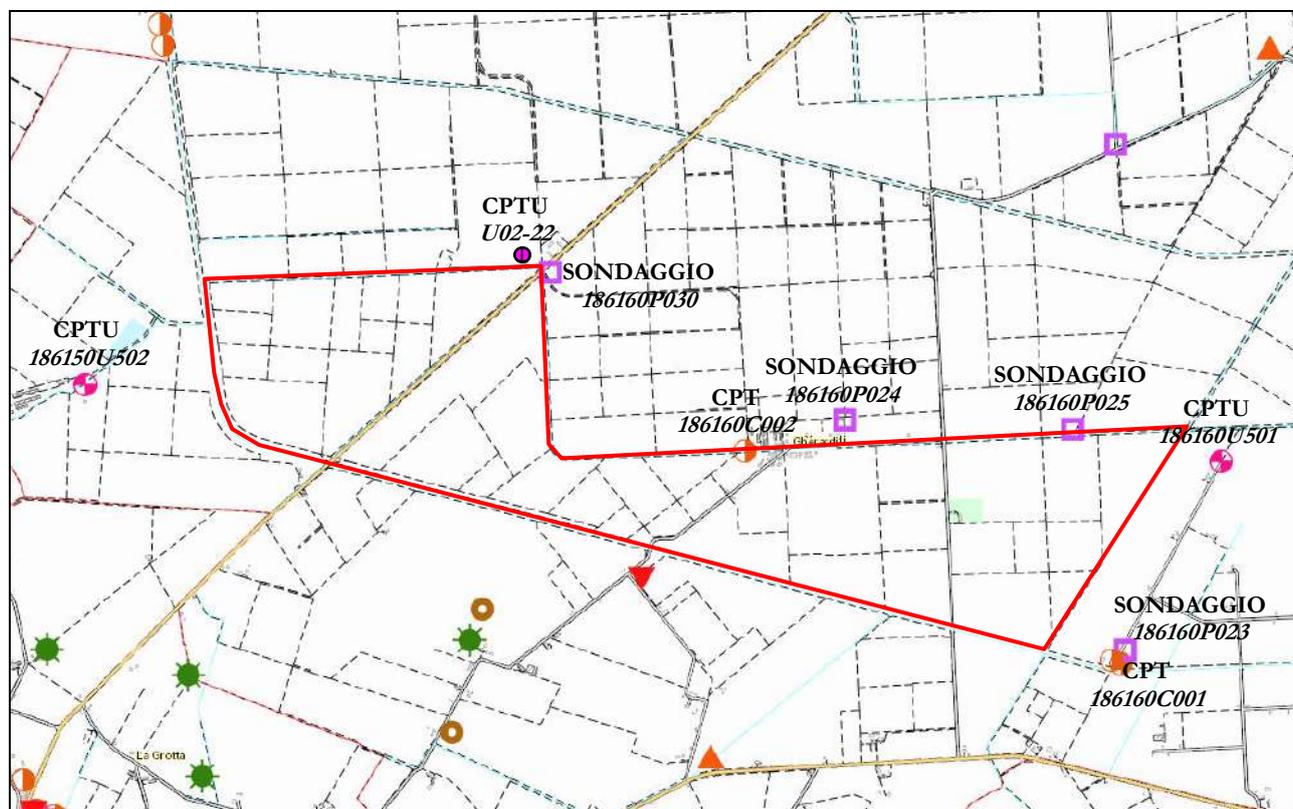
## 2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI

La formazione dell'ambiente, nella sua configurazione attuale, è relativamente recente e consegue a ripetute variazioni dei rapporti di equilibrio tra livello del mare, apporti solidi dei corsi d'acqua, entità di subsidenza e, non ultimo, l'intervento umano. Nell'attuale configurazione fisica del territorio sono riconoscibili le tracce sia della sua evoluzione naturale che quella operata dall'uomo. Tra le più evidenti e più importanti nel disegnare l'assetto morfologico si possono elencare i paleoalvei, i coni di esondazione, i cordoni dunari testimoni della veloce progradazione verso est della linea di costa, ed infine si individuano quelle aree particolarmente depresse che erano sede di bacini palustri. Per ogni struttura geomorfologica corrisponde, in linea di massima, una caratteristica classe litologica; la granulometria e la storia tensionale, strettamente legata alla storia geologica, ne condizionano le caratteristiche meccaniche ed idrauliche.

Generalmente i sedimenti che si rilevano in questa zona del comune di Jolanda di Savoia sono di tipo alluvionale. I depositi possono essere di canale ed argine prossimale con sedimenti ad alta energia idrodinamica e di canale distale con sedimenti a bassa energia idrodinamica.

Data l'urgenza del progetto, per l'assunzione del modello geologico e per la ricostruzione stratigrafica locale del terreno, che permetta di definire al meglio la stratigrafia del sottosuolo dell'area in esame si farà riferimento ad indagini bibliografiche eseguite nell'intorno del sito allo studio. Nello specifico è stata considerata una prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU1 con *rif. U02-22*, spinta fino alla profondità di -30,00 m da p.c., eseguita a nord dell'area, due prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU con *rif. 186160U501* e con *rif. 186150U502* spinte entrambe fino alla profondità di -35,00 m da p.c. due prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT, eseguite una in corrispondenza dell'abitato di Gherardi e una a sud est dell'area e 4 sondaggi a distruzione eseguiti nell'intorno dell'area, estrapolati dal sito della regione.

In **FIGURA 2.7** si riporta uno stralcio di mappa DBTR della provincia di Ferrara con l'ubicazione delle indagini presenti in sito.



**FIGURA 2.7** – Ubicazione indagine

Il punto investigato con la prova penetrometrica statica CPTU1 con *rif. U02-22* rileva:

DA	A	qcm	litol.	consistenza ed addensamento
m	m	MPa	(-)	(-)
0,0	0,6	1,83	A Oc	sovracconsolidata
0,6	1,1	0,49	A	poco consistente, organica
1,1	4,0	0,17	T	molle, torbe
4,0	6,4	1,51	SI	sciolta
6,4	6,7	0,65	Al-La	moderatamente consistente
6,7	8,4	6,05	S	moderatamente addensata
8,4	10,5	10,07	S	moderatamente addensata
10,5	17,4	0,70	A	moderatamente consistente
17,4	18,9	3,82	S	moderatamente addensata
18,9	22,7	0,93	A	moderatamente consistente
22,7	24,4	1,59	Al-La	consistente
24,4	25,6	4,04	S	moderatamente addensata
25,6	30,0	16,13	S	molto addensata

#### Legenda Litologia

RIP	Riporto
T	Torba
A	Argilla
AL-La	Argilla Limosa - Limo Argilloso
L-Ls	Limo - Limo Sabbioso
SI	Sabbia Limosa
S	Sabbia

I terreni coesivi rilevati da p.c. fino a -0,60 m da p.c. sono sovracconsolidati per essiccamento, inoltre tra -0,60 m da p.c. e -4,00 m da p.c. è possibile notare la presenza di terreni torbosi o argille organiche, difficilmente distinguibili però, con la sola penetrometria, da fanghi molli di limo argilloso organico. Durante l'esecuzione della prova, in fase di estrazione, è stato possibile osservare la presenza di torbe sulle aste e sulla punta, inoltre il terreno nelle campagne circostanti è nero e torboso.

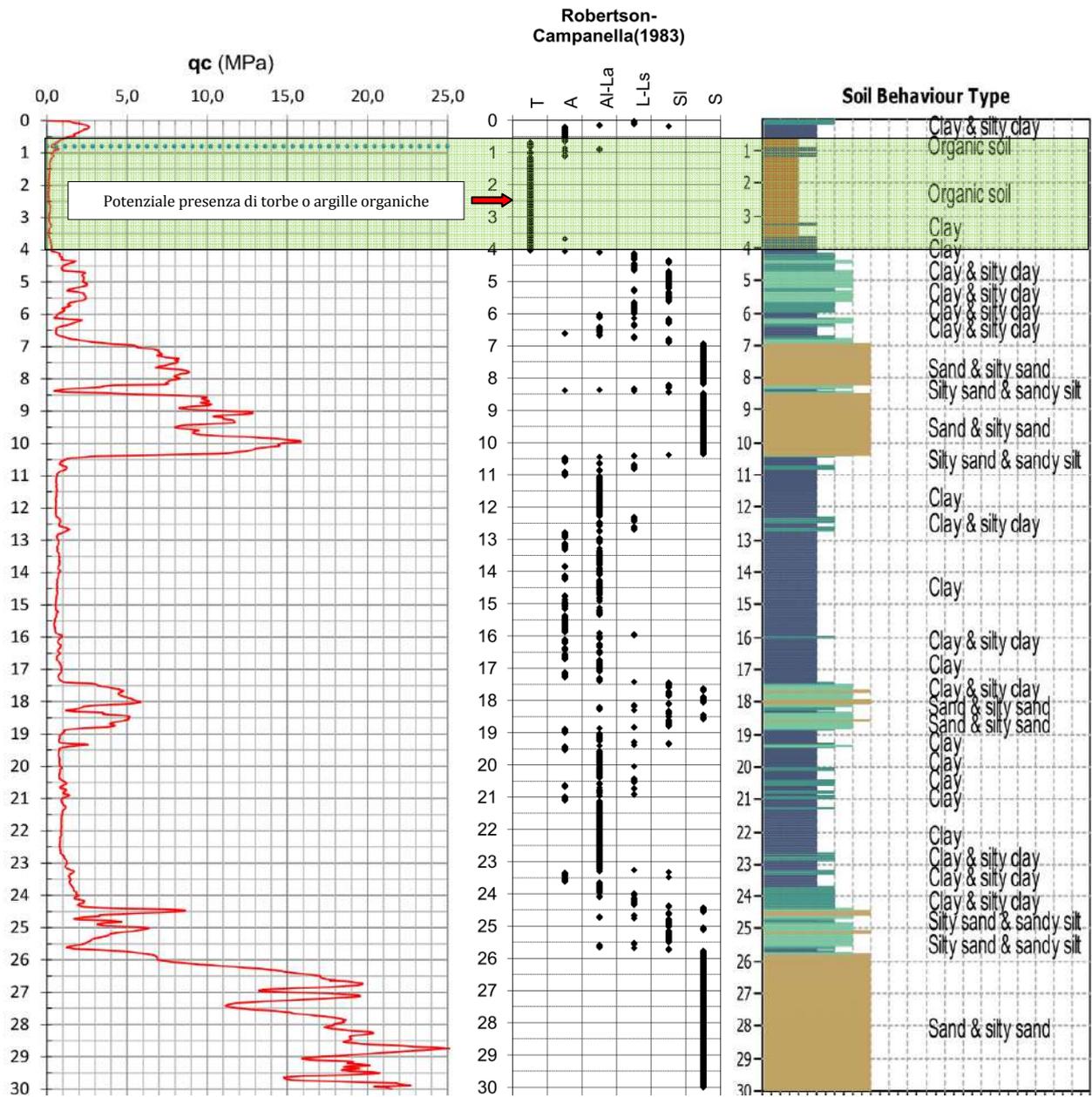
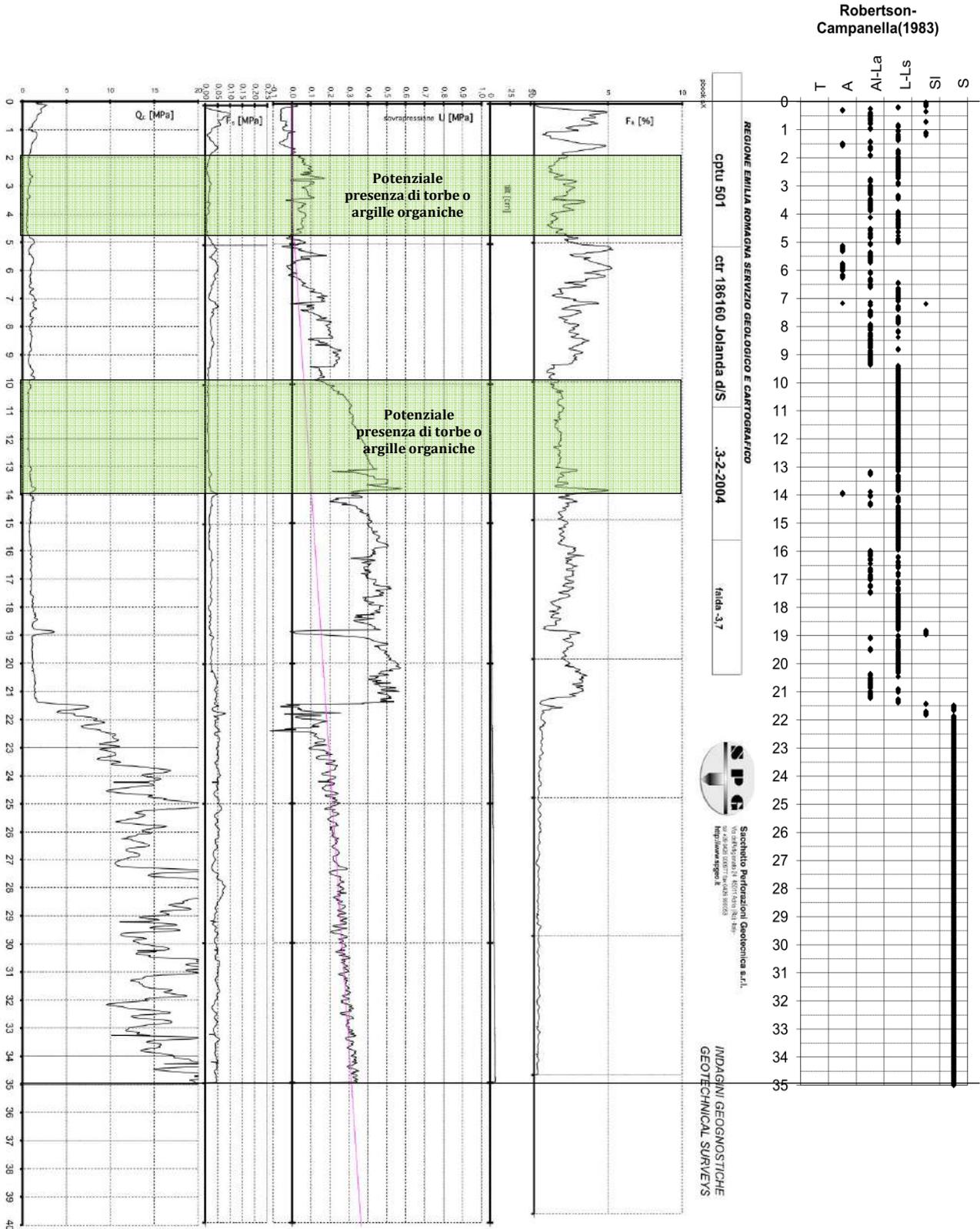
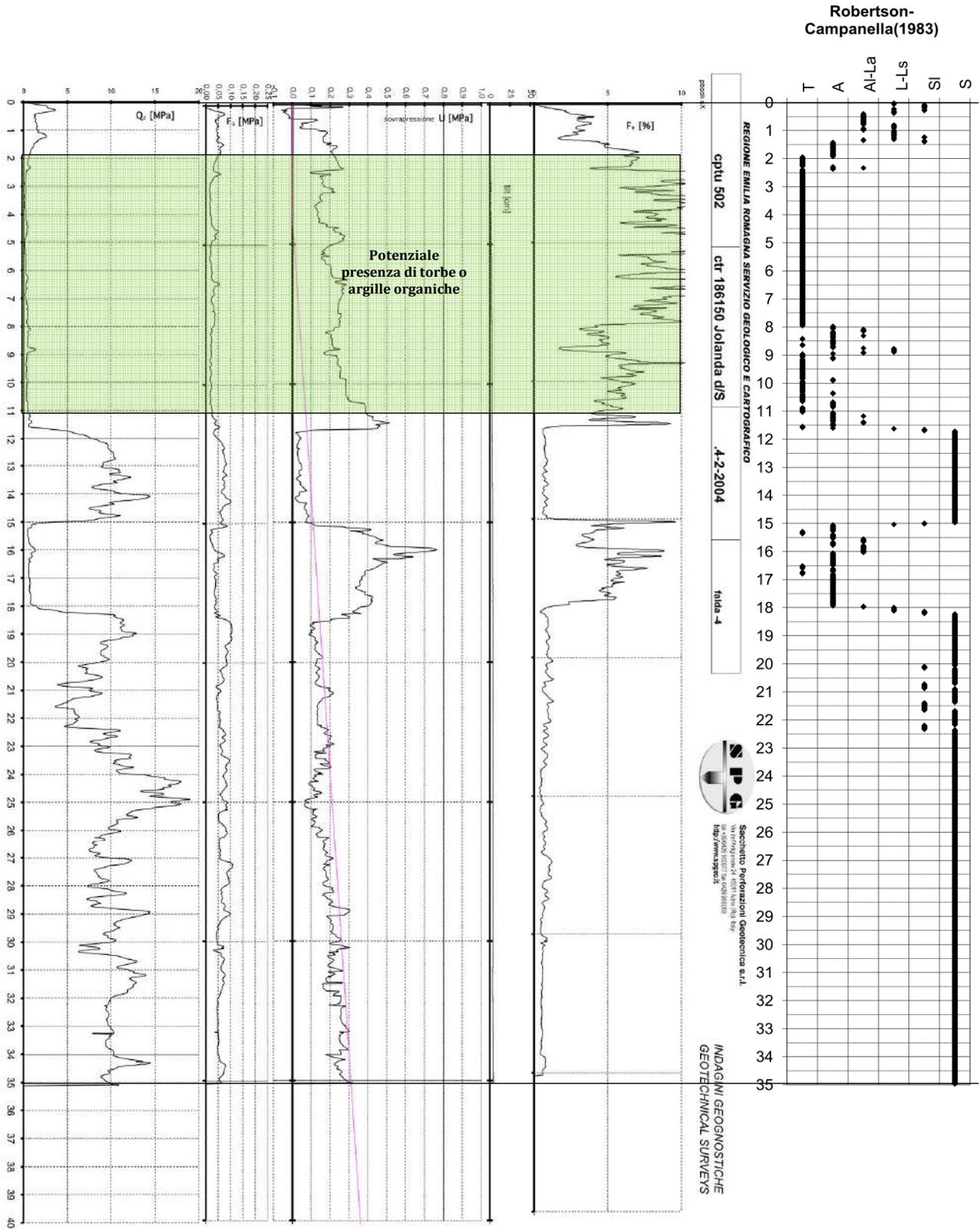


DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIE CPTU1 rif. U02-22

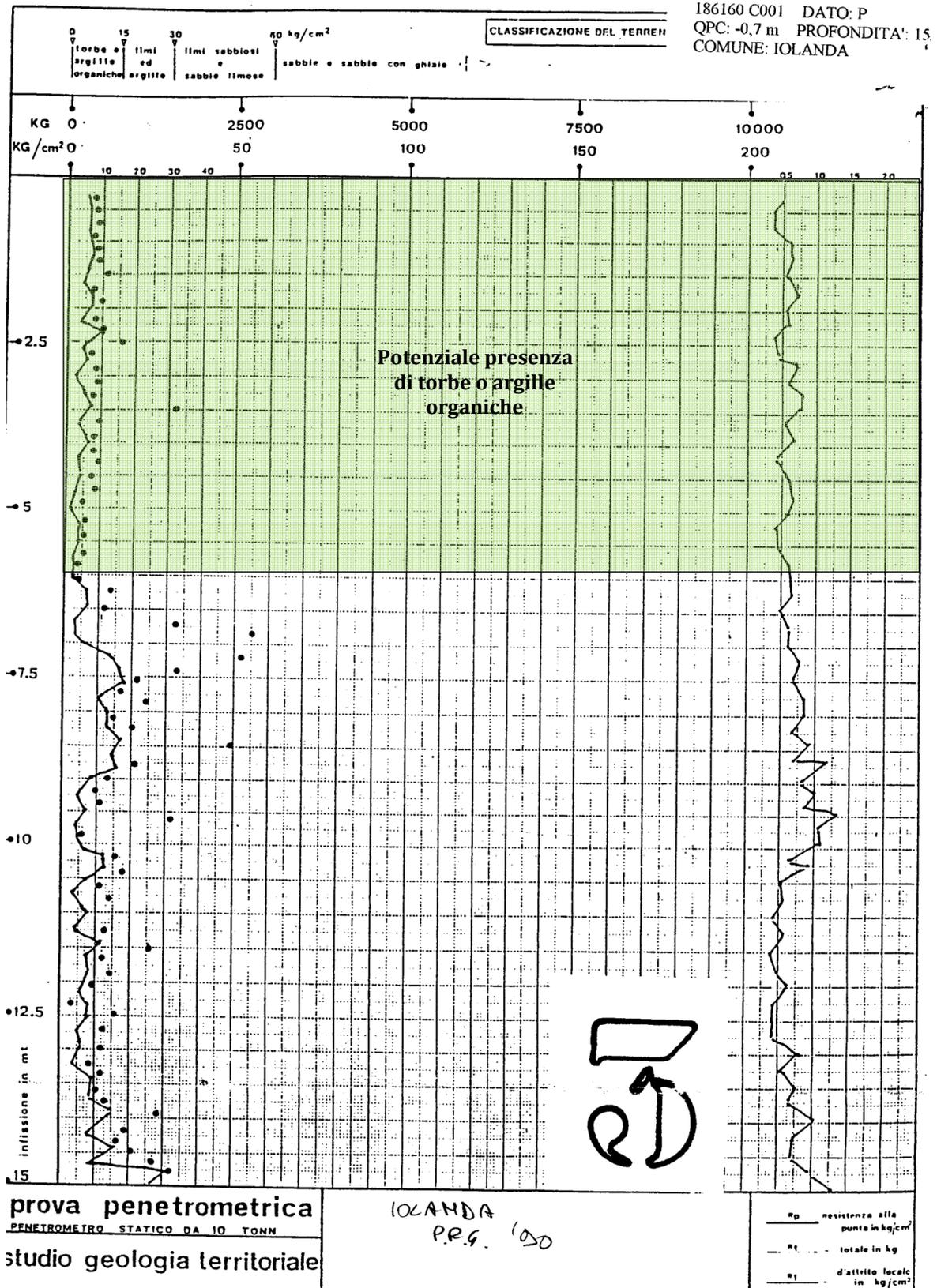
Il punto investigato con la prova penetrometrica statica CPTU con *rif. 186160U501* rileva:



Il punto investigato con la prova penetrometrica statica CPTU con *rif. 186150U502* rileva:

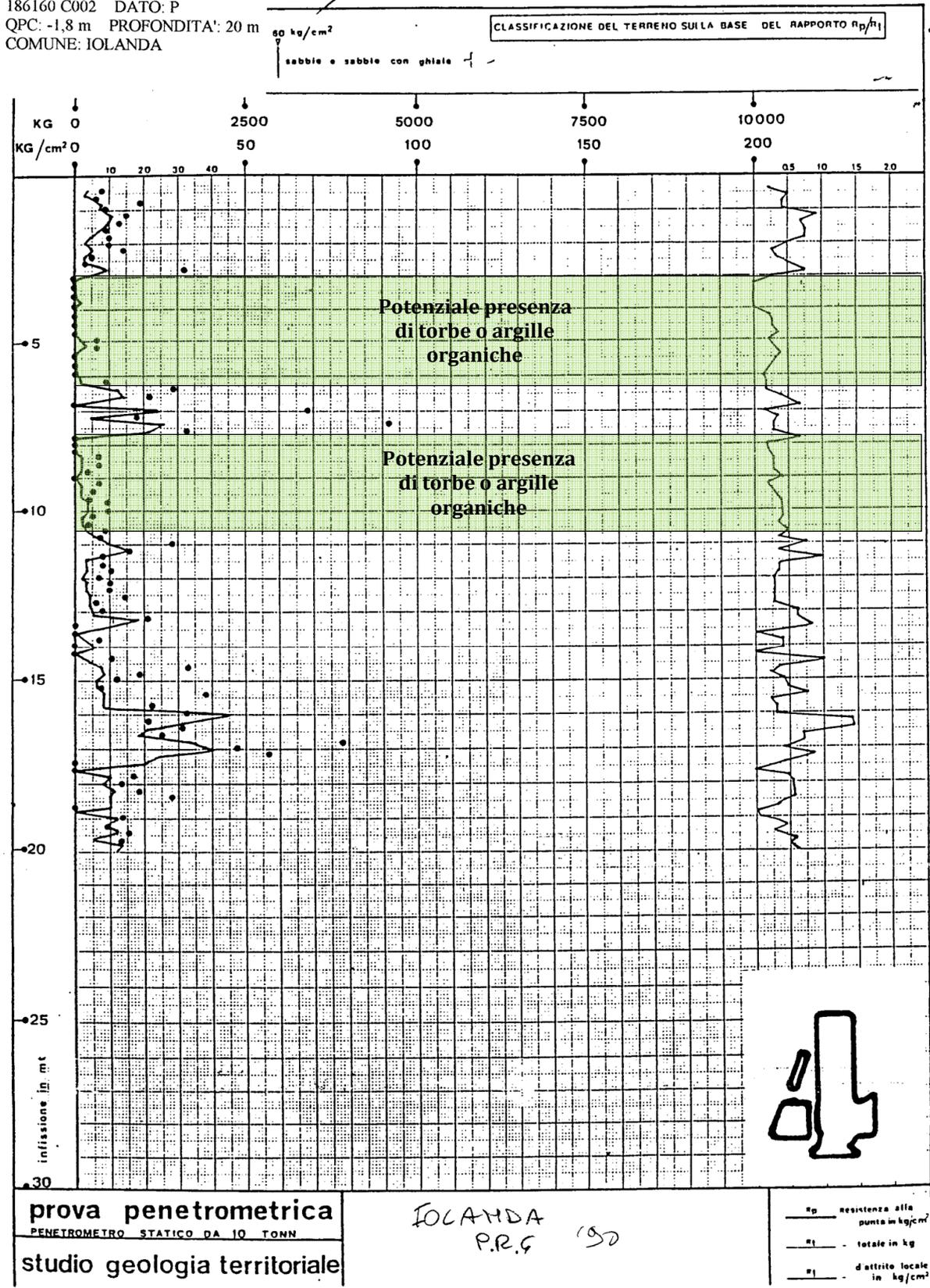


Il punto investigato con la prova penetrometrica statica CPT con *rif. 186150C001* rileva:

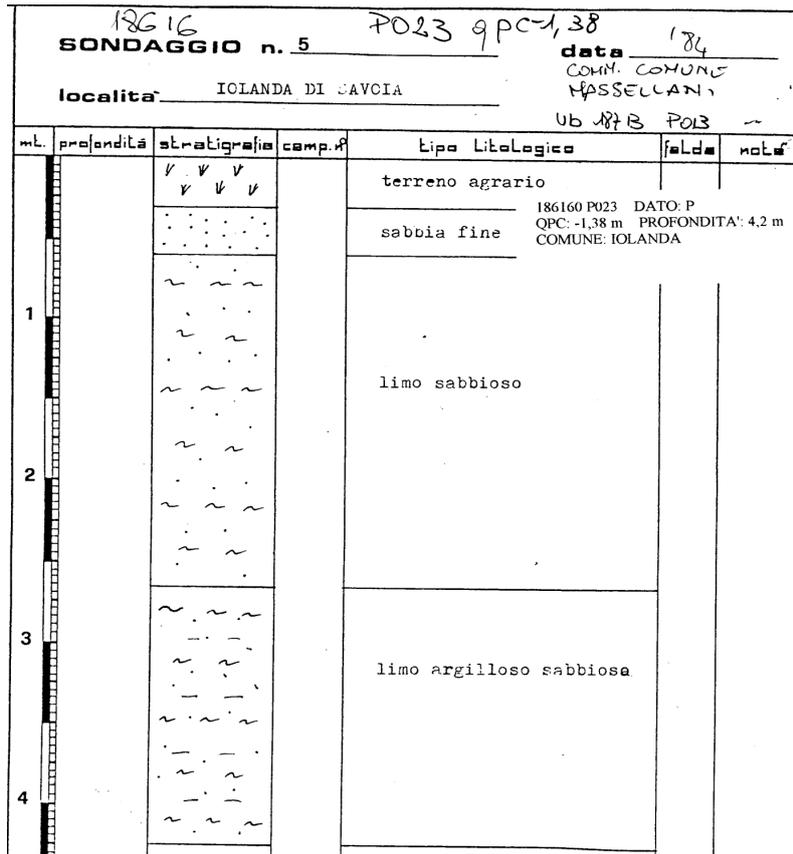


Il punto investigato con la prova penetrometrica statica CPT con *rif. 186150C002* rileva:

186160 C002 DATO: P  
 QPC: -1,8 m PROFONDITA': 20 m  
 COMUNE: IOLANDA



Il punto investigato con il sondaggio a distruzione con rif. 186150P023 rileva:



Il punto investigato con il sondaggio a distruzione con rif. 186150P024 rileva:

**SCHEDA SONDAGGIO**

**DATA: 20-11-90**

**SONDAGGIO N. 7**

STRUMENTO UTILIZZATO: SP/100 da 100 KN-Aste di perforazione-coclea:f170  
lunghezza:2000mm-aste di prolunga da 1 mt.

*prof * mt	LITOLOGIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Q.FALDA*
*0.80	argilla legg.limosa con ossidi di ferro		
*1.60	argilla plastica con abb.ossidi di ferro		*1
*1.80	sabbia fine		
*3.80	argilla plastica grigio-nerastra		*2
*4.00	argilla sabbiosa		*3
			*4

Il punto investigato con il sondaggio a distruzione con *rif. 186150P025* rileva:

**SCHEDA SONDAGGIO**

**DATA: 20-11-90**

**SONDAGGIO N. 8**

STRUMENTO UTILIZZATO: SP/100 da 100 KN-Aste di perforazione-coclea:f170  
lunghezza:2000mm-aste di prolunga da 1 mt.

```

*****
*prof|LITOLOGIA|DESCRIZIONE LITOLOGICA|G.FALDA*
* mt |         |                                     |         *
*****
*   |         |                                     |         *
*   |         |         argilla legg.limosa         |         *
*   |         |         con ossidi di ferro         |         *
*0.80|         |         -sabbia fine nocciola-     |         *1
*0.90|         |         -sabbia argillosa-        |         *
*   |         |         -argilla limosa-           |         *
*1.70|         |         sabbia argillosa           |         *2
*1.80|         |         -argilla limosa-           |         *
*2.00|         |         sabbia argillosa           |         *2
*2.20|         |         -argilla plastica           |         *
*   |         |         grigio-nerastra            |         *
*   |         |         con resti vegetali         |         *3
*3.80|         |         -sabbia fine-              |         *4
*4.00|         |         -sabbia fine-              |         *4
*   |         |         -sabbia fine-              |         *4
*   |         |         -sabbia fine-              |         *4
*   |         |         -sabbia fine-              |         *4
*****

```

Il punto investigato con il sondaggio a distruzione con *rif. 186150P030* rileva:

186160 P030 DATO: P  
QPC: 2,68 m PROFONDITA': 4 m  
COMUNE: IOLANDA

**SONDAGGIO n. 6**

localita' IOLANDA DI SAVCIA

*SB 187090P006*

ml.	profondità	stratigrafia	comp. n.	tipo litologico	falda	note
		Δ Δ Δ δ δ δ ▽ ▽ ▽		terreno agrario		
1		~ ~ ~ v v v		limo argilloso grigio con torba		
		~ ~ ~ v v v		argilla limosa grigia con torba		
2		v v v v v v		torba		
		v v v v v v		torba		
3		~ ~ ~ v v v	5	argilla limosa grigia con torba		
		~ ~ ~ v v v		argilla limosa grigia con torba		
4		v v v				

Si evidenzia in tutte le indagini bibliografiche la presenza di strati coesivi organici molli e la presenza di torba e resti vegetali.

### 2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

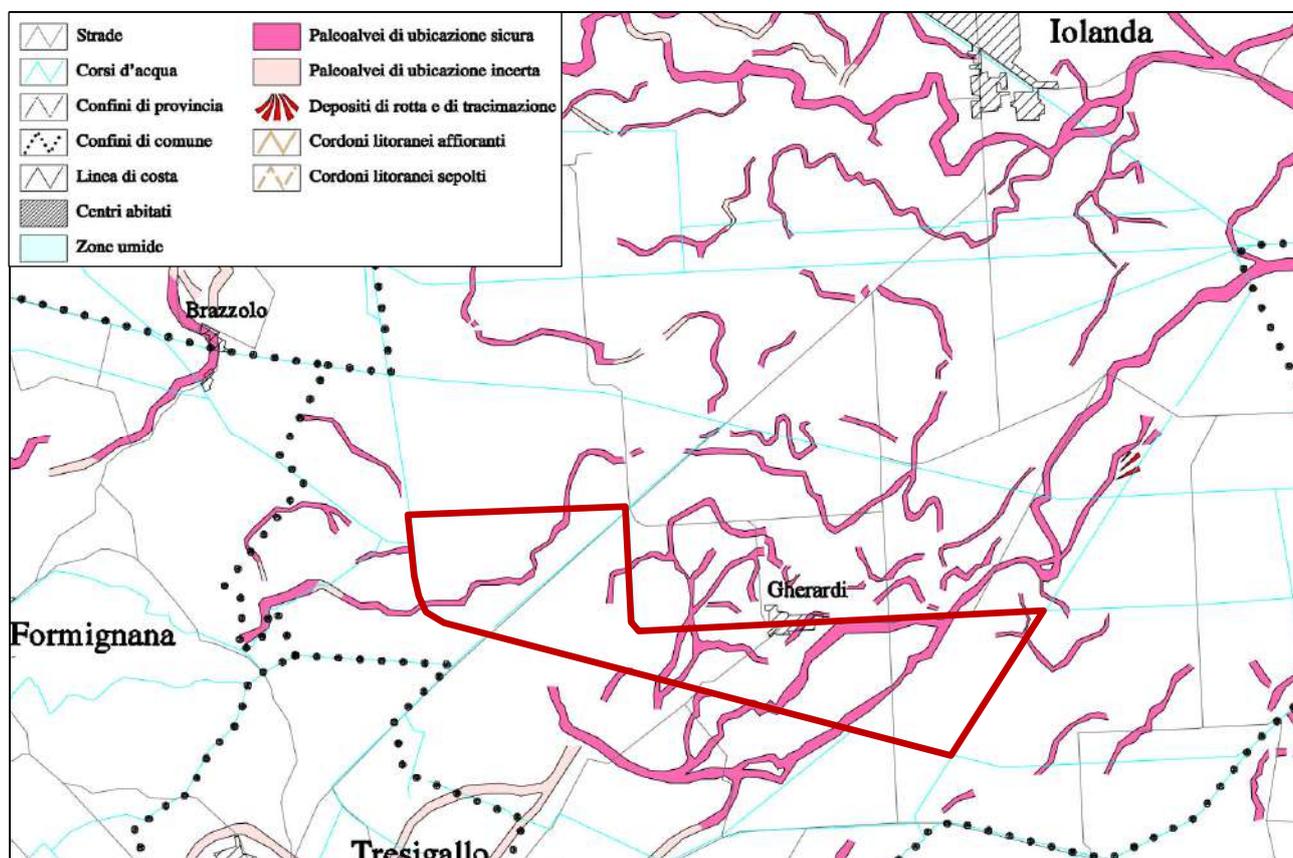
Generalmente la formazione dei terreni del territorio comunale di Jolanda di Savoia è legata alla presenza di ambienti deposizionali fluviali dovuti al dosso storico del Fiume Po di Volano.

A ridosso e sopra i paleoalvei, prevalgono sedimenti di alta energia idrodinamica, caratterizzati da sabbie e limi. Nelle aree più distanti, prevalgono invece sedimenti di bassa energia idrodinamica, quali argille e argille limose.

**Il sito allo studio ricade in prevalenza in un'area di piana alluvionale con depositi coesivi di bassa e bassissima energia idrodinamica con presenza di terreni organici e torbe e rami sottili e secondari di paleoalvei minori caratterizzati da sabbie e sabbie limose di più alta energia idrodinamica, che scorrevano e si ramificavano in tutta l'area in cui è in progetto il campo di pannelli fotovoltaici.**

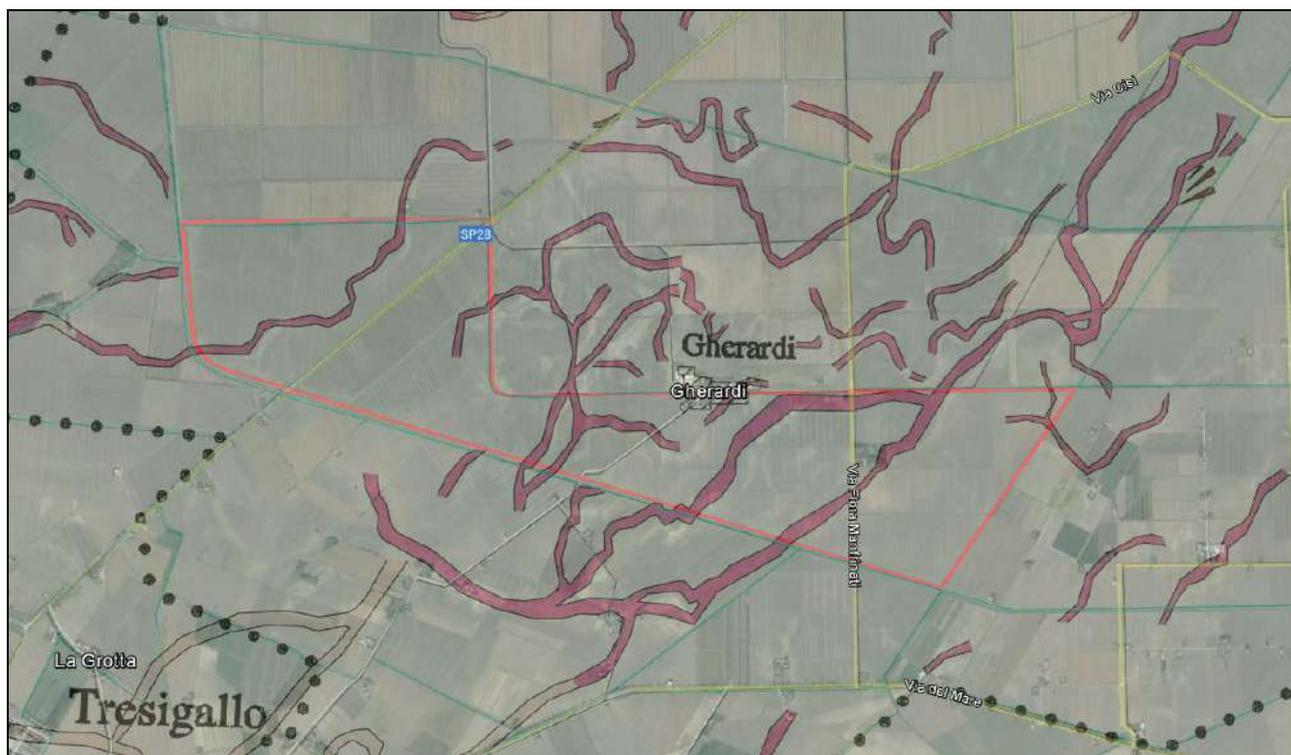
Si propone nella **FIGURA 2.8** si riporta una zoomata della carta geomorfologica della provincia di Ferrara con l'ubicazione del sito in esame, dove si possono notare le forme geomorfologiche sopra citate; nell'area comunque non ci sono segni topografici o tracce ben visibili, che indichino la presenza di paleoalvei minori o canali di esondazione fluviale, ma dalle ortofoto della zona è possibile ricostruire l'andamento geomorfologico dei paleoalvei minori che scorrevano nell'area allo studio.

*Le litologie presenti non possono essere definite senza un'indagine puntuale, poiché sedimenti generalmente fini di esondazione fluviale, e sedimenti generalmente più grossolani di alveo, sono stati sovrapposti, rendendo possibile la presenza di sabbie, o limi, o argille, o torbe, o miscele binarie e ternarie degli stessi, senza il rispetto di regole fisse sulla loro presenza e sulla loro distribuzione geometrica.*



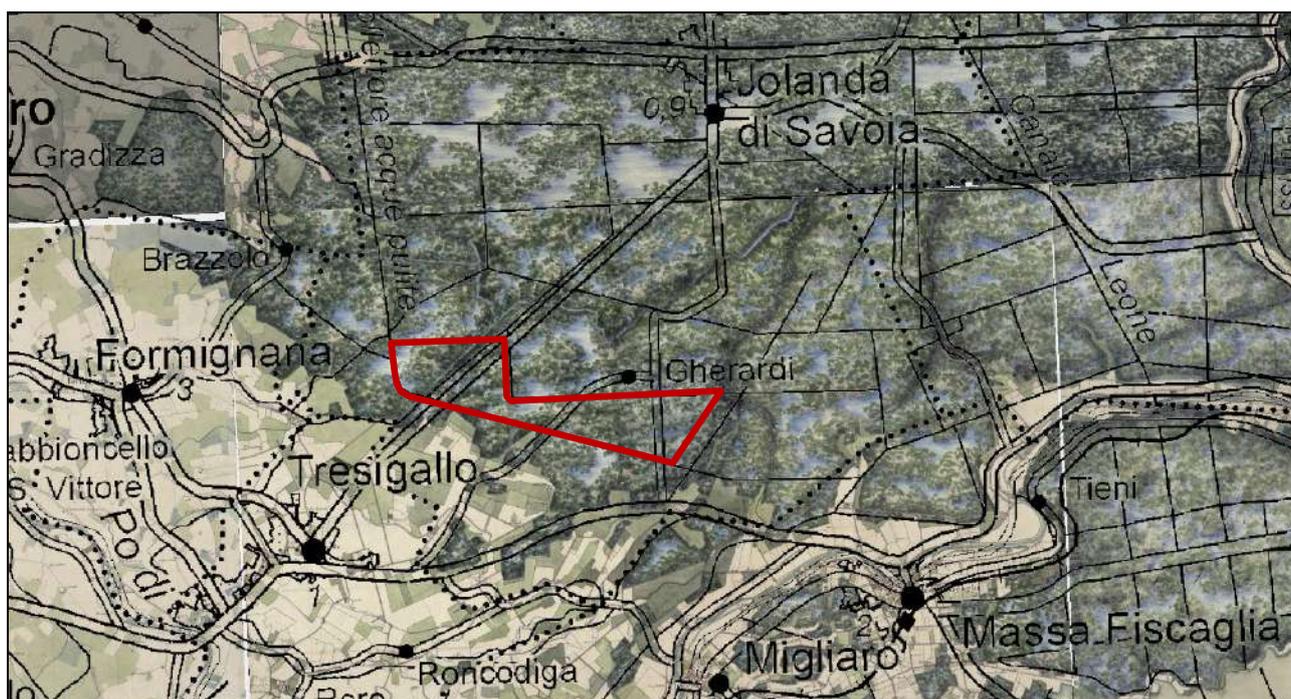
**FIGURA 2.8** – Stralcio della Carta Geomorfologica del territorio comunale di Ferrara

Si propone nella **FIGURA 2.9** si riporta un'ortofoto dell'area con la sovrapposizione della carta geomorfologica della provincia di Ferrara e l'ubicazione del sito in esame. Da questa immagine emergono i tracciati minori di paleo alveo e la loro ubicazione rispetto al campo di pannelli fotovoltaici di progetto.



**FIGURA 2.9** – Ortofoto dell'area con sovrapposizione della Carta Geomorfologica del territorio comunale di Jolanda

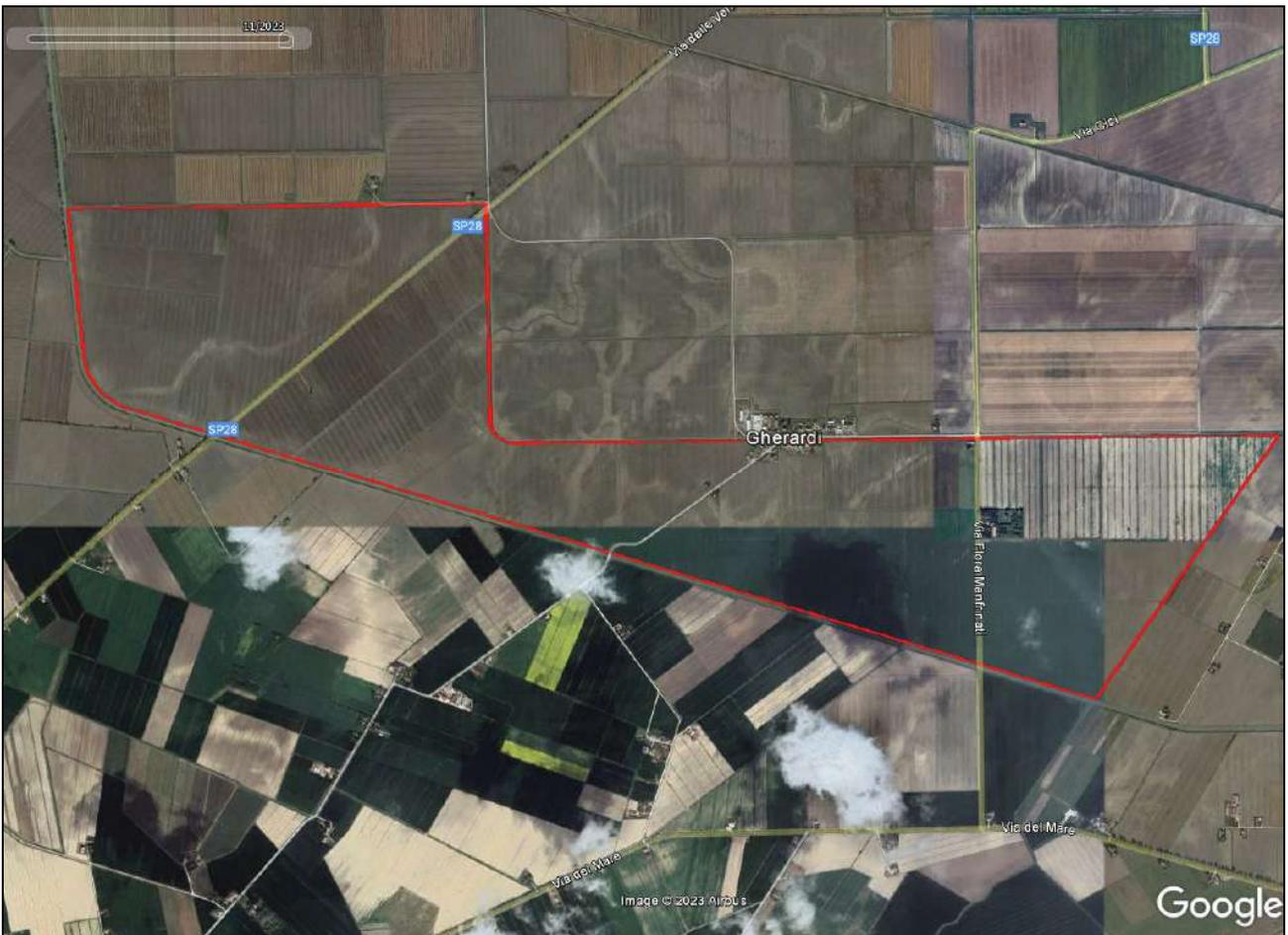
Il sito allo studio ricade dunque in prevalenza in un bacino palustre storico, in cui le acque dolci stagnavano, favorendo lo sviluppo della vegetazione acquatica, e l'accumulo di sedimenti organici e vegetali sul fondo delle paludi, da cui è derivata la torba. Nella carta storica del 1814, di **FIGURA 2.10**, si può apprezzare lo stato dei luoghi prima delle bonifiche.





**FIGURA 2.10** – Carte Storiche in Emilia-Romagna dal 1580 al 1852

Si riportano inoltre nelle **FIGURA 2.11, 2.12 e 2.13** delle ortofoto Google Earth, scattate in diversi anni in cui si apprezzano con i diversi toni e sfumature di colori, le ramificazioni dei paleoalvei secondari che caratterizzavano l'area.



**FIGURA 2.11** – Ortofoto 2023



**FIGURA 2.12 – Ortofoto 2013**



**FIGURA 2.13 – Ortofoto 2011**

Nella **FIGURA 2.14** e **2.15** delle altre ortofoto del servizio mokagis della Regione Emilia Romagna, in cui anche da queste è possibile apprezzare con le diverse tonalità di colori l'andamento dei paleovalvei minori che attraversano l'area.

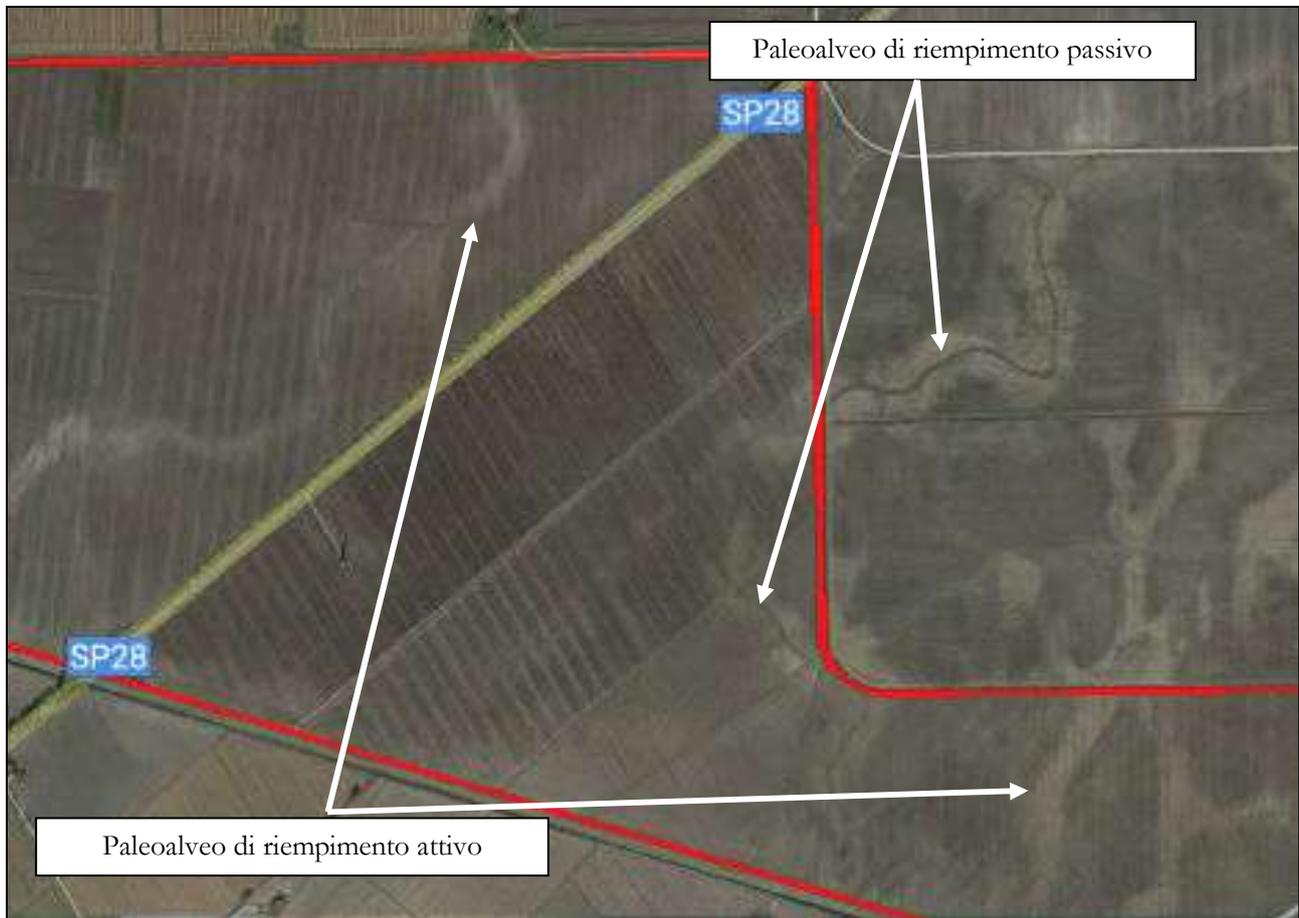


**FIGURA 2.14** – Ortofoto 2017



**FIGURA 2.15** – Ortofoto 2008

Quindi l'area interessata dal progetto del nuovo impianto Agrivoltaico è interessata da una importante variabilità geo-litologica. In aree estese dominano sedimenti torbosi, in altre linee legate alla presenza di una fitta rete di antichi piccoli paleo alvei in divagazione continua, si sono depositati sedimenti limoso sabbiosi. In alcune ortofoto si possono distinguere le fasi terminali di vita di questi paleo alvei che hanno avuto un riempimento attivo durante la loro esistenza idraulica o un riempimento passivo dopo aver perso l'efficienza idraulica (in questo caso si colgono i sistemi arginali naturali di depositi più granulari (sedimenti chiari) e al centro l'alveo abbandonato riempito di fanghi alluvionali organici (sedimenti scuri)).



**FIGURA 2.16** – Differenza tra paleoalveo di riempimento attivo e di riempimento passivo

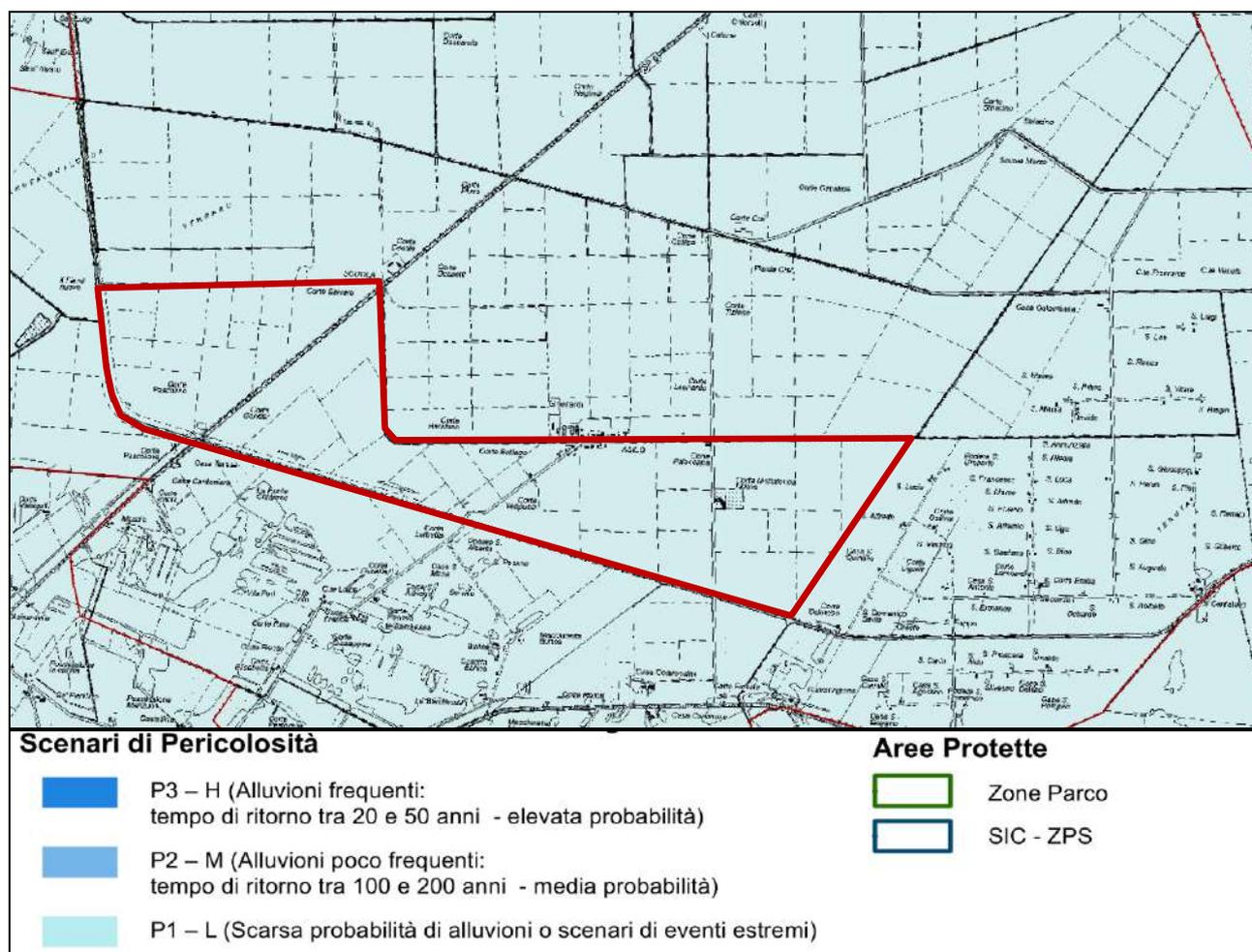
## 2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU1 con rif. U02-22. Tale quota è stata rilevata in data 19/01/2022 alla profondità di -0,80 m dal p.c..

Il livello freatico potrebbe oscillare rispetto ai valori riscontrati in tal giorno, solo un monitoraggio di un anno idrogeologico permetterebbe di valutare le oscillazioni stagionali di queste quote.

In **FIGURA 2.17** si riporta uno stralcio della *Mappa di pericolosità e del rischio alluvioni 2022* della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Secondo Ciclo del Reticolo Principale con la mappa della pericolosità e degli elementi esposti della Direttiva Alluvioni.

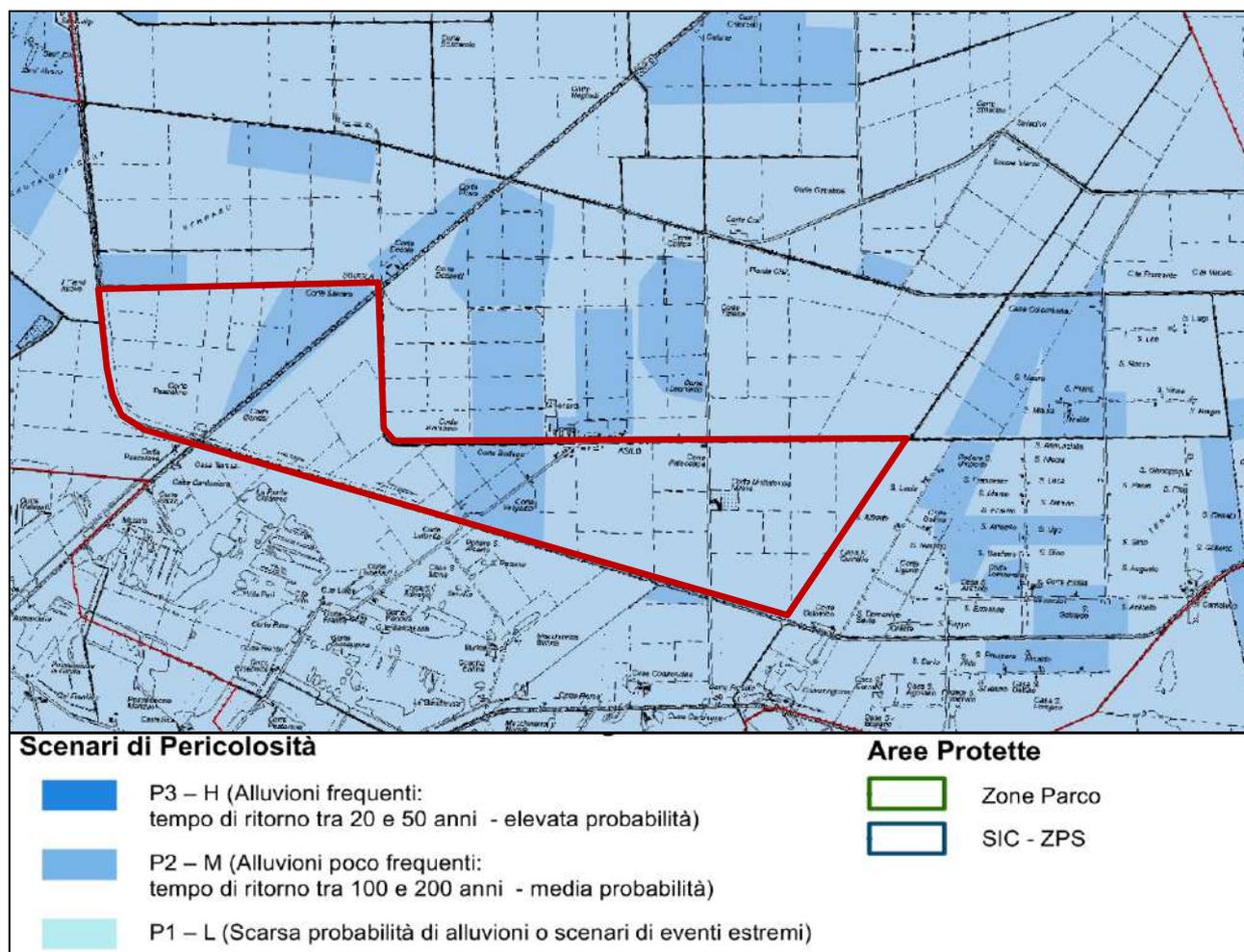
L'area allo studio risulta caratterizzata da una fascia di pericolosità P1, che corrisponde a scarsa probabilità di alluvioni.



**FIGURA 2.17** – *Mappa di pericolosità R.P.*

In **FIGURA 2.18** si riporta uno stralcio della *Mappa di pericolosità e del rischio alluvioni 2022* della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Secondo Ciclo del Reticolo Secondario di Pianura con la mappa della pericolosità e degli elementi esposti della Direttiva Alluvioni.

L'area allo studio risulta caratterizzata principalmente da una fascia di pericolosità P2, che corrisponde ad alluvioni poco frequenti con tempi di ritorno tra 100 e 200 anni, media probabilità e da due piccole porzioni di territorio da una fascia di pericolosità P3, che corrisponde ad alluvioni frequenti con tempi di ritorno tra 20 e 50 anni ad elevata probabilità.



**FIGURA 2.18** – *Mapa di pericolosità R.S.P.*

Le alluvioni dovute ad esondazione del reticolo artificiale di bonifica, seppure caratterizzate da alta frequenza, presentano tiranti e velocità esigui che danno origine a condizioni di rischio medio (R2) e moderato/nulla (R1) e in casi limitati, prevalentemente situati in zone urbanizzate e insediate interessate da alluvioni frequenti, a condizioni di rischio elevato (R3).

In relazione alle caratteristiche di pericolosità e rischio, nelle aree perimetrare a pericolosità P3 e P2 dell'ambito del Reticolo Secondario di Pianura, si dovrà garantire l'applicazione di misure per la riduzione della vulnerabilità dei beni e delle strutture esposte, anche ai fini della tutela della vita umana e misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.

Per la progettazione e realizzazione di opere nelle aree a fascia di pericolosità P3 e P2 dell'ambito del Reticolo Secondario di Pianura, si dovranno adottare delle misure per ridurre il danneggiamento dei beni e delle strutture di progetto. Nello specifico, si dovrà definire una quota minima di progetto dell'opera, sufficiente a ridurre la vulnerabilità del bene esposto ed adeguata al livello di pericolosità ed esposizione; inoltre si dovranno adottare soluzioni finalizzate a favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo ovvero che comportino l'aggravio delle condizioni di pericolosità/rischio per le aree circostanti.

In linea di massima è sufficiente realizzare dei rilevati in terra, magari armati con geotessuti, elevati di circa 1m sul p.c. (ma le quote saranno studiate dopo analisi idrauliche di dettaglio nelle fasi successive della progettazione), ove appoggiare le parti impiantistiche più delicate e vulnerabili agli effetti nocivi degli allagamenti.

### 3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

#### 3.1. DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA

“La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell’Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma **generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5)** sono il margine appenninico-padano tra la Val d’Arda e Bologna, l’arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

Gli eventi del maggio 2012 hanno avuto magnitudo massima 5,90.

##### *Categoria di suolo di fondazione*

La categoria di suolo dipende dal valore di  $V_{s30}$ . Il parametro  $V_{s30}$  rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell’onda di taglio “S” nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1):

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

dove:

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

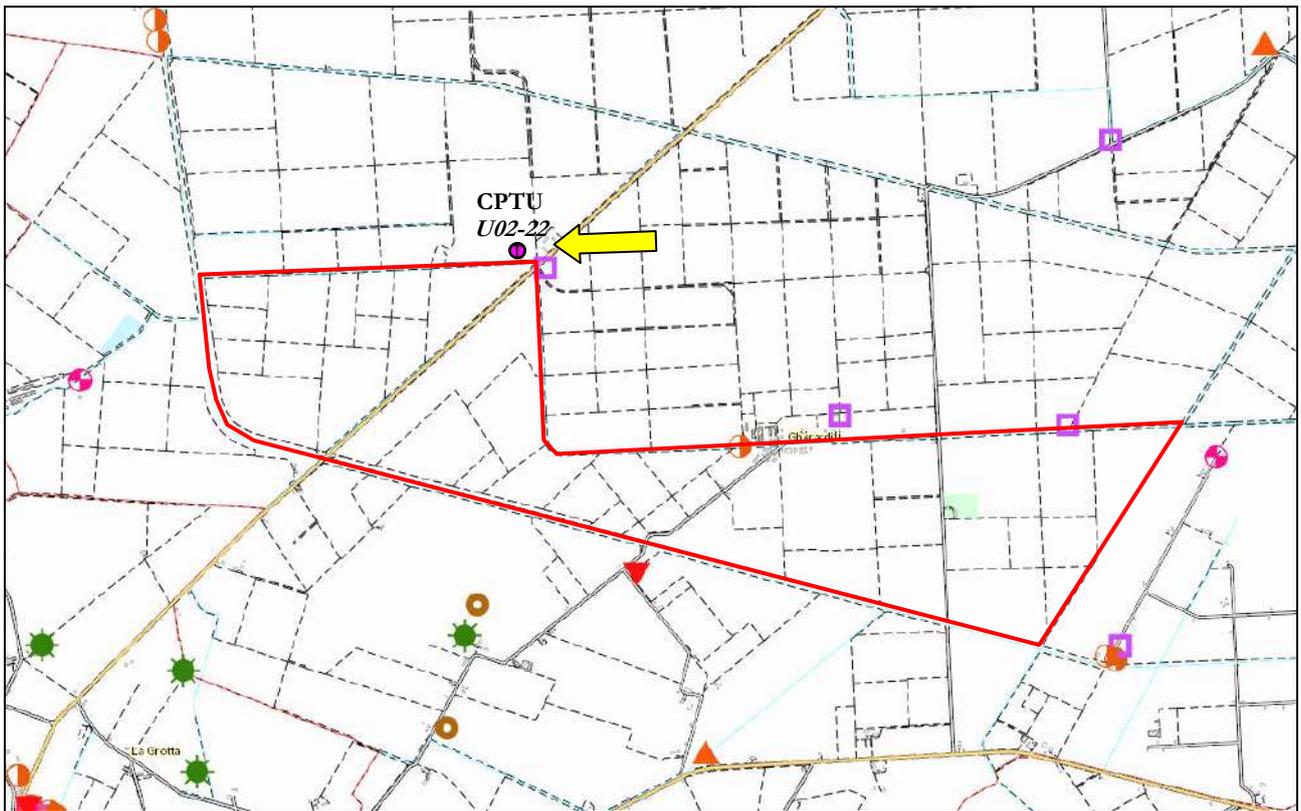
$h_i$  : spessore dello strato  $i$ esimo,

$v_i$  : velocità delle onde di taglio “S” nello strato  $i$ esimo.

Il valore di  $V_{s30}$  viene di seguito calcolato attraverso una correlazione empirica con la prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU1 con rif. U02-22, che raggiunge la profondità di -30,00 m da p.c..

*Si ricorda che la  $V_{s30}$  va calcolata dal piano di posa della fondazione.*

In **FIGURA 3.1** è riportato uno stralcio di mappa D.B.T.R. della provincia di Ferrara con l’ubicazione della prova penetrometrica statica a punta elettrica CPTU con rif. U02-22.



**FIGURA 3.1** – Stralcio di mappa DBTR della provincia di Ferrara con ubicazione prova CPTU

In letteratura esistono numerose correlazioni empiriche tra le misure di  $q_c$  e di  $V_{S30}$  anche se il livello deformativo indotto nel terreno dalla penetrazione della punta penetrometrica provoca la rottura del materiale mentre le onde di taglio si propagano senza intaccare la struttura del terreno in condizioni di deformazioni praticamente elastiche.

La correlazione utilizzata è stata proposta da *Andrus et al. (2001)* ed utilizza valori di  $q_c$  e di  $V_{S30}$  normalizzati rispetto allo stato tensionale, in questa formula non viene tenuto conto dell'attrito laterale  $f_s$  e viene introdotto un coefficiente correttivo per l'età del deposito che viene indicato con ASF.

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

La correlazione è la seguente:

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

dove:

$$q_{c1N} = \left( \frac{q_c}{p_a} \right) \left( \frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.5} \quad \text{resistenza alla punta normalizzata alla tensione verticale;}$$

$$V_{S1} = V_S \left( \frac{p_a}{\sigma_v} \right)^{0.25} \quad \text{velocità corretta per tenere in conto lo stato tensionale verticale;}$$

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

A e  $\alpha$  sono coefficienti empirici da calibrare sulla base delle misure di  $q_c$  e di Vs disponibili;

$p_a$  = pressione atmosferica.

Nella **Tabella 3.1** sono riportati i coefficienti A e  $\alpha$ .

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

**Tabella 3.1** – Coefficienti A (m/s) e  $\alpha$

dott. Geologo Thomas Veronese  
via Roma 10 - 44021 Codigoro FE

Località: \_\_\_ Jolanda di Savoia (Fe) CPT di riferimento: \_\_\_ U02-22 Data esecuzione CPT: \_\_\_ #####

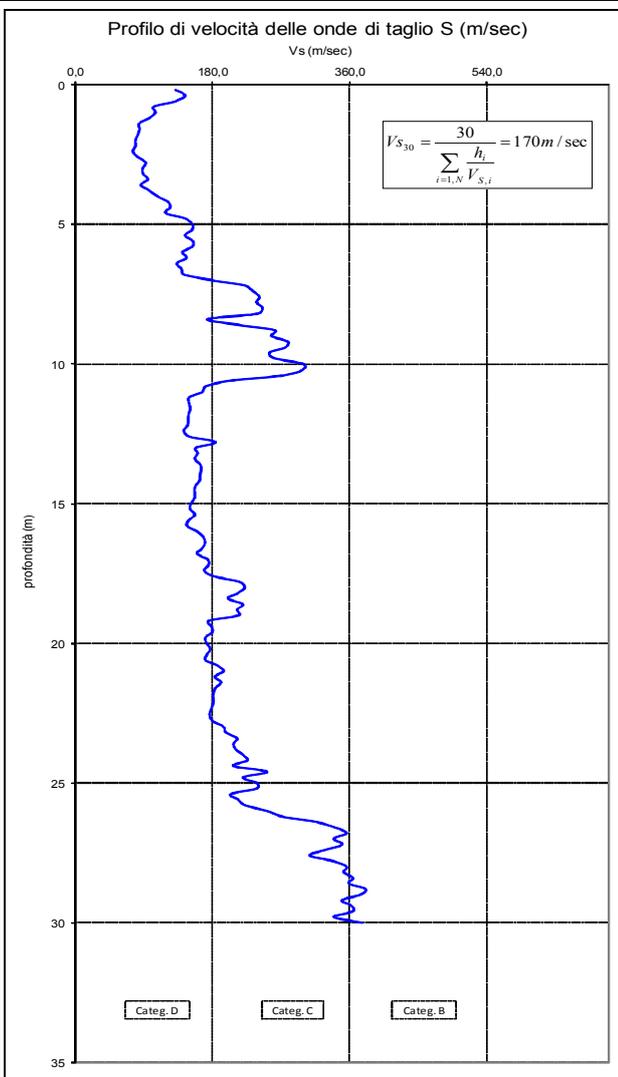
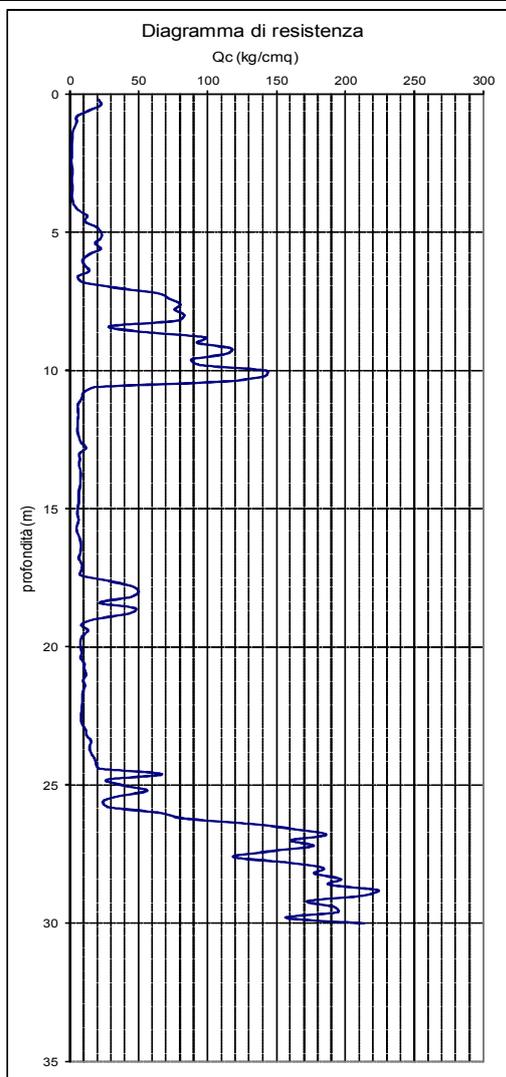
profondità prova 30m

Falda: 0,8 m

ANDRUS V<sub>S30</sub>  
170 m/sec

prf.	RP	RP/RL	Z1	Z2	ΔH	mezzo strat	litologia	qc(kg/cm2)	σ'v(kg/cm2)	A	α	VS30 normalizzata		ΔH/V <sub>s1</sub>	σ'v(kg/cm2)	σ'v'(kg/cm2)	H1*V <sub>s1</sub>
												V <sub>s1</sub>	V <sub>s30</sub>				
0,2	21	15	0	0,2	0,2	0,1	ARGILLA	21,1	0,037	80,64	0,28	300,6	131,8	0,00152	0,037	-0,014	26,4
0,4	22	7	0,2	0,4	0,2	0,3	ARGILLA	22,3	0,074	80,64	0,28	276,8	144,4	0,00139	0,074	0,04	28,9
0,6	13	6	0,4	0,6	0,2	0,5	ARGILLA	13,5	0,111	80,64	0,28	227,3	131,2	0,00152	0,111	0,094	26,2
0,8	5	4	0,6	0,8	0,2	0,7	ARGILLA	5,1	0,148	80,64	0,28	166,2	103,1	0,00194	0,148	0,148	20,6
1	5	10	0,8	1	0,2	0,9	ARGILLA	4,9	0,202	80,64	0,28	157,2	105,4	0,00190	0,185	0,202	21,1
1,2	3	9	1	1,2	0,2	1,1	ARGILLA	3,3	0,256	80,64	0,28	136,4	87,1	0,00206	0,222	0,256	19,4
1,4	2	4	1,2	1,4	0,2	1,3	ARGILLA	1,8	0,31	80,64	0,28	112,7	64,1	0,00238	0,259	0,31	16,8
1,6	2	5	1,4	1,6	0,2	1,5	ARGILLA	1,8	0,364	80,64	0,28	108,8	64,5	0,00237	0,296	0,364	16,9
1,8	2	5	1,6	1,8	0,2	1,7	ARGILLA	1,5	0,418	80,64	0,28	102,1	82,1	0,00244	0,333	0,418	16,4
2	1	5	1,8	2	0,2	1,9	ARGILLA	1,3	0,472	80,64	0,28	95,4	79,0	0,00253	0,37	0,472	15,8
2,2	1	7	2	2,2	0,2	2,1	ARGILLA	1,2	0,526	80,64	0,28	92,9	79,1	0,00253	0,407	0,526	15,8
2,4	1	5	2,2	2,4	0,2	2,3	ARGILLA	1,0	0,58	80,64	0,28	86,8	75,7	0,00264	0,444	0,58	15,1
2,6	1	6	2,4	2,6	0,2	2,5	ARGILLA	1,3	0,634	80,64	0,28	92,3	82,4	0,00243	0,481	0,634	16,5
2,8	2	4	2,6	2,8	0,2	2,7	ARGILLA	1,9	0,688	80,64	0,28	101,6	82,5	0,00216	0,518	0,688	18,5
3	2	4	2,8	3	0,2	2,9	ARGILLA	1,6	0,742	80,64	0,28	95,4	88,5	0,00226	0,555	0,742	17,7
3,2	2	5	3	3,2	0,2	3,1	ARGILLA	1,6	0,796	80,64	0,28	94,5	89,2	0,00224	0,592	0,796	17,8
3,4	2	5	3,2	3,4	0,2	3,3	ARGILLA	2,0	0,85	80,64	0,28	99,5	95,5	0,00209	0,629	0,85	19,1
3,6	1	5	3,4	3,6	0,2	3,5	ARGILLA	1,3	0,904	80,64	0,28	88,4	86,2	0,00232	0,666	0,904	17,2
3,8	2	4	3,6	3,8	0,2	3,7	ARGILLA	2,0	0,958	80,64	0,28	98,6	97,6	0,00205	0,703	0,958	19,5
4	3	4	3,8	4	0,2	3,9	ARGILLA	2,8	1,012	80,64	0,28	107,1	107,4	0,00186	0,74	1,012	21,5
4,2	6	20	4	4,2	0,2	4,1	LIMO	6,3	1,066	77,83	0,24	120,0	122,0	0,00164	0,777	1,066	24,4
4,4	12	49	4,2	4,4	0,2	4,3	SABBIA	12,5	1,12	53,64	0,33	121,1	124,6	0,00161	0,814	1,12	24,9
4,6	11	41	4,4	4,6	0,2	4,5	SABBIA	10,7	1,174	53,64	0,33	114,2	118,9	0,00168	0,851	1,174	23,8
4,8	19	65	4,6	4,8	0,2	4,7	SABBIA	18,8	1,228	53,64	0,33	136,6	143,8	0,00139	0,888	1,228	28,8
5	23	80	4,8	5	0,2	4,9	SABBIA	22,7	1,282	53,64	0,33	144,4	153,6	0,00130	0,925	1,282	30,7
5,2	22	77	5	5,2	0,2	5,1	SABBIA	22,5	1,336	53,64	0,33	142,8	153,5	0,00130	0,962	1,336	30,7
5,4	18	53	5,2	5,4	0,2	5,3	SABBIA	18,4	1,39	53,64	0,33	132,7	144,1	0,00139	0,999	1,39	28,8
5,6	22	72	5,4	5,6	0,2	5,5	SABBIA	22,3	1,444	53,64	0,33	140,6	154,1	0,00130	1,036	1,444	30,8
5,8	14	33	5,6	5,8	0,2	5,7	LIMO	13,7	1,498	77,83	0,24	139,1	153,8	0,00130	1,073	1,498	30,8
6	9	28	5,8	6	0,2	5,9	LIMO	9,2	1,552	77,83	0,24	125,7	140,3	0,00143	1,11	1,552	28,1
6,2	11	40	6	6,2	0,2	6,1	LIMO	10,7	1,606	77,83	0,24	129,9	146,3	0,00137	1,147	1,606	29,3
6,4	14	51	6,2	6,4	0,2	6,3	SABBIA	13,9	1,66	53,64	0,33	117,6	133,4	0,00150	1,184	1,66	26,7
6,6	6	15	6,4	6,6	0,2	6,5	ARGILLA	5,7	1,714	80,64	0,28	121,9	139,4	0,00143	1,221	1,714	27,9
6,8	9	21	6,6	6,8	0,2	6,7	LIMO	9,2	1,768	77,83	0,24	123,6	142,6	0,00140	1,258	1,768	28,9
7	32	101	6,8	7	0,2	6,9	SABBIA	32,5	1,822	53,64	0,33	153,2	178,0	0,00112	1,295	1,822	35,6
7,2	63	114	7	7,2	0,2	7,1	SABBIA	63,3	1,876	53,64	0,33	190,0	222,4	0,00090	1,332	1,876	44,5
7,4	72	122	7,2	7,4	0,2	7,3	SABBIA	72,2	1,93	53,64	0,33	197,6	232,9	0,00086	1,369	1,93	46,6
7,6	80	131	7,4	7,6	0,2	7,5	SABBIA	80,1	1,984	53,64	0,33	203,5	241,6	0,00083	1,406	1,984	48,3
7,8	76	128	7,6	7,8	0,2	7,7	SABBIA	76,1	2,038	53,64	0,33	199,2	238,0	0,00084	1,443	2,038	47,6
8	83	140	7,8	8	0,2	7,9	SABBIA	83,3	2,092	53,64	0,33	204,3	245,8	0,00081	1,48	2,092	49,2
8,2	78	125	8	8,2	0,2	8,1	SABBIA	77,6	2,146	53,64	0,33	198,8	240,6	0,00083	1,517	2,146	48,1
8,4	29	64	8,2	8,4	0,2	8,3	SABBIA	28,6	2,2	53,64	0,33	142,4	173,5	0,00115	1,554	2,2	34,7
8,6	53	134	8,4	8,6	0,2	8,5	SABBIA	53,1	2,254	53,64	0,33	173,9	213,1	0,00094	1,591	2,254	42,6
8,8	98	134	8,6	8,8	0,2	8,7	SABBIA	98,5	2,308	53,64	0,33	212,5	261,9	0,00076	1,628	2,308	52,4
9	92	124	8,8	9	0,2	8,9	SABBIA	92,3	2,362	53,64	0,33	207,2	256,9	0,00078	1,665	2,362	51,4
9,2	117	155	9	9,2	0,2	9,1	SABBIA	117,3	2,416	53,64	0,33	223,5	278,6	0,00072	1,702	2,416	55,7
9,4	113	131	9,2	9,4	0,2	9,3	SABBIA	113,2	2,47	53,64	0,33	220,0	275,8	0,00073	1,739	2,47	55,2
9,6	88	115	9,4	9,6	0,2	9,5	SABBIA	88,2	2,524	53,64	0,33	201,9	254,5	0,00079	1,776	2,524	50,9
9,8	95	154	9,6	9,8	0,2	9,7	SABBIA	94,6	2,578	53,64	0,33	205,9	260,9	0,00077	1,813	2,578	52,2
10	143	187	9,8	10	0,2	9,9	SABBIA	142,6	2,632	53,64	0,33	234,9	299,2	0,00067	1,85	2,632	59,8
10,2	142	141	10	10,2	0,2	10,1	SABBIA	141,8	2,686	53,64	0,33	233,7	299,2	0,00067	1,887	2,686	59,8
10,4	111	123	10,2	10,4	0,2	10,3	SABBIA	111,4	2,74	53,64	0,33	215,1	276,8	0,00072	1,924	2,74	55,4
10,6	18	12	10,4	10,6	0,2	10,5	ARGILLA	18,4	2,794	80,64	0,28	157,8	204,0	0,00098	1,961	2,794	40,8
10,8	10	14	10,6	10,8	0,2	10,7	ARGILLA	9,8	2,848	80,64	0,28	131,9	171,3	0,00117	1,998	2,848	34,3
11	9	15	10,8	11	0,2	10,9	ARGILLA	8,8	2,902	80,64	0,28	127,8	166,8	0,00120	2,035	2,902	33,4
11,2	6	14	11	11,2	0,2	11,1	ARGILLA	5,9	2,956	80,64	0,28	114,1	149,6	0,00134	2,072	2,956	29,9
11,4	6	18	11,2	11,4	0,2	11,3	ARGILLA	5,8	3,01	80,64	0,28	113,2	149,1	0,00134	2,109	3,01	29,8
11,6	6	15	11,4	11,6	0,2	11,5	ARGILLA	6,1	3,064	80,64	0,28	114,1	151,0	0,00132	2,146	3,064	30,2
11,8	6	15	11,6	11,8	0,2	11,7	ARGILLA	5,7	3,118	80,64	0,28	112,0	148,8	0,00134	2,183	3,118	29,8
12	6	14	11,8	12	0,2	11,9	ARGILLA	5,6	3,172	80,64	0,28	111,1	148,2	0,00135	2,22	3,172	29,6
12,2	5	14	12	12,2	0,2	12,1	ARGILLA	5,5	3,226	80,64	0,28	110,1	147,5	0,00136	2,257	3,226	29,5
12,4	7	24	12,2	12,4	0,2	12,3	LIMO	6,5	3,28	77,83	0,24	105,8	142,4	0,00140	2,294	3,28	28,5
12,6	8	21	12,4	12,6	0,2	12,5	LIMO	8,0	3,334	77,83	0,24	110,8	149,7	0,00134	2,331	3,334	29,9
12,8	12	14	12,6	12,8	0,2	12,7	ARGILLA	11,8	3,388	80,64	0,28	135,5	183,9	0,00109	2,368	3,388	36,8
13	7	10	12,8	13	0,2	12,9	ARGILLA	6,9	3,442	80,64	0,28	116,4	158,5	0,00126	2,405	3,442	31,7
13,2	7	14	13	13,2	0,2	13,1	ARGILLA	7,2	3,496	80,64	0,28	117,6	160,8	0,00124	2,442	3,496	32,2
13,4	7	12	13,2	13,4	0,2	13,3	ARGILLA	6,5	3,55	80,64	0,28	114,2	156,7	0,00128	2,479	3,55	31,3
13,6	8	15	13,4	13,6	0,2	13,5	ARGILLA	7,6	3,604	80,64	0,28	119,0	164,0	0,00122	2,516	3,604	32,8
13,8	8	15	13,6	13,8	0,2	13,7	ARGILLA	7,8	3,658	80,64	0,28	119,4	165,1	0,00121	2,553	3,658	33,0
14	7	14	13,8	14	0,2	13,9	ARGILLA	7,5	3,712	80,64	0,28	117,9	163,6	0,00122	2,59	3,712	32,7
14,2	7	14	14	14,2	0,2	14,1	ARGILLA	7,3	3,766	80,64	0,28	116,9	162,9	0,00123	2,627	3,766	32,6
14,4	6	13	14,2	14,4	0,2	14,3	ARGILLA	6,4	3,82	80,64	0,28	112,3	157,0	0,00127	2,664	3,82	31,4
14,6	6	16	14,4	14,6	0,2	14,5											

22,2	9	16	22	22,2	0,2	22,1	ARGILLA	8,8	5,926	80,64	0,28	115,7	180,5	0,00111	4,107	5,926	36,1
22,4	8	16	22,2	22,4	0,2	22,3	ARGILLA	8,3	5,98	80,64	0,28	113,5	177,4	0,00113	4,144	5,98	35,5
22,6	8	16	22,4	22,6	0,2	22,5	ARGILLA	8,1	6,034	80,64	0,28	112,6	176,5	0,00113	4,181	6,034	35,3
22,8	9	17	22,6	22,8	0,2	22,7	ARGILLA	8,8	6,088	80,64	0,28	115,3	181,1	0,00110	4,218	6,088	36,2
23	11	16	22,8	23	0,2	22,9	ARGILLA	11,4	6,142	80,64	0,28	123,7	194,7	0,00103	4,255	6,142	38,9
23,2	12	13	23	23,2	0,2	23,1	ARGILLA	12,0	6,196	80,64	0,28	125,2	197,5	0,00101	4,292	6,196	39,5
23,4	15	13	23,2	23,4	0,2	23,3	ARGILLA	15,4	6,25	80,64	0,28	134,2	212,2	0,00094	4,329	6,25	42,4
23,6	14	10	23,4	23,6	0,2	23,5	ARGILLA	14,2	6,304	80,64	0,28	131,0	207,6	0,00096	4,366	6,304	41,5
23,8	15	13	23,6	23,8	0,2	23,7	ARGILLA	14,9	6,358	80,64	0,28	132,6	210,6	0,00095	4,403	6,358	42,1
24	17	15	23,8	24	0,2	23,9	ARGILLA	17,5	6,412	80,64	0,28	138,5	220,3	0,00091	4,44	6,412	44,1
24,2	19	17	24	24,2	0,2	24,1	ARGILLA	18,9	6,466	80,64	0,28	141,5	225,6	0,00089	4,477	6,466	45,1
24,4	22	27	24,2	24,4	0,2	24,3	LIMO	21,5	6,52	77,83	0,24	129,8	207,5	0,00096	4,514	6,52	41,5
24,6	67	77	24,4	24,6	0,2	24,5	SABBIA	66,8	6,574	53,64	0,33	157,3	251,9	0,00079	4,551	6,574	50,4
24,8	27	23	24,6	24,8	0,2	24,7	LIMO	27,2	6,628	77,83	0,24	137,1	219,9	0,00091	4,588	6,628	44,0
25	38	35	24,8	25	0,2	24,9	LIMO	37,9	6,682	77,83	0,24	148,3	238,4	0,00084	4,625	6,682	47,7
25,2	56	53	25	25,2	0,2	25,1	SABBIA	56,0	6,736	53,64	0,33	147,8	238,2	0,00084	4,662	6,736	47,6
25,4	53	53	25,2	25,4	0,2	25,3	SABBIA	35,0	6,79	53,64	0,33	126,4	204,1	0,00098	4,699	6,79	40,8
25,6	34	36	25,4	25,6	0,2	25,5	LIMO	23,8	6,844	77,83	0,24	132,2	213,8	0,00094	4,736	6,844	42,8
25,8	28	27	25,6	25,8	0,2	25,7	LIMO	28,1	6,898	77,83	0,24	137,4	222,7	0,00090	4,773	6,898	44,5
26	65	93	25,8	26	0,2	25,9	SABBIA	65,4	6,952	53,64	0,33	154,7	251,3	0,00080	4,81	6,952	50,3
26,2	82	94	26	26,2	0,2	26,1	SABBIA	81,7	7,006	53,64	0,33	166,3	270,6	0,00074	4,847	7,006	54,1
26,4	130	109	26,2	26,4	0,2	26,3	SABBIA	130,2	7,06	53,64	0,33	193,7	315,8	0,00063	4,884	7,06	63,2
26,6	164	105	26,4	26,6	0,2	26,5	SABBIA	164,0	7,114	53,64	0,33	208,8	341,1	0,00059	4,921	7,114	68,2
26,8	186	116	26,6	26,8	0,2	26,7	SABBIA	186,1	7,168	53,64	0,33	217,5	355,8	0,00056	4,958	7,168	71,2
27	160	91	26,8	27	0,2	26,9	SABBIA	160,4	7,222	53,64	0,33	206,8	339,0	0,00059	4,995	7,222	67,8
27,2	177	118	27	27,2	0,2	27,1	SABBIA	176,7	7,276	53,64	0,33	213,2	350,2	0,00057	5,032	7,276	70,0
27,4	144	84	27,2	27,4	0,2	27,3	SABBIA	144,0	7,33	53,64	0,33	199,1	327,6	0,00061	5,069	7,33	65,5
27,6	119	94	27,4	27,6	0,2	27,5	SABBIA	118,6	7,384	53,64	0,33	186,5	307,4	0,00065	5,106	7,384	61,5
27,8	158	116	27,6	27,8	0,2	27,7	SABBIA	158,2	7,438	53,64	0,33	204,9	338,3	0,00059	5,143	7,438	67,7
28	184	96	27,8	28	0,2	27,9	SABBIA	183,8	7,492	53,64	0,33	215,0	355,7	0,00056	5,18	7,492	71,1
28,2	178	94	28	28,2	0,2	28,1	SABBIA	177,6	7,546	53,64	0,33	212,3	351,9	0,00057	5,217	7,546	70,4
28,4	197	107	28,2	28,4	0,2	28,3	SABBIA	196,8	7,6	53,64	0,33	219,4	364,2	0,00055	5,254	7,6	72,8
28,6	188	101	28,4	28,6	0,2	28,5	SABBIA	188,1	7,654	53,64	0,33	215,9	359,1	0,00056	5,291	7,654	71,8
28,8	224	121	28,6	28,8	0,2	28,7	SABBIA	223,7	7,708	53,64	0,33	228,3	380,4	0,00053	5,328	7,708	76,1
29	212	121	28,8	29	0,2	28,9	SABBIA	212,1	7,762	53,64	0,33	224,1	374,0	0,00053	5,365	7,762	74,8
29,2	172	139	29	29,2	0,2	29,1	SABBIA	172,4	7,816	53,64	0,33	209,0	349,5	0,00057	5,402	7,816	69,9
29,4	192	115	29,2	29,4	0,2	29,3	SABBIA	191,9	7,87	53,64	0,33	216,3	362,3	0,00055	5,439	7,87	72,5
29,6	194	106	29,4	29,6	0,2	29,5	SABBIA	194,3	7,924	53,64	0,33	216,9	364,0	0,00055	5,476	7,924	72,8
29,8	157	88	29,6	29,8	0,2	29,7	SABBIA	156,7	7,978	53,64	0,33	201,9	339,2	0,00059	5,513	7,978	67,8
30	213	119	29,8	30	0,2	29,9	SABBIA	213,3	8,032	53,64	0,33	223,2	375,8	0,00053	5,55	8,032	75,2

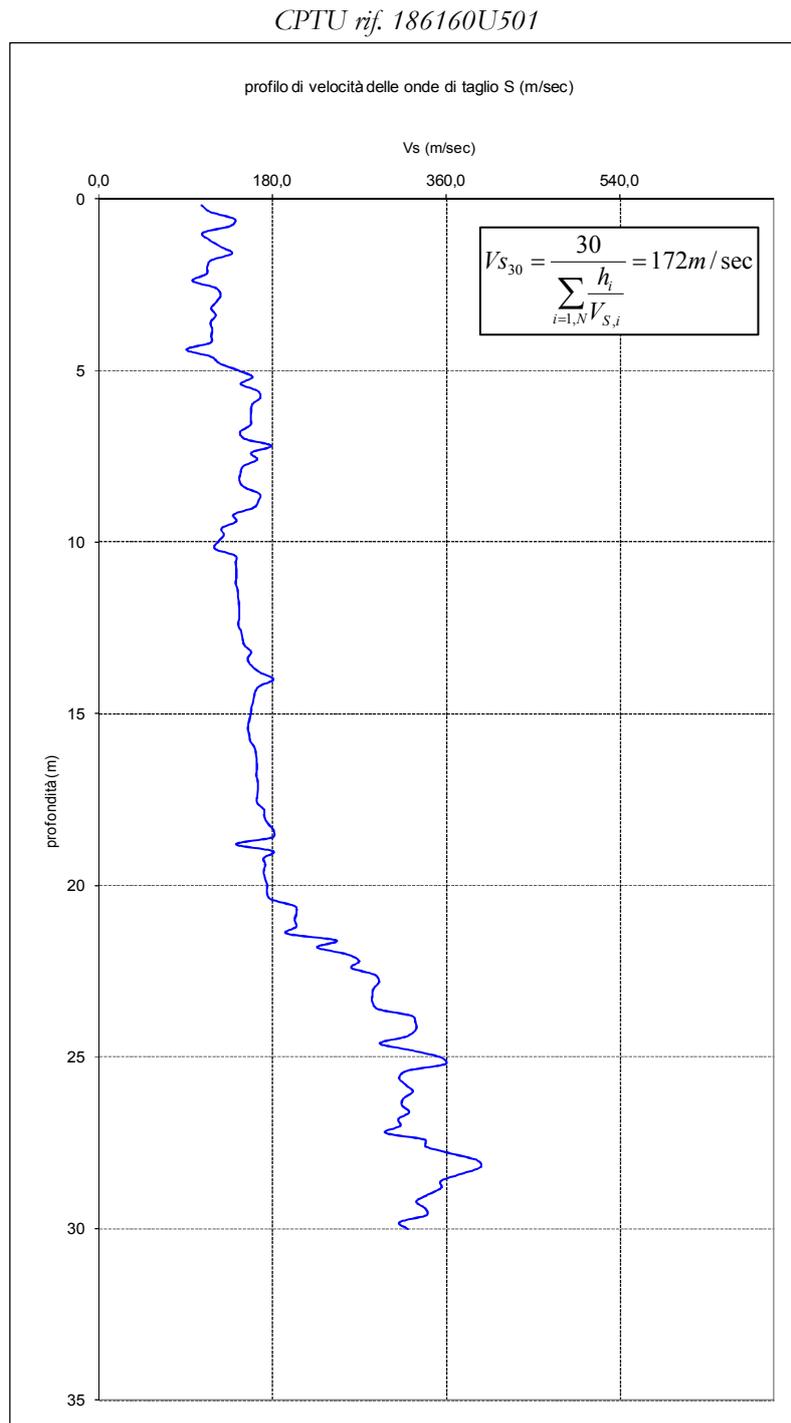


Il valore di  $V_{S30}$  calcolato risulta:  $V_{S30} = 170$  m/s e quindi la Categoria di suolo è D.

Tale valore v'è assunto con uno scarto di  $\pm 10\%$ , come per tutti i metodi di acquisizione di tale parametro.

**$V_{S30} = 170$  m/s      Categoria di suolo D**

Anche le altre due indagini bibliografiche CPTU con *ref. 186160U501* e con *ref. 186150U502* portano al medesimo risultato.

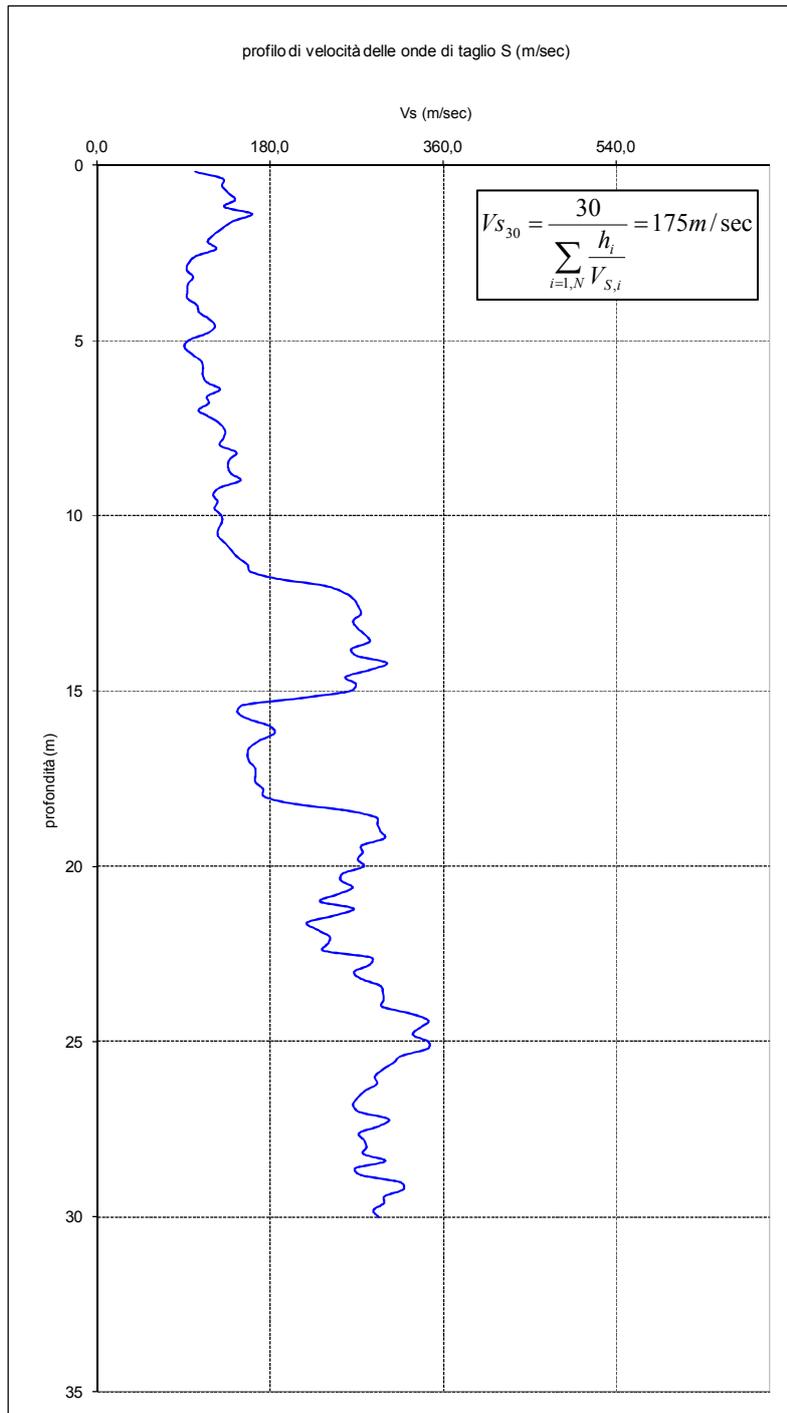


Il valore di  $V_{S_{30}}$  calcolato risulta:  $V_{S_{30}} = 172 \text{ m/s}$  e quindi la Categoria di suolo è D.

Tale valore verrà assunto con uno scarto di  $\pm 10\%$ , come per tutti i metodi di acquisizione di tale parametro.

<b><math>V_{S_{30}} = 172 \text{ m/s}</math>    Categoria di suolo D</b>
--

CPTU rif. 186150U502



Il valore di  $V_{S_{30}}$  calcolato risulta:  $V_{S_{30}} = 175 \text{ m/s}$  e quindi la Categoria di suolo è D.

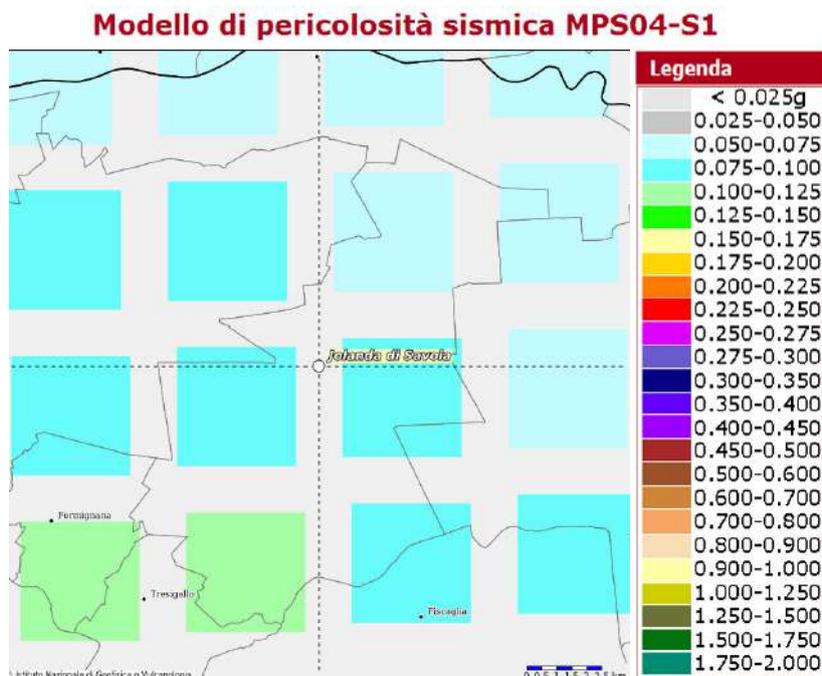
Tale valore verrà assunto con uno scarto di  $\pm 10\%$ , come per tutti i metodi di acquisizione di tale parametro.

**$V_{S_{30}} = 175 \text{ m/s}$     Categoria di suolo D**

Parametri sismici secondo "D.M. 17 gennaio 2018"

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 17/01/2018, attribuisce a questa zona del comune di Jolanda di Savoia un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente agli intervalli 0,100g – 0,125g, con  $T=0$ , su suolo rigido ( $V_{s30}>800\text{m/sec}$ ) e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale.

In **FIGURA 3.2**, si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.



**FIGURA 3.2** – Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Per la scelta della strategia di progettazione, il progettista procede in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, *le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:*

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  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.

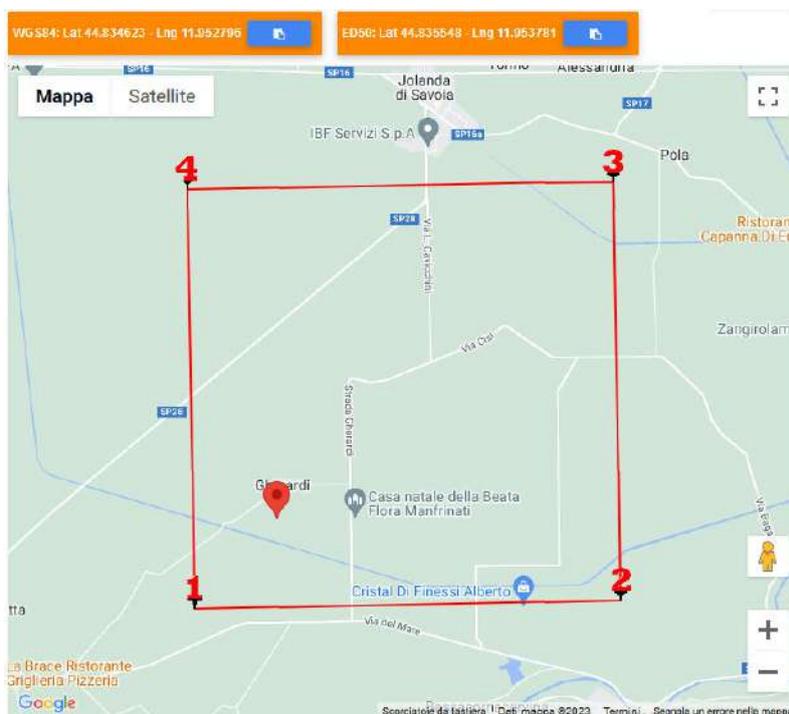
In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T^*C$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nella **Tabella 3.2** tratta dalla normativa si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi stati limiti a cui si può spingere la progettazione.

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella 3.2** - D.M. 17-01-2018 Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio “sito dipendente”. Come indicato nell’Allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, recepito dal nuovo DM, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$ ) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (**FIGURA 3.3**).



**FIGURA 3.3** – Vertici della griglia di riferimento (Fonte: [www.geostru.com](http://www.geostru.com))

Si valutano i parametri spettrali  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$  per il sito di progetto (approccio “sito-dipendente”) a titolo esemplificativo considerando l’amplificazione stratigrafica e topografica (**T1**) (Cap. 3.2.3 del D.M. 2018) la categoria del sottosuolo (**D**) e la classe d’uso della costruzione (**II**) (Cap. 2.4.2 del D.M. 2018).

### Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 44,835548

longitudine: 11,953781

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 15407 Lat: 44,8248 Lon: 11,9403 Distanza: 1600,277

Sito 2 ID: 15408 Lat: 44,8257 Lon: 12,0107 Distanza: 4616,880

Sito 3 ID: 15186 Lat: 44,8757 Lon: 12,0094 Distanza: 6257,887

Sito 4 ID: 15185 Lat: 44,8748 Lon: 11,9389 Distanza: 4519,754

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: D

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente  $c_u$ : 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,033	g
Fo:	2,535	
Tc*:	0,241	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,039	g
Fo:	2,569	
Tc*:	0,276	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
<b>ag:</b>	<b>0,095</b>	<b>g</b>
Fo:	2,575	
Tc*:	0,306	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,122	g
Fo:	2,599	
Tc*:	0,307	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii e fondazioni

SLO:

Ss:	1,800
Cc:	2,550
St:	1,000
Kh:	0,012
Kv:	0,006
Amax:	0,577
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,800
Cc:	2,380
St:	1,000
Kh:	0,014
Kv:	0,007
Amax:	0,688
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,800
Cc:	2,260
St:	1,000

Kh: 0,034  
Kv: 0,017  
Amax: 1,683 (**Amax/g=0,171**)  
Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,800  
Cc: 2,260  
St: 1,000  
Kh: 0,053  
Kv: 0,026  
Amax: 2,157  
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50  
Geostru software - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

Magnitudo di progetto

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di  $M = 6,14$ , i terremoti storici in questa area allo studio sono decisamente più bassi.

Durante gli eventi del maggio 2012 si sono liberate energie sismiche sulla dorsale ferrarese con magnitudo di 5,90 (che è stato stimato da Picotti, 2013, come evento con  $T_R$  di 1000 anni).

Nella **FIGURA 3.4** sono riportati i sismi che hanno colpito la provincia di Ferrara in tempi storici relativamente recenti.

Comune	Lat.	Lon.	Imax	Mw
ARGENTA	44.61459	11.83658	9	6,1
ARGENTA	44.61459	11.83658	9	6,1
BONDENO	44.88857	11.41666	8	5,6
CENTO	44.72685	11.28937	7	5,2
CODIGORO	44.83096	12.10568	<= 6	4,8
<b>COMACCHIO</b>	<b>44.69444</b>	<b>12.18290</b>	<b>7</b>	<b>5,2</b>
COPPARO	44.89391	11.82986	8	5,6
FERRARA	44.83559	11.61842	8	5,6
FORMIGNANA	44.84187	11.85894	8	5,6
JOLANDA DI SAVOIA	44.88518	11.97726	7	5,2
LAGOSANTO	44.76249	12.13965	7	5,2
MASI TORELLO	44.79369	11.79704	8	5,6
MASSA FISCAGLIA	44.80818	12.01334	7	5,2
MESOLA	44.92060	12.23033	<= 6	4,8
MIGLIARINO	44.77058	11.93149	8	5,6
MIRABELLO	44.82534	11.46031	8	5,6
OSTELLATO	44.74516	11.94085	8	5,6
POGGIO RENATICO	44.76571	11.48392	8	5,6
PORTOMAGGIOR	44.69759	11.80509	8	5,6
RO	44.94634	11.76146	8	5,6
SANT'AGOSTINO	44.79258	11.38519	8	5,6
VIGARANO MAINARDA	44.84191	11.49759	8	5,6
VOGHIERA	44.75737	11.75011	8	5,6
TRESIGALLO	44.81771	11.89393	8	5,6
GORO	44.85334	12.30076	<= 6	4,8
MIGLIARO	44.79835	11.97311	7	5,2

**FIGURA 3.4** - Sismi che hanno colpito la provincia di Ferrara in tempi storici relativamente recenti

La magnitudo massima attesa che si adotterà è la seguente:

**Magnitudo di progetto**  
**M = 6,14Mw**

### 3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

L'obiettivo della riduzione del rischio sismico passa anche per l'analisi delle componenti territoriali che possono innescare fenomeni negativamente impattanti con le strutture antropiche e la loro sicurezza. Vale comunque la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti, non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area non si verificherà un sisma con energia sufficiente ad indurre liquefazione.

In particolare vengono ritenuti **motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione**, la verifica di almeno una di queste circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo di momento  $M_w$  inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).

2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;

3. Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine, FC, superiore al 20% (FC = frazione passante al setaccio ASTM 200, 0,074mm), con indice di plasticità  $PI > 10$ ;

- $FC \geq 35\%$  e resistenza  $(N_1)_{60} > 20$ ;

- $FC \leq 5\%$  e resistenza  $(N_1)_{60} > 25$

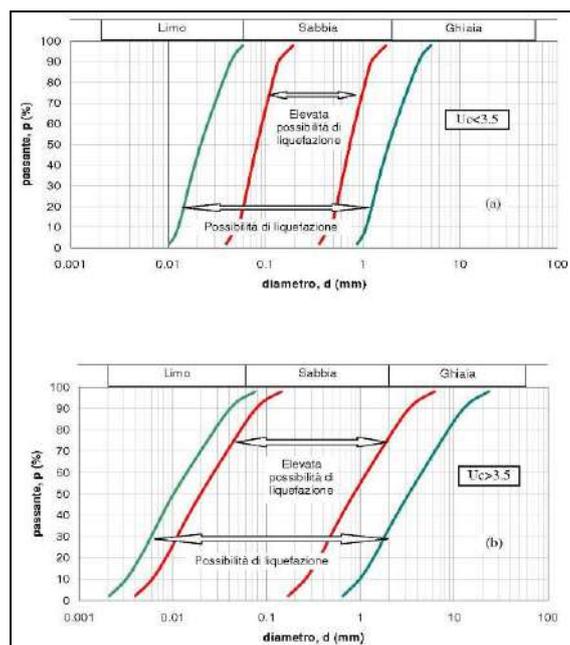
Dove  $(N_1)_{60}$  è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella **FIGURA 3.5** da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  o  $U_c > 3,5$ .

5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15m dal piano campagna.

6. Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di  $M > 7$ .

7. Un ulteriore motivo di esclusione dalla verifica di liquefazione è dato dal valore della **densità relativa**  $D_r$  del deposito. Gibbs ha eseguito diversi studi su risultati di vari autori stabilendo che una densità relativa pari a 70% è valore limite tra terreni liquefacibili e non liquefacibili (*Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile* di Nunziante Marino, Maggioli Editore, 2006), di conseguenza tutti i terreni con  $D_r > 70\%$  vengono automaticamente esclusi dalla verifica alla liquefazione.



**FIGURA 3.5** - Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno

Il D.M. 17/01/2018 ha riassunto in questi 4 punti i casi in cui non è prevista liquefazione:

**7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione**

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

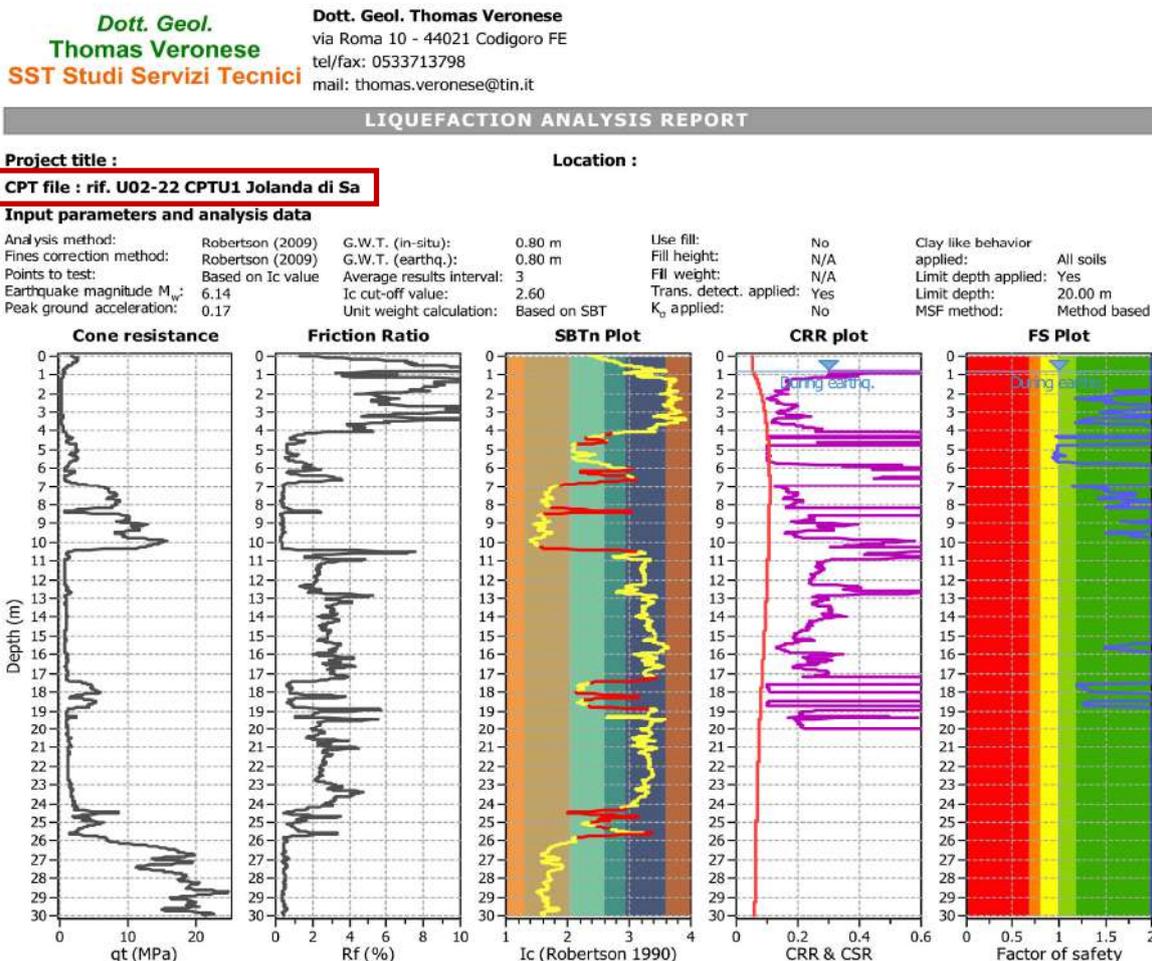
1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  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  $U_c > 3,5$ .

Per la verifica della liquefazione delle sabbie è stato utilizzato un software di calcolo (C-Liq v.3.0.3.2.) che analizzando ogni strato da 2 cm individuato dalla prova CPTU, ne verifica la potenzialità di liquefazione.

Ai fini del calcolo sono state considerate le prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU bibliografiche; nello specifico la CPTU con rif. U02-22, spinta fino alla profondità di -30,00 m da p.c., la CPTU con rif. 186160U501, spinta fino alla profondità di -35,00 m da p.c. e la CPTU con rif. 186150U502, spinta fino alla profondità di -35,00 m da p.c..

Per questo calcolo si è considerata una magnitudo di 6,14 e un'accelerazione P.G.A. di 0,17g.

Utilizzando i dati di input visualizzati in FIGURA 3.6, se ne deduce che nell'area di studio il fenomeno della liquefazione non è un effetto di sito atteso per gli strati sabbiosi rilevati.



**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

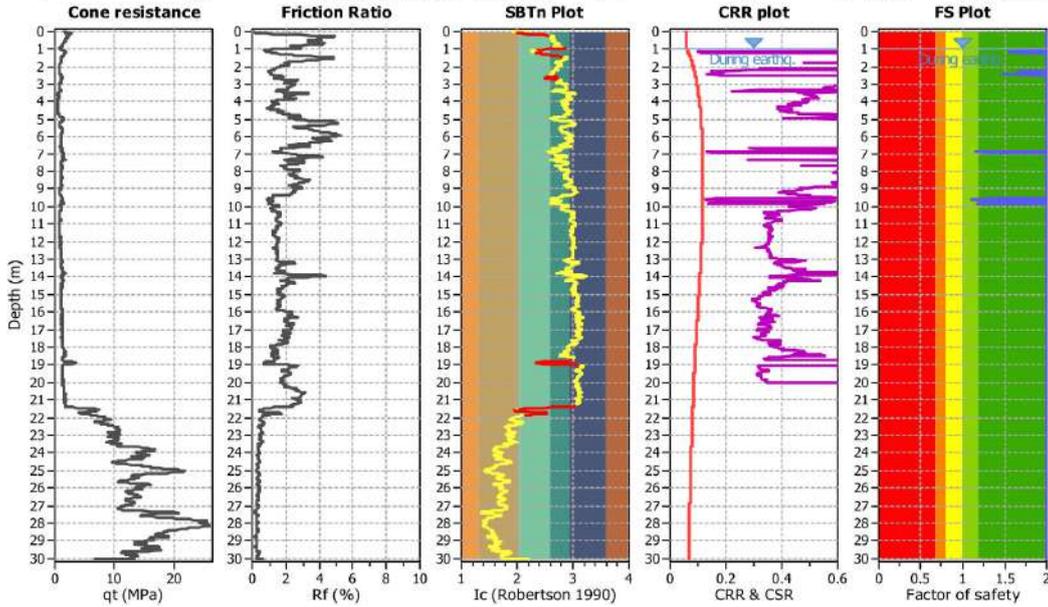
**Project title :**

**Location :**

**CPT file : CPTU 186160U501**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.17	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	No	MSF method:	Method based



**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

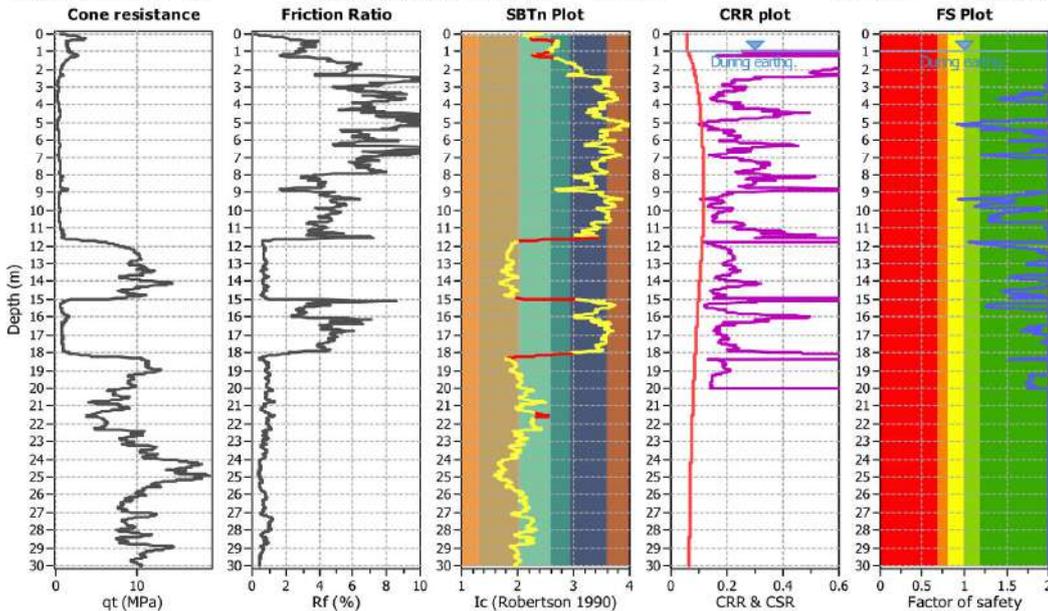
**Project title :**

**Location :**

**CPT file : CPTU 186150U502**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.17	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	No	MSF method:	Method based



*FIGURA 3.6: Dati input e metodi di calcolo adottati*

Dei calcoli effettuati si riporta solo la sintesi dei risultati finali.

Inoltre è stato verificato l'indice del potenziale di liquefazione,  $I_L$ , definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz ,$$

in cui  $z$  è la profondità dal piano di campagna in metri e  $w(z)=10-0.5z$

Ad una quota  $z$  il fattore  $F(z)=F$  vale:

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

dove  $F_L$  è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Con il software si calcola nei primi 20,00 m, il valore del potenziale di liquefazione per tutti gli strati incoerenti, in questo caso il valore è pari a **0,00**.

I terreni in esame risultano avere un indice del potenziale di liquefazione **nullo ( $I_{PL}=0,00$  per tutte le prove)** se sollecitati da un sisma di  $M_w=6,14$  ed una accelerazione di 0,17g (**Tabella 3.2 e 3.3**).

Potenziale Liquefazione $I_{PL}$	Classificazione
$I_{PL} = 0$	<i>Non liquefacibile</i>
$0 < I_{PL} \leq 2$	<i>Basso</i>
$2 < I_{PL} \leq 5$	<i>Moderato</i>
$5 < I_{PL} \leq 15$	<i>Alto</i>
$I_{PL} \geq 15$	<i>Molto Alto</i>

**Tabella 3.2** – Classificazione indice potenziale liquefazione

Prova	Potenziale Liquefazione $I_{PL}$
CPTU <i>rif. U02-22</i>	0,00
CPTU <i>rif. 186160U501</i>	0,00
CPTU <i>rif. 186150U502</i>	0,00

**Tabella 3.3** – Indice potenziale liquefazione calcolato

### 3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI

Dell'elaborazione completa dei cedimenti post sismici si riporta solo il risultato finale; sono stati stimati i cedimenti postsismici nei banchi sabbiosi rilevati con le prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU bibliografiche; nello specifico la CPTU con *rif. U02-22*, spinta fino alla profondità di -30,00 m da p.c., la CPTU con *rif. 186160U501*, spinta fino alla profondità di -35,00 m da p.c. e la CPTU con *rif. 186150U502*, spinta fino alla profondità di -35,00 m da p.c..

Dalle elaborazioni informatiche, si ricava che con una Magnitudo di 6,14 e accelerazione P.G.A. di 0,17g, nessuno dei livelli ha il fattore di resistenza alla liquefazione inferiore a 1,00, non determinando cedimenti post sismici nei terreni granulari (**Tabella 3.4**).

Prova	Cedimenti post-sismici (cm)
CPTU <i>rif. U02-22</i>	0,00
CPTU <i>rif. 186160U501</i>	0,00
CPTU <i>rif. 186150U502</i>	0,00

**Tabella 3.4** – Cedimenti post-sismici

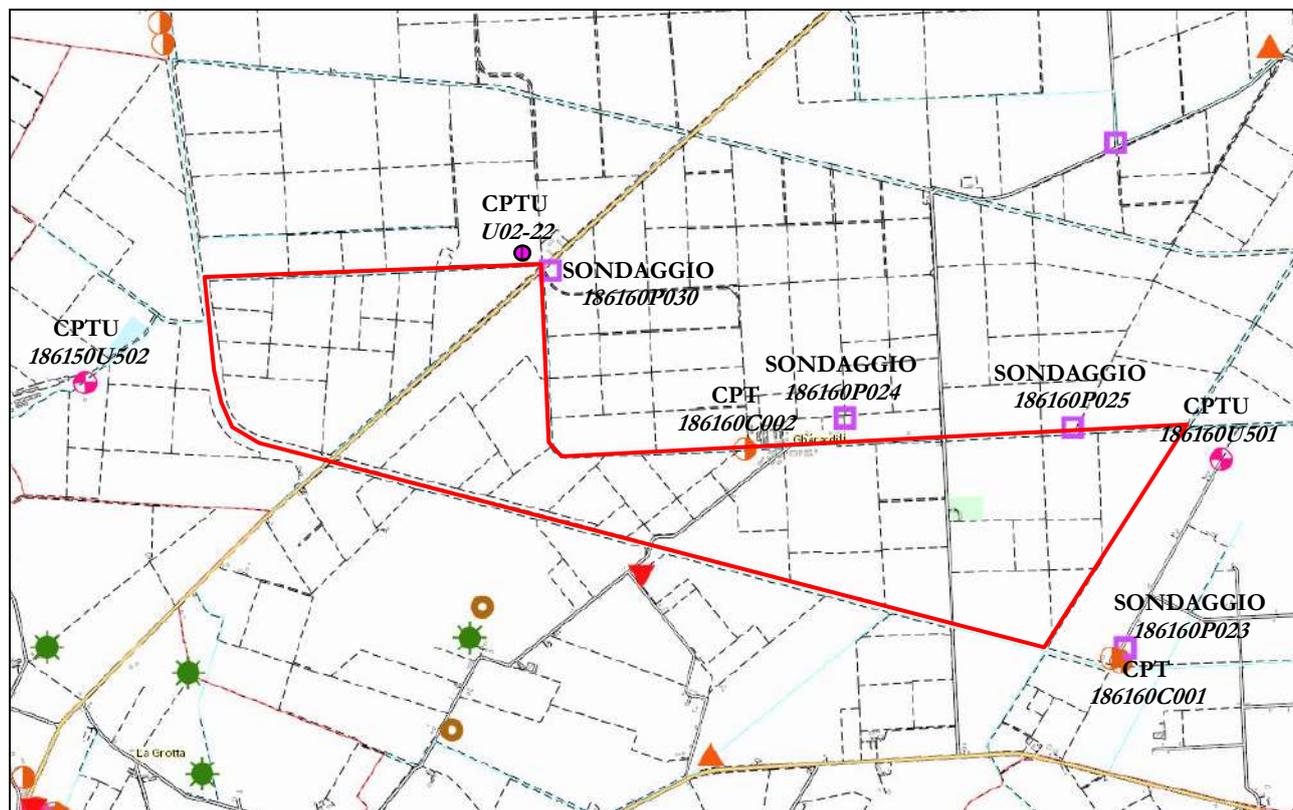
#### 4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

Uno dei motivi di pericolosità geologica del territorio, deriva in questi luoghi, dall'interazione tra opere di fondazione e terreni compressibili, su cui le costruzioni in elevazione possono creare condizioni di instabilità del complesso opera-terreno.

Si rende quindi necessario fare alcune valutazioni per verificare le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione, utilizzando in via indicativa, i dati derivabili dalle indagini specifiche eseguite per la modellazione geologica.

Per questa relazione Preliminare sono dunque state prese in considerazione indagini bibliografiche eseguite nell'intorno del sito allo studio. Nello specifico è stata considerata una prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU1 con *rif. U02-22*, spinta fino alla profondità di -30,00 m da p.c., eseguita a nord dell'area, due prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU con *rif. 186160U501* e con *rif. 186150U502* spinte entrambe fino alla profondità di -35,00 m da p.c. due prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT, eseguite una in corrispondenza dell'abitato di Gherardi e una a sud est dell'area e 4 sondaggi a distruzione eseguiti nell'intorno dell'area, estrapolati dal sito della regione.

In **FIGURA 4.1** si riporta uno stralcio di mappa D.B.T.R. della provincia di Ferrara con l'ubicazione delle indagini presenti in sito.



**FIGURA 4.1** – Ubicazione indagini

In **FIGURA 4.2** viene riportato uno stralcio progettuale con il Layout dell'impianto Agrivoltaico da realizzare nel comune di Jolanda di Savoia e uno schema dei pannelli solari da montare a terra.



#### 4.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

L'esecuzione della prova penetrometrica è avvenuta con un Penetrometro Statico con punta elettrica con piezocono.

Si allegano i *diagrammi delle resistenze* dal cui confronto si possono evincere le differenze di comportamento dei terreni nei vari strati incontrati; le *interpretazioni litologiche*, in base alle valutazioni stratigrafiche fornite da Douglas-Olsen (1981), Robertson-Campanella (1983) e Olsen-Farr (1986).

Le caratteristiche geotecniche dei terreni ricavate dai risultati della penetrometria statica sono riportate in tabella *parametri geotecnici*.

Nelle tabelle viene fatta distinzione fra i terreni di natura coesiva e quelli di natura granulare.

Per i terreni di natura coesiva vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro  $q_c$  (MPa), la resistenza laterale  $F_s$  (MPa), il peso di volume  $\gamma'$  (kN/m<sup>3</sup>), la coesione non drenata  $C_u$  (kPa), il grado di sovraconsolidazione OCR, dei moduli di deformazione non drenati  $E_{u50}$  (MPa) corrispondenti rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50 e 25 %, del modulo di deformazione edometrico  $M_o$  (MPa).

Per i terreni di natura granulare vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro  $q_c$  (MPa), la resistenza laterale  $F_s$  (MPa), la densità relativa  $D_r$  (%), dell'angolo di attrito interno efficace  $\phi'$  (°), i moduli di deformazione drenati  $E'_{25}$  (MPa) e del modulo di deformazione edometrico  $M_o$  (MPa).

Nella **Tabella 4.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con la prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU1 con *rif. U02-22* e con le due prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU con *rif. 186160U501* e con *rif. 186150U502*.

## PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	<b>U02-22</b>
Emissione	gen-22
Pagina	1 di 0

### PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	<b>Stefani Bruna</b>	-Prova n°	<b>CPTU1</b>
-Cantiere	<b>via delle Venezie 9, Jolanda di Savoia (Fe)</b>	-Data prova	<b>19/01/2022</b>
-Quota p.c.	<b>-2,70</b> m s.l.m.	-Prof. preforo	<b>0,00</b> m
-Livello di falda	<b>0,80</b> m da p.c.	-Prof. finale	<b>30,00</b> m

DA m	A m	qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
							Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M <sub>0</sub> MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' <sub>DM</sub> (°)	FI' <sub>Bolton</sub> (°)	FI'Schm. (°)	E'25 MPa	M <sub>0</sub> MPa			
0,0	0,6	1,83	0,11	0,00	A Oc	18,15	110	20	-	5,89	18,66	0,05	Sovraconsolidata per essiccamento estivo								
0,6	1,1	0,49	0,04	0,02	A	17,50	28	13	8	1,67	3,49	0,10	Possibile presenza di torbe o argille organiche								
1,1	4,0	0,17	0,02	0,13	T	13,00	8	3	2	0,28	0,824	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,0	6,4	1,51	0,02	0,07	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	21	31	28	30	33	36	39	4,14	6,62
6,4	6,7	0,65	0,02	0,02	AI-La	18,00	32	4	10	3,01	12,87	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,7	8,4	6,05	0,03	0,08	S	20,00	-	-	-	-	-	-	59	36	32	36	38	40	42	15,45	24,72
8,4	10,5	10,07	0,04	0,07	S	20,00	-	-	-	-	-	-	74	37	34	38	40	42	44	26,03	39,03
10,5	17,4	0,70	0,02	0,24	A	17,50	31	2	3	3,17	17,38	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17,4	18,9	3,82	0,04	0,01	S	20,00	-	-	-	-	-	-	23	30	27	31	34	37	40	10,44	16,71
18,9	22,7	0,93	0,03	0,40	A	17,50	38	1	2	3,76	22,04	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,7	24,4	1,59	0,05	0,34	AI-La	18,00	69	2	5	5,07	36,31	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24,4	25,6	4,04	0,05	-0,05	S	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	28	25	30	33	36	39	10,65	17,04
25,6	30,0	16,13	0,08	0,07	S	20,00	-	-	-	-	-	-	66	35	31	37	39	41	43	41,01	52,05

Identificativo	<b>186160</b>
Emissione	nov-23
Pagina	1 di 0

## PROVA PENETROMETRICA STATICA

### PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	<b>RER</b>	-Prova n°	<b>U501</b>
-Cantiere	<b>Jolanda di Savoia (Fe)</b>	-Data prova	<b>03/02/2004</b>
-Quota p.c.	<b>0,00</b> m s.l.m.	-Prof. preforo	<b>0,00</b> m
-Livello di falda	<b>1,00</b> m da p.c.	-Prof. finale	<b>35,00</b> m

DA	A	MATERIALI COESIVI											MATERIALI GRANULARI								
		qcm	fsm	deltaU	litol.	Peso Vol.	Cu (qc)	OCR (qc)	OCR (U)	M <sub>0</sub>	Eu50	CR	Dr	F <sub>DM</sub>	F <sub>bolton</sub>	F <sub>Schm.</sub>				E'25	M <sub>0</sub>
m	m	MPa	MPa	MPa	(-)	kN/m3	KPa	(-)	(-)	MPa	MPa	(-)	(%)	(°)	(°)	(°)				MPa	MPa
0,0	1,7	1,50	0,04	-0,01	Al-La	18,00	83	20	11	4,86	14,12	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,7	4,9	0,69	0,01	0,03	A	17,50	37	7	9	3,12	10,46	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,9	10,0	1,01	0,03	0,06	Al-La	18,00	51	4	8	3,97	19,03	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	13,8	0,79	0,01	0,25	A	17,50	37	2	4	3,43	19,99	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13,8	21,4	1,15	0,03	0,26	Al-La	18,00	52	2	4	4,20	28,6	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21,4	27,2	11,84	0,05	-0,05	S	20,00	-	-	-	-	-	-	55	33	30	36	38	40	42	29,60	42,40
27,2	35,0	16,60	0,05	-0,01	S	20,00	-	-	-	-	-	-	63	34	31	37	39	41	43	41,49	53,19

Identificativo	<b>186150</b>
Emissione	nov-23
Pagina	1 di 0

## PROVA PENETROMETRICA STATICA

### PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	<b>RER</b>	-Prova n°	<b>U502</b>
-Cantiere	<b>Jolanda di Savoia (Fe)</b>	-Data prova	<b>04/02/2004</b>
-Quota p.c.	<b>0,00</b> m s.l.m.	-Prof. preforo	<b>0,00</b> m
-Livello di falda	<b>1,00</b> m da p.c.	-Prof. finale	<b>35,09</b> m

DA m	A m	qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
							Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M <sub>0</sub> MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' <sub>DM</sub> (°)	FI' <sub>Bottom</sub> (°)	FI'Schm. (°)	E'25 MPa	M <sub>0</sub> MPa			
0,0	1,9	1,63	0,05	0,09	Al-La	18,00	88	19	6	5,08	14,88	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,9	8,0	0,31	0,03	0,17	T	13,00	14	3	2	0,54	1,52	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,0	9,0	0,61	0,02	0,13	A	17,50	29	4	5	2,57	10,15	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,0	11,0	0,36	0,02	0,20	T	13,00	15	2	2	0,82	3,059	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,0	11,6	0,68	0,04	0,34	Al-La	18,00	30	4	2	2,75	11,39	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,6	15,0	9,41	0,07	-0,07	S	20,00	-	-	-	-	-	-	68	37	33	37	39	41	43	23,64	36,89
15,0	18,0	0,81	0,04	0,27	Al-La	18,00	33	2	3	3,14	16,56	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	24,0	8,39	0,07	-0,03	S	20,00	-	-	-	-	-	-	49	33	30	35	37	39	42	20,99	32,82
24,0	25,3	16,01	0,08	-0,13	S	20,00	-	-	-	-	-	-	72	36	32	38	40	42	44	40,02	52,02
25,3	35,0	10,18	0,06	-0,07	S	20,00	-	-	-	-	-	-	47	32	29	35	37	39	42	25,45	39,23

*Tabella 4.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata*

I terreni coesivi rilevati tra circa -1,00 m da p.c. e -4,00 m da p.c. con la prova CPTU con rif. U02-22 e tra circa -2,00 m da p.c. e -8,00 m da p.c. e -9,00 m da p.c. e -11,00 m da p.c. con la prova CPTU con rif. 186150U502 sono di origine organica e torbe, difficilmente distinguibili però, con la sola penetrometria, da fanghi molli di limo argilloso organico. Durante l'esecuzione della prova CPTU con rif. U02-22, in fase di estrazione, è stato possibile osservare la presenza di torbe sulle aste e sulla punta, inoltre il terreno nelle campagne circostanti è nero e torboso.

Confrontando i valori di qc, ed i valori di fs, si apprezza lo spessore dei terreni coesivi fuori falda, sovraconsolidati per essiccamento, il primo metro è molto evidente, i parametri geotecnici di questi terreni sono sovrastimati dalle prove penetrometriche.

**Si evidenzia che tutte le indagini bibliografiche presenti nell'intorno del sito presentano strati coesivi organici molli e la presenza di torba e resti vegetali.**

**Si sottolinea che questa relazione è da considerarsi preliminare in quanto basata su indagini bibliografiche presenti nel contorno. Successivamente si pianificheranno le nuove indagini da realizzarsi all'interno del lotto, per validare le assunzioni fatte in questa relazione.**

Con le indagini geognostiche non si indagano tutti i punti sotto il sedime del campo fotovoltaico di progetto. Quindi, in fase di esecuzione degli scavi per la realizzazione dell'opera, è bene che la direzione lavori verifichi la coerenza tra ciò che emerge nelle trincee di scavo con quanto rilevato e previsto nella relazione geologica.

Codigoro, li 28/11/2023

Thomas Veronese  
Dott. Geol. Thomas Veronese