



Realizzazione di impianto generazione di energia.

Elaborato:

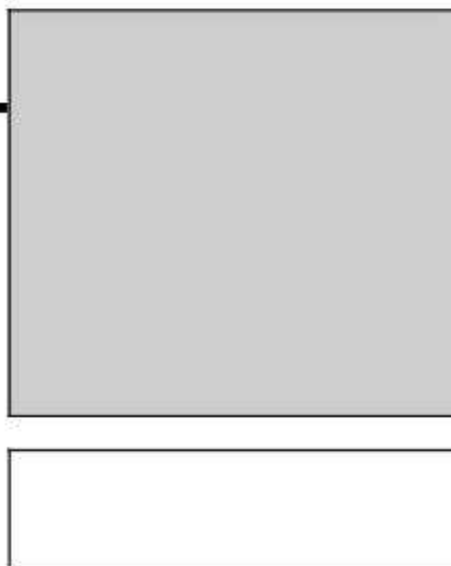
Relazione di Caratterizzazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica, di Caratterizzazione Sismica, di Caratterizzazione Idraulica e Idrogeologica.

Località:

Traghetto, Comune di Argenta (FE), Via Argentana n.°4

Committente:

Ditta RECHIM s.r.l.



Studio Geologico
BRUNALDI RAFFAELE

Via A. Da Brescia 11
44011 Argenta (FE)
Tel. e Fax: 0532852858

Cell.: 3355373693 E-mail: rabrugeo@gmail.com

INDICE:

1. OGGETTO, 1.1 Area in esame	P. 3;
1.2 Scopo della presente documentazione, 2 GEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME e 2.1 Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame	P. 5
2.2 Ulteriori elementi di geologia	P. 13
2.3 Assetto stratigrafico locale	P. 14
2.4 Considerazioni geotecniche di massima relative alla litostratigrafia dell'area in esame	P. 38
3 ASSETTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO LOCALE	P. 39
4: NOTAZIONI SIMICHE LOCALI	P. 47
5 STORIA SISMICA LOCALE e DETERMINAZIONE DEL VALORE DI MW	P. 49
6: EFFETTI CO- SISMICI LOCALI: SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEGLI ORIZZONTI SATURI GRANULARI LOCALMENTE RILEVATI.	P. 71
7. CONCLUSIONI	P. 71

1 OGGETTO

Realizzazione di Impianto Generazione d'Energia.

Committente: Ditta RECHIM S.r.l., Via Argentana n.°4, 44010 Traghetto (FE).

Sede Legale: Via Baracca n.° 15, 48121 Ravenna. Sede Amministrativa: Contrada di Borgoricco n.° 34, 44121 Ferrara.

1.1 Area in esame:

La presente relazione è relativa alla Caratterizzazione Geologica per la realizzazione di una nuova porzione di impianto all'interno dello Stabilimento Rechim. Lo stabilimento è sito in località "Podere Bosco Vallazze", a quote indicativamente comprese fra 10,80 e 11,70 m s.l.m.m. L'area in esame si sviluppa fra Via Argentana e il Canale della Botte (ed il parallelo, a sud, canale Lorgana). Il Fiume Reno scorre (pensile sulla campagna entro argini artificiali particolarmente rilevati) a circa 400 m a nord dell'area in esame. Attorno all'area si sviluppano terreni agricoli a seminato semplice e, lungo la Via Argentana, verso ovest, si rileva un piccolo borgo di tre case/costruzioni agricole. L'area è bordata a Sud dai Canali della Botte e Lorgana (che corrono fra di loro paralleli a distanze ridottissime). L'area indagata è di seguito riportata, nello stralcio del Foglio C.T.R. 204 134 (alla scala 1: 5 000).

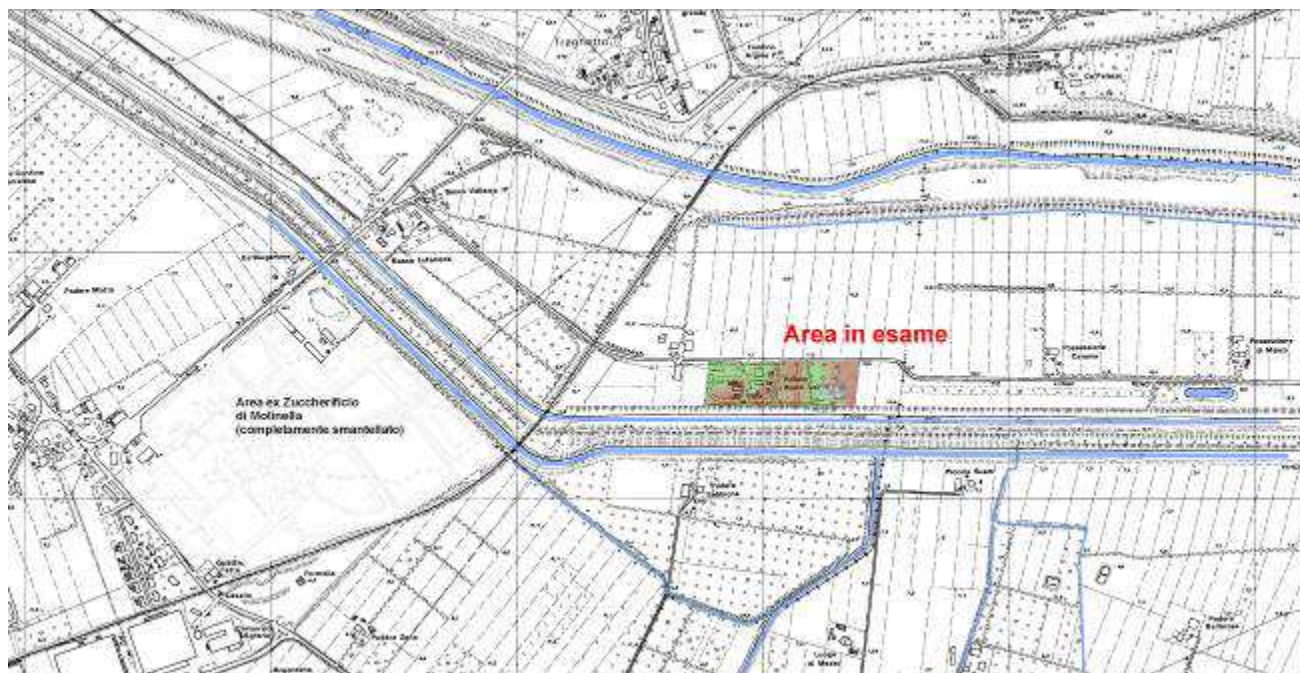


Fig. 1/1: ubicazione area in esame su base cartografica C.T.R. alla scala 1: 5 000. Scala libera. Si è riportato il reticolo idraulico locale.



Fig. 1/2 e 1/3: Ubicazione dell'area in esame su orto- foto aeree tratte da Google Earth ©, scala libera (e diversa l'una dall'altra) e Ubicazione a Scala Libera delle numerose indagini eseguite dallo scrivente (o fatte eseguire) in anni precedenti. Scala Libera Su orto- foto tratta da Google Earth (R). In giallo si è riportata la traccia della Sezione di cui all'apposita Fig. 2/10 e in verde la Sezioni di cui alla Fig. 2/11, che verranno più oltre illustrata in relazione. Nella prima figura si sono riportati il reticolo idraulico attuale e gli ambiti paleo deposizionali di cui si dirà in relazione. Nella prima immagine, nel centro della frazione di Traghetto è evidenziato il punto di registrazione locale degli effetti del sisma del 1909 (di cui si dirà più oltre in relazione). Il quadrato rosso riporta l'area oggetto della presente relazione.

1.2 Scopo della presente documentazione:

La presente relazione di Caratterizzazione Geologica è basata su di una campagna di indagini atte ad acquisire le necessarie conoscenze geologiche, litostratigrafiche e di breve caratterizzazione sismica dell'area in esame (anche sulla base di riscontri su dati relativi ad aree prossime ed assimilabili quella in esame, conoscenze in possesso dello scrivente. Negli anni l'area complessiva dello Stabilimento Rechim è stata intensamente indagata dallo scrivente

2. GEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME

2.1 Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame:

Dalla Carta geologica di pianura dell'Emilia -Romagna (a cura della Regione Emilia- Romagna, Direzione Generale "Sistemi Informativi e Telematica", Servizio Sistemi Informativi Geografici, Ufficio Geologico, che verrà più oltre riportata) si evince come i depositi alluvionali presenti nell'area in esame debbano o dovrebbero essere sostanzialmente costituiti da Sabbie Limose (SL) da ascrivere a "Depositi di Argine, Canale e Rotta Fluviale" dell'ambiente deposizionale della "Piana Deltizia". Localmente queste deposizioni sono riferibili al paleo corso dei torrente Savena e Idice che sino ad epoca storica (XVII- XVIII Sec.) scorrevano da Sud (dall'Appennino) verso Nord, ovvero verso il corso del Po di Primaro (si vedano le seguenti figure). Il Primaro sino al XVIII Sec. era il corpo idrico di massima importanza della porzione di territorio a Sud di Ferrara. Il suo corso è ancora attualmente occupato dal corpo idrico del Po Morto di Primaro sino a Traghetto, da dove si sviluppa una ampia ansa che punta ad Est. Di questo tratto, in seguito by- passato dal drizzagno del Reno sono ancora visibili ampi tratti del corso del fiume e dei paleo- argini naturali. Il Primaro è stato sino al XV un ramo molto importante del Fiume Po, in epoca ancora più antecedente costituiva il ramo più importante ed era caratterizzato da un ampio delta (all'altezza dell'attuale Casal Borsetti) di dimensioni comparabili a quelle attuali. Nasceva a Ferrara (all'altezza del borgo di San Giorgio, ove ancora si può riscontrare l'attuale deviazione del Po Morto) e scorreva giù sino a Traghetto, ove la brusca deviazione lo conduceva verso Consandolo, Argenta, Filo, Longastrino, Sant'Alberto ecc. A fine '700- primi dell'800, il fiume Primaro, ormai interrato venne sostituito (attraverso massivi lavori antropici) dal Fiume Reno, sanando così una millenaria situazione di plaghe paludosi presenti a tergo del Primaro ed a valle dei paleo corsi di Savena ed Idice che proprio ostacolati dal Primaro, fra Budrio, Minerbio, Molinella, Marmorta (come dice già il nome) Argenta e Campotto, non trovavano spesso la possibilità di sfociare a mare. Chiaramente i lavori di immissione realizzarono anche rettifiche del corso del paleo Primaro ed infatti fra Santa Maria Codifiume e Traghetto ed ancora ad Est di Traghetto, l'attuale Reno ha andamento rettilineo (drizzagno). L'abitato di Traghetto ed i suoi intorni sono quindi l'apice meridionale estremo del "dominio" deposizionale del Primaro. Tale dominio si estende a Sud di Traghetto (oltrechè, logicamente verso Est), sino all'ex zuccherificio di Molinella e comprende l'area in esame. Le deposizioni di origine padana- alpina del Po di Primaro si "scontrano" con le deposizioni d'origine appenninica del paleo torrente Savena proprio

nell'area compresa fra Tragheto e Molinella, che coinvolge quindi l'area in esame. Localmente si possono cioè riscontrare deposizioni granulari d'origine padana (alpina) e d'origine appenninica. Come si potrà vedere più oltre, si riscontreranno altresì le deposizioni fini, ovvero le argille e le torbe, caratteristiche delle valli e paludi sui quali i fiumi scorrevano/divagavano.

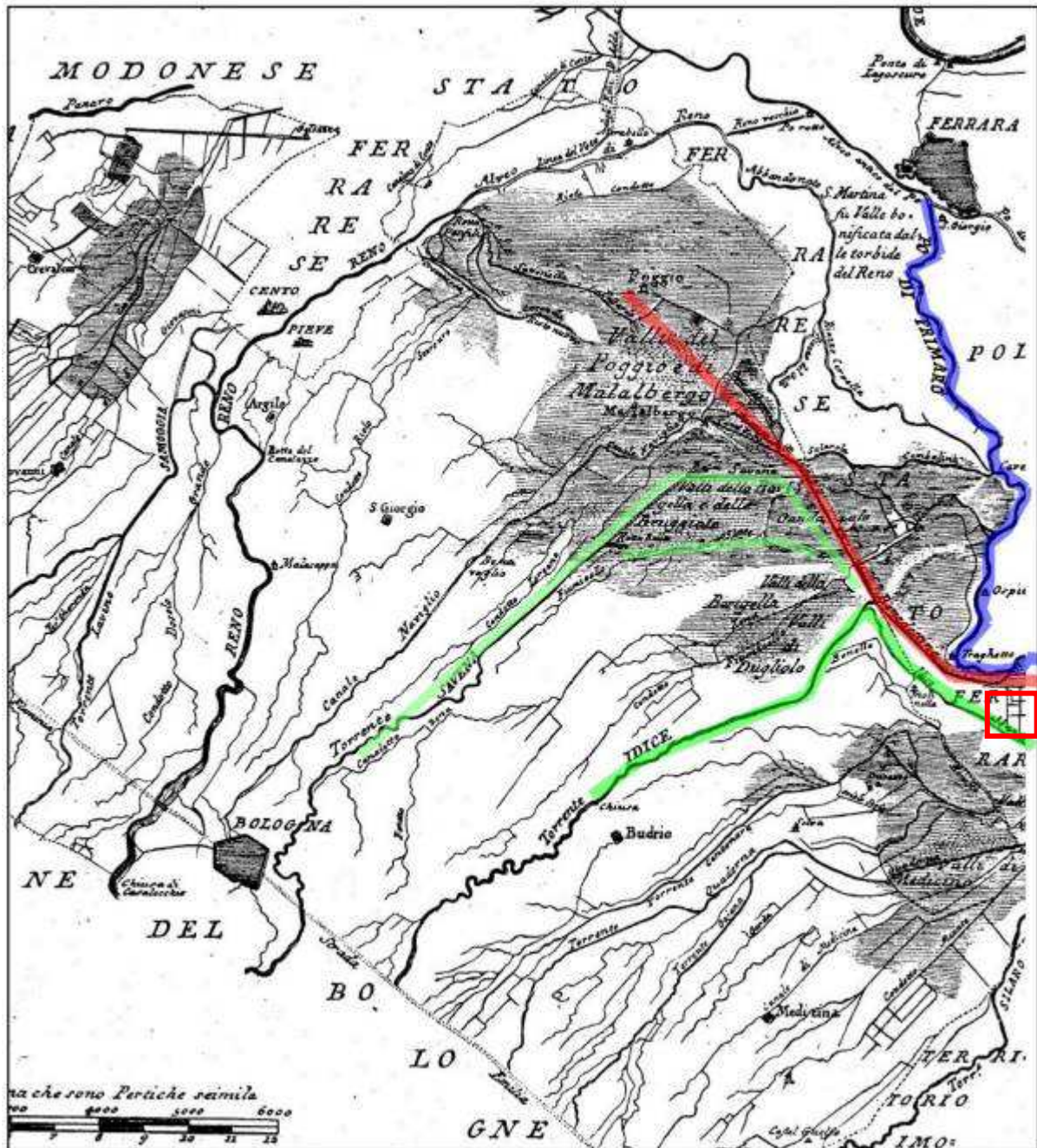


Fig. 2/1: assetto paleo idraulico a Scala Libera: in blu il paleo Po di Primaro che sino a Tragheto ricalca in toto l'attuale Po Morto di Primaro, in verde i paleo Idice e paleo Savena, in rosso il successivo corso artificiale del Reno. Sono ben evidenti le valli.

Come già citato, l'area in esame dovrebbe essere caratterizzata da deposizioni di tipo SL ma negli immediati pressi dell'area in esame si rilevano anche deposizioni ascrivibili a Argille Limose (AL) ascrivibili alle "Deposizioni di Piana Alluvionale". In effetti, come si potrà meglio vedere nel prosieguo della presente

relazione, l'area in esame vede piuttosto la prevalenza delle deposizioni di litotipi fini- argillosi o limosi all'interno dei quali sono presenti lenti granulari sospese. I litotipi più superficiali, contrariamente a quanto riportato dalla cartografia geologica "ufficiale" della Regione, sono di natura argillosa e/o argillo- limosa. Ciò indica che l'area in esame debba essere considerata esterna alle deposizioni granulari dei paleo corsi idrici e piuttosto deve essere considerata tributaria delle deposizioni di valle/palude circostanti al corso idrico e sul quale il fiume stesso correva/divagava. I terreni coesivi e/o argillo- limosi sono presenti sino a profondità variabili fra 2 e 5 metri circa dal p.c. In seguito si rileva una lente granulare sospesa/immersa nella "matrice" fine/coesiva predominante. Tale lente rappresenta un periodo temporale in cui l'area in esame era occupata da un corso idrico. Si rilevano anche depositi limosi/limosi- argillosi che rappresentano evidentemente il "lascito" della fase di morte (o comunque di perdita di importanza idraulica)/interramento del fiume e che rappresentano soprattutto l'ambiente di transizione fra le deposizioni paleo- fluviali e le deposizioni paleo- vallive, sulle quali il fiume stesso appunto scorreva e/o divagava. In sostanza si può quindi concludere che per l'area in esame si registrano sia deposizioni fini coesivi che deposizioni granulari. Il tema depositivo è riferibile ad ambienti di transizione fra le valli/paludi ed i corsi idrici che scorrevano/divagavano su tali valli/paludi. Di seguito si riportano stralci dell'apposita cartografia geologica e/o geomorfologica di riferimento (come tratti dall'apposito data- base regionale).

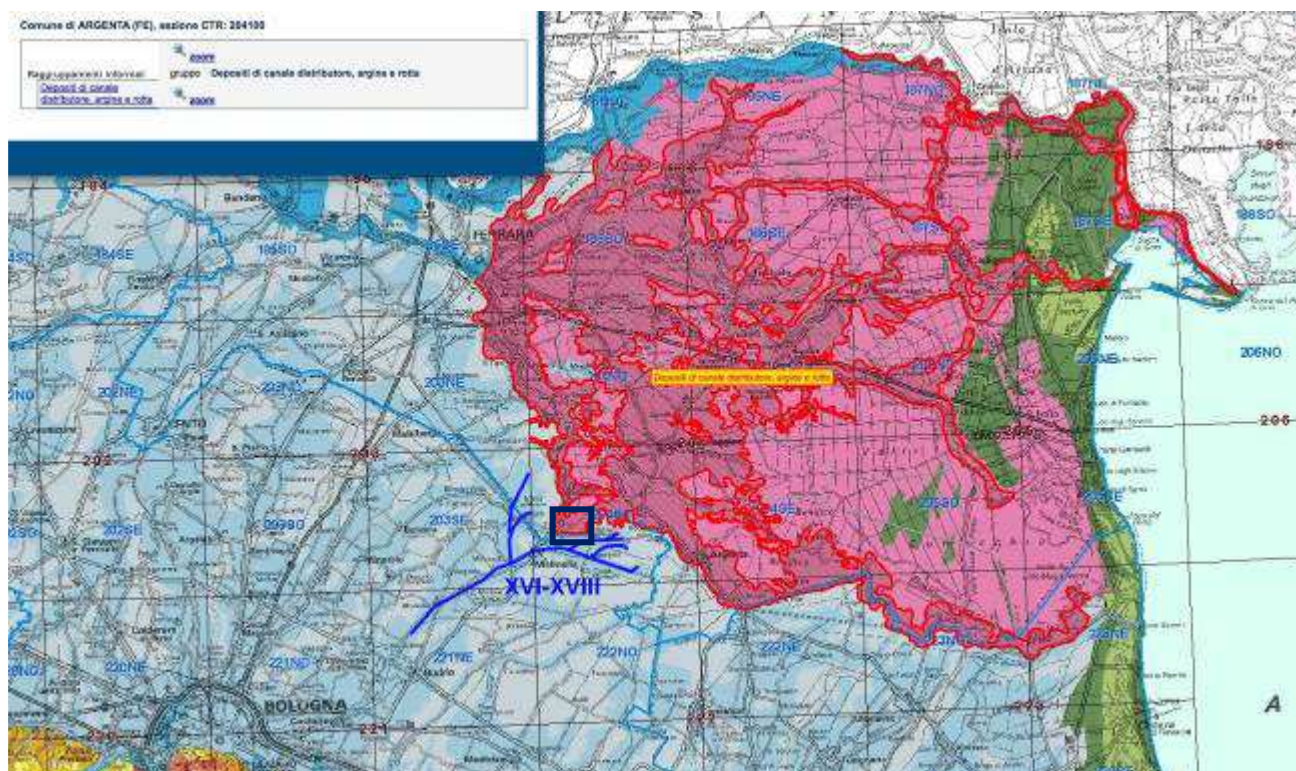


Fig. 2/2: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 250 000. Si sono evidenziati gli affioramenti dei litotipi granulari di origine/deposizione paleo- fluviale ed il paleo corso del Savena nella definizione dei Secc. XVI- XVIII.

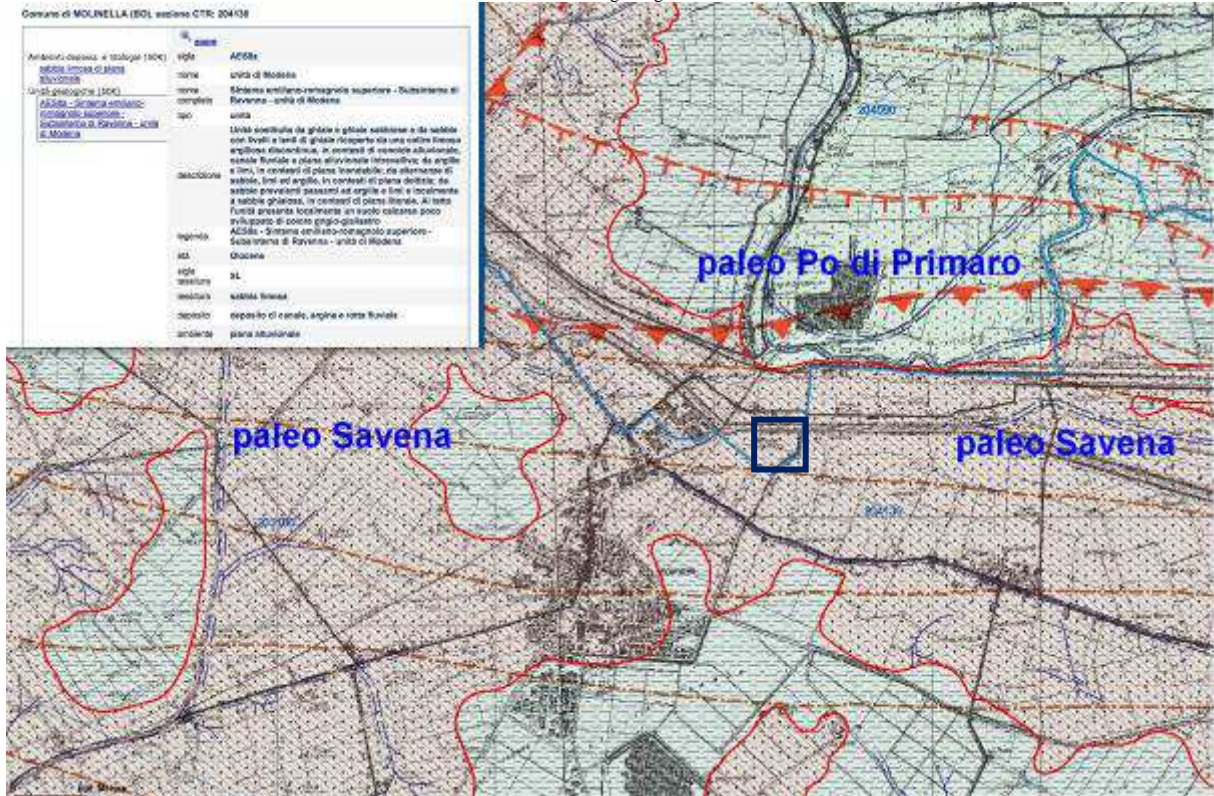


Fig. 2/3: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 25 000. Si sono evidenziati gli affioramenti dei litotipi granulari di origine/deposizione paleo- fluviale. Sono ben evidenti anche i paleo corsi del Po di Primaro e del Savena.

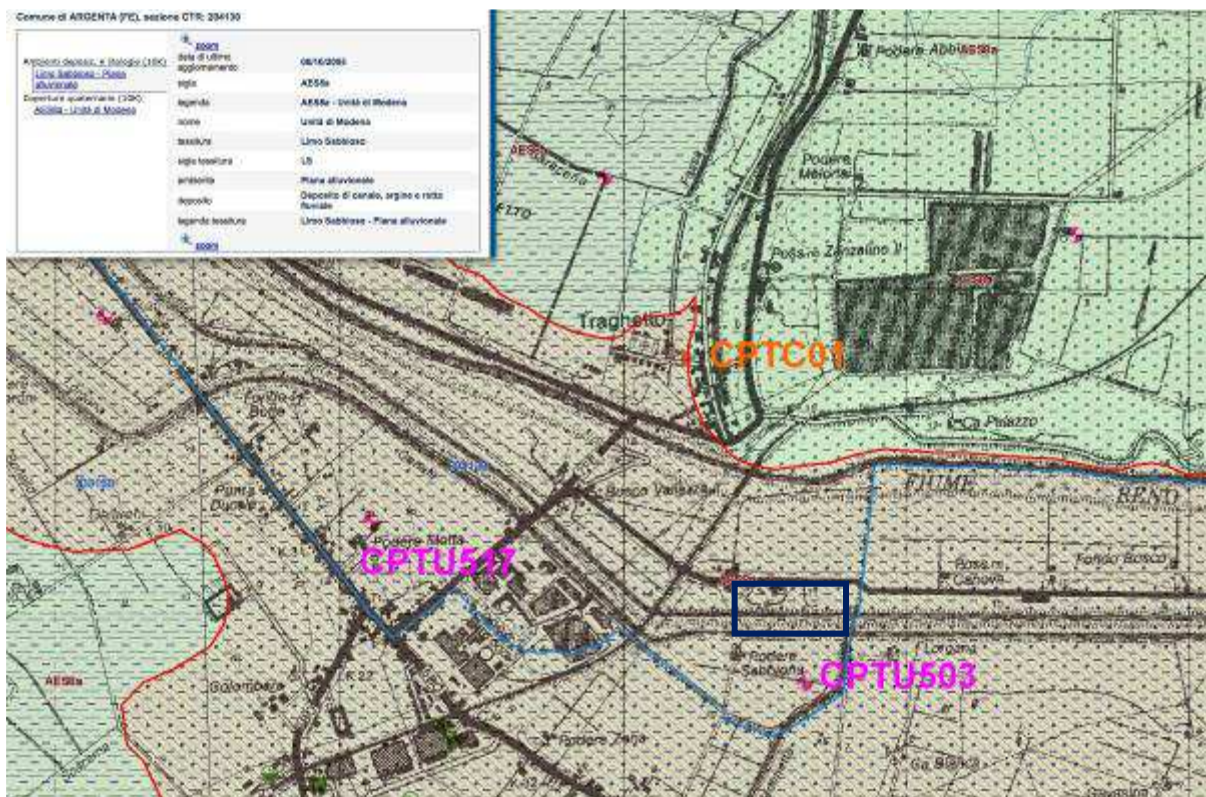


Fig. 2/4: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 10 000. Si sono evidenziati gli affioramenti dei litotipi granulari di origine/deposizione paleo- fluviale e l'ubicazione dei punti di indagine di bibliografia presenti nel data base regionale e che verranno successivamente presentati.

La formazione localmente “affiorante” è la AES8a, ovvero l’Unità di Modena del Subsistema di Ravenna, del Sintema emiliano- romagnolo superiore.

<p>Ambienti deposiz. e litologie (50K) sabbia limosa di piana alluvionale</p> <p>Unità geologiche (50K) AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - unità di Modena</p>		<p> zoom</p>
sigla	AES8a	
nome	unità di Modena	
nome completo	Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - unità di Modena	
tipo	unità	
descrizione	<p>Unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da argille e limi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabbie, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabbie prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabbie ghiaiose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro</p>	
legenda	AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - unità di Modena	
età	Olocene	
sigla tessitura	SL	
tessitura	sabbia limosa	
deposito	deposito di canale, argine e rotta fluviale	
ambiente	piana alluvionale	

Fig. 2/5: descrizione della Formazione” SL che in teoria dovrebbe essere localmente affiorante.

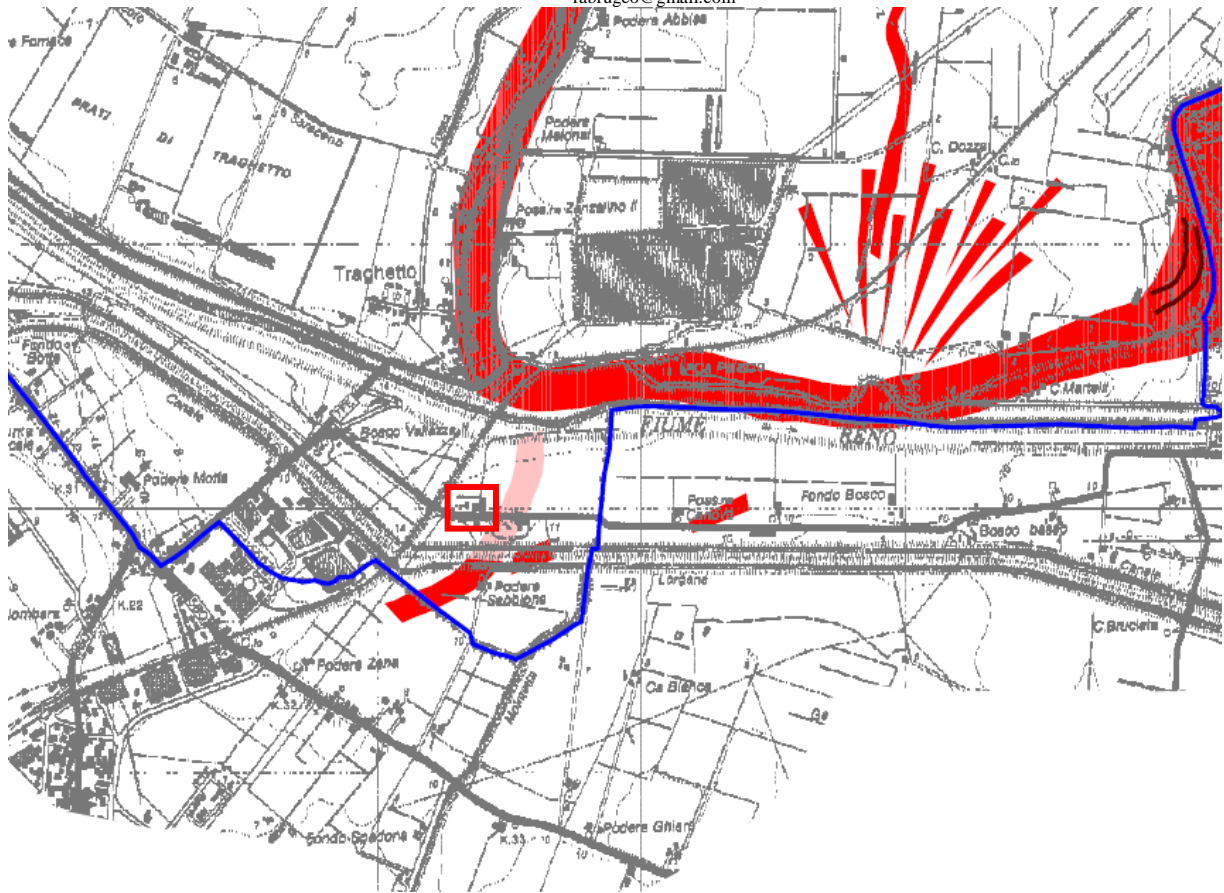
Nelle prossimità dell’area in esame affiorano anche i sedimenti fini (argille, argille- limose. Non si può escludere la presenza di argille organiche e/o torbe) ascrivibili agli ambienti di valle/palude interfluviali, sui quali ambienti i corpi idrici scorrevano/divagavano. Dalle stratigrafie relative all’area in esame ed ai suoi intorno si potrà in realtà constatare come l’ambiente depositivo locale sia caratterizzabile sia dalla presenza del paleo Savena/paleo Idice che dalla presenza di un ambiente depositivo di transizione fra lo stesso paleo-alveo e le valli/paludi (riportate alla precedenti figure) sulle quali scorreva/divagava. Oltre ai litotipi granulari si potranno quindi trovare interdigitazioni di limi, limi argillosi, argille limose e argille.

03110


		 zoom
Ambienti deposiz. e litologie (50K)	sigla	AES8a
argilla limosa di piana alluvionale	nome	unità di Modena
Unità geologiche (50K)	nome completo	Sistema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - unità di Modena
AES8a - Sistema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - unità di Modena	tipo	unità
	descrizione	Unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da argille e limi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabbie, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabbie prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabbie ghiaiose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro
	legenda	AES8a - Sistema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - unità di Modena
	età	Olocene
	sigla tessitura	AL
	tessitura	argilla limosa
	deposito	deposito di piana inondabile in area interfluviale
	ambiente	piana alluvionale


Fig. 2/6: Legenda della “Formazione” AL affiorante negli immediati pressi dell’area in esame e che può essere correttamente descrittiva delle deposizioni caratterizzanti l’area in esame.

La caratterizzazione geologica e geomorfologico- deposizionale locale trova confronto con quanto riportato dal P.S.C. di Argenta e da ulteriore documentazione che verrà di seguito riportata.





Legenda


 Confini comunali

 Tracce di migrazione di meandri e di anse fluviali

 Cordoni litoranei affioranti

 Cordoni litoranei sepolti

 Paleoalveo di ubicazione sicura

 Paleoalveo di ubicazione incerta


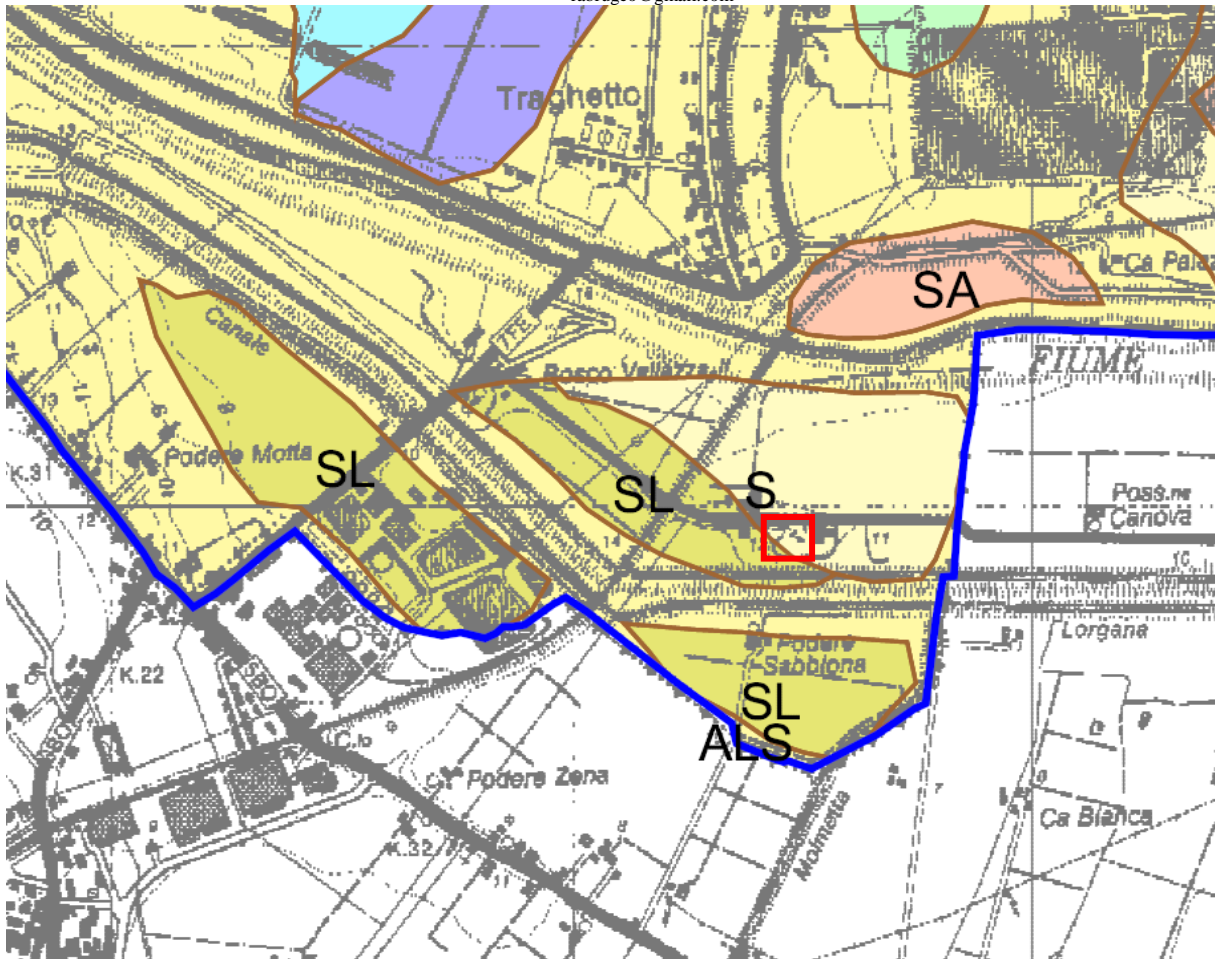
 Depositi di rotta e tracimazione

Fig. 2/7: stralcio a scala libera e Legenda della Carta Geomorfológica del P.S.C. di Argenta. L'area in esame è interessata dalla presenza di un ramo di paleo- alveo ad andamento certo (a Sud) ed incerto (porzione Nord).



Legenda

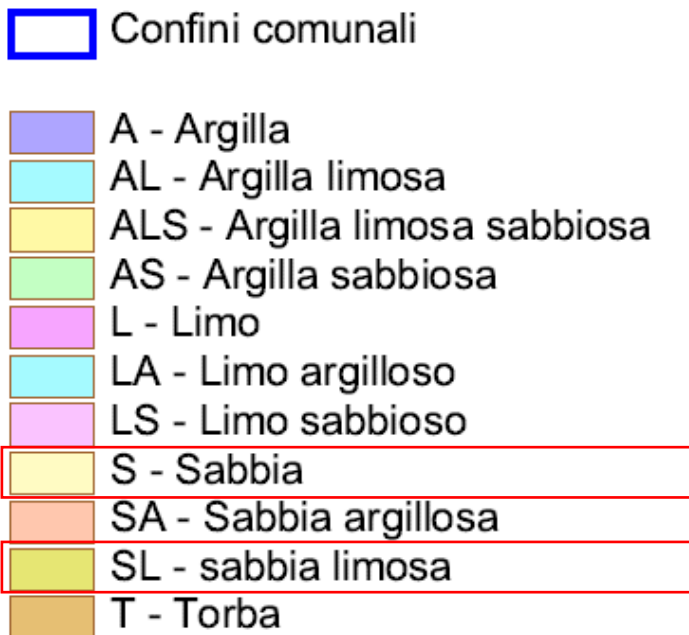


Fig. 2/8: stralcio a scala libera e Legenda della Carta delle Litologie di Superficie del P.S.C. di Argenta. L'area in esame dovrebbe essere caratterizzata dalla presenza di litotipi S (Sabbiosi) e/o SL (Sabbioso Limosi).

2.2 Ulteriori elementi di geologia:

La geologia profonda ubica l'area in esame in prossimità di uno Sovrascorrimento post- Tortoniano e, poco più a Nord, di una complessa struttura profonda che vede l'intersezione di altri due Sovrascorrimenti e la presenza di faglie Profonde. Queste difformità profonde sono normalmente sede di movimenti tellurici, lo sono state nel passato anche recentissimo (come già riportato e come potrà vedersi all'apposito punto della presente relazione) e lo potranno quindi essere anche nel futuro. Come riportato in precedenza e come si dirà anche più oltre in relazione, il sisma del 1909 (Bassa Padana) ha registrato risentimenti per l'abitato di Traghetti. La base del Pliocene è compresa fra 2 500 e 3 000 m circa dal p.c. e si riscontrano rigetti importanti.

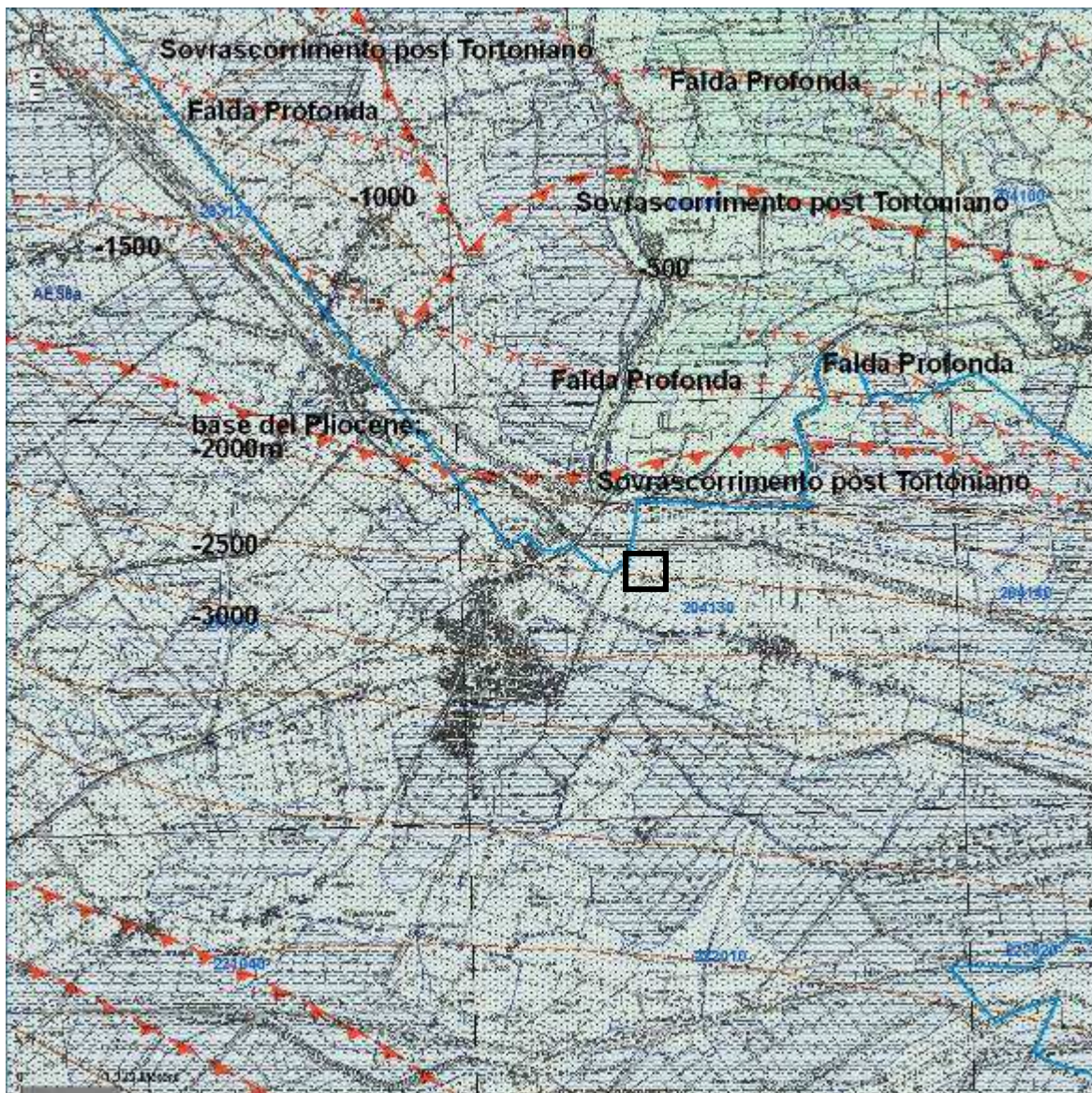


Fig. 2/9: stralcio a scala libera della Cartografia Geologica Regionale di riferimento alla scala 1: 50 000.

2.3 Assetto stratigrafico locale:

a seguito dei numerosi punti di indagine eseguiti dallo scrivente sull'area in esame (come già ubicati alla Fig. 1/3), nel corso degli anni, di seguito si riporteranno dati e sezioni stratigrafiche, sia superficiali (primi sei metri circa) che più profonde (30 m ca.), più oltre si riporteranno anche altre sezioni, più profonde, recuperate dall'apposito data- base regionale.

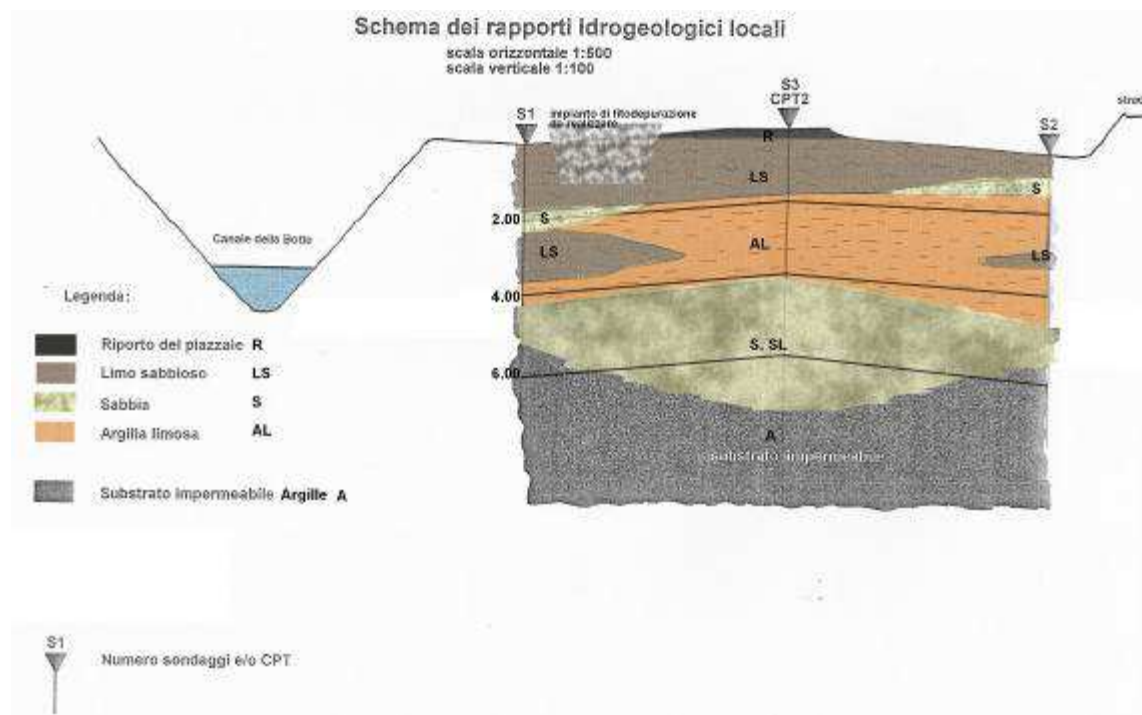


Fig. 2/10: Assetto litostratigrafico superficiale dell'area in esame.

La riportata sezione superficiale rileva la seguente sequenza stratigrafica (dall'alto al basso):

presenza di un primo deposito di natura Limoso- Sabbiosa, seguito da un "corpo" centrale prevalentemente costituito da deposizioni sabbiose o quanto meno granulare ad evidente geometria lenticolare (in sezione) o festonata (secondo la pianta e/o la lunghezza) alla quale sono sovrapposte le Argille Limose che presentano ulteriori deposizioni lenticolari/festonate, interdigitate e di natura Limoso- Sabbiosa o Sabbiosa. In seguito si rileva la presenza di un substrato impermeabile di natura argillosa, da profondità variabili e comprese fra 5,50 e 7,50 m circa dal p.c.

Di seguito si riporta una sezione stratigrafica più profonda e longitudinale alla precedente (anche le scale sono diverse). Si notare una aliquota di variabilità delle profondità della lente granulare (sabbiosa, sabbioso- limosa) sospesa. Le tracce delle due sezioni sono riportate alla Fig. 1/3 alla quale si rimanda. Le due sezioni sono quindi ampiamente rappresentative dell'area in esame.

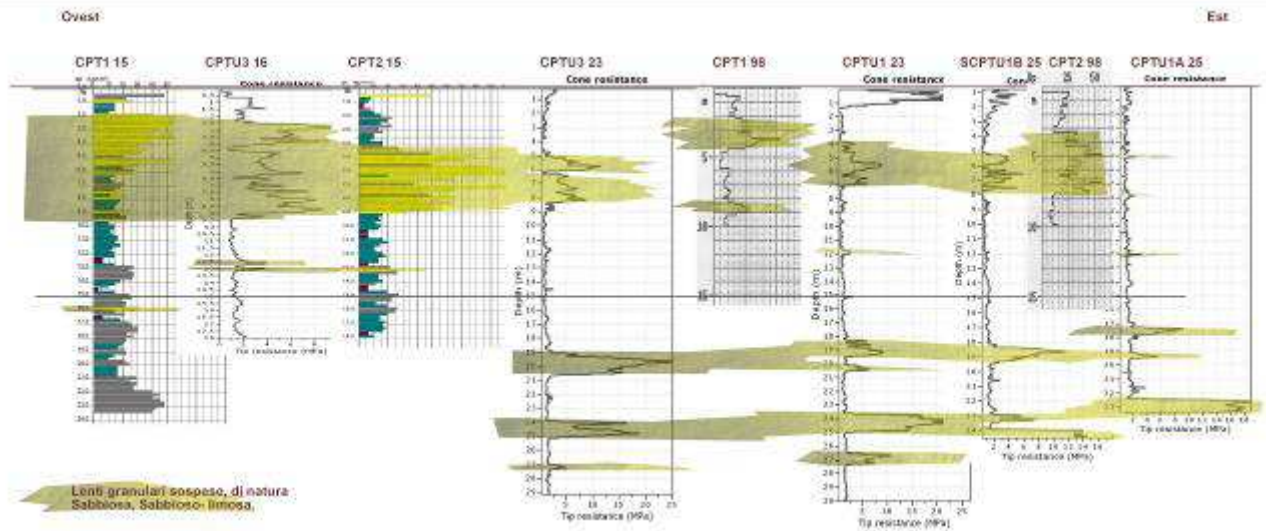


Fig. 2/11: sezione stratigrafica Locale, Scala Libera. Scala orizzontale doppia rispetto alla scala verticale. Per l'ubicazione della traccia si rimanda alla Fig. 3. Si può notare la variabilità della stratigrafia locale. Si sono evidenziate solamente le deposizioni granulari disposte in lenti sospese/corpi festonati.

Relativamente alle sezioni riportate sopra proposte, si potrà riscontrare notevole congruenza con l'assetto stratigrafico complessivo, inteso come allargato all'area compresa fra Molinella e Traghetti. Ambiente fra l'altro che, come già ampiamente descritto dal punto di vista geologico/geomorfolo- gico-litodepositivo è caratterizzato dall'alternanza interdigitazione di ambiente di diversa energia trattiva- depositiva. In tali contesti l'assetto stratigrafico è estremamente variabile anche su distanze lineari molto ridotte. Di seguito si riporteranno risultanze stratigrafiche di bibliografia tratte dal sito della Regione Emilia- Romagna dalla quali si potrà evincere come la stratigrafia locale (sopra illustrata) si inserisca nel contesto stratigrafico a più grande scala.

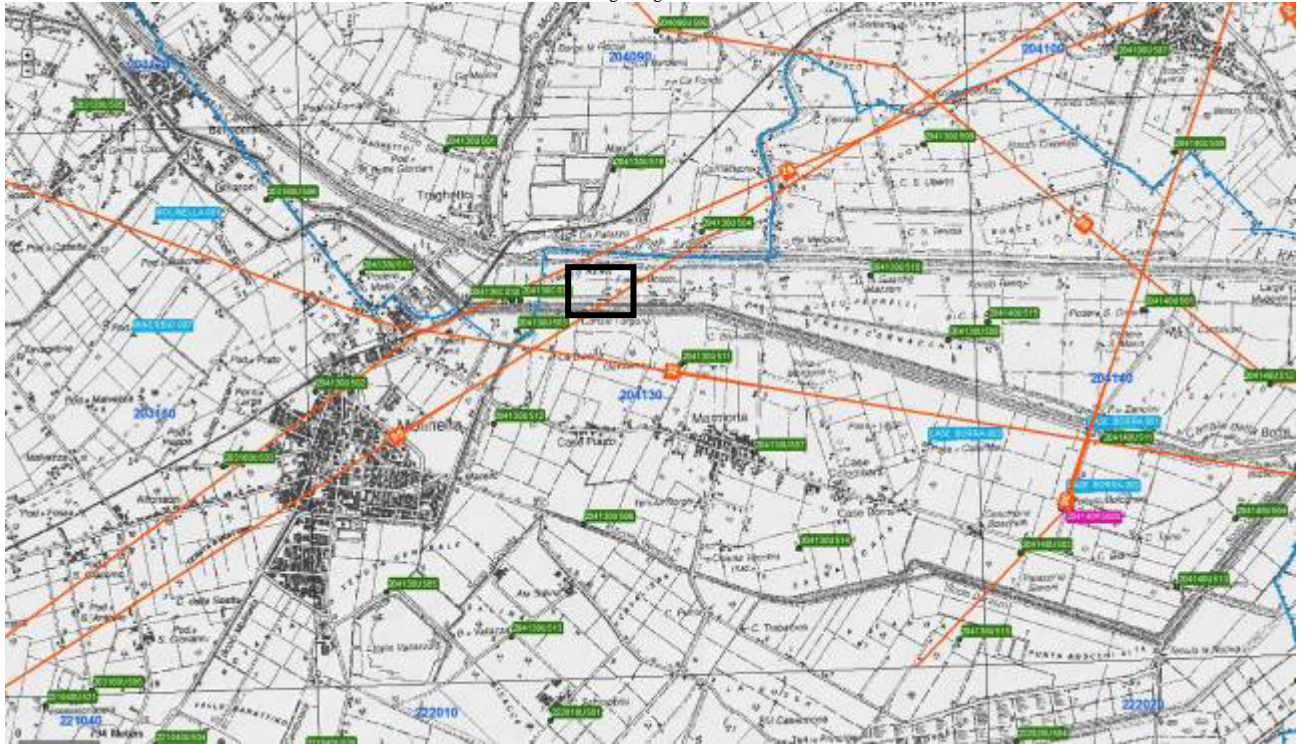


Fig. 2/12: Ubicazione a Scala Libera delle tracce delle sezioni che verranno di seguito riportate. Come tratta dall'apposito data-base regionale. L'area in esame è attraversata dalle Sezz. 28 e 95.

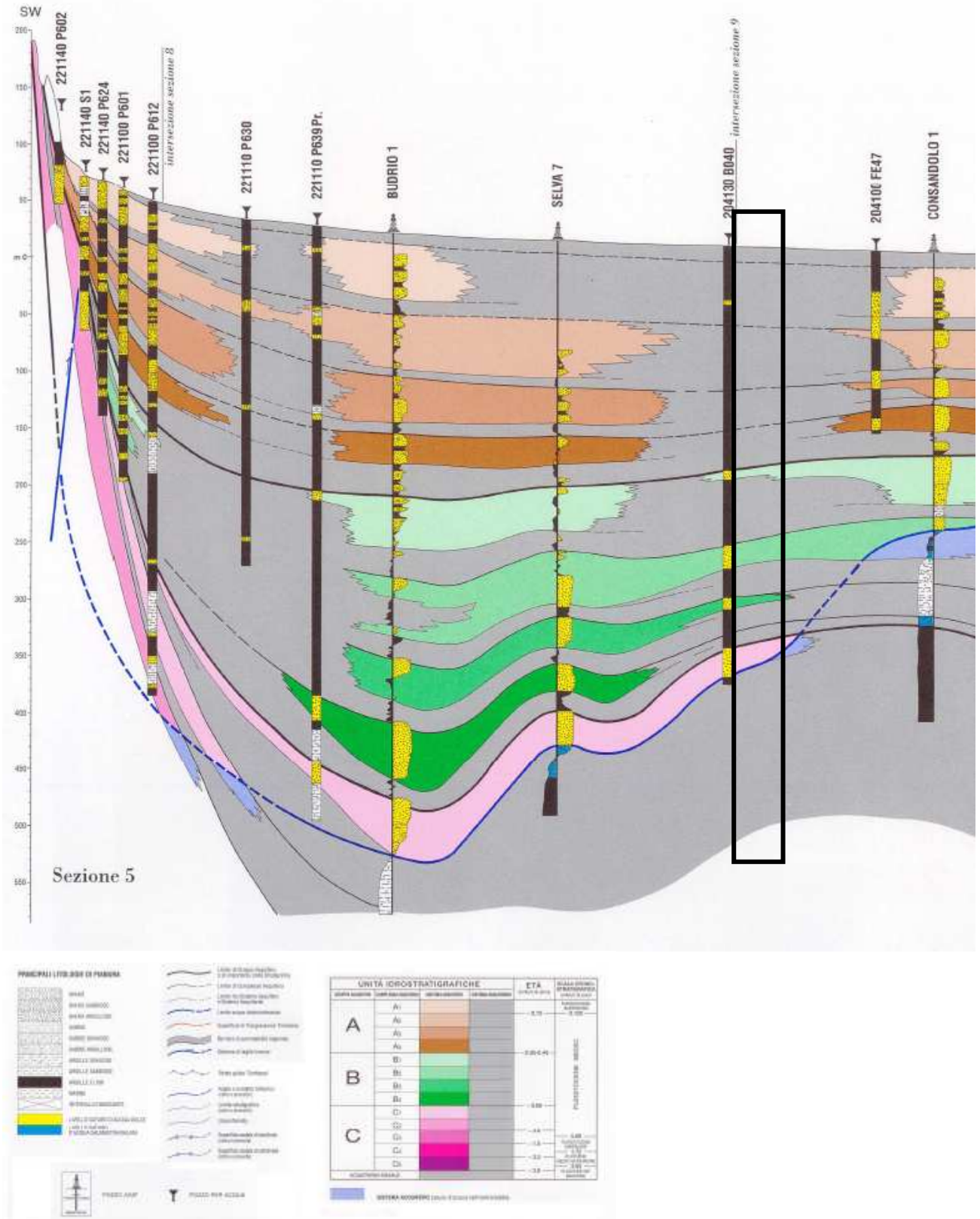


Fig. 2/13: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Sez. 28. Come tratta dall'apposito data-base regionale.

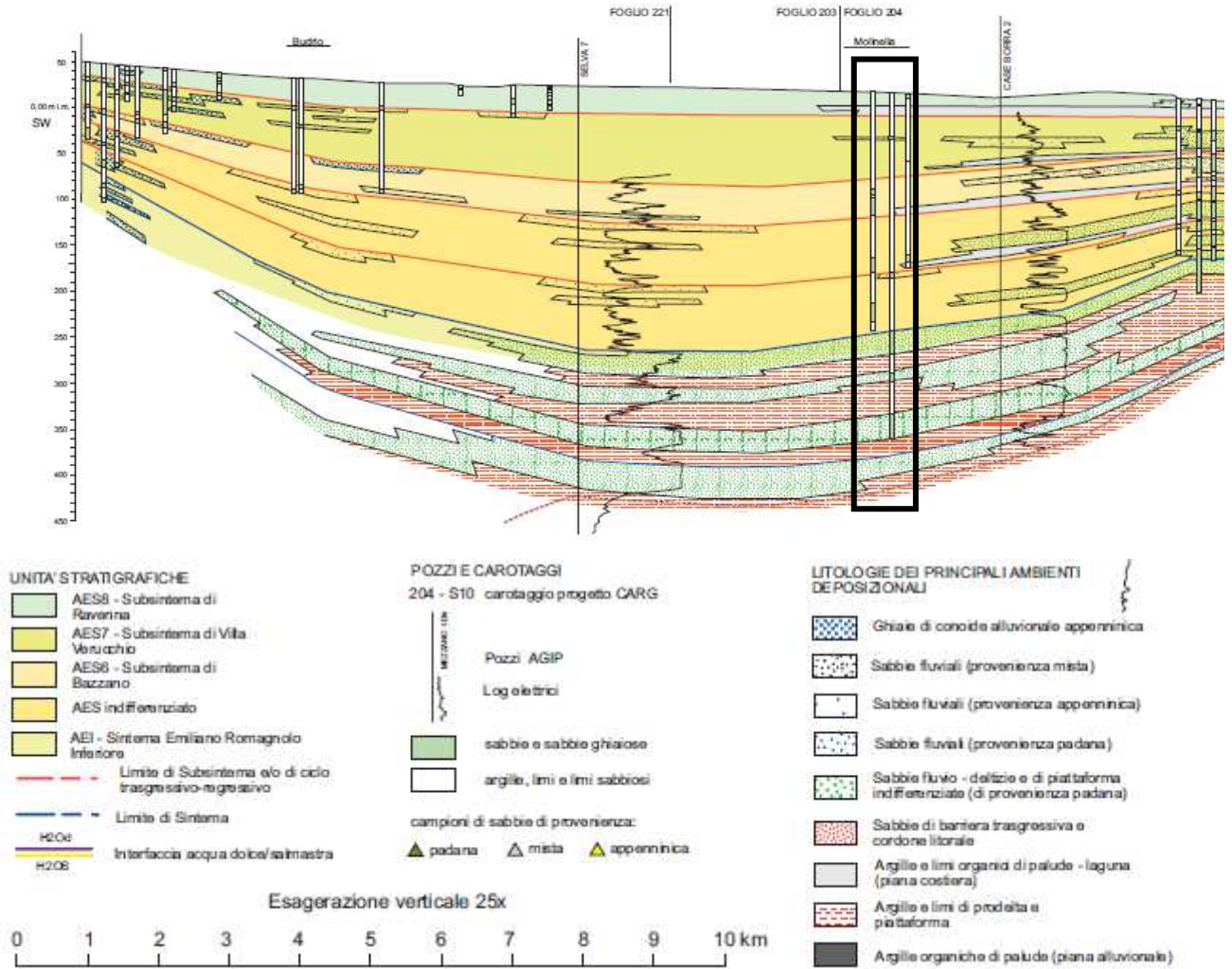


Fig. 2/14: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Sez. 95. Come tratta dall'apposito data- base regionale.

Di seguito si riportano dati di stratigrafia puntuale reperiti all'apposito data- base regionale e relativi ai pressi dell'area in esame ed in possesso dello scrivente relativi al sedime dello Stabilimento Rechim.

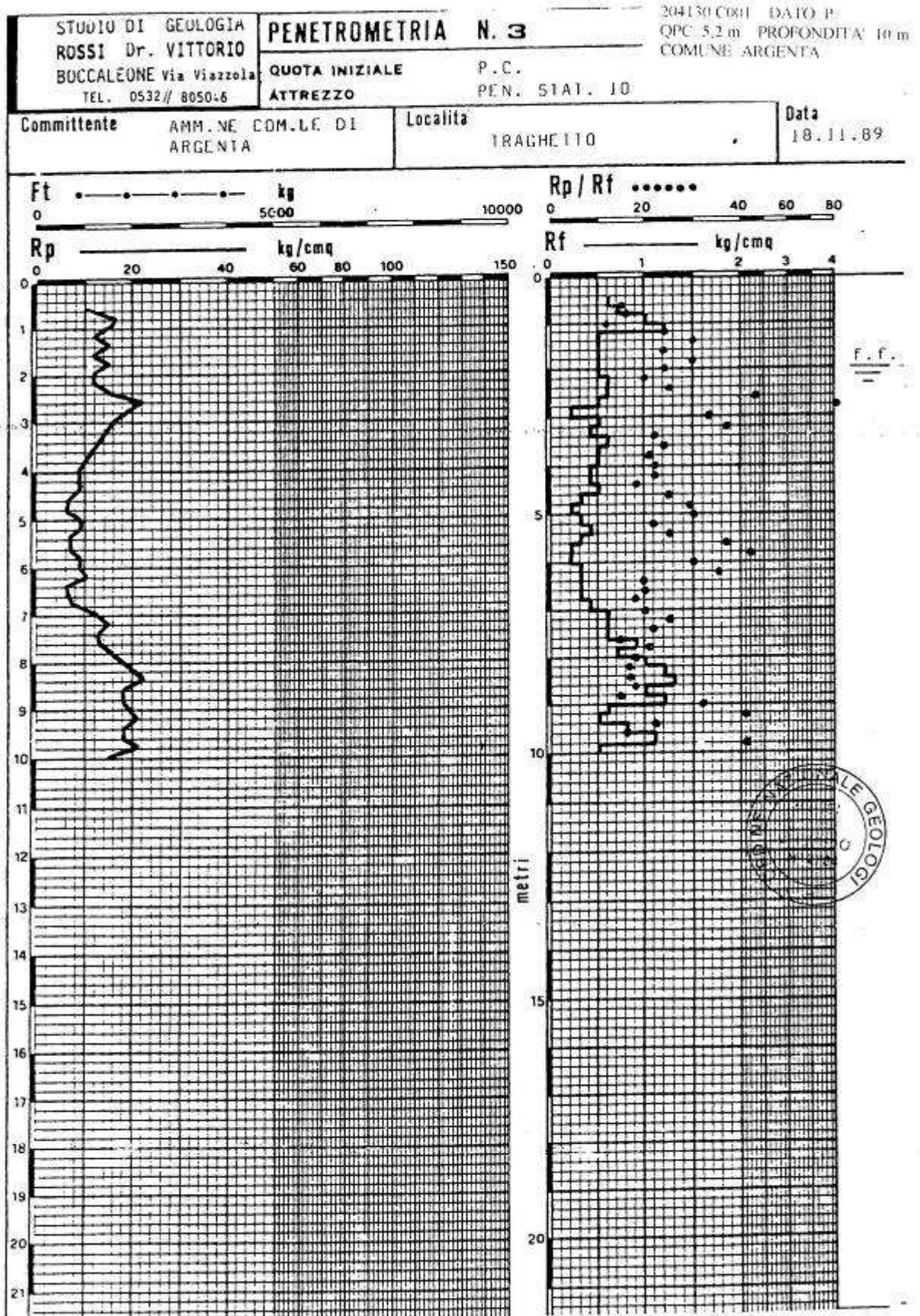


Fig. 2/15: C.P.T. C001.

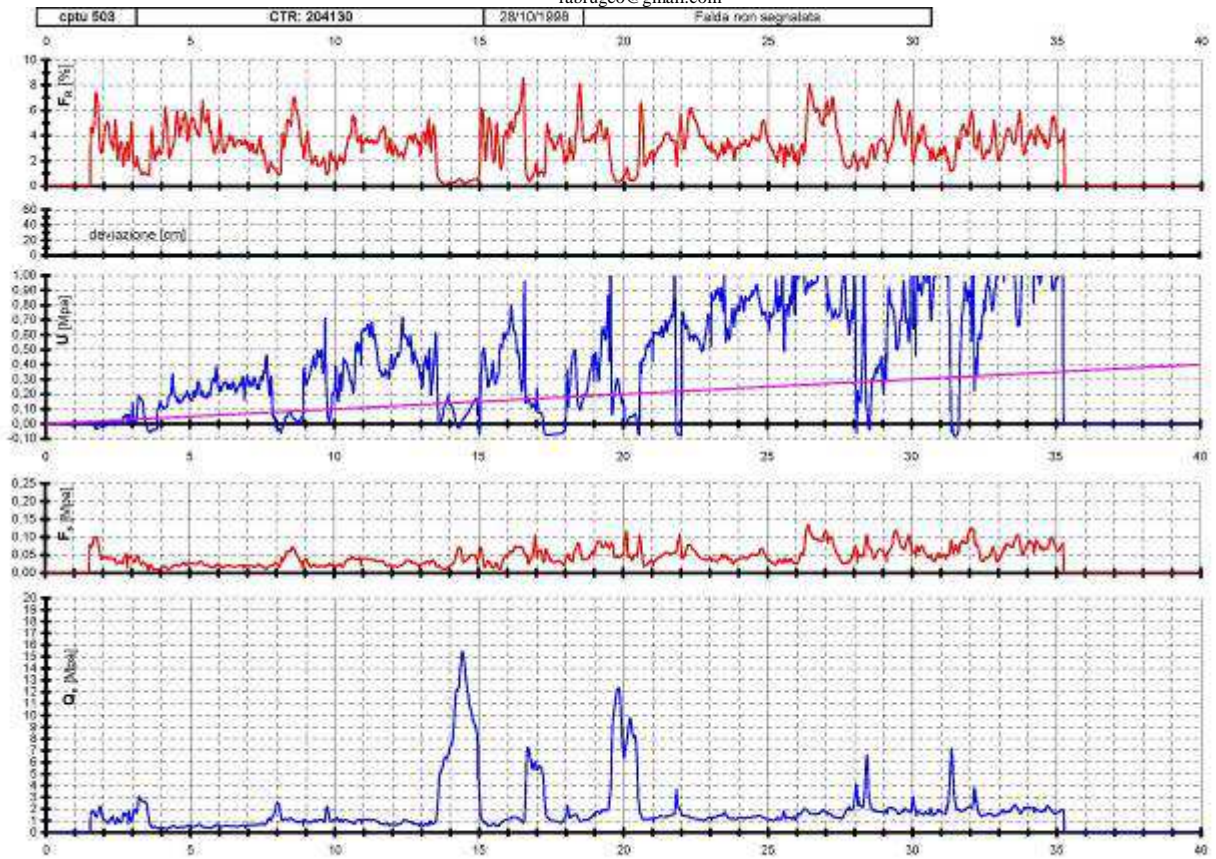


Fig. 2/16: C.P.T.U. 503.

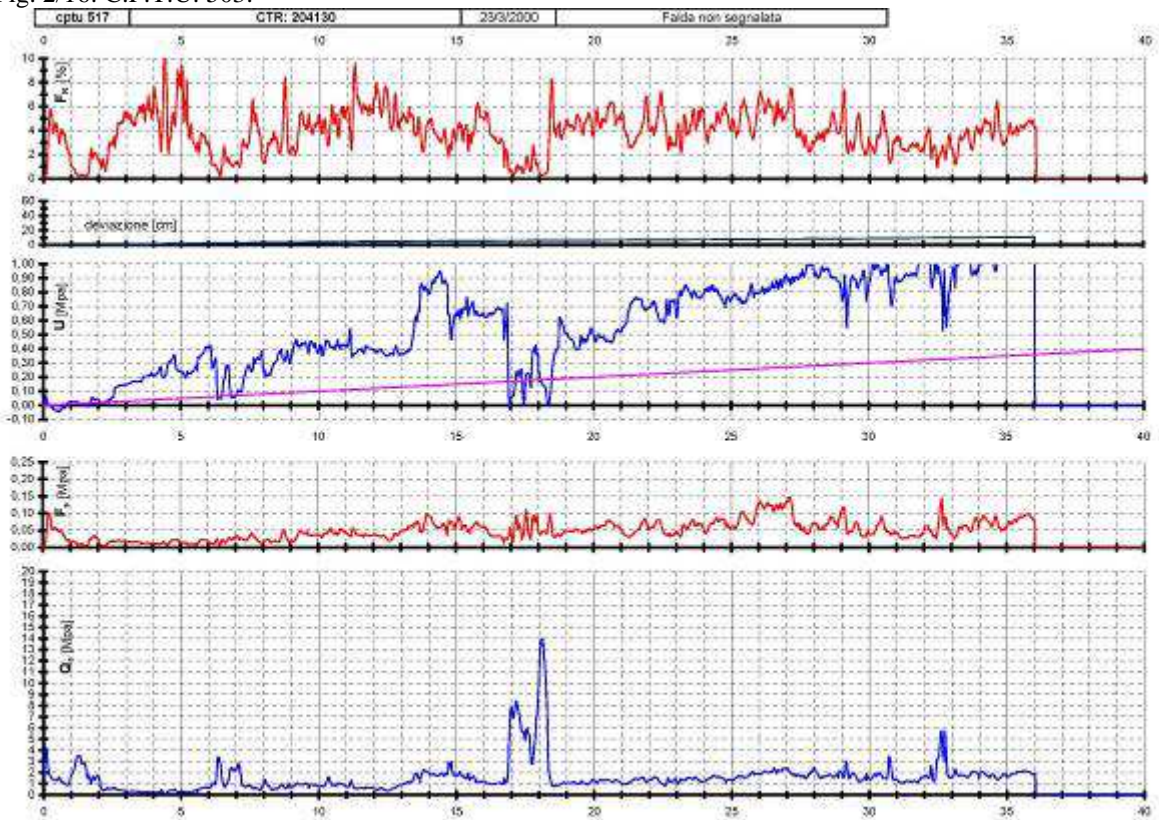


Fig. 2/17 C.P.T.U. 517.

PROVA PENETROMETR. STATICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT 1
RZ-GP-89

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t
Committente : AMM. NE COM. LE ARGENTA
Località : TRAGHETTO (FE)

data : 30.10.95
quota inizio : PIANO CAMPAGNA
prof. falda = 5.50 m da quota inizio

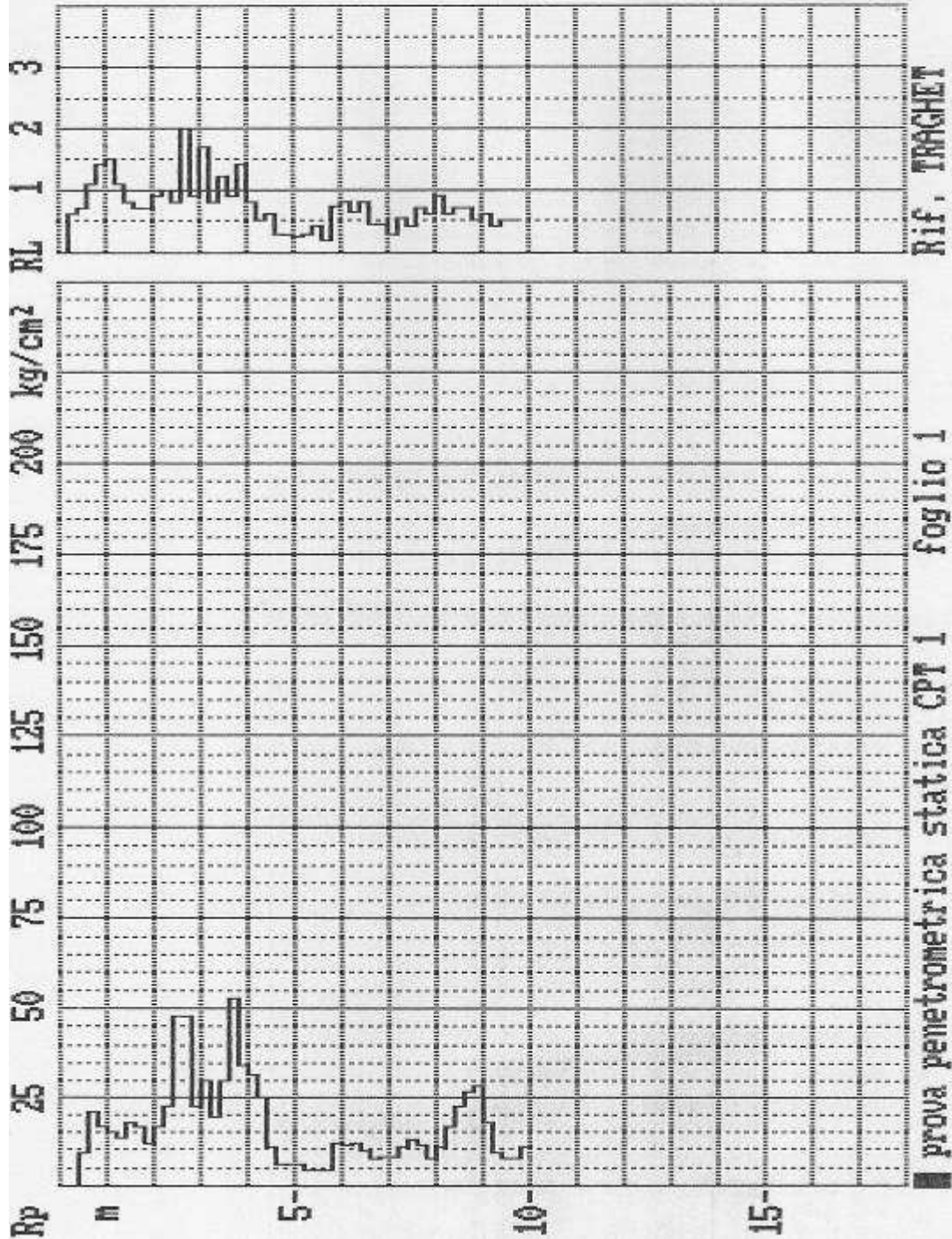


Fig. 2/18: C.P.T. 1 eseguita sull'area dello stabilimento RECHIM nell'anno 1998.

PROVA PENETROMETR. STATICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT 2
RZ-6P-89

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t.
Committente : AMM. NE COM. LE ARGENTA
Località : TRAGHETTO (FE)

data : 30.10.95
quota inizio : PIANO CAMPAGNA
prof. falda = 3.90 m da quota inizio

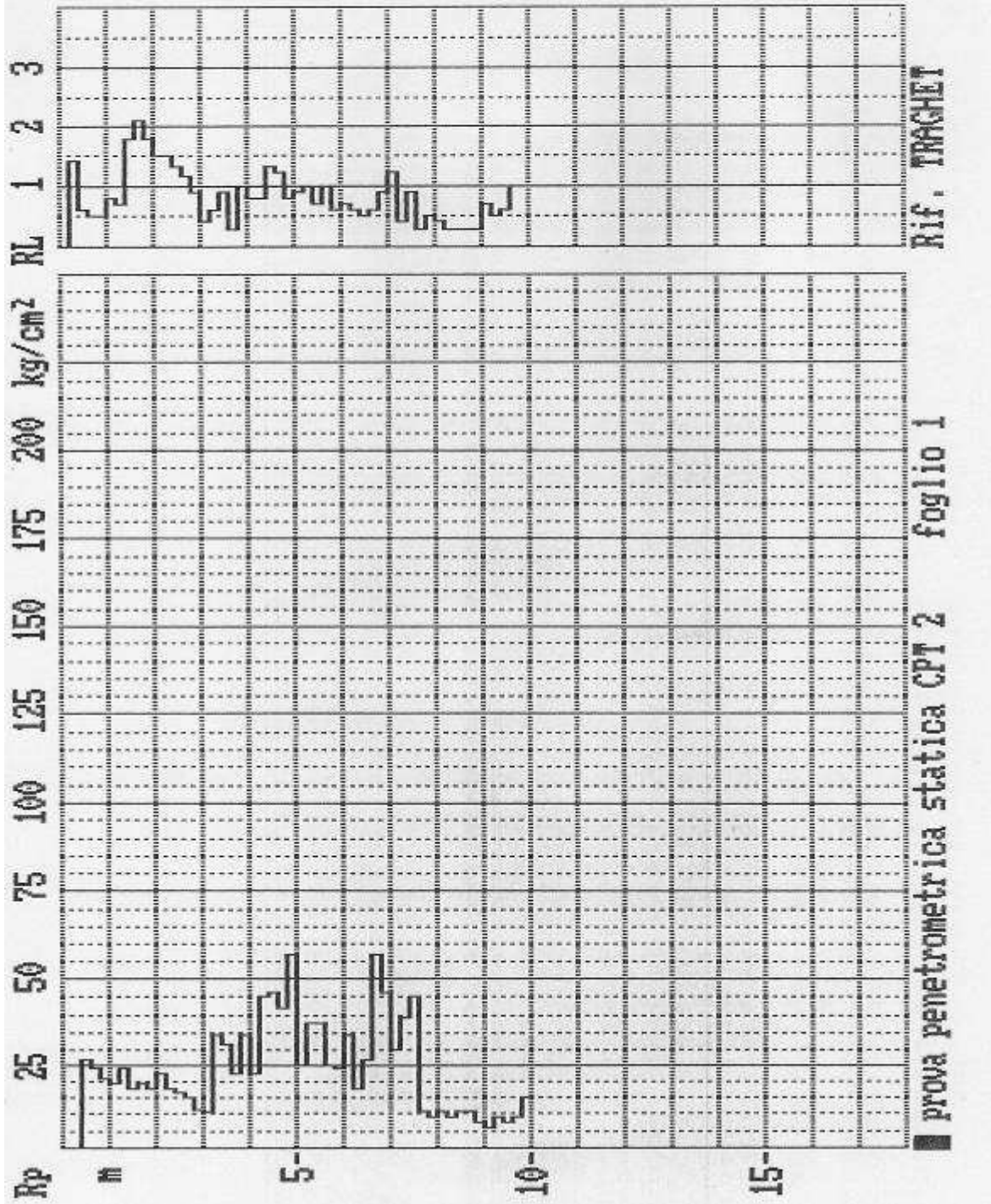
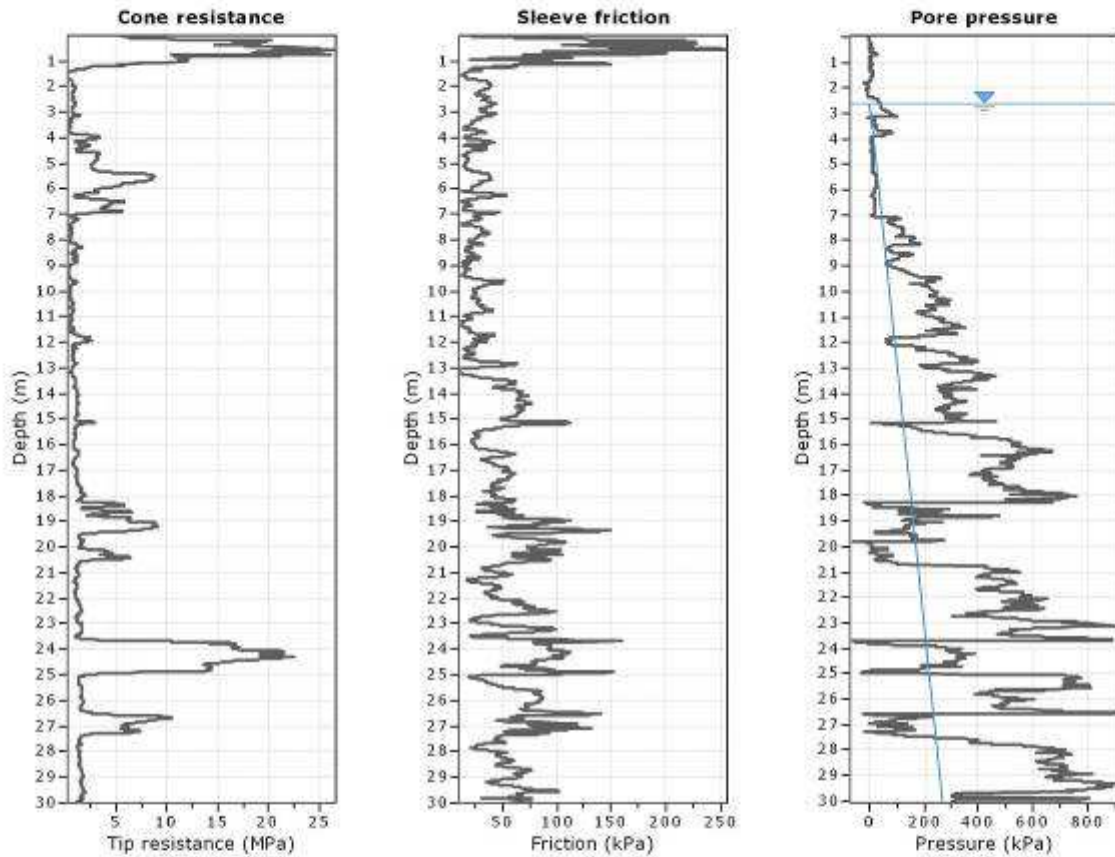


Fig. 2/19: C.P.T. 2 eseguita sull'area dello stabilimento RECHIM nell'anno 1998.

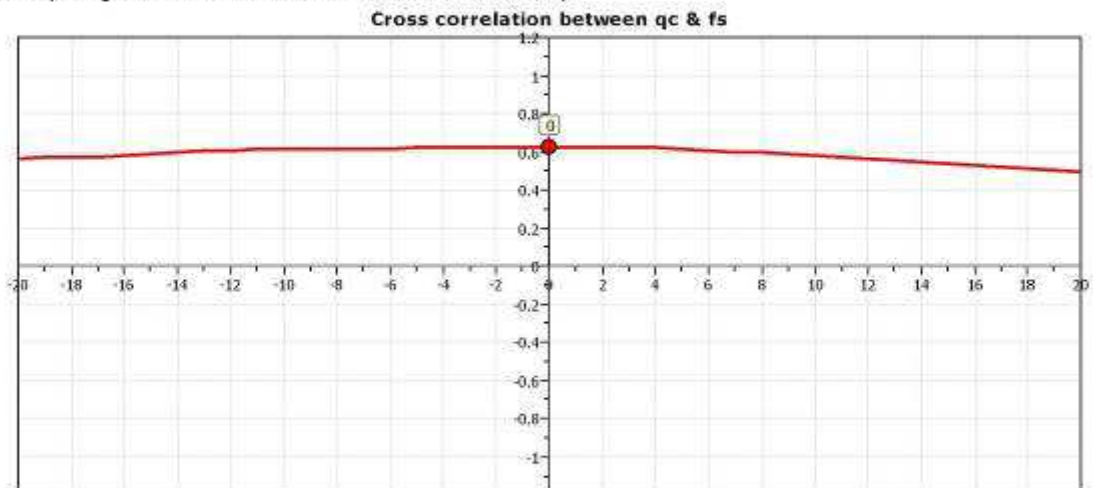
Di seguito si riportano anche le numerose indagini eseguite dallo scrivente nei vari anni (ed ubicate come alla Fig. 1/3).

Project: CPTU1

Location: Traghetto RECHIM



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

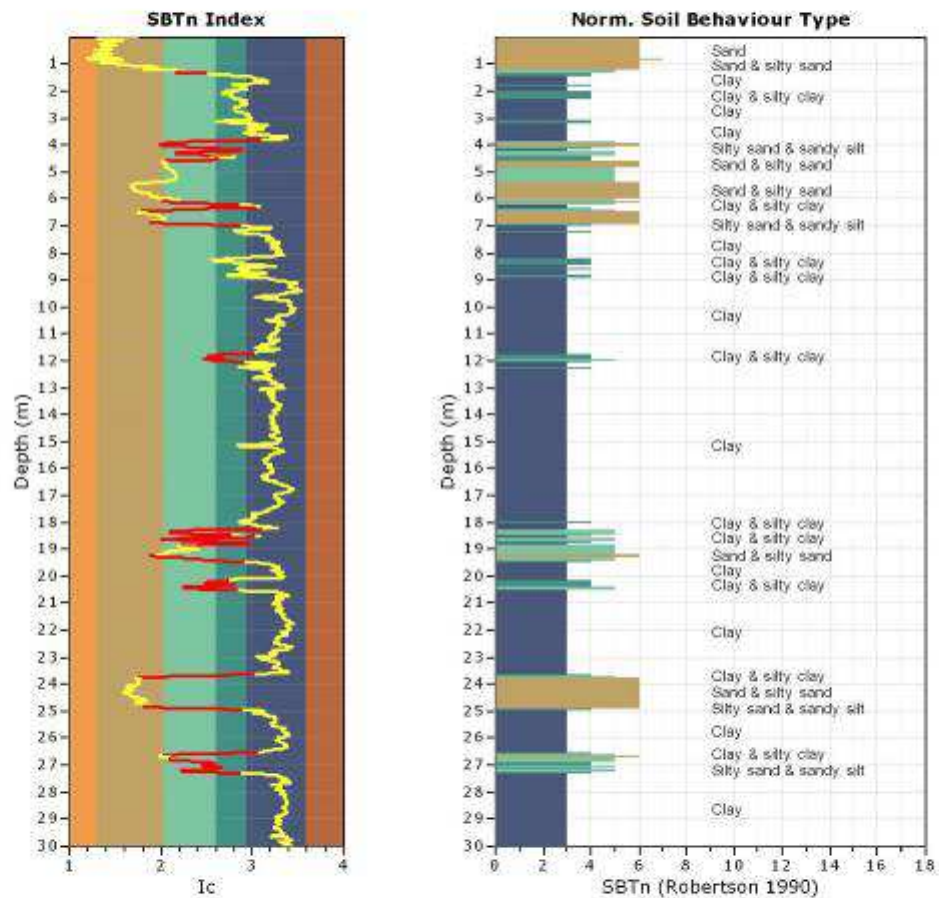


TRANSITION LAYER DETECTION ALGORITHM REPORT
Summary Details & Plots

Short description

The software will delete data when the cone is in transition from either clay to sand or vice-versa. To do this the software requires a range of I_c values over which the transition will be defined (typically somewhere between $1.80 < I_c < 3.0$) and a rate of change of I_c . Transitions typically occur when the rate of change of I_c is fast (i.e. ΔI_c is small).

The SBT_c plot below, displays in red the detected transition layers based on the parameters listed below the graphs.

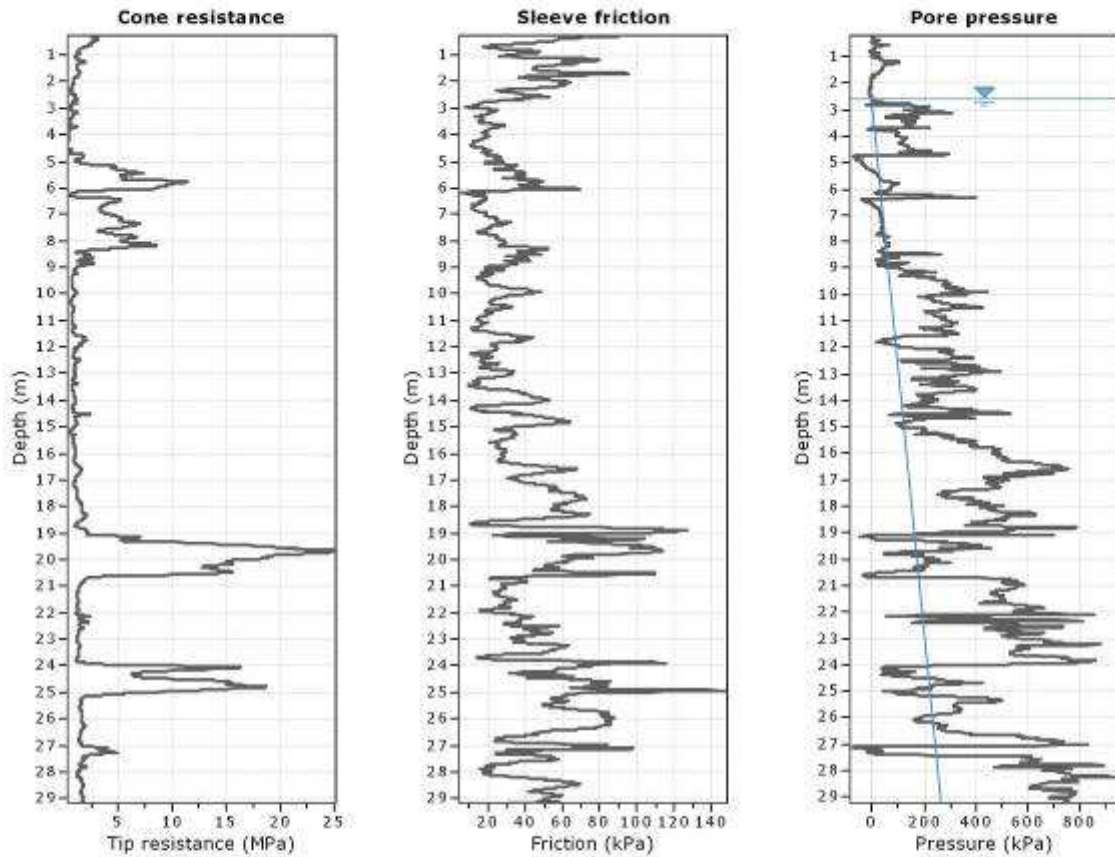


Transition layer algorithm properties		General statistics	
I_c minimum check value:	1.70	Total points in CPT file:	3006
I_c maximum check value:	3.00	Total points excluded:	396
I_c change ratio value:	0.0010	Exclusion percentage:	13.17%
Minimum number of points in layer:	4	Number of layers detected:	31

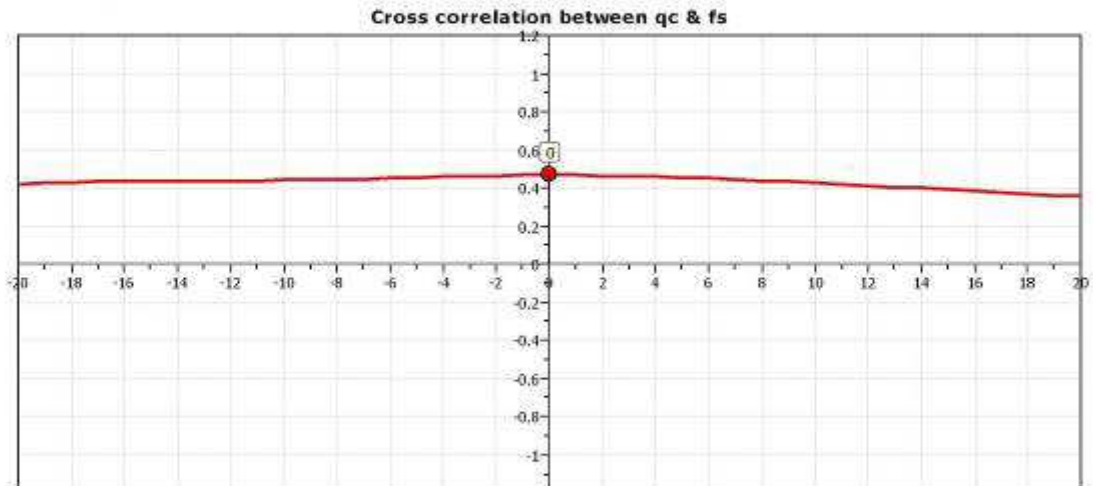
Fig. 2/20: restituzioni grafiche della CPTU1 -2023.

Project: CPTU2

Location: Traghetto RECHIM



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

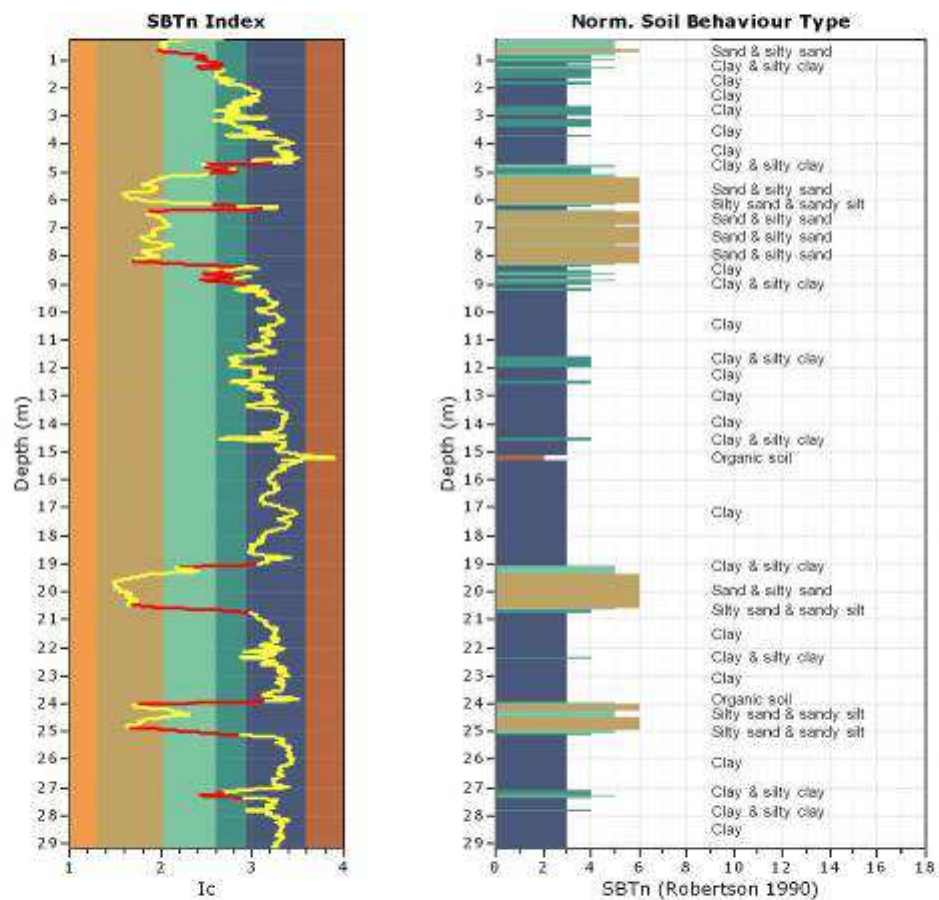


TRANSITION LAYER DETECTION ALGORITHM REPORT
Summary Details & Plots

Short description

The software will delete data when the cone is in transition from either clay to sand or vice-versa. To do this the software requires a range of I_c values over which the transition will be defined (typically somewhere between $1.80 < I_c < 3.0$) and a rate of change of I_c . Transitions typically occur when the rate of change of I_c is fast (i.e. delta I_c is small).

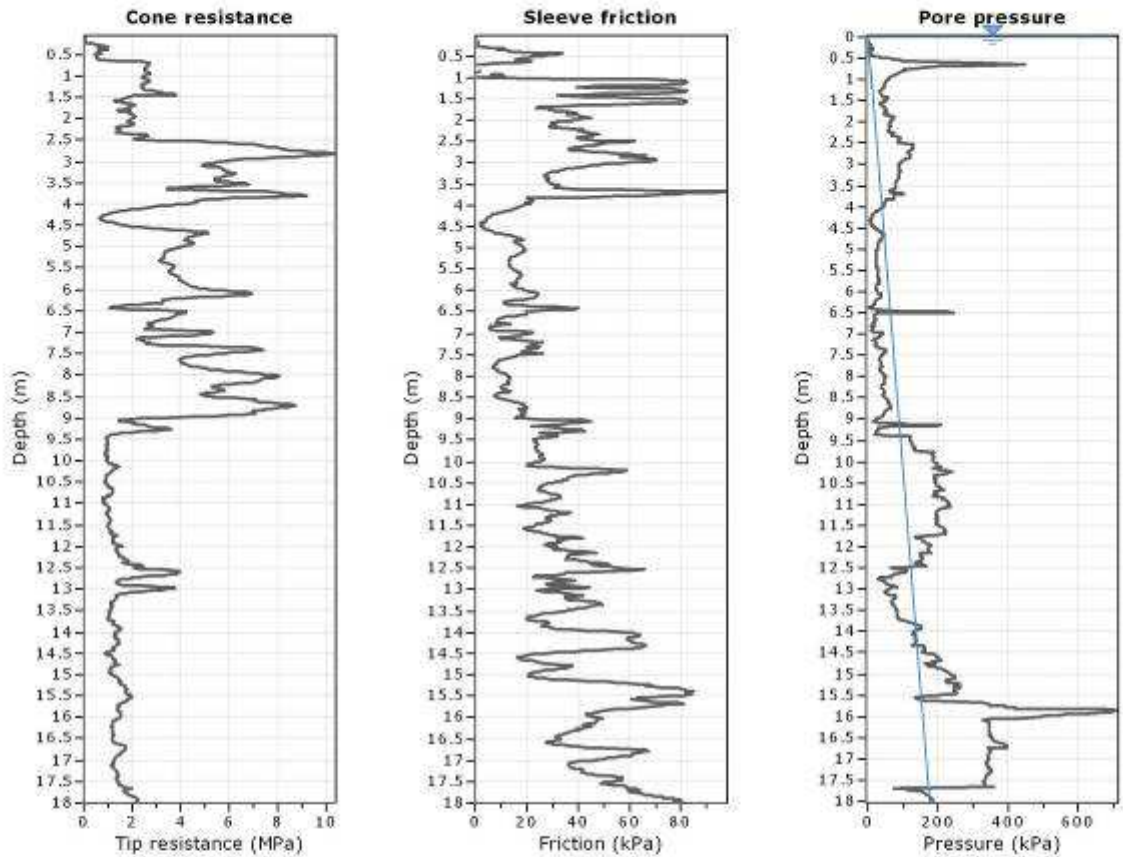
The SBT_c plot below, displays in red the detected transition layers based on the parameters listed below the graphs.



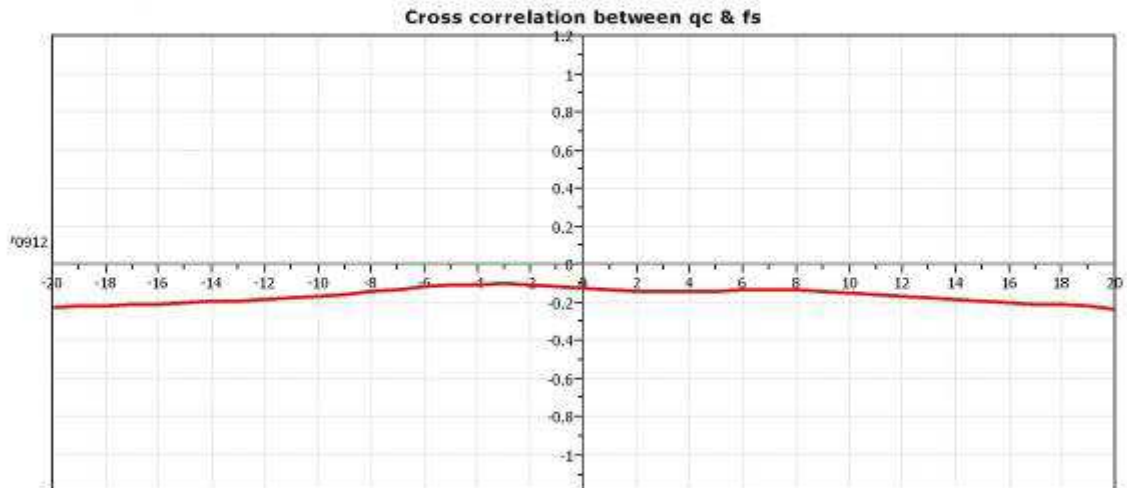
Transition layer algorithm properties		General statistics	
I_c minimum check value:	1.70	Total points in CPT file:	2896
I_c maximum check value:	3.00	Total points excluded:	294
I_c change ratio value:	0.0010	Exclusion percentage:	10.15%
Minimum number of points in layer:	4	Number of layers detected:	21

Fig. 2/21: restituzioni grafiche della CPTU2 -2023.

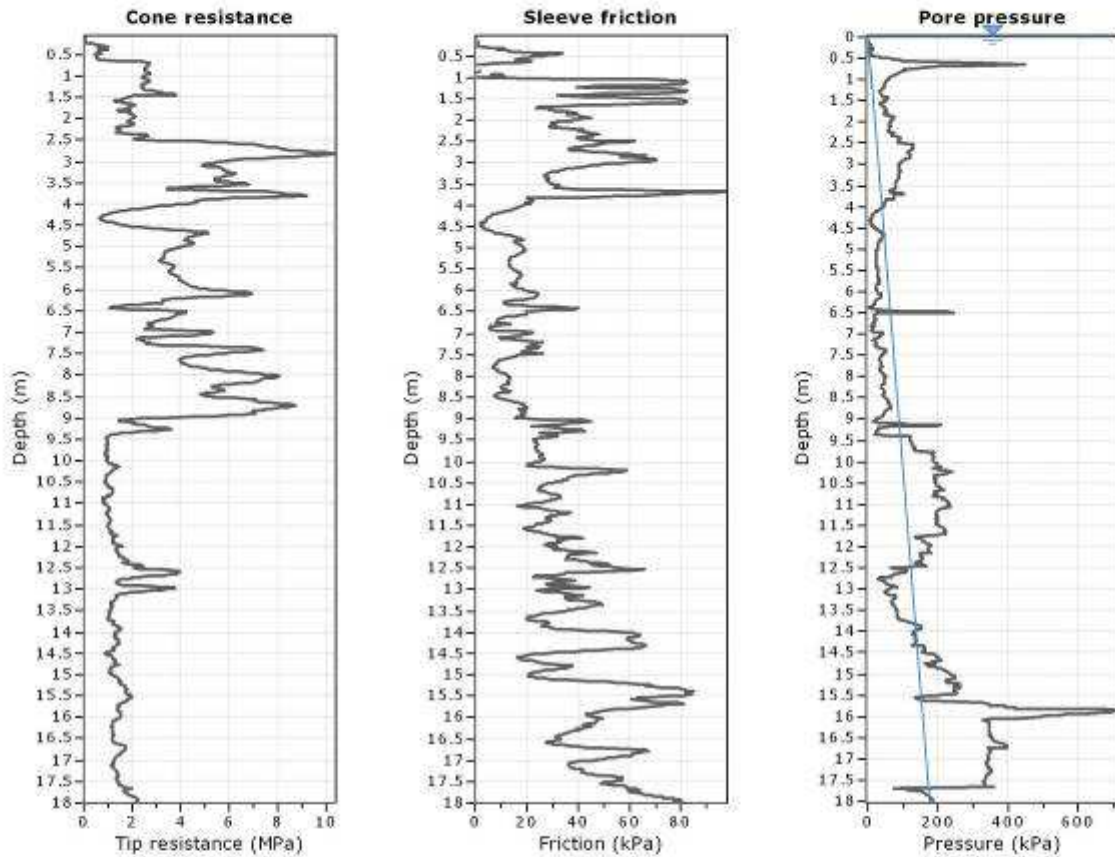
Project:
Location:



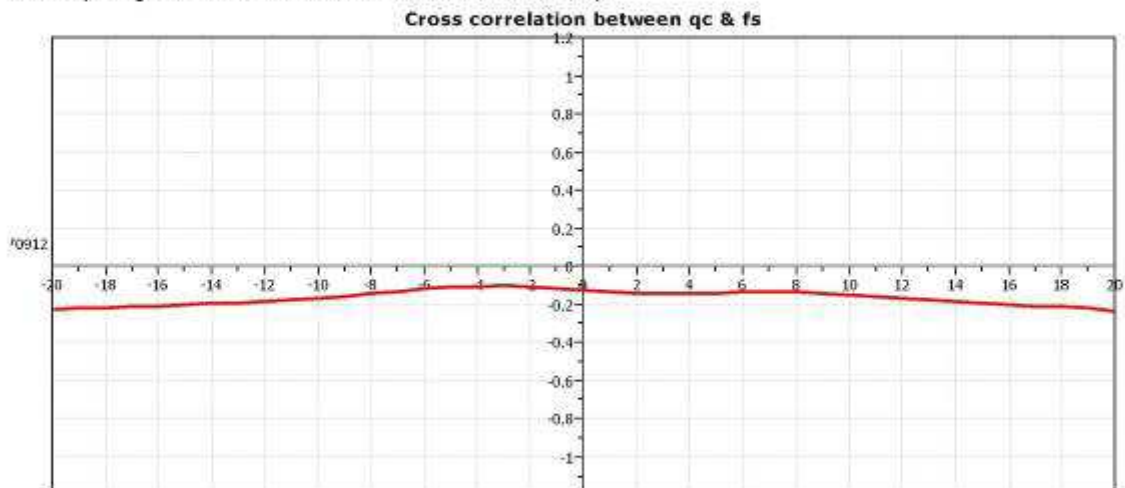
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Project:
Location:



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Project:
 Location:

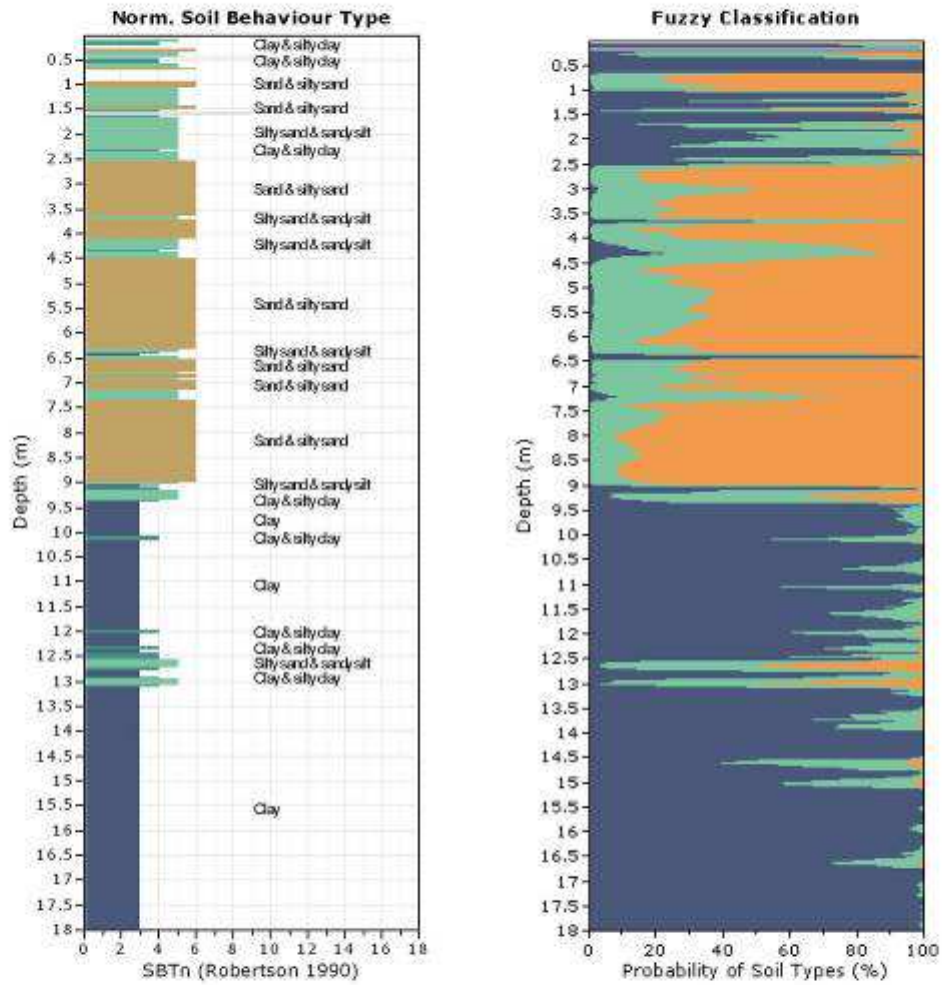


Fig. 2/22: restituzioni grafiche della CPTU3 -2016.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi

Via A. Da Brescia 11 - 44011 Argenta (FE)
tel. e fax: 0532852858 cell.:3355373693 e-mail: rabrugeo@libero.it

Riferimento: 350-15

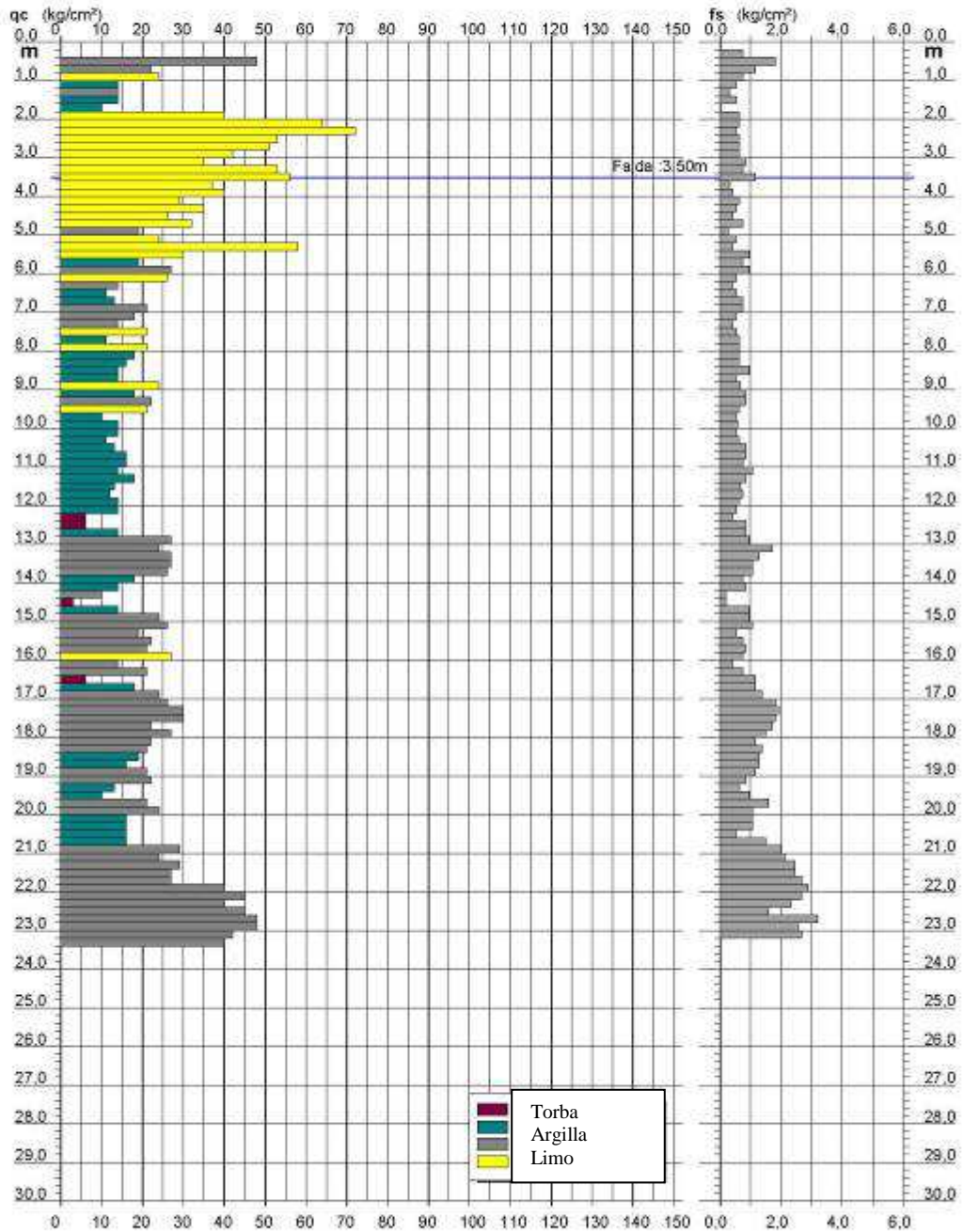
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

CPT 1

2.0105-001

- committente : RECHIM
- lavoro : Prove penetrometriche statiche
- località : Tragheto
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2015
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 3,50 da quota inizio



Software by Dr D. Merli - 0425940820

Indagini Geologiche e Geotecniche

Fig. 2/23: restituzioni grafiche della CPT1 -2015.

Dott. Geol. Raffaele Brunaldi

Via A. Da Brescia 11 - 44011 Argenta (FE)
tel. e fax: 0532852858 cell.:3355373693 e-mail: rabrugeo@libero.it

Riferimento: 350-15

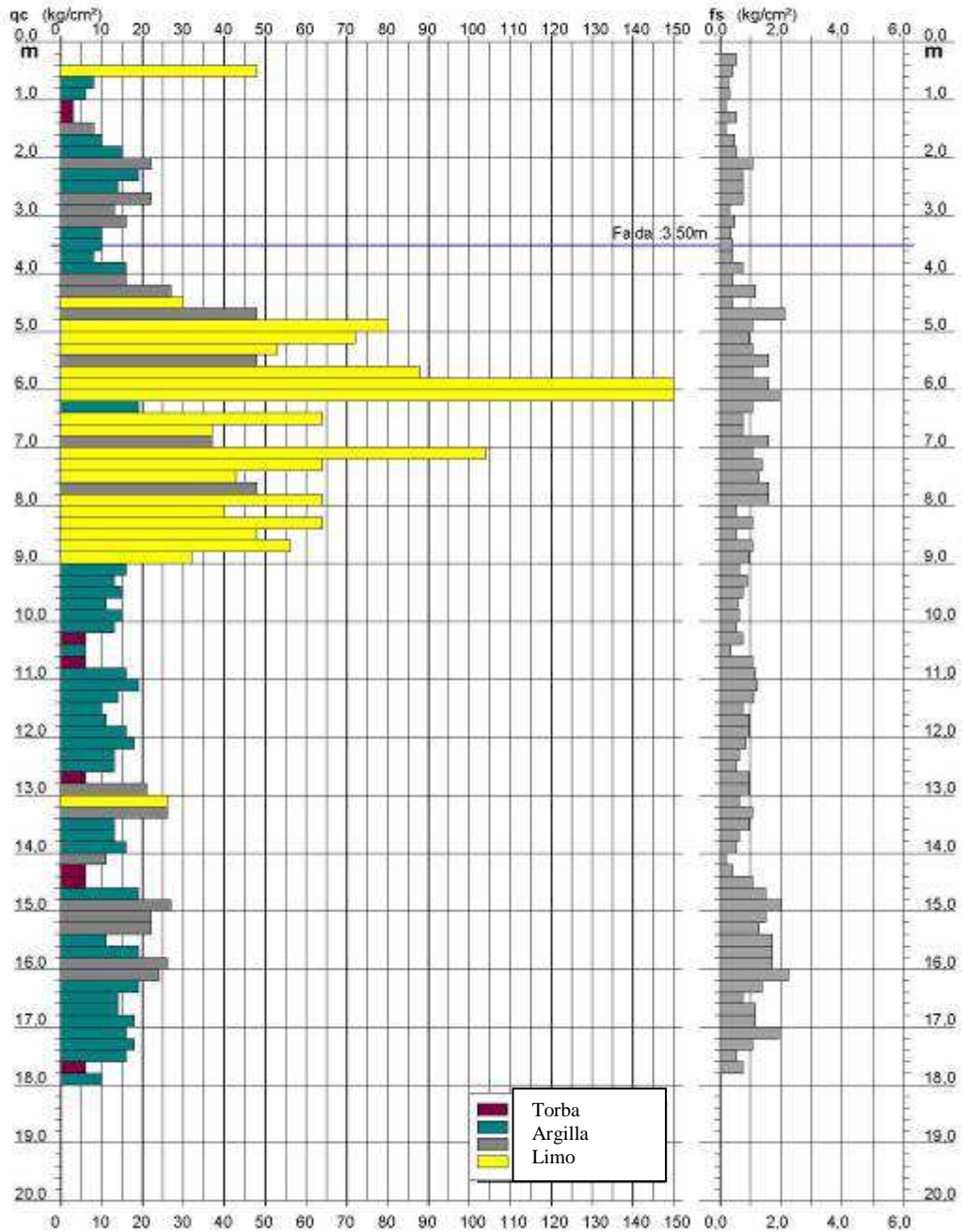
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

CPT 2

2.0105-001

- committente : RECHIM
- lavoro : Prove penetrometriche statiche
- località : Tragheto
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2015
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 3,50 da quota inizio



Software by Dr.D.Merli - 0425940820

Indagini Geologiche e Geotecniche

Fig. 2/24: restituzioni grafiche della CPT1 -2015.

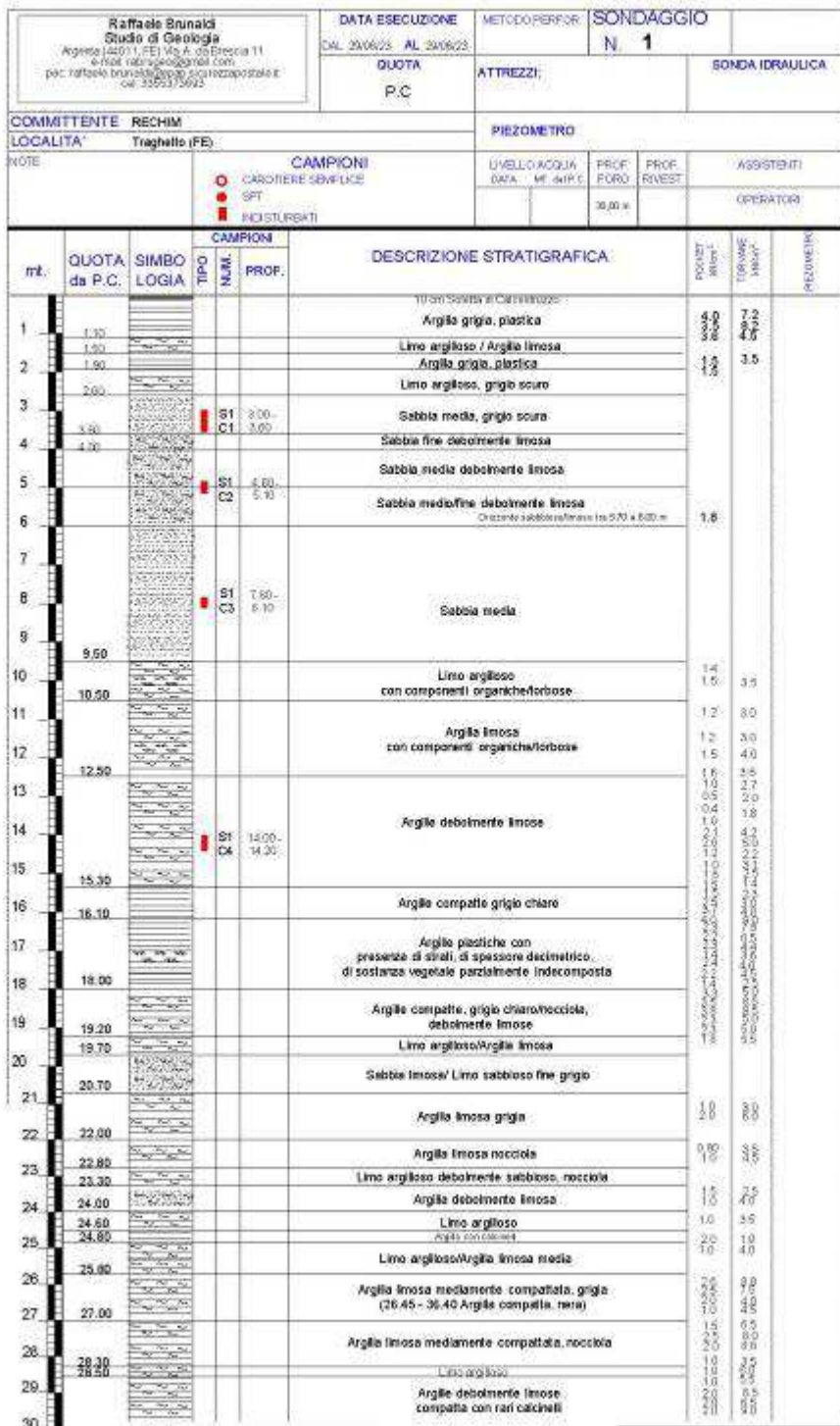
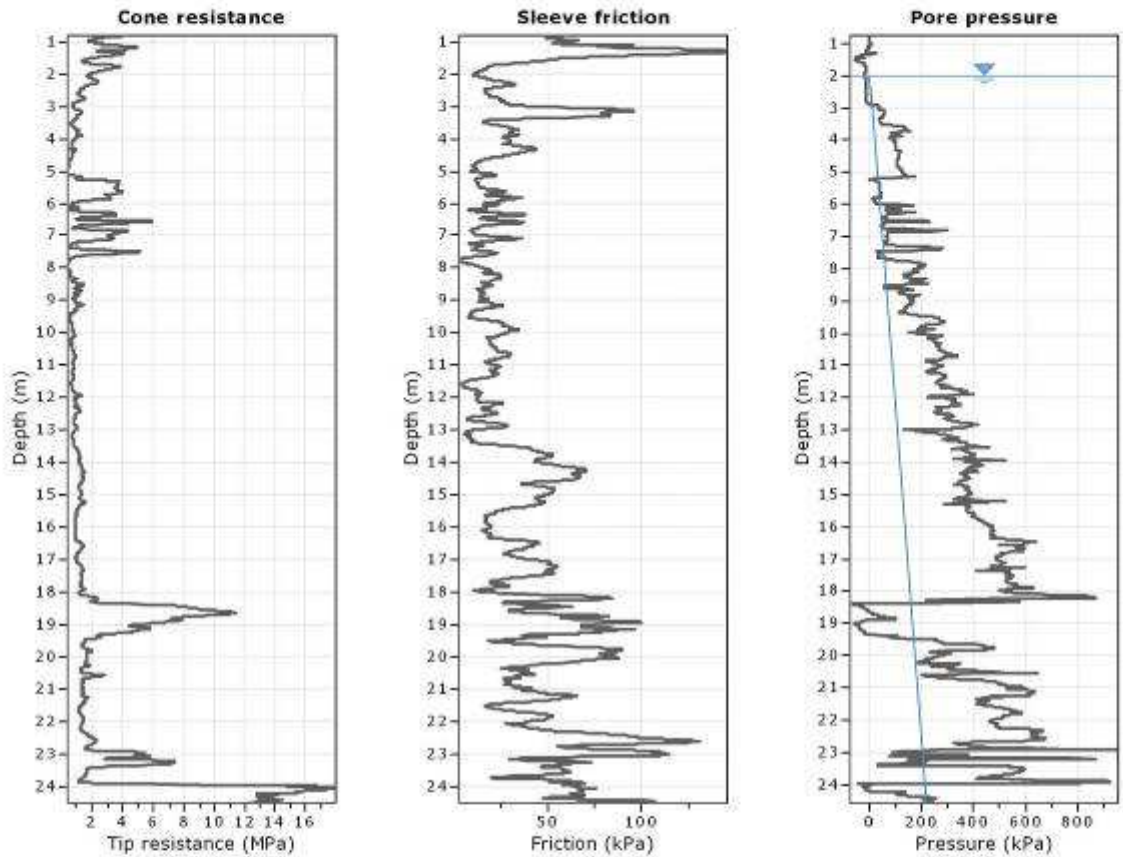
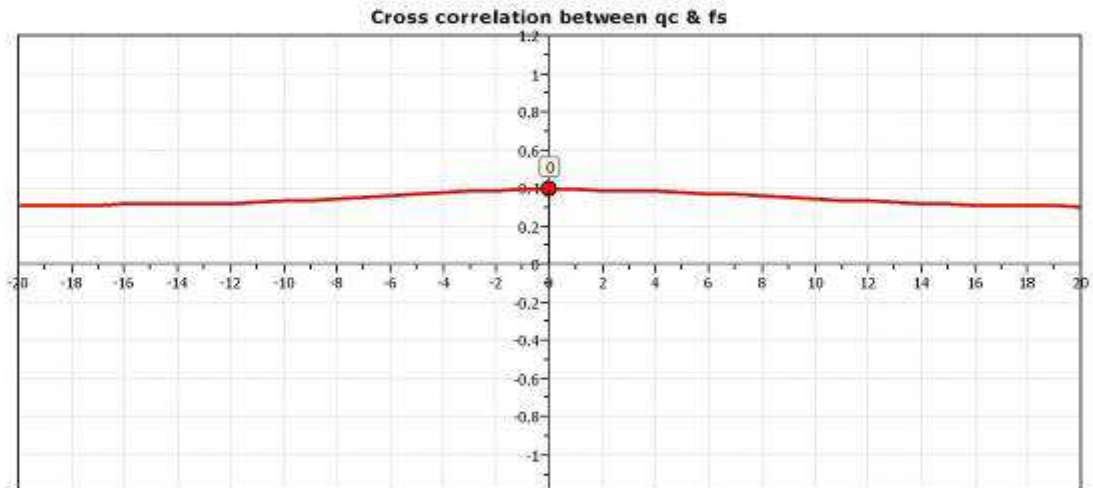


Fig. 2/25: restituzioni grafiche del Sondaggio S1 2023.

Project: Ampliamento Stabilimento
Location: Stabilimento ReChim



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

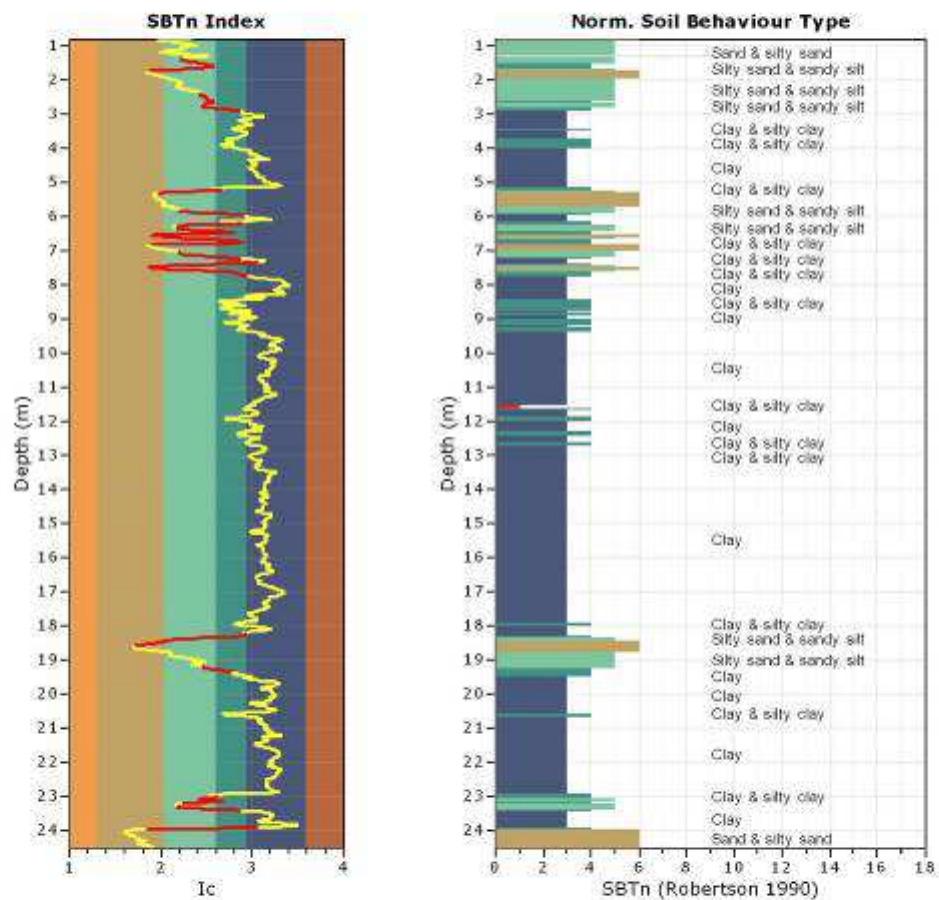


TRANSITION LAYER DETECTION ALGORITHM REPORT
Summary Details & Plots

Short description

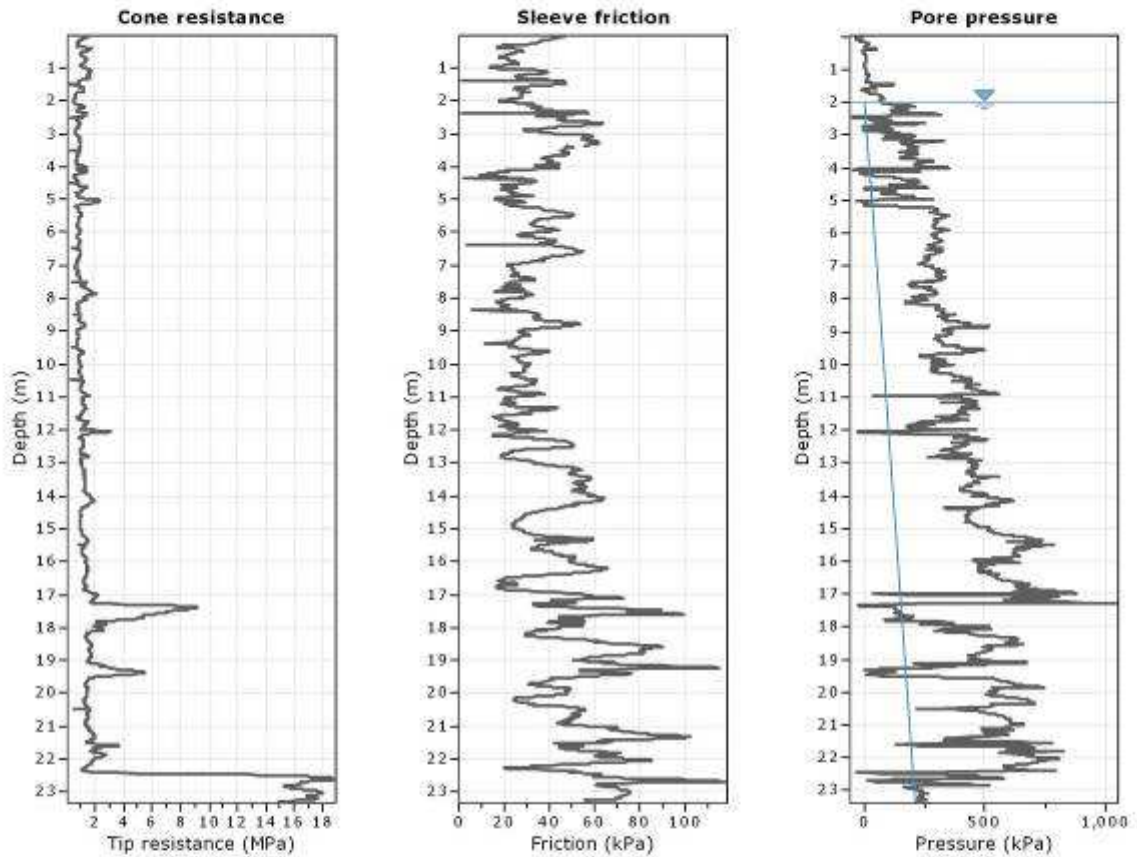
The software will delete data when the cone is in transition from either clay to sand or vice-versa. To do this the software requires a range of I_c values over which the transition will be defined (typically somewhere between $1.80 < I_c < 3.0$) and a rate of change of I_c . Transitions typically occur when the rate of change of I_c is fast (i.e. ΔI_c is small).

The SBT_n plot below, displays in red the detected transition layers based on the parameters listed below the graphs.

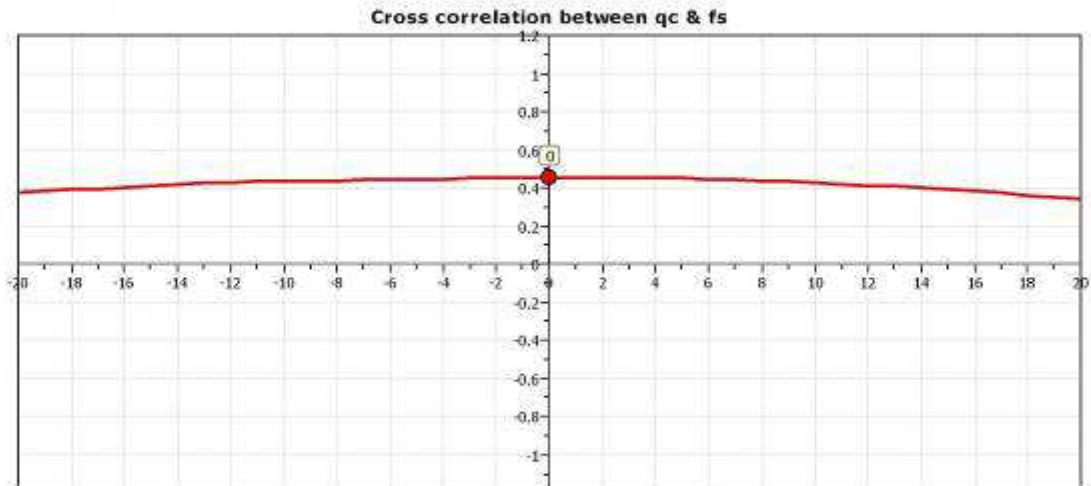


Transition layer algorithm properties		General statistics	
I_c minimum check value:	1.70	Total points in CPT file:	2375
I_c maximum check value:	3.00	Total points excluded:	330
I_c change ratio value:	0.0010	Exclusion percentage:	13.89%
Minimum number of points in layer:	4	Number of layers detected:	22

Fig. 2/26: moduli di restituzione grafica della CPTU1A 2025.



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

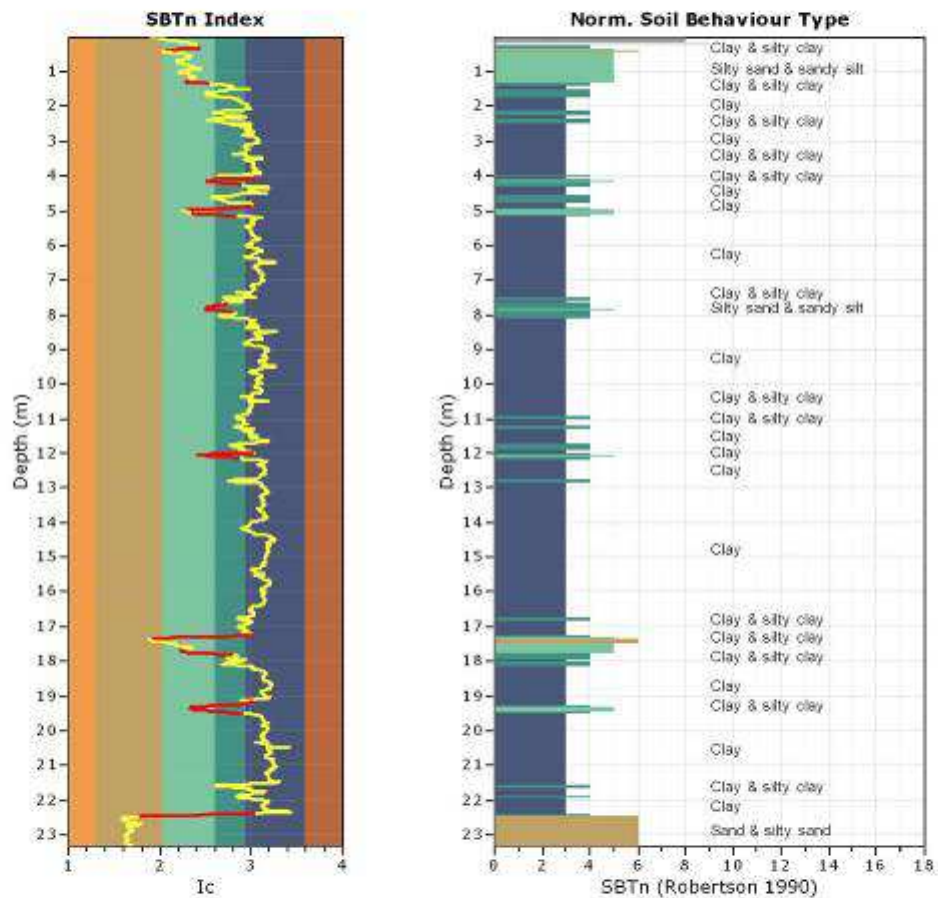


TRANSITION LAYER DETECTION ALGORITHM REPORT
Summary Details & Plots

Short description

The software will delete data when the cone is in transition from either clay to sand or vice-versa. To do this the software requires a range of I_c values over which the transition will be defined (typically somewhere between $1.80 < I_c < 3.0$) and a rate of change of I_c . Transitions typically occur when the rate of change of I_c is fast (i.e. delta I_c is small).

The SBT_c plot below, displays in red the detected transition layers based on the parameters listed below the graphs.



Transition layer algorithm properties		General statistics	
I_c minimum check value:	1.70	Total points in CPT file:	2337
I_c maximum check value:	3.00	Total points excluded:	188
I_c change ratio value:	0.0010	Exclusion percentage:	8.04%
Minimum number of points in layer:	4	Number of layers detected:	17

Fig. 2/27: moduli di restituzione grafica della SCPTU1B 2025.

This software is licensed to: Studio Geologia

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{P_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{50} = \left(\frac{q_c}{P_s} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.3817 I_c}}$$

$$N_{(160)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2917 I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c, \text{cutoff}}$)

:: Relative Density, D_r (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{OCR}}} \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c, \text{cutoff}}\text{)}$$

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn, \text{cs}})$$

:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$

$$\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \leq 2.20$

$$M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.68}$$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{cutoff}}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(\text{rem})$ (kPa) ::

$$S_{u(\text{rem})} = f_s \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c, \text{cutoff}}\text{)}$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{cutoff}}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{0.001}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{cutoff}}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{cutoff}}$)

:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ - B_q^{0.123} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \lg Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337-1355 (2009)

Fig. 2/28: illustrazione del metodo di restituzione CPTU/SCPTU.

2.4 Considerazioni geotecniche di massima relative alla litostratigrafia dell'area in esame:

Le peculiarità geotecniche dell'area oggetto della presente relazione in esame, sono condizionate dalla larga predominanza della frazione argillosa e dalla presenza di lenti sospese granulari, di natura sabbioso-limosa. Nel complesso la stratigrafia rileva caratteristiche geo- meccaniche medie. Occorrerà considerare correttamente le caratteristiche geotecniche locali che possono essere sinteticamente descritte riportando le seguenti peculiarità:

- i terreni di fondazione presentano compressibilità/cedevolezza non trascurabili e che quindi dovranno essere appositamente ed attentamente valutate.
- Essendo tali orizzonti in condizioni NON drenate, la maturazione dei cedimenti (all'assunzione dei carichi) potrà prolungarsi nel tempo, per periodi non meglio specificabili sulla base delle attuali conoscenze puntuali. Le condizioni non drenate connesse alla natura sostanzialmente argillosa, della colonna stratigrafica locale non consentono infatti la rapida dissipazione dei sovraccarichi derivanti dall'edificazione delle strutture.
- Condizioni drenate non sono complessivamente significative per l'area in esame.
- Le naturali/normali oscillazioni della falda freatica potranno far variare il volume dei terreni di fondazione (interessati appunto alla variazione della falda). Si potranno instaurare fenomeni di rigonfiamento/ritiro che potranno svolgersi con modalità più o meno cicliche (in connessione alla variabilità/stagionalità delle condizioni climatiche), ovvero con modalità molto meno prevedibili. Potranno altresì variare anche le stesse caratteristiche geo- meccaniche dei terreni.
- Relativamente alla presenza di terreni granulari ed alla relativa eventuale suscettibilità alla liquefazione all'atto di uno scuotimento sismico, si rimanda all'apposito punto della presente relazione ove si svilupperà tale argomento.

L'apposito documento di P.S.C. (Tav. B.2.8, Carta delle Qualità Geotecniche) riporta che l'area in esame ed i suoi pressi sono caratterizzati da caratteristiche geotecniche indicative medie. La tavola riporta l'affiorare di litologie sabbiose, cosa che si vedrà non essere corretta. Ovviamente per una caratterizzazione puntuale dell'area in esame, confacente all'intervento da realizzarsi si rimanda alla Caratterizzazione/Modellazione Geotecnica che viene riportata ai seguenti punti.

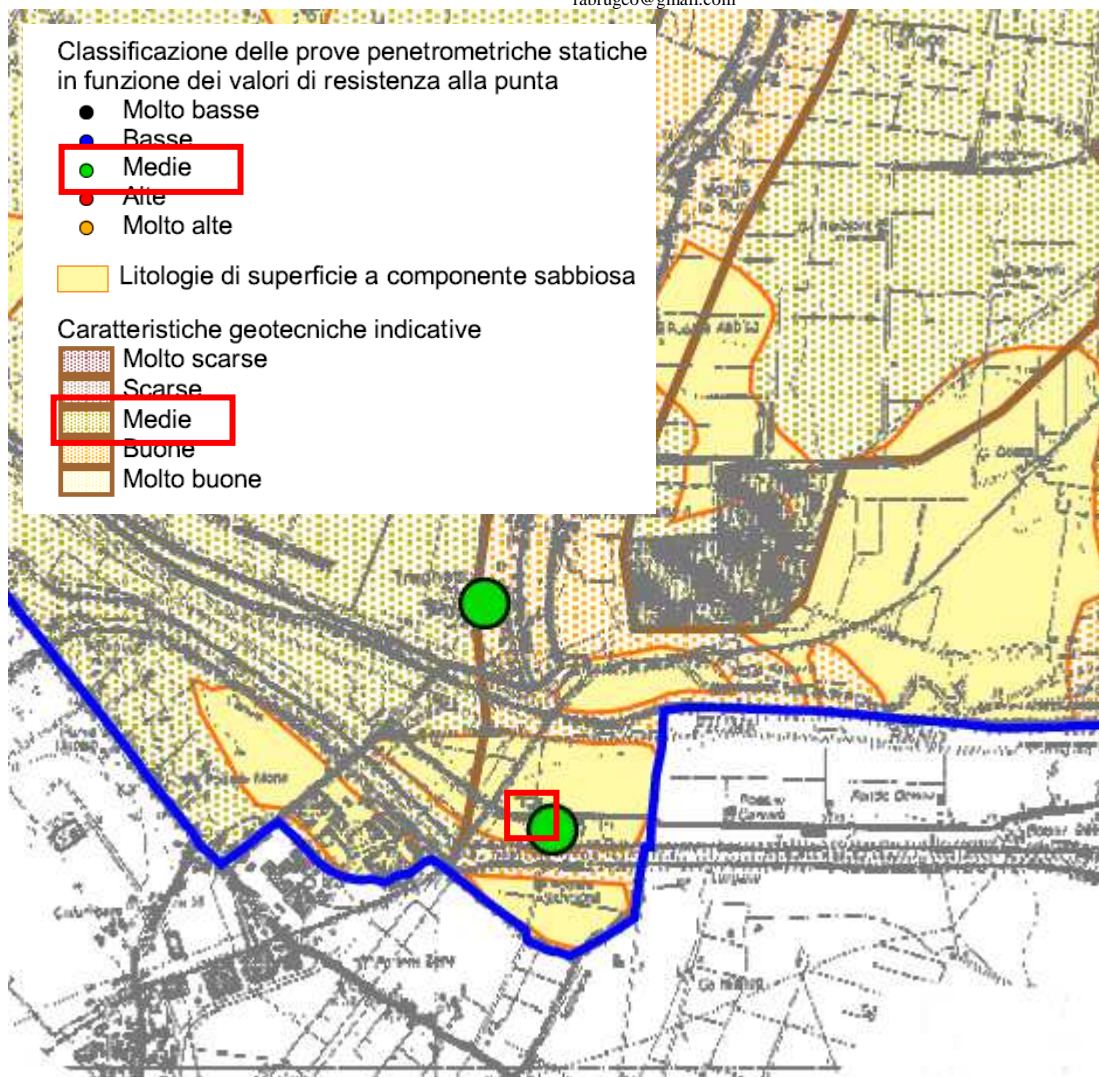
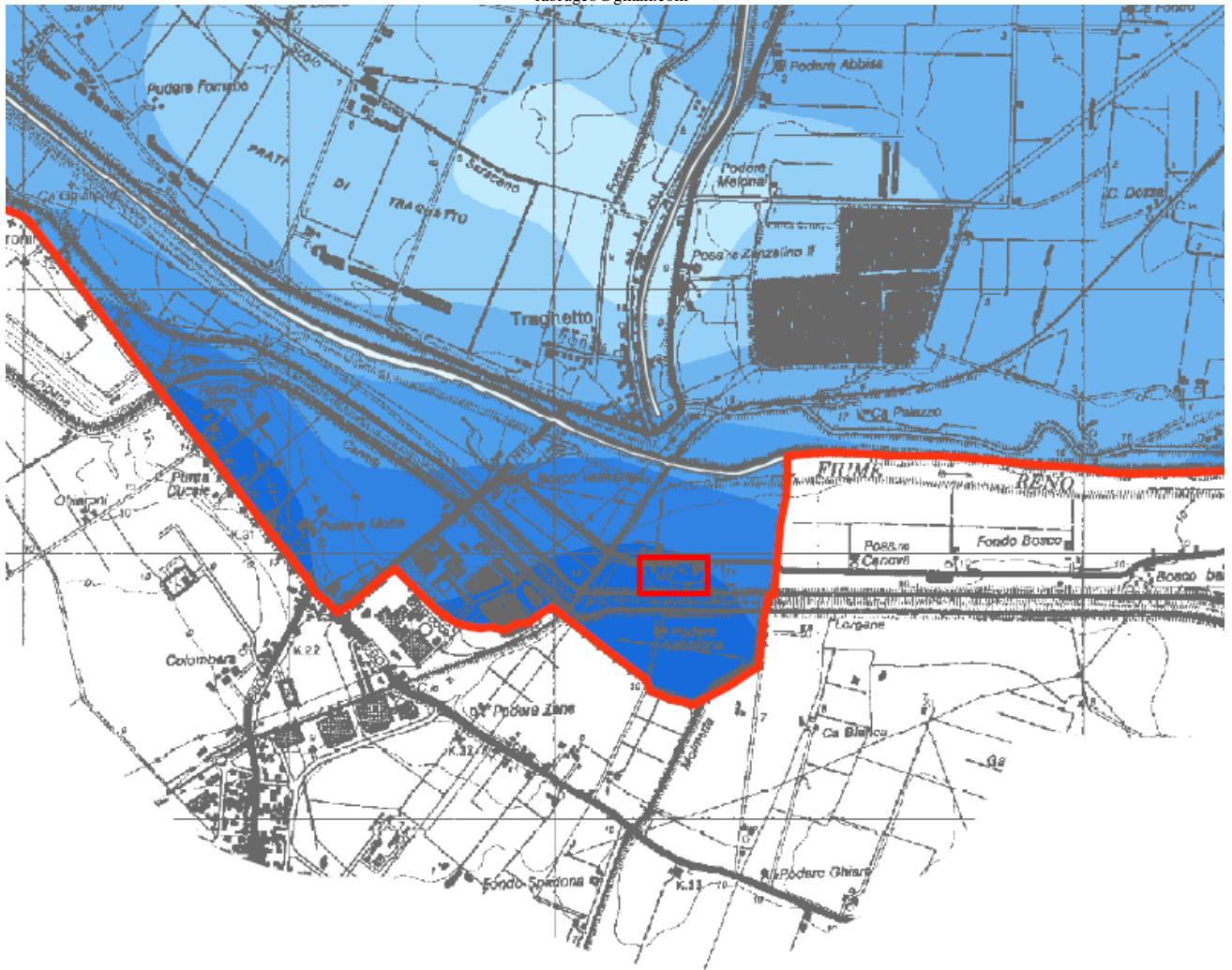


Fig. 2/29: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Tav. B.2.8, Carta delle Qualità Geotecniche del P.S.C.

3 ASSETTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO LOCALE

La falda freatica, ovvero la prima falda sospesa, regolata dai fenomeni di infiltrazione ed evapotraspirazione, è stata misurata nei fori di esecuzione dei due punti di indagine alla profondità di 3,00 m dal p.c. Tale profondità è sufficientemente congruente con i dati storici riportati dal P.S.C., che individua infatti (si veda la seguente tavola) profondità dal p.c. comprese fra 3,00 e 4,00 m. Anche le C.P.T. di bibliografia (precedentemente illustrate) riportano profondità di falda comprese fra 2,00 e 4,50 m circa dal p.c. e ciò da indicazioni anche sulla variabilità possibile ed attendibile della profondità della falda.



LEGENDA

Limiti comunali



Isobate della superficie freatica profondità dal piano di campagna (m)

	da 1.0 a 1.5
	da 1.5 a 2.0
	da 2.0 a 2.5
	da 2.5 a 3.0
	da 3.0 a 3.5
	da 3.5 a 4.0
	da 4.0 a 4.5

Fig. 3/1: Stralcio a Scala Libera della Carta delle Isobate della Falda Freatica del P.S.C. del Comune di Argenta e Legenda.

Comunque, come naturale/normale per la Pianura Padana, si avranno variazioni del livello della prima falda sospesa dell'ordine di due metri o più, in dipendenza dei regimi pluviometrici e di evapotraspirazione ovvero delle loro stagionalità. Localmente poi la falda può essere controllata da connessione con la vena fossile del paleo Savena/Idice ovvero degli attuale Canali della Botte e Lorgana. In sostanza in periodi di forte precipitazioni, e temperature ridotte, l'infiltrazione diretta porterà il livello della prima falda ad

avvicinarsi al livello del piano di campagna mentre in periodi siccitosi e temperature elevate l'evapotraspirazione deprimerà (anche fortemente) il livello della falda. Si può presumere che la falda possa oscillare fra 1,00 e 5,00 m circa dal p.c.; tali dati devono essere intesi come meramente previsionali e sono relativi a misure storiche locali in precedenza riportate. Tali oscillazioni si svilupperanno in abbassamenti nel periodo estivo e/o a scarsa precipitazione, specie se prolungata ed avvicinamenti al p.c. nei periodi invernali e/o piovosi, specie se prolungati. La natura coesiva dei terreni che subiranno tali oscillazioni, può essere suscettibile di variazioni di volume, ovvero di rigonfiamenti e ritiri dei terreni stessi. Ad esempio un prolungato essiccamento/abbassamento della falda può causare cedimenti anche rilevanti, mentre invece un prolungato imbibimento può condurre ad un eccessivo rammolimento. La variazione della falda (e/o dell'umidità naturale contenuta) può comunque causare variazioni anche considerevoli delle caratteristiche geo- meccaniche dei terreni. Il P.S.C. aggiunge ulteriori importanti considerazioni di caratterizzazione idrogeologica locale, quali ad esempio le informazioni relative ad eventi storici di alluvionamento dell'area in esame e dei suoi pressi, dall'analisi della apposita carta B.2.10: Carta delle Criticità Idrauliche (di cui si riporterà apposito stralcio) si può osservare come nè per l'area in esame nè per i suoi pressi, si rilevino terreni aventi propensione all'allagamento. Gli elaborati del P.S.C. non riportano altre indicazioni circa eventuali rischi/pericolosità derivanti dai Canali della Botte e Lorgana.

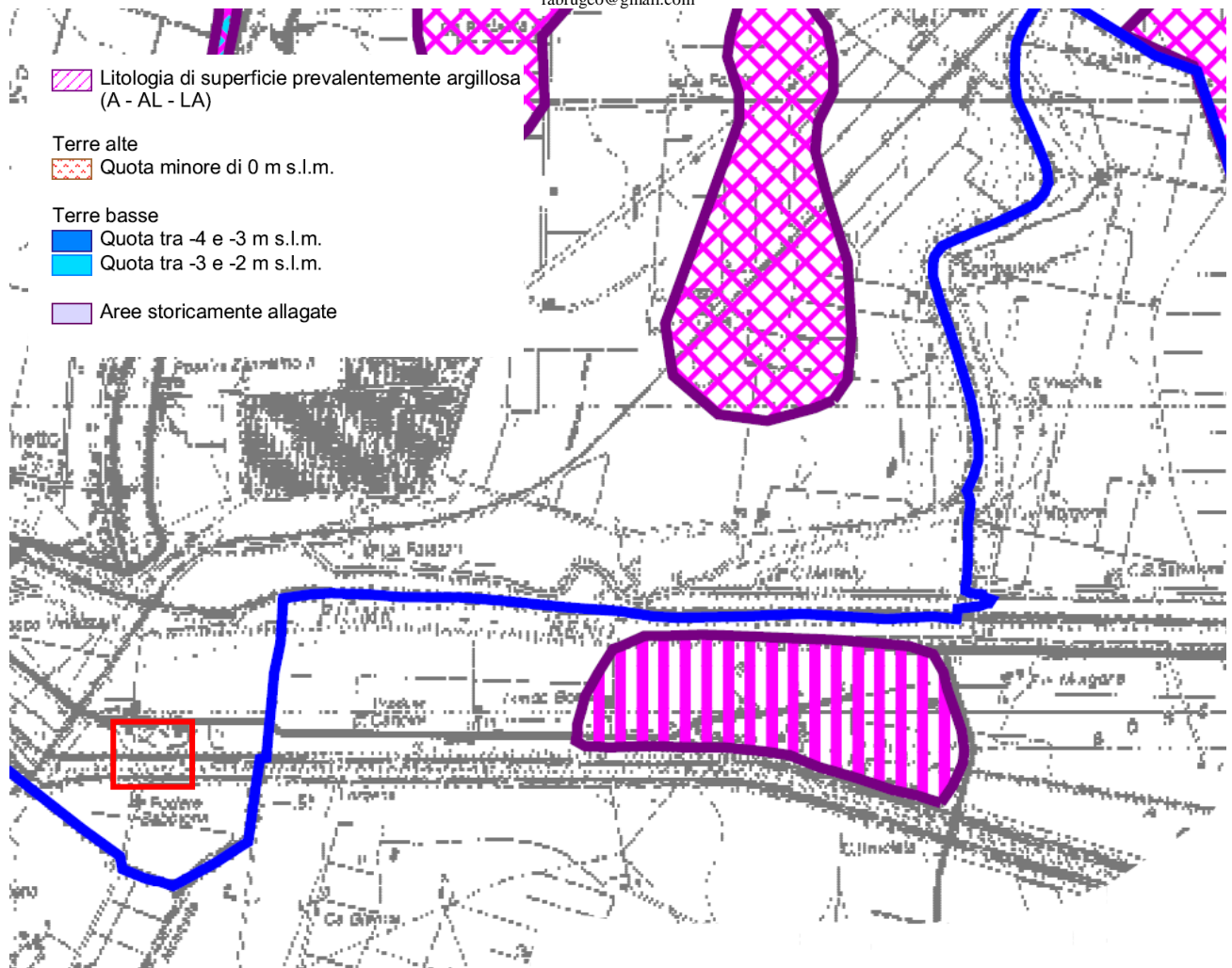
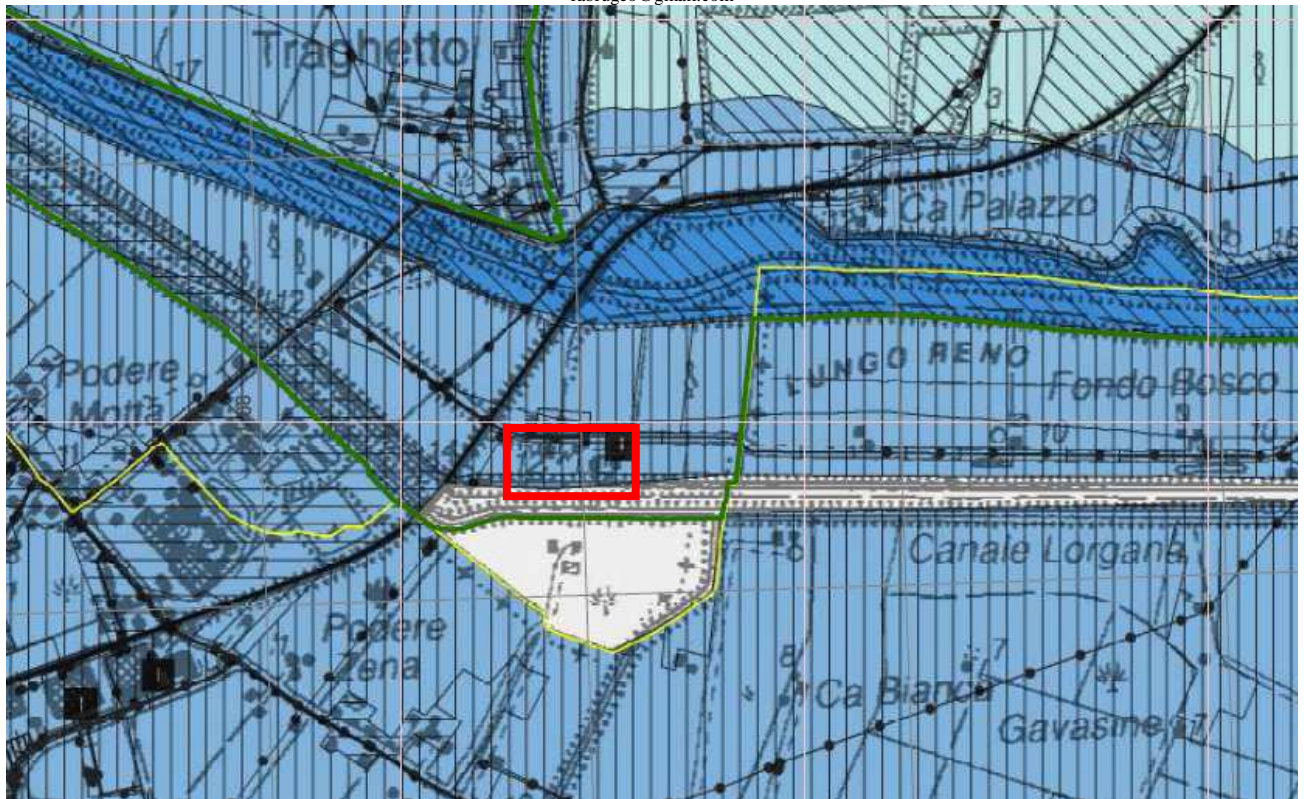


Fig. 3/2: Stralcio a Scala Libera della Tav. 2.10. Carta delle Criticità Idrauliche e del P.S.C.

Di seguito si illustreranno alcune considerazioni circa l'assetto idraulico dell'area in esame riportando stralci cartografici della Direttiva Alluvioni (DA) e del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA).



Piano di gestione del rischio di alluvioni
 Regione Emilia-Romagna

Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni
 Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti
 (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010)

Ambito territoriale: Reticolo naturale principale e secondario
 Dati consegnati nelle sedute dei Comitati Istituzionali dell'Autorità di Bacino dell'Arno e del Po del 23/12/2013

204SO - MOLINELLA

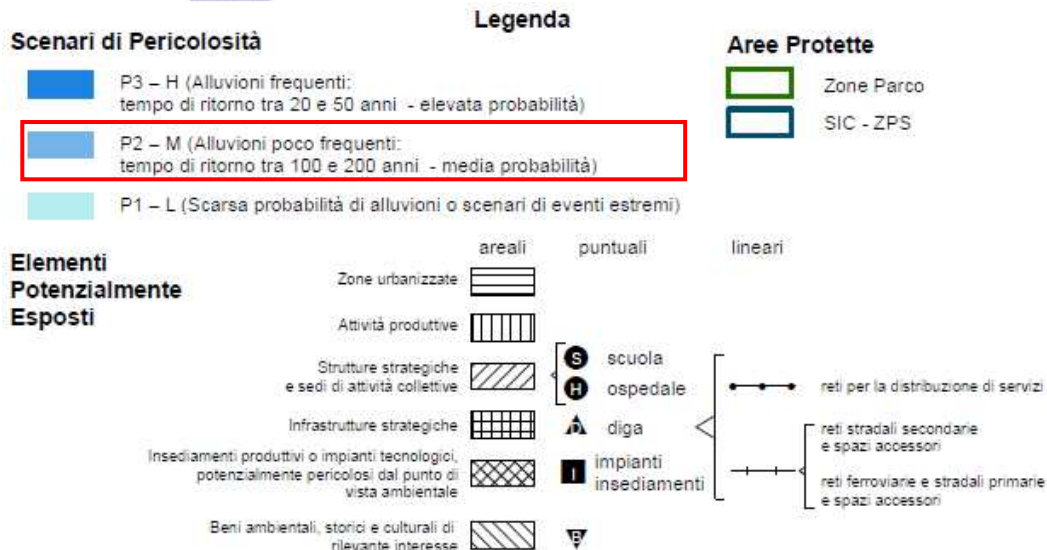


Fig. 3/3: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Mappa di Pericolosità e degli Elementi Potenzialmente Esposti della Direttiva relativa alla Valutazione e Gestione dei Rischi da Alluvioni; Reticolo Naturale Principale e Secondario.



Piano di gestione del rischio di alluvioni
 Regione Emilia-Romagna

Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla
 valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni
 Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti
 (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010)

Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura
 Dati consegnati nelle sedute dei Comitati Istituzionali dell'Autorità di
 Bacino dell'Arno e del Po del 23/12/2013

204SO - MOLINELLA

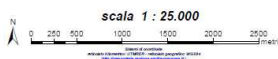
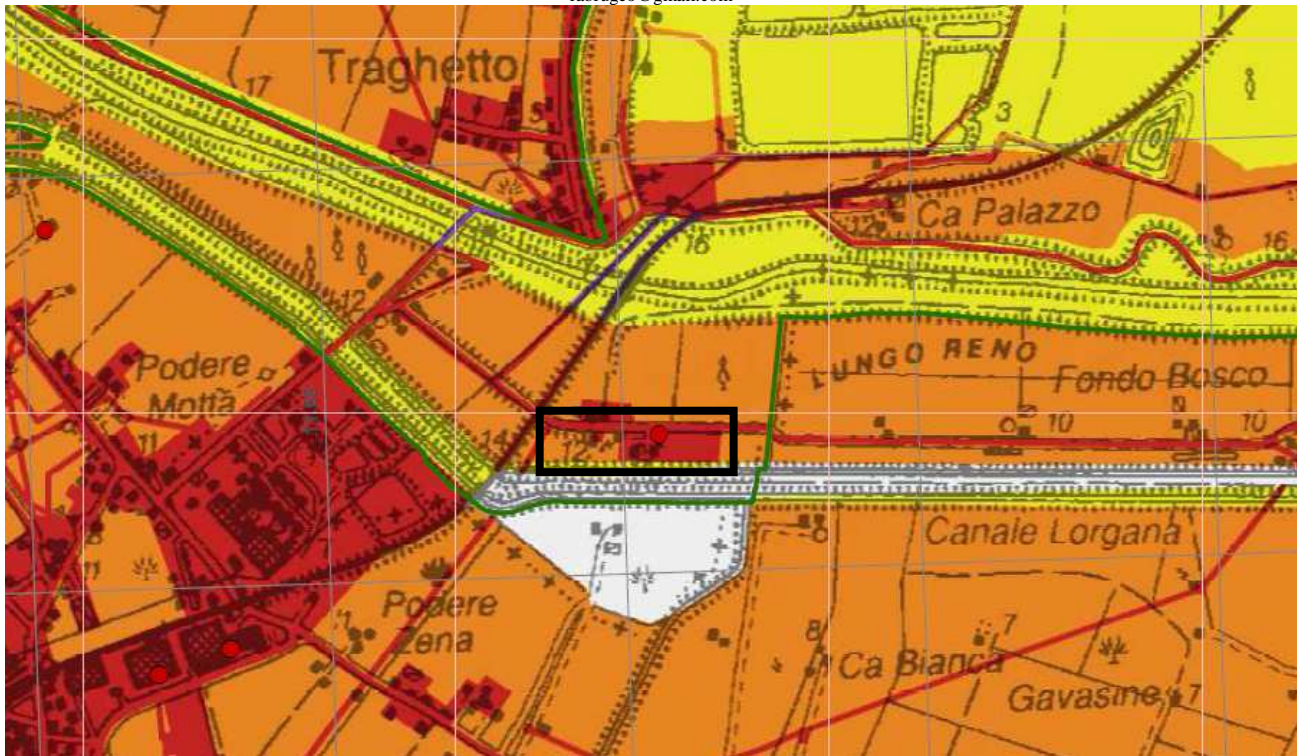


Fig. 3/4: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Mappa di Pericolosità e degli Elementi Potenzialmente Esposti della Direttiva relativa alla Valutazione e Gestione dei Rischi da Alluvioni; Reticolo Secondario di Pianura.



 Piano di gestione del rischio di alluvioni
 Regione Emilia-Romagna

Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla
 valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni
 Mappa del rischio potenziale
 (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010)

Ambito territoriale: Reticolo naturale principale e secondario
 Dati consegnati nelle sedute dei Comitati Istituzionali dell'Autorità di
 Bacino dell'Arno e del Po del 23/12/2013

204SO - MOLINELLA

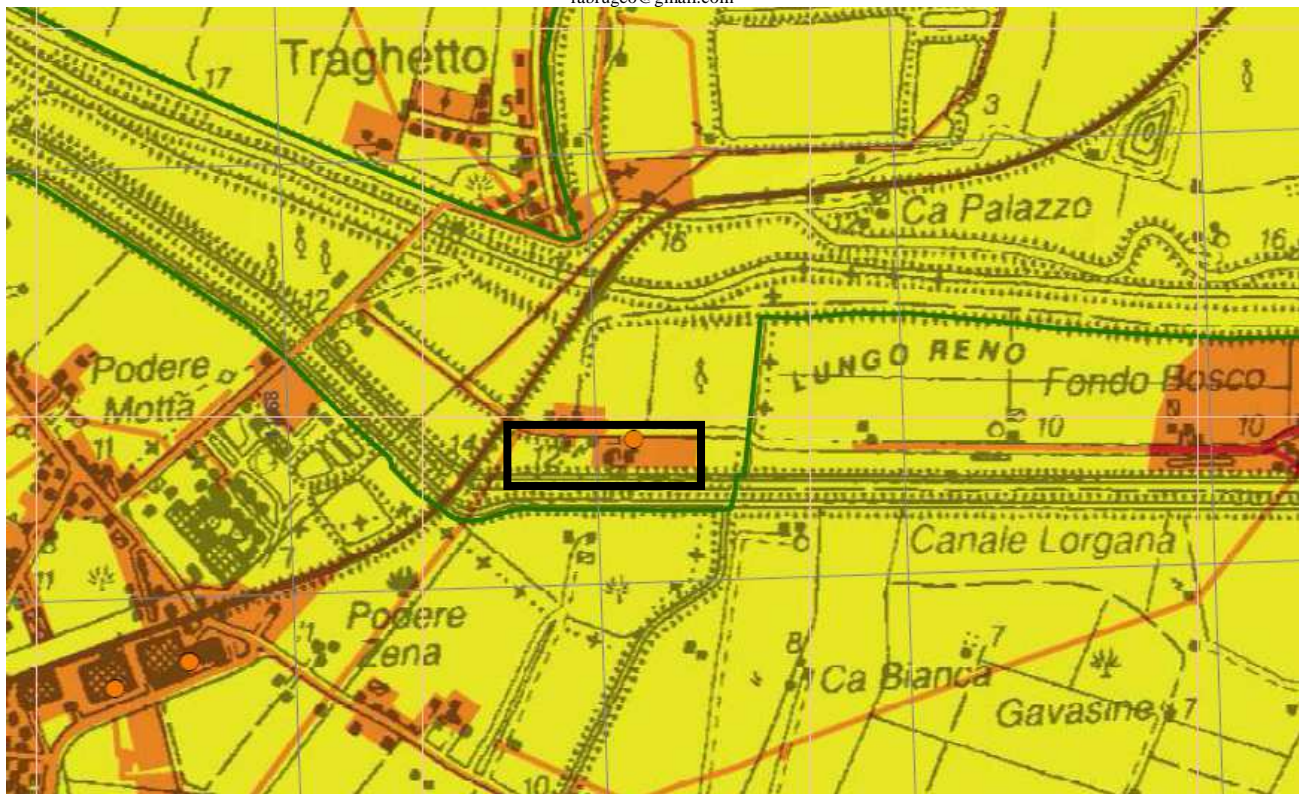
scala 1 : 25.000


Tipologia Matrice	Ambito
Matrice A	Corsi d'acqua naturali principali ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Corsi d'acqua naturali principali e secondari UoM ITI021, ITR081, ITI01319 (distretto appennino settentrionale) e reticolo secondario collinare-montano ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Aree costiere marine
Matrice C	Reticolo Secondario artificiale di Pianura

CLASSI DI RISCHIO	CLASSI DI PERICOLOSITA'		
	P3	P2	P1
D4	R4	R3	R2
D3	R3	R3	R1
D2	R2	R2	R1
D1	R1	R1	R1

Figura 3 – Matrice del rischio di tipo B

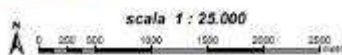
Fig. 3/5: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Mappa del Rischio Potenziale della Direttiva relativa alla Valutazione e Gestione dei Rischi da Alluvioni; Reticolo Naturale Principale e secondario.



Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni
 Mappa del rischio potenziale
 (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010)

Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura
 Dati consegnati nelle sedute dei Comitati Istituzionali dell'Autorità di Bacino dell'Arno e del Po del 23/12/2013.

204SE - ARGENTA



Tipologia Matrice	Ambito
Matrice A	Corsi d'acqua naturali principali ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Corsi d'acqua naturali principali e secondari UoM ITI021, ITR081, ITI01319 (distretto appennino settentrionale) e reticolo secondario collinare-montano ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Aree costiere marine
Matrice C	Reticolo Secondario artificiale di Pianura

CLASSI DI RISCHIO CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'	
	P3	P2
D4	R3	R2
D3	R3	R1
D2	R2	R1
D1	R1	R1

Figura 4 - Matrice del rischio di tipo C

Fig. 3/6: Stralcio a Scala Libera e Legenda della Mappa del Rischio Potenziale della Direttiva relativa alla Valutazione e Gestione dei Rischi da Alluvioni; Reticolo Naturale Principale e secondario.

In pratica, riepilogando, dai contenuti della Direttiva Alluvioni, per l'area in esame si può evincere quanto segue:

- in merito al Reticolo Naturale Principale e Secondario: la Classe di Danno è compresa fra D1 e D4 e il Rischio corrispondente è compreso fra R2: Rischio Medio e R3: Rischio Elevato. I corrispondenti Pericoli (o la corrispondente Pericolosità) sono legati a Alluvioni Poco Frequenti, con tempo di ritorno compreso fra 100 e 200 anni, a Media Probabilità di accadimento: P21- M.

- In merito al Reticolo Secondario di Pianura si può invece rilevare quanto di seguito: la Classe di Danno è compresa fra D1 e D4 e il Rischio corrispondente è compreso fra R2: Rischio Medio e R3: Rischio Elevato. Il corrispondente Pericolo (o Pericolosità) è connesso alla possibilità di Alluvioni Poco Frequenti, con Tempo di Ritorno compreso fra 100 e 200 anni e che conducono ad una Media Probabilità di accadimento: P2- M.

I Rischi di cui sopra vengono di seguito descritti:

La cartografia rappresentata consiste nella mappatura del rischio di alluvioni, predisposta in attuazione della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010. In particolare, l'art. 6 comma 5 del D.Lgs. 49/2010 recita:

"Le mappe del rischio di alluvioni indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni, nell'ambito degli scenari di cui al comma 2 e prevedono le 4 classi di rischio di cui al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 29 settembre 1996, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 3 del 5 gennaio 1999 [...]".

Il D.P.C.M. 29.09.98 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e del D.L. 11.06.96, n. 160", richiamato nel D.Lgs. 49/2010, definisce quattro classi di rischio:

•**R4 (rischio molto elevato):** per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

•**R3 (rischio elevato):** per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;

•**R2 (rischio medio):** per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

•**R1 (rischio moderato o nullo):** per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.

Ai fini dell'attuazione del D.Lgs. 49/2010, le mappe del rischio sono state elaborate seguendo le indicazioni di cui al documento "Indirizzi operativi per l'attuazione della direttiva 2007/60/ce relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni", (MATTM, aprile 2013: http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/varii/documento_definitivo_indirizzi_operativi_direttiva_alluvioni_gen_13.pdf)

in base ai quali la definizione del concetto di rischio si basa sulla seguente formula:
 $R = P \times E \times V = P \times D_p$ dove:

P (pericolosità): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;

E (elementi esposti): persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;

V (vulnerabilità): grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;

D_p (danno potenziale): grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;

R (rischio): numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità.

L'analisi del rischio è stata svolta, pertanto, sovrapponendo, mediante procedure automatizzate su piattaforma GIS - Arcmap, alle mappe della pericolosità di alluvioni la cartografia degli elementi esposti distinti in 4 classi di danno potenziale (da D4 a D1), utilizzando l'algoritmo definito dagli "Indirizzi operativi" del MATTM, in particolare mediante la elaborazione di una matrice generale (Figura 1) che associa le classi di pericolosità P1, P2, P3 alle classi di danno D1, D2, D3 e D4, declinata in funzione della specificità e dell'intensità dei processi attesi (Figura 2, Figura 3 e 4).

Pertanto, definiti i 3 livelli di pericolosità (P3, P2, P1) e i 4 di danno potenziale (D4, D3, D2, D1) sono stati stabiliti i quattro livelli di Rischio conseguenti R4, R3, R2 ed R1 e quindi redatte le mappe del rischio.



Tipologia Matrice	Ambito
Matrice A	Corsi d'acqua naturali principali ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Corsi d'acqua naturali principali e secondari UoM ITI021, ITR081, ITI01319 (distretto appennino settentrionale) e reticolo secondario collinare-montano ITN008 (distretto padano)
Matrice D	Aree costiere marine
Matrice C	Reticolo Secondario artificiale di Pianura

Fig. 3/7: Stralcio della Legenda della Mappa del Rischio Potenziale della Direttiva relativa alla Valutazione e Gestione dei Rischi da Alluvioni; la matrice applicabile è la B come individuato dalla seguente figura.

4: NOTAZIONI SIMICHE LOCALI

La classificazione sismica dell'area in esame basata sui contenuti del D.M. 14/01/08- N.T.C. e determinata sulla base delle numerose misure (di varia tipologia) realizzate nel corso degli anni sull'area dello Stabilimento Rechim riportano valori compresi fra 190 e 210 m/s ca. Per tali valori di Vs30 si può in tutti i modi adottare la Categoria di suolo C come da Tab. 3.2.II del DM/NTC 18 (come di seguito riportata).

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (3.2.1)$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Avanassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Fig. 4/1: Tabella 3.2.II da NTC 2018.

Relativamente all'individuazione della frequenza propria di vibrazione del terreno di fondazione, quella individuata è di circa 1,00 Hz, o meglio: compresa fra 0,6 e 1,00 Hz ca., ricade cioè nel normale range della bassa Pianura Padana e che caratterizzano il Comune di Argenta, di Molinella ed i dintorni dell'area in esame. Dette frequenze sono congruenti alle possibili modificazioni del segnale sismico connesse ad individuazioni profonde del "bed- rock like" sismicamente inteso, ovvero di una significativa differenza di "rigidità sismica" (come sopra individuata).

5 STORIA SISMICA LOCALE e DETERMINAZIONE DEL VALORE DI MW.

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,50 e 6 e intensità massime risentite del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti 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 sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico. Tale sismicità è dovuta al processo ancora attivo di costruzione della catena appenninica. In particolare risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza- Parma, Reggio Emilia e di Ferrara. (Boccaletti et al., 2004). A seguito del terremoto del Molise del 2002, è stata elaborata una nuova Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale e la progettazione in zona sismica non è più effettuata secondo zone di pari sismicità ma viene effettuata a partire dai valori assoluti di scuotimento del suolo attesi secondo la nuova mappa di pericolosità sismica (che verranno riportate alle figure seguenti). Il territorio del Comune di Argenta è classificato come zona sismica 2 e ad esso è associato un valore di accelerazione massima al suolo compreso tra 0,125 e 0,175 g, sino all'anno 2002 non era (incredibilmente) classificato come zona sismica.

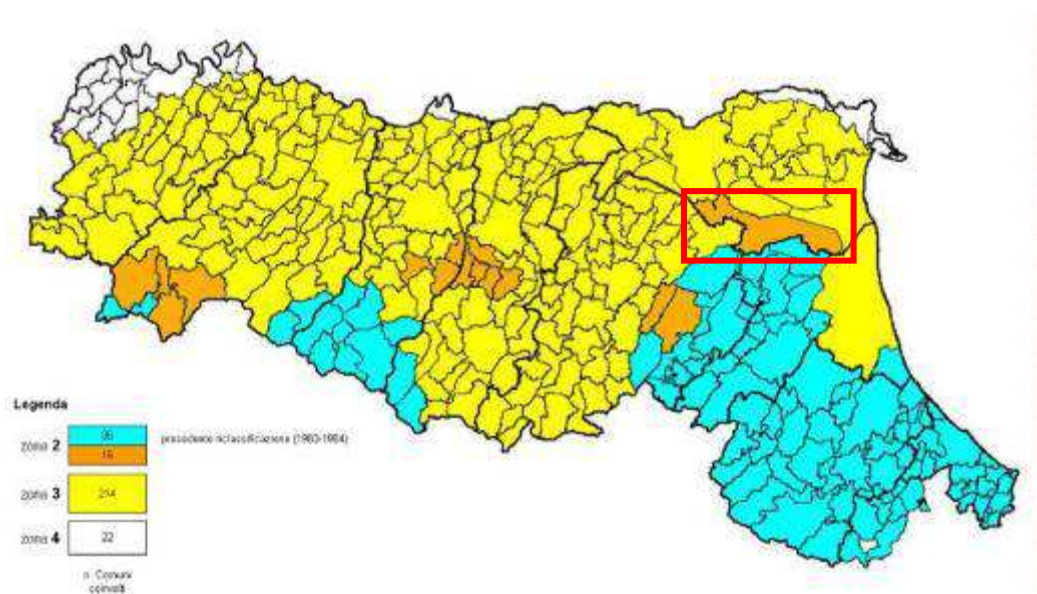


Fig. 5/1: Classificazione sismica del territorio regionale secondo l'OPCM 3274/2003. Il Comune di Argenta (colore giallo, evidenziato dal riquadro nero), precedentemente non classificato, viene attribuito alla zona 2.

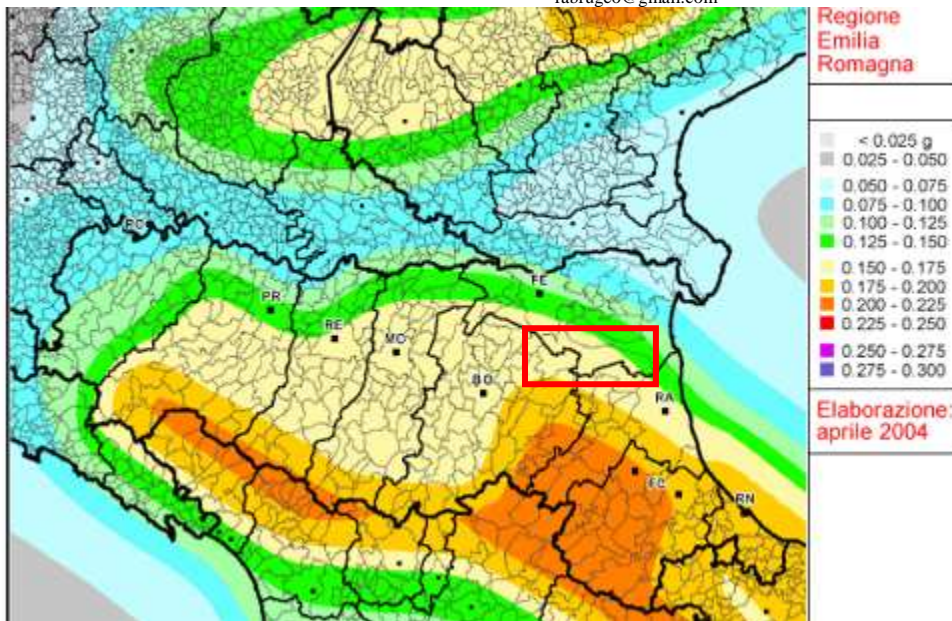


Fig. 5/2 Mappa di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Cat. A). All'area del Comune di Argenta è associata un'accelerazione compresa tra 0,125 e 0,175 g. (Meletti & Montalbo, 2007).

Di seguito si riporta una mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti nella Regione Emilia-Romagna dal XIII secolo ad oggi. Si può osservare che la maggior sismicità è concentrata nella zona dell'Appennino Romagnolo. Relativamente ai pressi (molto allargati invero) dell'area in esame (riquadro nero) si osservano alcuni eventi di magnitudo compresa tra 5.4 e 5.9 (Mw).

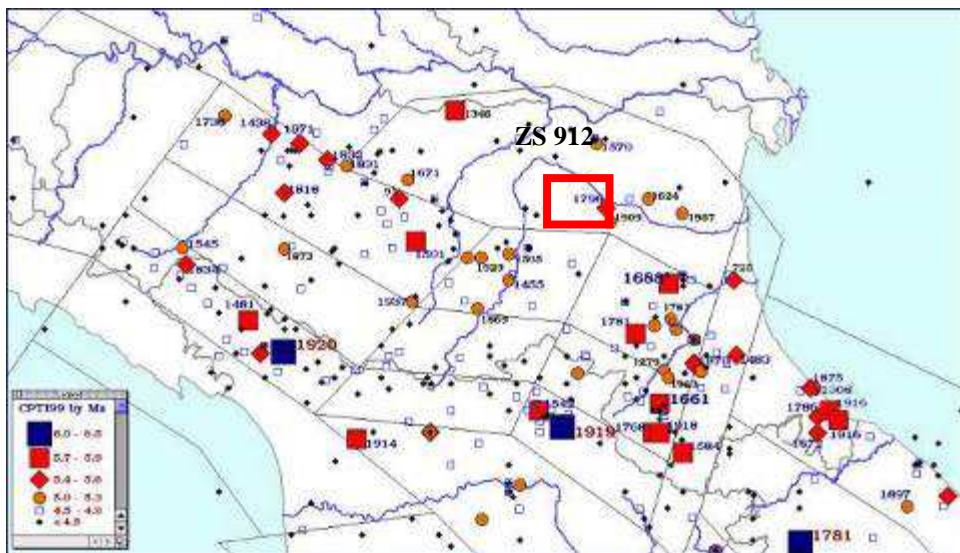


Fig. 5/3: Mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti in Emilia-Romagna dal XIII sec. ad oggi per classi di magnitudo (CPTI 99). Scala Libera.

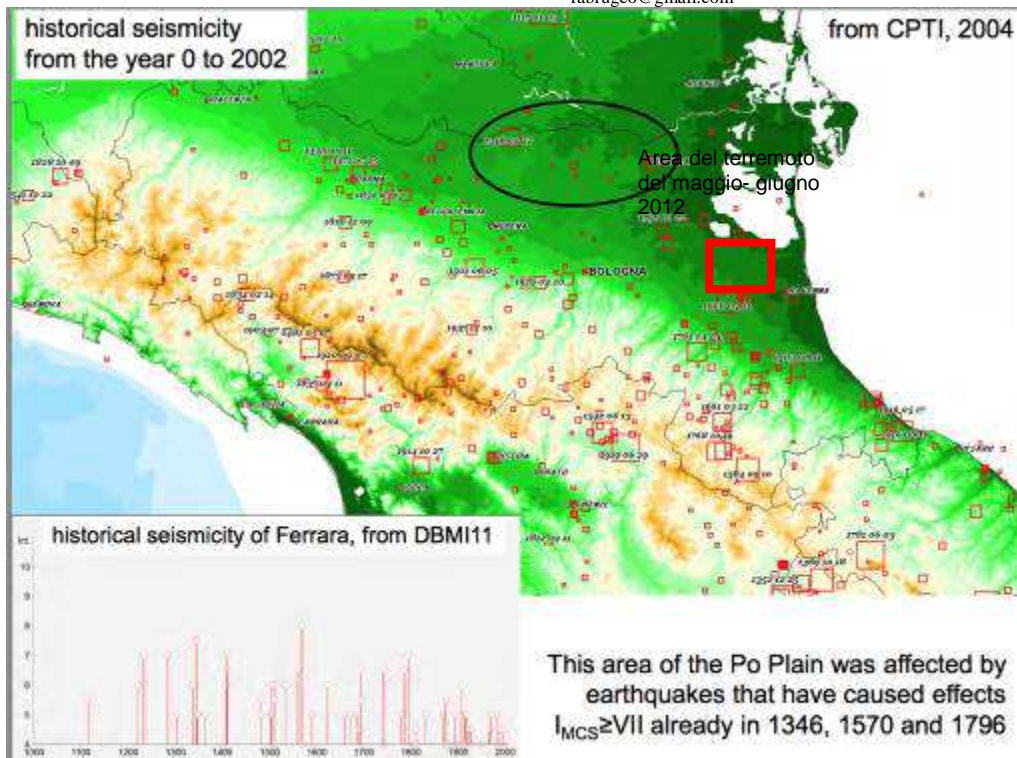


Fig. 5/4: Mappe degli epicentri dei terremoti avvenuti in Emilia- Romagna dal XIII sec. ad oggi per classi di magnitudo (CPTI 99). Scala Libera. La figura riporta l'area del "cratere sismico" (come volgarmente ed imprecisamente denominato) di maggio-giugno 2012.

La città di Argenta, in particolare, è stata colpita da due forti terremoti nel 1624 (Intensità VIII-IX, Mw 5.4) e nel 1898 (Intensità VII, Mw 5). In precedenza anche il terremoto di Ferrara del 1570 aveva originato risentimenti non trascurabili. Nel 1956 si è avuto l'evento nominato Argenta ($M_L = 4,82$; $I = 7$) e negli ultimi anni si sono ulteriormente registrati alcuni piccoli terremoti ($M_L < 4$) di cui l'ultimo il 25 Marzo 2010, di magnitudo locale (M_L) 2.3, con epicentro nel Comune di Ostellato (da dati INGV). Alla seguente tabella si riporta la storia sismica molto articolata del Comune di Argenta (come tratta dall'apposito sito dell'INGV).

Storia sismica di Argenta
[44.615, 11.837]

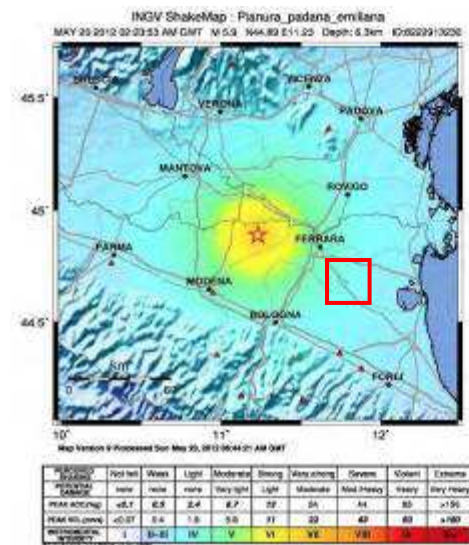
Numero di eventi: 39

Effetti		In occasione del terremoto del:		
I (MCS)	Data	Az.	Np	Io Mw
5-6	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8 5.46 ±0.25
8-9	1624 03 19 19:05	Argenta	18	7-8 5.47 ±0.49
5	1672 04 14 16:45	Riminese	92	8 5.61 ±0.21
5	1688 04 11 12:20	Romagna	39	8-9 5.78 ±0.35
F	1725 10 29 17:40	Appennino tosco-emiliano	28	8 5.43 ±0.34
5	1781 04 04 21:20	Romagna	96	9-10 5.94 ±0.17
6	1781 07 17 09:40	Romagna	46	8 5.58 ±0.26
5	1870 10 30 18:34	Romagna	41	8 5.58 ±0.27
F	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
3	1887 09 30 15:55	Faenza	10	5 4.33 ±0.50
3	1889 03 08 02:57	Bolognese	38	5 4.73 ±0.22
3	1889 12 08	APRICENA	122	7 5.69 ±0.13
4-5	1891 06 07 01:06	Valle d'Illyria	403	8-9 5.86 ±0.06
5	1895 03 23	COMACCHIO	37	6 4.74 ±0.31
5	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8 6.23 ±0.08
3	1895 06 10 01:47	VALDOBBIADENE	73	6 5.03 ±0.13
7	1898 01 16 12:10	Romagna settentrionale	73	6-7 6.79 ±0.33
3	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.08
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14
6	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.83 ±0.09
3	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7 5.28 ±0.11
4	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
3	1915 01 13 06:52	Averzano	1041	11 7.00 ±0.09
3	1918 11 10 15:12	Appennino romagnolo	187	9 5.88 ±0.11
3	1928 03 27 08:32	Carnia	359	9 5.84 ±0.09
4	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7 5.03 ±0.13
3	1929 04 22 08:25	Bolognese	41	
4	1931 03 27 02:46	Ferrarese	7	6 4.81 ±0.67
5-6	1956 02 20 01:29	ARGENTA	32	5-6 4.82 ±0.18
4	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
3-4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
NF	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
4	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
NF	2000 05 06 22:07	Emilia Romagna	84	5 4.17 ±0.09
NF	2000 05 08 12:29	Emilia Romagna	126	5 4.66 ±0.09
2	2000 05 10 16:52	Emilia Romagna	151	5-6 4.86 ±0.09
4	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09
NF	2003 12 07 10:20	Zona Forlì	172	5 4.22 ±0.09



Fig. 5/5 e 5/6: storia sismica del Comune di Argenta, L'Intensità Sismica (Is) massima registrata è pari a 8,5. Di seguito si riporteranno i tre eventi evidenziati, in quanto localmente sono i più significativi.

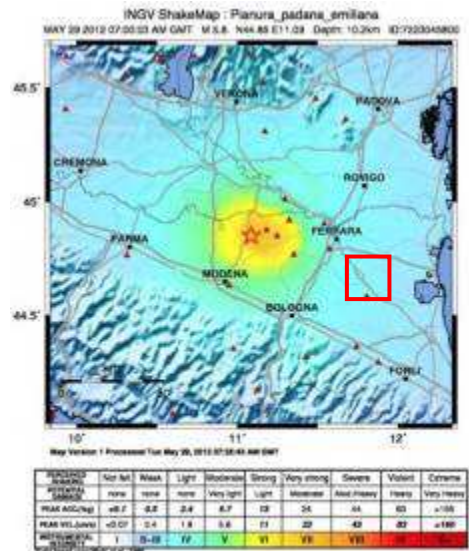
Chiaramente la sequenza sismica di maggio (20 e 29) e giugno 2012 ha sensibilmente modificato la cognizione di sismicità dell'area della Bassa Padana che, seppur sottovalutata dagli strumenti di pianificazione regionale denota in realtà una storia sismica di non poco conto e di cui si dirà nel prosieguo della presente relazione e che avrebbe dovuto aver maggior considerazione generale, sia da parte della pianificazione che della stessa cittadinanza. Di seguito si riportano una serie di figure relative a tale sequenza sismica.



On May 20, 2012 at 04:03 (local time) an earthquake $M_L=5.9$ struck the Po Plain. The epicenter was located east of Mirandola and north of the Final Emilia (Modena Province). The same day another 2 shocks $M_L > 5$ were felt. In the municipalities of Mirandola, S. Felice sul Panaro and Finale Emilia effects up to $I_{EMS} = VII$ were observed (data from QUEST report, INGV). People evacuated after the shocks of 20/5 were about 7000

epicenter coordinates: 44.89°N, 11.23°E
 depth: 6.3 km

Fig. 5/7: Ubicazione degli epicentri degli eventi del 20 maggio 2012 e sviluppo areale delle relative intensità; il quadratino riporta l'area in esame, Scala libera (immagini tratte da L. Martelli- SGS Regione Emilia- Romagna; 7th Euregeo, Bologna 12- 15 Giugno 2012). Scala Libera.



At 09:00 (local time) on May 29, 2012 another strong earthquake, $M_L=5.8$, shaken the Modena Plain. The epicenter was located near Medolla (MO), 10 km WSW from the 20/5 main shock. Also this new shock caused effects up to $I_{EMS}=VII$ (from QUEST report, INGV), aggravating the situation in the municipalities of Medolla, Concordia sulla Secchia, Cavezzo and S. Possidonio (MO), and in some towns of the Mantua province.

epicenter coordinates: 44.85°N, 11.09°E
 depth: 10.2 km

Fig. 5/8: Ubicazione degli epicentri degli eventi del 29 maggio 2012 e sviluppo areale delle relative intensità; il quadratino riporta l'area in esame, Scala libera (immagini tratte da L. Martelli- SGS Regione Emilia- Romagna; 7th Euregeo, Bologna 12- 15 Giugno 2012). Scala Libera.

Durante la sequenza sismica emiliano del 2012, il Comune di Argenta ha infatti risentito seppure in maniera modestissima dello scuotimento, si sono registrati valori di accelerazione orizzontale pari ad un decimo di quelle epicentrali, ma si sono comunque avuti danni a strutture quali soprattutto le chiese, sull'intero territorio comunale, da Santa Maria Codifume e San Nicolò (quindi non troppo lontani dall'area in esame) ad Anita. La magnitudo attesa per il territorio del Comune di Argenta (e di una ulteriore fascia molto estesa della Provincia di Ferrara) è pari a $M_w = 6,14$ circa, il valore è indicato dall'INGV, come riportato dalla seguente tabella.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 26.03.03, n.3274)
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	MwMax1	Tassi AR	MwMax2	b	Tassi da CO-04.2	Tassi da GR	Azione	Tassi GR adottati
Savoia	901	5.91	0.21	6.14	-1.18	0.14	0.11	A	0.11
Vallese	902	6.14	0.14	6.14	-1.26	0.14	0.19	A	0.14
Grigioni-Valtellina	903	5.91	0.21	6.14	-1.26	0.14	0.23	A	0.14
Trieste-Monte Nevoso	904	5.68	0.42	6.14	-1.12	0.14	0.14	A	0.14
Friuli-Veneto Orientale	905	6.60	0.33	6.60	-1.05	0.11	0.37	B	0.37
Garda-Veronese	906	6.60	0.11	6.60	-1.14	0.11	0.11	A	0.11
Bergamasca	907	5.91	0.14	6.14	-1.71	0.14	0.03	C	0.04
Piemonte	908	5.68	0.21	6.14	-1.91	0.14	0.03	C	0.04
Alpi Occidentali	909	5.68	0.21	6.14	-1.27	0.14	0.10	A	0.10
Nizza-Sanremo	910	6.37	0.14	6.37	-1.12	0.14	0.14	A	0.14
Tortona-Bobbio	911	5.68	0.21	6.14	-1.47	0.14	0.05	A	0.05
Dorsale Ferrarese	912	6.14	0.12	6.14	-1.35	0.12	0.13	A	0.12
Appennino Emiliano-Romagn.	913	5.91	0.14	6.14	-1.80	0.14	0.07	A	0.07
Forlivese	914	5.91	0.57	6.14	-1.33	0.14	0.26	A	0.14
Garfagnana-Mugello	915	6.60	0.14	6.60	-1.34	0.14	0.11	A	0.11
Versilia-Chianti	916	5.68	0.21	6.14	-1.96	0.14	0.02	C	0.04
Rimini-Ariccia	917	6.14	0.12	6.14	-1.04	0.12	0.43	A	0.12
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918	6.37	0.14	6.37	-1.10	0.14	0.37	A	0.14
Appennino Umbro	919	6.37	0.25	6.37	-1.22	0.12	0.26	B	0.26
Val di Chiana-Ciociaria	920	5.68	0.28	6.14	-1.96	0.14	0.06	A	0.06
Etruria	921	5.91	0.14	6.14	-2.00	0.14	0.05	A	0.05
Colli Albani	922	5.45	0.42	5.45	-2.00	0.21	0.37	B	0.37
Appennino Abruzzese	923	7.06	0.14	7.06	-1.05	0.14	0.25	A	0.14
Molise-Gargano	924	6.83	0.17	6.83	-1.04	0.17	0.13	A	0.13
Oriente	925	6.83	0.17	6.83	-0.67	0.17	0.28	A	0.17
Basento	926	5.91	0.21	6.14	-1.28	0.21	0.10	A	0.10
Sannio-Irpinia-Basilicata	927	7.06	0.33	7.06	-0.74	0.17	0.43	B	0.43
Iscchia-Vesuvio	928	5.91	0.21	5.91	-1.04	0.21	0.35	A	0.21
Calabria Tirrenica	929	7.29	0.17	7.29	-0.82	0.17	0.33	A	0.17
Calabria Ionica	930	6.60	0.17	6.60	-0.96	0.17	0.23	A	0.17
Canale d'Otranto	931	6.83	0.21	6.83	-0.63	0.21	0.22	A	0.21
Eolie-Palti	932	6.14	0.21	6.14	-1.21	0.21	0.25	A	0.21
Sicilia settentrionale	933	6.14	0.21	6.14	-1.39	0.21	0.20	A	0.20
Belice	934	6.14	0.21	6.14	-0.96	0.21	0.20	A	0.20
Iblei	935	7.29	0.12	7.29	-0.72	0.12	0.13	A	0.12
Etna	936	5.45	0.33	5.45	-1.63	0.33	0.57	A	0.33

Fig. 5/9: Tabella dell'INGV dal Rapporto Conclusivo della Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica (Aprile 2004).

Tale valore è molto penalizzante per l'area in esame ma discende da una analisi statistico/probabilistica dei suddetti eventi sismici, analisi che tiene conto della loro magnitudo e distanza dall'area in esame (sono considerati solo gli eventi registrati nella cella 912). Si deve considerare che la scala di misura della magnitudo è logaritmica, quindi $M = 6,14$ "mette in gioco" energie sismiche (in senso lato) enormemente superiori a $M = 5,43$ (dell'evento del 1624). In realtà dalla di seguito riportata analisi di disaggregazione dei valori di M , relativa alle registrazioni storiche (di cui sopra) del territorio del Comune di Argenta si potrà quindi concludere che il Valore di M_w maggiormente è localmente atteso pari a 5,20 (o meglio: compreso fra 5,18 e 5,20) come verrà anche più oltre ulteriormente illustrato).

Nel complesso (come da Fig. 23) l'assetto maggiormente probabile è il seguente:

- MI compreso fra 4,0 e 4,5 riconduce a percentuali massime attese (di accadimento) comprese fra 15 e 20%;
- MI compreso fra 4,5 e 5,0 riconduce a percentuali massime attese (di accadimento) comprese fra 25 e 30%;
- MI compreso fra 5,0 e 5,5 riconduce a percentuali massime attese (di accadimento) comprese fra 11 e 15%; $M_w = 5,20$ (circa) è il valore atteso localmente che riporta cioè la maggior probabilità di accadimento; - $M_w = 5,40$ è la magnitudo massima, storica, degli eventi che hanno avuto epicentro nel Comune di Argenta (1624);
- MI compreso fra 5,5 e 6,0 riconduce a percentuali massime attese (di accadimento) comprese fra 5 e 7%; $M_w = 5,90$ è la magnitudo dell'evento sismico dell'Emilia 2012, che potrebbe quindi essere considerata del tutto plausibile (evidentemente);
- $MI > 6,0$ quindi per ricondursi al valore massimo localmente atteso di 6,14 si potrà osservare che la possibilità di accadimento (postulando tutta una serie di assunzioni statistico- probabilistiche che però nulla possono avere a che fare con la reale natura di un evento sismico. Come già riportate in relazione) è compresa fra 0 e 1%.

In realtà sono questi valori di MI che poi debbono essere convertiti in M_w (si veda più oltre, ma poichè differiscono di poco, qualitativamente l'informazione è corretta).

Lo studio di disaggregazione indica che le distanze epicentrali più probabili, per il caso in esame sono comprese fra 0 e 30 Km con distanze di risentimento sismico meno importanti sino a 100 Km.

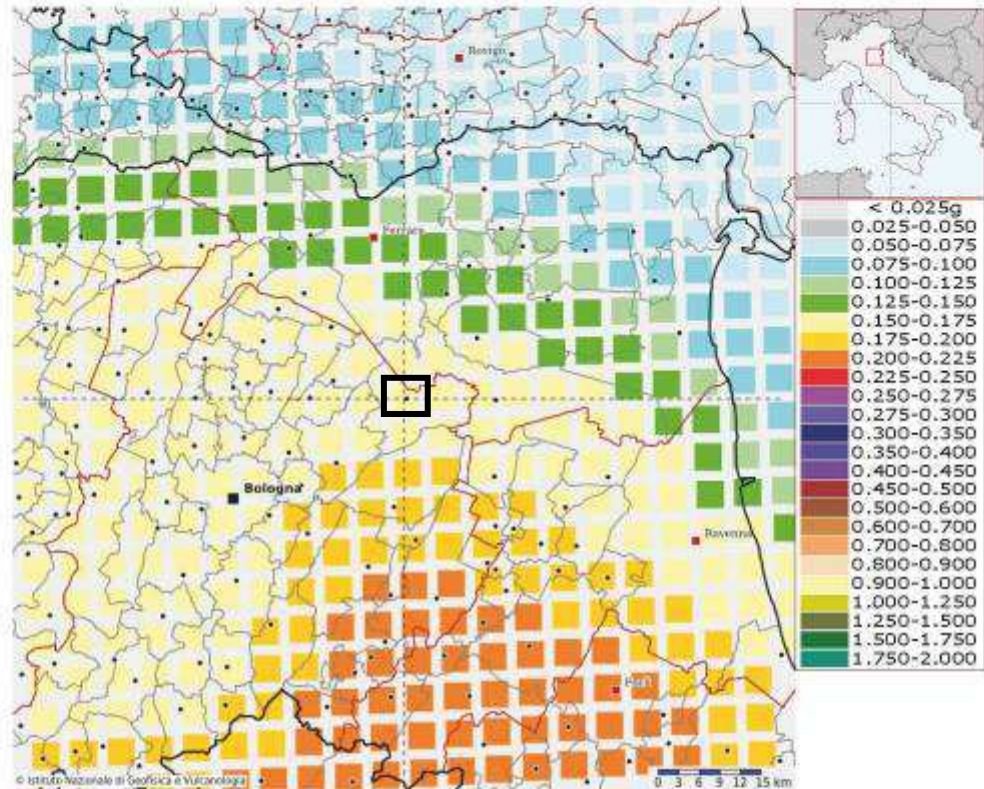
Circa l'utilizzo dei valori di M_w discendenti dai metodi di disaggregazione statistico- probabilistica occorre comunque rimarcare come l'intero processo di disaggregazione dei dati sismici sia da considerare come meramente indicativo, si deve infatti rilevare come detta disaggregazione si basi su un assunto non applicabile agli eventi sismici, ovvero che non possa accadere un evento sismico maggiore di quanto già accaduto. L'inghippo è lampante. Si osservi ad esempio che per i territori del sisma dell'Emilia del 2012 (non troppo lontani dall'area in esame e riconducibili alla stessa Zona Sismo- Genetica) la disaggregazione discendente dall'applicazione dei metodi sopra riportata sia stata pesantemente superata dalla realtà Dell'evento poi realmente accaduto. Infatti anche i territori dell'evento sismico dell'Emilia del maggio-giugno 2012 riportavano valori attesi di M_w lievemente superiori a 5, in realtà poi il sisma realmente accaduto fu di $M_w = 5,9$. Si consideri che la scala di misura della magnitudo è logaritmica, per cui un evento registrato a 5,9 sviluppa energie enormemente maggiori di un evento registrato a magnitudo 5,2. Quindi tali studi di disaggregazione dovranno essere considerati con la massima attenzione. Nelle più oltre proposte verifiche alla liquefazione si vedrà come i valori discendenti dall'utilizzo dei vari valori di M_w verranno ricondotti ad un discorso di accettabilità del "rischio" (più correttamente da indicare come pericolosità). In sostanza è più opportuno proteggersi dall'evento maggiormente pericoloso ($M_w = 6,14$) ma che ha una bassa/bassissima probabilità di accadimento (nei limiti sopra evidenziati) o è più opportuno proteggersi da

eventi meno pericolosi ma la cui probabilità d'accadimento è molto più alta? In relazione si riporteranno opportune considerazioni (tenendo appunto anche conto del fatto che i risultati dei metodi previsionali statistico probabilistici, come visto possono condurre a grossolane e pericolose sottostime). Nella presente relazione non si tornerà sulla storia sismica locale, per la quale si rimanda alle relazioni originarie. Da tale storia sismica si può evincere che il Comune di Argenta ha registrato eventi sismici (il più forte dei quali nell'anno 1624) caratterizzati da Magnitudo $M_w = 5,43$ quindi ben lontano (con energie sismiche larghissimamente inferiori) ai proposti valori di M_w (ed in sostanza in linea con quanto riportato dallo studio di disaggregazione).



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)
Informazioni sul nodo con ID: 16291 - Latitudine: 44.621 - Longitudine: 11.665



La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, $V_{s30} > 800$ m/s) e pianeggiante.

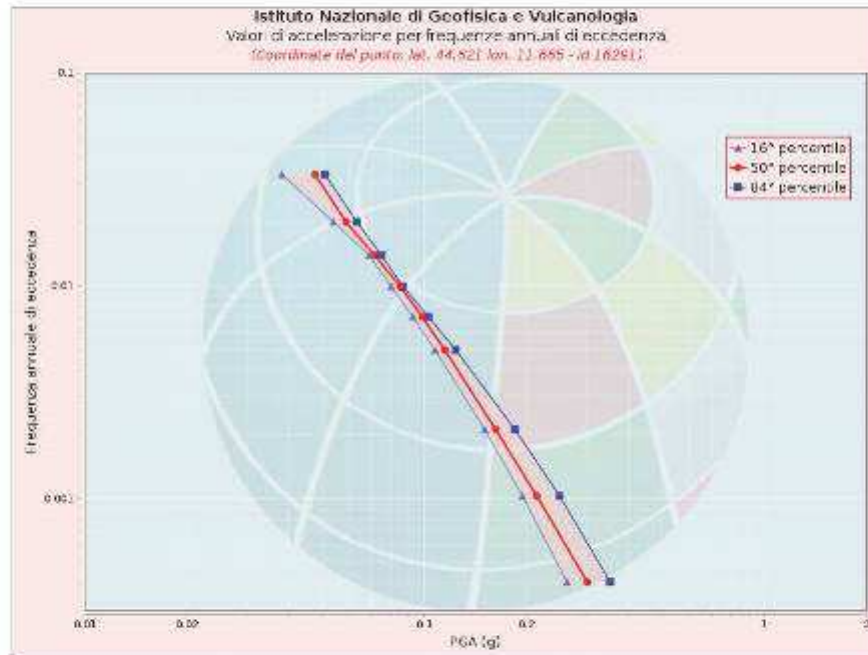
Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID **16291** (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.



Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.253	0.292	0.352
0.0010	0.195	0.225	0.254
0.0021	0.150	0.162	0.186
0.0056	0.103	0.115	0.124
0.0091	0.093	0.095	0.102
0.0098	0.089	0.085	0.087
0.0135	0.083	0.071	0.075
0.0198	0.054	0.059	0.062
0.0332	0.033	0.048	0.051

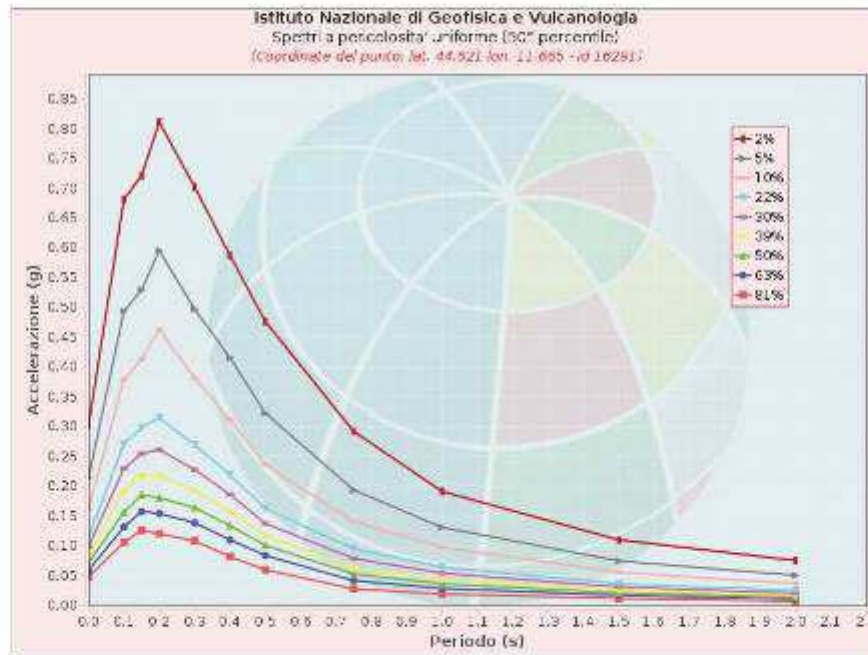


ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)

Prob in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.302	0.692	0.721	0.821	0.702	0.587	0.476	0.282	0.191	0.110	0.075
5%	0.215	0.493	0.529	0.535	0.457	0.415	0.323	0.194	0.131	0.075	0.055
10%	0.152	0.373	0.413	0.462	0.392	0.312	0.236	0.140	0.098	0.055	0.027
22%	0.115	0.271	0.298	0.325	0.270	0.215	0.163	0.095	0.065	0.036	0.025
30%	0.098	0.210	0.225	0.261	0.228	0.186	0.127	0.079	0.054	0.031	0.021
35%	0.085	0.193	0.210	0.238	0.193	0.157	0.117	0.064	0.044	0.026	0.017
50%	0.071	0.156	0.185	0.131	0.164	0.124	0.101	0.053	0.036	0.021	0.014
63%	0.058	0.132	0.157	0.124	0.139	0.110	0.084	0.041	0.029	0.017	0.011
81%	0.046	0.106	0.126	0.120	0.108	0.082	0.060	0.020	0.019	0.012	0.007

Fig. 5/12: studio di disaggregazione, come da apposito sito dell'INGV (Progetto DPC- INGV- S1).



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.

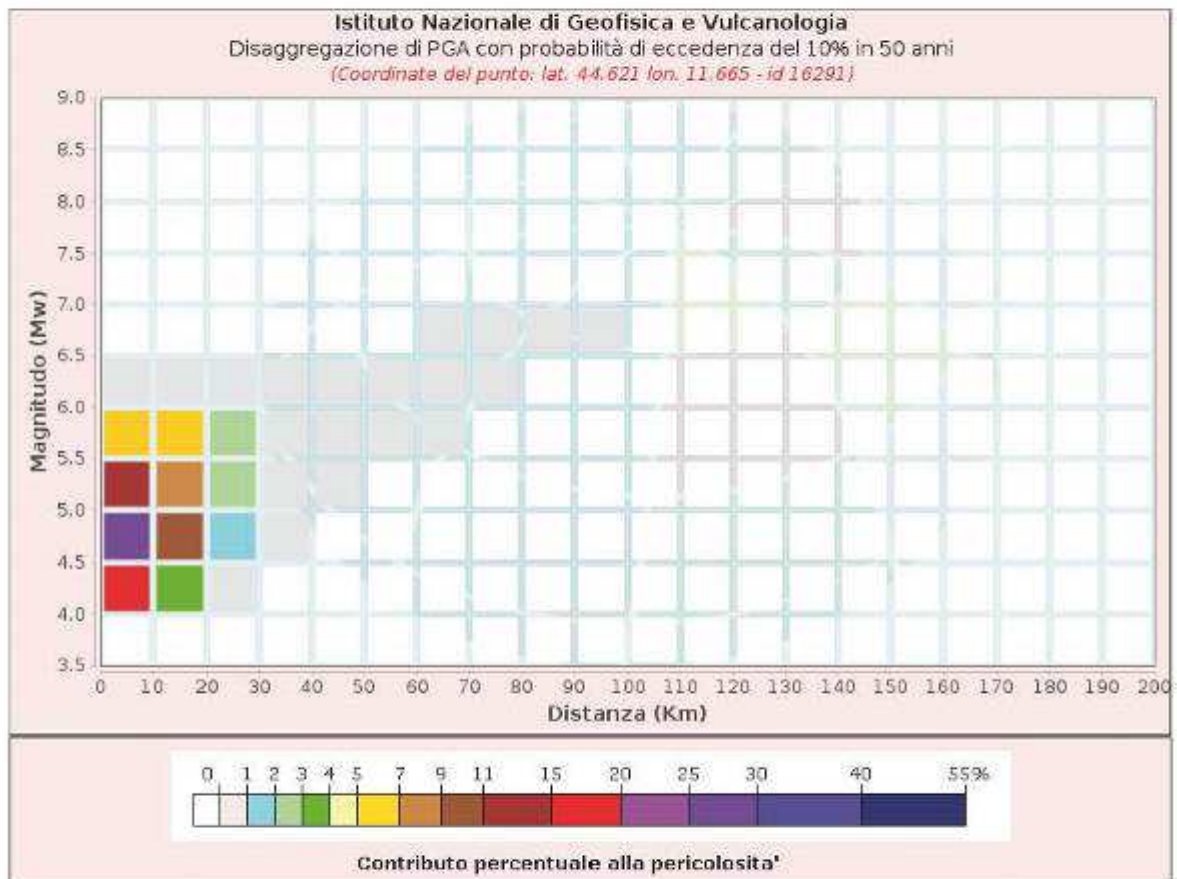


Fig. 5/13: studio di disaggregazione, come da apposito sito dell'INGV (Progetto DPC- INGV- S1).



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Disaggregazione di FGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

Distanza in Km	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	15.0000	26.4000	14.0000	6.3800	0.7250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.5300	3.7300	8.8200	6.1900	0.9570	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.1320	1.3500	2.5500	2.5000	0.3440	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0218	0.3940	0.7100	0.1020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0193	0.1720	0.0318	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0225	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0044	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.39 ; distanza = 3.58 ; epsilon = 0.762

Fig. 5/14: studio di disaggregazione, come da apposito sito dell'INGV (Progetto DPC- INGV- S1).



Riferimenti

La descrizione della costruzione del modello di pericolosità sismica MP S04 è contenuta nel sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

La descrizione della stima di tutti i parametri è contenuta nel sito <http://esse1.mi.ingv.it>, da cui si può accedere anche alle mappe interattive.

Per quanto riguarda le analisi di disaggregazione, i dettagli sono disponibili nella pagina del deliverable D14 del progetto S1 (<http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>).

La pubblicazione scientifica di riferimento è:

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E., 2011. Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. Bull. Seismol. Soc. Am. 101(4), 1885-1911. DOI: 10.1785/B120100130.

Figg. 5/15: Restituzioni grafiche dello studio di disaggregazione per l'area in esame. Tratte dal sito del Progetto DPC-INGV- S1. La Magnitudo riportata è la Magnitudo Locale M_L (Richter) da non confondersi con la Magnitudo Momento M_w . Il corrispondente valore di M_w può essere determinato sulla base di correlazioni "qualitative" proposte da vari Autori. Per il caso in esame il valore di M è pari a 5,14: $M_w = 0,953M_L + 0,422$; $3,9 \leq M_L \leq 6,8$ (Yenier, Erdogan, Akkar-2008), oppure pari a 5,16: $M_w = 0,812M_L + 1,145$; (INGV, 2004). Le due leggi di correlazione sono riportate alla seguente figura.

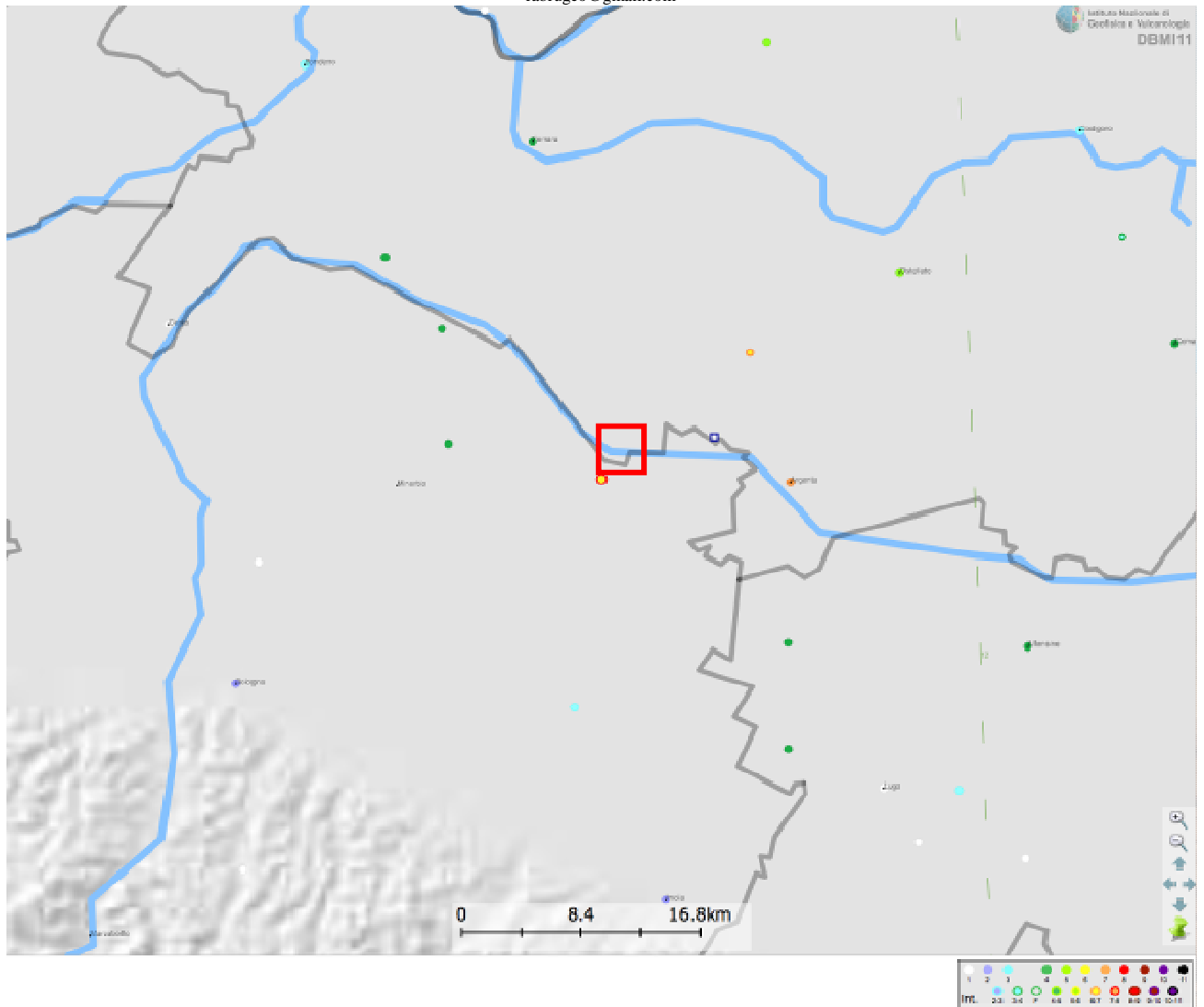


Fig. 5/18: evento del 1898: Romagna Settentrionale. Scala Libera.

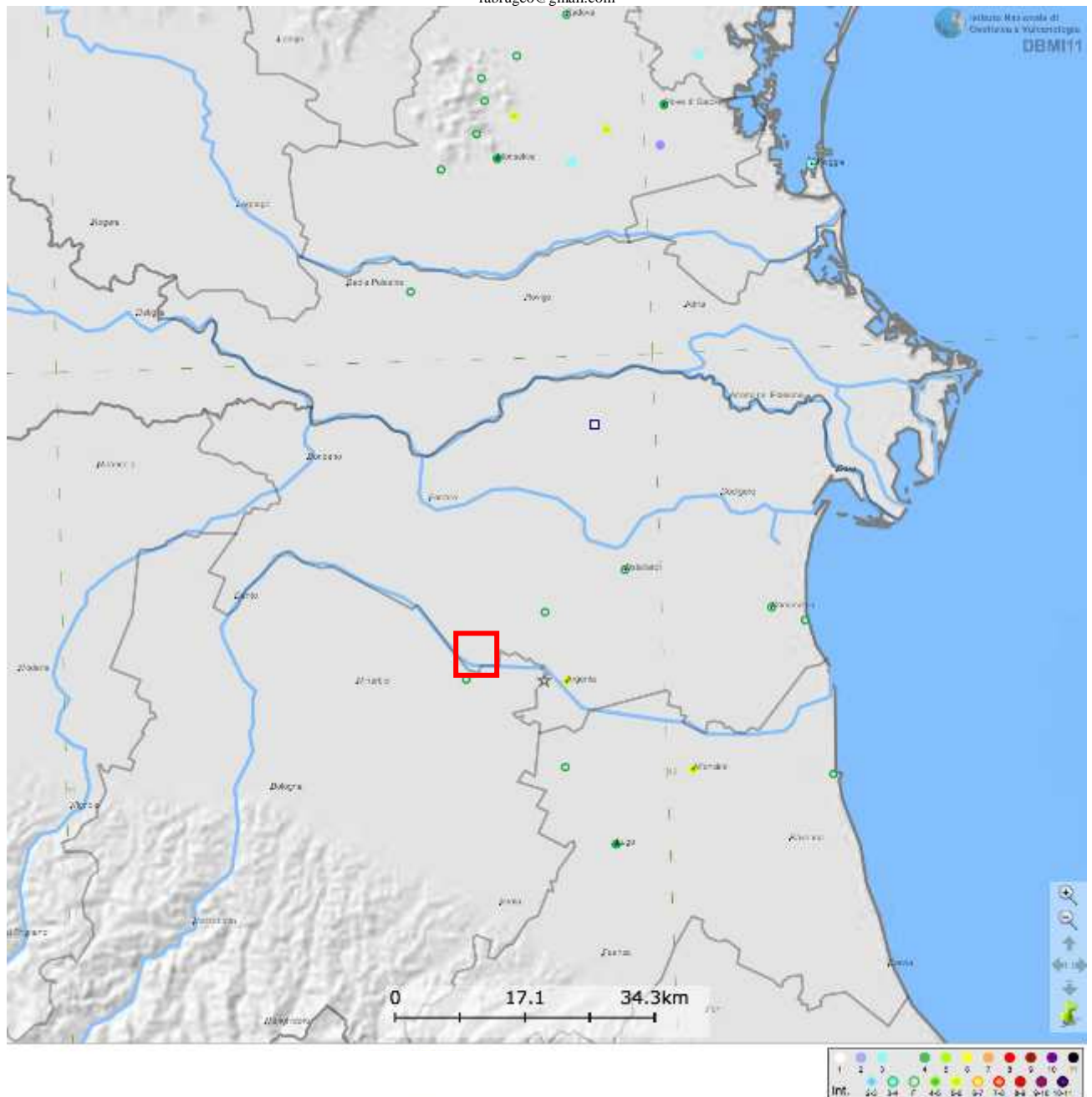


Fig. 5/19: evento del 1956: Bassa Padana. Scala Libera.

Ad ulteriore conferma dell'attitudine tellurica dell'area in esame, di seguito si riporta una ulteriore figura che illustra molto bene come l'area in esame "risiede" "sulla" Sorgente Sismo- genetica ITIS141 (Argenta)/ITCS012 (Malalbergo- Ravenna).

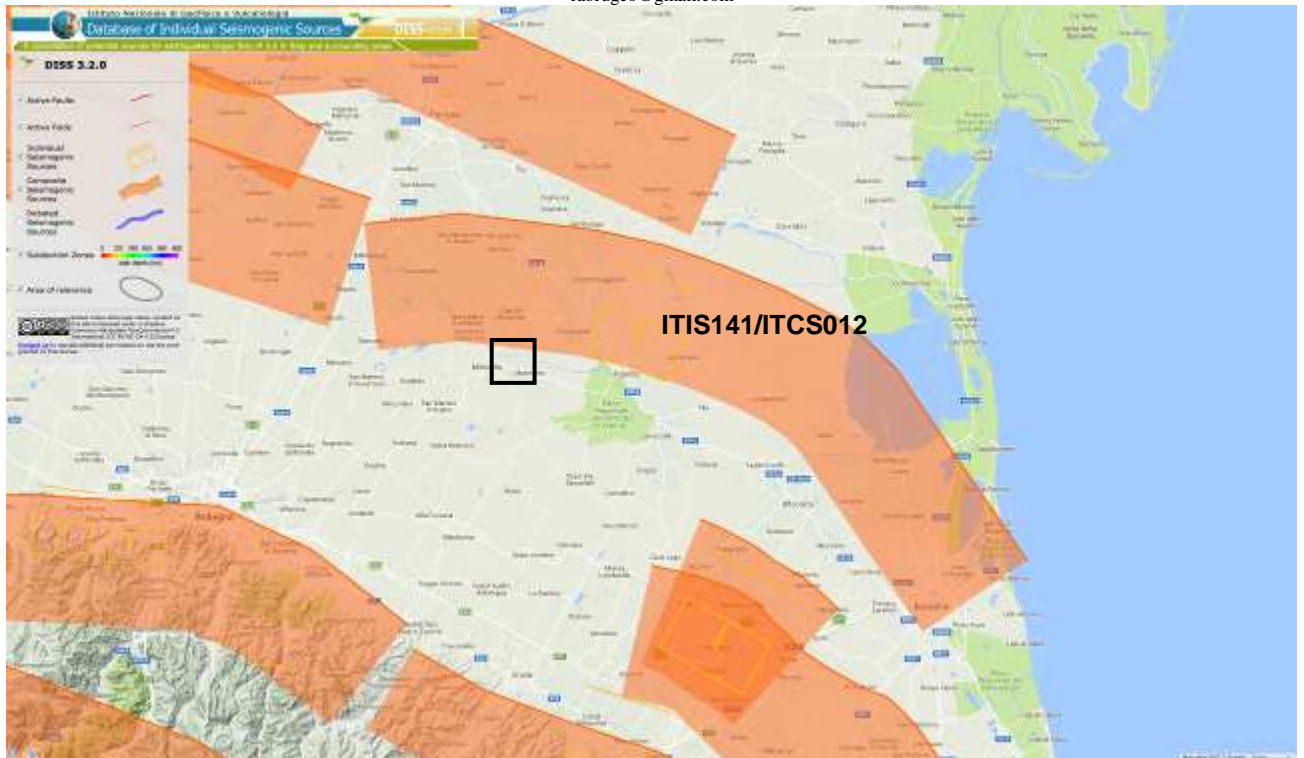


Fig. 5/20: Sorgente Sismo- Genetica locale.

Di seguito si riporta descrizione di tali sorgenti Sismogenetiche come tratte dall'apposito sito dell'INGV.

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITIS141
Name	Argenta
Compiler(s)	Burrato P.(1), Valensise G.(1), Vannoli P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Valensise G.(1), Vannoli P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	10-Feb-2014
Updated	10-Feb-2014
Display map ...	 
Related sources	ITCS012

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	44.64 / 11.85	LD	Based on macroseismic and geological data by Toscani et al. (2009).
Length [km]	8.0	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Width [km]	5.7	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	3.0	OD	Based on seismic profile and geomorphological observations.
Max depth [km]	6.3	OD	Based on seismic profile and dislocation modeling.
Strike [deg]	110	OD	Based on geological and geomorphological observations.
Dip [deg]	35	OD	Based on geological and geomorphological observations.
Rake [deg]	90	OD	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Per Event [m]	0.4	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min... max	0.49...0.55	OD	Calculated using geologic subsurface data from Maesano et al. (2015).
Recurrence [y] min... max	727...816	EJ	Calculated from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	5.8	EJ	Value inferred from elaboration of the macroseismic data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES

Latest Earthquake	19 Mar 1624	CPTI11
Penultimate Earthquake	Unknown	See "Commentary" for information.

ACTIVE FAULTS

ACTIVE FOLDS

COMMENTARY

COMMENTS

This source belongs to the outer Northern Apennines thrust front that straddles the region across the lower Reno River valley down to the city of Ravenna (to the southeast) and is the easternmost part of the Ferrara Arc thrust front. This fault system is the N- to NE-verging external arc at the north-eastern tip of the Northern Apennines chain, well into the Po Plain, and marks the northeastern most advanced thrust with damaging seismogenic potential in the Apennines.

Based on the analysis of the subsurface data provided by the oil industry (e.g. Cassano et al., 1986; Pieri and Groppi, 1981; Fantoni and Franciosi, 2010) and on geomorphological observations provided by several investigators, we propose that this seismogenic source has the following geometrical characteristics:

- the strike of is chosen according with the general orientation of mapped buried tectonic structures;
- the fault dips towards the S-SW, in agreement with subsurface evidence and based on the characteristic distance between the synclinal and anticlinal axes;
- the rake is based on strike and on general geodynamic considerations;
- the down-dip width is based on modeling of the characteristic distance between the synclinal and anticlinal axes and on the assumptions made concerning the minimum and maximum faulting depth;
- the minimum and maximum depth are constrained by subsurface geology, by the symmetry of the anticline and by the general aspect-ratio of the anticline-syncline couple;
- the length is based on scaling with width and constrained by geomorphological observations.

Current historical catalogues report a large event in 1624 that falls very close to the ITIS141 Source, having its epicentral area near the town of Argenta. We therefore associate this historical earthquake with the ITIS141 Source. Our preferred source model is consistent with the largest damage distribution reported in the current catalogues.

The historical and instrumental catalogues show a number of intermediate to damaging earthquakes that besides the 1624 event have affected the area and may be associated to other still unknown individual sources belonging to the same thrust front; to the southeast (although of uncertain location, due to their age), there is the 725 A.D. (Mw 5.6, Classe-Ravenna) earthquake; in the center of the region, the 30 December 1967 (Mw 5.4, Bassa Padana) event; W-ward, the 22 October 1796 (Mw 5.6, Bassa Padana) and 13 January 1909 (Mw 5.5, Bassa Padana) earthquakes. However, based on their damage distribution some of these events may also have been generated by deep sources (i.e. not belonging to the Northern Apennines thrust system; see Vannoli et al., 2015).

OPEN QUESTIONS

- 1) What is the average return time of the Argenta Source? Current historical catalogues, which cover a time span of about 1,000 years, report only the large 1624 event as falling very close to it.
- 2) What is the seismic behaviour of the Argenta Source? Does it rupture only in large M 6 rather infrequent events? Or it can also rupture in smaller earthquakes in the M range 5-5.5, alternated with long aseismic periods?

SUMMARIES

No specific study exists on the Argenta Source and on the 1624 earthquake. Nevertheless, information on the location, geometry and recent activity of the source can be obtained from a number of papers dealing with the subsurface geology and geomorphology of the Po Plain.

Pieri and Groppi (1981) This paper offers a reconstruction of the subsurface geology of the Po Plain using data derived from exploratory seismic lines and oil wells stratigraphies. Their NE- oriented section 11 drawn across the Cotignola oil field, shows the presence of a major north-verging anticline that deforms sediments as recent as middle-upper Pliocene, and possibly Quaternary. This anticline following their reconstruction is part of the Romagna Folds, that are the more internal folds of the Ferrara-Romagna Arc.



Cassano et al. (1986) These investigators provide a comprehensive summary of subsurface and surface geophysical and geological data along several transects crossing the Po Plain from the Southwest to the Northeast. Their re-interpretation of Section 11 of Pieri and Groppi [1981] using the new data-set, shows a major anticline driven by a low-angle north- verging blind thrust culminating at Cotignola.

Burrato et al. (2003) They analyse in detail the fluvial system of the Po Plain and identify several areas where significant drainage anomalies (e.g., river diversions and shifts in channel patterns) with wave-length comparable to that of tectonic structures of crustal significance are suggestive of the presence of active blind thrust or reverse faults. As second step of their approach the authors compare the position of the drainage anomalies with the location of known buried anticlines, to corroborate the hypothesis of the tectonic nature of the anomalies. Following the observation that some of the anomalies are associated also with historical earthquakes, they propose that these blind thrusts may be potential sources of rather infrequent large earthquakes beneath the Po Plain. Burrato et al show that the Idice river exhibits a significant anomaly in its trend as it crosses an anticline reported in the official geological map.

Toscani et al. (2009) They use geological, structural and morphotectonic data to draw a N-S-striking section between Bologna and Ferrara, aimed at analyzing whether and how the deformation is partitioned among the frontal thrusts of the Northern Apennines and identifying the potential sources of damaging earthquakes. The Authors identify active anticlines based on the correspondence among drainage anomalies, historical seismicity and buried ramps. They also analyze the evolution of the Plio-Quaternary deformation by modeling in a sandbox the geometry, kinematics and growth patterns of the thrust fronts. As a final result, they show that the extent and location of some of the active thrusts studied are compatible with the location and size of the main historical earthquakes, among which the 1624 event, and discuss the hypothesis that they may correspond to their causative seismogenic faults.

Fig. 5/21: descrizione della Sorgente Sismogenetica ITIS141.

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS012
Name	Malalbergo-Ravenna
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(2), Toscani G.(3), Vannoli P.(1), Valensise G.(1), Basili R.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
Created	16-Oct-2013
Updated	25-Jun-2015
Display map ...	 
Related sources	ITIS141

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	LD	Based on data of instrumental seismicity.
Max depth [km]	8.0	LD	Based on data of instrumental seismicity.
Strike [deg] min... max	85...150	OD	Based on consideration on regional geological data.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on consideration on regional geological data.
Rake [deg] min... max	80...120	OD	Based on geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.49...0.55	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Based on geological data and analysis of regional seismicity.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

COMMENTS

This Composite Source straddles the region across the lower Reno River valley down to the city of Ravenna (to the southeast) and belongs to the Ferrara Arc thrust front. This fault system is the N- to NE-verging external arc at the north-eastern tip of the Northern Apennines chain, well into the Po Plain, and marks the northeastern most advanced thrust with damaging seismogenic potential in the Apennines.

Historical and instrumental catalogues (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) show a number of intermediate to damaging earthquakes that have affected the area; to the southeast (although of uncertain location, due to their age), there is the 725 A.D. (Mw 5.6, Classe-Ravenna) earthquake; in the center of the region, the 18 March 1624 (Mw 5.4, Argenta) and 30 December 1967 (Mw 5.4, Bassa Padana) events; W-ward, the 22 October 1796 (Mw 5.6, Bassa Padana) and 13 January 1909 (Mw 5.5, Bassa Padana) earthquakes.

This source is a forwarding and shallower arc than the rest of the Romagnan Apennines outer thrust it is part of, and it includes the right ramp of the front. It may account for the intermediate to damaging seismicity of the region.

The strike of this source was based on that of the mapped regional structures (N85°-150°). The dip was based on geological observations and geometrical considerations (20°-40°). The rake represents pure to oblique thrusting, based on geological observations (80-120). The minimum and maximum depth were based on tectonic and geometrical considerations concerning the thrust geometry (2.0 and 8.0 km, respectively). The slip rate was calculated using geologic subsurface data (Maesano et al., 2015; 0.49 – 0.55 mm/y). The maximum magnitude was taken from the largest damaging earthquake occurred within the area (Mw 6.0).

Fig. 5/22: descrizione della Sorgente Sismogenetica ITCS012.

6: EFFETTI CO- SISMICI LOCALI: SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEGLI ORIZZONTI SATURI GRANULARI LOCALMENTE RILEVATI.

Come già ampiamente riportato la stratigrafia dell'area in esame riscontra la presenza di deposizioni granulari disposte in lenti sospese/corpi festonati. Come già riportato ciò è perfettamente con la genesi e l'evoluzione geologica dell'area in esame. Sulla base di numerose verifiche numeriche condotte sui dati delle numerosi indagini puntuali realizzate nei vari anni sul sedime dello Stabilimento Rechim (e che per brevità non verranno riportate, non essendo fra l'altro lo scopo della presente documentazione) si può concludere che per l'area in esame è presente ed è da tenere in debita considerazione il fenomeno della liquefazione degli orizzonti sturi granulari. Infatti gli effetti locali potenzialmente rilevabili possono essere: cedimenti post-sismici di entità non trascurabile e che denotano un grado differenziale di entità da tenersi in debita considerazione.

Il fenomeno della Liquefazione determina una diminuzione della resistenza al taglio e/o della rigidità, nei litotipi granulari, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico e tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Le Norme Tecniche vigenti riportano quanto segue:

7.11.3.4 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

7.11.3.4.1 Generalità

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

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 $U_c > 3,5$.

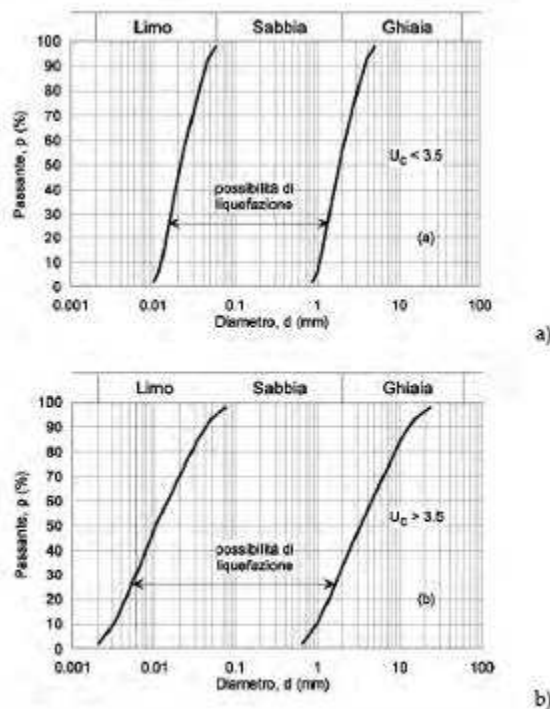


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

7.11.3.4.3 Metodi di analisi

Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

7.11.3.5 STABILITÀ DEI PENDII

La realizzazione di strutture o infrastrutture su versanti o in prossimità del piede o della sommità di pendii naturali richiede la preventiva verifica delle condizioni di stabilità, affinché prima, durante e dopo il sisma, la resistenza del sistema sia superiore alle azioni (condizione [6.2.1] di cui al § 6.2.4.1) oppure gli spostamenti permanenti indotti dal sisma siano di entità tale da non pregiudicare le condizioni di sicurezza o di funzionalità delle strutture o infrastrutture medesime.

7.11.3.5.1 Azione sismica

L'azione sismica di progetto da assumere nelle analisi di stabilità deve essere determinata in accordo con i criteri esposti nel § 3.2.3.

Nel caso di pendii con inclinazione maggiore di 15° e altezza maggiore di 30 m, l'azione sismica di progetto deve essere opportunamente incrementata o attraverso un coefficiente di amplificazione topografica (vedi §§ 3.2.2 e 3.2.3) o in base ai risultati di una specifica analisi bidimensionale della risposta sismica locale, con la quale si valutano anche gli effetti di amplificazione stratigrafica.

In generale l'amplificazione tende a decrescere sotto la superficie del pendio. Pertanto, gli effetti topografici tendono a essere massimi lungo le creste di dorsali e rilievi, ma si riducono sensibilmente in frane con superfici di scorrimento profonde. In tali situazioni, nelle analisi pseudostatiche gli effetti di amplificazione topografica possono essere trascurati ($S_T=1$).

7.11.3.5.2 Metodi di analisi

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

Nelle analisi, si deve tenere conto dei comportamenti di tipo fragile, che si manifestano nei terreni a grana fina sovraconsolidati e nei terreni a grana grossa addensati con una riduzione della resistenza al taglio al crescere delle deformazioni. Inoltre, si deve tener conto dei possibili incrementi di pressione interstiziale indotti in condizioni sismiche nei terreni saturi. Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \cdot W$ ed $F_v = k_v \cdot W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad [7.11.3]$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad [7.11.4]$$

dove

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g \quad [7.11.5]$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.I al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

La condizione di stato limite deve essere valutata con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e riferita alla superficie di scorrimento critica, caratterizzata dal minore margine di sicurezza. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della stabilità del pendio deve essere valutata e motivata dal progettista.

In terreni saturi e in siti con accelerazione orizzontale massima attesa $a_{max} > 0,15g$, nell'analisi statica delle condizioni successive al sisma si deve tenere conto della possibile riduzione della resistenza al taglio per incremento delle pressioni interstiziali o per decadimento delle caratteristiche di resistenza indotti dalle azioni sismiche.

Nell'analisi di stabilità di frane quiescenti, che possono essere riattivate dall'azione del sisma, si deve fare riferimento ai valori dei parametri di resistenza attinti a grandi deformazioni. L'eventuale incremento di pressione interstiziale indotto dal sisma, da considerare in dipendenza della natura dei terreni, deve considerarsi uniformemente distribuito lungo la superficie di scorrimento critica.

Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Le analisi del comportamento dei pendii in condizioni sismiche possono essere svolte anche mediante il metodo degli spostamenti, in cui la massa di terreno potenzialmente in frana viene assimilata ad un corpo rigido che può muoversi rispetto al terreno stabile lungo una superficie di scorrimento. Il metodo permette la valutazione dello spostamento permanente indotto dal sisma nella massa di terreno potenzialmente instabile.

L'applicazione del metodo richiede la valutazione dell'accelerazione critica, che deve essere valutata con i valori caratteristici dei parametri di resistenza, e dell'azione sismica di progetto, che deve essere rappresentata mediante storie temporali delle accelerazioni. Gli accelerogrammi impiegati nelle analisi, in numero non inferiore a 7, devono essere rappresentativi della sismicità del sito e la loro scelta deve essere adeguatamente giustificata (vedi § 3.2.3.6). Non è ammesso l'impiego di accelerogrammi artificiali.

Nel metodo degli spostamenti, la valutazione delle condizioni di stabilità del pendio è effettuata mediante il confronto tra lo spostamento calcolato per il cinematiso di collasso critico e i valori limite o di soglia dello spostamento. Le condizioni del pendio e dei manufatti eventualmente interagenti con esso possono essere riferite al raggiungimento di uno stato limite ultimo (SLV) o di esercizio (SLD) in dipendenza del valore di soglia dello spostamento. I criteri di scelta dei valori limite di spostamento devono essere illustrati e giustificati dal progettista.

Lo studio del comportamento in condizioni sismiche dei pendii può essere effettuato anche impiegando metodi avanzati di analisi dinamica, purché si tenga conto della natura polifase dei terreni e si descriva realisticamente il loro comportamento meccanico in condizioni cicliche. Per questi motivi, il ricorso alle analisi avanzate comporta indagini geotecniche adeguatamente approfondite. Per queste analisi, l'azione sismica di progetto deve essere rappresentata mediante accelerogrammi scelti utilizzando gli stessi criteri già indicati per il metodo degli spostamenti.

Fig. 6/1: Art. 7.11.3.4.2. del DM/NTC 2018.

Si vuole ricordare che per il fenomeno in questione il Rischio (complessivo) deriva (secondo quanto universalmente accettato, per esempio nelle nozioni di Protezione Civile) dalla seguente equazione:

$$R = P \times V \times E, \text{ dove:}$$

R= Rischio;
 P= Pericolo o Pericolosità;
 V= Vulnerabilità;
 E= Esposizione.

È il caso di considerare con attenzione tutti i termini dell'equazione: la Pericolosità ovvero il Pericolo è legato al fenomeno, nel caso in questione al fenomeno co-sismico derivante dalla liquefazione degli orizzonti saturi granulari localmente rilevati.

La Vulnerabilità è connessa alle caratteristiche delle strutture e può essere controllata, nel senso che si può agire sulle fondazioni e sulle strutture in elevazione in modo tale che subiscano il minor danno possibile qualora l'evento (liquefazione) avvenga.

L'Esposizione dipende dagli oggetti (e/o dal loro valore) e dalle vite umane contenute dagli edifici e per il caso in questione appare essere un fattore che non varia.

Evidentemente qualsiasi termine dell'equazione può modificare enormemente il risultato complessivo avvicinando o meno questo risultato a termini che possano essere ritenuti (o meno) accettabili. Ciò però non è nelle possibilità (oneri) dello scrivente, starà infatti alla Committenza e/o ai Progettisti valutare l'accettazione o meno del Rischio complessivo e/o se ridurlo. Si osservi infatti che la Pericolosità locale (connessa al fenomeno) può essere, ridotta se i Progettisti/la Committenza lo dovessero ritenere necessario. Si può per esempio operare sui terreni granulari di fondazione potenzialmente liquefacibili. La già citata Delibera Regionale e le pratiche discendenti dalle esperienze di ricostruzione del post sisma dell'Emilia del 2012 presentano metodi di intervento che consentono di operare in tal senso con risultati che possono essere considerati apprezzabili.

7. CONCLUSIONI

Con la presente documentazione di Caratterizzazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica, di Caratterizzazione Sismica, di Caratterizzazione Idraulica e Idrogeologica si sono individuati ed illustrati i caratteri attinenti alle Scienze della Terra condizionanti l'oggetto dell'intervento di trasformazione del territorio, nella fattispecie la Realizzazione di Impianto Generazione d'Energia. Tale realizzazione dovrà appunto tenere in debita considerazione i suddetti caratteri che pur non impedendola, potranno condizionarla, come appunto illustrato in relazione. La presente documentazione non si configura come documentazione di appoggio alla progettazione delle opere civili (fondazioni ecc.) i cui argomenti specifici saranno trattati in apposite documentazioni specialistiche e mirate.

Argenta, lì 07/05/2025

Geologo Raffaele Brunaldi

