



AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po

REGIONE, PROVINCIA, COMUNE:

Regione Emilia Romagna
Provincia di Modena
Comune di Concordia sulla Secchia

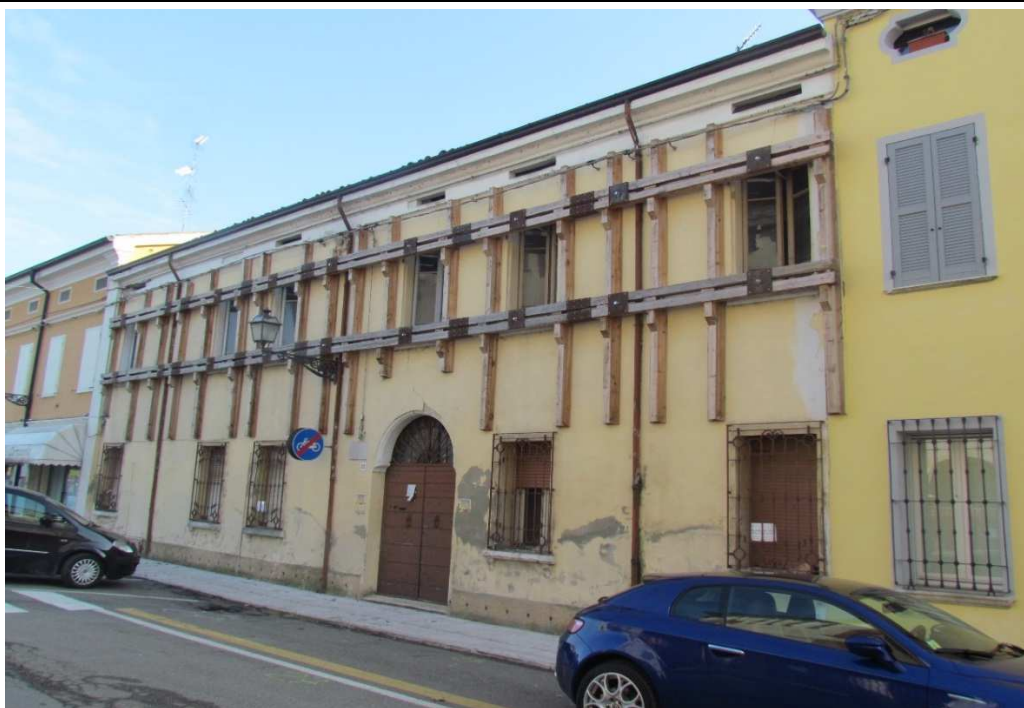


OGGETTO:

**INTERVENTO DI RIPARAZIONE SISMICA DELL'IMMOBILE
DEMANIALE NON STRUMENTALE IN USO AD A.I.P.O. SITO IN VIA
DELLA PACE 84 IN CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO-E-1281).
COD. C.U.P. B55J14000030002 - C.I.G. ZE710202C0**

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA



REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	DESCRIZIONE
00	Novembre 2015	Dott. Fabio Francesco Picinotti	Dott. Fabio Francesco Picinotti	Emissione

Studio di geologia dott. Fabio Francesco Picinotti

Via Silvio Pellico, 4 - 43125 Parma
Tel. 0521 1686041 - Cell. 338 9661851
mail: fabiopicinotti@yahoo.it



Indice

1.	PREMESSA	1
2.	ANALISI TERRITORIALI	3
2.1	Inquadramento geografico	3
2.2	Inquadramento geologico	4
2.2.1	Assetto geologico generale	4
2.2.2	Assetto geologico dell'area di studio	19
2.2.3	Assetto idrogeologico	31
3.	INDAGINE GEOGNOSTICA	32
3.1	Indagine diretta	32
3.2	Indagini indirette	32
3.3	Caratteristiche litostratigrafiche dei terreni investigati	32
3.4	Caratteristiche geomeccaniche	34
4.	CLASSIFICAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA SISMICITA' STORICA	37
4.1	Caratteri strutturali e sismotettonici	37
4.1.1	Zone Sismogenetiche	41
4.2	Pericolosità sismica di base	42
4.2.1	Analisi della sismicità	42
4.3	Risposta sismica locale	53
4.3.1	Amplificazione stratigrafica e topografica	55
4.3.2	Occorrenza di fenomeni di liquefazione	57
5.	CONCLUSIONI	63
6.	BIBLIOGRAFIA	65

Tavole

Tav.1: Inquadramento geografico

Tav.2: Inquadramento geologico

Allegati

Allegato A: Prove Penetrometriche CPTu

Allegato B: Elaborazione prova MASW

Allegato C: Verifiche alla liquefazione

Allegato D: Documentazione fotografica

1. PREMESSA

Il presente studio geologico, redatto su incarico di AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po, è elaborato a supporto del progetto di riparazione sismica dell'immobile demaniale non strumentale in uso ad AIPO sito nel centro abitato di Concordia in Via della Pace, 84 lesionato in seguito agli eventi sismici del maggio 2012.

Lo studio si pone lo scopo di verificare l'assetto morfologico e litostratigrafico dei luoghi e di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione, al fine di indirizzare i futuri interventi strutturali attraverso la determinazione delle condizioni di fattibilità geologica e sismica del sito, nonché di definire le condizioni più idonee dei futuri interventi in rapporto alla natura dei terreni presenti.

Lo studio è stato condotto in osservanza alla normativa vigente in materia:

- Decreto Ministeriale 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" che ricomprende:
 - Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri n°3274 del 20/03/2003;
 - D.M. 21/01/1981, attuativo della Legge 64/1974, e successive modifiche ed integrazioni (D.M. 11/03/1988 e Circ.LL.PP. n°30483 del 24/09/1988 "Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988");
- Legge regionale 30 ottobre 2008, n°19 "Norme per la riduzione del rischio sismico".
- Circolare 617 del 02/2/09 (G.U. n.47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008").

Allo scopo di accertare la caratterizzazione geomeccanica dei terreni costituenti il sottosuolo, sono state appositamente realizzate specifiche e mirate indagini geognostiche dirette ed indirette, come previsto dalla citata normativa vigente in materia.

Le considerazioni espresse, illustrate in seguito, emergono pertanto dalla sintesi delle seguenti acquisizioni:

- ricerca bibliografica di dati relativi all'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismotettonico generale e locale;
- caratterizzazione litostratigrafica e geomeccanica dei terreni del sedime attraverso l'esecuzione di indagini dirette sul lotto di interesse.
- caratterizzazione sismica attraverso l'utilizzo dei risultati di specifica indagine geofisica.

Al fine specifico della presente relazione sono state effettuate le seguenti indagini geognostiche:

- indagini dirette eseguite allo scopo di accertare la caratterizzazione stratigrafica e geomeccanica:
 - n. 1 prova penetrometrica con piezocono sismico tipo SCPTU spinte fino alla profondità di 20,0 m da p.c.
- indagini indirette, al fine di valutare la risposta sismica locale semplificata attraverso la determinazione della categoria di suolo ai sensi del cap. 3.2.2 Tab 3.2.II del D.M. 14 gennaio 2008:
 - n. 1 stendimento geofisico tipo MASW;

La relazione si compone di una prima parte caratterizzata dalla sintetica esposizione delle principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche generali del territorio in esame e da una seconda parte invece in cui si affrontano più dettagliatamente le caratteristiche fisico-meccaniche peculiari dei terreni coinvolti direttamente dall'intervento in progetto, elaborate in riferimento alle risultanze delle indagini geognostiche specificatamente effettuate.

2. ANALISI TERRITORIALI

2.1 Inquadramento geografico

Gli interventi in progetto sono relativi all'edificio sito in Via della Pace 84 nella porzione più occidentale dell'abitato di Concordia sulla Secchia; la quota è di circa 20 m s.l.m. (Fig. 1 e Tavola 1). Si tratta di un'area urbanizzata sub-pianeggiante, posta al piede dell'argine del fiume Secchia. Dal punto di vista cartografico è ricompresa nella sezione 183080 della Carta Tecnica Regionale dell'Emilia Romagna alla scala 1:10.000. Il territorio in esame appartiene alla bassa pianura modenese a Sud del Fiume Po.



Fig. 1 – Ubicazione del sito di studio

2.2 Inquadramento geologico

2.2.1 Assetto geologico generale

La strutturazione fisica e paesaggistica della pianura modenese ha seguito le sorti del bacino padano, nel corso della sua storia evolutiva.

La Pianura Padana è un bacino sedimentario compreso tra l'Appennino Settentrionale e le Alpi Meridionali in cui i sedimenti più recenti, in prevalenza olocenici, ricoprono terreni complessi dal punto di vista stratigrafico e strutturale.

Il contesto geodinamico è quello collisionale tra due blocchi continentali rappresentati dalla zolla europea, o sardo-corsa, e dalla microplacca Adria o Apula o Adriatico-Padana, inizialmente connessa alla zolla africana, (Boccaletti *et alii*, 1971; Boccaletti & Guazzone, 1972). A partire dall'Eocene medio il processo di sottoscorrimento della placca Adria al di sotto della zolla europea ha via via scomposto i vari domini paleogeografici meso-cenozoici impilando e giustapponendo tra loro in modo complesso le varie successioni stratigrafiche, costruendo così la catena appenninica. La deformazione orogenica si è propagata in direzione dell'Avampaese padano-adriatico. I vari stadi di questa evoluzione sono solitamente raggruppati in fasi principali; tralasciando quelle più antiche che non hanno riscontri evidenti nel substrato della pianura, la tettonica di accrezione dell'Appennino settentrionale, contemporanea all'apertura del Mar Tirreno, interessa a partire dal Messiniano fino al Quaternario le zone esterne della catena e coinvolge l'area padana. Infatti a partire dalla fine del Miocene l'avanzata delle falde appenniniche induce sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano con il formarsi di un bacino subsidente: si sviluppa così al fronte della catena in surrezione l'avanfossa molassica padano-adriatica.

In origine essa costituiva un grande golfo (propaggine occidentale del Mare Adriatico), limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi (Catena montuosa della Jugoslavia). Esso era gradualmente ridotto dalla traslazione verso nord/nord-est dalle falde di ricoprimento tettonico dell'Appennino settentrionale.

Il regime compressivo, instaurato dalle interazioni tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica (e attivo dal Cretaceo ai giorni nostri), comportò in direzione nord-est, un notevole raccorciamento del bacino padano attraverso la deformazione del basamento cristallino, della copertura sedimentaria meso-miocenica e dei terreni in corso di sedimentazione. L'acme deformativo si manifestò principalmente dal Miocene inferiore medio al Pliocene inferiore.

Nell'era quaternaria il regime compressivo si esaurì in modo significativo consentendo ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare il bacino padano conferendo l'attuale assetto e morfologia.

Assetto geologico strutturale della Pianura Padana

Il bacino perisuturale padano è suddivisibile in due domini con differente comportamento cinematico:

- margine padano meridionale caratterizzato da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni e pieghe;
- piattaforma settentrionale (Monoclinale Pedevalpina) debolmente immergente verso sud, il cui settore meridionale situato in posizione assiale depocentrale rispetto al bacino padano medesimo è definito Avanfossa Padana.

Entrambi i suddetti domini sono sepolti da sedimenti marini pliocenici e pleistocenici e da sedimenti continentali pleistocenici ed olocenici (Fig. 2). Le strutture tettoniche presenti nella piattaforma settentrionale e nel margine meridionale, come manifestato dai recenti terremoti, sono sismicamente attive, a testimonianza che il processo orogenetico delle Alpi e degli Appennini è tuttora attivo.

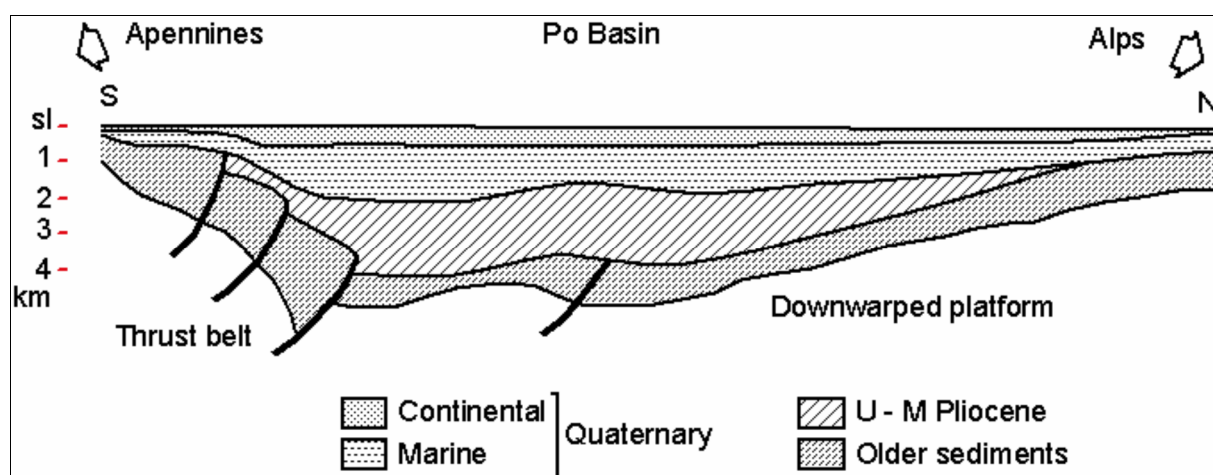


Fig. 2 – Sezione schematica del bacino padano con in evidenza la piattaforma settentrionale (downwarped platform) e il margine meridionale (thrust belt) (Pieri e Groppi 1981, modificato da Ori 1993).

Margine padano meridionale

Il margine padano meridionale è di tipo “complesso” (secondo Ricci Lucchi, 1986), perché interessato da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni, pieghe e bacini che si estendono da est ad ovest interessando per intero la pianura emiliana romagnola (Fig. 3).

In particolare nel sottosuolo antistante il margine morfologico dell’Appennino settentrionale, dal Piemonte meridionale fino al limite orientale della Romagna, seguendo poi l’allineamento Appennini-Mare Adriatico, sono presenti, a livello delle formazioni mesozoiche e mio-plioceniche (sepolte quindi da una più o meno spessa coltre alluvionale quaternaria), due serie principali di thrusts (sovrascorrimenti) a sviluppo sequenziale frontale.

Essi costituiscono due sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico (Fig. 4), formatesi attraverso molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso sud/sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°, che racchiudono un bacino satellite ad esse parallelo.

In letteratura geologica queste zone di scollamento tettonico sono note come External Thrust Front (ETF), sull’allineamento di Cremona - Parma - Reggio Emilia - Correggio (RE) - Mirandola (MO) -

Ferrara e Ravenna, e Pedepenninic Thrust Front (PTF), lungo il margine morfologico dell'Appennino Settentrionale.

Da nord a sud il margine padano meridionale è quindi caratterizzato dalle seguenti strutture:

- 1) External Thrust Front (ETF): alto strutturale (involuppo delle rampe frontali dei thrust sepolti) che esprime la zona di confine tra la Monoclinale pedealpina, (il cui depocentro è l'avanfossa padana) che si apre in direzione nord a partire dal fronte settentrionale dell'alto strutturale medesimo, e la regione "Apennines" (zolla Corso - Sarda) a sud;
- 2) bacino minore o satellite: depressione racchiusa a nord dall'alto strutturale dell'ETF e a sud dalle strutture embricate del PTF; si estende in zona antistante al margine morfologico dell'Appennino emiliano romagnolo con allungamento in direzione ovest/nord-ovest ed est/sud-est, presentandosi con geometrie non costanti che esprimono settori strutturalmente svincolati tra loro in relazione all'andamento planimetrico delle strutture sepolte associate all'External Thrust Front (ETF) e al Pedepenninic Thrust Front (PTF);
- 3) Pedepenninic Thrust Front (PTF); esprime la zona di confine tra il margine morfologico appenninico e il suddetto bacino satellite.

Le suddette strutture sono l'espressione della collisione tettonica tra la microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e la microplacca Adriatica. Le deformazioni e la parziale subduzione della microplacca adriatica sotto quella dell'Arco Appenninico Settentrionale sono causate dalle spinte nord-est vergenti, impresse dal movimento di convergenza tra la zolla africana ed europea a seguito dell'apertura dell'Oceano Atlantico.

L'External Thrust Front è suddiviso in tre margini planimetricamente arcuati, denominati da ovest verso est "Piemonte Folds", "Emilia Folds" e "Ferrara Folds" (Fig. 3). A sud delle "Ferrara Folds", si estendono altri sistemi di thrust, sempre associati al meccanismo di deformazione delle precedenti, noti come "Romagna Folds" e "Adriatico Folds".

L'External Thrust Front è quindi caratterizzato da una serie di strutture ad arco, concave verso sud, che si raccordano in due zone di incrocio (Pavia e Reggio Emilia), dove il fronte appare notevolmente arretrato (Figg. 3/5). Questo assetto strutturale è probabilmente dovuto alla presenza, nella crosta superiore padana, di zone con maggiore rigidità che hanno impedito lo scollamento delle successioni mesozoiche e terziarie dal basamento sottostante, bloccando in tal modo la traslazione verso nord (Bernini e Papani, 1987).

Le principali cause sono imputabili alle manifestazioni magmatiche effusive, subvulcaniche ed epiplutoniche del Paleozoico, Trias medio e Terziario (in parte accertate nei pozzi profondi AGIP), verosimilmente responsabili delle maggiori anomalie magnetiche positive della Pianura Padana.

Le anomalie risultano, infatti, in larga misura coincidenti con le porzioni più arretrate dell'External Thrust Front e delle zone di incrocio fra gli archi. In particolare l'anomalia presente a sud del Lago di Garda, estesa dal Mantovano fino alla pianura parmense e reggiana, corrisponde alla zona di incrocio tra "Emilia Folds" e "Ferrara Folds", mentre l'anomalia presente nella zona di Pavia, estesa

nella pianura pavese e alessandrina, corrisponde alla zona di incrocio tra “Emilia Folds” e “Piemonte Folds”.

Il Pedepenninic Thrust Front è invece costituito da un margine discontinuo, planimetricamente parallelo al limite morfologico dell’Appennino settentrionale, segmentato da faglie trasversali, coincidenti con alcuni dei principali corsi d’acqua (Taro, Enza, Secchia, Panaro ecc.). Si tratta di una serie di thrusts e duplicazioni crostali che hanno determinato il sollevamento e il basculamento dei depositi affioranti nella fascia pedeappenninica.

Le faglie trasversali al Pedepenninic Thrust Front sono inoltre all’origine della suddivisione dell’Appennino Settentrionale in settori a differente comportamento tettonico, responsabili altresì della traslazione differenziale dei vari settori dell’Appennino settentrionale come appunto testimoniano le rientranze del margine appenninico tra il F. Taro e il T. Enza e tra i F. Panaro e il F. Reno.

In Fig. 5 è riportato un estratto della “Carta degli elementi tettonici significativi dell’area Padana centro-orientale”; nella pianura modenese e ferrarese l’ETF prende il nome di “Dorsale Ferrarese”.; essa è caratterizzata da un’ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, che corre da Massa Finalese a Mirandola, con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW; in direzione est prosegue poi verso Ferrara e nelle Valli di Comacchio. Essa raggiunge le massime culminazioni proprio tra Novi, S. Possidonio, Mirandola e San Felice nelle strutture di Novi, S. Biagio, Rivara e Camurana (AQUATER-ENEL, 1978; Pieri e Groppi, 1981). La presenza di questa particolare anticlinale ha condizionato, per i movimenti del terreno ad essa connessi e tuttora attivi, la configurazione della rete idrografica naturale: ad esempio, l’alveo del Fiume Po attraversava, sino ad epoche geologiche molto recenti (e forse storiche o preistoriche) il Mirandolese, tanto che alcuni percorsi sono ancora riconoscibili sulle fotografie aeree o in campagna.

La presenza di questa struttura provoca inoltre, la riduzione dello spessore della copertura alluvionale da Nord a Sud; Lungo tale allineamento, e in particolare sulle sue culminazioni lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m) (Fig. 6).

A sud della Dorsale ferrarese il bacino satellite prende il nome di “Bacino di Carpi” o “Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia; questo depocentro, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara.

L’Avanfossa Padana e la Piattaforma Settentrionale (Monoclinale Pedevalpina)

A nord delle pieghe emiliane e ferraresi si estendono in successione l’Avanfossa Padana e la Monoclinale Pedevalpina, interessando interamente la bassa pianura parmense e la pianura lombardo - veneta, fino al margine morfologico Prealpino. Il limite meridionale dell’Avanfossa Padana è rappresentato dall’alto strutturale noto come External Thrust Front (ETF).

L'Avanfossa Padana costituisce la parte depocentrale del Bacino Padano, ove si trovano accumulati, con giacitura pressoché orizzontale, quasi duemila metri di depositi quaternari marini e continentali (Figure 3 e 5).

La Monoclinale Pedevalpina, situata a nord del precedente dominio, è rappresentata invece da una piattaforma generalmente regolare, debolmente immergente verso sud e interrotta solamente da un'estesa anomalia strutturale nota come Sistema Verona - Brescia e da altre secondarie a scala provinciale come le strutture di Piadena, Sanguinetto e Mantova.

Il sistema Verona Brescia si estende nel sottosuolo della pianura lodigiana, bresciana e veronese, a livello delle formazioni mesozoiche e mio-plioceniche (sepolte quindi da una spessa coltre alluvionale quaternaria). E' costituito da una serie di thrusts a sviluppo sequenziale a ritroso, contrapponendosi al sistema strutturale di tipo frontale dell'External Thrust Front e del Pedepenninic Thrust Front, ed è rappresentato da un sistema di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico, formatesi attraverso molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso nord nord/ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

Il sistema Verona - Brescia costituisce quindi un alto strutturale direttamente congiunto con la linea delle Giudicarie (linea di sutura della catena alpina).

Connessa al sistema Verona - Brescia c'è anche la faglia di Verona, situata a nord est dell'omologo centro abitato e impostata circa in corrispondenza del margine morfologico dei M. Lessini. Si tratta di una struttura verticale orientata nord-ovest e sud-est e responsabile dei maggiori rilasci sismici nella storia del bacino padano.

La struttura di Mantova è caratterizzata da un sistema di faglie verticali situate a nord dell'omologo centro abitato e orientate generalmente est-ovest. Esse sono all'origine della formazione del lago di Mantova e del gomito del F. Mincio.

La struttura di Piadena è situata sull'asse dell'omologo centro abitato orientata nord-ovest e sud-est. E' costituita da un thrusts a sviluppo sequenziale frontale, rappresentato da una piega asimmetrica con andamento anticlinalico, formatesi attraverso una faglia inversa, immergente verso sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

La struttura di Sanguinetto è caratterizzata infine da un sistema di faglie verticali situate a cavaliere tra la pianura mantovana e veronese. Esse presentano un'orientazione generalmente nord-ovest e sudest.

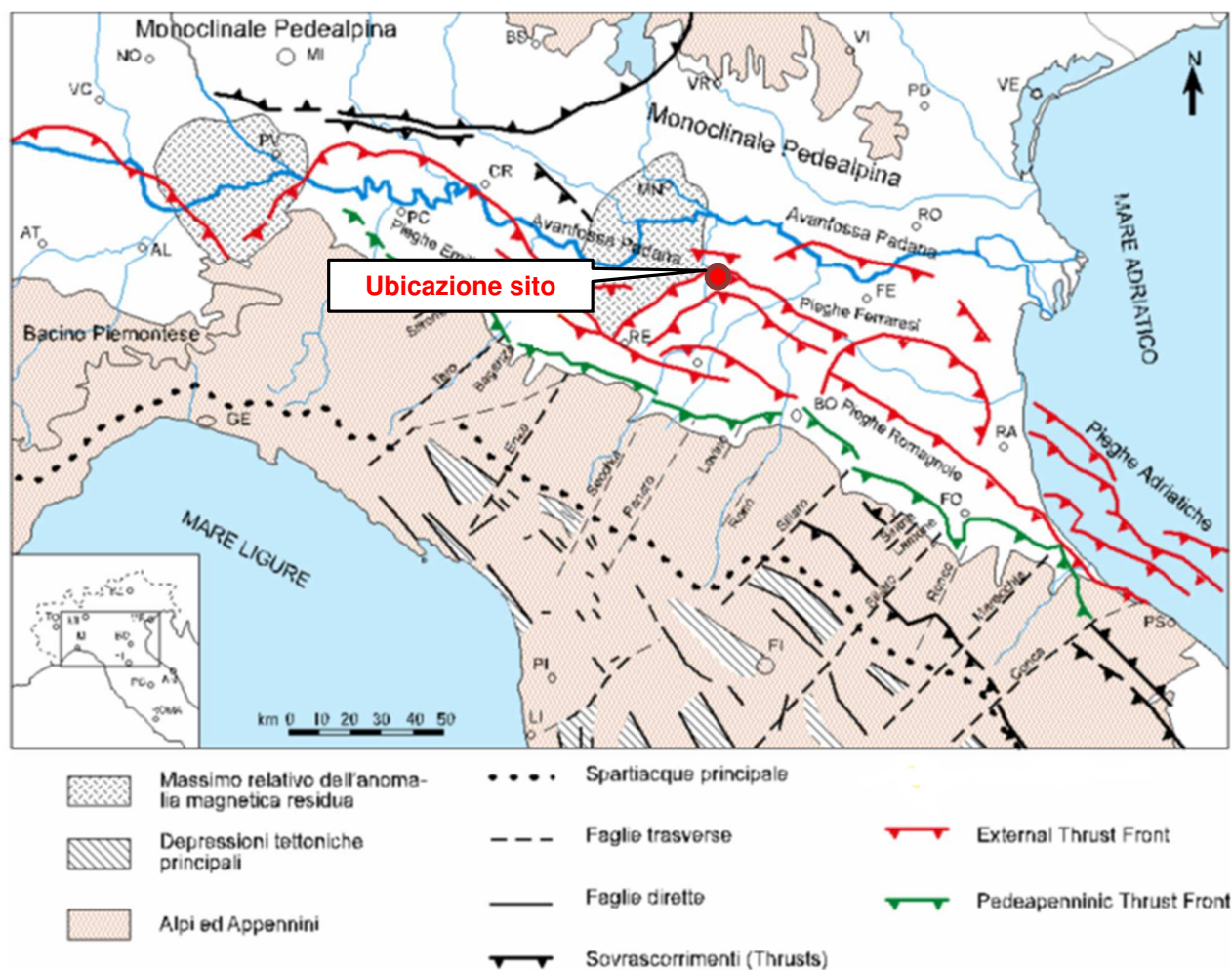


Fig. 3 – Struttura tettonica semplificata dell'Appennino settentrionale e dell'avanfossa padano-adriatica (AGIP 1983; modificato).

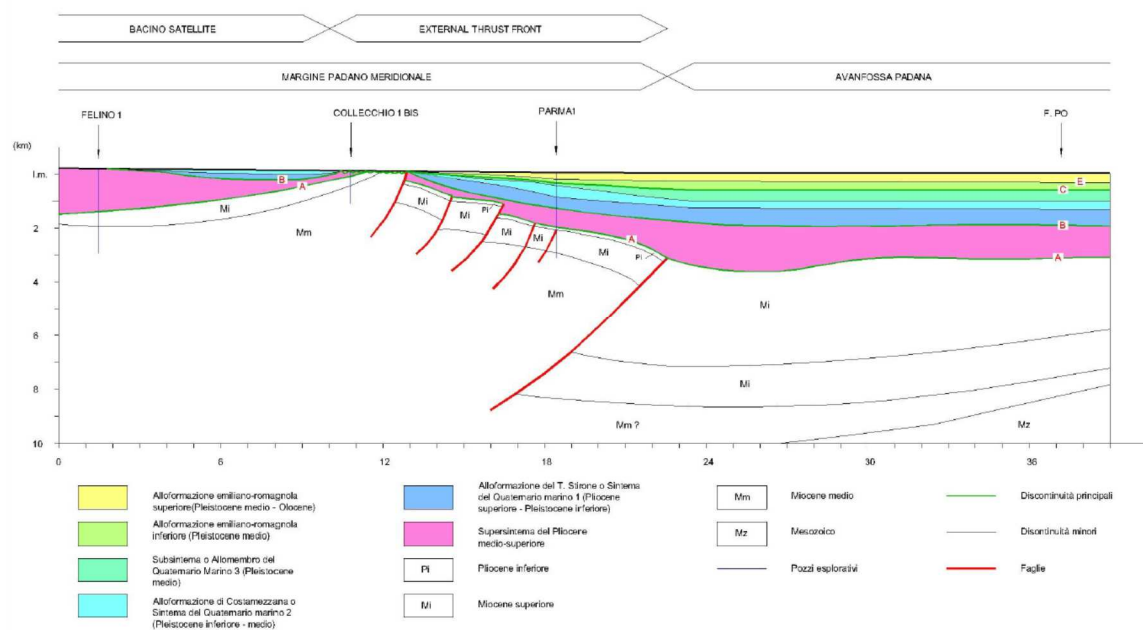


Fig. 4 – Sezione geologica della pianura padana (traccia in Fig. 5) - Pieri e Groppi (1981 - modificato).

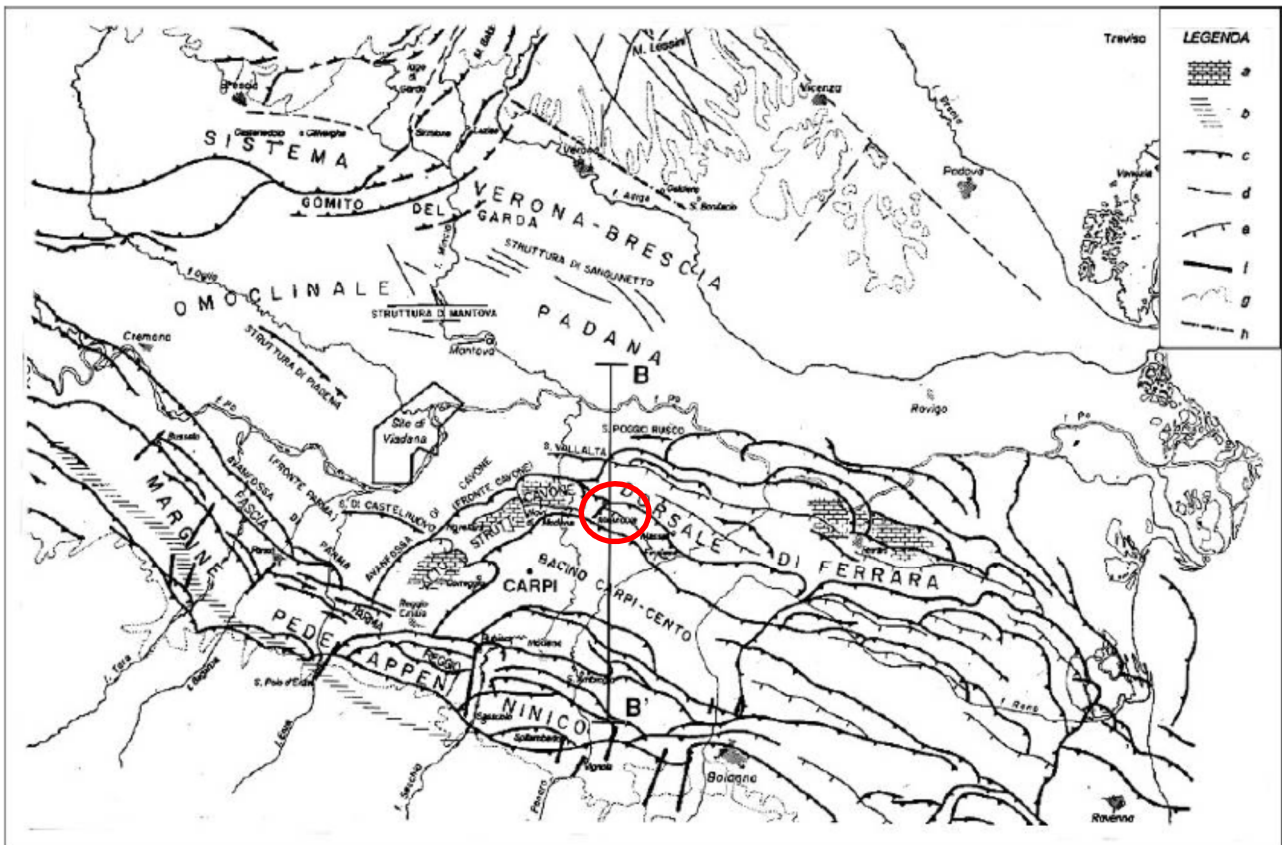


Fig. 5 – Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro orientale (da Serva 1990).
 Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona".

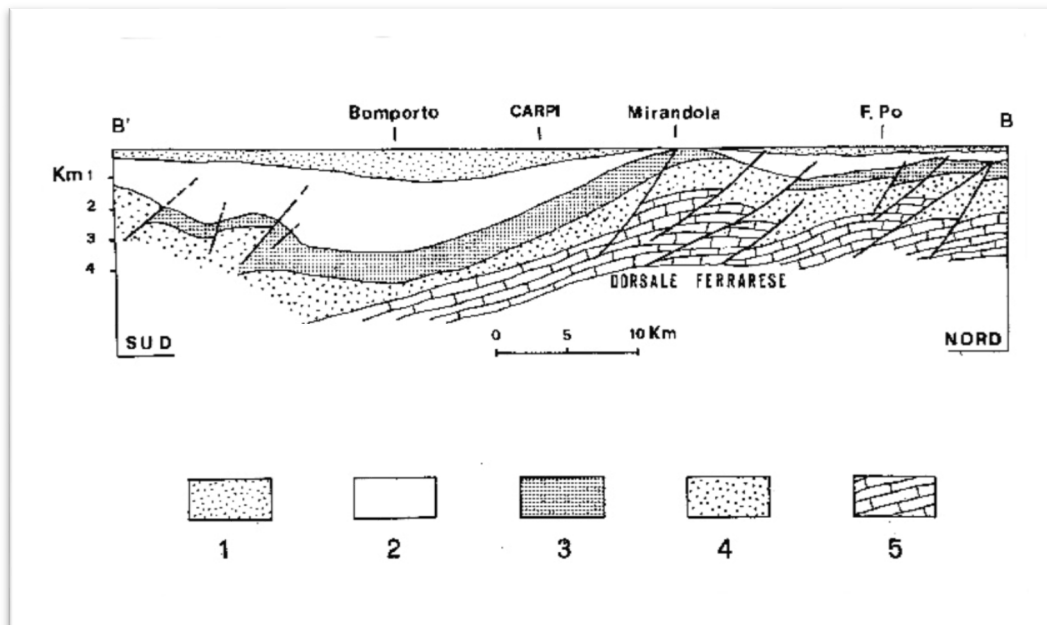


Fig. 6 - Sezione geologica della pianura padana (traccia in Fig. 5) - Pieri (1980).
 Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) Sedimenti marini del Pliocene Superiore e Quaternario; 3) Sedimenti marini del Pliocene Inferiore; 4) Sedimenti marini del Paleocene-Miocene; 5) Formazioni Calcareae Marine del Mesozoico.

Stratigrafia dei depositi del bacino padano

Seguendo lo schema dei rapporti stratigrafici di Dondi (1982), le sezioni geofisiche di Pieri e Groppi (1981) e il panorama geologico del Pedepennino, la copertura sedimentaria, al di sopra del basamento cristallino fino al piano campagna, si compone delle seguenti unità (Figg 4 e 6):

- Successioni carbonatiche di ambiente di piattaforma (Mesozoico): sono sedimentate dal Giurassico – Cretacico inf. fino all'Eocene medio prima della collisione continentale tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica e quindi nel periodo antecedente alla formazione del bacino padano (sondaggio AGIP di Bagnolo in Piano - Reggio Emilia);
- Successioni clastiche arenaceo-marnose (ante-evaporitico): sono sedimentate dall'Eocene superiore al Miocene superiore, prima del periodo Messiniano, ma successivamente alla collisione continentale tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica, in fase di neoformazione del bacino padano; nella parte inferiore sono costituite da peliti marnose di ambiente di piattaforma esterna o bacinale, in rapporti eteropici con sedimenti torbiditici più grossolani d'ambiente di conoide sottomarina; nella parte superiore sono invece costituite prevalentemente da marne d'ambiente di piana e conoide sottomarina con intercalazioni d'intervalli marnosi sabbiosi, talora conglomeratici;
- Successioni clastiche messiniane (Miocene Superiore): sono sedimentate in piena crisi di salinità, in fase di forte regressione del mare; nelle zone marginali del bacino sono presenti sedimenti alluvionali costituiti da argille, sabbie ed arenarie e sedimenti di origine chimica costituiti da gessi, evaporiti e calcari solfiferi; nelle zone più interne del bacino padano sono sedimentati invece depositi conglomeratici, arenitici e pelitici di conoide sottomarina e sabbie di piattaforma continentale;
- Successioni clastiche post-messiniane: dopo la fase regressiva marina del Messiniano si ha nel periodo successivo (Pliocene), una fase di trasgressione caratterizzata da una sedimentazione prevalentemente di mare poco profondo; ai margini del bacino padano sedimentano sabbie litorali, mentre nelle parti interne argille e limi; verso la fine del Pliocene a seguito di una fase regressiva del mare l'ambiente deposizionale assume connotati prevalentemente litorali, mentre ai margini del bacino continua la sedimentazione delle sabbie verso le parti più interne, si assiste alla sedimentazione di depositi prevalentemente limosi e argilloso sabbiosi.
- Successioni terrigene marine del Quaternario (Quaternario marino 1-2 in Fig. 4): caratterizzano il Pleistocene inferiore e medio; il livello del mare inizialmente in fase di trasgressione con completa immersione di tutto il bacino padano regredisce con fasi alternanti fino all'altezza della città di Pescara, attualmente in fregio al mare Adriatico; la sedimentazione è caratterizzata da depositi prevalentemente fini, appartenenti ad un ambiente marino relativamente profondo, nella parte inferiore e da sabbie e ghiaie di

ambiente deltizio con, locale, sviluppo di livelli torbosi di ambiente lagunare in quella superiore.

- Successioni terrigene continentali del Quaternario (Alloformazioni inferiore e superiore in Fig. 4): caratterizzano l'arco temporale compreso tra il Pleistocene medio - superiore e l'attuale; sono suddivisibili in un'unità inferiore e in un'unità superiore; l'unità inferiore basale è costituita da depositi alluvionali prevalentemente fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi nastriformi, riferibili ad antichi paleoalvei fluviali, dotati di limitata continuità laterale, e da un'unità superiore; l'unità superiore comprende, invece, i sistemi di conoide alluvionale nella zona antistante ai rilievi appenninici ed alpini e i sistemi fluvio-deltizi lungo la fascia del Po.

Evoluzione del bacino

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale è il risultato di eventi tettonico-sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e attività ridotta delle strutture compressive.

Gli effetti dei movimenti verso Nord – Est delle falde appenniniche sono rilevabili alla scala dell'intero bacino sedimentario. In particolare si possono osservare i seguenti fenomeni:

- sollevamenti regionali che coinvolgono principalmente le zone del margine meridionale del bacino peri-suturale padano;
- la modificazione delle geometrie del bacino e delle condizioni di sedimentazione;
- la segmentazione della zona di margine bacinale per mezzo di faglie e superfici di scorrimento;
- la formazione di superfici di erosione, con estensione regionale, sui margini del bacino e sulle strutture ora sepolte (dorsale ferrarese);
- la migrazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina - Piana Bacinale (TSB) e conseguentemente quella del depocentro bacinale. La TSB è definita in sismica come il punto in cui i riflettori clinoformi della scarpata sottomarina si raccordano alla base con i riflettori piano-paralleli della piana bacinale. Generalmente corrisponde con il margine del bacino (Fig. 8).

Nell'intervallo tra un evento tettonico di sollevamento regionale e quello successivo, la TSB rimane bloccata sul fronte dell'arco strutturale, posto al margine del bacino marino, che separa le due zone del cuneo di accrezione che presentano la maggiore subsidenza differenziale.

Durante ogni evento tettonico regionale si assiste al sollevamento dei margini del bacino (soprattutto del margine meridionale, appenninico) e, contemporaneamente, allo spostamento della massima subsidenza differenziale sul fronte di un arco strutturale più avanzato.

La TSB può allora progradare rapidamente fino a raggiungere il nuovo fronte maggiormente attivo. Così si assiste contemporaneamente alla formazione della superficie di discontinuità erosiva sui margini e allo sviluppo di un prisma fluvio-deltizio progradante nella zona compresa tra i due fronti strutturali (Fig. 11). Tutto ciò può essere sintetizzato con il termine "regressione (o progradazione) forzata".

Concluso l'evento tettonico con la regressione forzata, si instaura un regime di subsidenza generalizzato che porta all'ampliamento delle aree deposizionali sui margini del bacino.

All'interno del bacino perisuturale padano in neoformazione possono essere distinte le seguenti classi di sistemi deposizionali:

- piana alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po);
- conoide alluvionale e piana alluvionale ad alimentazione alpina e appenninica;
- delta ad alimentazione assiale (paleo-Po), alpina e appenninica;
- delta conoide alpino e appenninico;
- piana costiera;
- piattaforma sommersa;
- scarpata sottomarina;
- piana bacinale.

L'organizzazione verticale delle facies all'interno delle prime quattro classi di sistemi deposizionali, ed in particolare nei sistemi di piana alluvionale, di conoide alluvionale e nei sistemi deltizi, è invariabilmente costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine. Molte volte è possibile distinguere una gerarchia di spessori, con insiemi di cicli di rango inferiore spessi alcuni metri che costituiscono cicli di rango superiore, spessi alcune decine di metri.

Si può ipotizzare che tali unità cicliche rappresentino fasi sedimentarie di alta energia alternate a fasi di bassa energia dovute rispettivamente all'attivazione e alla disattivazione dei sistemi deposizionali.

Queste fasi sembrerebbero controllate dalle oscillazioni climatico - eustatiche sviluppate alla scala dei 20 e dei 100 ka, per i cicli di rango inferiore e superiore rispettivamente (G. Di Dio, 1996; Di Dio & Valloni, 1997). In tal senso questi ultimi si configurano come Sequenze Deposizionali Elementari e rappresentano i mattoni con cui si costruiscono le Sequenze di ordine gerarchico superiore.

Nel sottosuolo dell'Emilia-Romagna, il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non avvengono in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Come già visto pocanzi nelle fasi di attività tettonica si hanno i seguenti effetti:

- sollevamenti regionali che coinvolgono principalmente le zone di margine del bacino;
- la modificazione delle geometrie del bacino e delle condizioni di sedimentazione;
- la segmentazione della zona di margine bacinale per mezzo di faglie e superfici di scorrimento;
- la formazione di superfici di erosione, con estensione regionale, sui margini del bacino e sulle strutture sepolte;
- la migrazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina - Piana Bacinale (TSB) e conseguentemente quella del depocentro bacinale.

Nell'intervallo di tempo tra un evento tettonico di sollevamento regionale e quello successivo si assistono invece ad importanti fenomeni di subsidenza con notevole sviluppo della sedimentazione, soprattutto per progradazione dei prismi di accrezione, in corrispondenza dei margini di bacino (Fig. 11).

A partire dal Messiniano cessano quasi completamente i movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo si registra un sensibile spostamento verso Nord – Est del fronte dell'Appennino settentrionale e si struttura il bacino Padano, inteso come l'ultimo di una lunga serie di bacini perisuturali che si sono succeduti durante l'orogenesi appenninica (Macigno, Marnoso Arenacea ecc.) a seguito della collisione tra la placca sardo corsa e quella adriatica. Da questo momento le geometrie deposizionali del neoformato bacino Padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini.

Il margine meridionale del bacino Padano, a ridosso del fronte appenninico, risente in modo consistente di tali movimenti. Il margine settentrionale (monoclinale pedealpina) risente invece in modo più blando di quanto succede nel bacino. I movimenti sono registrati da superfici di erosione arealmente anche molto estese, dalla riattivazione delle strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati ai movimenti eustatici.

La complessa evoluzione del Bacino Perisuturale Padano, nelle età che vanno dal Pliocene inferiore all'attuale, può essere riassunta in sette fasi salienti (Di Dio et. al. 1998):

1) Zancleano superiore – Piacenziano inferiore (da -3,9 a -3,6 - 3,3 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale (evento medio pliocenico), ovvero la strutturazione del settore piacentino delle pieghe emiliane (ETF), provoca un'importantissima regressione forzata nell'area piemontese sud-orientale e la rapida progradazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB1 Figura 8) fin sul fronte dell'allineamento strutturale Rivergaro - Salsomaggiore, lasciando alle spalle (Provincia di Piacenza e Pavia) un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Figura 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (Linea A in Fig. 4 e 7). In Provincia di Modena si assiste invece alla sedimentazione

delle Argille Azzurre o Argille di Lugagnano ampiamente affioranti lungo il margine appenninico (Figura 9). A partire dall'evento medio pliocenico non è più individuabile un unico bacino di avanfossa continuo al fronte del margine appenninico e la deposizione torbiditica avviene al fronte delle pieghe emiliane e ferraresi (Formazione di Porto Garibaldi).

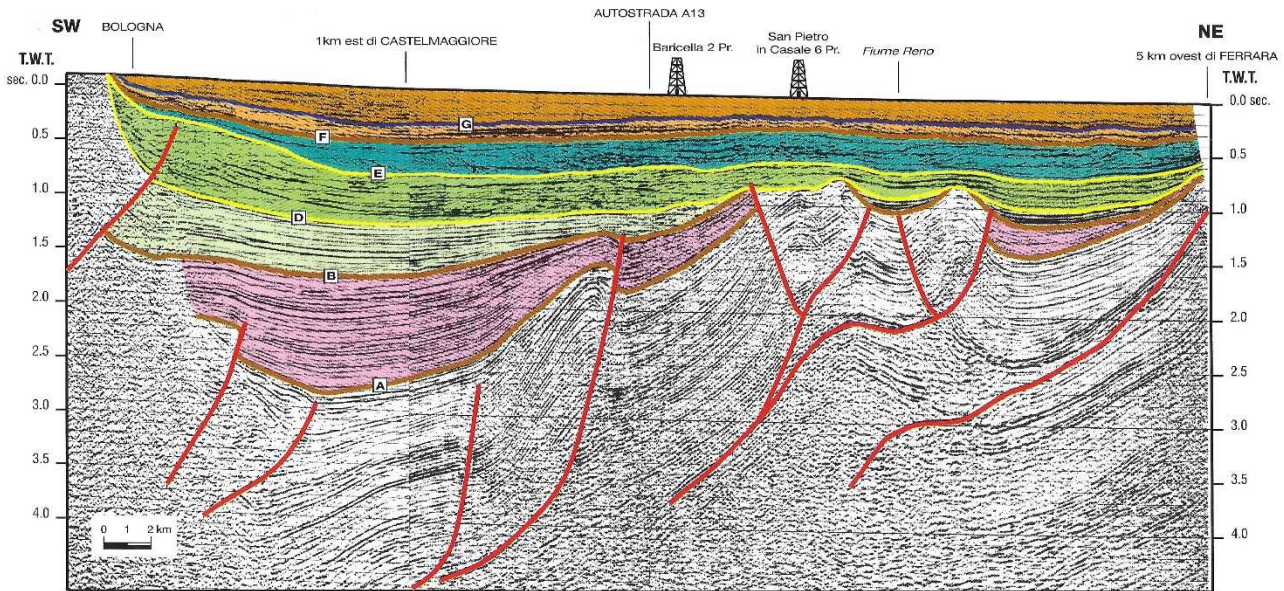


Fig. 7 – Profilo sismico Interpretato della Pianura Emiliana (G. Di Dio 1998)

2) Piacenziano – Gelasiano inferiore (da -3,6 - 3,3 a -2,4 Ma). Subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione e un ampliamento delle aree deposizionali sulla superficie di erosione, formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Depositi deltizi e costieri, di provenienza appenninica, si sviluppano sulla superficie di discontinuità originando il Supersistema del Pliocene medio-superiore affiorante nel territorio di Piacenza Provincia. In Provincia di Modena prosegue ancora la sedimentazione delle Argille marine di piattaforma e bacino.

3) Gelasiano inferiore – Pleistocene inferiore (da -2,4 a -1,6 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale che provoca un'importante regressione forzata nell'area emiliana; si attiva definitivamente il sistema delle pieghe emiliane (ETF). La Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB2 in Fig. 8) prograda rapidamente fin sul fronte dell'allineamento strutturale Cortemaggiore - Fontevivo - Reggio Emilia - Modena - Somaglia – Castrocara (attuale External Thrust Front - ETF), lasciando alle spalle un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Figura 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (linea B, Figg. 4 e 7). In Provincia di Modena si chiude la sedimentazione delle Argille marine (Argille Azzurre) attraverso la suddetta superficie subaerea (linea B) per poi iniziare con contatto basale netto e discordante la sedimentazione dell'Sistema del T.Stirone.

4) Pleistocene inferiore – Pleistocene medio (da -1,6 a -0,8 Ma). Subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione e un ampliamento delle aree deposizionali sulla superficie di erosione formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Depositi fluvio-deltizi, marino-marginali e di piattaforma, di provenienza appenninica ed alpina, danno origine Sintema del T. Stirone e al Sintema di Costamezzana (Quaternario marino 1-2). La superficie erosiva di separazione (contatto netto e discordante) tra il Sintema del T. Stirone e il Sintema di Costamezzana è contrassegnata da una ridotta fase sintettonica risalente a circa 1,2 Ma fa. L'alternanza di facies fini e grossolane all'interno dei due Sintemi rappresentano probabilmente fasi di avanzamento e ritiro dei sistemi deposizionali, in risposta alle oscillazioni climatico eustatiche, sviluppate alla scala 20-40Ka. In alcune zone centrali e marginali continua la sedimentazione delle Argille marine. La dorsale ferrarese rimane emersa e verrà sepolta solo dai depositi alluvionali continentali. Nel piemontese e nelle zone prealpine in questo periodo si è già passati alla sedimentazione continentale, con depositi fluvio lacustri sabbiosi e conoidi ghiaiose (Diluvium antico o Villafranchiano).

5) Pleistocene medio (da -0,9 a -0,8 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale che provoca la più importante regressione forzata del margine padano. La Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB3 Fig. 8) prograda rapidamente fin sul fronte dell'allineamento strutturale noto come "Dorsale Ferrarese", lasciando alle spalle un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Fig. 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (linea C in Figg. 4 e 7).

6) Pleistocene medio (da -0,80 a -0,45 Ma, Fig. 10). Forte subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione sedimentaria e la contemporanea trasgressione della superficie di erosione formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Inizialmente le aree che erano in condizione emersa sono di nuovo invase dalla trasgressione marina. Se al rapido innalzamento relativo del livello del mare si unisce la riduzione di apporto di materiale grossolano (ghiaia e sabbia) da parte dei fiumi, si ha come risultato la deposizione di sedimenti fini (argilla) su gran parte del bacino. La riduzione di apporto di materiale grossolano da parte dei fiumi è legata al fattore climatico: precipitazioni ridotte, tipiche di un interglaciale, cui si somma un aumento della vegetazione che riduce l'erosione dei versanti, determinano una ridotta energia da parte dei fiumi e un ridotto apporto di materiale grossolano in bacino. A questa serie di fattori occorre aggiungere anche l'arretramento dei punti di sbocco dei sistemi fluvio-deltizi causato dalla trasgressione. Successivamente alla fase di trasgressione i delta-conoidi alpini a Nord e quelli appenninici a Sud si uniscono con il sistema fluvio-deltizio centro padano, portando al riempimento definitivo del bacino marino. Verso la fine di questo periodo si verifica un evento minore di sollevamento delle strutture compressive appenniniche (in particolare ETF); esso è registrato in

affioramento da una superficie di discontinuità erosiva, che, solitamente, separa i depositi di piana alluvionale e conoide distale, citati in precedenza, dai depositi di conoide prossimale sovrastanti (Linea D in Figg. 4 e 7). Tale superficie, tracciata in sismica, risulta particolarmente evidente in corrispondenza dei principali fronti strutturali sepolti.



Fig. 8 – Fasi di migrazione della Transizione Scarpata Sottomarina – Piana Bacinale dal Pliocene medio al Pleistocene medio. In rosso l'area di interesse. (G. Di Dio 1998). In rosso l'ubicazione del sito

7) Pleistocene medio - attuale (da -0,45 all'attuale). Prosegue la forte subsidenza bacinale e la quiescenza tettonica relativa dello stadio evolutivo precedente. Nell'intervallo tra circa 200.000 e circa 100.000 anni fa, l'ampliamento delle aree deposizionali raggiunge la massima espansione sulle superfici di erosione del Margine. Il Margine Sudalpino del bacino è caratterizzato dalla presenza di depositi fluviali grossolani con intercalati paleosuoli con differenti tipi di alterazione. La sedimentazione nettamente continentale è influenzata da frequenti variazioni climatiche che portano poderosi apparati glaciali fino ad affacciarsi in pianura. La ridistribuzione dei depositi glaciali nelle valli fluviali porta all'accumulo di livelli fino a decametrici di ghiaie. L'alternanza con climi più miti è registrata dalla frequente presenza di paleosuoli intercalati. Deposit di conoide alluvionale, appartenenti a questa fase, affiorano in modo continuo lungo tutto il Margine Appenninico (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore) ed alpino (Litozona Ghiaioso-sabbiosa superiore); depositi di piana alluvionale, deltizi e costieri, coevi dei precedenti, aggradano nelle aree di pianura attuali. Successivamente, in corrispondenza delle strutture del Margine, si verificano sollevamenti tettonici

minori con spostamenti significativi verso valle delle cerniere strutturali che causano la fine della trasgressione e l'inizio del terrazzamento alluvionale.

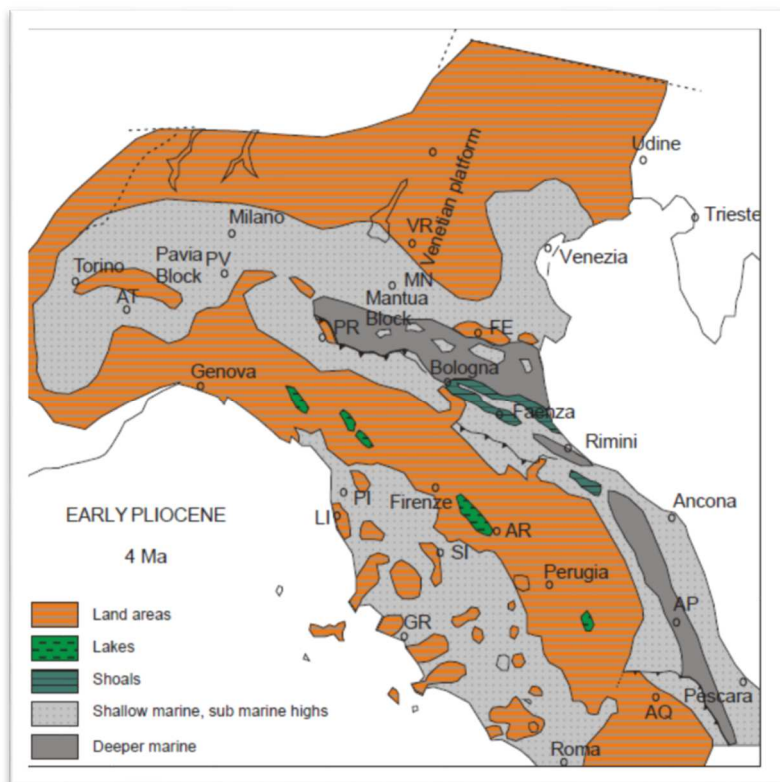


Fig. 9 – Ricostruzione paleogeografica al Pliocene Inferiore

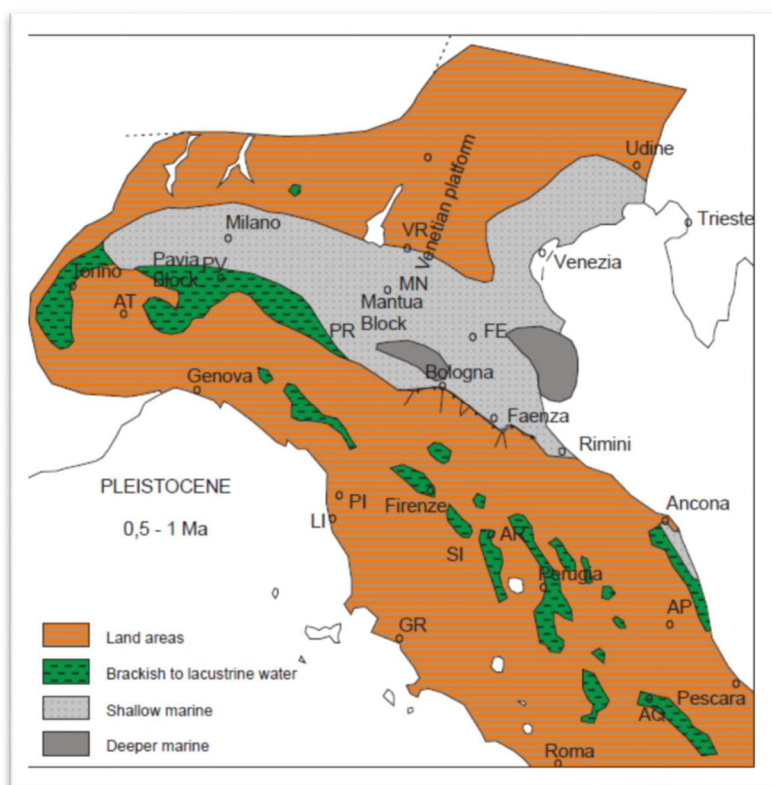


Fig. 10 – Ricostruzione paleogeografica al Pleistocene (0,5-1 Ma)

2.2.2 Assetto geologico dell'area di studio

Come già enunciato nei paragrafi precedenti i terreni che costituiscono il suolo e il sottosuolo del territorio comunale di Concordia appartengono ad una potente successione terrigena del Quaternario, suddivisibile, in senso stratigrafico, in un'unità inferiore d'ambiente marino (Supersistema Quaternario Marino) e in un'unità superiore (affiorante) d'ambiente continentale (Supersistema Emiliano-Romagnolo).

In riferimento a quanto desunto dai tecnici del Servizio cartografico e geologico della Regione Emilia Romagna, i sedimenti di origine marina si sono depositi a partire dall'inizio del Pleistocene inferiore (Santerniano 1,6 MA BP) fino a circa 800.000 (inizio del Pleistocene medio).

Nel suo complesso il Supersistema Quaternario Marino corrisponde ad una fase di rapida progradazione da Ovest verso Est dei sistemi deposizionali padani (sistemi di scarpata, di piattaforma, transizionali e quindi continentali in Fig. 11), progradazione che determina il rapido colmamento dei bacini profondi a sedimentazione torbidity ancora presenti nella parte orientale e Nordorientale dell'Emilia Romagna.

La generale evoluzione regressiva del gruppo è interrotta, con la deposizione di argille grigie marine di piattaforma, da almeno un'importante fase di rapida trasgressione.

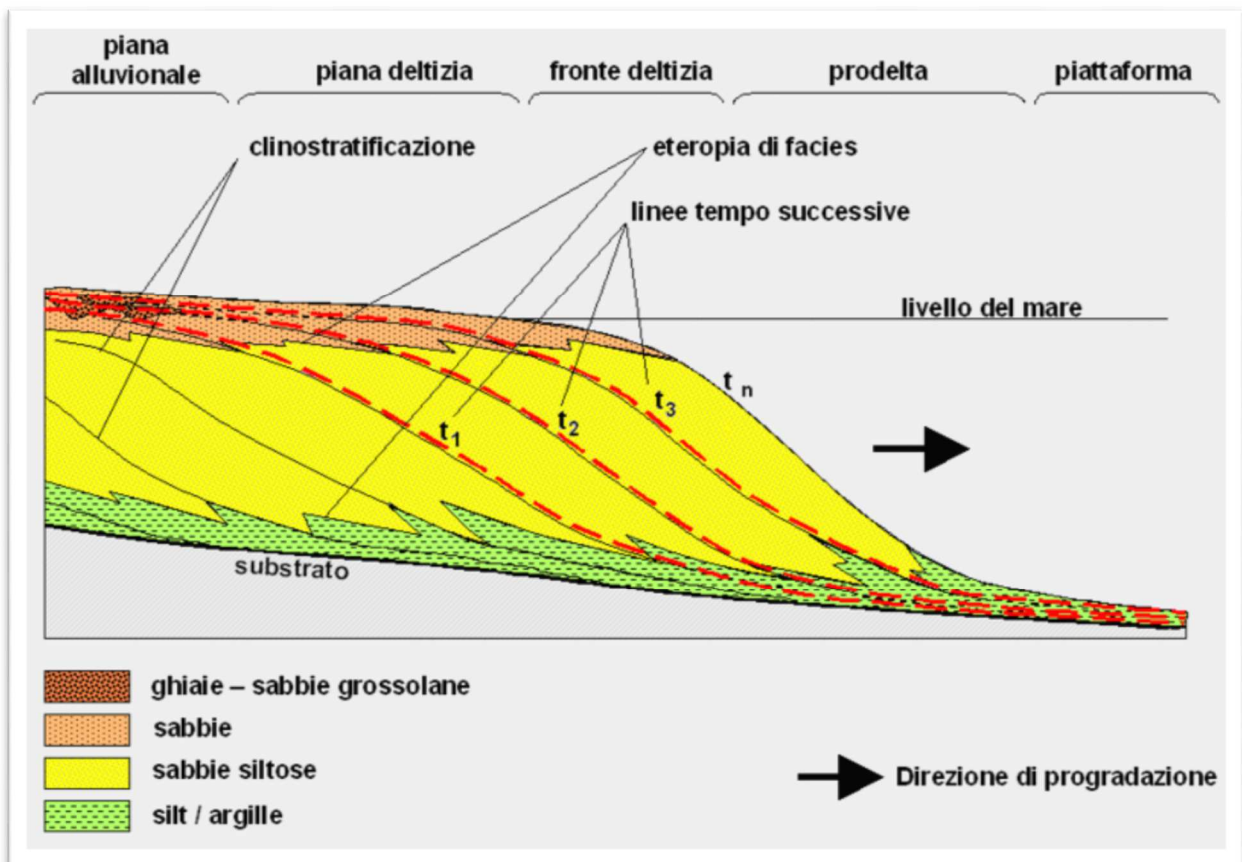


Fig. 11 – Sistema deltizio progradante

Di seguito viene fornita una rapida descrizione del Supersistema Quaternario Marino, mentre verrà trattato con maggior dettaglio il Supersistema Emiliano Romagnolo che, essendo affiorante, comprende i terreni investigati nel presente lavoro.

Supersistema Quaternario marino

La successione del supersistema Quaternario Marino è inquadrabile in un contesto geodinamico compressivo, caratterizzato da un bacino sedimentario tettonicamente attivo, sui margini del quale si sviluppano sistemi deposizionali fluvio-deltizi (Fig. 11) dominati sia dal moto ondoso sia dai processi di piena fluviale (Mutti *et alii*, 1996).

La base del supersistema Quaternario Marino è definita da una marcata superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione che testimonia un evento tettonico regionale di sollevamento e basculamento del margine meridionale del Bacino Padano. Tale evento provoca un'importante regressione forzata in tutta l'area emiliana (Di Dio *et alii*, 1997a, b) e una notevole migrazione verso NE del margine appenninico.

Immediatamente al di sopra della superficie basale, in numerosi pozzi AGIP esaminati e in diverse località in affioramento, si rinviene un livello guida ricco in bioclasti noto nell'ambito della ricerca petrolifera e in letteratura con il nome di "calcarenite o crostone fossilifero". Esso è interpretabile come deposito di spiaggia residuale che registra la rapida trasgressione della linea di costa avvenuta durante la fase di subsidenza tettonica immediatamente successiva al sollevamento regionale. Al di sopra della superficie di inconformità basale e del "crostone fossilifero" si sviluppa una successione sedimentaria aggradante, costituita inferiormente (ATSa) da depositi prevalentemente fini, di piattaforma, fronte deltizio e prodelta e superiormente (ATSb, CMZ) da depositi marino-marginali e fluvio-deltizi organizzati secondo alternanze cicliche di facies fini e grossolane. Questi cicli fine-grossolano (Sequenze Deposizionali Elementari Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) rappresentano probabilmente fasi di avanzamento (attivazione) e ritiro (disattivazione) dei sistemi deposizionali in risposta alle oscillazioni climatico-eustatiche, sviluppate alla scala dei 20-40 ka.

Le unità che compongono questo supersistema nell'area sono comprese fra il Pliocene Superiore e il Pleistocene Inferiore. A scala regionale l'unità si estende al Pleistocene Medio (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Supersistema Emiliano Romagnolo

Il supersistema Emiliano-Romagnolo, definito da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi *et alii*, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Il limite inferiore del supersistema Emiliano-Romagnolo affiora solamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi dove è fortemente discordante sui depositi marini del Pleistocene Medio e mio-pliocenici.

Questa discordanza angolare si realizza anche nel sottosuolo in prossimità del margine appenninico ed è espressa dal contatto netto fra i depositi fluvio-deltizi alla base del supersintema e i depositi sabbioso-ghiaiosi litorali e di delta-conoide riferiti al tetto del Supersintema del Quaternario marino. Il limite superiore coincide col piano topografico.

L'età è compresa tra il Pleistocene Medio - Olocene (~ 650.000 anni BP – Attuale; Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Questa unità comprende due sintemi distinti (sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES) che sono stati riconosciuti e tracciati anche nelle porzioni di sottosuolo (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998; Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000: Foglio 199 Parma Sud e Foglio 200 Reggio Emilia).

Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI)

Si tratta di un'unità deposta in ambienti sedimentari di piana alluvionale, bacino interfluviale e conoide distale. È costituita da depositi prevalentemente limosi e limoso argillosi, di colore tipicamente grigio azzurrognolo, nei quali si intercalano livelli ghiaiosi che, in corrispondenza dei paleo-apparati fluviali principali, possono diventare localmente preponderanti. Le litofacies fini si ritrovano solitamente in banchi, spessi alcuni metri, massivi o con stratificazione piano parallela debolmente espressa, intervallati da strati decimetrici più argillosi e di colore scuro. Sono frequenti i livelli ricchi in sostanza organica (prevalentemente resti vegetali) e con presenza di malacofaune di ambiente continentale.

Il contatto di base con i depositi del supersintema Quaternario Marino è netto o erosivo e discordante. In corrispondenza della zona di alto strutturale AEI è quasi sempre completamente erosa, mentre a nord si "riapre" arrivando a raggiungere, gli spessori massimi. Età: Pleistocene Medio. L'unità si è deposta nell'intervallo compreso fra circa 650.000 e 350-450.000 anni B.P. (Regione Emilia Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)

Questa unità costituisce la porzione superiore del supersintema Emiliano- Romagnolo.

Si tratta di un'unità alluvionale, terrazzata, costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati), passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide. Sedimenti grossolani e fini sono presenti nella alta pianura, mentre depositi prevalentemente fini si osservano nella media pianura. Il limite inferiore è inconforme nelle porzioni affioranti e nell'alta pianura (dubitativamente inconforme nelle porzioni sepolte della media pianura). Il sintema Emiliano-Romagnolo Superiore risulta suddivisibile in quattro subsintemi, affioranti a quote progressivamente decrescenti lungo il margine appenninico; in ordine crescente di età:

- subsintema di Ravenna, AES8
- subsintema di Villa Verucchio, AES7

- subsintema di Agazzano, AES3
- subsintema di Maiatico, AES2

La sedimentazione del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore prende inizio al termine di un evento minore, ancorché regionale, di sollevamento delle strutture compressive appenniniche, registrato in affioramento da una superficie di discontinuità erosiva. Tale superficie, riconoscibile anche nei profili sismici, risulta particolarmente evidente in corrispondenza dei principali fronti strutturali sepolti (Di Dio *et alii*, 1997a, b).

Nel sottosuolo della pianura AES è costituito dalla sovrapposizione di cicli deposizionali di diverso ordine gerarchico. I cicli riconoscibili con maggior chiarezza hanno uno spessore di varie decine di metri e risultano generalmente organizzati verticalmente in sequenze *coarsening-upward* (CU) e in sequenze *fining-upward/coarsening upward* (FU/CU), entrambe caratterizzate da un'evoluzione di tipo trasgressivo-regressivo (T-R).

La porzione trasgressiva basale di ciascun ciclo è spesso caratterizzata dalla presenza di argille organiche di piana alluvionale, palude e piana costiera. Queste poggiano con un contatto generalmente netto sui depositi sabbiosi fluviali e deltizi del ciclo sottostante. Il limite inferiore di ognuno di questi cicli rappresenta una superficie di disattivazione della sedimentazione grossolana ed è riconoscibile nel sottosuolo come un forte contrasto di facies.

La porzione regressiva di ciascun ciclo consiste di depositi di piana alluvionale costituiti da sedimenti fini di tracimazione fluviale in cui le sabbie di canale fluviale sono subordinate e presenti solo come corpi lenticolari isolati. Al tetto del ciclo le sabbie di canale fluviale si fanno più abbondanti fino a formare corpi compositi e lateralmente estesi in tutto il sottosuolo del Foglio.

Sulla base dei caratteri trasgressivo-regressivi dei cicli deposizionali riconosciuti nel sottosuolo, della loro durata temporale e della loro estensione a scala regionale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) essi sono considerati il prodotto della ciclicità climatico-eustatica di quarto ordine. Nei settori intravallivi e pedecollinari di varie zone dell'Emilia-Romagna AES è suddiviso in subsintemi (AES2-8), ognuno dei quali è costituito da depositi alluvionali di un singolo terrazzo o di un gruppo di terrazzi, separati da quelli immediatamente sopra e sottostanti da scarpate di erosione particolarmente ampie, che delimitano depositi geometricamente discordanti tra loro. La superficie sommitale affiorante dei diversi subsintemi è caratterizzata da uno specifico grado di alterazione dei suoli.

Sulla base della prosecuzione fisica e/o geometrica dei corpi ghiaiosi di terrazzo e di conoide alluvionale, i 3 subsintemi più recenti (AES3, AES7, AES8) sono stati correlati con i 3 cicli deposizionali più superficiali riconosciuti all'interno di AES nel sottosuolo della pianura. Questi tre cicli sono quelli meglio definiti a scala regionale dato il numero relativamente alto di pozzi che li attraversano, compresi diversi carotaggi appositamente eseguiti per la cartografia geologica.

Nei depositi sepolti di AES al di sotto dei primi 3 cicli/subsintemi sono presenti altri 2 cicli deposizionali che tuttavia, diversamente da quelli già illustrati, sono conosciuti in modo più

approssimativo dato il numero esiguo di informazioni geognostiche disponibili e pertanto sono stati attribuiti ad AES indifferenziato. Nella pianura modenese lo spessore di AES varia da circa 300 m nei pressi di Nonantola (“Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia”) fino a circa 70-50 m presso Mirandola, in corrispondenza della culminazione strutturale delle pieghe ferraresi. L’Età è Pleistocene Medio - Olocene (per posizione stratigrafica). In Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), la base dell’unità è datata a circa 450-350 mila anni.

Assetto geomorfologico e litologia di superficie

I depositi che contraddistinguono il paesaggio del territorio comunale di Concordia appartengono al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, ed in particolare al Subsystema di Ravenna. Entrambi sono stati depositi dai fiumi e dai torrenti che, a partire dal Pleistocene Medio solcavano la Pianura Padana. Tale unità è caratterizzata da due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, originata dal Fiume Po; la seconda, trasversale, nord/est-vergente, originata dai sistemi di alimentazione appenninica.

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

1. pianura alluvionale ad alimentazione appenninica;
2. pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleoPo).

I suddetti sistemi deposizionali, in profondità si presentano interdigitati tra loro in relazione al tasso di apporto sedimentario, alle oscillazioni eustatiche del livello marino e alle fasi di attività e stasi tettonica, che nel corso del riempimento del bacino padano hanno determinato la continua variazione del depocentro bacinale.

Sistema deposizionale della Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica

In generale il modello di pianura alluvionale caratteristico di tutta la media e bassa pianura emiliano-romagnola interessata da fiumi e torrenti appenninici è abbastanza semplice: prima dei massicci interventi di regimazione idraulica che hanno portato alla costruzione degli argini artificiali, la dinamica della zona era caratterizzata da frequenti modifiche e divagazioni degli alvei fluviali, dovute alle ricorrenti rotte e tracimazioni dei corsi d’acqua, che scorrevano pensili rispetto alla piana circostante in alvei formati dalla naturale azione di deposito degli stessi.

Nel caso di rotte e tracimazioni le acque inondavano i territori adiacenti l’alveo, depositando sedimenti più grossolani (es. sabbie e sabbie limose) nelle vicinanze dello stesso e sedimenti più fini al diminuire della capacità di trasporto. L’azione di deposito così descritta provocava un graduale accrescimento dell’area, con un innalzamento progressivo del canale rispetto alle zone circostanti, dove invece arrivavano acque di esondazione a carico solido già ridotto sia quantitativamente che granulometricamente. Inevitabilmente e per svariate cause il corso d’acqua poteva ad un certo punto

abbandonare il proprio alveo per un tracciato impostato in aree più depresse, per poi ricominciare l'innalzamento di un nuovo edificio pensile ecc..

Secondo questo modello, schematizzato in Fig. 12, l'accrezione della pianura avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente, a causa di continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione.

La pianura risulta dunque costituita da un intrecciarsi di lenti a tessitura prevalentemente sabbiosa, corrispondenti a corpi d'alveo sepolti, e da sedimenti fini (limi ed argille) determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

Il modello descritto è confermato, oltre che dalla distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, dall'assetto morfologico della pianura.

Lo spessore delle unità sedimentarie riconosciute sul territorio risulta molto variabile, essendo funzione della maturità delle forme, delle dimensioni del canale fluviale e di quelle del relativo bacino idrografico, caratteristiche che condizionano la dinamica idromorfologica del fiume e l'entità degli eventi alluvionali.

La Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica si estende in territorio emiliano e basso mantovano, lungo gli assi dei fiumi Secchia e Panaro, fino a qualche chilometro a sud dell'asse fluviale del Po.

Il sistema deposizionale è caratterizzato da depositi prevalentemente fini argillosi e/o limosi attraversati in senso meridiano da corpi nastriformi di ghiaie e sabbie (Fig. 12).

Il rapporto tra materiali grossolani e fini risulta generalmente inferiore all'unità.

Oltre i 16 - 20 metri di profondità dal piano campagna il limite settentrionale della Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica, si trova in posizione più meridionale rispetto al limite riscontrabile nello strato superficiale. In profondità si rinvencono, infatti, potenti bancate sabbiose, riferibili ad antichi paleoalvei del fiume Po, a testimonianza della migrazione del corso d'acqua medesimo verso nord. Il tratto di pianura, con la successione sedimentaria descritta, è definita anche "Pianura a crescita verticale" o "Pianura alluvionale".

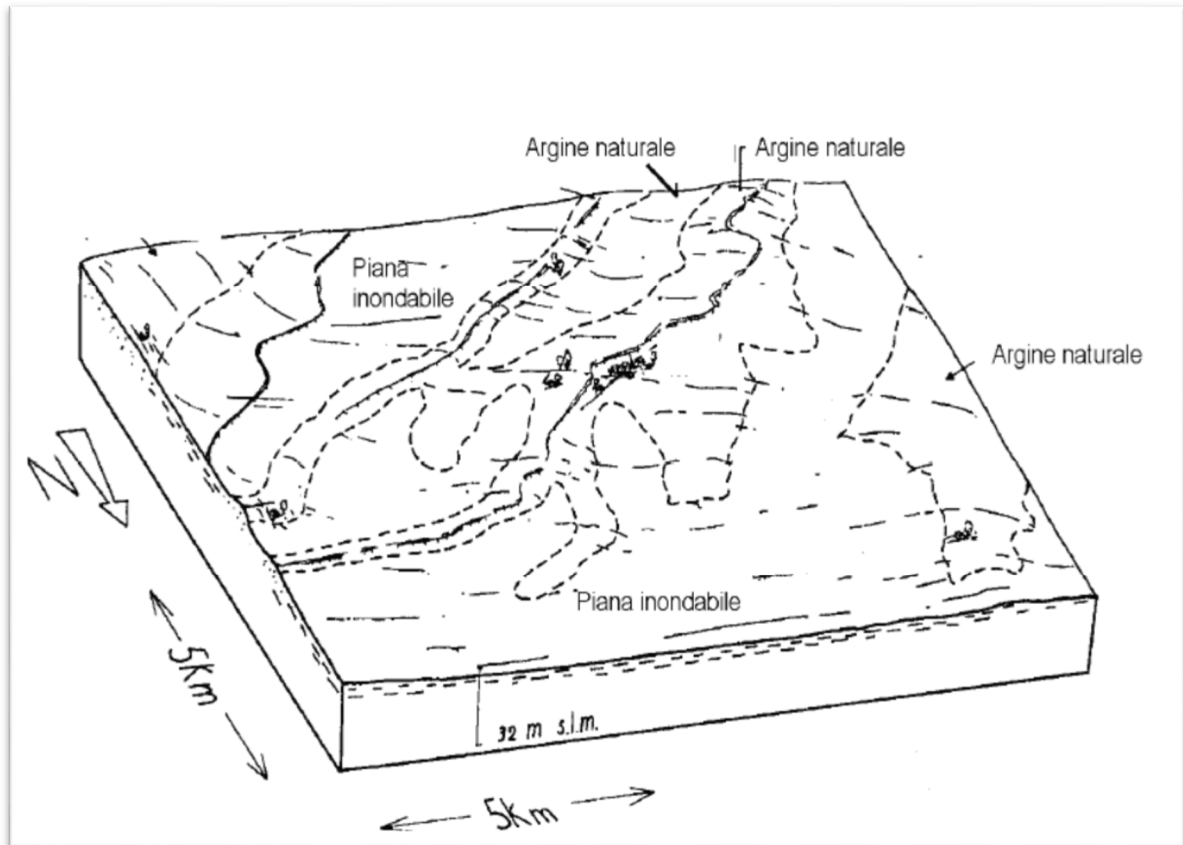


Fig. 12 – Conformazione del rilievo del sistema deposizionale della Piana alluvionale ad alimentazione appenninica (tratta da “I suoli dell’Emilia Romagna” 1994).

Depositi di argine naturale o dosso fluviale

I sedimenti di questa sottounità caratterizzano dossi debolmente rilevati che fiancheggiano canali fluviali con alveo tipicamente inciso e impostato a quota inferiore rispetto il piano campagna (Fig. 12).

Essi presentano generalmente una forma allungata secondo l’asse del corso d’acqua e sono caratterizzati da un profilo trasversale convesso con pendenza dell’ordine dello 0,2%. La successione stratigrafica è costituita da un’alternanza di sabbia fine e limo strutturati con argilla (Fig. 13). La frequenza dei livelli sabbiosi tende ad aumentare verso l’alto (sequenza negativa).

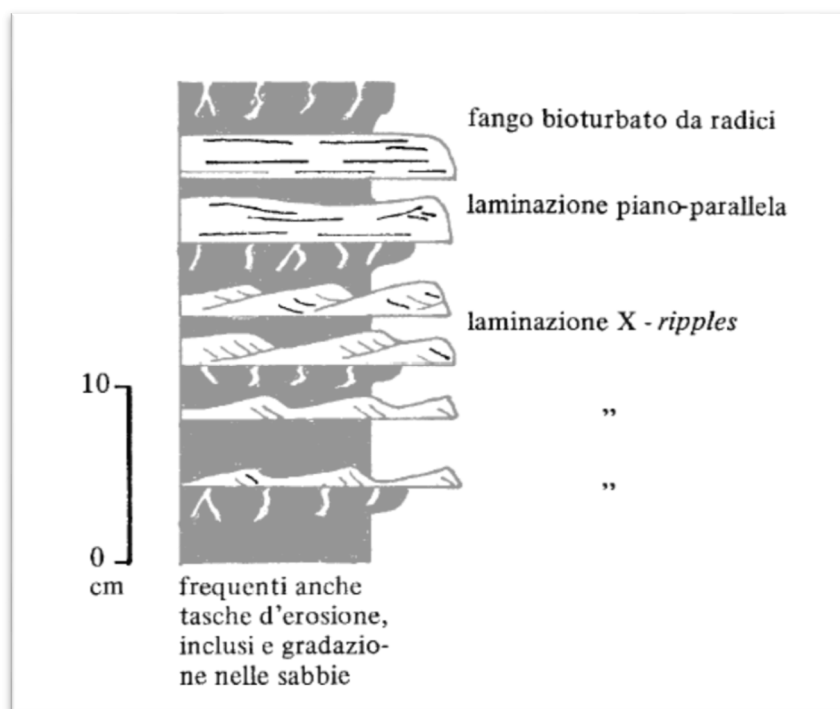


Fig. 13 – Tipica sequenza deposizionale di un deposito di argine naturale (in grigio i limi e le argille e in bianco le sabbie)

Depositi di piana inondabile

La piana inondabile, in senso paleogeografico, caratterizza la parte centrale delle zone perifluviali ed è delimitata dai sistemi di argine naturali paralleli ai corsi d'acqua; in passato rappresentava la zona di raccolta delle acque di piena tracimate dagli alvei incisi (Fig. 12).

La conformazione del rilievo è caratterizzata da lembi marginali di vaste depressioni con pendenze che variano tipicamente da 0,05 a 0,2%. Si tratta per lo più di superfici piane a profilo concavo con ondulazioni e modesti rilievi riferibili a depositi di argine del reticolo idrografico minore.

Tali superfici sono inoltre solcate da una fitta rete di canali artificiali per il deflusso delle acque di scorrimento superficiale. I corpi idrici, in alcuni casi sono impostati in corrispondenza di antichi drenaggi naturali, per il resto sono il frutto degli interventi di bonifica agraria operati dal medioevo fino ai nostri giorni.

I depositi di piana inondabili sono i materiali più fini del sistema di pianura alluvionale; predominano infatti limi e argille di decantazione con rare intercalazioni sabbiose in strati generalmente centimetrici.

Localmente si rinvencono anche livelli torbosi (Fig. 14).

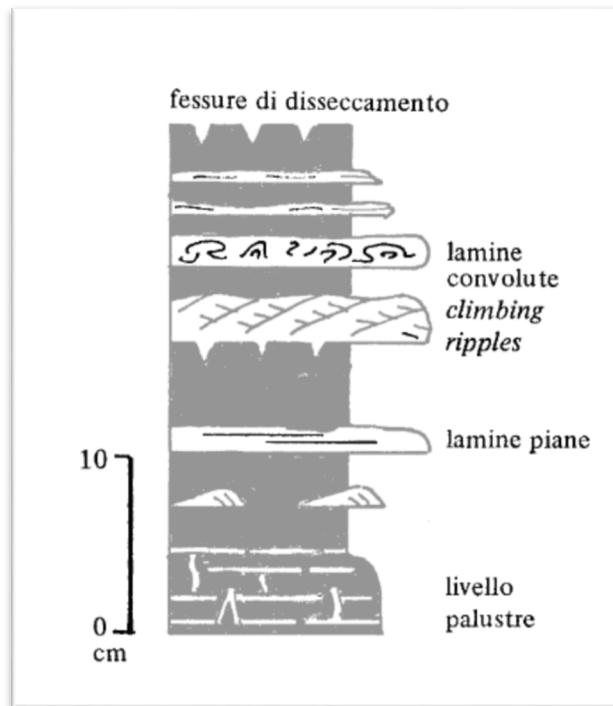


Fig. 14 – Tipica sequenza deposizionale di un deposito di piana inondabile (in grigio i limi e le argille e in bianco le sabbie)

Sistema deposizionale della Pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleoPo)

La Pianura alluvionale ad alimentazione assiale si estende dall'asse del Fiume Po per circa qualche chilometro in direzione sud, costituita dal sistema fluvio-deltizio del Fiume Po.

È sedimentata durante il Quaternario, in concomitanza della regressione verso est del Mare Adriatico e della progradazione verso il centro bacinale dei sistemi di conoide alluvionale dei tributari alpini ed appenninici.

Tale sistema fluvio-deltizio si sviluppa parallelamente al Fiume Po per una fascia di estensione di qualche chilometro interdigitato a vari livelli dagli strati sedimentati dai suoi affluenti. La successione stratigrafica è tipicamente caratterizzata da spesse bancate di sabbie prevalenti, interdigitate da corpi lentiformi di argille, limi e talora sabbie ghiaiose.

Il rapporto tra materiali grossolani (sabbie e ghiaie) e fini (limi ed argille) risulta alto. Il tratto di pianura con la successione sedimentaria descritta è comunemente definito "Piana di meandreggiamento del Fiume Po (Fig. 15).

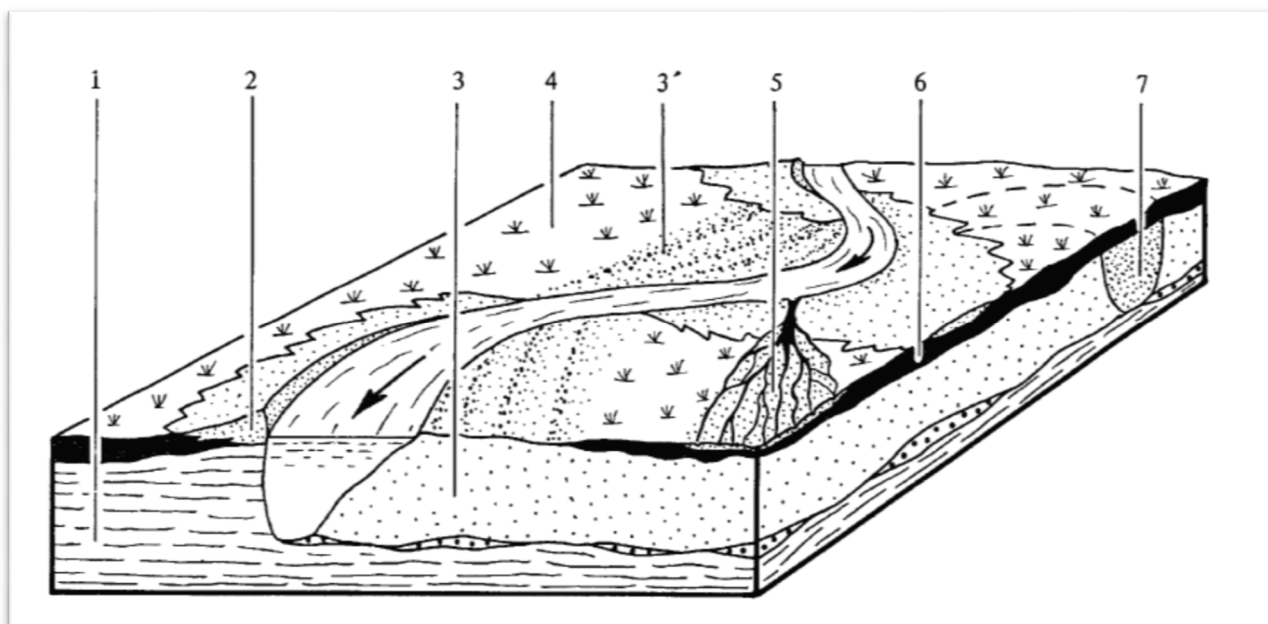


Fig. 15 – Block diagram della piana di meandreggiamento del Fiume Po ad alimentazione assiale: 1) alluvium più antico; 2) argine naturale; 3) barra di meandro; 4) piana inondabile; 5) lingua o ventaglio di rota; 6) pavimento residuale o fondo canale; 7) riempimento di canali morti.

La sovrapposizione e la giustapposizione nel tempo e nello spazio dei diversi ambienti deposizionali nel quaternario ha direttamente influenzato la morfologia della media e bassa pianura modenese. Nel territorio comunale sono presenti elementi morfologici direttamente osservabili in campagna, che seguono una direttrice prevalente N-S e O-E (Fig. 16). La bassa pianura, che occupa circa il 20% del territorio provinciale, è caratterizzata dalla presenza di strisce rilevate, dette “dossi”, corrispondenti ad alvei antichi od attuali pensili sulla pianura circostante e da zone depresse, dette “valli”, all’interno delle quali l’acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica. I dossi e i paleodossi sono di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevanti e dolcemente raccordanti alle superfici adiacenti.

Elemento di rilievo è rappresentato dal paleoalveo, risalente al XII-XII sec. che, proprio da Concordia, si stacca in direzione O-E verso Fossa, Nosedella e Quarantoli, testimonianza dell’azione di controllo del Fiume Po che scorreva molto più a sud rispetto all’attuale.

Dal punto di vista topografico l’area comunale presenta una morfologia insospettabilmente varia se si tiene conto che si colloca nella bassa pianura; le quote variano all’interno del territorio tra i 20.0 – 20.5 m s.l.m. in corrispondenza del centro abitato, ai 10.0-11.0 m s.l.m. della zona nordorientale (loc. “Co’ dei Belli - Malavicina), con graduale decremento spostandosi da est verso ovest.

La distribuzione dei paleoalvei e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l’assetto idraulico di superficie che la

distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (paleoalvei), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni; al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

Le conche morfologiche rappresentano ancora le aree di maggior rischio idraulico, non solo in caso di esondazione ma anche nel caso di eventi pluviometrici di eccezionale durata e/o intensità, che possono mettere in crisi la rete scolante o produrre ristagni di acqua, favoriti anche dalla scarsa permeabilità della litologia di superficie.

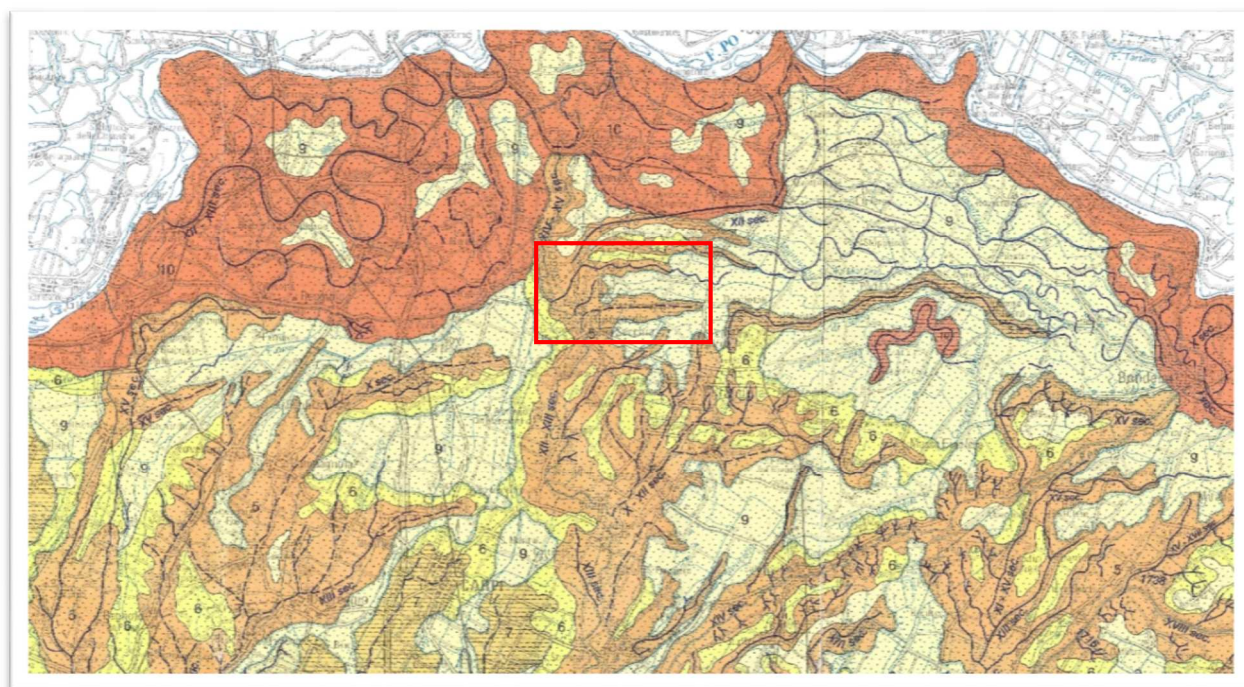
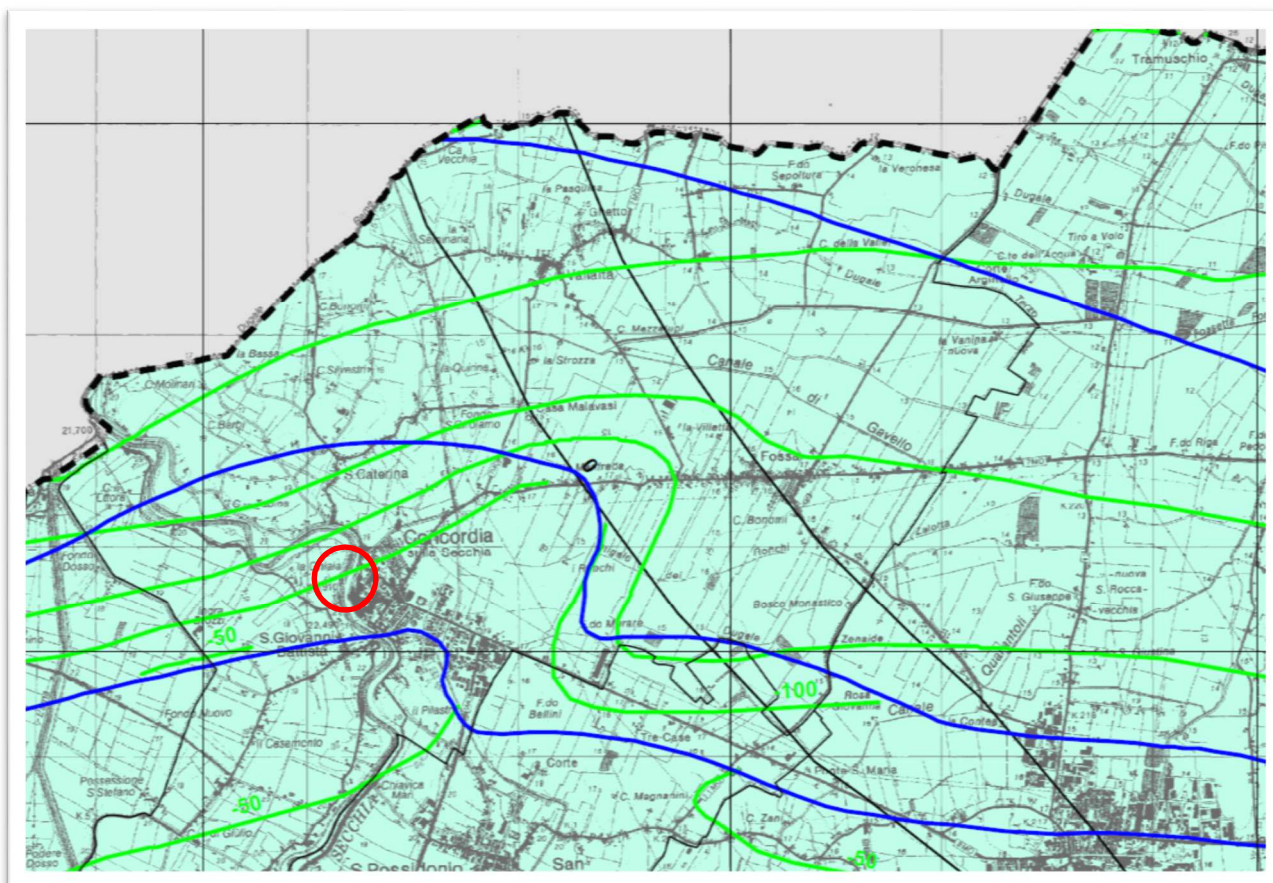


Fig. 16 – Principali elementi geomorfologici: particolare della Carta geologica di Pianura Dell’Emilia Romagna in scala 1:250000 (Legenda: 10 piana a meandri del Po; 9 piana inondabile; 6 argine distale; 5 dossi e canali)

I centri abitati storici, come Concordia, sorgono su dossi fluviali più rilevati rispetto alla pianura circostante. L’occupazione storica di queste aree più rilevate è legata alla maggior sicurezza e salubrità rispetto alle aree depresse di piana inondabile che, prima dell’intensa opera di bonifica degli ultimi due secoli, erano occupate da aree paludose con acque stagnanti. I dossi fluviali come appena visto sono forme legate all’attività fluviale e testimoniano la presenza di antichi canali e argini naturali; il loro rilievo è dovuto alla minore compattazione che i sedimenti sabbioso-limosi subiscono rispetto a quelli limo-argillosi delle aree depresse circostanti. La Fig. 16, estratta dalla cartografia di superficie della regione Emilia Romagna, riporta per la zona in esame, la presenza di depositi di piana inondabile. In Fig. 17 si riporta uno stralcio della carta dei depositi superficiali della pianura

modenese; in cui, per l'area di interesse, si riporta la prevalenza di depositi sabbiosi e limo-sabbiosi. Le litologie riscontrate durante l'esecuzione della prova penetrometrica (capitolo seguente), hanno permesso di approfondire la conoscenza stratigrafica dell'area. Al di sotto di uno primo gruppo di livelli a composizione prevalentemente argillo-limosa con spessore di circa 19-20 m da p.c. sono presenti, fino alla profondità di fine prova (21 m da p.c.), dei livelli prevalentemente sabbiosi con sporadiche intercalazioni limose, connesse con la deposizione dei depositi del Fiume Po.



	ghiaie affioranti
	ghiaie
	successioni alluvionali prevalentemente fini (argille e limi)
	sabbie
	isobate della superficie superiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
	isobate della base del ciclo alluvionale superiore / tetto del ciclo alluvionale inferiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
	isobate della base dei depositi alluvionali / tetto substrato marino (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)

Fig. 17 – Litologia di superficie: Stralcio della Tavola 3.01 “Carta dei depositi che influenzano il moto sismico di superficie” del PTCP di Modena

2.2.3 Assetto idrogeologico

L'area in esame si colloca in un settore della bassa pianura modenese caratterizzata dalla presenza nel sottosuolo di depositi alluvionali sabbiosi del fiume Po ricoperti da depositi più fini attribuibili al Secchia.

Le alluvioni sabbiose del fiume Po sono sature e ospitano falde idriche assai produttive. Si tratta di falde confinate e semiconfinite, Più in superficie possono essere riconosciute falde freatiche insediate negli orizzonti permeabili e il cui livello risulta condizionato in modo particolare dall'altezza idrometrica del fiume Secchia. Nella zona possono essere anche riconosciute locali falde sospese con caratteristiche effimere ed irregolari in relazione alla variabilità stagionale, a ricarica verticale per infiltrazioni superficiali, poste all'interno di livelli più permeabili.

Le falde superficiali risultano spesso in continuità con le falde più profonde, portando i livelli piezometrici a livelli prossimi al piano campagna, soprattutto in relazione ai livelli del fiume Secchia.

3. INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica, in considerazione dell'importanza dell'opera e dalla conoscenza delle caratteristiche geologiche dell'area, è stata condotta mediante l'esecuzione di un'indagine diretta costituita da n. 1 prova penetrometrica con piezocono sismico e di un'indagine indiretta cioè di n. 1 prova MASW.

Le indagini sono state eseguite obbligatoriamente nel cortile retrostante l'edificio oggetto del progetto di ristrutturazione dell'area di interesse, come risulta dall'ubicazione riportata in Tavola 2.

3.1 Indagine diretta

L'indagine diretta è consistita nell'esecuzione di n. 1 prove penetrometriche statica con piezocono sismico spinta fino ad una profondità di circa -21 m da p.c. Al termine della prova, nel foro di investigazione, è stato misurato il livello piezometrico. Le risultanze della prova penetrometrica e le relative elaborazioni sono riportate in Allegato A.

3.2 Indagini indirette

L'acquisizione dei dati è stata eseguita in modalità MASW tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (P.A.S.I. Mod.16SG24) collegato a 24 geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 34.5 metri con spaziatura tra i geofoni di 1.5 metri e tempo di acquisizione pari a 1 secondo. I risultati dell'indagine geofisica sono riportati in Allegato B.

3.3 Caratteristiche litostratimetriche dei terreni investigati

I terreni investigati risultano costituiti da depositi fini prevalentemente argillo-limosi e limo-argillosi, sovrastanti depositi sabbiosi; questo assetto stratigrafico è caratteristico delle aree di dosso naturale della bassa pianura alluvionale emiliana nelle quali la sedimentazione è inizialmente legata all'attività del F. Po e successivamente dai corsi d'acqua appenninici.

Dall'analisi e dall'interpretazione dei risultati delle indagini effettuate è stato possibile ricostruire il modello litostratimetrico dei terreni investigati attraverso la suddivisione del sottosuolo investigato in livelli lito-geomeccanici aventi caratteristiche omogenee.

Il rapporto tra la resistenza di punta Q_c e quella laterale f_s nonché la valutazione delle pressioni dei pori ha permesso il riconoscimento litostratigrafico dei diversi livelli litologici (vedere per dettagli Allegato A).

La prova penetrometrica ha permesso, pertanto, di individuare, entro la massima profondità indagata, i seguenti principali livelli litostratigrafici:

Livello	Profondità		Litologia prevalente	Comportamento
	da (m)	a (m)		
A	0,00	1.5	Sabbia limosa	incoerente
B	1.5	2.5	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
C	2.5	9.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
D	9.0	16.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
E	16.0	19.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
F	19.0	20.5	Sabbia limosa e sabbia	incoerente
G	20.5	21.0 (f.f.)	Sabbia – sabbia e ghiaia	incoerente

Livello A (da 0,0 a 1,5 m da p.c.):

Terreno a tessitura da sabbiosa a sabbioso limosa; il materiale presenta un'elevata sovraconsolidazione, dovuta a ripetuti cicli imbibizione essiccamento e testimoniata da alti valori della resistenza alla punta ($1\text{Mpa} < Q_c < 5\text{ Mpa}$) con media pari a 2.9 MPa e dev. standard di 0.98.

Livello B (da 1,5 a 2,5 m da p.c.):

Terreno coesivo prevalentemente argillo-limoso sovraconsolidato con valori di resistenza alla punta Q_c compresi tra 0.84 e 2.39 Mpa con media pari a 1.33 MPa e dev. standard di 0.30, mentre la resistenza d'attrito f_s varia da un minimo di 43.4 ad una massimo di 121.2 KPa, con media di 83 KPa e dev. standard di 20.08.

Livello C (da 2.5 a 9.0 m da p.c.):

si tratta di un livello a comportamento coesivo costituito da argilla limosa e limo-argilloso da normalconsolidato e leggermente consolidato. I valori di resistenza di punta Q_c si distribuiscono intorno ad un valore medio di 0.77 MPa e dev. standard di 0.25, mentre i valori di resistenza d'attrito f_s presentano una media di 25.64 KPa con dev. standard di 9.73. Sono presenti intercalazioni di sabbia e sabbia limosa come quella presente tra le profondità di 6.50 e 7.50 m da p.c.

Livello D (da 9.0 a 16.0 m da p.c.):

il livello risulta costituito da argilla limosa e limo argilloso caratterizzate da un aumento progressivo delle resistenze penetrometriche. La resistenza di punta Q_c varia da un minimo di 0.72 MPa ad un massimo 2.19 MPa con un valore medio di 1.22 MPa e dev. standard pari a 0.25 mentre la resistenza d'attrito f_s si distribuisce intorno ad un valore medio di 56.70 con dev. standard pari a 24.11. Sono presenti livelletti di argilla organica di spessore massimo di circa 10 cm.

Livello E (da 16.0 a 19.0 m da p.c.):

si tratta di un livello costituito prevalentemente di argilla limosa e argilla limosa caratterizzato da un aumento delle resistenze alla penetrazione; la resistenza di punta si distribuisce intorno ad un valore medio di 2.31 MPa con dev. standard di 0.54, mentre i valori di resistenza di attrito presentano una media pari a 141.19 KPa e dev. standard pari a 45.0.

Livello F (da 19.0 a 20.5 m da p.c.):

è un livello a comportamento incoerente costituito da sabbia limosa e sabbia con intercalazione limo-argillose caratterizzato da valori di resistenza di punta Q_c che variano mediamente da 2.82 a 7.18 MPa con media pari a 5.32 ± 1.05 Mpa e da valori di resistenza d'attrito che si distribuiscono intorno ad un valore medio di 77.75 KPa con dev. standard pari a 12.62.

Livello G (da 20.5 a 21.0 m da p.c.):

corrisponde ad un livello ghiaioso-sabbioso addensato che determina il rifiuto strumentale. La resistenza di punta presenta varia da valore massimo di 35.4 MPa ad un valore minimo di 27.9 MPa, una media di 27.9 con dev. standard di 5.31, mentre la resistenza d'attrito varia da 146.5 a 56.2 KPa con valore medio di 109.7 KPa.

3.4 Caratteristiche geomeccaniche

Dall'elaborazione dei risultati della prova penetrometrica eseguita è stato anche possibile ricostruire il seguente modello geomeccanico assegnando ai livelli litostratigrafici suddetti alcuni dei principali parametri geotecnici di massima, stimati in base a correlazioni note in letteratura geotecnica nonché in analogia a terreni consimili, quali:

- Peso naturale dell'unità di volume del terreno γ ;
- coesione non drenata c_u e modulo di edometrico;
- coesione c' ;

- angolo di attrito interno ϕ' .

Schematicamente si può riassumere:

Livello	Profondità		γ (kN/m ³)	S_u (Kpa)	ϕ' (°)	OCR	M (Mpa)
	da (m)	a (m)					
A	0,00	1,5	16.5-17.5	0.0	38.0-39.0	-	25.0 - 30.0
B	1,5	2,5	18.0-18.5	35.0-40.0	0.0	6 - 8	20.0 - 25.0
C	2,5	9.0	17.0-17.5	20.0-25.0	0.0	1.6 - 2.2	1.5 - 2.5
D	9.0	16.0	18.0-18.5	35.0-45.0	0.0	1.5 – 2.2	2.5 - 3.0
E	16.0	19.0	19.0-19.5	85.5-94.0	0.0	2.5 – 3.0	4.5 - 5.5
F	19.0	20.5	18.5-19.5	0.0	30.0-35.0	-	20.0- 25.0
G	20.5	21.0	19.0-20.0	0.0	40.0-43.0	-	120.0 -150.0

Dove

γ = Intervallo Valori del Peso di volume, Robertson e Cabal (2010)

S_u = Intervallo Valori della Resistenza non drenata secondo Mayne 2010;

ϕ' = Intervallo Valori dell'Angolo di resistenza al taglio, secondo Senneset (1988);

M = Intervallo Valori del Modulo confinato (Modulo edometrico), procedura proposta da Togliani (2010).

OCR = Intervallo Valori del rapporto di sovra consolidazione da Mayne et. al. (2009)

Altri parametri sono indicati e riproposti nei grafici contenuti nell'elaborazione della prova SCPTU (All. A).

La prova SCPTU ha permesso anche di determinare il profilo sismico (Fig. 18) entro la profondità indagata di circa 21.0 m da p.c., ma, a causa del raggiunto rifiuto strumentale dovuto alla presenza di un livello sabbioso altamente addensato, non è stato possibile raggiungere la profondità di 30 m da p.c., necessaria alla definizione della categoria di sottosuolo secondo la Tabella 3.2.II della normativa vigente NTC e, pertanto, si è proceduto all'esecuzione di una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves).

La prova MASW, eseguita nel cortile retrostante l'edificio di interesse, ha consentito di determinare (vd. Allegato B), tramite la relazione riportata di seguito (NT08), un valore di V_{s30} al piano campagna pari a 232 m/s da cui si evince che il sottosuolo appartiene alla categoria del suolo di fondazione di **tipo C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s...*).

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

h_i : spessore in metri dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$: velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato.

Le due prove eseguite (cono sismico e MASW) hanno comunque fornito, entro la profondità raggiunta dalla prova penetrometrica, una perfetta corrispondenza dei risultati ottenuti.

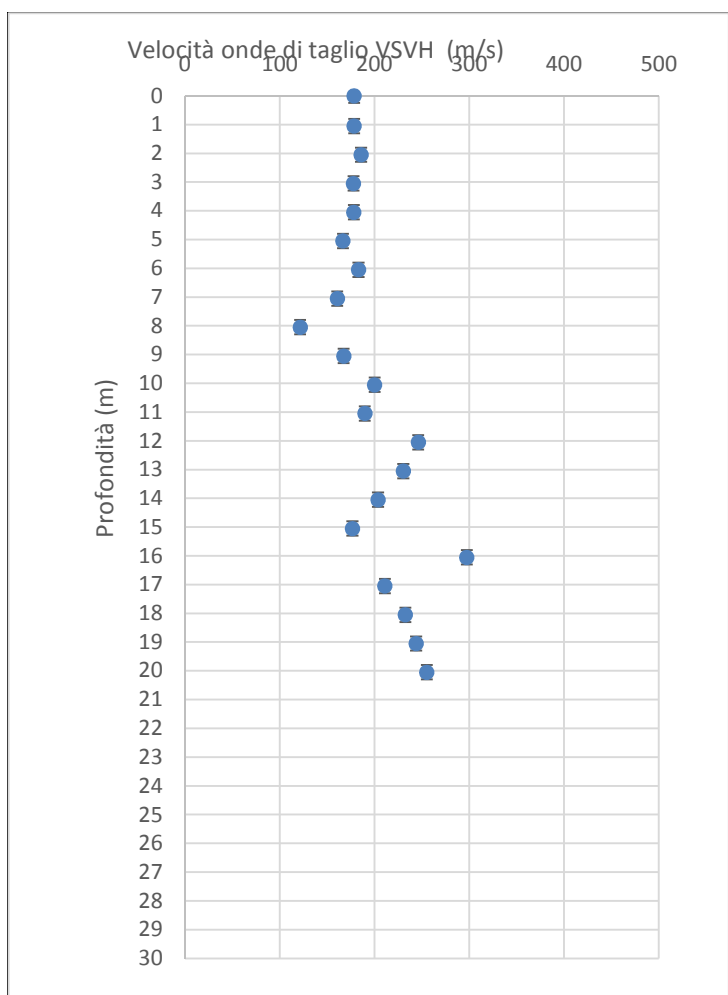


Fig. 18 – Profilo sismico della prova SCPTU

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA SISMICITA' STORICA

4.1 Caratteri strutturali e sismotettonici

In base all'assetto geostrutturale descritto al paragrafo 2.2.1 la sismicità, si concentra in corrispondenza degli elementi strutturali sepolti (faglie, pieghe, sovrascorrimenti). Le strutture sismogenetiche maggiormente attive sono l'ETF e il PTF ad est del Fiume Taro, il Sistema Verona Brescia e la faglia di Verona. Nell'area di studio l'attività sismica è, quindi, la conseguenza della propagazione dell'energia elastica liberata nelle citate zone sismogenetiche.

Le ricerche in campo sismotettonico avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare nel settore di pianura in esame, risultano attivi i sovrascorrimenti del margine appenninico, e delle pieghe emiliane e ferraresi (Fig. 19 – Fig. 21).

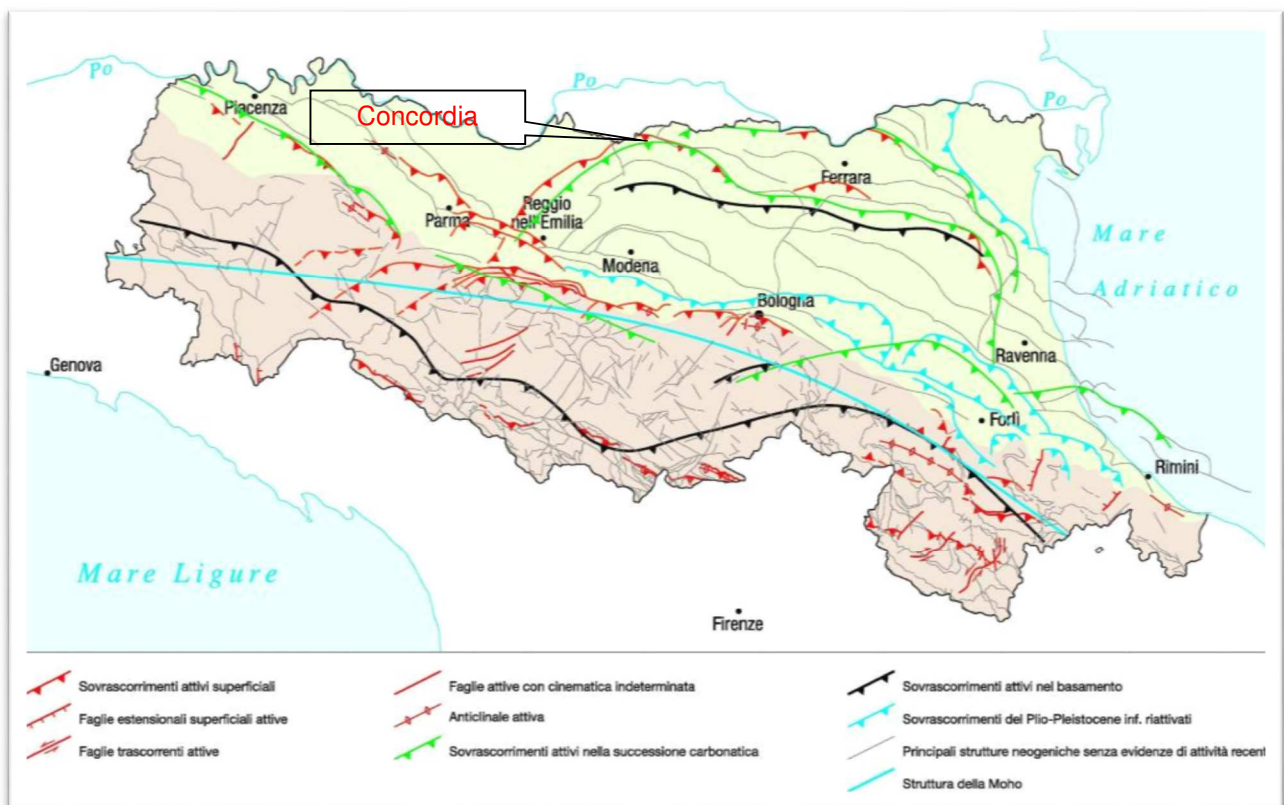


Fig. 19 – Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

Gli studi sulle sorgenti sismiche, promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata

ZS9, che prevede una suddivisione in 36 zone (Fig. 20 e Fig. 21), i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc.. In particolare il territorio di Concordia ricade nella zona Sismogenetica 912 (Dorsale Ferrarese):

- Zona Sismogenetica 912: rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'Appennino Settentrionale caratterizzata dallo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica "Adria") sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale (placca tettonica "Northern Apenninic Arc") con cinematismi attesi di sovrascorrimenti e faglie trascorrenti aventi assi SW-NE; i terremoti storici hanno raggiunto valori pari a $M = 5,9$; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 6 e 8 Km con profondità efficace di 7 km; nella Zona Sismogenetica 912 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{max} = 6,14$.

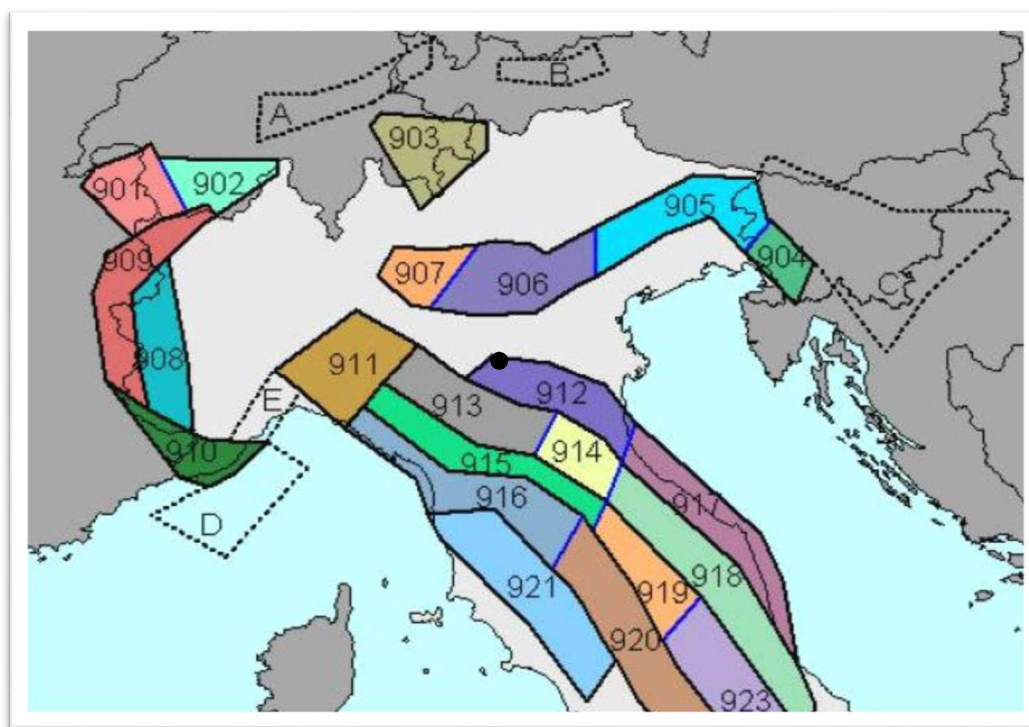


Fig. 20 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004" - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). Il punto nero individua approssimativamente l'area di intervento.

La sismicità locale è data prevalentemente dall'attività delle faglie compressive delle Pieghe Ferraresi (Pieri e Groppi, 1981).

Le Pieghe Ferraresi sono un sistema di pieghe-faglie che hanno dato origine a due dorsali sepolte che nell'insieme descrivono, in pianta, un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica, che si spinge fino ed oltre il Po tra Ferrara e Occhiobello (RO) (Bigi et al., 1990). In particolare sono distinguibili una dorsale più interna, che ha il massimo sollevamento tra Novi di

Modena e Medolla, nota come struttura o alto di Mirandola, e una più esterna che ha il culmine tra Bondeno e Ferrara (Fig. 22).

La strutturazione di queste dorsali sepolte è il risultato dell'attività di faglie inverse (*thrust*) la cui attività è iniziata nel Pliocene medio-superiore, con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud; di attivazione più recente sono le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (*backthrust*) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali (Fig. 22).

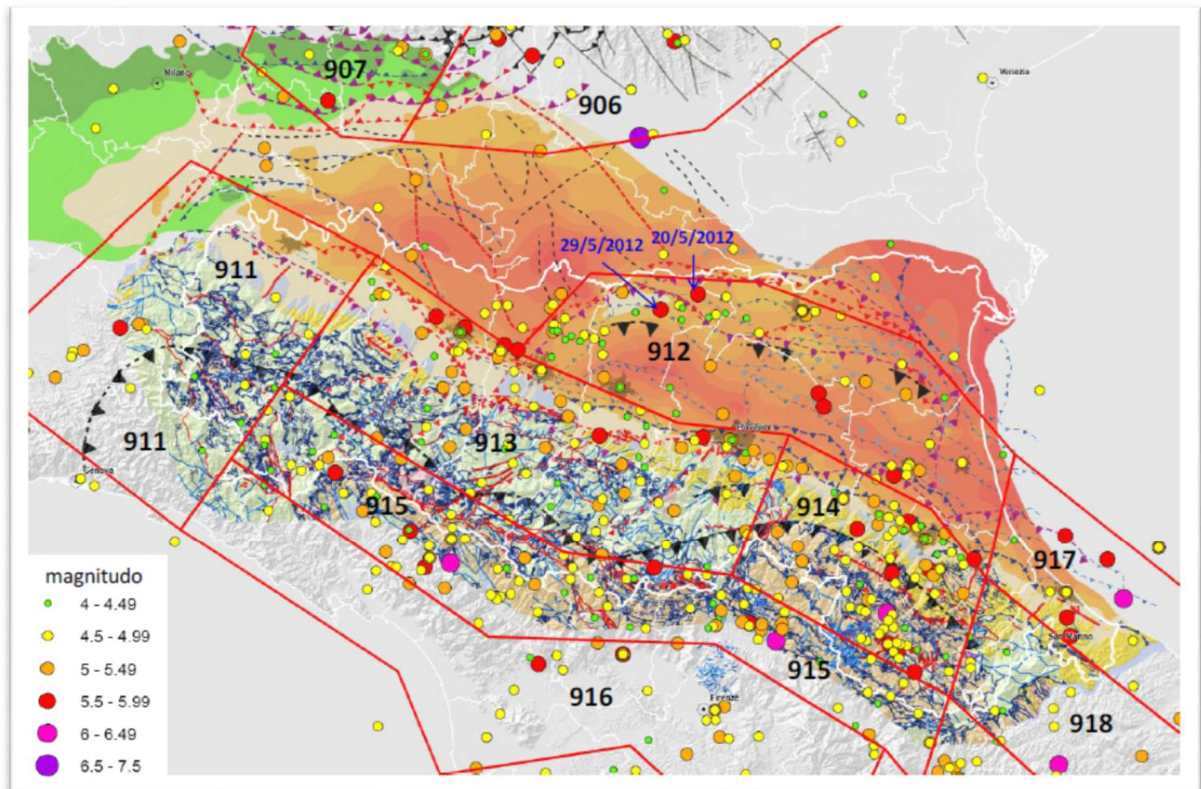


Fig. 21 – Schema tettonico dell'Appennino emiliano-romagnolo e della Pianura Padana centrale (Martelli, 2011) con zone sismogenetiche da ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), aree con limiti rossi, e localizzazione dei principali terremoti che hanno interessato l'Emilia-Romagna (dati INGV).

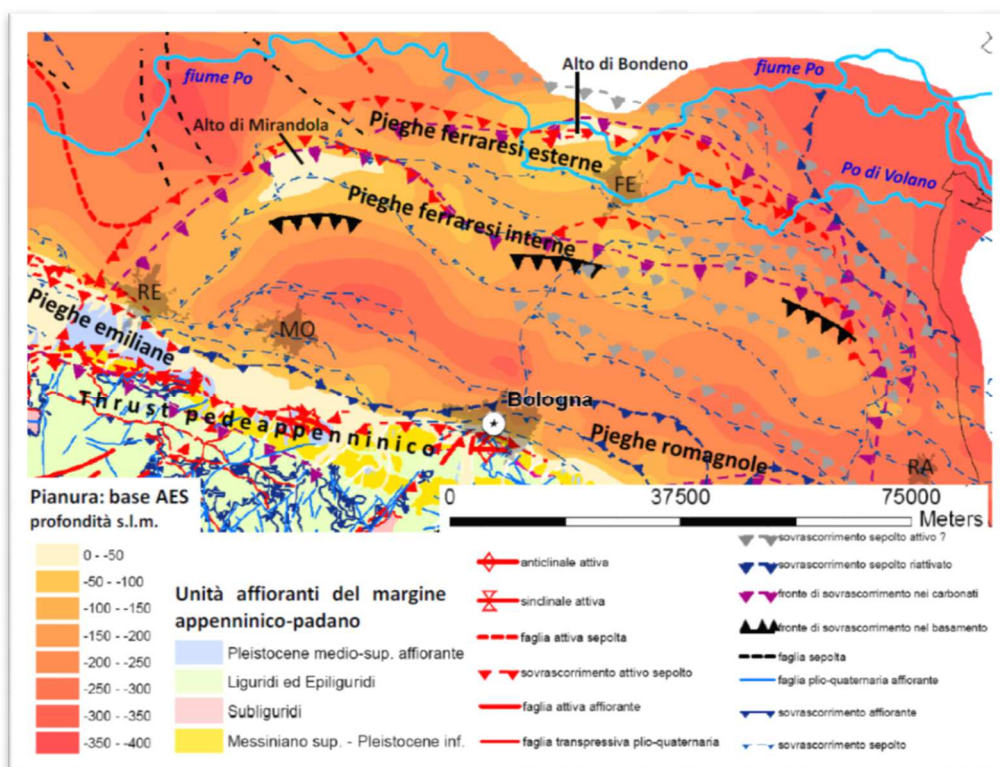


Fig. 22 – Schema tettonico dell'area interessata dalla sequenza sismica di maggio-giugno 2012 (da Martelli, 2011).

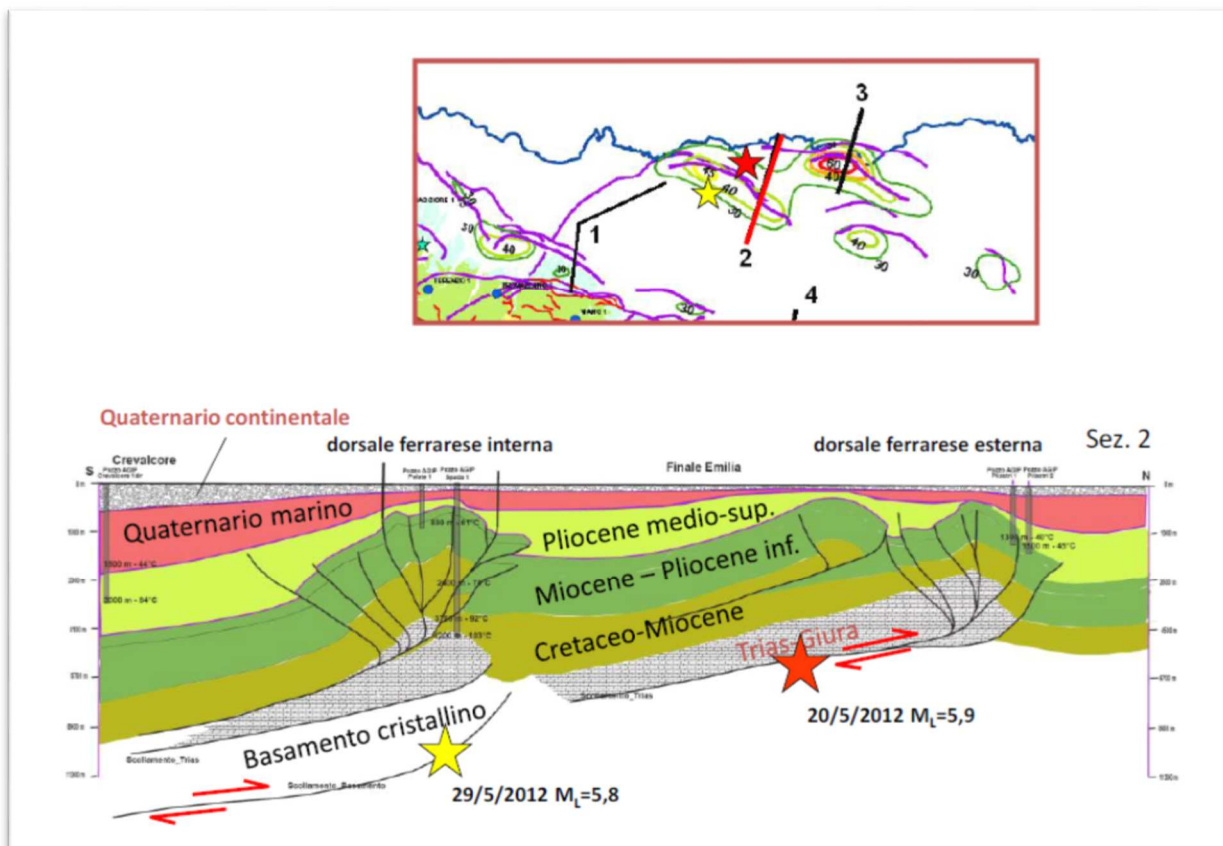


Fig. 23 – Sezione geologica profonda, da Crevalcore (BO) al Po, con proiezione degli ipocentri delle scosse principali del maggio 2012.

4.1.1 Zone Sismogenetiche

Un ulteriore approfondimento sulle caratteristiche sismo-tettoniche della pianura emiliano-lombarda deriva dall'analisi delle sorgenti sismogenetiche raccolte nel database Diss a cura dell'INGV in cui sono elencate e descritte le sorgenti sismiche legate a strutture tettoniche; con riferimento all'area di interesse le sorgenti sismogenetiche più vicine sono quelle indicate nella seguente figura (Fig. 24) e denominate ITCS050 e ITIS107 e di seguito descritte:

ITCS050: Poggio Rusco-Migliarino

Questa sorgente complessa si trova a cavallo della valle del basso Po e costituisce il fronte esterno delle pieghe ferraresi. Tale sistema di faglie è rappresenta l'arco più esterno, vergente a N-E, del margine orientale dell'Appennino Settentrionale e situato nel bel mezzo della pianura padana; è il sistema più avanzato di thrust appenninici con potenziale sismico. I cataloghi sismici, sia storici che strumentali, mostrano una sismicità diffusa, con magnitudo generalmente comprese tra 4,5 e 5,0. Tuttavia sono possibili eventi di magnitudo maggiore come i Terremoti di Ferrara del 1346 (Mw 5,8) e del 1570 (Mw 5,5) e il terremoto del 20 Maggio 2012 (M_L 5,9) con epicentro tra Mirandola e Finale Emilia. Questa sorgente è lunga e poco profonda (da 1 a 8 Km dalla superficie); l'attività tettonica è testimoniata sia dai profili sismici che dall'evidenza di deformazioni superficiali. Un segmento di questo arco è stato direttamente associato al terremoto del 1570. Il tasso di scivolamento è stimato in circa 0,1-0,5 mm per anno.

ITCS107 – Mirandola

Questa sorgente era già stata ipotizzata sulla base di evidenze geologiche e geomorfologiche legate all'attività tettonica recente connessa all'arco Ferrarese sepolto. Il tasso di sollevamento era stato stimato, negli ultimi 125Ka, in 0,16mm/a. Il terremoto dell'Emilia del 29/05/2012 ha attivato questa sorgente sismotettonica producendo un rilevabile sollevamento dell'anticlinale sepolta di Mirandola (circa 20 cm) La magnitudo associata a tale sorgente è, in conseguenza al terremoto suddetto, di 5.9. Tale sorgente è associata esclusivamente al sisma del 29 Maggio 2012, non essendovi dati storici e strumentali che possano legarla ad eventi più antichi. Sulla base dei dati sismici è stato calcolato un tasso di scivolamento della struttura di Mirandola pari a circa 0,94-0,6 mm/a negli ultimi 125 ka.

Presenta una lunghezza di circa 10 km e risulta poca profonda (da 4 a 7 km dalla superficie).

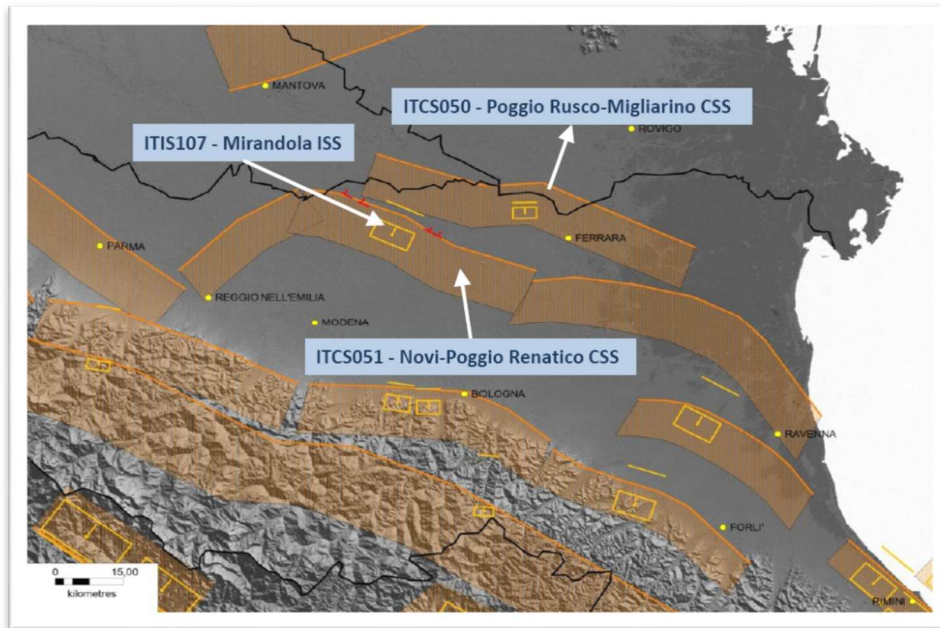


Fig. 24 – Sorgenti sismogenetiche

4.2 Pericolosità sismica di base

4.2.1 Analisi della sismicità

4.2.1.1 Sismicità storica

Da tutti gli eventi con dati di base è possibile selezionare le notizie in modo da definire "*storie sismiche*" dei singoli siti, identificanti cioè la successione temporale delle intensità risentite (in una definita località) rispetto alle intensità epicentrali dei vari eventi nel corso dei secoli.

Analizzando i dati di sito è necessario comunque tener conto che la ricostruzione dell'impatto d'ogni singolo terremoto dipende sia dal livello d'approfondimento delle ricerche, in relazione al contesto antropico in cui si è verificato un evento (densità e rilevanza degli insediamenti abitati), sia da fattori più propriamente fisici (condizioni di sito da cui dipendono i possibili effetti locali e di sito).

Per il comune di Concordia si è provveduto ad estrarre dal Database macrosismico dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, gli eventi sismici che hanno storicamente interessato il comune e le sue vicinanze; i risultati sono riportati nelle tabelle sottoriportate (Tabella 1; Tabella 2) e nella seguente figura (Fig. 25) .

L'osservazione della sismicità storica dai cataloghi sopra riportati denota per il territorio comunale i seguenti aspetti:

- storicamente il territorio comunale è stato interessato da un evento sismico con magnitudo 5.81;
- altri eventi sismici hanno interessato il comune di riflesso dai comuni contermini;

- nel raggio di 50 km dai confini del territorio comunale sono noti circa 8 eventi con magnitudo > 5.

Storia sismica di Concordia sulla Secchia [44.914, 10.982]

Numero di eventi: 25

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1806 02 12	NOVELLARA	28	7 5.19 ±0.39
4	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6 5.29 ±0.22
F	1818 12 09 18:55	Parmense	26	7 5.28 ±0.35
6	1891 06 07 01:06	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06
3	1910 03 22 23:29	Bassa modenese	15	5 4.30 ±0.34
5-6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
4	1928 06 13 08:00	CARPI	35	6 4.78 ±0.23
3	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7 5.03 ±0.13
3	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
4	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
4	1929 05 11 19:22	Bolognese	64	
3	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09
3	1935 06 05 11:48	Faentino	27	6 5.16 ±0.25
5	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
NF	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5 4.74 ±0.25
7	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5	1978 12 25 22:53	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
4-5	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
3	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
5-6	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
4-5	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
3-4	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
3	1997 05 12 22:13	Reggiano	56	4-5 4.22 ±0.27
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

Tabella 1 – Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Concordia tra il 1000 ed il 2006 (da [www://emidius.mi.ingv.it/DBMI11](http://www.emidius.mi.ingv.it/DBMI11))

Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Cavezzo	IT	20	9 km
Mirandola	IT	43	7 km
Moglia	IT	16	6 km
Novi di Modena	IT	13	7 km
Rovereto sulla Secchia	IT	3	8 km
San Giacomo delle Segnate	IT	6	7 km
San Giovanni del Dosso	IT	5	10 km
San Possidonio	IT	9	3 km

Tabella 2 – Terremoti con effetto anche sul territorio comunale di Concordia ed epicentro a distanza inferiore a 10 km.

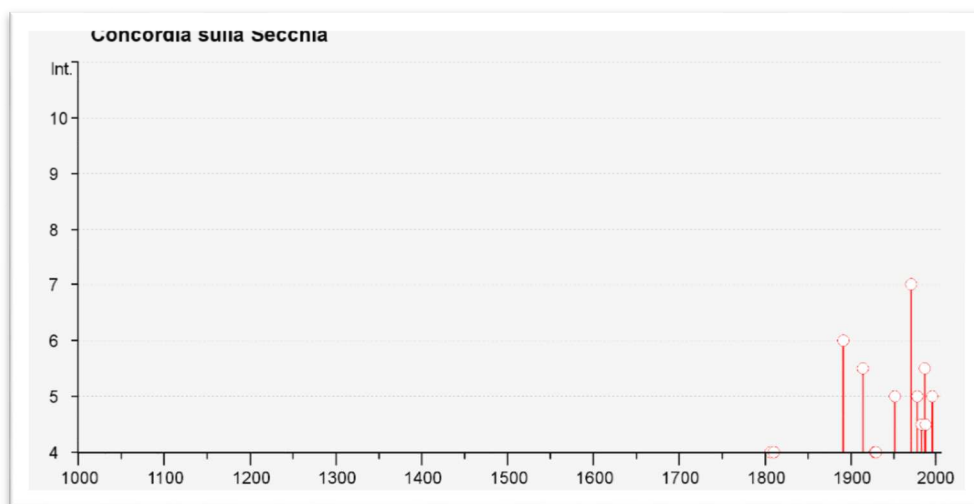


Fig. 25 – Sismicità storica del Comune di Concordia. Rappresentazione dei terremoti più forti risentiti nell'area di Concordia tra il 1000 ed il 2006 (da [www://emidius.mi.ingv.it/DBMI11](http://www.emidius.mi.ingv.it/DBMI11))

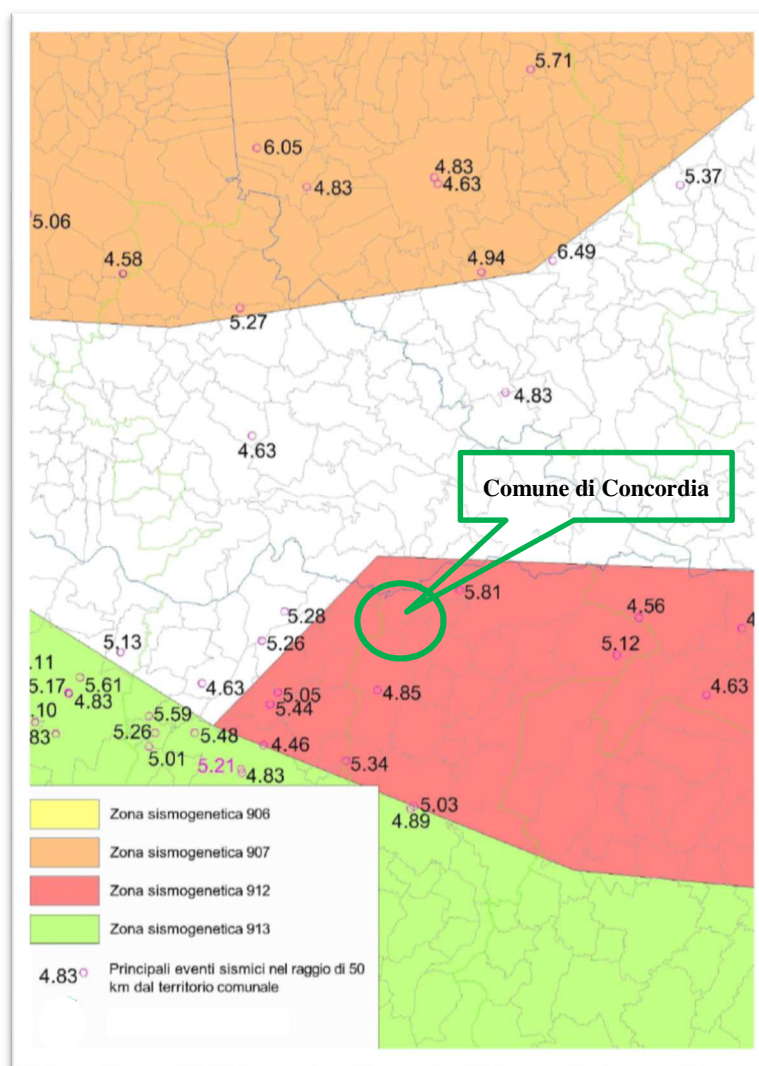


Fig. 26 – Epicentri dei terremoti che hanno interessato storicamente l'area in esame, in funzione della magnitudo.

4.2.1.2 Sismicità recente

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Concordia è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti aventi una magnitudo minima pari a 5.0, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/1984 e il 20/04/2014, in un raggio di 50 Km dal Comune di Concordia (

Fig. 27 e Tabella 3).

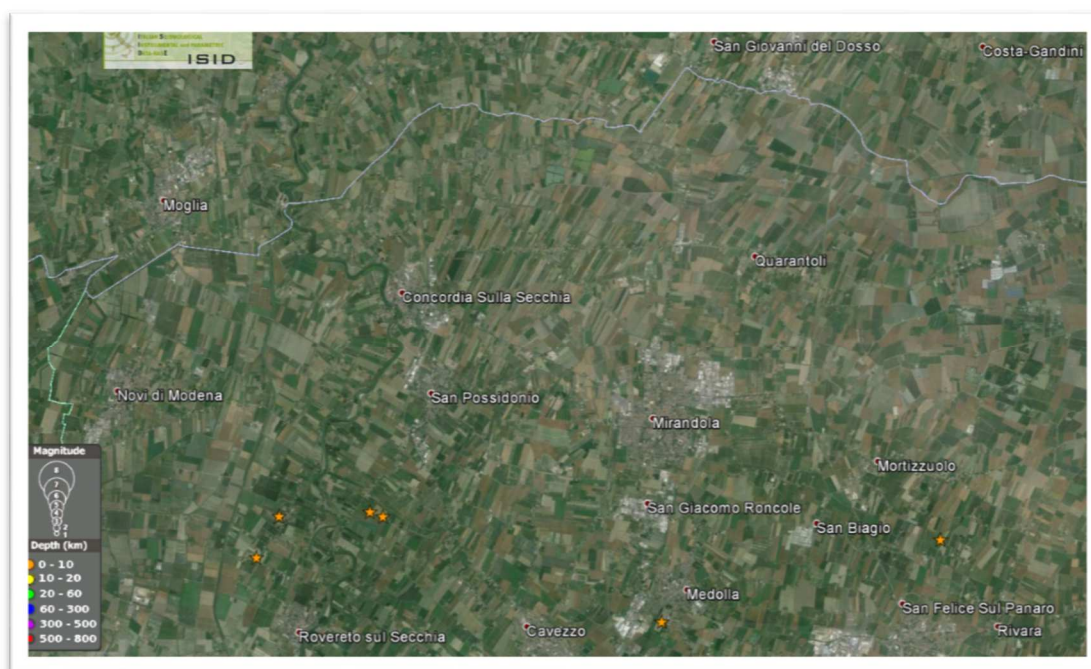


Fig. 27 – Eventi sismici recenti registrati in un raggio di 50 Km dal Comune di Concordia

Data Da: 1984/01/01 A: 2014/11/19
 Area Comune: Concordia sulla Secchia
 Distanza (km): 50.0
 Magnitudo Min: 5.0 Max: 10.0 Tipo: Mag pref
 Profondità (km) Min: ND Max: ND
 Terremoti totali: 8

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2012-05-29 11:00:22.990	44.866	10.976	7.2	5.1--ML	BULLETIN
2012-05-29 11:00:01.680	44.856	10.941	8.7	5.0--ML	REMO
2012-05-29 10:55:56.550	44.865	10.98	4.4	5.3--Mw	REMO
2012-05-29 08:25:51.480	44.865	10.948	7.9	5.0--ML	REMO
2012-05-29 07:00:02.880	44.842	11.066	8.1	5.6--Mw	REMO
2012-05-20 03:02:47.090	44.86	11.152	9.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:07:28.950	44.874	11.27	6.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:03:50.170	44.896	11.264	9.5	5.8--Mw	BULLETIN

Tabella 3: Eventi sismici recenti registrati in un raggio di 100 Km dal Comune di Villa Poma

4.2.1.3 Sequenza sismica del maggio-giugno 2012 in Emilia.

Il 20 e 29 Maggio 2012 due terremoti di ML 5.9 e ML 5.8 seguiti da molte repliche hanno colpito la Pianura Padana a circa 40 km a nord di Bologna. I due terremoti principali sono stati generati dalle faglie sepolte dell'Arco Ferrarese-Romagnolo appartenenti al fronte più esterno dell'Appennino Settentrionale, attivandolo per una lunghezza di circa 50 km. L'attività geologica recente di queste strutture è testimoniata dal controllo sull'andamento del drenaggio, ed è stata quantificata utilizzando

dati geologici e geofisici di sottosuolo. Le dorsali di Ferrara (ITCS050) e Mirandola (ITCS051), associate alle due scosse del 20 e 29 Maggio, hanno causato la diversione del corso dei fiumi Po, Secchia, Panaro e Reno. La deformazione cosismica del suolo, sollevamento e subsidenza, generata dai due terremoti è congruente con le anomalie del drenaggio descritte.

L'area interessata dall'innescò del sisma è una delle tante aree sismogeniche prossime alle zone dell'Appennino. Il complesso sistema di faglie che si diramano nella bassa pianura emiliana è quello della dorsale di Ferrara, che si raccorda a ovest con quella di Mirandola.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) non ha escluso che la seconda scossa del 29 maggio, avvenuta a distanza di nove giorni dal primo evento, possa essere scaturita dall'apertura di una nuova faglia. Secondo questa ipotesi non si tratterebbe di una forte scossa di assestamento del primo terremoto, bensì di un secondo terremoto.

Da un'analisi del meccanismo focale delle scosse di terremoto, risulterebbe che i processi cinematici di tutte le scosse registrate siano concordanti e che non ci siano state attivazioni di faglie discordi. I terremoti sono avvenuti lungo piani di faglia orientati all'incirca in direzione Est-Ovest e con movimento compressivo con una significativa componente trascorrente in direzione Nord-Sud. Tale orientazione è concordante con le strutture regionali di tipo appenninico aventi, in questo settore di catena, un senso di trasporto con vergenza NNE. In particolare la sismicità della sequenza dei terremoti dell'Emilia ha interessato i fronti compressivi più esterni, quali il Fronte Ferrarese ed il Fronte di Mirandola. Quest'ultimo è caratterizzato dalla presenza di una struttura anticlinale, detta appunto anticlinale di Mirandola. Il movimento delle faglie durante il terremoto ha provocato l'accavallamento delle falde appenniniche sepolte, al di sopra della placca adriatica, causando sollevamento del terreno e raccorciamento crostale. Grazie alle immagini radar acquisite e utilizzando l'interferometria differenziale, è stato possibile valutare la deformazione del terreno dopo le scosse del 29 maggio. Con questi dati è stato possibile misurare che il suolo si è sollevato di massimo 12 centimetri nell'area epicentrale, mentre si è abbassato di circa 2-3 centimetri nella zona di Finale Emilia. Queste ultime deformazioni sono probabilmente imputabili a movimenti superficiali di acqua nel sottosuolo.

Per lo studio delle sorgenti sismogenetiche i geologi dell'INGV hanno utilizzato dati geomorfologici e geologico-geofisici con particolare attenzione allo studio dell'idrografia della regione, quest'ultima in quanto elemento sensibile ai più piccoli cambiamenti indotti dall'attività tettonica. Attraverso lo studio del reticolo idrografico sono state rilevate anomalie del drenaggio di origine certamente non antropica. Tali anomalie, confrontate con le strutture delle anticlinali sepolte note dalla letteratura geologica, hanno reso possibile di ipotizzare l'origine di parte di esse e di identificare le strutture attive nel sottosuolo. Dall'ulteriore confronto con le serie storiche relative ai terremoti avvenuti nell'area interessata si può concludere che queste strutture sono sismogenetiche, ossia capaci di generare terremoti. In diversi casi è stato possibile osservare la coincidenza tra la posizione di una anomalia del drenaggio, la presenza di una anticlinale sepolta e la localizzazione di alcuni terremoti riportati nei cataloghi. Una notevole anomalia del drenaggio in un'area priva di sismicità storica nei pressi di

Mirandola fu messa in evidenza già dal 2000 rilevandone la correlazione con una importante faglia attiva sepolta. La sequenza sismica con i forti terremoti del 20 e del 29 maggio 2012 ha riattivato porzioni delle sorgenti identificate come ITCS050-Poggio Rusco-Migliarino e ITCS051-Novì-Poggio Renatico (Figura 17). Si ipotizza che queste sorgenti siano all'origine dei terremoti e che siano state la causa in passato del sollevamento delle dorsali di Ferrara e Mirandola che in passato causarono lo spostamento del corso dei fiumi Po, Reno, Secchia e Panaro. In particolare i geologi dell'INGV ipotizzano che la scossa del 29 maggio sia stata originata dalla sorgente ITIS107-Mirandola.

Tutti i sette terremoti della sequenza con $M > 5$ hanno avuto epicentro posizionato lungo l'asse mediano della struttura tettonica attiva dal punto di vista sismico.

Il territorio colpito dal sisma comprende un'area di 967 chilometri quadrati. I terremoti hanno duramente colpito tutta la zona della bassa modenese: Camposanto, Carpi, Cavezzo, Concordia sulla Secchia, Finale Emilia, Medolla, Mirandola, Novì di Modena, San Felice sul Panaro, San Possidonio e San Prospero hanno subito ingentissimi danni. La scossa del 20 maggio ha colpito duramente soprattutto le aree di San Felice sul Panaro, Finale Emilia e Canaletto (frazione di Finale Emilia). In queste località l'intensità macrosismica rilevata è stata pari a 7. Intensità macrosismiche superiori a 6 sono state rilevate anche a Cavezzo e Mirandola. Le forti scosse del 29 maggio si sono aggiunte a una situazione già drammatica. A Mirandola si sono avuti danni gravissimi al Castello dei Pico, al palazzo comunale, al duomo e alla chiesa di San Francesco, oltre agli ingentissimi danni subiti dal comparto biomedicale. A Finale Emilia si sono verificati crolli e lesioni serie alla Rocca Estense, al duomo ed alla torre dell'orologio, mentre a Camposanto si sono verificati danni gravi, mentre si sono registrati lievi danni però con nessun crollo a Castelfranco Emilia che i primi giorni dopo la scossa del 29 il centro è stato chiuso, e dopo tre o due settimane è stato riaperto, danni gravi ad una chiesa di Castelfranco Emilia.

Conseguenze pesantissime si sono avute anche a Medolla, dove si sono verificati i crolli di diversi capannoni industriali, e a Cavezzo, dove sono rimasti seriamente danneggiati tre quarti degli edifici del centro storico. Gravi danni alle chiese e agli edifici del centro storico sia a San Possidonio[60] che a San Prospero. A Soliera (13km circa da Modena) il sisma del 29 maggio ha reso inagibili le due scuole principali del comune, sia la media che l'elementare; il castello della città, abbastanza conosciuto, ha subito danni ingenti all'interno, dove ospitava la biblioteca comunale e diverse altre sale. A Concordia sulla Secchia è crollata la quasi totalità del centro storico, mentre a Novì di Modena è crollata la torre dell'orologio. Nella provincia di Modena si sono avute il maggior numero di vittime, in totale 17.

4.2.1.4 Classificazione sismica

La classificazione approvata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica" suddivide il territorio nazionale in 4 zone con livelli decrescenti di pericolosità sismica in relazione a 4 differenti valori di accelerazione orizzontale (a_g/g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico e a 4 differenti valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g/g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Il Comune di Concordia è stato classificato sismico in ZONA 3. Per i comuni che ricadono in tale classe è stata stimata un'accelerazione sismica orizzontale pari a $a_g/g = 0,05 - 0,015$, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Tali valori d'accelerazione sono relativi al bedrock, ovvero a formazioni litoidi o terreni omogenei molto rigidi.

Precedentemente all'emanazione della citata Ordinanza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Concordia risultava non classificato.

4.2.1.5 Pericolosità sismica di base secondo D.M. 14 gennaio 2008

La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, risalente alla fine degli anni '60, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti il moto del terremoto. La pericolosità sismica rappresenta l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Nelle seguenti figure (Fig. 28 e Fig. 29) si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo); dalla mappa risulta che l'area di Concordia presenta valori di accelerazione di picco al suolo a_g , cioè per $T=0$, (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compresi tra 0,125 e 0,150 g.

L'evoluzione normativa in materia sismica, con l'emanazione delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), ha fatto sì che i dati e le procedure necessari ai fini strettamente progettuali, siano svincolati dalla classificazione sismica del territorio, con alcune limitate eccezioni, prevedendo l'uso diretto dei parametri sismici del sito in oggetto.

Le Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 attualmente in vigore prevedono infatti, rispetto alla precedente classificazione comunale, un'analisi più puntuale della pericolosità sismica di base e dell'accelerazione sismica di riferimento.



Fig. 28 – Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni tratto da INGV

Vengono utilizzate al meglio le possibilità offerte dalla definizione della pericolosità sismica italiana, recentemente prodotta e messa in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). L'azione sismica è valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, riferendosi non ad una zona sismica territorialmente coincidente con più entità amministrative, ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva in precedenza, bensì sito per sito e costruzione per costruzione. Tale approccio dovrebbe condurre in media, sull'intero territorio nazionale, ad una significativa ottimizzazione dei costi delle costruzioni antisismiche, a parità di sicurezza.

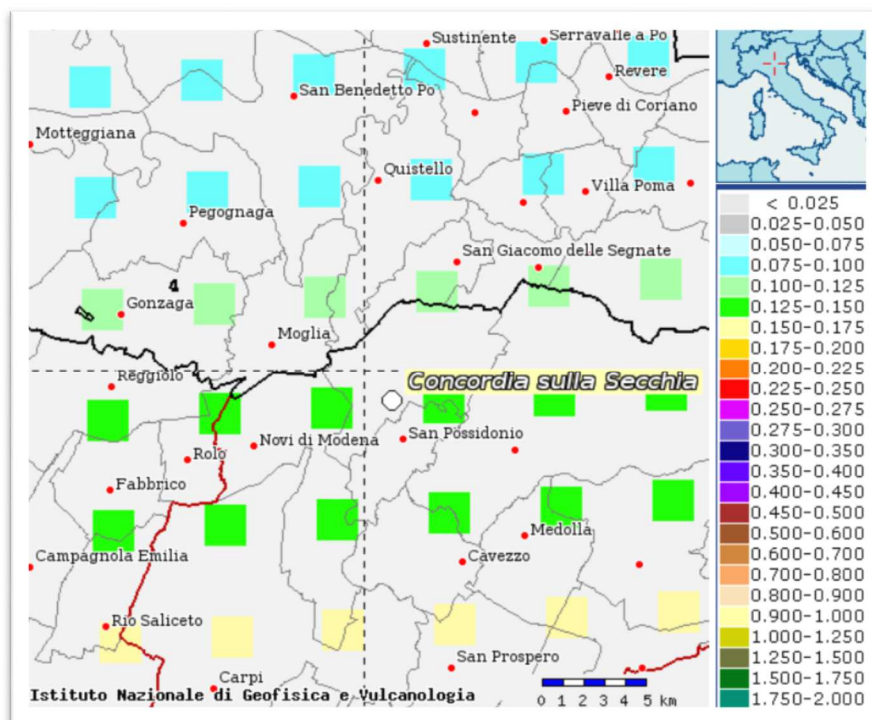


Fig. 29 – Particolare della Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni tratto da INGV

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni superate le quali l'opera non soddisfa più le esigenze per cui è stata progettata.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" VR e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR.

In conformità con quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 "Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni", la pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali definite su sito di riferimento rigido (sottosuolo di categoria A) orizzontale in funzione dei seguenti tre parametri:

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

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, riportati nelle tabelle dell'ALLEGATO C delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

Ogni spettro di risposta elastico è la rappresentazione oggettiva e sintetica delle principali caratteristiche di un terremoto o, meglio, dei possibili terremoti che si possono verificare in un dato sito. Ogni spettro di risposta elastico è legato, insieme ai parametri che lo descrivono, ad un determinato tempo di ritorno. All'aumentare del tempo di ritorno considerato aumenta anche la severità del sisma atteso e con esso i parametri che descrivono il suo spettro di risposta.

Per l'area oggetto di intervento (coordinate geografiche ED 50: Longitudine = 10°,982598 – Latitudine = 44°,915719) i valori che risultano sono riportati in Tabella 2 e sono stati ricavati attraverso il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il D.M. 14.01.2008 considera quattro stati limite per i quali l'opera deve garantire sicurezza; ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento (PVr) dell'azione sismica di riferimento durante il periodo di riferimento dell'opera (Vr); l'azione sismica di riferimento è quella descritta dallo spettro di risposta elastico per un determinato tempo di ritorno. Il tempo di ritorno da considerare è legato da una relazione a Vr e a PVr. Ad esempio per lo stato limite di collasso SLV l'azione sismica di riferimento, per un'opera con vita nominale di 50anni con classe di uso II, è quella dello spettro di risposta con tempo di ritorno di 475 anni; la normativa prevede che durante la vita di riferimento dell'opera vi sia il 10% di probabilità che l'azione sismica possa superare quella di riferimento.

L'edificio in esame, ricadendo tra il tipo di costruzione delle opere ordinarie in cui si prevede un normale affollamento, è stato classificato in classe II. Il periodo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica è quindi di 50 anni.

Il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici permette di ottenere gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite (Tabella 3 e Figura 27). Ad esempio, nel caso in esame, opera con classe d'uso II, il valore di a_g (per $T=0$) di riferimento per il calcolo dell'azione sismica in SLV è di 0.132g con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni con un tempo di ritorno di 475 anni.

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,036	2,583	0,242
50	0,045	2,545	0,269
72	0,054	2,502	0,275
101	0,064	2,498	0,282
140	0,075	2,523	0,276
201	0,089	2,597	0,269
475	0,132	2,585	0,271
975	0,179	2,544	0,276
2475	0,257	2,457	0,288

Tabella 2 – Parametri della forma spettrale a_g , F_0 e T_C^* del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R).

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,037	2,583	0,242
SLD	50	0,045	2,543	0,269
SLV	475	0,132	2,585	0,271
SLC	975	0,179	2,543	0,276

Tabella 3 – Parametri della forma spettrale a_g , F_0 e T_c^* del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R) per i diversi stati limite.

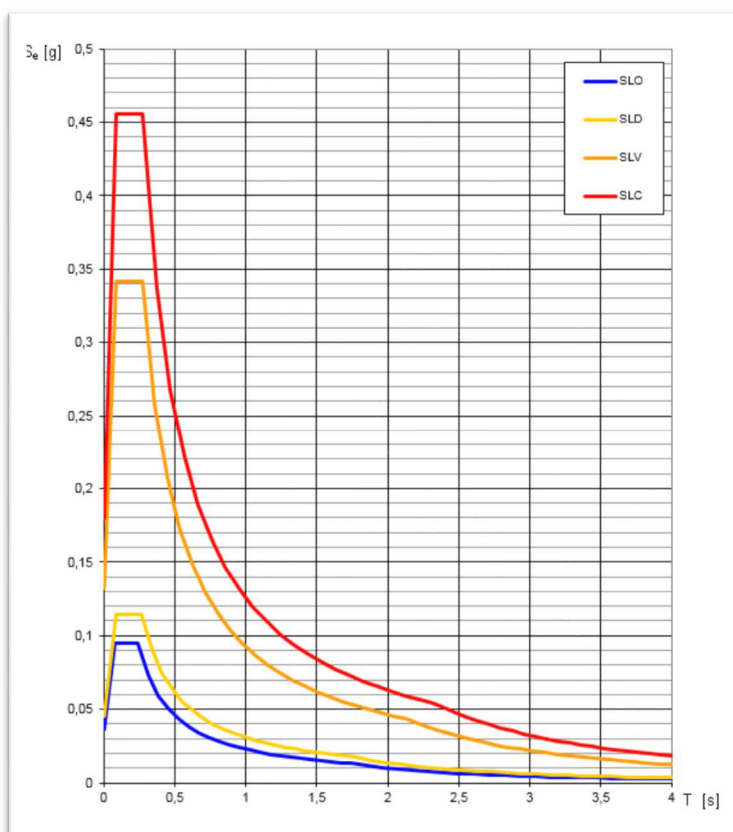


Fig. 30 – Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali per i periodi di tempi di ritorno T_R , associati ai diversi stati limite su sito di riferimento rigido (elaborazione effettuata mediante “Spettri NTC ver.1.0.3”).

4.3 Risposta sismica locale

Una volta definito il progetto, per uno specifico sito o area ed adottato lo stato limite da analizzare, la risposta sismica di base sito-specifica va ulteriormente sviluppata considerando l’amplificazione sismica in funzione delle condizioni litostratigrafiche e topografiche

Va ricordato, infatti, che il moto generato da un terremoto in un sito, è influenzato dalle particolari condizioni locali (risposta sismica locale), ovvero dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta

sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido, sottosuolo categoria A, con $V_{s30} > 800$ m/s (vedi paragrafo seguente), con superficie topografica orizzontale. Gli spettri di risposta elastica visti precedentemente sono riferiti a queste condizioni; per un sottosuolo di tipo diverso essi devono essere modificati, per tenere conto di eventuali fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica.

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale viene valutata in via semplificata con riferimento alle sette categorie del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione, definite dal D.M. 14.01.2008 "Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni", in relazione alle caratteristiche geofisiche e geotecniche del sottosuolo.

In particolare i parametri da considerare (Tabella 4) sono riferiti alla velocità delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri al di sotto della fondazione (V_{s30}), ottenuta, come già visto, attraverso la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

La prova congiunta MASW effettuata (vedi Allegato B) ha permesso di determinare un valore di V_{s30} , a piano campagna, superiore a **232 m/s**.

Sulla base di questi valori il suolo in esame può essere classificato in categoria C: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s...*).

Occorre pertanto considerare il rischio sismico, prevedendo in sede di progettazione accorgimenti costruttivi che garantiscano la stabilità delle opere anche in condizioni dinamiche, valutando in particolare le sollecitazioni orizzontali. Nel calcolo delle strutture sarà necessario considerare accelerazioni sismiche congruenti con quelle di riferimento definite su sito di riferimento rigido (sottosuolo di categoria A) orizzontale (0,132 g per SLV) e la categoria del suolo di fondazione "C".

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 4- Categorie del sottosuolo di fondazione

4.3.1 Amplificazione stratigrafica e topografica

L'areale risulta essere soggetto ad amplificazione di tipo stratigrafico del segnale sismico, derivante dalla presenza di terreni di **categoria C** con velocità delle onde di taglio comprese tra 180 m/s e 360 m/s. Si sottolinea come il risultato di V_{s30} ottenuto dall'elaborazione della prova geofisica effettuata ricada in pieno nei limiti della categoria C pur riferendosi al piano campagna; occorre poi osservare che in base a quanto previsto dall'art 3.2.2 NTC08, per le fondazioni superficiali, la profondità delle V_{s30} debba essere riferita al piano di imposta delle stesse e che pertanto, a maggior ragione, solo ipotizzando una quota di imposta di 1,0 m dal p.c., la velocità media di taglio entro i 30 m aumenta ($V_{s30} = 242$ m/s), consolidando maggiormente l'appartenenza dei terreni presenti nell'area di studio alla categoria indicata, categoria di suolo C.

Considerando una morfologia sub-pianeggiante dell'area di studio la condizione topografica si può connotare come configurazione semplice e si può adottare la classificazione di Tabella 3.2.IV delle NTC, valutando la categoria topografica T1. Si considera pertanto l'area non suscettibile ad amplificazione topografica.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = SS \cdot St \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (SS) e dell'amplificazione topografica (St),

a_g = accelerazione orizzontale massima (per un determinato stato limite) attesa su sito di riferimento rigido ($T=0$).

I coefficienti assumono i seguenti valori (Tabella 4):

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss – Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.50	1.44
Cc – Coeff. funz. categoria	1.68	1.62	1.61	1.60
St – Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 4– Coefficienti di amplificazione del segnale sismico

Il coefficiente sismico orizzontale k_h viene calcolato con la seguente relazione:

$$k_h = \beta \cdot a_{max} \text{ (g)}$$

Per il calcolo di β si fa riferimento alla Tabella 5.

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

Tabella 5 – Valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

I parametri sismici per i diversi stati limite, pertanto, assumono i valori riportati nella seguente Tabella 6:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0.011	0.013	0.046	0.059
k_v	0.005	0.007	0.023	0.030
$A_{max} \text{ (m/s}^2\text{)}$	0.532	0.650	1.875	2.430
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Tabella 6– Parametri sismici k_h e k_v per i diversi stati limite

I parametri di scuotimento vengono calcolati, secondo le NTC, a partire dalle stime di pericolosità sismica di base tenendo conto dell'amplificazione stratigrafica derivante dalla natura del terreno. Gli eventi sismici del 20 e 29 Maggio 2012 permettono di verificare se vi sia corrispondenza tra le stime del metodo semplificato delle NTC 08 e i valori reali misurati. Durante tali eventi sono stati registrati dalla Rete Accelerometrica Nazionale i parametri di scuotimento al suolo. In particolare dalla mappa delle massime accelerazioni rilevate (Fig. 31) si vede come il Comune di Concordia abbia subito accelerazioni orizzontali comprese tra 2.00 e 3.03 m/s²; tali valori di accelerazione risultano compatibili con i valori compresi tra 1,875 m/s² e 2.430 m/s² calcolati secondo la normativa NTC 08 per gli stati limite SLV e SLC rispettivamente (Figura 28)

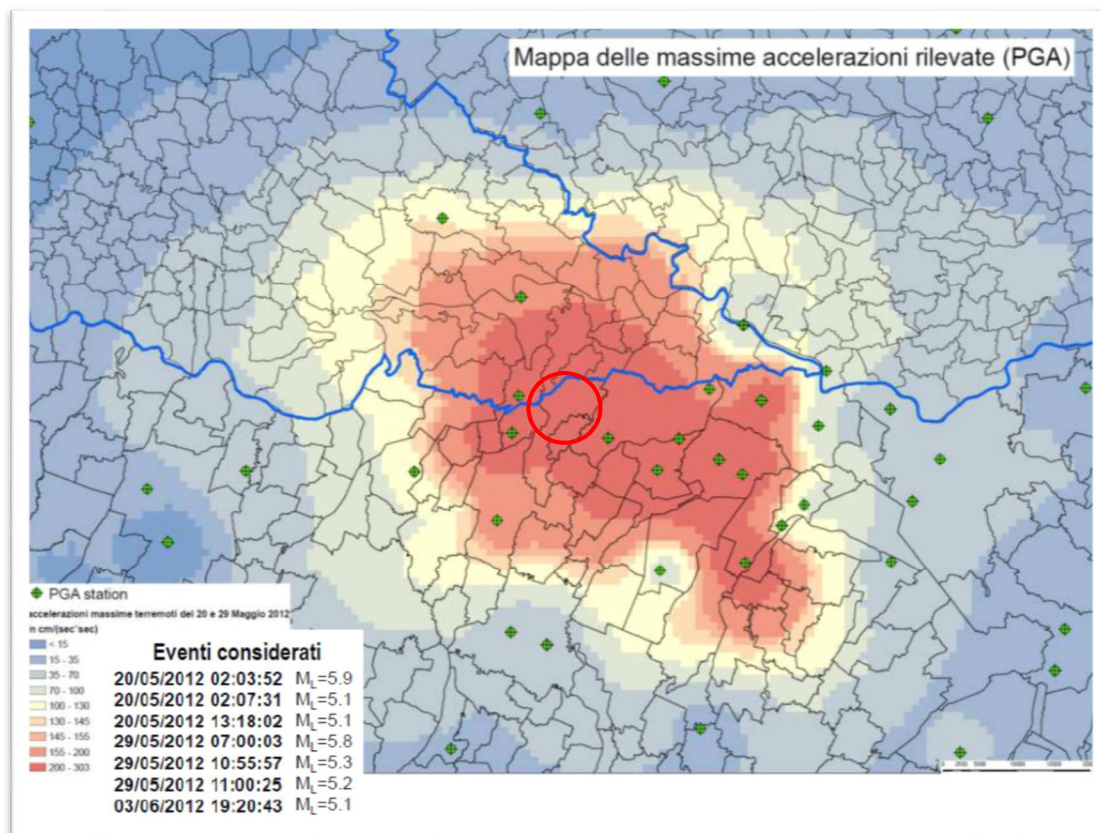


Fig. 31 –Accelerazioni rilevate al suolo (nel cerchio il Comune di Concordia sulla Secchia)

4.3.2 Occorrenza di fenomeni di liquefazione

La possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione può essere esclusa, in quanto è stata accertata l'assenza di depositi sabbiosi (fuso granulometrico di riferimento delle NTC 08) di spessore significativo entro i primi 20 metri di sottosuolo e pertanto la verifica può essere omessa in virtù delle circostanze previste dal cap. 7.11.3.4.2 delle NTC 08.

La tavola PSC4.3 allegata al quadro conoscitivo del Piano Strutturale Comunale, approvato con C.C. n. 23 del 20/04/2009 “Aree potenzialmente soggette ad effetti locali per eventi sismici” classifica l'area di interesse tra le aree soggette a possibili effetti attesi tra cui amplificazione di tipo stratigrafico, potenziale liquefazione e cedimenti (Fig. 32).

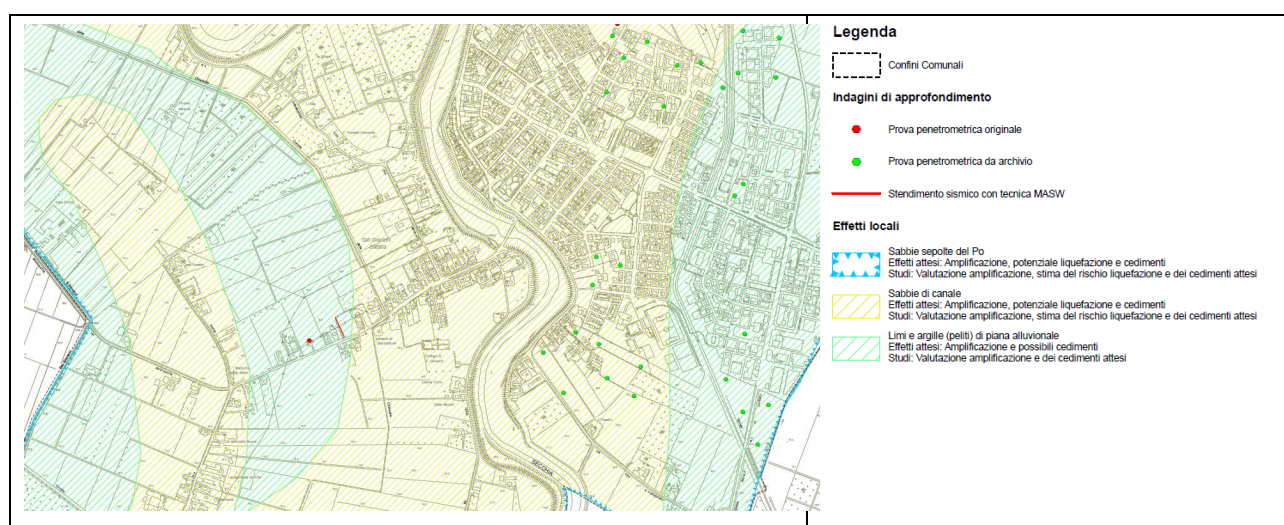


Fig. 32 – Stralcio della Tavola 4.3 del PSC del Comune di Concordia

La carta degli affetti della liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 Maggio 2012, elaborata dalla Regione Emilia Romagna, riporta, per l'abitato di Concordia, un fenomeno di liquefazione osservato (Fig. 33).

Si è ritenuto quindi opportuno approfondire tale aspetto mediante analisi di dettaglio del rischio di liquefazione, sebbene il riconoscimento stratigrafico desunto dall'elaborazione della prova SCPTU abbia determinato la presenza di litologie prettamente argillo-limose e l'assenza di depositi sabbiosi fino alla profondità di circa 20 m da p.c. profondità indicata dagli “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” come quella significativa entro cui verificare il rischio di liquefazione dei terreni.

Il rischio di liquefazione è stato, pertanto, valutato per mezzo di apposito software (Liquesab, autore Guido Riga) partendo dai dati della prova penetrometrica eseguita.

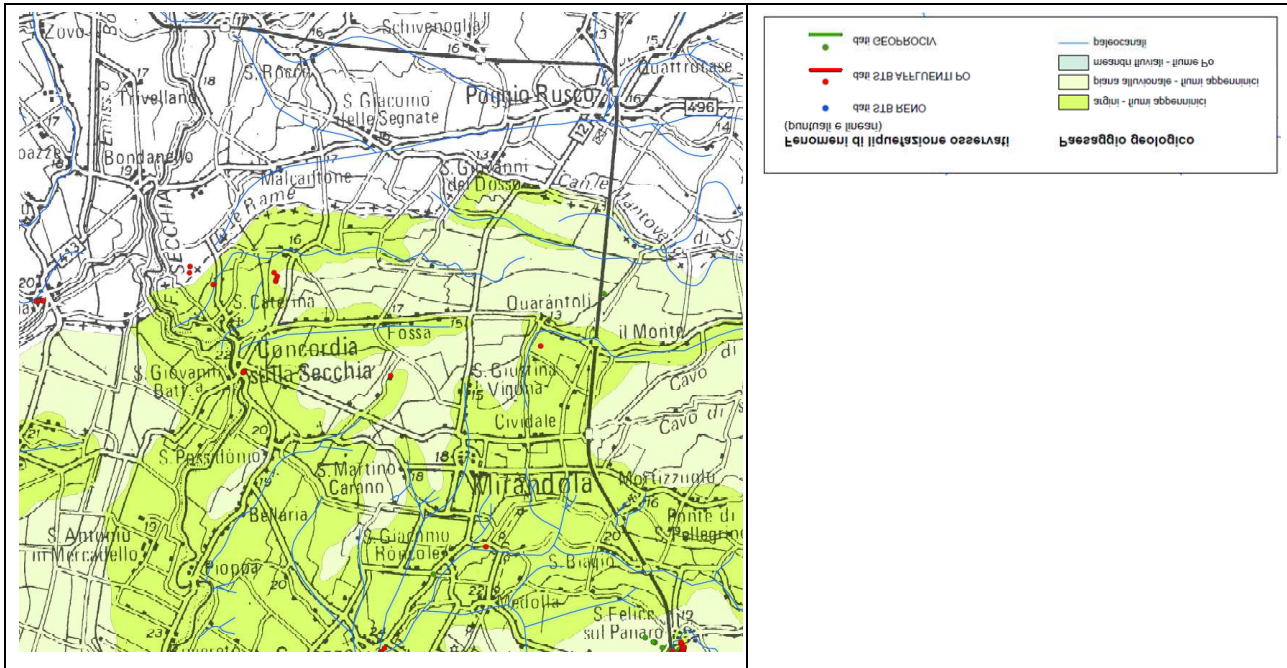


Fig. 33 – Stralcio della Carta degli effetti della liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 maggio 2012 -RER

L'analisi quantitativa svolta si basa sulla determinazione della resistenza di un terreno alla liquefazione attraverso la stima della domanda di resistenza ciclica alla liquefazione (CSR – Cyclic Stress Ratio) e della capacità di resistenza ciclica (CRR Cyclic Resistance Ratio). La conoscenza dei parametri suddetti permette la valutazione del fattore di sicurezza.

Secondo Seed e Idriss (1971) la CSR è calcolata utilizzando la seguente formula:

$$CSR = \tau_{av}/\sigma'_{vo} = 0,65 (a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})r_d$$

Dove:

a_{max} = accelerazione massima alla superficie del suolo;

g = accelerazione di gravità;

σ_{vo} = tensione verticale litostatica totale;

σ'_{vo} = tensione verticale litostatica effettiva;

r_d = fattore di riduzione delle tensioni alla profondità interessata;

0,65 = fattore peso;

τ_{av} = sforzo di taglio ciclico medio.

La capacità di resistenza alla liquefazione CRR è stata valutata a partire dai risultati delle prove penetrometriche statiche (CPTU) e più precisamente è stato fatto riferimento al valore della resistenza penetrometrica statica normalizzata (q_{c1N}), cioè al valore della resistenza alla punta normalizzata a circa 100 KPa (1 atm)

$$q_{c1N} = C_q * (q_c/P_a)$$

dove

C_q = fattore di normalizzazione = P_a/σ'_{vo}

P_a = pressione atmosferica (1 atm);

n = esponente usato per calcolare I_c

q_c = resistenza penetrometrica misurata in campagna

I_c = indice del tipo di terreno $I_c = ((3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + F)^2)^{0,5}$

$Q = ((q_c - \sigma_{vo})/P_a) * ((P_a/\sigma'_{vo})^n)$

F = attrito laterale normalizzato = $(f_s/(q_c - \sigma_{vo})) * 100\%$ dove f_s = resistenza laterale calcolata

La resistenza penetrometrica normalizzata per limi e sabbie viene trasformata in equivalente a sabbia pulita tramite la formula:

$$(q_{c1N})_{cs} = k_c * q_{c1N}$$

dove k_c è un fattore di correzione per caratteristiche granulometriche definito dalla equazione di Robertson e Wride.

K_c è funzione del contenuto dei fini $FC = 1,75 * I_c^{3,25} - 3,7$.

Viene quindi calcolato il fattore di sicurezza a liquefazione $FSL = CRR_{eq}/CSR_{fs}$.

CRR_{eq} cioè la CRR corretta dello sforzo di sovrappressione è uguale a:

$$CRR_{eq} = CRR_M * k_\sigma * k_\alpha$$

dove k_σ e k_α sono coefficienti di correzione per la tensione tangenziale mobilizzata e per la pressione efficace litostatica.

CRR_M è la capacità di resistenza alla liquefazione corretta della magnitudo. Per terremoti di magnitudo diversa da 7,5 il valore $CRR_{7,5}$ sarà corretto da un fattore di correzione della magnitudo MSF secondo la formula:

$$CRR_M = CRR_{7,5} * MSF.$$

CSR_{fs} è la CSR corretto con un fattore di sicurezza, in questo caso pari a 1.

L'indice del potenziale di liquefazione IP_L basato sul metodo di Iwasaki e al. è definito come:

$$IP_L = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

dove

$F(z)$ è una funzione del fattore di sicurezza;

$w(z) = 10 - 0,5 z$ (z = profondità);

dz è l'incremento differenziale della profondità.

In base a tale formula si ottiene che

IP_L	RISCHIO LIQUEFAZIONE
$IP_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < IP_L \leq 2$	Basso
$2 < IP_L \leq 5$	Moderato
$5 < IP_L \leq 15$	Alto
$IP_L > 15$	Molto alto

La probabilità di liquefazione è data dalla seguente equazione:

$$P_L = \frac{1}{1 + (FSL / 0.77)^{3.25}}$$

La suscettibilità a liquefazione è correlata al valore di PL tramite la seguente tabella:

PROBABILITÀ	SUSCETTIBILITÀ
$0,85 \leq PL$	Quasi certamente si ha liquefazione
$0,65 \leq PL \leq 0,85$	Molto probabile
$0,35 \leq PL \leq 0,65$	Liquefazione/non liquefazione stessa probabilità
$0,15 \leq PL \leq 0,35$	Non probabile
$PL < 0,15$	Quasi certamente non si ha liquefazione

Si passa quindi alla correlazione tra probabilità e potenziale di liquefazione secondo la seguente tabella:

PROBABILITÀ	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
$> 50\%$	alto
$10 - 50 \%$	moderato
$5 - 10 \%$	basso
$< 5 \%$	Molto basso

Dalle verifiche effettuate (Allegato C), svolte in relazione ai risultati delle indagini eseguite, emerge che la verifica della suscettibilità alla liquefazione evidenzia la non liquefacibilità dei terreni presenti fino alla profondità di fine indagine (circa -21.5 m da p.c.) eccezione fatta per alcuni materiali di spessore decimetrico presenti tra alla profondità di circa 20.0 e 20.5 m da p.c.

La verifica del rischio di liquefazione, considerando una magnitudo momento di 6,00 come indicato per la zona sismogenetica ITSC107 - Mirandola e un'accelerazione orizzontale al suolo di 0,30 g, come misurato in occasione degli ultimi pesanti eventi sismici del maggio c.a., evidenzia che i punti relativi alla prova scelta si distribuiscono tutti nell'area al di sotto della linea CSR/qc_{1Ncs} , appartenente al campo dei terreni NON liquefacibili. La verifica compiuta, inoltre, ha permesso di calcolare le accelerazioni critiche richieste per l'inizio della liquefazione che, in relazione alle prove penetrometriche eseguite, sono state determinate in valori superiori a quelle attese per la zona di appartenenza.

5. CONCLUSIONI

In ordine alle risultanze dell'indagine condotta, ai dati acquisiti relativi all'assetto litostratigrafico ed alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni del sottosuolo, si esprimono le seguenti considerazioni in merito alle verifiche effettuate.

Sulla base delle considerazioni esposte nei capitoli precedenti risulta che:

- l'area in esame appare stabile e si presenta caratterizzata da una superficie subpianeggiante occupata dai depositi alluvionali quaternari del fiume Secchia a granulometria medio-fine con prevalenza, nei primi metri, di argille limose e limi-argillosi, seguiti, oltre i 20 m di profondità da p.c., da sabbie ritenute ragionevolmente depositate dal fiume Po;
- dal punto di vista geologico strutturale il comune di Concordia è caratterizzato dal sistema delle pieghe Ferraresi che rappresentano il sistema tettonico posto più a nord dell'Appennino Settentrionale. Esso è rappresentato da un sistema di faglie inverse e fronti di accavallamento che formano un fascio arcuato di strutture che vergono dapprima in senso SO-NE a nord di Reggio Emilia per poi virare da Novi verso Mirandola e il ferrarese. Le pieghe Ferraresi-Romagnole attraversano il territorio di Concordia a nord del capoluogo dove determinano un innalzamento del substrato sedimentario marino di età pliocenica che raggiunge, in questa porzione di pianura, la profondità di poche decine di metri dalla superficie. La zona è da considerarsi sismicamente attiva;
- sotto il profilo idrogeologico, l'area è caratterizzata da una falda confinata impostata nei depositi alluvionali del fiume Po ragionevolmente riscontrati a circa 20 m dal p.c. attuale a cui si saldano falde freatiche in equilibrio con il livello idrometrico del fiume Secchia. E' possibile pertanto, in occasione delle stagioni umide e delle piene del Fiume Secchia, riscontrare un livello piezometrico prossimo al piano campagna. Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche è stato misurato un livello piezometrico a circa 4.0 m da p. c.;
- le indagini geognostiche effettuate, costituite da una prova penetrometrica statica con piezocono sismico, tipo SCPTU, ha permesso di individuare, entro la profondità indagata di circa 21,5 m da p.c., sette principali livelli lito-geomeccanici differenti, denominati con lettere progressive da A e G, di natura prevalentemente coesiva fino a circa 20 m e incoerente fino alla massima profondità indagata, profondità alla quale per la presenza di depositi sabbiosi addensati si è raggiunto il rifiuto strumentale; entro la profondità di 2.5 m da p.c. i terreni, di natura incoerente per i primi 1.5 m e di natura coesiva a seguire, presentano caratteristiche di sovraconsolidazione. Sottoposti ad essi i terreni prevalentemente argillosi e argillo-limosi da normalconsolidati e leggermente consolidati presentano valori geotecnici scarsi fino alla profondità di circa 9 m da p.c. Più in profondità e fino al livello sabbioso addensato presente a profondità di circa 20.5 m da p.c. i terreni sempre di natura argillo-limosa, aumentano le caratteristiche geotecniche sebbene esse rimangano contenute entro valori modesti;
- la parametrizzazione dei livelli lito-geomeccanici individuati è stata basata sulle risultanze dell'elaborazione dell'indagini eseguite, permettendo di assegnare i principali parametri

fisico-meccanici responsabili del comportamento di resistenza del complesso terreno-fondazioni;

- sismicamente l'area ricade in zona sismica 3 e risulta soggetta ad una sismicità storica medio-bassa, indotta da terremoti documentati con epicentro al di fuori del territorio comunale. La recente sequenza sismica avvenuta nel periodo maggio-luglio 2012 ha evidenziato una pericolosità sismica legata agli effetti di amplificazione di tipo stratigrafico dell'input sismico, derivante dalla presenza di depositi alluvionali con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s. La morfologia subpianeggiante, permette di escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico. La verifica della suscettibilità alla liquefazione, calcolata mediante software dedicato, ha evidenziato terreni non liquefacibili fino ad una profondità di circa 20 m da p.c. a cui segue un livello decimetrico di terreni potenzialmente liquefacibili e fino alla profondità di 20.5 m da p.c. Tuttavia la verifica del rischio di liquefazione ha portato tutti i punti scelti per la verifica a ricadere nel campo della "non liquefazione";
- in seguito agli eventi sismici del maggio 2012, l'area è stata inserita nella zona sismogenetica ITSC107 Mirandola, ritenuta sismicamente attiva;
- dalla elaborazione della prova MASW effettuata è stato possibile determinare un valore di V_{s30} pari a 232 m/sec (partendo da p.c.) verificando pertanto l'appartenenza dei depositi presenti nell'area di studio alla categoria di sottosuolo C “
- l'area oggetto di studio presenta valori dell'accelerazione orizzontale su suolo rigido, per i diversi stati limite, compresi tra 0,037g e 0,179g; considerando un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s pari a 1,5 (suolo tipo C) si arriva a valori compresi tra 0,055g e 0,268g; valori compatibili con quelli registrati durante gli eventi sismici del Maggio 2012;

Parma, Novembre 2015



Dr. Geol. Fabio Francesco Picinotti

Fabio F. Picinotti

6. BIBLIOGRAFIA

- BERNINI M. E PAPANI G., (1987): ALCUNE CONSIDERAZIONI SULLA STRUTTURA DEL MARGINE APPENNINICO EMILIANO TRA STIRONE ED ENZA (E SULLE RELAZIONI CON IL SISTEMA DEL F. TARO). L'ATENEO PARMENSE, ACTA NAT., 23, 4, 219-240, PARMA.
- BOWLES JOSEPH E. (1991): FONDAZIONI. MCGRAW-HILL.
- BRINCH HANSEN J. (1961): A GENERAL FORMULA FOR BEARING CAPACITY. THE DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE, BULL. N. 11, COPENHAGEN.
- BRINCH HANSEN J. (1970): A REVISED AND EXTENDED FORMULA FOR BEARING CAPACITY. THE DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE, BULL. N. 28, COPENHAGEN.
- BRUSCHI A., (2010): PROVE GEOTECNICHE IN SITU. DARIO FLACCOVIO EDITORE
- BRUSCHI A., (2012): INTERPRETAZIONE DI PROVE GEOTECNICHE IN SITU. DARIO FLACCOVIO EDITORE
- CESTARI F. (1996): PROVE GEOTECNICHE IN SITO. GEO-GRAPH S.N.C.
- COMUNE DI VILLA POMA: PGT 2010, RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
- LAMBE & WHITMAN (1997): MECCANICA DEI TERRENI; DARIO FLACCOVIO EDITORE
- LANCELLOTTA R., (1987): GEOTECNICA. ZANICHELLI
- MEYERHOF G.G. (1951): THE ULTIMATE BEARING CAPACITY OF FOUNDATIONS. GEOTECHNIQUE, 2, PP. 301-332.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA. – ENI AGIP (1998): RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA. – UNIVERSITA DI SIENA (2013): ASSETTO TETTONICO E POTENZIALITÀ SISMOGENETICA DELL' APPENNINO TOSCO-EMILIANO E DELLA VAL PADANA.
- P.K. ROBERTSON & K.L. CABAL (2010): GUIDE TO CONE PENETRATION TEST FOR GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING
- P.K. ROBERTSON (2012): INTERPRETATION OF IN-SITU TEST – SOME INSIGHTS (MITCHELL LECTURE 2012)
- SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (2005): CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50000 – FOGLI 199 E 201.
- SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (1994). I SUOLI DELL'EMILIA ROMAGNA - CARTA 1:250.000.

SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA
(2004): CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ALLA SCALA 1:250000

TERZAGHI K., PECK R.B. (1967): SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE, JOHN WILEY & SONS, NEW YORK.

VESIC A.S. (1970): TESTS ON INSTRUMENTED PILES, OGEECHEE RIVER SITE, JSMFD, ASCE, VOL 96, N. SM2, PROC. PAPER 7170, MARCH.

ELABORATI CARTOGRAFICI



AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po

REGIONE, PROVINCIA, COMUNE:

Regione Emilia Romagna
Provincia di Modena
Comune di Concordia sulla Secchia

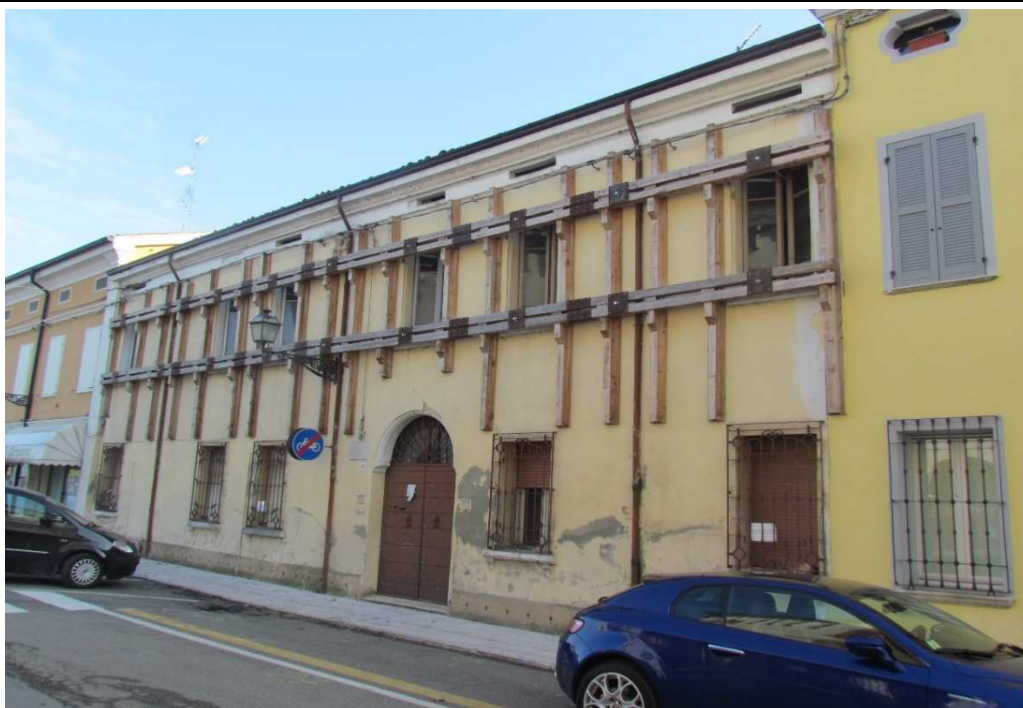


OGGETTO:

**INTERVENTO DI RIPARAZIONE SISMICA DELL'IMMOBILE
DEMANIALE NON STRUMENTALE IN USO AD A.I.P.O. SITO IN VIA
DELLA PACE 84 IN CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO-E-1281).
COD. C.U.P. B55J14000030002 - C.I.G. ZE710202C0**

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA



REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	DESCRIZIONE
00	Novembre 2015	Dott. Fabio Francesco Picinotti	Dott. Fabio Francesco Picinotti	Emissione

Studio di geologia dott. Fabio Francesco Picinotti

Via Silvio Pellico, 4 - 43125 Parma
Tel. 0521 1686041 - Cell. 338 9661851
mail: fabiopicinotti@yahoo.it



Indice

1.	PREMESSA	1
2.	ANALISI TERRITORIALI	3
2.1	Inquadramento geografico	3
2.2	Inquadramento geologico	4
2.2.1	Assetto geologico generale	4
2.2.2	Assetto geologico dell'area di studio	19
2.2.3	Assetto idrogeologico	31
3.	INDAGINE GEOGNOSTICA	32
3.1	Indagine diretta	32
3.2	Indagini indirette	32
3.3	Caratteristiche litostratimetriche dei terreni investigati	32
3.4	Caratteristiche geomeccaniche	34
4.	CLASSIFICAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA SISMICITA' STORICA	37
4.1	Caratteri strutturali e sismotettonici	37
4.1.1	Zone Sismogenetiche	41
4.2	Pericolosità sismica di base	42
4.2.1	Analisi della sismicità	42
4.3	Risposta sismica locale	53
4.3.1	Amplificazione stratigrafica e topografica	55
4.3.2	Occorrenza di fenomeni di liquefazione	57
5.	CONCLUSIONI	63
6.	BIBLIOGRAFIA	65

Tavole

Tav.1: Inquadramento geografico

Tav.2: Inquadramento geologico

Allegati

Allegato A: Prove Penetrometriche CPTu

Allegato B: Elaborazione prova MASW

Allegato C: Verifiche alla liquefazione

Allegato D: Documentazione fotografica

1. PREMESSA

Il presente studio geologico, redatto su incarico di AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po, è elaborato a supporto del progetto di riparazione sismica dell'immobile demaniale non strumentale in uso ad AIPO sito nel centro abitato di Concordia in Via della Pace, 84 lesionato in seguito agli eventi sismici del maggio 2012.

Lo studio si pone lo scopo di verificare l'assetto morfologico e litostratigrafico dei luoghi e di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione, al fine di indirizzare i futuri interventi strutturali attraverso la determinazione delle condizioni di fattibilità geologica e sismica del sito, nonché di definire le condizioni più idonee dei futuri interventi in rapporto alla natura dei terreni presenti.

Lo studio è stato condotto in osservanza alla normativa vigente in materia:

- Decreto Ministeriale 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" che ricomprende:
 - Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri n°3274 del 20/03/2003;
 - D.M. 21/01/1981, attuativo della Legge 64/1974, e successive modifiche ed integrazioni (D.M. 11/03/1988 e Circ.LL.PP. n°30483 del 24/09/1988 "Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988");
- Legge regionale 30 ottobre 2008, n°19 "Norme per la riduzione del rischio sismico".
- Circolare 617 del 02/2/09 (G.U. n.47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008").

Allo scopo di accertare la caratterizzazione geomeccanica dei terreni costituenti il sottosuolo, sono state appositamente realizzate specifiche e mirate indagini geognostiche dirette ed indirette, come previsto dalla citata normativa vigente in materia.

Le considerazioni espresse, illustrate in seguito, emergono pertanto dalla sintesi delle seguenti acquisizioni:

- ricerca bibliografica di dati relativi all'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismotettonico generale e locale;
- caratterizzazione litostratigrafica e geomeccanica dei terreni del sedime attraverso l'esecuzione di indagini dirette sul lotto di interesse.
- caratterizzazione sismica attraverso l'utilizzo dei risultati di specifica indagine geofisica.

Al fine specifico della presente relazione sono state effettuate le seguenti indagini geognostiche:

- indagini dirette eseguite allo scopo di accertare la caratterizzazione stratigrafica e geomeccanica:
 - n. 1 prova penetrometrica con piezocono sismico tipo SCPTU spinte fino alla profondità di 20,0 m da p.c.
- indagini indirette, al fine di valutare la risposta sismica locale semplificata attraverso la determinazione della categoria di suolo ai sensi del cap. 3.2.2 Tab 3.2.II del D.M. 14 gennaio 2008:
 - n. 1 stendimento geofisico tipo MASW;

La relazione si compone di una prima parte caratterizzata dalla sintetica esposizione delle principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche generali del territorio in esame e da una seconda parte invece in cui si affrontano più dettagliatamente le caratteristiche fisico-meccaniche peculiari dei terreni coinvolti direttamente dall'intervento in progetto, elaborate in riferimento alle risultanze delle indagini geognostiche specificatamente effettuate.

2. ANALISI TERRITORIALI

2.1 Inquadramento geografico

Gli interventi in progetto sono relativi all'edificio sito in Via della Pace 84 nella porzione più occidentale dell'abitato di Concordia sulla Secchia; la quota è di circa 20 m s.l.m. (Fig. 1 e Tavola 1). Si tratta di un'area urbanizzata sub-pianeggiante, posta al piede dell'argine del fiume Secchia. Dal punto di vista cartografico è ricompresa nella sezione 183080 della Carta Tecnica Regionale dell'Emilia Romagna alla scala 1:10.000. Il territorio in esame appartiene alla bassa pianura modenese a Sud del Fiume Po.



Fig. 1 – Ubicazione del sito di studio

2.2 Inquadramento geologico

2.2.1 Assetto geologico generale

La strutturazione fisica e paesaggistica della pianura modenese ha seguito le sorti del bacino padano, nel corso della sua storia evolutiva.

La Pianura Padana è un bacino sedimentario compreso tra l'Appennino Settentrionale e le Alpi Meridionali in cui i sedimenti più recenti, in prevalenza olocenici, ricoprono terreni complessi dal punto di vista stratigrafico e strutturale.

Il contesto geodinamico è quello collisionale tra due blocchi continentali rappresentati dalla zolla europea, o sardo-corsa, e dalla microplacca Adria o Apula o Adriatico-Padana, inizialmente connessa alla zolla africana, (Boccaletti *et alii*, 1971; Boccaletti & Guazzone, 1972). A partire dall'Eocene medio il processo di sottoscorrimento della placca Adria al di sotto della zolla europea ha via via scomposto i vari domini paleogeografici meso-cenozoici impilando e giustapponendo tra loro in modo complesso le varie successioni stratigrafiche, costruendo così la catena appenninica. La deformazione orogenica si è propagata in direzione dell'Avampaese padano-adriatico. I vari stadi di questa evoluzione sono solitamente raggruppati in fasi principali; tralasciando quelle più antiche che non hanno riscontri evidenti nel substrato della pianura, la tettonica di accrezione dell'Appennino settentrionale, contemporanea all'apertura del Mar Tirreno, interessa a partire dal Messiniano fino al Quaternario le zone esterne della catena e coinvolge l'area padana. Infatti a partire dalla fine del Miocene l'avanzata delle falde appenniniche induce sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano con il formarsi di un bacino subsidente: si sviluppa così al fronte della catena in surrezione l'avanfossa molassica padano-adriatica.

In origine essa costituiva un grande golfo (propaggine occidentale del Mare Adriatico), limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi (Catena montuosa della Jugoslavia). Esso era gradualmente ridotto dalla traslazione verso nord/nord-est dalle falde di ricoprimento tettonico dell'Appennino settentrionale.

Il regime compressivo, instaurato dalle interazioni tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica (e attivo dal Cretaceo ai giorni nostri), comportò in direzione nord-est, un notevole raccorciamento del bacino padano attraverso la deformazione del basamento cristallino, della copertura sedimentaria meso-miocenica e dei terreni in corso di sedimentazione. L'acme deformativo si manifestò principalmente dal Miocene inferiore medio al Pliocene inferiore.

Nell'era quaternaria il regime compressivo si esaurì in modo significativo consentendo ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare il bacino padano conferendo l'attuale assetto e morfologia.

Assetto geologico strutturale della Pianura Padana

Il bacino perisuturale padano è suddivisibile in due domini con differente comportamento cinematico:

- margine padano meridionale caratterizzato da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni e pieghe;
- piattaforma settentrionale (Monoclinale Pedevalpina) debolmente immergente verso sud, il cui settore meridionale situato in posizione assiale depocentrale rispetto al bacino padano medesimo è definito Avanfossa Padana.

Entrambi i suddetti domini sono sepolti da sedimenti marini pliocenici e pleistocenici e da sedimenti continentali pleistocenici ed olocenici (Fig. 2). Le strutture tettoniche presenti nella piattaforma settentrionale e nel margine meridionale, come manifestato dai recenti terremoti, sono sismicamente attive, a testimonianza che il processo orogenetico delle Alpi e degli Appennini è tuttora attivo.

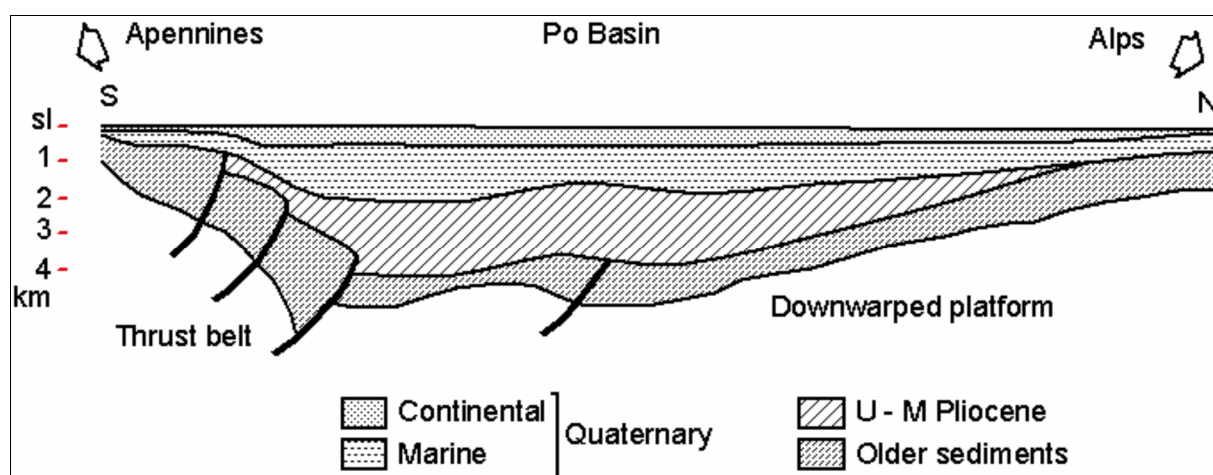


Fig. 2 – Sezione schematica del bacino padano con in evidenza la piattaforma settentrionale (downwarped platform) e il margine meridionale (thrust belt) (Pieri e Groppi 1981, modificato da Ori 1993).

Margine padano meridionale

Il margine padano meridionale è di tipo “complesso” (secondo Ricci Lucchi, 1986), perché interessato da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni, pieghe e bacini che si estendono da est ad ovest interessando per intero la pianura emiliana romagnola (Fig. 3).

In particolare nel sottosuolo antistante il margine morfologico dell’Appennino settentrionale, dal Piemonte meridionale fino al limite orientale della Romagna, seguendo poi l’allineamento Appennini-Mare Adriatico, sono presenti, a livello delle formazioni mesozoiche e mio-plioceniche (sepolte quindi da una più o meno spessa coltre alluvionale quaternaria), due serie principali di thrusts (sovrascorrimenti) a sviluppo sequenziale frontale.

Essi costituiscono due sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico (Fig. 4), formatesi attraverso molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso sud/sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°, che racchiudono un bacino satellite ad esse parallelo.

In letteratura geologica queste zone di scollamento tettonico sono note come External Thrust Front (ETF), sull’allineamento di Cremona - Parma - Reggio Emilia - Correggio (RE) - Mirandola (MO) -

Ferrara e Ravenna, e Pedepenninic Thrust Front (PTF), lungo il margine morfologico dell'Appennino Settentrionale.

Da nord a sud il margine padano meridionale è quindi caratterizzato dalle seguenti strutture:

- 1) External Thrust Front (ETF): alto strutturale (involuppo delle rampe frontali dei thrust sepolti) che esprime la zona di confine tra la Monoclinale pedealpina, (il cui depocentro è l'avanfossa padana) che si apre in direzione nord a partire dal fronte settentrionale dell'alto strutturale medesimo, e la regione "Apennines" (zolla Corso - Sarda) a sud;
- 2) bacino minore o satellite: depressione racchiusa a nord dall'alto strutturale dell'ETF e a sud dalle strutture embricate del PTF; si estende in zona antistante al margine morfologico dell'Appennino emiliano romagnolo con allungamento in direzione ovest/nord-ovest ed est/sud-est, presentandosi con geometrie non costanti che esprimono settori strutturalmente svincolati tra loro in relazione all'andamento planimetrico delle strutture sepolte associate all'External Thrust Front (ETF) e al Pedepenninic Thrust Front (PTF);
- 3) Pedepenninic Thrust Front (PTF); esprime la zona di confine tra il margine morfologico appenninico e il suddetto bacino satellite.

Le suddette strutture sono l'espressione della collisione tettonica tra la microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e la microplacca Adriatica. Le deformazioni e la parziale subduzione della microplacca adriatica sotto quella dell'Arco Appenninico Settentrionale sono causate dalle spinte nord-est vergenti, impresse dal movimento di convergenza tra la zolla africana ed europea a seguito dell'apertura dell'Oceano Atlantico.

L'External Thrust Front è suddiviso in tre margini planimetricamente arcuati, denominati da ovest verso est "Piemonte Folds", "Emilia Folds" e "Ferrara Folds" (Fig. 3). A sud delle "Ferrara Folds", si estendono altri sistemi di thrust, sempre associati al meccanismo di deformazione delle precedenti, noti come "Romagna Folds" e "Adriatico Folds".

L'External Thrust Front è quindi caratterizzato da una serie di strutture ad arco, concave verso sud, che si raccordano in due zone di incrocio (Pavia e Reggio Emilia), dove il fronte appare notevolmente arretrato (Figg. 3/5). Questo assetto strutturale è probabilmente dovuto alla presenza, nella crosta superiore padana, di zone con maggiore rigidità che hanno impedito lo scollamento delle successioni mesozoiche e terziarie dal basamento sottostante, bloccando in tal modo la traslazione verso nord (Bernini e Papani, 1987).

Le principali cause sono imputabili alle manifestazioni magmatiche effusive, subvulcaniche ed epiplutoniche del Paleozoico, Trias medio e Terziario (in parte accertate nei pozzi profondi AGIP), verosimilmente responsabili delle maggiori anomalie magnetiche positive della Pianura Padana.

Le anomalie risultano, infatti, in larga misura coincidenti con le porzioni più arretrate dell'External Thrust Front e delle zone di incrocio fra gli archi. In particolare l'anomalia presente a sud del Lago di Garda, estesa dal Mantovano fino alla pianura parmense e reggiana, corrisponde alla zona di incrocio tra "Emilia Folds" e "Ferrara Folds", mentre l'anomalia presente nella zona di Pavia, estesa

nella pianura pavese e alessandrina, corrisponde alla zona di incrocio tra “Emilia Folds” e “Piemonte Folds”.

Il Pedepenninic Thrust Front è invece costituito da un margine discontinuo, planimetricamente parallelo al limite morfologico dell’Appennino settentrionale, segmentato da faglie trasversali, coincidenti con alcuni dei principali corsi d’acqua (Taro, Enza, Secchia, Panaro ecc.). Si tratta di una serie di thrusts e duplicazioni crostali che hanno determinato il sollevamento e il basculamento dei depositi affioranti nella fascia pedeappenninica.

Le faglie trasversali al Pedepenninic Thrust Front sono inoltre all’origine della suddivisione dell’Appennino Settentrionale in settori a differente comportamento tettonico, responsabili altresì della traslazione differenziale dei vari settori dell’Appennino settentrionale come appunto testimoniano le rientranze del margine appenninico tra il F. Taro e il T. Enza e tra i F. Panaro e il F. Reno.

In Fig. 5 è riportato un estratto della “Carta degli elementi tettonici significativi dell’area Padana centro-orientale”; nella pianura modenese e ferrarese l’ETF prende il nome di “Dorsale Ferrarese”.; essa è caratterizzata da un’ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, che corre da Massa Finalese a Mirandola, con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW; in direzione est prosegue poi verso Ferrara e nelle Valli di Comacchio. Essa raggiunge le massime culminazioni proprio tra Novi, S. Possidonio, Mirandola e San Felice nelle strutture di Novi, S. Biagio, Rivara e Camurana (AQUATER-ENEL, 1978; Pieri e Groppi, 1981). La presenza di questa particolare anticlinale ha condizionato, per i movimenti del terreno ad essa connessi e tuttora attivi, la configurazione della rete idrografica naturale: ad esempio, l’alveo del Fiume Po attraversava, sino ad epoche geologiche molto recenti (e forse storiche o preistoriche) il Mirandolese, tanto che alcuni percorsi sono ancora riconoscibili sulle fotografie aeree o in campagna.

La presenza di questa struttura provoca inoltre, la riduzione dello spessore della copertura alluvionale da Nord a Sud; Lungo tale allineamento, e in particolare sulle sue culminazioni lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m) (Fig. 6).

A sud della Dorsale ferrarese il bacino satellite prende il nome di “Bacino di Carpi” o “Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia; questo depocentro, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara.

L’Avanfossa Padana e la Piattaforma Settentrionale (Monoclinale Pedevalpina)

A nord delle pieghe emiliane e ferraresi si estendono in successione l’Avanfossa Padana e la Monoclinale Pedevalpina, interessando interamente la bassa pianura parmense e la pianura lombardo - veneta, fino al margine morfologico Prealpino. Il limite meridionale dell’Avanfossa Padana è rappresentato dall’alto strutturale noto come External Thrust Front (ETF).

L'Avanfossa Padana costituisce la parte depocentrale del Bacino Padano, ove si trovano accumulati, con giacitura pressoché orizzontale, quasi duemila metri di depositi quaternari marini e continentali (Figure 3 e 5).

La Monoclinale Pedevalpina, situata a nord del precedente dominio, è rappresentata invece da una piattaforma generalmente regolare, debolmente immergente verso sud e interrotta solamente da un'estesa anomalia strutturale nota come Sistema Verona - Brescia e da altre secondarie a scala provinciale come le strutture di Piadena, Sanguinetto e Mantova.

Il sistema Verona Brescia si estende nel sottosuolo della pianura lodigiana, bresciana e veronese, a livello delle formazioni mesozoiche e mio-plioceniche (sepolte quindi da una spessa coltre alluvionale quaternaria). E' costituito da una serie di thrusts a sviluppo sequenziale a ritroso, contrapponendosi al sistema strutturale di tipo frontale dell'External Thrust Front e del Pedepenninic Thrust Front, ed è rappresentato da un sistema di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico, formatesi attraverso molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso nord nord/ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

Il sistema Verona - Brescia costituisce quindi un alto strutturale direttamente congiunto con la linea delle Giudicarie (linea di sutura della catena alpina).

Connessa al sistema Verona - Brescia c'è anche la faglia di Verona, situata a nord est dell'omologo centro abitato e impostata circa in corrispondenza del margine morfologico dei M. Lessini. Si tratta di una struttura verticale orientata nord-ovest e sud-est e responsabile dei maggiori rilasci sismici nella storia del bacino padano.

La struttura di Mantova è caratterizzata da un sistema di faglie verticali situate a nord dell'omologo centro abitato e orientate generalmente est-ovest. Esse sono all'origine della formazione del lago di Mantova e del gomito del F. Mincio.

La struttura di Piadena è situata sull'asse dell'omologo centro abitato orientata nord-ovest e sud-est. E' costituita da un thrusts a sviluppo sequenziale frontale, rappresentato da una piega asimmetrica con andamento anticlinalico, formatasi attraverso una faglia inversa, immergente verso sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

La struttura di Sanguinetto è caratterizzata infine da un sistema di faglie verticali situate a cavaliere tra la pianura mantovana e veronese. Esse presentano un'orientazione generalmente nord-ovest e sudest.

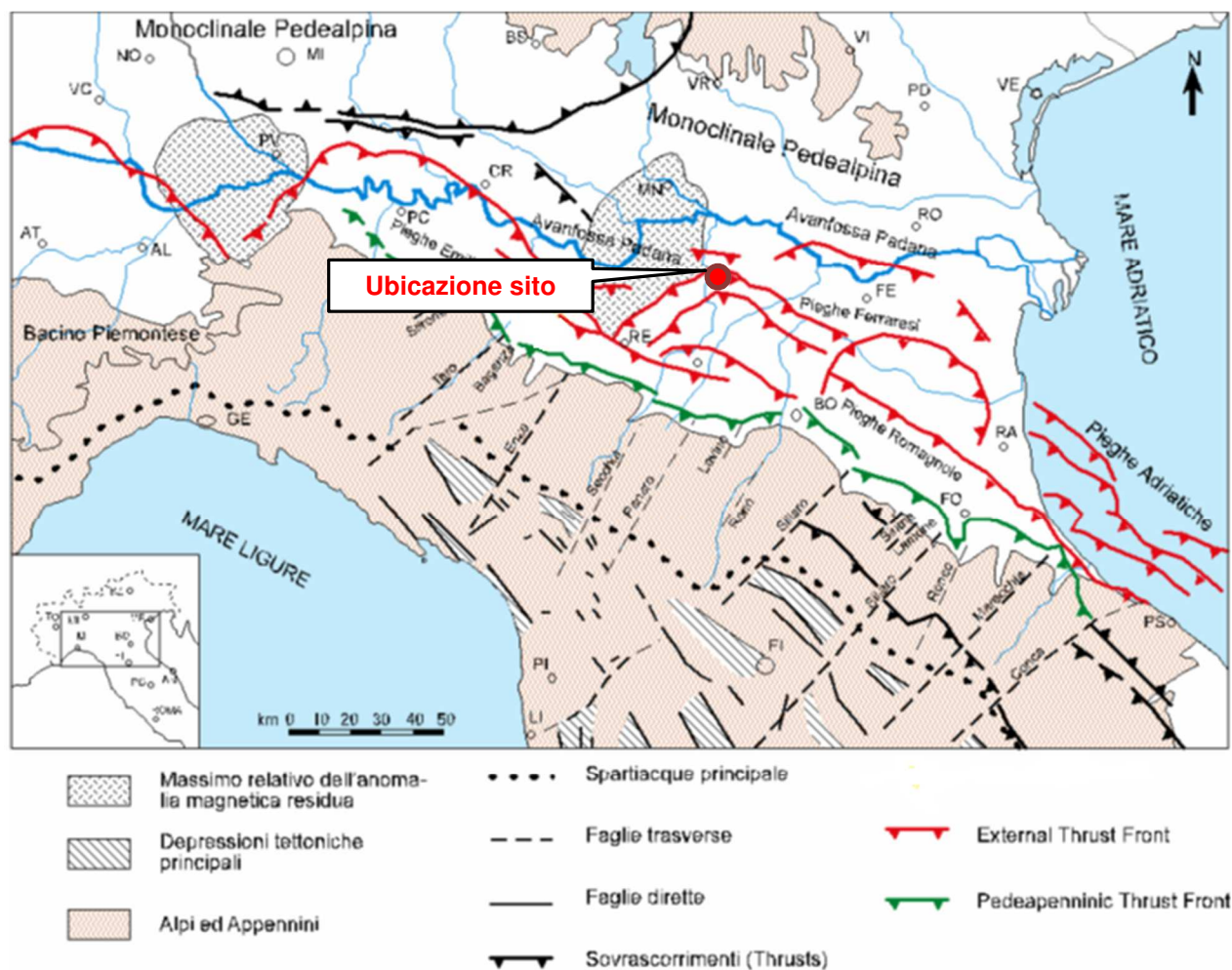


Fig. 3 – Struttura tettonica semplificata dell'Appennino settentrionale e dell'avanzfossa padano-adriatica (AGIP 1983; modificato).

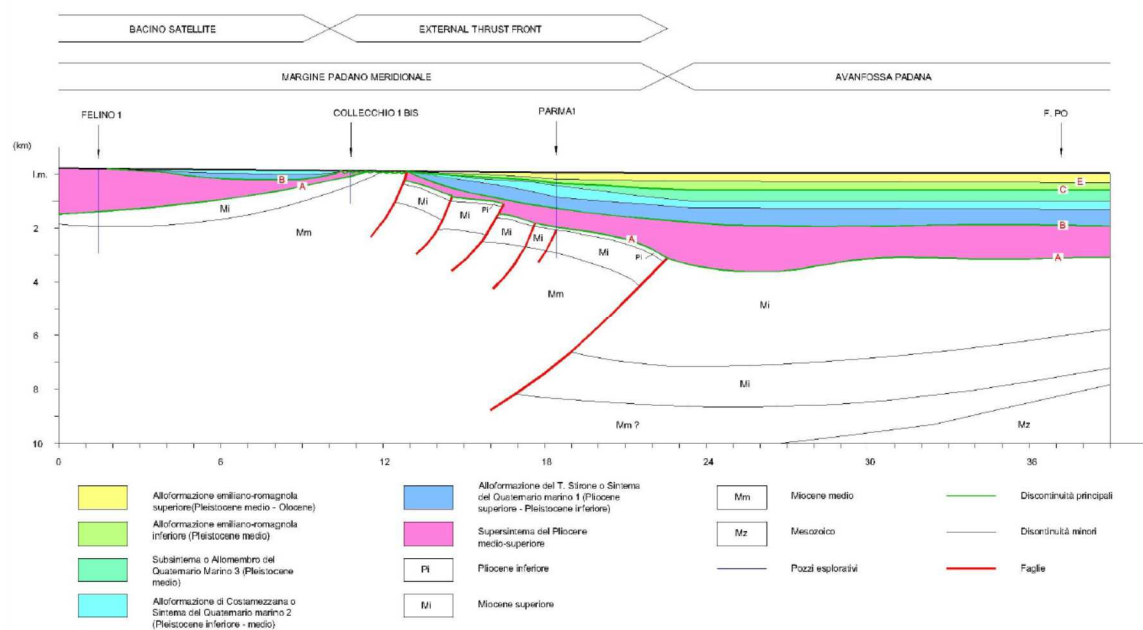


Fig. 4 – Sezione geologica della pianura padana (traccia in Fig. 5) - Pieri e Groppi (1981 - modificato).

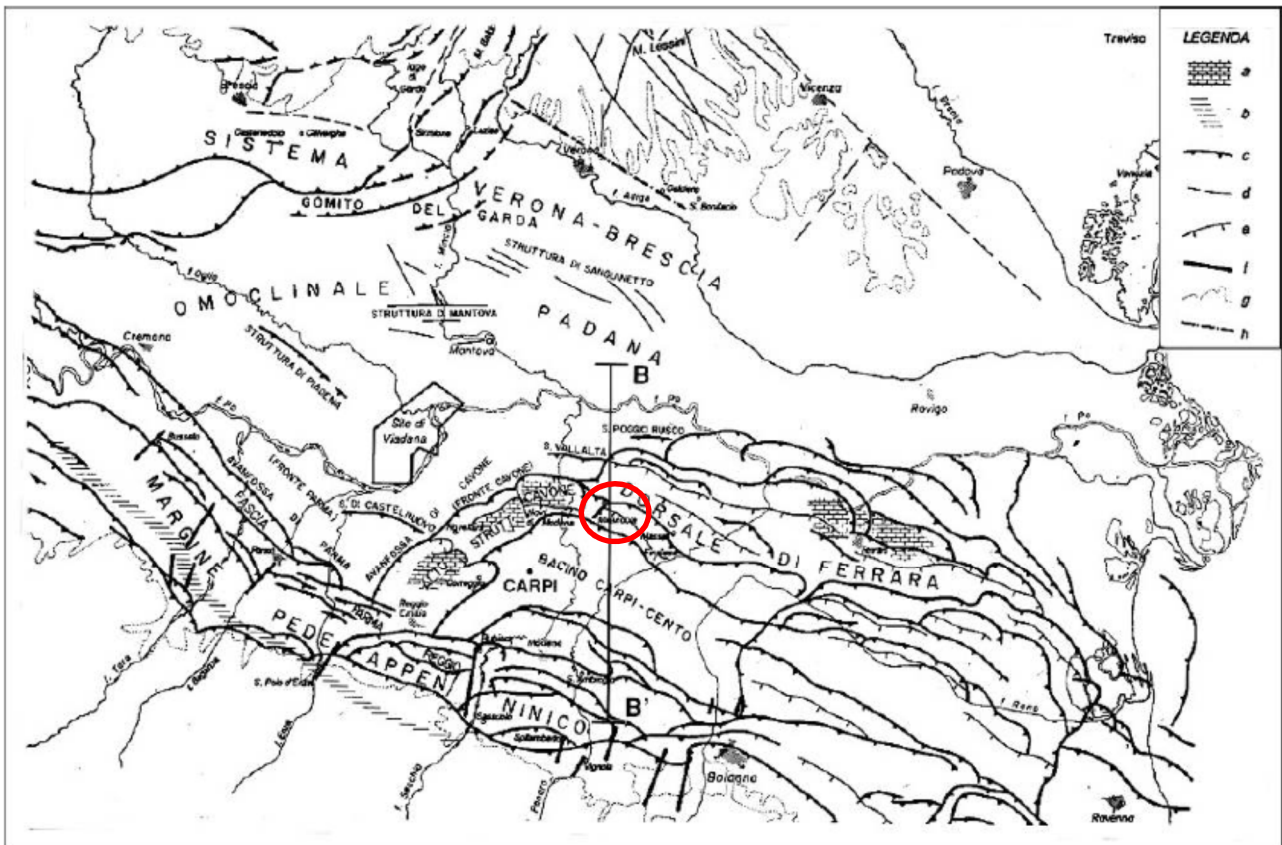


Fig. 5 – Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro orientale (da Serva 1990).
 Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona".

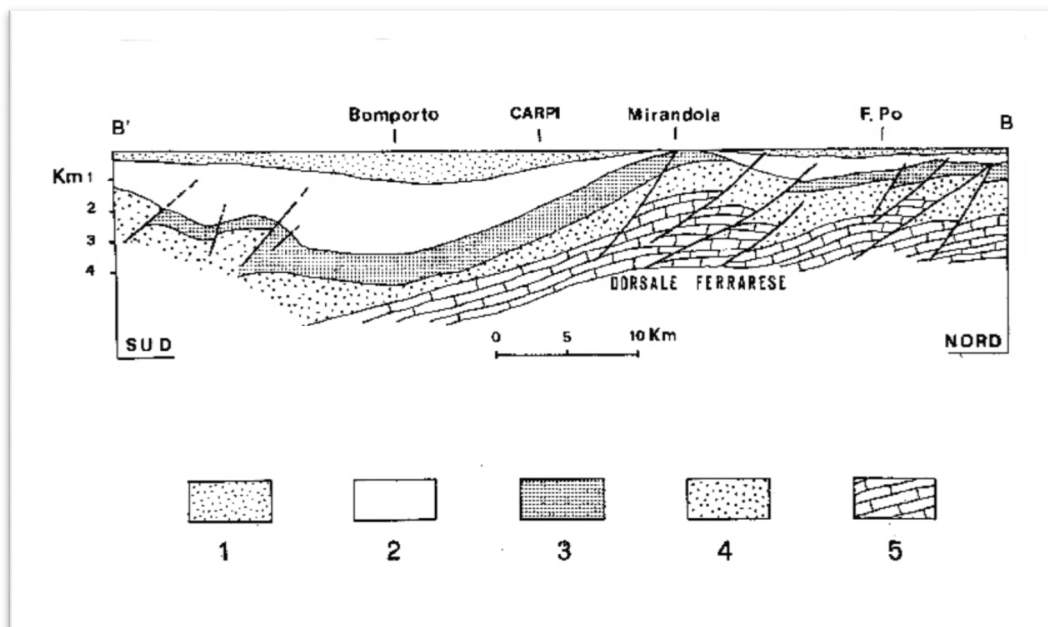


Fig. 6 - Sezione geologica della pianura padana (traccia in Fig. 5) - Pieri (1980).
 Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) Sedimenti marini del Pliocene Superiore e Quaternario; 3) Sedimenti marini del Pliocene Inferiore; 4) Sedimenti marini del Paleocene-Miocene; 5) Formazioni Calcareae Marine del Mesozoico.

Stratigrafia dei depositi del bacino padano

Seguendo lo schema dei rapporti stratigrafici di Dondi (1982), le sezioni geofisiche di Pieri e Groppi (1981) e il panorama geologico del Pedepennino, la copertura sedimentaria, al di sopra del basamento cristallino fino al piano campagna, si compone delle seguenti unità (Figg 4 e 6):

- Successioni carbonatiche di ambiente di piattaforma (Mesozoico): sono sedimentate dal Giurassico – Cretacico inf. fino all'Eocene medio prima della collisione continentale tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica e quindi nel periodo antecedente alla formazione del bacino padano (sondaggio AGIP di Bagnolo in Piano - Reggio Emilia);
- Successioni clastiche arenaceo-marnose (ante-evaporitico): sono sedimentate dall'Eocene superiore al Miocene superiore, prima del periodo Messiniano, ma successivamente alla collisione continentale tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica, in fase di neoformazione del bacino padano; nella parte inferiore sono costituite da peliti marnose di ambiente di piattaforma esterna o bacinale, in rapporti eteropici con sedimenti torbiditici più grossolani d'ambiente di conoide sottomarina; nella parte superiore sono invece costituite prevalentemente da marne d'ambiente di piana e conoide sottomarina con intercalazioni d'intervalli marnosi sabbiosi, talora conglomeratici;
- Successioni clastiche messiniane (Miocene Superiore): sono sedimentate in piena crisi di salinità, in fase di forte regressione del mare; nelle zone marginali del bacino sono presenti sedimenti alluvionali costituiti da argille, sabbie ed arenarie e sedimenti di origine chimica costituiti da gessi, evaporiti e calcari solfiferi; nelle zone più interne del bacino padano sono sedimentati invece depositi conglomeratici, arenitici e pelitici di conoide sottomarina e sabbie di piattaforma continentale;
- Successioni clastiche post-messiniane: dopo la fase regressiva marina del Messiniano si ha nel periodo successivo (Pliocene), una fase di trasgressione caratterizzata da una sedimentazione prevalentemente di mare poco profondo; ai margini del bacino padano sedimentano sabbie litorali, mentre nelle parti interne argille e limi; verso la fine del Pliocene a seguito di una fase regressiva del mare l'ambiente deposizionale assume connotati prevalentemente litorali, mentre ai margini del bacino continua la sedimentazione delle sabbie verso le parti più interne, si assiste alla sedimentazione di depositi prevalentemente limosi e argilloso sabbiosi.
- Successioni terrigene marine del Quaternario (Quaternario marino 1-2 in Fig. 4): caratterizzano il Pleistocene inferiore e medio; il livello del mare inizialmente in fase di trasgressione con completa immersione di tutto il bacino padano regredisce con fasi alternanti fino all'altezza della città di Pescara, attualmente in fregio al mare Adriatico; la sedimentazione è caratterizzata da depositi prevalentemente fini, appartenenti ad un ambiente marino relativamente profondo, nella parte inferiore e da sabbie e ghiaie di

ambiente deltizio con, locale, sviluppo di livelli torbosi di ambiente lagunare in quella superiore.

- Successioni terrigene continentali del Quaternario (Alloformazioni inferiore e superiore in Fig. 4): caratterizzano l'arco temporale compreso tra il Pleistocene medio - superiore e l'attuale; sono suddivisibili in un'unità inferiore e in un'unità superiore; l'unità inferiore basale è costituita da depositi alluvionali prevalentemente fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi nastriformi, riferibili ad antichi paleoalvei fluviali, dotati di limitata continuità laterale, e da un'unità superiore; l'unità superiore comprende, invece, i sistemi di conoide alluvionale nella zona antistante ai rilievi appenninici ed alpini e i sistemi fluvio-deltizi lungo la fascia del Po.

Evoluzione del bacino

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale è il risultato di eventi tettonico-sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e attività ridotta delle strutture compressive.

Gli effetti dei movimenti verso Nord – Est delle falde appenniniche sono rilevabili alla scala dell'intero bacino sedimentario. In particolare si possono osservare i seguenti fenomeni:

- sollevamenti regionali che coinvolgono principalmente le zone del margine meridionale del bacino peri-suturale padano;
- la modificazione delle geometrie del bacino e delle condizioni di sedimentazione;
- la segmentazione della zona di margine bacinale per mezzo di faglie e superfici di scorrimento;
- la formazione di superfici di erosione, con estensione regionale, sui margini del bacino e sulle strutture ora sepolte (dorsale ferrarese);
- la migrazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina - Piana Bacinale (TSB) e conseguentemente quella del depocentro bacinale. La TSB è definita in sismica come il punto in cui i riflettori clinoformi della scarpata sottomarina si raccordano alla base con i riflettori piano-paralleli della piana bacinale. Generalmente corrisponde con il margine del bacino (Fig. 8).

Nell'intervallo tra un evento tettonico di sollevamento regionale e quello successivo, la TSB rimane bloccata sul fronte dell'arco strutturale, posto al margine del bacino marino, che separa le due zone del cuneo di accrezione che presentano la maggiore subsidenza differenziale.

Durante ogni evento tettonico regionale si assiste al sollevamento dei margini del bacino (soprattutto del margine meridionale, appenninico) e, contemporaneamente, allo spostamento della massima subsidenza differenziale sul fronte di un arco strutturale più avanzato.

La TSB può allora progradare rapidamente fino a raggiungere il nuovo fronte maggiormente attivo. Così si assiste contemporaneamente alla formazione della superficie di discontinuità erosiva sui margini e allo sviluppo di un prisma fluvio-deltizio progradante nella zona compresa tra i due fronti strutturali (Fig. 11). Tutto ciò può essere sintetizzato con il termine "regressione (o progradazione) forzata".

Concluso l'evento tettonico con la regressione forzata, si instaura un regime di subsidenza generalizzato che porta all'ampliamento delle aree deposizionali sui margini del bacino.

All'interno del bacino perisuturale padano in neoformazione possono essere distinte le seguenti classi di sistemi deposizionali:

- piana alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po);
- conoide alluvionale e piana alluvionale ad alimentazione alpina e appenninica;
- delta ad alimentazione assiale (paleo-Po), alpina e appenninica;
- delta conoide alpino e appenninico;
- piana costiera;
- piattaforma sommersa;
- scarpata sottomarina;
- piana bacinale.

L'organizzazione verticale delle facies all'interno delle prime quattro classi di sistemi deposizionali, ed in particolare nei sistemi di piana alluvionale, di conoide alluvionale e nei sistemi deltizi, è invariabilmente costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine. Molte volte è possibile distinguere una gerarchia di spessori, con insiemi di cicli di rango inferiore spessi alcuni metri che costituiscono cicli di rango superiore, spessi alcune decine di metri.

Si può ipotizzare che tali unità cicliche rappresentino fasi sedimentarie di alta energia alternate a fasi di bassa energia dovute rispettivamente all'attivazione e alla disattivazione dei sistemi deposizionali.

Queste fasi sembrerebbero controllate dalle oscillazioni climatico - eustatiche sviluppate alla scala dei 20 e dei 100 ka, per i cicli di rango inferiore e superiore rispettivamente (G. Di Dio, 1996; Di Dio & Valloni, 1997). In tal senso questi ultimi si configurano come Sequenze Deposizionali Elementari e rappresentano i mattoni con cui si costruiscono le Sequenze di ordine gerarchico superiore.

Nel sottosuolo dell'Emilia-Romagna, il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non avvengono in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Come già visto pocanzi nelle fasi di attività tettonica si hanno i seguenti effetti:

- sollevamenti regionali che coinvolgono principalmente le zone di margine del bacino;
- la modificazione delle geometrie del bacino e delle condizioni di sedimentazione;
- la segmentazione della zona di margine bacinale per mezzo di faglie e superfici di scorrimento;
- la formazione di superfici di erosione, con estensione regionale, sui margini del bacino e sulle strutture sepolte;
- la migrazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina - Piana Bacinale (TSB) e conseguentemente quella del depocentro bacinale.

Nell'intervallo di tempo tra un evento tettonico di sollevamento regionale e quello successivo si assistono invece ad importanti fenomeni di subsidenza con notevole sviluppo della sedimentazione, soprattutto per progradazione dei prismi di accrezione, in corrispondenza dei margini di bacino (Fig. 11).

A partire dal Messiniano cessano quasi completamente i movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo si registra un sensibile spostamento verso Nord – Est del fronte dell'Appennino settentrionale e si struttura il bacino Padano, inteso come l'ultimo di una lunga serie di bacini perisuturali che si sono succeduti durante l'orogenesi appenninica (Macigno, Marnoso Arenacea ecc.) a seguito della collisione tra la placca sardo corsa e quella adriatica. Da questo momento le geometrie deposizionali del neoformato bacino Padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini.

Il margine meridionale del bacino Padano, a ridosso del fronte appenninico, risente in modo consistente di tali movimenti. Il margine settentrionale (monoclinale pedealpina) risente invece in modo più blando di quanto succede nel bacino. I movimenti sono registrati da superfici di erosione arealmente anche molto estese, dalla riattivazione delle strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati ai movimenti eustatici.

La complessa evoluzione del Bacino Perisuturale Padano, nelle età che vanno dal Pliocene inferiore all'attuale, può essere riassunta in sette fasi salienti (Di Dio et. al. 1998):

1) Zancleano superiore – Piacenziano inferiore (da -3,9 a -3,6 - 3,3 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale (evento medio pliocenico), ovvero la strutturazione del settore piacentino delle pieghe emiliane (ETF), provoca un'importantissima regressione forzata nell'area piemontese sud-orientale e la rapida progradazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB1 Figura 8) fin sul fronte dell'allineamento strutturale Rivergaro - Salsomaggiore, lasciando alle spalle (Provincia di Piacenza e Pavia) un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Figura 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (Linea A in Fig. 4 e 7). In Provincia di Modena si assiste invece alla sedimentazione

delle Argille Azzurre o Argille di Lugagnano ampiamente affioranti lungo il margine appenninico (Figura 9). A partire dall'evento medio pliocenico non è più individuabile un unico bacino di avanfossa continuo al fronte del margine appenninico e la deposizione torbiditica avviene al fronte delle pieghe emiliane e ferraresi (Formazione di Porto Garibaldi).

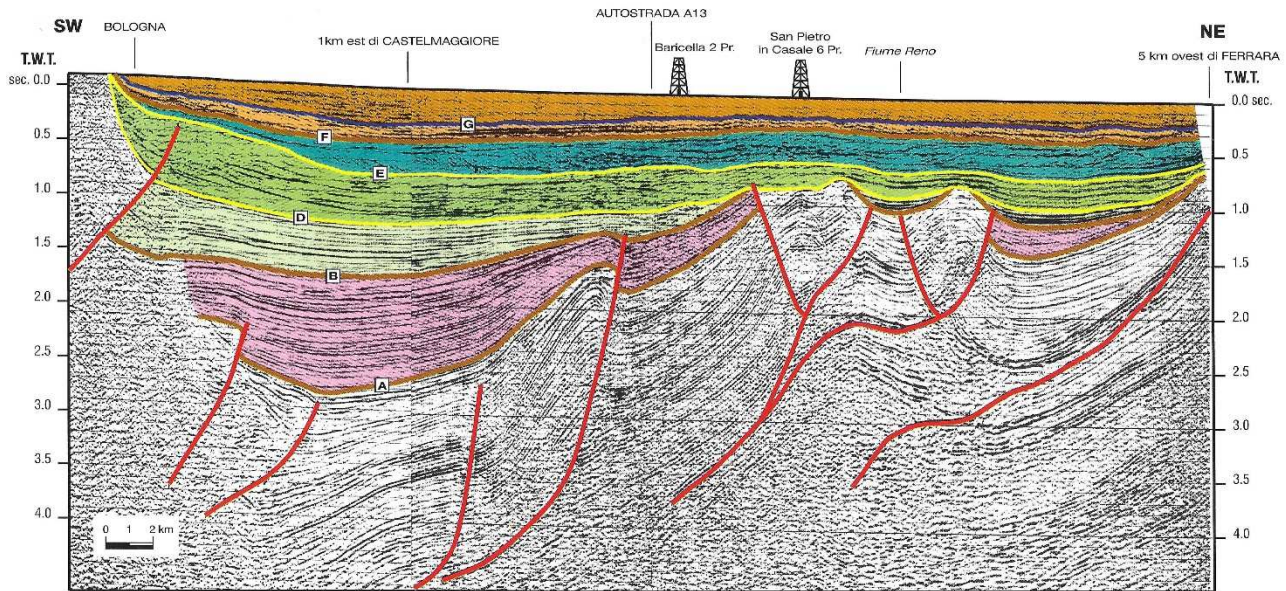


Fig. 7 – Profilo sismico Interpretato della Pianura Emiliana (G. Di Dio 1998)

2) Piacenziano – Gelasiano inferiore (da -3,6 - 3,3 a -2,4 Ma). Subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione e un ampliamento delle aree deposizionali sulla superficie di erosione, formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Depositi deltizi e costieri, di provenienza appenninica, si sviluppano sulla superficie di discontinuità originando il Supersistema del Pliocene medio-superiore affiorante nel territorio di Piacenza Provincia. In Provincia di Modena prosegue ancora la sedimentazione delle Argille marine di piattaforma e bacino.

3) Gelasiano inferiore – Pleistocene inferiore (da -2,4 a -1,6 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale che provoca un'importante regressione forzata nell'area emiliana; si attiva definitivamente il sistema delle pieghe emiliane (ETF). La Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB2 in Fig. 8) prograda rapidamente fin sul fronte dell'allineamento strutturale Cortemaggiore - Fontevivo - Reggio Emilia - Modena - Somaglia – Castrocara (attuale External Thrust Front - ETF), lasciando alle spalle un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Figura 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (linea B, Figg. 4 e 7). In Provincia di Modena si chiude la sedimentazione delle Argille marine (Argille Azzurre) attraverso la suddetta superficie subaerea (linea B) per poi iniziare con contatto basale netto e discordante la sedimentazione dell'Sistema del T.Stirone.

4) Pleistocene inferiore – Pleistocene medio (da -1,6 a -0,8 Ma). Subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione e un ampliamento delle aree deposizionali sulla superficie di erosione formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Depositi fluvio-deltizi, marino-marginali e di piattaforma, di provenienza appenninica ed alpina, danno origine Sintema del T. Stirone e al Sintema di Costamezzana (Quaternario marino 1-2). La superficie erosiva di separazione (contatto netto e discordante) tra il Sintema del T. Stirone e il Sintema di Costamezzana è contrassegnata da una ridotta fase sintettonica risalente a circa 1,2 Ma fa. L'alternanza di facies fini e grossolane all'interno dei due Sintemi rappresentano probabilmente fasi di avanzamento e ritiro dei sistemi deposizionali, in risposta alle oscillazioni climatico eustatiche, sviluppate alla scala 20-40Ka. In alcune zone centrali e marginali continua la sedimentazione delle Argille marine. La dorsale ferrarese rimane emersa e verrà sepolta solo dai depositi alluvionali continentali. Nel piemontese e nelle zone prealpine in questo periodo si è già passati alla sedimentazione continentale, con depositi fluvio lacustri sabbiosi e conoidi ghiaiose (Diluvium antico o Villafranchiano).

5) Pleistocene medio (da -0,9 a -0,8 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale che provoca la più importante regressione forzata del margine padano. La Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB3 Fig. 8) prograda rapidamente fin sul fronte dell'allineamento strutturale noto come "Dorsale Ferrarese", lasciando alle spalle un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Fig. 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (linea C in Figg. 4 e 7).

6) Pleistocene medio (da -0,80 a -0,45 Ma, Fig. 10). Forte subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione sedimentaria e la contemporanea trasgressione della superficie di erosione formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Inizialmente le aree che erano in condizione emersa sono di nuovo invase dalla trasgressione marina. Se al rapido innalzamento relativo del livello del mare si unisce la riduzione di apporto di materiale grossolano (ghiaia e sabbia) da parte dei fiumi, si ha come risultato la deposizione di sedimenti fini (argilla) su gran parte del bacino. La riduzione di apporto di materiale grossolano da parte dei fiumi è legata al fattore climatico: precipitazioni ridotte, tipiche di un interglaciale, cui si somma un aumento della vegetazione che riduce l'erosione dei versanti, determinano una ridotta energia da parte dei fiumi e un ridotto apporto di materiale grossolano in bacino. A questa serie di fattori occorre aggiungere anche l'arretramento dei punti di sbocco dei sistemi fluvio-deltizi causato dalla trasgressione. Successivamente alla fase di trasgressione i delta-conoidi alpini a Nord e quelli appenninici a Sud si uniscono con il sistema fluvio-deltizio centro padano, portando al riempimento definitivo del bacino marino. Verso la fine di questo periodo si verifica un evento minore di sollevamento delle strutture compressive appenniniche (in particolare ETF); esso è registrato in

affioramento da una superficie di discontinuità erosiva, che, solitamente, separa i depositi di piana alluvionale e conoide distale, citati in precedenza, dai depositi di conoide prossimale sovrastanti (Linea D in Figg. 4 e 7). Tale superficie, tracciata in sismica, risulta particolarmente evidente in corrispondenza dei principali fronti strutturali sepolti.



Fig. 8 – Fasi di migrazione della Transizione Scarpata Sottomarina – Piana Bacinale dal Pliocene medio al Pleistocene medio. In rosso l'area di interesse. (G. Di Dio 1998). In rosso l'ubicazione del sito

7) Pleistocene medio - attuale (da -0,45 all'attuale). Prosegue la forte subsidenza bacinale e la quiescenza tettonica relativa dello stadio evolutivo precedente. Nell'intervallo tra circa 200.000 e circa 100.000 anni fa, l'ampliamento delle aree deposizionali raggiunge la massima espansione sulle superfici di erosione del Margine. Il Margine Sudalpino del bacino è caratterizzato dalla presenza di depositi fluviali grossolani con intercalati paleosuoli con differenti tipi di alterazione. La sedimentazione nettamente continentale è influenzata da frequenti variazioni climatiche che portano poderosi apparati glaciali fino ad affacciarsi in pianura. La ridistribuzione dei depositi glaciali nelle valli fluviali porta all'accumulo di livelli fino a decametrici di ghiaie. L'alternanza con climi più miti è registrata dalla frequente presenza di paleosuoli intercalati. Depositi di conoide alluvionale, appartenenti a questa fase, affiorano in modo continuo lungo tutto il Margine Appenninico (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore) ed alpino (Litozona Ghiaioso-sabbiosa superiore); depositi di piana alluvionale, deltizi e costieri, coevi dei precedenti, aggradano nelle aree di pianura attuali. Successivamente, in corrispondenza delle strutture del Margine, si verificano sollevamenti tettonici

minori con spostamenti significativi verso valle delle cerniere strutturali che causano la fine della trasgressione e l'inizio del terrazzamento alluvionale.

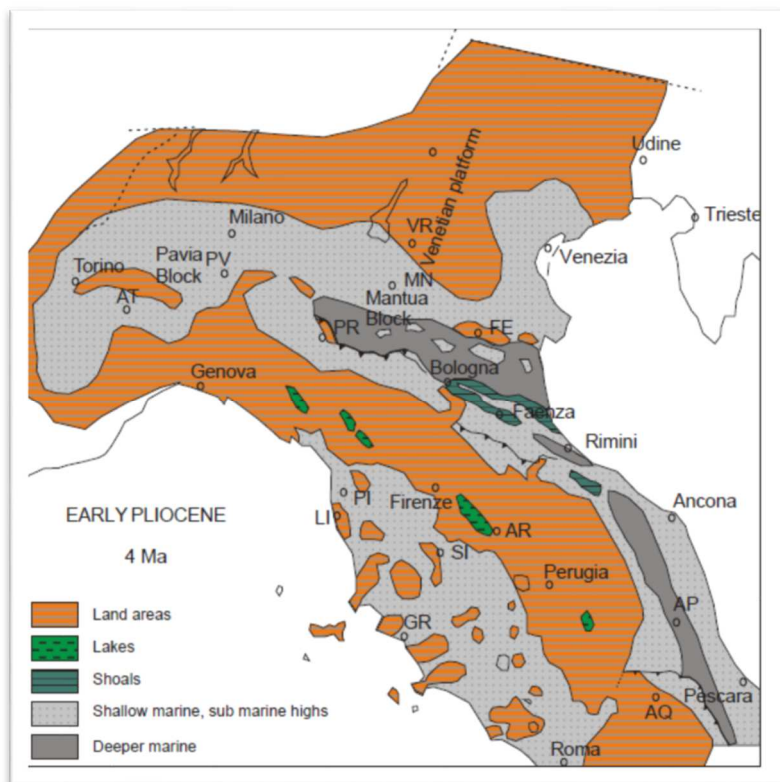


Fig. 9 – Ricostruzione paleogeografica al Pliocene Inferiore

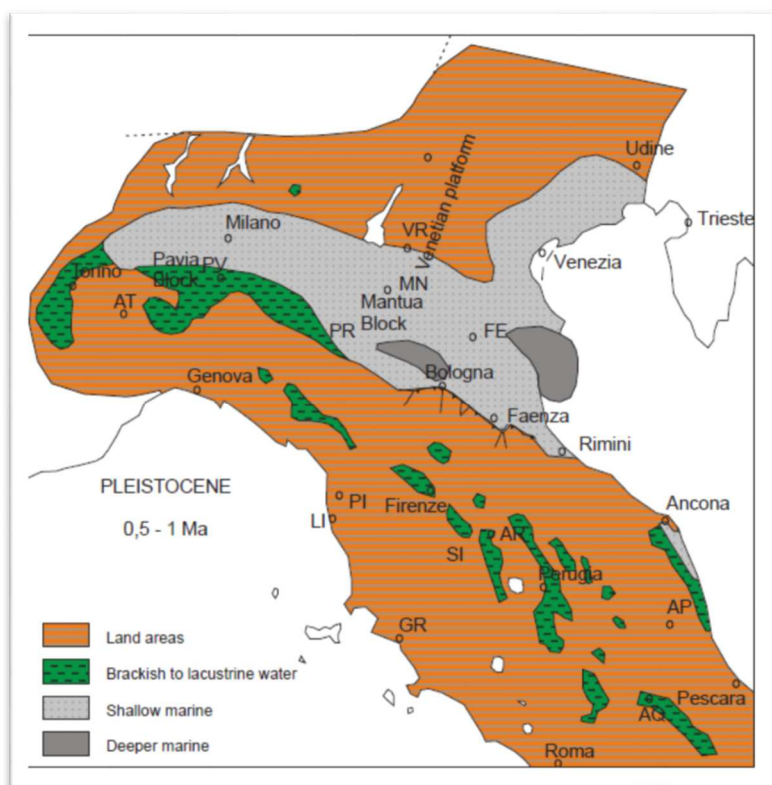


Fig. 10 – Ricostruzione paleogeografica al Pleistocene (0,5-1 Ma)

2.2.2 Assetto geologico dell'area di studio

Come già enunciato nei paragrafi precedenti i terreni che costituiscono il suolo e il sottosuolo del territorio comunale di Concordia appartengono ad una potente successione terrigena del Quaternario, suddivisibile, in senso stratigrafico, in un'unità inferiore d'ambiente marino (Supersistema Quaternario Marino) e in un'unità superiore (affiorante) d'ambiente continentale (Supersistema Emiliano-Romagnolo).

In riferimento a quanto desunto dai tecnici del Servizio cartografico e geologico della Regione Emilia Romagna, i sedimenti di origine marina si sono depositi a partire dall'inizio del Pleistocene inferiore (Santerniano 1,6 MA BP) fino a circa 800.000 (inizio del Pleistocene medio).

Nel suo complesso il Supersistema Quaternario Marino corrisponde ad una fase di rapida progradazione da Ovest verso Est dei sistemi deposizionali padani (sistemi di scarpata, di piattaforma, transizionali e quindi continentali in Fig. 11), progradazione che determina il rapido colmamento dei bacini profondi a sedimentazione torbidity ancora presenti nella parte orientale e Nordorientale dell'Emilia Romagna.

La generale evoluzione regressiva del gruppo è interrotta, con la deposizione di argille grigie marine di piattaforma, da almeno un'importante fase di rapida trasgressione.

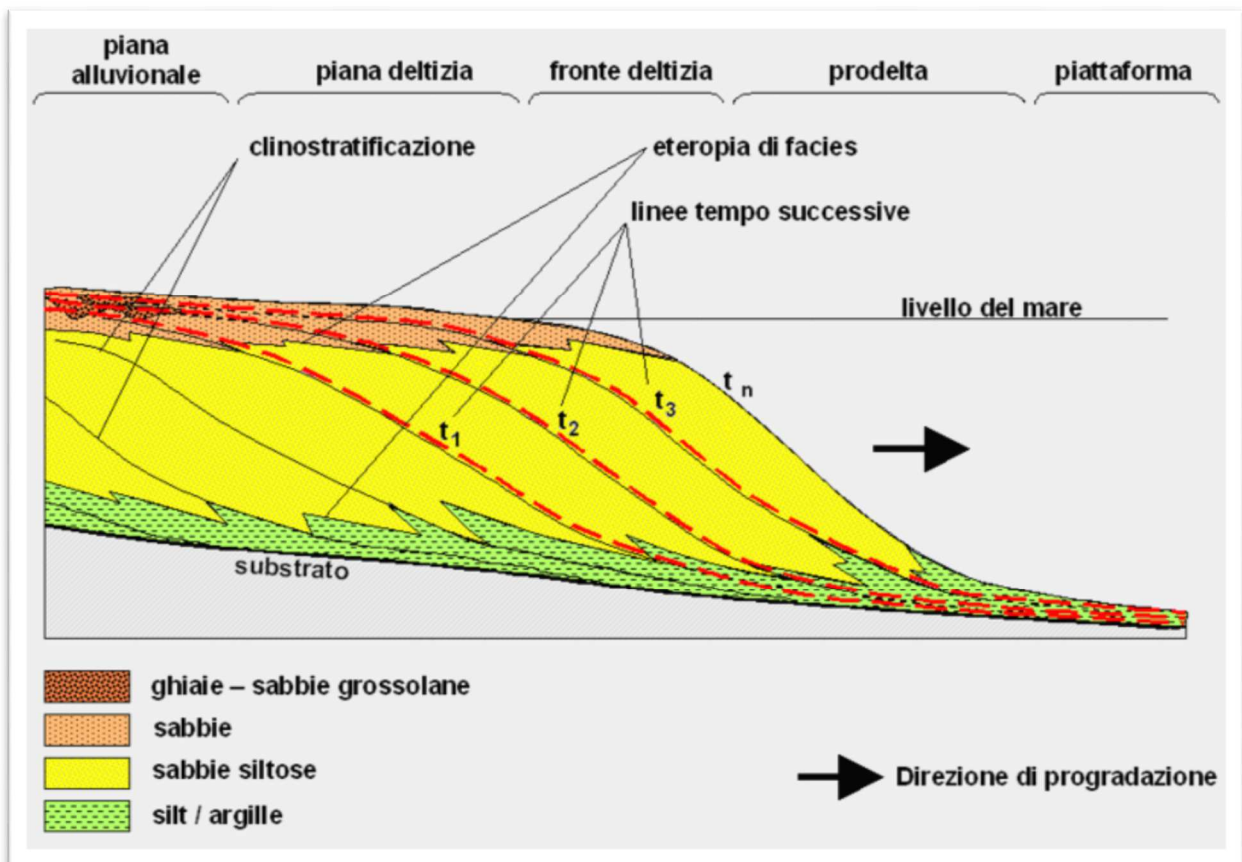


Fig. 11 – Sistema deltizio progradante

Di seguito viene fornita una rapida descrizione del Supersistema Quaternario Marino, mentre verrà trattato con maggior dettaglio il Supersistema Emiliano Romagnolo che, essendo affiorante, comprende i terreni investigati nel presente lavoro.

Supersistema Quaternario marino

La successione del supersistema Quaternario Marino è inquadrabile in un contesto geodinamico compressivo, caratterizzato da un bacino sedimentario tettonicamente attivo, sui margini del quale si sviluppano sistemi deposizionali fluvio-deltizi (Fig. 11) dominati sia dal moto ondoso sia dai processi di piena fluviale (Mutti *et alii*, 1996).

La base del supersistema Quaternario Marino è definita da una marcata superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione che testimonia un evento tettonico regionale di sollevamento e basculamento del margine meridionale del Bacino Padano. Tale evento provoca un'importante regressione forzata in tutta l'area emiliana (Di Dio *et alii*, 1997a, b) e una notevole migrazione verso NE del margine appenninico.

Immediatamente al di sopra della superficie basale, in numerosi pozzi AGIP esaminati e in diverse località in affioramento, si rinviene un livello guida ricco in bioclasti noto nell'ambito della ricerca petrolifera e in letteratura con il nome di "calcarenite o crostone fossilifero". Esso è interpretabile come deposito di spiaggia residuale che registra la rapida trasgressione della linea di costa avvenuta durante la fase di subsidenza tettonica immediatamente successiva al sollevamento regionale. Al di sopra della superficie di inconformità basale e del "crostone fossilifero" si sviluppa una successione sedimentaria aggradante, costituita inferiormente (ATSa) da depositi prevalentemente fini, di piattaforma, fronte deltizio e prodelta e superiormente (ATSb, CMZ) da depositi marino-marginali e fluvio-deltizi organizzati secondo alternanze cicliche di facies fini e grossolane. Questi cicli fine-grossolano (Sequenze Deposizionali Elementari Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) rappresentano probabilmente fasi di avanzamento (attivazione) e ritiro (disattivazione) dei sistemi deposizionali in risposta alle oscillazioni climatico-eustatiche, sviluppate alla scala dei 20-40 ka.

Le unità che compongono questo supersistema nell'area sono comprese fra il Pliocene Superiore e il Pleistocene Inferiore. A scala regionale l'unità si estende al Pleistocene Medio (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Supersistema Emiliano Romagnolo

Il supersistema Emiliano-Romagnolo, definito da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi *et alii*, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Il limite inferiore del supersistema Emiliano-Romagnolo affiora solamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi dove è fortemente discordante sui depositi marini del Pleistocene Medio e mio-pliocenici.

Questa discordanza angolare si realizza anche nel sottosuolo in prossimità del margine appenninico ed è espressa dal contatto netto fra i depositi fluvio-deltizi alla base del supersintema e i depositi sabbioso-ghiaiosi litorali e di delta-conoide riferiti al tetto del Supersintema del Quaternario marino. Il limite superiore coincide col piano topografico.

L'età è compresa tra il Pleistocene Medio - Olocene (~ 650.000 anni BP – Attuale; Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Questa unità comprende due sintemi distinti (sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES) che sono stati riconosciuti e tracciati anche nelle porzioni di sottosuolo (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998; Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000: Foglio 199 Parma Sud e Foglio 200 Reggio Emilia).

Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI)

Si tratta di un'unità deposta in ambienti sedimentari di piana alluvionale, bacino interfluviale e conoide distale. È costituita da depositi prevalentemente limosi e limoso argillosi, di colore tipicamente grigio azzurrognolo, nei quali si intercalano livelli ghiaiosi che, in corrispondenza dei paleo-apparati fluviali principali, possono diventare localmente preponderanti. Le litofacies fini si ritrovano solitamente in banchi, spessi alcuni metri, massivi o con stratificazione piano parallela debolmente espressa, intervallati da strati decimetrici più argillosi e di colore scuro. Sono frequenti i livelli ricchi in sostanza organica (prevalentemente resti vegetali) e con presenza di malacofaune di ambiente continentale.

Il contatto di base con i depositi del supersintema Quaternario Marino è netto o erosivo e discordante. In corrispondenza della zona di alto strutturale AEI è quasi sempre completamente erosa, mentre a nord si "riapre" arrivando a raggiungere, gli spessori massimi. Età: Pleistocene Medio. L'unità si è deposta nell'intervallo compreso fra circa 650.000 e 350-450.000 anni B.P. (Regione Emilia Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)

Questa unità costituisce la porzione superiore del supersintema Emiliano-Romagnolo.

Si tratta di un'unità alluvionale, terrazzata, costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati), passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide. Sedimenti grossolani e fini sono presenti nella alta pianura, mentre depositi prevalentemente fini si osservano nella media pianura. Il limite inferiore è inconforme nelle porzioni affioranti e nell'alta pianura (dubitativamente inconforme nelle porzioni sepolte della media pianura). Il sintema Emiliano-Romagnolo Superiore risulta suddivisibile in quattro subsintemi, affioranti a quote progressivamente decrescenti lungo il margine appenninico; in ordine crescente di età:

- subsintema di Ravenna, AES8
- subsintema di Villa Verucchio, AES7

- subsintema di Agazzano, AES3
- subsintema di Maiatico, AES2

La sedimentazione del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore prende inizio al termine di un evento minore, ancorché regionale, di sollevamento delle strutture compressive appenniniche, registrato in affioramento da una superficie di discontinuità erosiva. Tale superficie, riconoscibile anche nei profili sismici, risulta particolarmente evidente in corrispondenza dei principali fronti strutturali sepolti (Di Dio *et alii*, 1997a, b).

Nel sottosuolo della pianura AES è costituito dalla sovrapposizione di cicli deposizionali di diverso ordine gerarchico. I cicli riconoscibili con maggior chiarezza hanno uno spessore di varie decine di metri e risultano generalmente organizzati verticalmente in sequenze *coarsening-upward* (CU) e in sequenze *fining-upward/coarsening upward* (FU/CU), entrambe caratterizzate da un'evoluzione di tipo trasgressivo-regressivo (T-R).

La porzione trasgressiva basale di ciascun ciclo è spesso caratterizzata dalla presenza di argille organiche di piana alluvionale, palude e piana costiera. Queste poggiano con un contatto generalmente netto sui depositi sabbiosi fluviali e deltizi del ciclo sottostante. Il limite inferiore di ognuno di questi cicli rappresenta una superficie di disattivazione della sedimentazione grossolana ed è riconoscibile nel sottosuolo come un forte contrasto di facies.

La porzione regressiva di ciascun ciclo consiste di depositi di piana alluvionale costituiti da sedimenti fini di tracimazione fluviale in cui le sabbie di canale fluviale sono subordinate e presenti solo come corpi lenticolari isolati. Al tetto del ciclo le sabbie di canale fluviale si fanno più abbondanti fino a formare corpi compositi e lateralmente estesi in tutto il sottosuolo del Foglio.

Sulla base dei caratteri trasgressivo-regressivi dei cicli deposizionali riconosciuti nel sottosuolo, della loro durata temporale e della loro estensione a scala regionale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) essi sono considerati il prodotto della ciclicità climatico-eustatica di quarto ordine. Nei settori intravallivi e pedecollinari di varie zone dell'Emilia-Romagna AES è suddiviso in subsintemi (AES2-8), ognuno dei quali è costituito da depositi alluvionali di un singolo terrazzo o di un gruppo di terrazzi, separati da quelli immediatamente sopra e sottostanti da scarpate di erosione particolarmente ampie, che delimitano depositi geometricamente discordanti tra loro. La superficie sommitale affiorante dei diversi subsintemi è caratterizzata da uno specifico grado di alterazione dei suoli.

Sulla base della prosecuzione fisica e/o geometrica dei corpi ghiaiosi di terrazzo e di conoide alluvionale, i 3 subsintemi più recenti (AES3, AES7, AES8) sono stati correlati con i 3 cicli deposizionali più superficiali riconosciuti all'interno di AES nel sottosuolo della pianura. Questi tre cicli sono quelli meglio definiti a scala regionale dato il numero relativamente alto di pozzi che li attraversano, compresi diversi carotaggi appositamente eseguiti per la cartografia geologica.

Nei depositi sepolti di AES al di sotto dei primi 3 cicli/subsintemi sono presenti altri 2 cicli deposizionali che tuttavia, diversamente da quelli già illustrati, sono conosciuti in modo più

approssimativo dato il numero esiguo di informazioni geognostiche disponibili e pertanto sono stati attribuiti ad AES indifferenziato. Nella pianura modenese lo spessore di AES varia da circa 300 m nei pressi di Nonantola (“Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia”) fino a circa 70-50 m presso Mirandola, in corrispondenza della culminazione strutturale delle pieghe ferraresi. L’Età è Pleistocene Medio - Olocene (per posizione stratigrafica). In Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), la base dell’unità è datata a circa 450-350 mila anni.

Assetto geomorfologico e litologia di superficie

I depositi che contraddistinguono il paesaggio del territorio comunale di Concordia appartengono al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, ed in particolare al Subsintema di Ravenna. Entrambi sono stati depositi dai fiumi e dai torrenti che, a partire dal Pleistocene Medio solcavano la Pianura Padana. Tale unità è caratterizzata da due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, originata dal Fiume Po; la seconda, trasversale, nord/est-vergente, originata dai sistemi di alimentazione appenninica.

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

1. pianura alluvionale ad alimentazione appenninica;
2. pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleoPo).

I suddetti sistemi deposizionali, in profondità si presentano interdigitati tra loro in relazione al tasso di apporto sedimentario, alle oscillazioni eustatiche del livello marino e alle fasi di attività e stasi tettonica, che nel corso del riempimento del bacino padano hanno determinato la continua variazione del depocentro bacinale.

Sistema deposizionale della Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica

In generale il modello di pianura alluvionale caratteristico di tutta la media e bassa pianura emiliano-romagnola interessata da fiumi e torrenti appenninici è abbastanza semplice: prima dei massicci interventi di regimazione idraulica che hanno portato alla costruzione degli argini artificiali, la dinamica della zona era caratterizzata da frequenti modifiche e divagazioni degli alvei fluviali, dovute alle ricorrenti rotte e tracimazioni dei corsi d’acqua, che scorrevano pensili rispetto alla piana circostante in alvei formati dalla naturale azione di deposito degli stessi.

Nel caso di rotte e tracimazioni le acque inondavano i territori adiacenti l’alveo, depositando sedimenti più grossolani (es. sabbie e sabbie limose) nelle vicinanze dello stesso e sedimenti più fini al diminuire della capacità di trasporto. L’azione di deposito così descritta provocava un graduale accrescimento dell’area, con un innalzamento progressivo del canale rispetto alle zone circostanti, dove invece arrivavano acque di esondazione a carico solido già ridotto sia quantitativamente che granulometricamente. Inevitabilmente e per svariate cause il corso d’acqua poteva ad un certo punto

abbandonare il proprio alveo per un tracciato impostato in aree più depresse, per poi ricominciare l'innalzamento di un nuovo edificio pensile ecc..

Secondo questo modello, schematizzato in Fig. 12, l'accrezione della pianura avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente, a causa di continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione.

La pianura risulta dunque costituita da un intrecciarsi di lenti a tessitura prevalentemente sabbiosa, corrispondenti a corpi d'alveo sepolti, e da sedimenti fini (limi ed argille) determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

Il modello descritto è confermato, oltre che dalla distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, dall'assetto morfologico della pianura.

Lo spessore delle unità sedimentarie riconosciute sul territorio risulta molto variabile, essendo funzione della maturità delle forme, delle dimensioni del canale fluviale e di quelle del relativo bacino idrografico, caratteristiche che condizionano la dinamica idromorfologica del fiume e l'entità degli eventi alluvionali.

La Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica si estende in territorio emiliano e basso mantovano, lungo gli assi dei fiumi Secchia e Panaro, fino a qualche chilometro a sud dell'asse fluviale del Po.

Il sistema deposizionale è caratterizzato da depositi prevalentemente fini argillosi e/o limosi attraversati in senso meridiano da corpi nastriformi di ghiaie e sabbie (Fig. 12).

Il rapporto tra materiali grossolani e fini risulta generalmente inferiore all'unità.

Oltre i 16 - 20 metri di profondità dal piano campagna il limite settentrionale della Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica, si trova in posizione più meridionale rispetto al limite riscontrabile nello strato superficiale. In profondità si rinvencono, infatti, potenti bancate sabbiose, riferibili ad antichi paleoalvei del fiume Po, a testimonianza della migrazione del corso d'acqua medesimo verso nord. Il tratto di pianura, con la successione sedimentaria descritta, è definita anche "Pianura a crescita verticale" o "Pianura alluvionale".

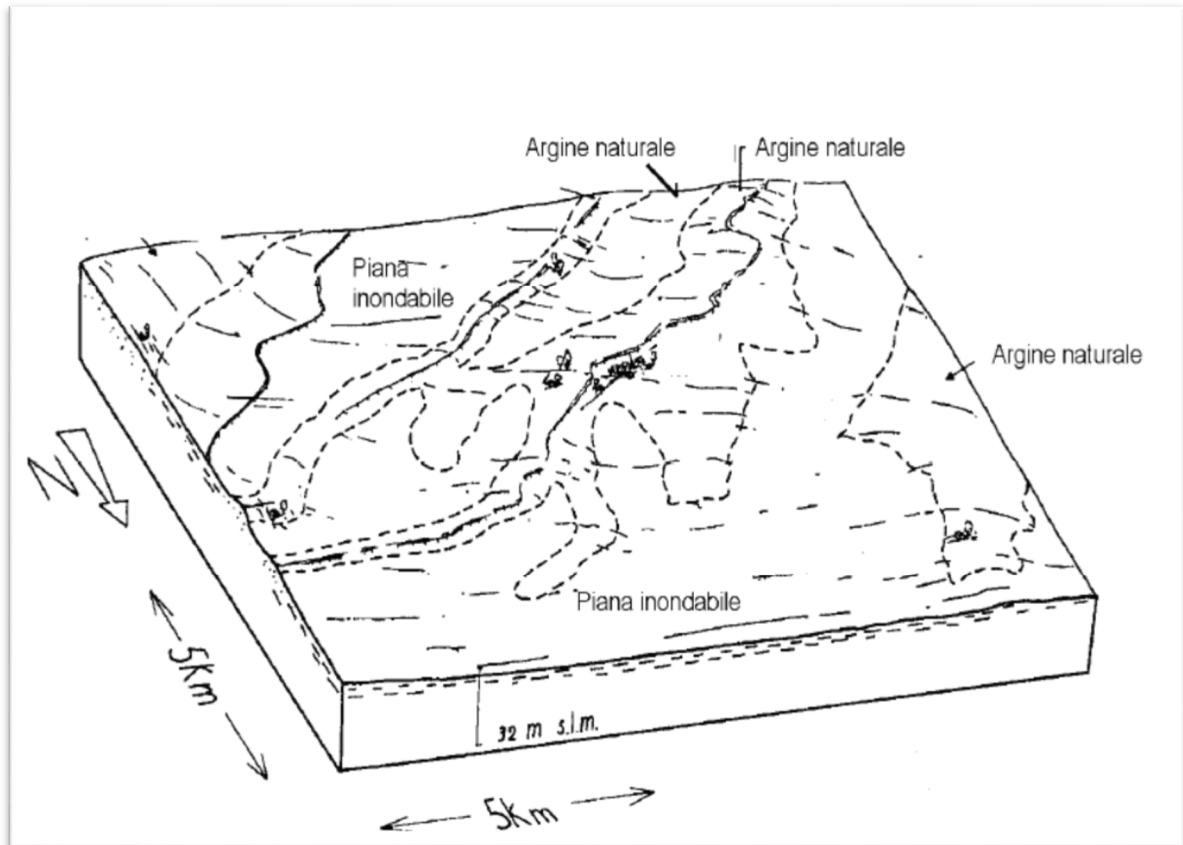


Fig. 12 – Conformazione del rilievo del sistema deposizionale della Piana alluvionale ad alimentazione appenninica (tratta da "I suoli dell'Emilia Romagna" 1994).

Depositi di argine naturale o dosso fluviale

I sedimenti di questa sottounità caratterizzano dossi debolmente rilevati che fiancheggiano canali fluviali con alveo tipicamente inciso e impostato a quota inferiore rispetto il piano campagna (Fig. 12).

Essi presentano generalmente una forma allungata secondo l'asse del corso d'acqua e sono caratterizzati da un profilo trasversale convesso con pendenza dell'ordine dello 0,2%. La successione stratigrafica è costituita da un'alternanza di sabbia fine e limo strutturati con argilla (Fig. 13). La frequenza dei livelli sabbiosi tende ad aumentare verso l'alto (sequenza negativa).

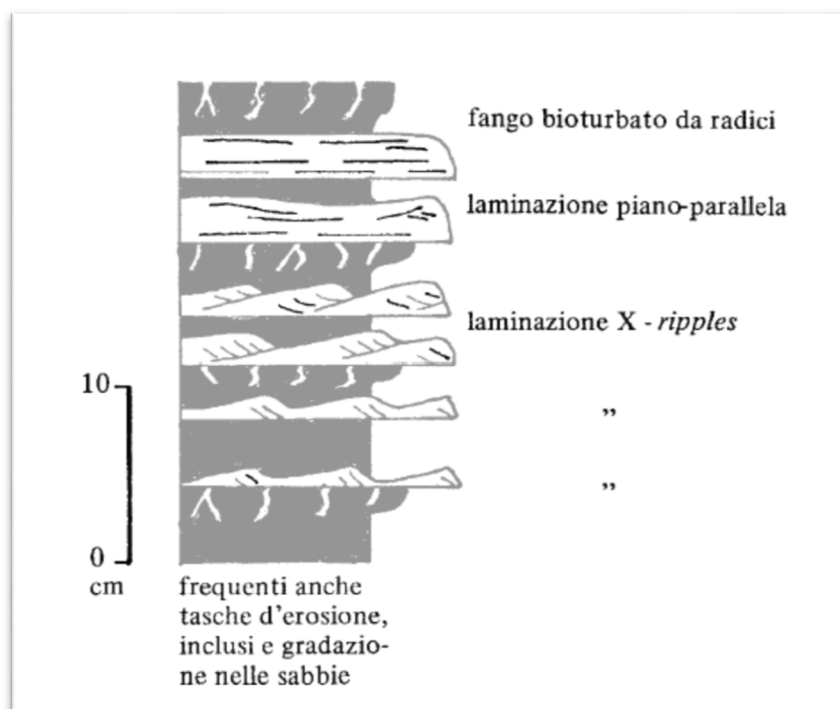


Fig. 13 – Tipica sequenza deposizionale di un deposito di argine naturale (in grigio i limi e le argille e in bianco le sabbie)

Depositi di piana inondabile

La piana inondabile, in senso paleogeografico, caratterizza la parte centrale delle zone perifluviali ed è delimitata dai sistemi di argine naturali paralleli ai corsi d'acqua; in passato rappresentava la zona di raccolta delle acque di piena tracimate dagli alvei incisi (Fig. 12).

La conformazione del rilievo è caratterizzata da lembi marginali di vaste depressioni con pendenze che variano tipicamente da 0,05 a 0,2%. Si tratta per lo più di superfici piane a profilo concavo con ondulazioni e modesti rilievi riferibili a depositi di argine del reticolo idrografico minore.

Tali superfici sono inoltre solcate da una fitta rete di canali artificiali per il deflusso delle acque di scorrimento superficiale. I corpi idrici, in alcuni casi sono impostati in corrispondenza di antichi drenaggi naturali, per il resto sono il frutto degli interventi di bonifica agraria operati dal medioevo fino ai nostri giorni.

I depositi di piana inondabili sono i materiali più fini del sistema di pianura alluvionale; predominano infatti limi e argille di decantazione con rare intercalazioni sabbiose in strati generalmente centimetrici.

Localmente si rinvencono anche livelli torbosi (Fig. 14).

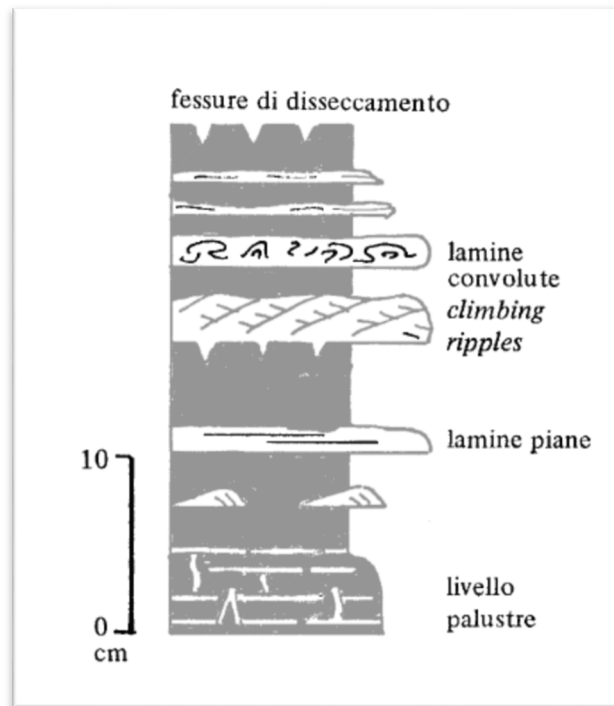


Fig. 14 – Tipica sequenza deposizionale di un deposito di piana inondabile (in grigio i limi e le argille e in bianco le sabbie)

Sistema deposizionale della Pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleoPo)

La Pianura alluvionale ad alimentazione assiale si estende dall'asse del Fiume Po per circa qualche chilometro in direzione sud, costituita dal sistema fluvio-deltizio del Fiume Po.

È sedimentata durante il Quaternario, in concomitanza della regressione verso est del Mare Adriatico e della progradazione verso il centro bacinale dei sistemi di conoide alluvionale dei tributari alpini ed appenninici.

Tale sistema fluvio-deltizio si sviluppa parallelamente al Fiume Po per una fascia di estensione di qualche chilometro interdigitato a vari livelli dagli strati sedimentati dai suoi affluenti. La successione stratigrafica è tipicamente caratterizzata da spesse bancate di sabbie prevalenti, interdigitate da corpi lentiformi di argille, limi e talora sabbie ghiaiose.

Il rapporto tra materiali grossolani (sabbie e ghiaie) e fini (limi ed argille) risulta alto. Il tratto di pianura con la successione sedimentaria descritta è comunemente definito "Piana di meandreggiamento del Fiume Po (Fig. 15).

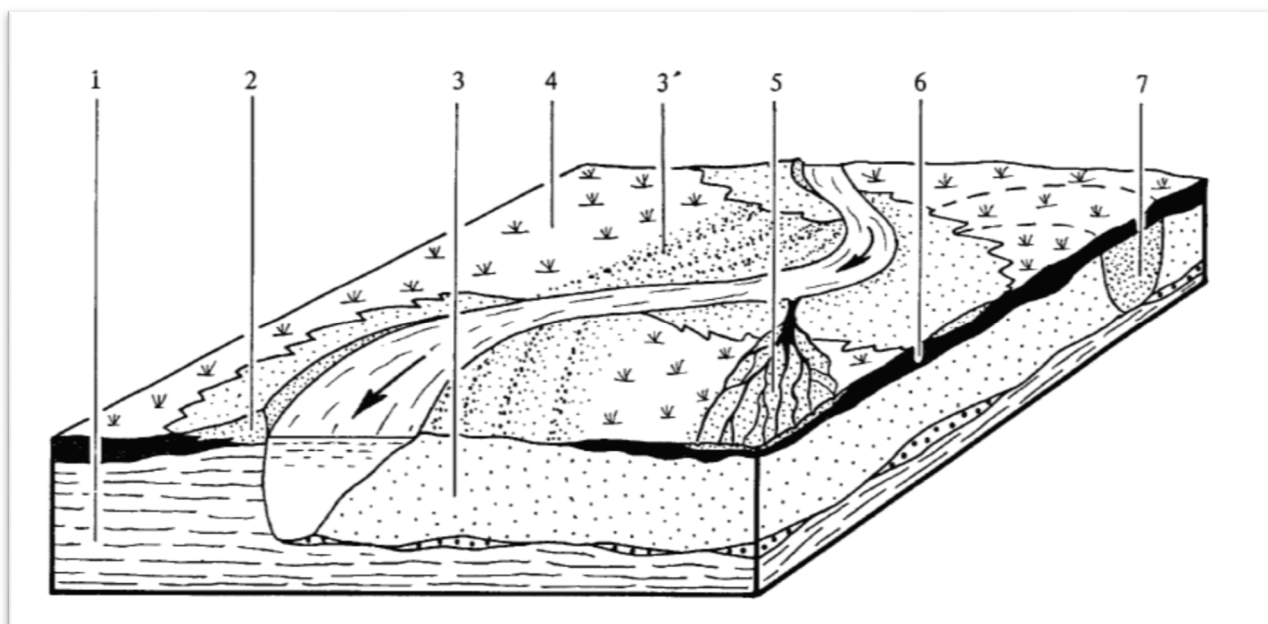


Fig. 15 – Block diagram della piana di meandreggiamento del Fiume Po ad alimentazione assiale: 1) alluvium più antico; 2) argine naturale; 3) barra di meandro; 4) piana inondabile; 5) lingua o ventaglio di rota; 6) pavimento residuale o fondo canale; 7) riempimento di canali morti.

La sovrapposizione e la giustapposizione nel tempo e nello spazio dei diversi ambienti deposizionali nel quaternario ha direttamente influenzato la morfologia della media e bassa pianura modenese. Nel territorio comunale sono presenti elementi morfologici direttamente osservabili in campagna, che seguono una direttrice prevalente N-S e O-E (Fig. 16). La bassa pianura, che occupa circa il 20% del territorio provinciale, è caratterizzata dalla presenza di strisce rilevate, dette “dossi”, corrispondenti ad alvei antichi od attuali pensili sulla pianura circostante e da zone depresse, dette “valli”, all’interno delle quali l’acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica. I dossi e i paleodossi sono di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevanti e dolcemente raccordanti alle superfici adiacenti.

Elemento di rilievo è rappresentato dal paleoalveo, risalente al XII-XII sec. che, proprio da Concordia, si stacca in direzione O-E verso Fossa, Nosedella e Quarantoli, testimonianza dell’azione di controllo del Fiume Po che scorreva molto più a sud rispetto all’attuale.

Dal punto di vista topografico l’area comunale presenta una morfologia insospettabilmente varia se si tiene conto che si colloca nella bassa pianura; le quote variano all’interno del territorio tra i 20.0 – 20.5 m s.l.m. in corrispondenza del centro abitato, ai 10.0-11.0 m s.l.m. della zona nordorientale (loc. “Co’ dei Belli - Malavicina), con graduale decremento spostandosi da est verso ovest.

La distribuzione dei paleoalvei e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l’assetto idraulico di superficie che la

distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (paleoalvei), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni; al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

Le conche morfologiche rappresentano ancora le aree di maggior rischio idraulico, non solo in caso di esondazione ma anche nel caso di eventi pluviometrici di eccezionale durata e/o intensità, che possono mettere in crisi la rete scolante o produrre ristagni di acqua, favoriti anche dalla scarsa permeabilità della litologia di superficie.

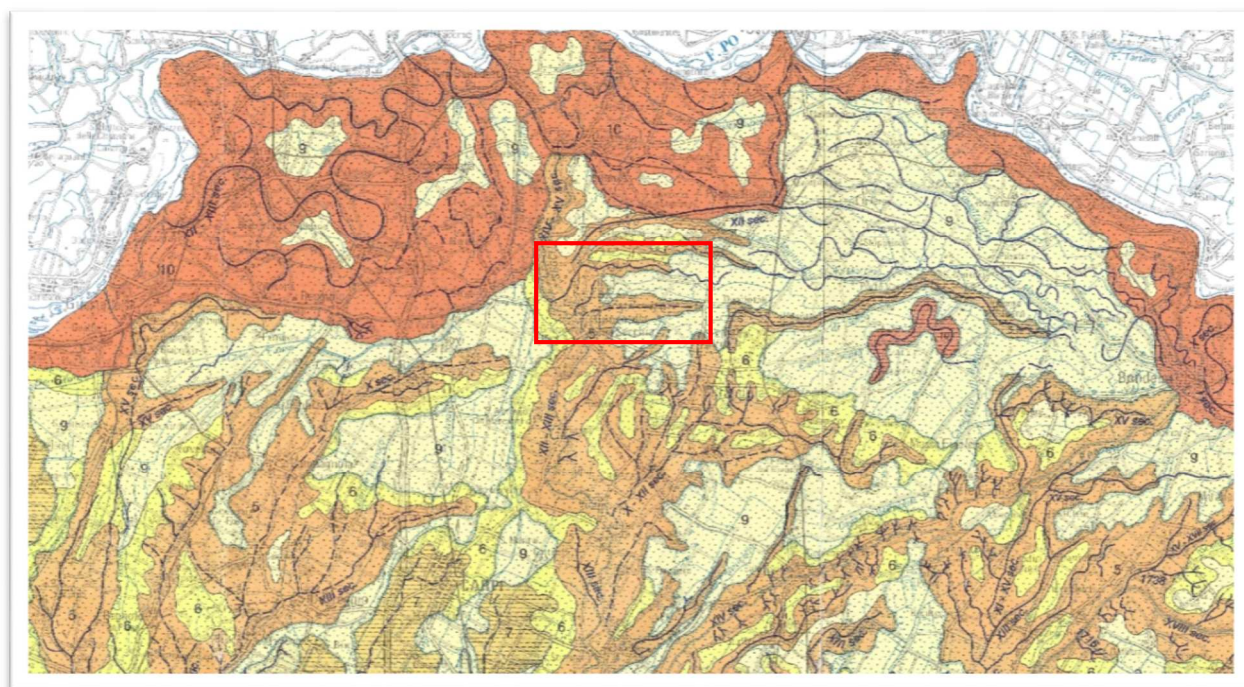
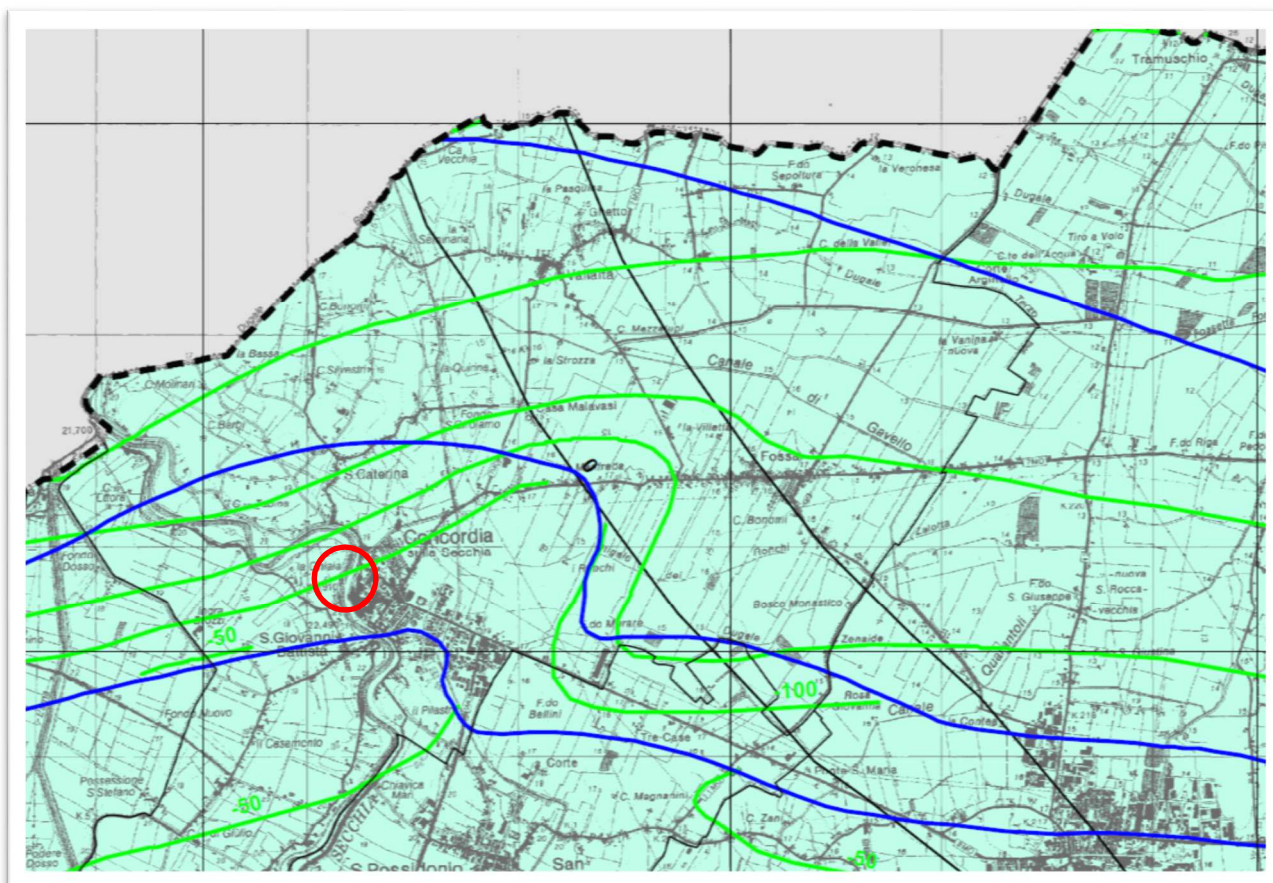


Fig. 16 – Principali elementi geomorfologici: particolare della Carta geologica di Pianura Dell’Emilia Romagna in scala 1:250000 (Legenda: 10 piana a meandri del Po; 9 piana inondabile; 6 argine distale; 5 dossi e canali)

I centri abitati storici, come Concordia, sorgono su dossi fluviali più rilevati rispetto alla pianura circostante. L’occupazione storica di queste aree più rilevate è legata alla maggior sicurezza e salubrità rispetto alle aree depresse di piana inondabile che, prima dell’intensa opera di bonifica degli ultimi due secoli, erano occupate da aree paludose con acque stagnanti. I dossi fluviali come appena visto sono forme legate all’attività fluviale e testimoniano la presenza di antichi canali e argini naturali; il loro rilievo è dovuto alla minore compattazione che i sedimenti sabbioso-limosi subiscono rispetto a quelli limo-argillosi delle aree depresse circostanti. La Fig. 16, estratta dalla cartografia di superficie della regione Emilia Romagna, riporta per la zona in esame, la presenza di depositi di piana inondabile. In Fig. 17 si riporta uno stralcio della carta dei depositi superficiali della pianura

modenese; in cui, per l'area di interesse, si riporta la prevalenza di depositi sabbiosi e limo-sabbiosi. Le litologie riscontrate durante l'esecuzione della prova penetrometrica (capitolo seguente), hanno permesso di approfondire la conoscenza stratigrafica dell'area. Al di sotto di uno primo gruppo di livelli a composizione prevalentemente argillo-limosa con spessore di circa 19-20 m da p.c. sono presenti, fino alla profondità di fine prova (21 m da p.c.), dei livelli prevalentemente sabbiosi con sporadiche intercalazioni limose, connesse con la deposizione dei depositi del Fiume Po.



	ghiaie affioranti
	ghiaie
	successioni alluvionali prevalentemente fini (argille e limi)
	sabbie
	isobate della superficie superiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
	isobate della base del ciclo alluvionale superiore / tetto del ciclo alluvionale inferiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
	isobate della base dei depositi alluvionali / tetto substrato marino (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)

Fig. 17 – Litologia di superficie: Stralcio della Tavola 3.01 “Carta dei depositi che influenzano il moto sismico di superficie” del PTCP di Modena

2.2.3 Assetto idrogeologico

L'area in esame si colloca in un settore della bassa pianura modenese caratterizzata dalla presenza nel sottosuolo di depositi alluvionali sabbiosi del fiume Po ricoperti da depositi più fini attribuibili al Secchia.

Le alluvioni sabbiose del fiume Po sono sature e ospitano falde idriche assai produttive. Si tratta di falde confinate e semiconfinite, Più in superficie possono essere riconosciute falde freatiche insediate negli orizzonti permeabili e il cui livello risulta condizionato in modo particolare dall'altezza idrometrica del fiume Secchia. Nella zona possono essere anche riconosciute locali falde sospese con caratteristiche effimere ed irregolari in relazione alla variabilità stagionale, a ricarica verticale per infiltrazioni superficiali, poste all'interno di livelli più permeabili.

Le falde superficiali risultano spesso in continuità con le falde più profonde, portando i livelli piezometrici a livelli prossimi al piano campagna, soprattutto in relazione ai livelli del fiume Secchia.

3. INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica, in considerazione dell'importanza dell'opera e dalla conoscenza delle caratteristiche geologiche dell'area, è stata condotta mediante l'esecuzione di un'indagine diretta costituita da n. 1 prova penetrometrica con piezocono sismico e di un'indagine indiretta cioè di n. 1 prova MASW.

Le indagini sono state eseguite obbligatoriamente nel cortile retrostante l'edificio oggetto del progetto di ristrutturazione dell'area di interesse, come risulta dall'ubicazione riportata in Tavola 2.

3.1 Indagine diretta

L'indagine diretta è consistita nell'esecuzione di n. 1 prove penetrometriche statica con piezocono sismico spinta fino ad una profondità di circa -21 m da p.c. Al termine della prova, nel foro di investigazione, è stato misurato il livello piezometrico. Le risultanze della prova penetrometrica e le relative elaborazioni sono riportate in Allegato A.

3.2 Indagini indirette

L'acquisizione dei dati è stata eseguita in modalità MASW tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (P.A.S.I. Mod.16SG24) collegato a 24 geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 34.5 metri con spaziatura tra i geofoni di 1.5 metri e tempo di acquisizione pari a 1 secondo. I risultati dell'indagine geofisica sono riportati in Allegato B.

3.3 Caratteristiche litostratimetriche dei terreni investigati

I terreni investigati risultano costituiti da depositi fini prevalentemente argillo-limosi e limo-argillosi, sovrastanti depositi sabbiosi; questo assetto stratigrafico è caratteristico delle aree di dosso naturale della bassa pianura alluvionale emiliana nelle quali la sedimentazione è inizialmente legata all'attività del F. Po e successivamente dai corsi d'acqua appenninici.

Dall'analisi e dall'interpretazione dei risultati delle indagini effettuate è stato possibile ricostruire il modello litostratimetrico dei terreni investigati attraverso la suddivisione del sottosuolo investigato in livelli lito-geomeccanici aventi caratteristiche omogenee.

Il rapporto tra la resistenza di punta Q_c e quella laterale f_s nonché la valutazione delle pressione dei pori ha permesso il riconoscimento litostratigrafico dei diversi livelli litologici (vedere per dettagli Allegato A).

La prova penetrometrica ha permesso, pertanto, di individuare, entro la massima profondità indagata, i seguenti principali livelli litostratigrafici:

Livello	Profondità		Litologia prevalente	Comportamento
	da (m)	a (m)		
A	0,00	1.5	Sabbia limosa	incoerente
B	1.5	2.5	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
C	2.5	9.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
D	9.0	16.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
E	16.0	19.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
F	19.0	20.5	Sabbia limosa e sabbia	incoerente
G	20.5	21.0 (f.f.)	Sabbia – sabbia e ghiaia	incoerente

Livello A (da 0,0 a 1,5 m da p.c.):

Terreno a tessitura da sabbiosa a sabbioso limosa; il materiale presenta un'elevata sovraconsolidazione, dovuta a ripetuti cicli imbibizione essiccamento e testimoniata da alti valori della resistenza alla punta ($1\text{Mpa} < Q_c < 5\text{ Mpa}$) con media pari a 2.9 MPa e dev. standard di 0.98.

Livello B (da 1,5 a 2,5 m da p.c.):

Terreno coesivo prevalentemente argillo-limoso sovraconsolidato con valori di resistenza alla punta Q_c compresi tra 0.84 e 2.39 Mpa con media pari a 1.33 MPa e dev. standard di 0.30, mentre la resistenza d'attrito f_s varia da un minimo di 43.4 ad una massimo di 121.2 KPa, con media di 83 KPa e dev. standard di 20.08.

Livello C (da 2.5 a 9.0 m da p.c.):

si tratta di un livello a comportamento coesivo costituito da argilla limosa e limo-argilloso da normalconsolidato e leggermente consolidato. I valori di resistenza di punta Q_c si distribuiscono intorno ad una valore medio di 0.77 MPa e dev. standard di 0.25, mentre i valori di resistenza d'attrito f_s presentano una media di 25.64 KPa con dev, standard di 9.73. Sono presenti intercalazioni di sabbia e sabbia limosa come quella presente tra le profondità di 6.50 e 7.50 m da p.c.

Livello D (da 9.0 a 16.0 m da p.c.):

il livello risulta costituito da argilla limosa e limo argilloso caratterizzate da un aumento progressivo delle resistenze penetrometriche. La resistenza di punta Q_c varia da un minimo di 0.72 MPa ad un massimo 2.19 MPa con un valore medio di 1.22 MPa e dev. standard pari a 0.25 mentre la resistenza d'attrito f_s si distribuisce intorno ad un valore medio di 56.70 con dev. standard pari a 24.11. Sono presenti livelletti di argilla organica di spessore massimo di circa 10 cm.

Livello E (da 16.0 a 19.0 m da p.c.):

si tratta di un livello costituito prevalentemente di argilla limosa e argilla limosa caratterizzato da un aumento delle resistenze alla penetrazione; la resistenza di punta si distribuisce intorno ad un valore medio di 2.31 MPa con dev. standard di 0.54, mentre i valori di resistenza di attrito presentano una media pari a 141.19 KPa e dev. standard pari a 45.0.

Livello F (da 19.0 a 20.5 m da p.c.):

è un livello a comportamento incoerente costituito da sabbia limosa e sabbia con intercalazione limo-argillose caratterizzato da valori di resistenza di punta Q_c che variano mediamente da 2.82 a 7.18 MPa con media pari a 5.32 ± 1.05 Mpa e da valori di resistenza d'attrito che si distribuiscono intorno ad un valore medio di 77.75 KPa con dev. standard pari a 12.62.

Livello G (da 20.5 a 21.0 m da p.c.):

corrisponde ad un livello ghiaioso-sabbioso addensato che determina il rifiuto strumentale. La resistenza di punta presenta varia da valore massimo di 35.4 MPa ad un valore minimo di 27.9 MPa, una media di 27.9 con dev. standard di 5.31, mentre la resistenza d'attrito varia da 146.5 a 56.2 KPa con valore medio di 109.7 KPa.

3.4 Caratteristiche geomeccaniche

Dall'elaborazione dei risultati della prova penetrometrica eseguita è stato anche possibile ricostruire il seguente modello geomeccanico assegnando ai livelli litostratigrafici suddetti alcuni dei principali parametri geotecnici di massima, stimati in base a correlazioni note in letteratura geotecnica nonché in analogia a terreni consimili, quali:

- Peso naturale dell'unità di volume del terreno γ ;
- coesione non drenata c_u e modulo di edometrico;
- coesione c' ;

- angolo di attrito interno ϕ' .

Schematicamente si può riassumere:

Livello	Profondità		γ (kN/m ³)	S_u (Kpa)	ϕ' (°)	OCR	M (Mpa)
	da (m)	a (m)					
A	0,00	1,5	16.5-17.5	0.0	38.0-39.0	-	25.0 - 30.0
B	1,5	2,5	18.0-18.5	35.0-40.0	0.0	6 - 8	20.0 - 25.0
C	2,5	9.0	17.0-17.5	20.0-25.0	0.0	1.6 - 2.2	1.5 - 2.5
D	9.0	16.0	18.0-18.5	35.0-45.0	0.0	1.5 – 2.2	2.5 - 3.0
E	16.0	19.0	19.0-19.5	85.5-94.0	0.0	2.5 – 3.0	4.5 - 5.5
F	19.0	20.5	18.5-19.5	0.0	30.0-35.0	-	20.0- 25.0
G	20.5	21.0	19.0-20.0	0.0	40.0-43.0	-	120.0 -150.0

Dove

γ = Intervallo Valori del Peso di volume, Robertson e Cabal (2010)

S_u = Intervallo Valori della Resistenza non drenata secondo Mayne 2010;

ϕ' = Intervallo Valori dell'Angolo di resistenza al taglio, secondo Senneset (1988);

M = Intervallo Valori del Modulo confinato (Modulo edometrico), procedura proposta da Togliani (2010).

OCR = Intervallo Valori del rapporto di sovra consolidazione da Mayne et. al. (2009)

Altri parametri sono indicati e riproposti nei grafici contenuti nell'elaborazione della prova SCPTU (All. A).

La prova SCPTU ha permesso anche di determinare il profilo sismico (Fig. 18) entro la profondità indagata di circa 21.0 m da p.c, ma, a causa del raggiunto rifiuto strumentale dovuto alla presenza di un livello sabbioso altamente addensato, non è stato possibile raggiungere la profondità di 30 m da p.c., necessaria alla definizione della categoria di sottosuolo secondo la Tabella 3.2.II della normativa vigente NTC e, pertanto, si è proceduto all'esecuzione di una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves).

La prova MASW, eseguita nel cortile retrostante l'edificio di interesse, ha consentito di determinare (vd. Allegato B), tramite la relazione riportata di seguito (NT08), un valore di V_{s30} al piano campagna pari a 232 m/s da cui si evince che il sottosuolo appartiene alla categoria del suolo di fondazione di **tipo C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s...*).

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

h_i : spessore in metri dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$: velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato.

Le due prove eseguite (cono sismico e MASW) hanno comunque fornito, entro la profondità raggiunta dalla prova penetrometrica, una perfetta corrispondenza dei risultati ottenuti.

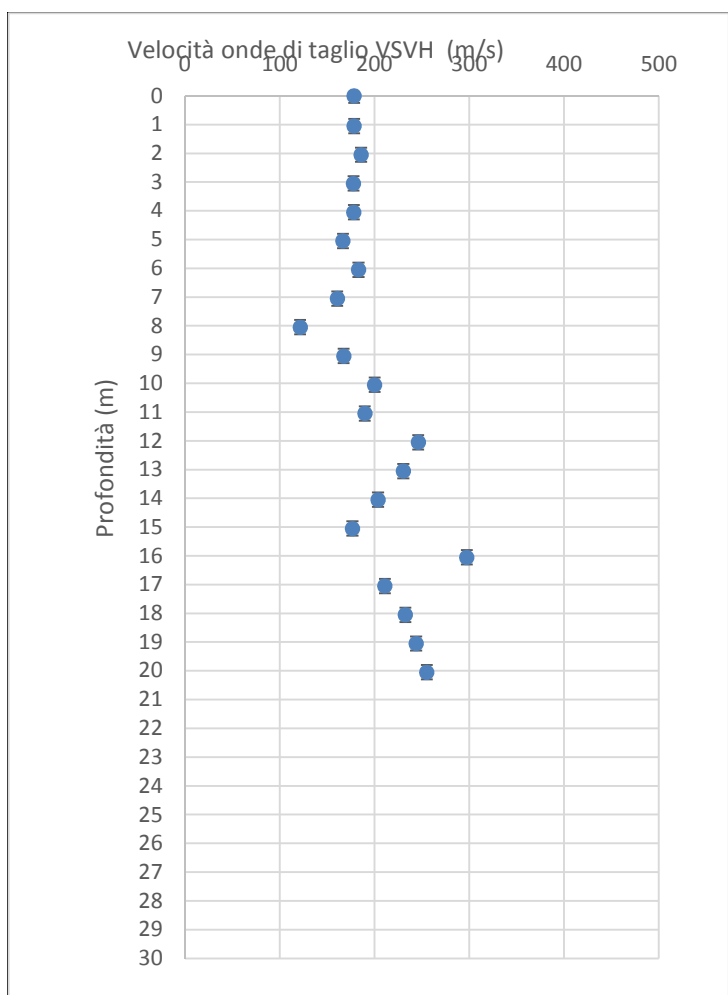


Fig. 18 – Profilo sismico della prova SCPTU

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA SISMICITA' STORICA

4.1 Caratteri strutturali e sismotettonici

In base all'assetto geostrutturale descritto al paragrafo 2.2.1 la sismicità, si concentra in corrispondenza degli elementi strutturali sepolti (faglie, pieghe, sovrascorrimenti). Le strutture sismogenetiche maggiormente attive sono l'ETF e il PTF ad est del Fiume Taro, il Sistema Verona Brescia e la faglia di Verona. Nell'area di studio l'attività sismica è, quindi, la conseguenza della propagazione dell'energia elastica liberata nelle citate zone sismogenetiche.

Le ricerche in campo sismotettonico avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare nel settore di pianura in esame, risultano attivi i sovrascorrimenti del margine appenninico, e delle pieghe emiliane e ferraresi (Fig. 19 – Fig. 21).

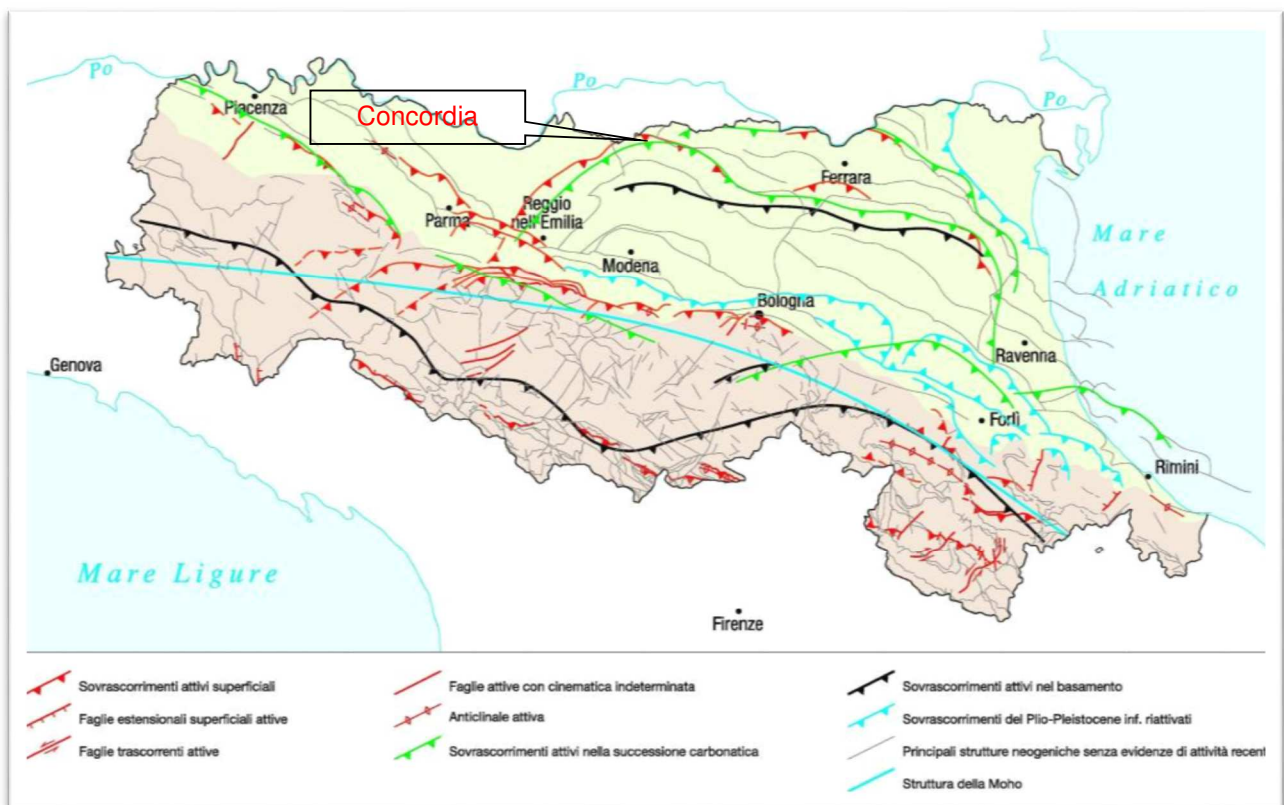


Fig. 19 – Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

Gli studi sulle sorgenti sismiche, promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata

ZS9, che prevede una suddivisione in 36 zone (Fig. 20 e Fig. 21), i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc.. In particolare il territorio di Concordia ricade nella zona Sismogenetica 912 (Dorsale Ferrarese):

- Zona Sismogenetica 912: rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'Appennino Settentrionale caratterizzata dallo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica "Adria") sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale (placca tettonica "Northern Apenninic Arc") con cinematismi attesi di sovrascorrimenti e faglie trascorrenti aventi assi SW-NE; i terremoti storici hanno raggiunto valori pari a $M = 5,9$; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 6 e 8 Km con profondità efficace di 7 km; nella Zona Sismogenetica 912 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{max} = 6,14$.

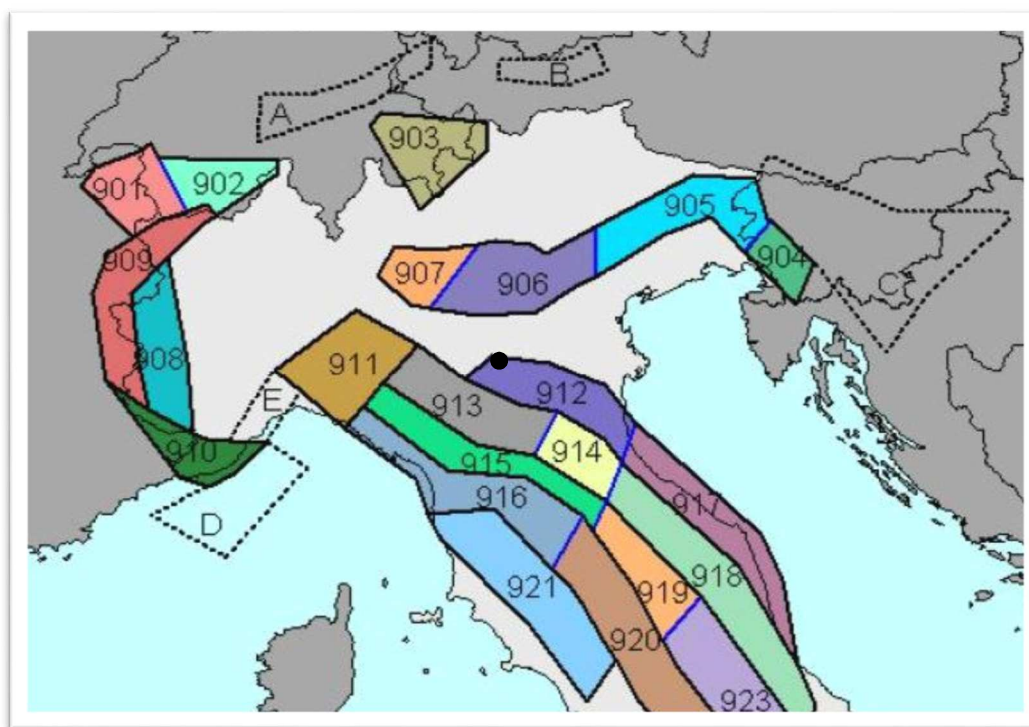


Fig. 20 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004" - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). Il punto nero individua approssimativamente l'area di intervento.

La sismicità locale è data prevalentemente dall'attività delle faglie compressive delle Pieghe Ferraresi (Pieri e Groppi, 1981).

Le Pieghe Ferraresi sono un sistema di pieghe-faglie che hanno dato origine a due dorsali sepolte che nell'insieme descrivono, in pianta, un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica, che si spinge fino ed oltre il Po tra Ferrara e Occhiobello (RO) (Bigi et al., 1990). In particolare sono distinguibili una dorsale più interna, che ha il massimo sollevamento tra Novi di

Modena e Medolla, nota come struttura o alto di Mirandola, e una più esterna che ha il culmine tra Bondeno e Ferrara (Fig. 22).

La strutturazione di queste dorsali sepolte è il risultato dell'attività di faglie inverse (*thrust*) la cui attività è iniziata nel Pliocene medio-superiore, con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud; di attivazione più recente sono le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (*backthrust*) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali (Fig. 22).

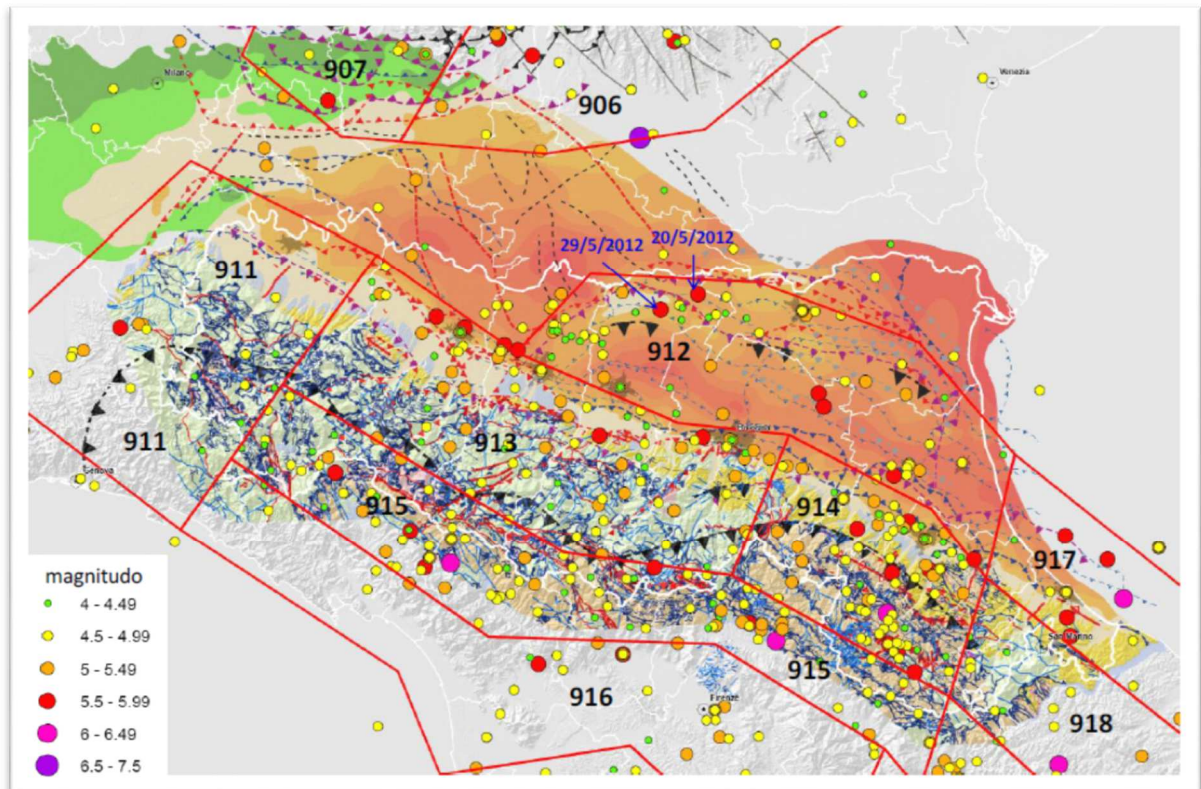


Fig. 21 – Schema tettonico dell'Appennino emiliano-romagnolo e della Pianura Padana centrale (Martelli, 2011) con zone sismogenetiche da ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), aree con limiti rossi, e localizzazione dei principali terremoti che hanno interessato l'Emilia-Romagna (dati INGV).

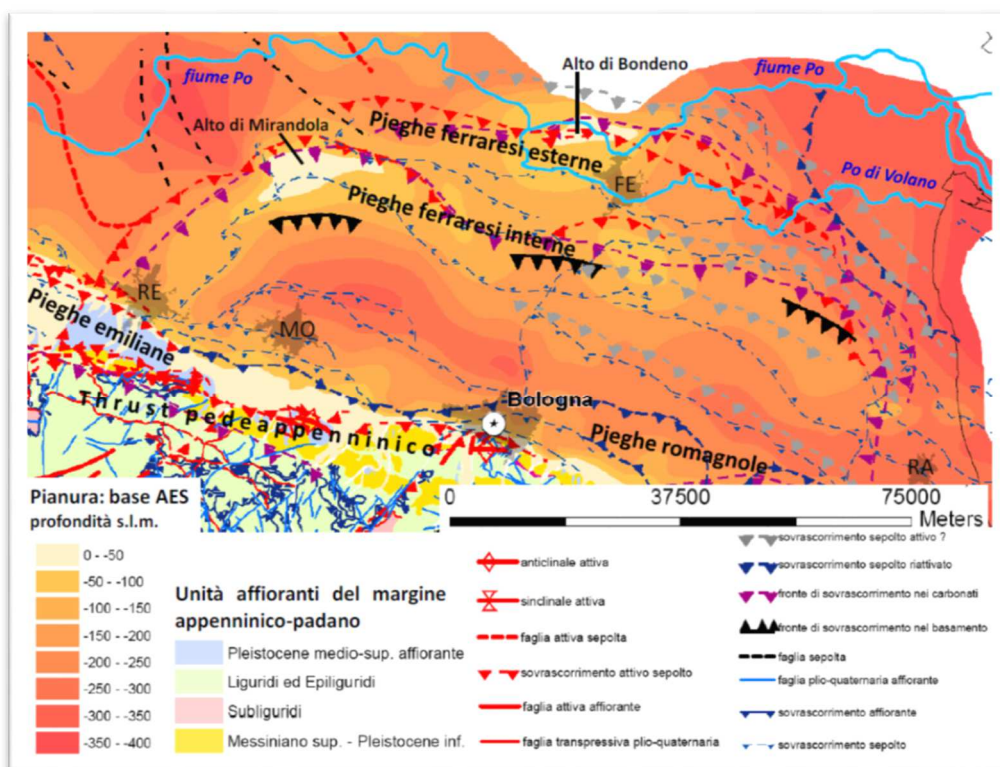


Fig. 22 – Schema tettonico dell'area interessata dalla sequenza sismica di maggio-giugno 2012 (da Martelli, 2011).

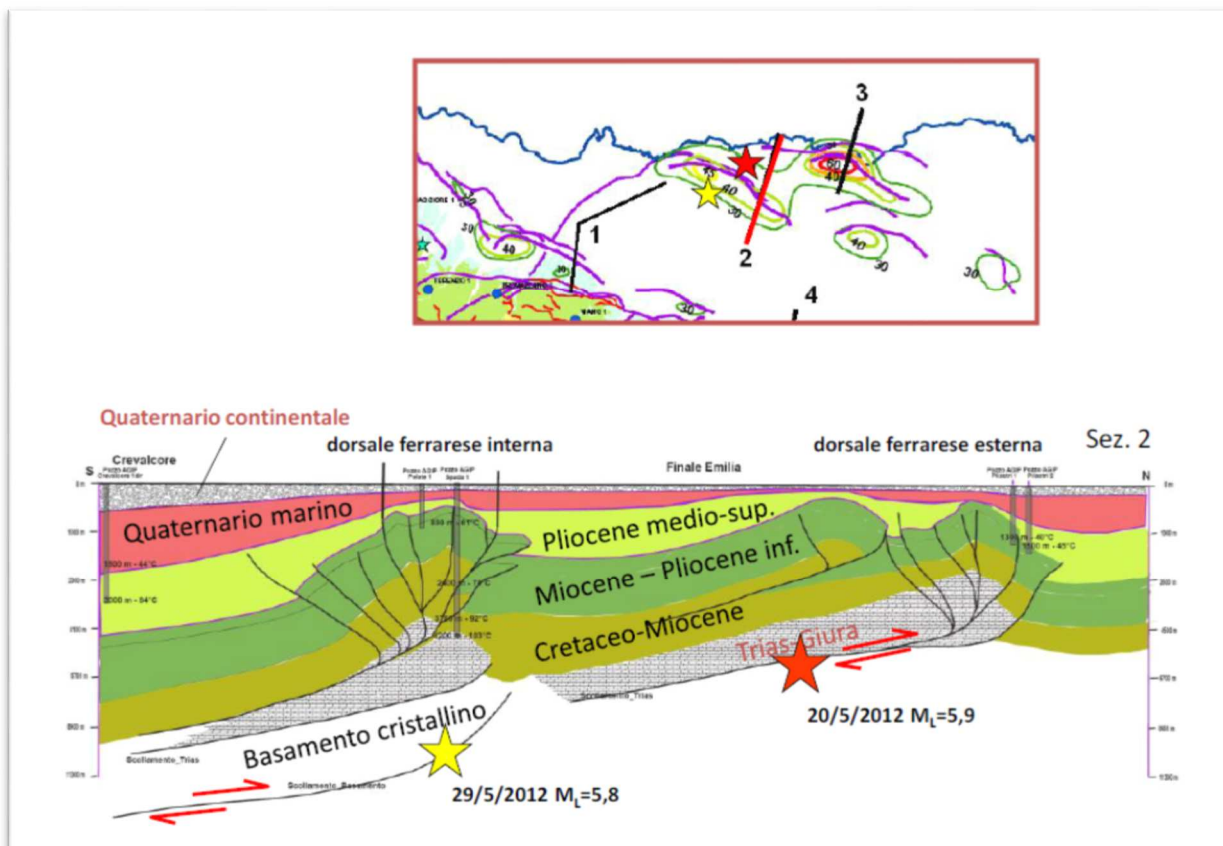


Fig. 23 – Sezione geologica profonda, da Crevalcore (BO) al Po, con proiezione degli ipocentri delle scosse principali del maggio 2012.

4.1.1 Zone Sismogenetiche

Un ulteriore approfondimento sulle caratteristiche sismo-tettoniche della pianura emiliano-lombarda deriva dall'analisi delle sorgenti sismogenetiche raccolte nel database Diss a cura dell'INGV in cui sono elencate e descritte le sorgenti sismiche legate a strutture tettoniche; con riferimento all'area di interesse le sorgenti sismogenetiche più vicine sono quelle indicate nella seguente figura (Fig. 24) e denominate ITCS050 e ITIS107 e di seguito descritte:

ITCS050: Poggio Rusco-Migliarino

Questa sorgente complessa si trova a cavallo della valle del basso Po e costituisce il fronte esterno delle pieghe ferraresi. Tale sistema di faglie è rappresenta l'arco più esterno, vergente a N-E, del margine orientale dell'Appennino Settentrionale e situato nel bel mezzo della pianura padana; è il sistema più avanzato di thrust appenninici con potenziale sismico. I cataloghi sismici, sia storici che strumentali, mostrano una sismicità diffusa, con magnitudo generalmente comprese tra 4,5 e 5,0. Tuttavia sono possibili eventi di magnitudo maggiore come i Terremoti di Ferrara del 1346 (Mw 5,8) e del 1570 (Mw 5,5) e il terremoto del 20 Maggio 2012 (M_L 5,9) con epicentro tra Mirandola e Finale Emilia. Questa sorgente è lunga e poco profonda (da 1 a 8 Km dalla superficie); l'attività tettonica è testimoniata sia dai profili sismici che dall'evidenza di deformazioni superficiali. Un segmento di questo arco è stato direttamente associato al terremoto del 1570. Il tasso di scivolamento è stimato in circa 0,1-0,5 mm per anno.

ITCS107 – Mirandola

Questa sorgente era già stata ipotizzata sulla base di evidenze geologiche e geomorfologiche legate all'attività tettonica recente connessa all'arco Ferrarese sepolto. Il tasso di sollevamento era stato stimato, negli ultimi 125Ka, in 0,16mm/a. Il terremoto dell'Emilia del 29/05/2012 ha attivato questa sorgente sismotettonica producendo un rilevabile sollevamento dell'anticlinale sepolta di Mirandola (circa 20 cm) La magnitudo associata a tale sorgente è, in conseguenza al terremoto suddetto, di 5.9. Tale sorgente è associata esclusivamente al sisma del 29 Maggio 2012, non essendovi dati storici e strumentali che possano legarla ad eventi più antichi. Sulla base dei dati sismici è stato calcolato un tasso di scivolamento della struttura di Mirandola pari a circa 0,94-0,6 mm/a negli ultimi 125 ka.

Presenta una lunghezza di circa 10 km e risulta poca profonda (da 4 a 7 km dalla superficie).

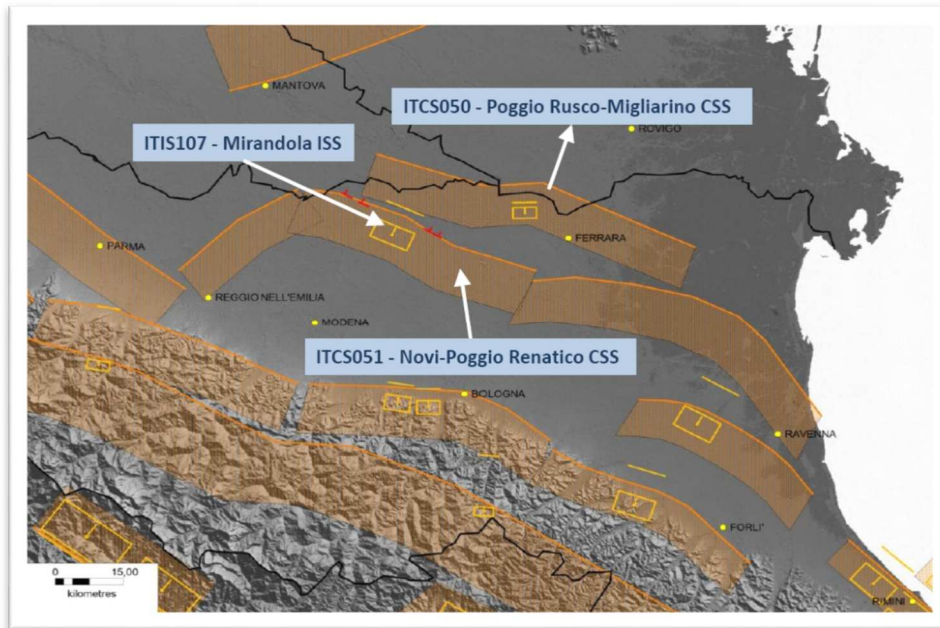


Fig. 24 – Sorgenti sismogenetiche

4.2 Pericolosità sismica di base

4.2.1 Analisi della sismicità

4.2.1.1 Sismicità storica

Da tutti gli eventi con dati di base è possibile selezionare le notizie in modo da definire "*storie sismiche*" dei singoli siti, identificanti cioè la successione temporale delle intensità risentite (in una definita località) rispetto alle intensità epicentrali dei vari eventi nel corso dei secoli.

Analizzando i dati di sito è necessario comunque tener conto che la ricostruzione dell'impatto d'ogni singolo terremoto dipende sia dal livello d'approfondimento delle ricerche, in relazione al contesto antropico in cui si è verificato un evento (densità e rilevanza degli insediamenti abitati), sia da fattori più propriamente fisici (condizioni di sito da cui dipendono i possibili effetti locali e di sito).

Per il comune di Concordia si è provveduto ad estrarre dal Database macrosismico dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, gli eventi sismici che hanno storicamente interessato il comune e le sue vicinanze; i risultati sono riportati nelle tabelle sottoriportate (Tabella 1; Tabella 2) e nella seguente figura (Fig. 25) .

L'osservazione della sismicità storica dai cataloghi sopra riportati denota per il territorio comunale i seguenti aspetti:

- storicamente il territorio comunale è stato interessato da un evento sismico con magnitudo 5.81;
- altri eventi sismici hanno interessato il comune di riflesso dai comuni contermini;

- nel raggio di 50 km dai confini del territorio comunale sono noti circa 8 eventi con magnitudo > 5.

Storia sismica di Concordia sulla Secchia [44.914, 10.982]

Numero di eventi: 25

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1806 02 12	NOVELLARA	28	7 5.19 ±0.39
4	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6 5.29 ±0.22
F	1818 12 09 18:55	Parmense	26	7 5.28 ±0.35
6	1891 06 07 01:06	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06
3	1910 03 22 23:29	Bassa modenese	15	5 4.30 ±0.34
5-6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
4	1928 06 13 08:00	CARPI	35	6 4.78 ±0.23
3	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7 5.03 ±0.13
3	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
4	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
4	1929 05 11 19:22	Bolognese	64	
3	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09
3	1935 06 05 11:48	Faentino	27	6 5.16 ±0.25
5	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
NF	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5 4.74 ±0.25
7	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5	1978 12 25 22:53	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
4-5	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
3	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
5-6	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
4-5	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
3-4	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
3	1997 05 12 22:13	Reggiano	56	4-5 4.22 ±0.27
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

Tabella 1 – Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Concordia tra il 1000 ed il 2006 (da [www://emidius.mi.ingv.it/DBMI11](http://www.emidius.mi.ingv.it/DBMI11))

Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Cavezzo	IT	20	9 km
Mirandola	IT	43	7 km
Moglia	IT	16	6 km
Novi di Modena	IT	13	7 km
Rovereto sulla Secchia	IT	3	8 km
San Giacomo delle Segnate	IT	6	7 km
San Giovanni del Dosso	IT	5	10 km
San Possidonio	IT	9	3 km

Tabella 2 – Terremoti con effetto anche sul territorio comunale di Concordia ed epicentro a distanza inferiore a 10 km.

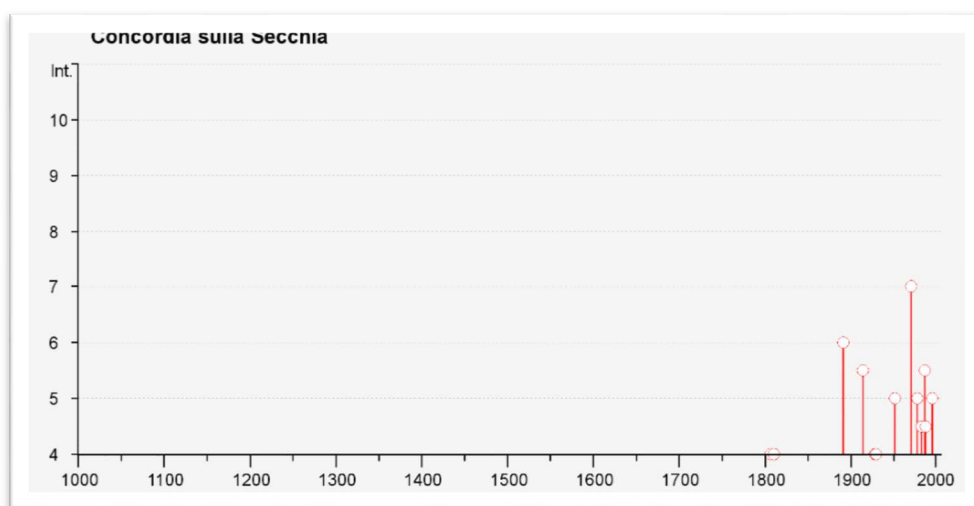


Fig. 25 – Sismicità storica del Comune di Concordia. Rappresentazione dei terremoti più forti risentiti nell'area di Concordia tra il 1000 ed il 2006 (da [www://emidius.mi.ingv.it/DBMI11](http://www.emidius.mi.ingv.it/DBMI11))

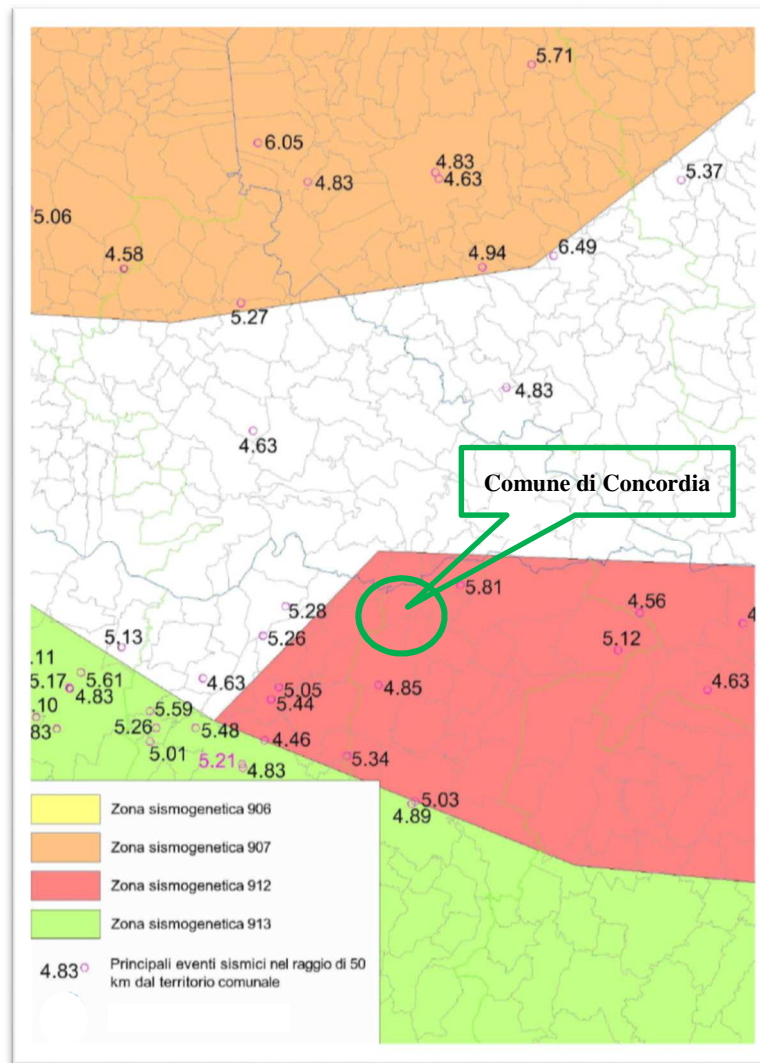


Fig. 26 – Epicentri dei terremoti che hanno interessato storicamente l'area in esame, in funzione della magnitudo.

4.2.1.2 Sismicità recente

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Concordia è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti aventi una magnitudo minima pari a 5.0, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/1984 e il 20/04/2014, in un raggio di 50 Km dal Comune di Concordia (

Fig. 27 e Tabella 3).

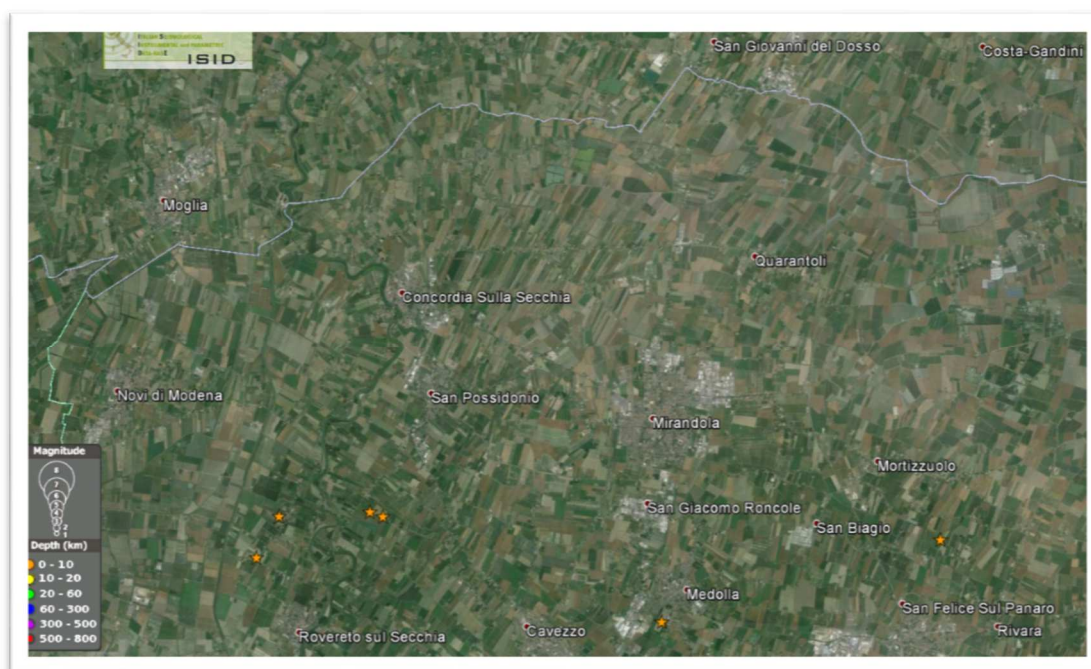


Fig. 27 – Eventi sismici recenti registrati in un raggio di 50 Km dal Comune di Concordia

Data Da: 1984/01/01 A: 2014/11/19
 Area Comune: Concordia sulla Secchia
 Distanza (km): 50.0
 Magnitudo Min: 5.0 Max: 10.0 Tipo: Mag pref
 Profondità (km) Min: ND Max: ND
 Terremoti totali: 8

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2012-05-29 11:00:22.990	44.866	10.976	7.2	5.1--ML	BULLETIN
2012-05-29 11:00:01.680	44.856	10.941	8.7	5.0--ML	REMO
2012-05-29 10:55:56.550	44.865	10.98	4.4	5.3--Mw	REMO
2012-05-29 08:25:51.480	44.865	10.948	7.9	5.0--ML	REMO
2012-05-29 07:00:02.880	44.842	11.066	8.1	5.6--Mw	REMO
2012-05-20 03:02:47.090	44.86	11.152	9.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:07:28.950	44.874	11.27	6.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:03:50.170	44.896	11.264	9.5	5.8--Mw	BULLETIN

Tabella 3: Eventi sismici recenti registrati in un raggio di 100 Km dal Comune di Villa Poma

4.2.1.3 Sequenza sismica del maggio-giugno 2012 in Emilia.

Il 20 e 29 Maggio 2012 due terremoti di ML 5.9 e ML 5.8 seguiti da molte repliche hanno colpito la Pianura Padana a circa 40 km a nord di Bologna. I due terremoti principali sono stati generati dalle faglie sepolte dell'Arco Ferrarese-Romagnolo appartenenti al fronte più esterno dell'Appennino Settentrionale, attivandolo per una lunghezza di circa 50 km. L'attività geologica recente di queste strutture è testimoniata dal controllo sull'andamento del drenaggio, ed è stata quantificata utilizzando

dati geologici e geofisici di sottosuolo. Le dorsali di Ferrara (ITCS050) e Mirandola (ITCS051), associate alle due scosse del 20 e 29 Maggio, hanno causato la diversione del corso dei fiumi Po, Secchia, Panaro e Reno. La deformazione cosismica del suolo, sollevamento e subsidenza, generata dai due terremoti è congruente con le anomalie del drenaggio descritte.

L'area interessata dall'innescò del sisma è una delle tante aree sismogeniche prossime alle zone dell'Appennino. Il complesso sistema di faglie che si diramano nella bassa pianura emiliana è quello della dorsale di Ferrara, che si raccorda a ovest con quella di Mirandola.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) non ha escluso che la seconda scossa del 29 maggio, avvenuta a distanza di nove giorni dal primo evento, possa essere scaturita dall'apertura di una nuova faglia. Secondo questa ipotesi non si tratterebbe di una forte scossa di assestamento del primo terremoto, bensì di un secondo terremoto.

Da un'analisi del meccanismo focale delle scosse di terremoto, risulterebbe che i processi cinematici di tutte le scosse registrate siano concordanti e che non ci siano state attivazioni di faglie discordi. I terremoti sono avvenuti lungo piani di faglia orientati all'incirca in direzione Est-Ovest e con movimento compressivo con una significativa componente trascorrente in direzione Nord-Sud. Tale orientazione è concordante con le strutture regionali di tipo appenninico aventi, in questo settore di catena, un senso di trasporto con vergenza NNE. In particolare la sismicità della sequenza dei terremoti dell'Emilia ha interessato i fronti compressivi più esterni, quali il Fronte Ferrarese ed il Fronte di Mirandola. Quest'ultimo è caratterizzato dalla presenza di una struttura anticlinale, detta appunto anticlinale di Mirandola. Il movimento delle faglie durante il terremoto ha provocato l'accavallamento delle falde appenniniche sepolte, al di sopra della placca adriatica, causando sollevamento del terreno e raccorciamento crostale. Grazie alle immagini radar acquisite e utilizzando l'interferometria differenziale, è stato possibile valutare la deformazione del terreno dopo le scosse del 29 maggio. Con questi dati è stato possibile misurare che il suolo si è sollevato di massimo 12 centimetri nell'area epicentrale, mentre si è abbassato di circa 2-3 centimetri nella zona di Finale Emilia. Queste ultime deformazioni sono probabilmente imputabili a movimenti superficiali di acqua nel sottosuolo.

Per lo studio delle sorgenti sismogenetiche i geologi dell'INGV hanno utilizzato dati geomorfologici e geologico-geofisici con particolare attenzione allo studio dell'idrografia della regione, quest'ultima in quanto elemento sensibile ai più piccoli cambiamenti indotti dall'attività tettonica. Attraverso lo studio del reticolo idrografico sono state rilevate anomalie del drenaggio di origine certamente non antropica. Tali anomalie, confrontate con le strutture delle anticlinali sepolte note dalla letteratura geologica, hanno reso possibile di ipotizzare l'origine di parte di esse e di identificare le strutture attive nel sottosuolo. Dall'ulteriore confronto con le serie storiche relative ai terremoti avvenuti nell'area interessata si può concludere che queste strutture sono sismogenetiche, ossia capaci di generare terremoti. In diversi casi è stato possibile osservare la coincidenza tra la posizione di una anomalia del drenaggio, la presenza di una anticlinale sepolta e la localizzazione di alcuni terremoti riportati nei cataloghi. Una notevole anomalia del drenaggio in un'area priva di sismicità storica nei pressi di

Mirandola fu messa in evidenza già dal 2000 rilevandone la correlazione con una importante faglia attiva sepolta. La sequenza sismica con i forti terremoti del 20 e del 29 maggio 2012 ha riattivato porzioni delle sorgenti identificate come ITCS050-Poggio Rusco-Migliarino e ITCS051-Novì-Poggio Renatico (Figura 17). Si ipotizza che queste sorgenti siano all'origine dei terremoti e che siano state la causa in passato del sollevamento delle dorsali di Ferrara e Mirandola che in passato causarono lo spostamento del corso dei fiumi Po, Reno, Secchia e Panaro. In particolare i geologi dell'INGV ipotizzano che la scossa del 29 maggio sia stata originata dalla sorgente ITIS107-Mirandola.

Tutti i sette terremoti della sequenza con $M > 5$ hanno avuto epicentro posizionato lungo l'asse mediano della struttura tettonica attiva dal punto di vista sismico.

Il territorio colpito dal sisma comprende un'area di 967 chilometri quadrati. I terremoti hanno duramente colpito tutta la zona della bassa modenese: Camposanto, Carpi, Cavezzo, Concordia sulla Secchia, Finale Emilia, Medolla, Mirandola, Novì di Modena, San Felice sul Panaro, San Possidonio e San Prospero hanno subito ingentissimi danni. La scossa del 20 maggio ha colpito duramente soprattutto le aree di San Felice sul Panaro, Finale Emilia e Canaletto (frazione di Finale Emilia). In queste località l'intensità macrosismica rilevata è stata pari a 7. Intensità macrosismiche superiori a 6 sono state rilevate anche a Cavezzo e Mirandola. Le forti scosse del 29 maggio si sono aggiunte a una situazione già drammatica. A Mirandola si sono avuti danni gravissimi al Castello dei Pico, al palazzo comunale, al duomo e alla chiesa di San Francesco, oltre agli ingentissimi danni subiti dal comparto biomedicale. A Finale Emilia si sono verificati crolli e lesioni serie alla Rocca Estense, al duomo ed alla torre dell'orologio, mentre a Camposanto si sono verificati danni gravi, mentre si sono registrati lievi danni però con nessun crollo a Castelfranco Emilia che i primi giorni dopo la scossa del 29 il centro è stato chiuso, e dopo tre o due settimane è stato riaperto, danni gravi ad una chiesa di Castelfranco Emilia.

Conseguenze pesantissime si sono avute anche a Medolla, dove si sono verificati i crolli di diversi capannoni industriali, e a Cavezzo, dove sono rimasti seriamente danneggiati tre quarti degli edifici del centro storico. Gravi danni alle chiese e agli edifici del centro storico sia a San Possidonio[60] che a San Prospero. A Soliera (13km circa da Modena) il sisma del 29 maggio ha reso inagibili le due scuole principali del comune, sia la media che l'elementare; il castello della città, abbastanza conosciuto, ha subito danni ingenti all'interno, dove ospitava la biblioteca comunale e diverse altre sale. A Concordia sulla Secchia è crollata la quasi totalità del centro storico, mentre a Novì di Modena è crollata la torre dell'orologio. Nella provincia di Modena si sono avute il maggior numero di vittime, in totale 17.

4.2.1.4 Classificazione sismica

La classificazione approvata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica" suddivide il territorio nazionale in 4 zone con livelli decrescenti di pericolosità sismica in relazione a 4 differenti valori di accelerazione orizzontale (a_g/g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico e a 4 differenti valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g/g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Il Comune di Concordia è stato classificato sismico in ZONA 3. Per i comuni che ricadono in tale classe è stata stimata un'accelerazione sismica orizzontale pari a $a_g/g = 0,05 - 0,015$, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Tali valori d'accelerazione sono relativi al bedrock, ovvero a formazioni litoidi o terreni omogenei molto rigidi.

Precedentemente all'emanazione della citata Ordinanza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Concordia risultava non classificato.

4.2.1.5 Pericolosità sismica di base secondo D.M. 14 gennaio 2008

La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, risalente alla fine degli anni '60, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti il moto del terremoto. La pericolosità sismica rappresenta l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Nelle seguenti figure (Fig. 28 e Fig. 29) si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo); dalla mappa risulta che l'area di Concordia presenta valori di accelerazione di picco al suolo a_g , cioè per $T=0$, (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compresi tra 0,125 e 0,150 g.

L'evoluzione normativa in materia sismica, con l'emanazione delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), ha fatto sì che i dati e le procedure necessari ai fini strettamente progettuali, siano svincolati dalla classificazione sismica del territorio, con alcune limitate eccezioni, prevedendo l'uso diretto dei parametri sismici del sito in oggetto.

Le Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 attualmente in vigore prevedono infatti, rispetto alla precedente classificazione comunale, un'analisi più puntuale della pericolosità sismica di base e dell'accelerazione sismica di riferimento.

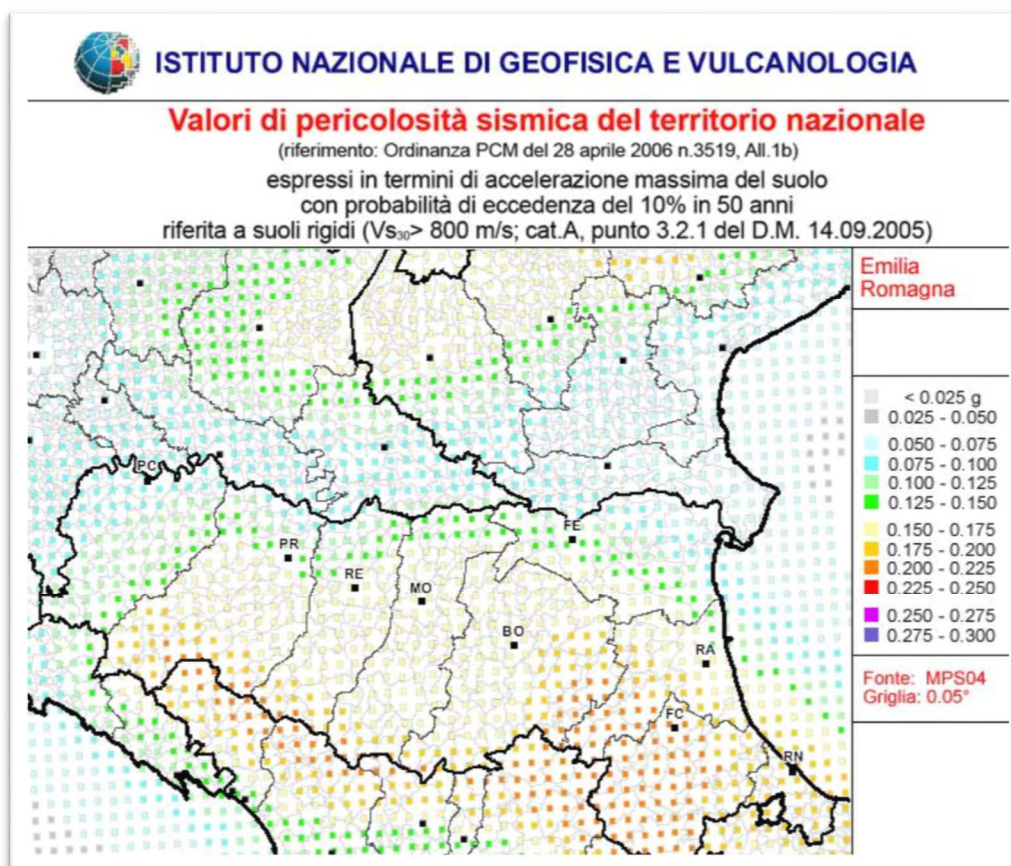


Fig. 28 – Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni tratto da INGV

Vengono utilizzate al meglio le possibilità offerte dalla definizione della pericolosità sismica italiana, recentemente prodotta e messa in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). L'azione sismica è valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, riferendosi non ad una zona sismica territorialmente coincidente con più entità amministrative, ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva in precedenza, bensì sito per sito e costruzione per costruzione. Tale approccio dovrebbe condurre in media, sull'intero territorio nazionale, ad una significativa ottimizzazione dei costi delle costruzioni antisismiche, a parità di sicurezza.

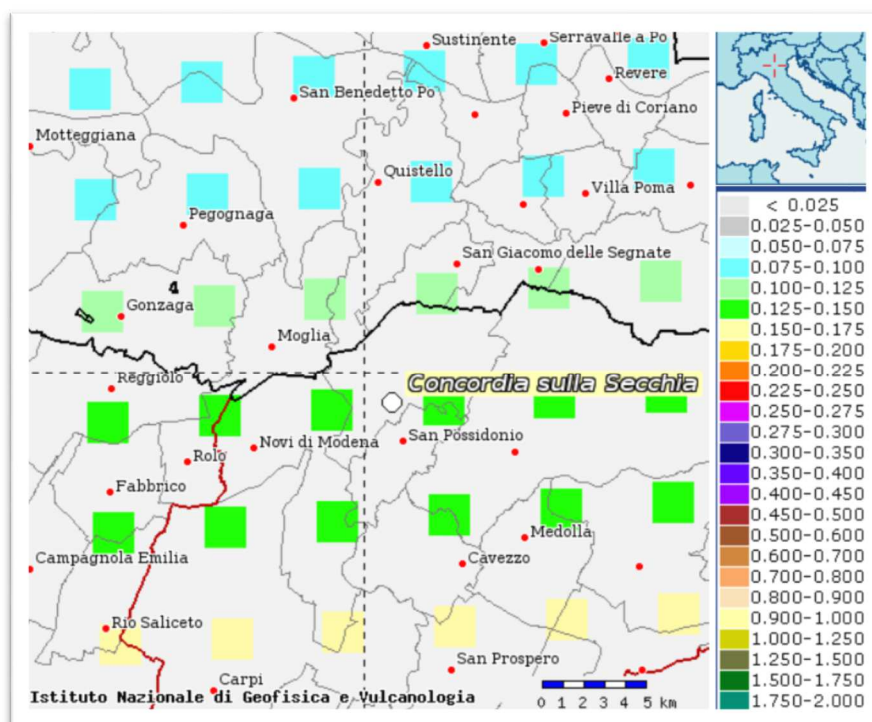


Fig. 29 – Particolare della Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni tratto da INGV

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni superate le quali l'opera non soddisfa più le esigenze per cui è stata progettata.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" VR e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR.

In conformità con quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 "Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni", la pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali definite su sito di riferimento rigido (sottosuolo di categoria A) orizzontale in funzione dei seguenti tre parametri:

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

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, riportati nelle tabelle dell'ALLEGATO C delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

Ogni spettro di risposta elastico è la rappresentazione oggettiva e sintetica delle principali caratteristiche di un terremoto o, meglio, dei possibili terremoti che si possono verificare in un dato sito. Ogni spettro di risposta elastico è legato, insieme ai parametri che lo descrivono, ad un determinato tempo di ritorno. All'aumentare del tempo di ritorno considerato aumenta anche la severità del sisma atteso e con esso i parametri che descrivono il suo spettro di risposta.

Per l'area oggetto di intervento (coordinate geografiche ED 50: Longitudine = 10°,982598 – Latitudine = 44°,915719) i valori che risultano sono riportati in Tabella 2 e sono stati ricavati attraverso il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il D.M. 14.01.2008 considera quattro stati limite per i quali l'opera deve garantire sicurezza; ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento (PVr) dell'azione sismica di riferimento durante il periodo di riferimento dell'opera (Vr); l'azione sismica di riferimento è quella descritta dallo spettro di risposta elastico per un determinato tempo di ritorno. Il tempo di ritorno da considerare è legato da una relazione a Vr e a PVr. Ad esempio per lo stato limite di collasso SLV l'azione sismica di riferimento, per un'opera con vita nominale di 50anni con classe di uso II, è quella dello spettro di risposta con tempo di ritorno di 475 anni; la normativa prevede che durante la vita di riferimento dell'opera vi sia il 10% di probabilità che l'azione sismica possa superare quella di riferimento.

L'edificio in esame, ricadendo tra il tipo di costruzione delle opere ordinarie in cui si prevede un normale affollamento, è stato classificato in classe II. Il periodo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica è quindi di 50 anni.

Il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici permette di ottenere gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite (Tabella 3 e Figura 27). Ad esempio, nel caso in esame, opera con classe d'uso II, il valore di a_g (per $T=0$) di riferimento per il calcolo dell'azione sismica in SLV è di 0.132g con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni con un tempo di ritorno di 475 anni.

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,036	2,583	0,242
50	0,045	2,545	0,269
72	0,054	2,502	0,275
101	0,064	2,498	0,282
140	0,075	2,523	0,276
201	0,089	2,597	0,269
475	0,132	2,585	0,271
975	0,179	2,544	0,276
2475	0,257	2,457	0,288

Tabella 2 – Parametri della forma spettrale a_g , F_0 e T_C' del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R).

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,037	2,583	0,242
SLD	50	0,045	2,543	0,269
SLV	475	0,132	2,585	0,271
SLC	975	0,179	2,543	0,276

Tabella 3 – Parametri della forma spettrale a_g , F_0 e T_c^* del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R) per i diversi stati limite.

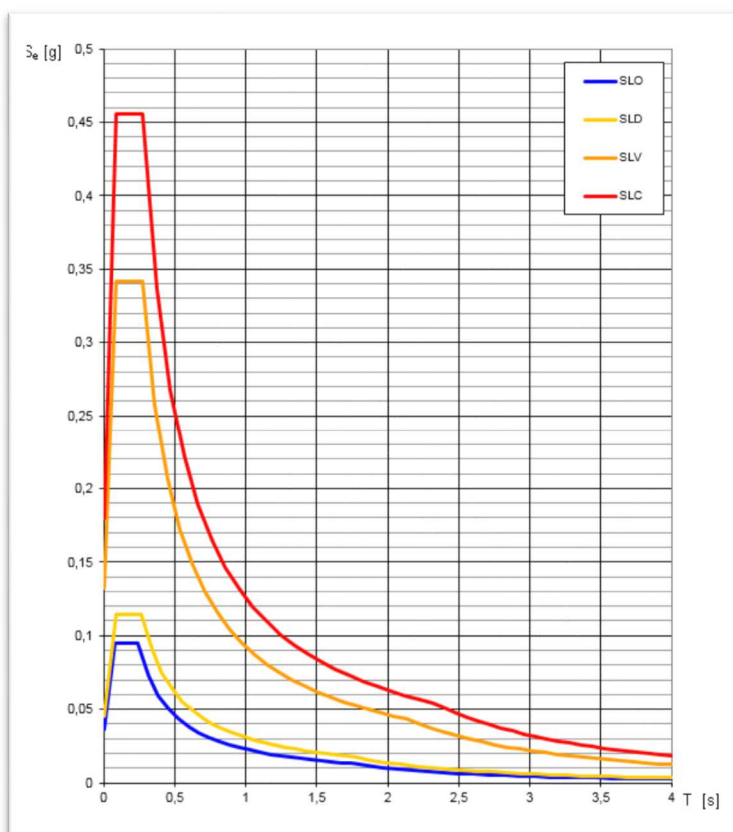


Fig. 30 – Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali per i periodi di tempi di ritorno T_R , associati ai diversi stati limite su sito di riferimento rigido (elaborazione effettuata mediante “Spettri NTC ver.1.0.3”).

4.3 Risposta sismica locale

Una volta definito il progetto, per uno specifico sito o area ed adottato lo stato limite da analizzare, la risposta sismica di base sito-specifica va ulteriormente sviluppata considerando l’amplificazione sismica in funzione delle condizioni litostratigrafiche e topografiche

Va ricordato, infatti, che il moto generato da un terremoto in un sito, è influenzato dalle particolari condizioni locali (risposta sismica locale), ovvero dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta

sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido, sottosuolo categoria A, con $V_{s30} > 800$ m/s (vedi paragrafo seguente), con superficie topografica orizzontale. Gli spettri di risposta elastica visti precedentemente sono riferiti a queste condizioni; per un sottosuolo di tipo diverso essi devono essere modificati, per tenere conto di eventuali fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica.

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale viene valutata in via semplificata con riferimento alle sette categorie del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione, definite dal D.M. 14.01.2008 "Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni", in relazione alle caratteristiche geofisiche e geotecniche del sottosuolo.

In particolare i parametri da considerare (Tabella 4) sono riferiti alla velocità delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri al di sotto della fondazione (V_{s30}), ottenuta, come già visto, attraverso la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

La prova congiunta MASW effettuata (vedi Allegato B) ha permesso di determinare un valore di V_{s30} , a piano campagna, superiore a **232 m/s**.

Sulla base di questi valori il suolo in esame può essere classificato in categoria C: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s...*).

Occorre pertanto considerare il rischio sismico, prevedendo in sede di progettazione accorgimenti costruttivi che garantiscano la stabilità delle opere anche in condizioni dinamiche, valutando in particolare le sollecitazioni orizzontali. Nel calcolo delle strutture sarà necessario considerare accelerazioni sismiche congruenti con quelle di riferimento definite su sito di riferimento rigido (sottosuolo di categoria A) orizzontale (0,132 g per SLV) e la categoria del suolo di fondazione "C".

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 4- Categorie del sottosuolo di fondazione

4.3.1 Amplificazione stratigrafica e topografica

L'areale risulta essere soggetto ad amplificazione di tipo stratigrafico del segnale sismico, derivante dalla presenza di terreni di **categoria C** con velocità delle onde di taglio comprese tra 180 m/s e 360 m/s. Si sottolinea come il risultato di V_{s30} ottenuto dall'elaborazione della prova geofisica effettuata ricada in pieno nei limiti della categoria C pur riferendosi al piano campagna; occorre poi osservare che in base a quanto previsto dall'art 3.2.2 NTC08, per le fondazioni superficiali, la profondità delle V_{s30} debba essere riferita al piano di imposta delle stesse e che pertanto, a maggior ragione, solo ipotizzando una quota di imposta di 1,0 m dal p.c., la velocità media di taglio entro i 30 m aumenta ($V_{s30} = 242$ m/s), consolidando maggiormente l'appartenenza dei terreni presenti nell'area di studio alla categoria indicata, categoria di suolo C.

Considerando una morfologia sub-pianeggiante dell'area di studio la condizione topografica si può connotare come configurazione semplice e si può adottare la classificazione di Tabella 3.2.IV delle NTC, valutando la categoria topografica T1. Si considera pertanto l'area non suscettibile ad amplificazione topografica.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = SS \cdot St \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (SS) e dell'amplificazione topografica (St),

a_g = accelerazione orizzontale massima (per un determinato stato limite) attesa su sito di riferimento rigido ($T=0$).

I coefficienti assumono i seguenti valori (Tabella 4):

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss – Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.50	1.44
Cc – Coeff. funz. categoria	1.68	1.62	1.61	1.60
St – Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 4– Coefficienti di amplificazione del segnale sismico

Il coefficiente sismico orizzontale k_h viene calcolato con la seguente relazione:

$$k_h = \beta \cdot a_{max} \text{ (g)}$$

Per il calcolo di β si fa riferimento alla Tabella 5.

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

Tabella 5 – Valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

I parametri sismici per i diversi stati limite, pertanto, assumono i valori riportati nella seguente Tabella 6:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0.011	0.013	0.046	0.059
k_v	0.005	0.007	0.023	0.030
$A_{max} \text{ (m/s}^2\text{)}$	0.532	0.650	1.875	2.430
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Tabella 6– Parametri sismici k_h e k_v per i diversi stati limite

I parametri di scuotimento vengono calcolati, secondo le NTC, a partire dalle stime di pericolosità sismica di base tenendo conto dell'amplificazione stratigrafica derivante dalla natura del terreno. Gli eventi sismici del 20 e 29 Maggio 2012 permettono di verificare se vi sia corrispondenza tra le stime del metodo semplificato delle NTC 08 e i valori reali misurati. Durante tali eventi sono stati registrati dalla Rete Accelerometrica Nazionale i parametri di scuotimento al suolo. In particolare dalla mappa delle massime accelerazioni rilevate (Fig. 31) si vede come il Comune di Concordia abbia subito accelerazioni orizzontali comprese tra 2.00 e 3.03 m/s²; tali valori di accelerazione risultano compatibili con i valori compresi tra 1,875 m/s² e 2.430 m/s² calcolati secondo la normativa NTC 08 per gli stati limite SLV e SLC rispettivamente (Figura 28)

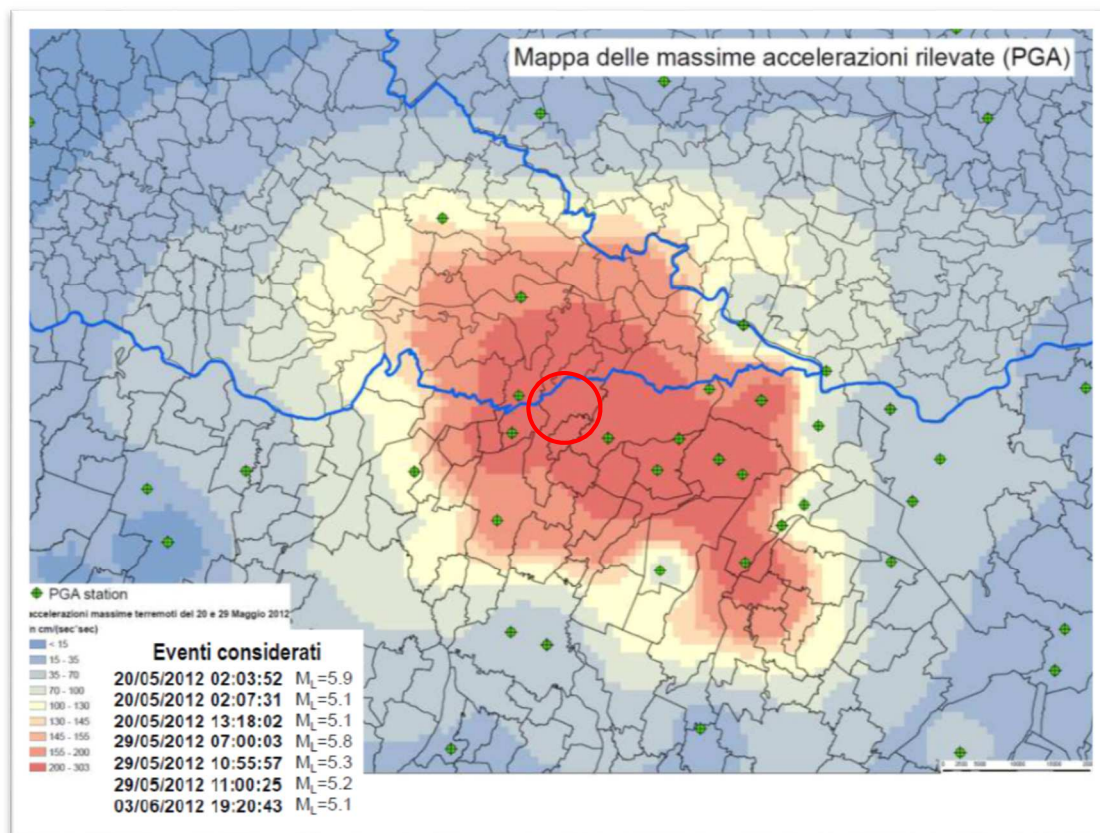


Fig. 31 –Accelerazioni rilevate al suolo (nel cerchio il Comune di Concordia sulla Secchia)

4.3.2 Occorrenza di fenomeni di liquefazione

La possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione può essere esclusa, in quanto è stata accertata l'assenza di depositi sabbiosi (fuso granulometrico di riferimento delle NTC 08) di spessore significativo entro i primi 20 metri di sottosuolo e pertanto la verifica può essere omessa in virtù delle circostanze previste dal cap. 7.11.3.4.2 delle NTC 08.

La tavola PSC4.3 allegata al quadro conoscitivo del Piano Strutturale Comunale, approvato con C.C. n. 23 del 20/04/2009 “Aree potenzialmente soggette ad effetti locali per eventi sismici” classifica l'area di interesse tra le aree soggette a possibili effetti attesi tra cui amplificazione di tipo stratigrafico, potenziale liquefazione e cedimenti (Fig. 32).

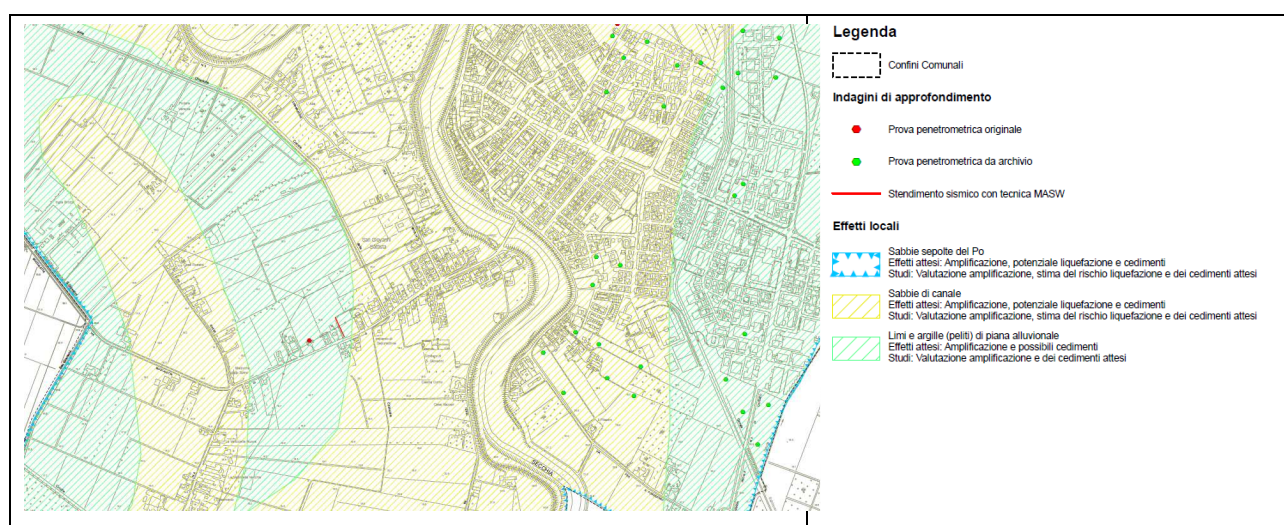


Fig. 32 – Stralcio della Tavola 4.3 del PSC del Comune di Concordia

La carta degli affetti della liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 Maggio 2012, elaborata dalla Regione Emilia Romagna, riporta, per l'abitato di Concordia, un fenomeno di liquefazione osservato (Fig. 33).

Si è ritenuto quindi opportuno approfondire tale aspetto mediante analisi di dettaglio del rischio di liquefazione, sebbene il riconoscimento stratigrafico desunto dall'elaborazione della prova SCPTU abbia determinato la presenza di litologie prettamente argillo-limose e l'assenza di depositi sabbiosi fino alla profondità di circa 20 m da p.c. profondità indicata dagli “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” come quella significativa entro cui verificare il rischio di liquefazione dei terreni.

Il rischio di liquefazione è stato, pertanto, valutato per mezzo di apposito software (Liquesab, autore Guido Riga) partendo dai dati della prova penetrometrica eseguita.

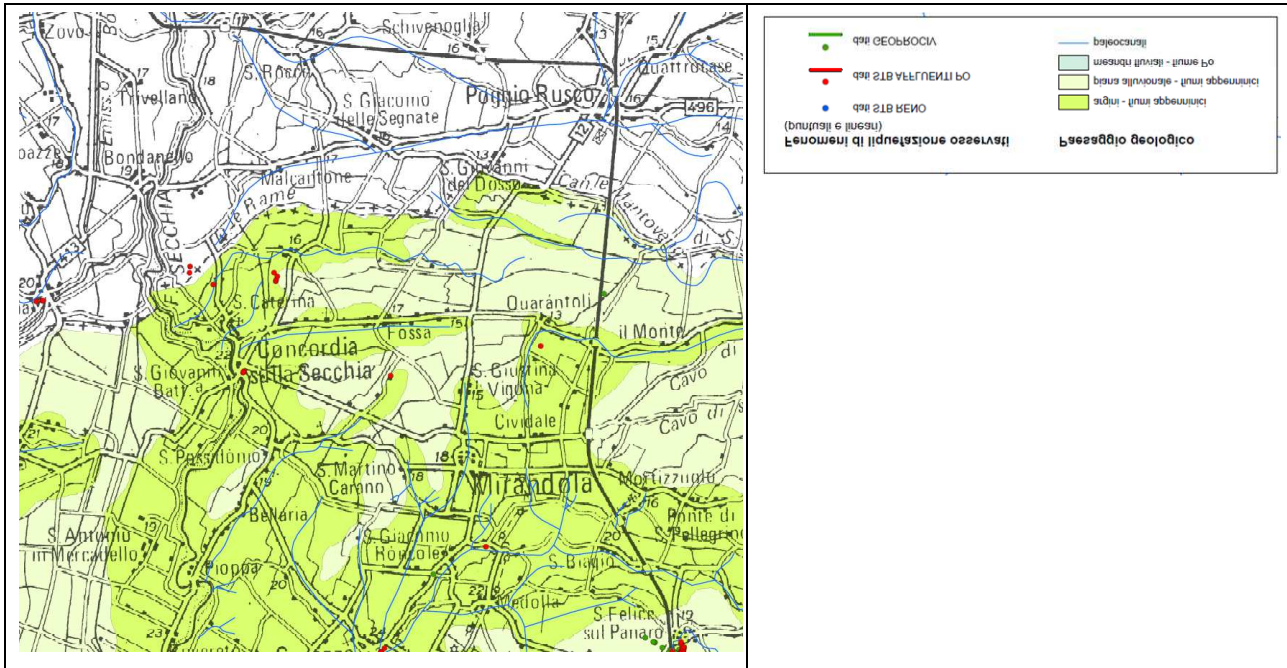


Fig. 33 – Stralcio della Carta degli effetti della liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 maggio 2012 -RER

L'analisi quantitativa svolta si basa sulla determinazione della resistenza di un terreno alla liquefazione attraverso la stima della domanda di resistenza ciclica alla liquefazione (CSR – Cyclic Stress Ratio) e della capacità di resistenza ciclica (CRR Cyclic Resistance Ratio). La conoscenza dei parametri suddetti permette la valutazione del fattore di sicurezza.

Secondo Seed e Idriss (1971) la CSR è calcolata utilizzando la seguente formula:

$$CSR = \tau_{av}/\sigma'_{vo} = 0,65 (a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})r_d$$

Dove:

a_{max} = accelerazione massima alla superficie del suolo;

g = accelerazione di gravità;

σ_{vo} = tensione verticale litostatica totale;

σ'_{vo} = tensione verticale litostatica effettiva;

r_d = fattore di riduzione delle tensioni alla profondità interessata;

0,65 = fattore peso;

τ_{av} = sforzo di taglio ciclico medio.

La capacità di resistenza alla liquefazione CRR è stata valutata a partire dai risultati delle prove penetrometriche statiche (CPTU) e più precisamente è stato fatto riferimento al valore della resistenza penetrometrica statica normalizzata (q_{c1N}), cioè al valore della resistenza alla punta normalizzata a circa 100 KPa (1 atm)

$$q_{c1N} = C_q * (q_c/P_a)$$

dove

C_q = fattore di normalizzazione = P_a/σ'_{vo}

P_a = pressione atmosferica (1 atm);

n = esponente usato per calcolare I_c

q_c = resistenza penetrometrica misurata in campagna

I_c = indice del tipo di terreno $I_c = ((3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + F)^2)^{0,5}$

$Q = ((q_c - \sigma_{vo})/P_a) * ((P_a/\sigma'_{vo})^n)$

F = attrito laterale normalizzato = $(f_s/(q_c - \sigma_{vo})) * 100\%$ dove f_s = resistenza laterale calcolata

La resistenza penetrometrica normalizzata per limi e sabbie viene trasformata in equivalente a sabbia pulita tramite la formula:

$$(q_{c1N})_{cs} = k_c * q_{c1N}$$

dove k_c è un fattore di correzione per caratteristiche granulometriche definito dalla equazione di Robertson e Wride.

K_c è funzione del contenuto dei fini $FC = 1,75 * I_c^{3,25} - 3,7$.

Viene quindi calcolato il fattore di sicurezza a liquefazione $FSL = CRR_{eq}/CSR_{fs}$.

CRR_{eq} cioè la CRR corretta dello sforzo di sovrappressione è uguale a:

$$CRR_{eq} = CRR_M * k_\sigma * k_\alpha$$

dove k_σ e k_α sono coefficienti di correzione per la tensione tangenziale mobilizzata e per la pressione efficace litostatica.

CRR_M è la capacità di resistenza alla liquefazione corretta della magnitudo. Per terremoti di magnitudo diversa da 7,5 il valore $CRR_{7,5}$ sarà corretto da un fattore di correzione della magnitudo MSF secondo la formula:

$$CRR_M = CRR_{7,5} * MSF.$$

CSR_{fs} è la CSR corretto con un fattore di sicurezza, in questo caso pari a 1.

L'indice del potenziale di liquefazione IP_L basato sul metodo di Iwasaki e al. è definito come:

$$IP_L = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

dove

$F(z)$ è una funzione del fattore di sicurezza;

$w(z) = 10 - 0,5 z$ (z = profondità);

dz è l'incremento differenziale della profondità.

In base a tale formula si ottiene che

IP_L	RISCHIO LIQUEFAZIONE
$IP_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < IP_L \leq 2$	Basso
$2 < IP_L \leq 5$	Moderato
$5 < IP_L \leq 15$	Alto
$IP_L > 15$	Molto alto

La probabilità di liquefazione è data dalla seguente equazione:

$$P_L = \frac{1}{1 + (FSL / 0.77)^{3.25}}$$

La suscettibilità a liquefazione è correlata al valore di PL tramite la seguente tabella:

PROBABILITÀ	SUSCETTIBILITÀ
$0,85 \leq PL$	Quasi certamente si ha liquefazione
$0,65 \leq PL \leq 0,85$	Molto probabile
$0,35 \leq PL \leq 0,65$	Liquefazione/non liquefazione stessa probabilità
$0,15 \leq PL \leq 0,35$	Non probabile
$PL < 0,15$	Quasi certamente non si ha liquefazione

Si passa quindi alla correlazione tra probabilità e potenziale di liquefazione secondo la seguente tabella:

PROBABILITÀ	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
$> 50\%$	alto
$10 - 50 \%$	moderato
$5 - 10 \%$	basso
$< 5 \%$	Molto basso

Dalle verifiche effettuate (Allegato C), svolte in relazione ai risultati delle indagini eseguite, emerge che la verifica della suscettibilità alla liquefazione evidenzia la non liquefacibilità dei terreni presenti fino alla profondità di fine indagine (circa -21.5 m da p.c.) eccezione fatta per alcuni materiali di spessore decimetrico presenti tra alla profondità di circa 20.0 e 20.5 m da p.c.

La verifica del rischio di liquefazione, considerando una magnitudo momento di 6,00 come indicato per la zona sismogenetica ITSC107 - Mirandola e un'accelerazione orizzontale al suolo di 0,30 g, come misurato in occasione degli ultimi pesanti eventi sismici del maggio c.a., evidenzia che i punti relativi alla prova scelta si distribuiscono tutti nell'area al di sotto della linea CSR/qc_{1Ncs} , appartenente al campo dei terreni NON liquefacibili. La verifica compiuta, inoltre, ha permesso di calcolare le accelerazioni critiche richieste per l'inizio della liquefazione che, in relazione alle prove penetrometriche eseguite, sono state determinate in valori superiori a quelle attese per la zona di appartenenza.

5. CONCLUSIONI

In ordine alle risultanze dell'indagine condotta, ai dati acquisiti relativi all'assetto litostratigrafico ed alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni del sottosuolo, si esprimono le seguenti considerazioni in merito alle verifiche effettuate.

Sulla base delle considerazioni esposte nei capitoli precedenti risulta che:

- l'area in esame appare stabile e si presenta caratterizzata da una superficie subpianeggiante occupata dai depositi alluvionali quaternari del fiume Secchia a granulometria medio-fine con prevalenza, nei primi metri, di argille limose e limi-argillosi, seguiti, oltre i 20 m di profondità da p.c., da sabbie ritenute ragionevolmente depositate dal fiume Po;
- dal punto di vista geologico strutturale il comune di Concordia è caratterizzato dal sistema delle pieghe Ferraresi che rappresentano il sistema tettonico posto più a nord dell'Appennino Settentrionale. Esso è rappresentato da un sistema di faglie inverse e fronti di accavallamento che formano un fascio arcuato di strutture che vergono dapprima in senso SO-NE a nord di Reggio Emilia per poi virare da Novi verso Mirandola e il ferrarese. Le pieghe Ferraresi-Romagnole attraversano il territorio di Concordia a nord del capoluogo dove determinano un innalzamento del substrato sedimentario marino di età pliocenica che raggiunge, in questa porzione di pianura, la profondità di poche decine di metri dalla superficie. La zona è da considerarsi sismicamente attiva;
- sotto il profilo idrogeologico, l'area è caratterizzata da una falda confinata impostata nei depositi alluvionali del fiume Po ragionevolmente riscontrati a circa 20 m dal p.c. attuale a cui si saldano falde freatiche in equilibrio con il livello idrometrico del fiume Secchia. E' possibile pertanto, in occasione delle stagioni umide e delle piene del Fiume Secchia, riscontrare un livello piezometrico prossimo al piano campagna. Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche è stato misurato un livello piezometrico a circa 4.0 m da p. c.;
- le indagini geognostiche effettuate, costituite da una prova penetrometrica statica con piezocono sismico, tipo SCPTU, ha permesso di individuare, entro la profondità indagata di circa 21,5 m da p.c., sette principali livelli lito-geomeccanici differenti, denominati con lettere progressive da A e G, di natura prevalentemente coesiva fino a circa 20 m e incoerente fino alla massima profondità indagata, profondità alla quale per la presenza di depositi sabbiosi addensati si è raggiunto il rifiuto strumentale; entro la profondità di 2.5 m da p.c. i terreni, di natura incoerente per i primi 1.5 m e di natura coesiva a seguire, presentano caratteristiche di sovraconsolidazione. Sottoposti ad essi i terreni prevalentemente argillosi e argillo-limosi da normalconsolidati e leggermente consolidati presentano valori geotecnici scarsi fino alla profondità di circa 9 m da p.c. Più in profondità e fino al livello sabbioso addensato presente a profondità di circa 20.5 m da p.c. i terreni sempre di natura argillo-limosa, aumentano le caratteristiche geotecniche sebbene esse rimangano contenute entro valori modesti;
- la parametrizzazione dei livelli lito-geomeccanici individuati è stata basata sulle risultanze dell'elaborazione dell'indagini eseguite, permettendo di assegnare i principali parametri

fisico-meccanici responsabili del comportamento di resistenza del complesso terreno-fondazioni;

- sismicamente l'area ricade in zona sismica 3 e risulta soggetta ad una sismicità storica medio-bassa, indotta da terremoti documentati con epicentro al di fuori del territorio comunale. La recente sequenza sismica avvenuta nel periodo maggio-luglio 2012 ha evidenziato una pericolosità sismica legata agli effetti di amplificazione di tipo stratigrafico dell'input sismico, derivante dalla presenza di depositi alluvionali con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s. La morfologia subpianeggiante, permette di escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico. La verifica della suscettibilità alla liquefazione, calcolata mediante software dedicato, ha evidenziato terreni non liquefacibili fino ad una profondità di circa 20 m da p.c. a cui segue un livello decimetrico di terreni potenzialmente liquefacibili e fino alla profondità di 20.5 m da p.c. Tuttavia la verifica del rischio di liquefazione ha portato tutti i punti scelti per la verifica a ricadere nel campo della "non liquefazione";
- in seguito agli eventi sismici del maggio 2012, l'area è stata inserita nella zona sismogenetica ITSC107 Mirandola, ritenuta sismicamente attiva;
- dalla elaborazione della prova MASW effettuata è stato possibile determinare un valore di V_{s30} pari a 232 m/sec (partendo da p.c.) verificando pertanto l'appartenenza dei depositi presenti nell'area di studio alla categoria di sottosuolo C “
- l'area oggetto di studio presenta valori dell'accelerazione orizzontale su suolo rigido, per i diversi stati limite, compresi tra 0,037g e 0,179g; considerando un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s pari a 1,5 (suolo tipo C) si arriva a valori compresi tra 0,055g e 0,268g; valori compatibili con quelli registrati durante gli eventi sismici del Maggio 2012;

Parma, Novembre 2015



Dr. Geol. Fabio Francesco Picinotti

Fabio F. Picinotti

6. BIBLIOGRAFIA

- BERNINI M. E PAPANI G., (1987): ALCUNE CONSIDERAZIONI SULLA STRUTTURA DEL MARGINE APPENNINICO EMILIANO TRA STIRONE ED ENZA (E SULLE RELAZIONI CON IL SISTEMA DEL F. TARO). L'ATENEO PARMENSE, ACTA NAT., 23, 4, 219-240, PARMA.
- BOWLES JOSEPH E. (1991): FONDAZIONI. MCGRAW-HILL.
- BRINCH HANSEN J. (1961): A GENERAL FORMULA FOR BEARING CAPACITY. THE DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE, BULL. N. 11, COPENHAGEN.
- BRINCH HANSEN J. (1970): A REVISED AND EXTENDED FORMULA FOR BEARING CAPACITY. THE DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE, BULL. N. 28, COPENHAGEN.
- BRUSCHI A., (2010): PROVE GEOTECNICHE IN SITU. DARIO FLACCOVIO EDITORE
- BRUSCHI A., (2012): INTERPRETAZIONE DI PROVE GEOTECNICHE IN SITU. DARIO FLACCOVIO EDITORE
- CESTARI F. (1996): PROVE GEOTECNICHE IN SITO. GEO-GRAPH S.N.C.
- COMUNE DI VILLA POMA: PGT 2010, RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
- LAMBE & WHITMAN (1997): MECCANICA DEI TERRENI; DARIO FLACCOVIO EDITORE
- LANCELLOTTA R., (1987): GEOTECNICA. ZANICHELLI
- MEYERHOF G.G. (1951): THE ULTIMATE BEARING CAPACITY OF FOUNDATIONS. GEOTECHNIQUE, 2, PP. 301-332.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA. – ENI AGIP (1998): RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA. – UNIVERSITA DI SIENA (2013): ASSETTO TETTONICO E POTENZIALITÀ SISMOGENETICA DELL' APPENNINO TOSCO-EMILIANO E DELLA VAL PADANA.
- P.K. ROBERTSON & K.L. CABAL (2010): GUIDE TO CONE PENETRATION TEST FOR GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING
- P.K. ROBERTSON (2012): INTERPRETATION OF IN-SITU TEST – SOME INSIGHTS (MITCHELL LECTURE 2012)
- SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (2005): CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50000 – FOGLI 199 E 201.
- SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (1994). I SUOLI DELL'EMILIA ROMAGNA - CARTA 1:250.000.

SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA
(2004): CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ALLA SCALA 1:250000

TERZAGHI K., PECK R.B. (1967): SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE, JOHN WILEY & SONS, NEW YORK.

VESIC A.S. (1970): TESTS ON INSTRUMENTED PILES, OGEECHEE RIVER SITE, JSMFD, ASCE, VOL 96, N. SM2, PROC. PAPER 7170, MARCH.

ELABORATI CARTOGRAFICI



AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po

REGIONE, PROVINCIA, COMUNE:

Regione Emilia Romagna
Provincia di Modena
Comune di Concordia sulla Secchia



OGGETTO:

**INTERVENTO DI RIPARAZIONE SISMICA DELL'IMMOBILE
DEMANIALE NON STRUMENTALE IN USO AD A.I.P.O. SITO IN VIA
DELLA PACE 84 IN CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO-E-1281).
COD. C.U.P. B55J14000030002 - C.I.G. ZE710202C0**

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA



REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	DESCRIZIONE
00	Novembre 2015	Dott. Fabio Francesco Picinotti	Dott. Fabio Francesco Picinotti	Emissione

Studio di geologia dott. Fabio Francesco Picinotti

Via Silvio Pellico, 4 - 43125 Parma
Tel. 0521 1686041 - Cell. 338 9661851
mail: fabiopicinotti@yahoo.it



Indice

1.	PREMESSA	1
2.	ANALISI TERRITORIALI	3
2.1	Inquadramento geografico	3
2.2	Inquadramento geologico	4
2.2.1	Assetto geologico generale	4
2.2.2	Assetto geologico dell'area di studio	19
2.2.3	Assetto idrogeologico	31
3.	INDAGINE GEOGNOSTICA	32
3.1	Indagine diretta	32
3.2	Indagini indirette	32
3.3	Caratteristiche litostratimetriche dei terreni investigati	32
3.4	Caratteristiche geomeccaniche	34
4.	CLASSIFICAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA SISMICITA' STORICA	37
4.1	Caratteri strutturali e sismotettonici	37
4.1.1	Zone Sismogenetiche	41
4.2	Pericolosità sismica di base	42
4.2.1	Analisi della sismicità	42
4.3	Risposta sismica locale	53
4.3.1	Amplificazione stratigrafica e topografica	55
4.3.2	Occorrenza di fenomeni di liquefazione	57
5.	CONCLUSIONI	63
6.	BIBLIOGRAFIA	65

Tavole

Tav.1: Inquadramento geografico

Tav.2: Inquadramento geologico

Allegati

Allegato A: Prove Penetrometriche CPTu

Allegato B: Elaborazione prova MASW

Allegato C: Verifiche alla liquefazione

Allegato D: Documentazione fotografica

1. PREMESSA

Il presente studio geologico, redatto su incarico di AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po, è elaborato a supporto del progetto di riparazione sismica dell'immobile demaniale non strumentale in uso ad AIPO sito nel centro abitato di Concordia in Via della Pace, 84 lesionato in seguito agli eventi sismici del maggio 2012.

Lo studio si pone lo scopo di verificare l'assetto morfologico e litostratigrafico dei luoghi e di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione, al fine di indirizzare i futuri interventi strutturali attraverso la determinazione delle condizioni di fattibilità geologica e sismica del sito, nonché di definire le condizioni più idonee dei futuri interventi in rapporto alla natura dei terreni presenti.

Lo studio è stato condotto in osservanza alla normativa vigente in materia:

- Decreto Ministeriale 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" che ricomprende:
 - Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri n°3274 del 20/03/2003;
 - D.M. 21/01/1981, attuativo della Legge 64/1974, e successive modifiche ed integrazioni (D.M. 11/03/1988 e Circ.LL.PP. n°30483 del 24/09/1988 "Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988");
- Legge regionale 30 ottobre 2008, n°19 "Norme per la riduzione del rischio sismico".
- Circolare 617 del 02/2/09 (G.U. n.47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008").

Allo scopo di accertare la caratterizzazione geomeccanica dei terreni costituenti il sottosuolo, sono state appositamente realizzate specifiche e mirate indagini geognostiche dirette ed indirette, come previsto dalla citata normativa vigente in materia.

Le considerazioni espresse, illustrate in seguito, emergono pertanto dalla sintesi delle seguenti acquisizioni:

- ricerca bibliografica di dati relativi all'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismotettonico generale e locale;
- caratterizzazione litostratigrafica e geomeccanica dei terreni del sedime attraverso l'esecuzione di indagini dirette sul lotto di interesse.
- caratterizzazione sismica attraverso l'utilizzo dei risultati di specifica indagine geofisica.

Al fine specifico della presente relazione sono state effettuate le seguenti indagini geognostiche:

- indagini dirette eseguite allo scopo di accertare la caratterizzazione stratigrafica e geomeccanica:
 - n. 1 prova penetrometrica con piezocono sismico tipo SCPTU spinte fino alla profondità di 20,0 m da p.c.
- indagini indirette, al fine di valutare la risposta sismica locale semplificata attraverso la determinazione della categoria di suolo ai sensi del cap. 3.2.2 Tab 3.2.II del D.M. 14 gennaio 2008:
 - n. 1 stendimento geofisico tipo MASW;

La relazione si compone di una prima parte caratterizzata dalla sintetica esposizione delle principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche generali del territorio in esame e da una seconda parte invece in cui si affrontano più dettagliatamente le caratteristiche fisico-meccaniche peculiari dei terreni coinvolti direttamente dall'intervento in progetto, elaborate in riferimento alle risultanze delle indagini geognostiche specificatamente effettuate.

2. ANALISI TERRITORIALI

2.1 Inquadramento geografico

Gli interventi in progetto sono relativi all'edificio sito in Via della Pace 84 nella porzione più occidentale dell'abitato di Concordia sulla Secchia; la quota è di circa 20 m s.l.m. (Fig. 1 e Tavola 1). Si tratta di un'area urbanizzata sub-pianeggiante, posta al piede dell'argine del fiume Secchia. Dal punto di vista cartografico è ricompresa nella sezione 183080 della Carta Tecnica Regionale dell'Emilia Romagna alla scala 1:10.000. Il territorio in esame appartiene alla bassa pianura modenese a Sud del Fiume Po.



Fig. 1 – Ubicazione del sito di studio

2.2 Inquadramento geologico

2.2.1 Assetto geologico generale

La strutturazione fisica e paesaggistica della pianura modenese ha seguito le sorti del bacino padano, nel corso della sua storia evolutiva.

La Pianura Padana è un bacino sedimentario compreso tra l'Appennino Settentrionale e le Alpi Meridionali in cui i sedimenti più recenti, in prevalenza olocenici, ricoprono terreni complessi dal punto di vista stratigrafico e strutturale.

Il contesto geodinamico è quello collisionale tra due blocchi continentali rappresentati dalla zolla europea, o sardo-corsa, e dalla microplacca Adria o Apula o Adriatico-Padana, inizialmente connessa alla zolla africana, (Boccaletti *et alii*, 1971; Boccaletti & Guazzone, 1972). A partire dall'Eocene medio il processo di sottoscorrimento della placca Adria al di sotto della zolla europea ha via via scomposto i vari domini paleogeografici meso-cenozoici impilando e giustapponendo tra loro in modo complesso le varie successioni stratigrafiche, costruendo così la catena appenninica. La deformazione orogenica si è propagata in direzione dell'Avampaese padano-adriatico. I vari stadi di questa evoluzione sono solitamente raggruppati in fasi principali; tralasciando quelle più antiche che non hanno riscontri evidenti nel substrato della pianura, la tettonica di accrezione dell'Appennino settentrionale, contemporanea all'apertura del Mar Tirreno, interessa a partire dal Messiniano fino al Quaternario le zone esterne della catena e coinvolge l'area padana. Infatti a partire dalla fine del Miocene l'avanzata delle falde appenniniche induce sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano con il formarsi di un bacino subsidente: si sviluppa così al fronte della catena in surrezione l'avanfossa molassica padano-adriatica.

In origine essa costituiva un grande golfo (propaggine occidentale del Mare Adriatico), limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi (Catena montuosa della Jugoslavia). Esso era gradualmente ridotto dalla traslazione verso nord/nord-est dalle falde di ricoprimento tettonico dell'Appennino settentrionale.

Il regime compressivo, instaurato dalle interazioni tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica (e attivo dal Cretaceo ai giorni nostri), comportò in direzione nord-est, un notevole raccorciamento del bacino padano attraverso la deformazione del basamento cristallino, della copertura sedimentaria meso-miocenica e dei terreni in corso di sedimentazione. L'acme deformativo si manifestò principalmente dal Miocene inferiore medio al Pliocene inferiore.

Nell'era quaternaria il regime compressivo si esaurì in modo significativo consentendo ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare il bacino padano conferendo l'attuale assetto e morfologia.

Assetto geologico strutturale della Pianura Padana

Il bacino perisuturale padano è suddivisibile in due domini con differente comportamento cinematico:

- margine padano meridionale caratterizzato da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni e pieghe;
- piattaforma settentrionale (Monoclinale Pedevalpina) debolmente immergente verso sud, il cui settore meridionale situato in posizione assiale depocentrale rispetto al bacino padano medesimo è definito Avanfossa Padana.

Entrambi i suddetti domini sono sepolti da sedimenti marini pliocenici e pleistocenici e da sedimenti continentali pleistocenici ed olocenici (Fig. 2). Le strutture tettoniche presenti nella piattaforma settentrionale e nel margine meridionale, come manifestato dai recenti terremoti, sono sismicamente attive, a testimonianza che il processo orogenetico delle Alpi e degli Appennini è tuttora attivo.

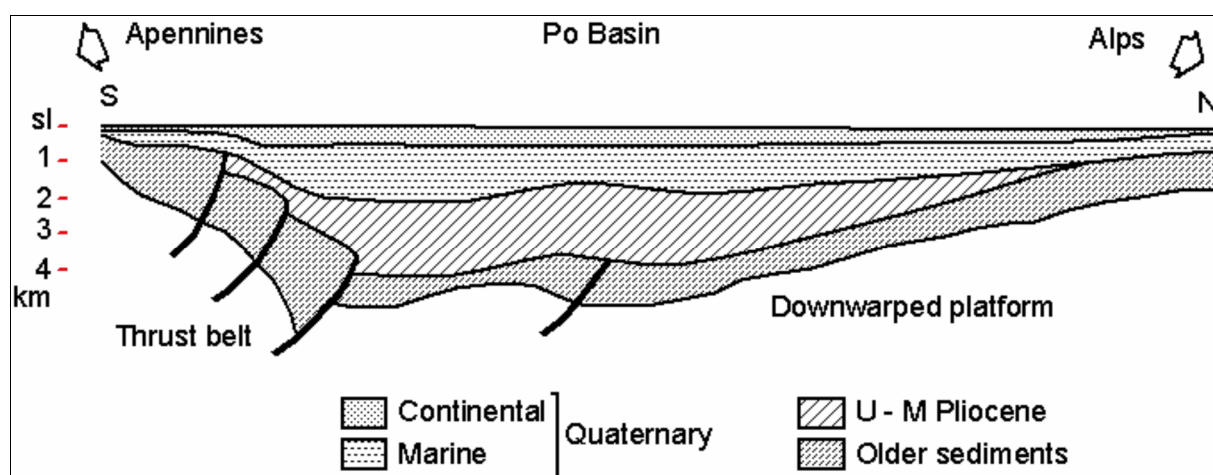


Fig. 2 – Sezione schematica del bacino padano con in evidenza la piattaforma settentrionale (downwarped platform) e il margine meridionale (thrust belt) (Pieri e Groppi 1981, modificato da Ori 1993).

Margine padano meridionale

Il margine padano meridionale è di tipo “complesso” (secondo Ricci Lucchi, 1986), perché interessato da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni, pieghe e bacini che si estendono da est ad ovest interessando per intero la pianura emiliana romagnola (Fig. 3).

In particolare nel sottosuolo antistante il margine morfologico dell’Appennino settentrionale, dal Piemonte meridionale fino al limite orientale della Romagna, seguendo poi l’allineamento Appennini-Mare Adriatico, sono presenti, a livello delle formazioni mesozoiche e mio-plioceniche (sepolte quindi da una più o meno spessa coltre alluvionale quaternaria), due serie principali di thrusts (sovrascorrimenti) a sviluppo sequenziale frontale.

Essi costituiscono due sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico (Fig. 4), formatesi attraverso molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso sud/sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°, che racchiudono un bacino satellite ad esse parallelo.

In letteratura geologica queste zone di scollamento tettonico sono note come External Thrust Front (ETF), sull’allineamento di Cremona - Parma - Reggio Emilia - Correggio (RE) - Mirandola (MO) -

Ferrara e Ravenna, e Pedepenninic Thrust Front (PTF), lungo il margine morfologico dell'Appennino Settentrionale.

Da nord a sud il margine padano meridionale è quindi caratterizzato dalle seguenti strutture:

- 1) External Thrust Front (ETF): alto strutturale (involuppo delle rampe frontali dei thrust sepolti) che esprime la zona di confine tra la Monoclinale pedealpina, (il cui depocentro è l'avanfossa padana) che si apre in direzione nord a partire dal fronte settentrionale dell'alto strutturale medesimo, e la regione "Apennines" (zolla Corso - Sarda) a sud;
- 2) bacino minore o satellite: depressione racchiusa a nord dall'alto strutturale dell'ETF e a sud dalle strutture embricate del PTF; si estende in zona antistante al margine morfologico dell'Appennino emiliano romagnolo con allungamento in direzione ovest/nord-ovest ed est/sud-est, presentandosi con geometrie non costanti che esprimono settori strutturalmente svincolati tra loro in relazione all'andamento planimetrico delle strutture sepolte associate all'External Thrust Front (ETF) e al Pedepenninic Thrust Front (PTF);
- 3) Pedepenninic Thrust Front (PTF); esprime la zona di confine tra il margine morfologico appenninico e il suddetto bacino satellite.

Le suddette strutture sono l'espressione della collisione tettonica tra la microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e la microplacca Adriatica. Le deformazioni e la parziale subduzione della microplacca adriatica sotto quella dell'Arco Appenninico Settentrionale sono causate dalle spinte nord-est vergenti, impresse dal movimento di convergenza tra la zolla africana ed europea a seguito dell'apertura dell'Oceano Atlantico.

L'External Thrust Front è suddiviso in tre margini planimetricamente arcuati, denominati da ovest verso est "Piemonte Folds", "Emilia Folds" e "Ferrara Folds" (Fig. 3). A sud delle "Ferrara Folds", si estendono altri sistemi di thrust, sempre associati al meccanismo di deformazione delle precedenti, noti come "Romagna Folds" e "Adriatico Folds".

L'External Thrust Front è quindi caratterizzato da una serie di strutture ad arco, concave verso sud, che si raccordano in due zone di incrocio (Pavia e Reggio Emilia), dove il fronte appare notevolmente arretrato (Figg. 3/5). Questo assetto strutturale è probabilmente dovuto alla presenza, nella crosta superiore padana, di zone con maggiore rigidità che hanno impedito lo scollamento delle successioni mesozoiche e terziarie dal basamento sottostante, bloccando in tal modo la traslazione verso nord (Bernini e Papani, 1987).

Le principali cause sono imputabili alle manifestazioni magmatiche effusive, subvulcaniche ed epiplutoniche del Paleozoico, Trias medio e Terziario (in parte accertate nei pozzi profondi AGIP), verosimilmente responsabili delle maggiori anomalie magnetiche positive della Pianura Padana.

Le anomalie risultano, infatti, in larga misura coincidenti con le porzioni più arretrate dell'External Thrust Front e delle zone di incrocio fra gli archi. In particolare l'anomalia presente a sud del Lago di Garda, estesa dal Mantovano fino alla pianura parmense e reggiana, corrisponde alla zona di incrocio tra "Emilia Folds" e "Ferrara Folds", mentre l'anomalia presente nella zona di Pavia, estesa

nella pianura pavese e alessandrina, corrisponde alla zona di incrocio tra “Emilia Folds” e “Piemonte Folds”.

Il Pedepenninic Thrust Front è invece costituito da un margine discontinuo, planimetricamente parallelo al limite morfologico dell’Appennino settentrionale, segmentato da faglie trasversali, coincidenti con alcuni dei principali corsi d’acqua (Taro, Enza, Secchia, Panaro ecc.). Si tratta di una serie di thrusts e duplicazioni crostali che hanno determinato il sollevamento e il basculamento dei depositi affioranti nella fascia pedepenninica.

Le faglie trasversali al Pedepenninic Thrust Front sono inoltre all’origine della suddivisione dell’Appennino Settentrionale in settori a differente comportamento tettonico, responsabili altresì della traslazione differenziale dei vari settori dell’Appennino settentrionale come appunto testimoniano le rientranze del margine appenninico tra il F. Taro e il T. Enza e tra i F. Panaro e il F. Reno.

In Fig. 5 è riportato un estratto della “Carta degli elementi tettonici significativi dell’area Padana centro-orientale”; nella pianura modenese e ferrarese l’ETF prende il nome di “Dorsale Ferrarese”.; essa è caratterizzata da un’ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, che corre da Massa Finalese a Mirandola, con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW; in direzione est prosegue poi verso Ferrara e nelle Valli di Comacchio. Essa raggiunge le massime culminazioni proprio tra Novi, S. Possidonio, Mirandola e San Felice nelle strutture di Novi, S. Biagio, Rivara e Camurana (AQUATER-ENEL, 1978; Pieri e Groppi, 1981). La presenza di questa particolare anticlinale ha condizionato, per i movimenti del terreno ad essa connessi e tuttora attivi, la configurazione della rete idrografica naturale: ad esempio, l’alveo del Fiume Po attraversava, sino ad epoche geologiche molto recenti (e forse storiche o preistoriche) il Mirandolese, tanto che alcuni percorsi sono ancora riconoscibili sulle fotografie aeree o in campagna.

La presenza di questa struttura provoca inoltre, la riduzione dello spessore della copertura alluvionale da Nord a Sud; Lungo tale allineamento, e in particolare sulle sue culminazioni lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m) (Fig. 6).

A sud della Dorsale ferrarese il bacino satellite prende il nome di “Bacino di Carpi” o “Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia; questo depocentro, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara.

L’Avanfossa Padana e la Piattaforma Settentrionale (Monoclinale Pedevalpina)

A nord delle pieghe emiliane e ferraresi si estendono in successione l’Avanfossa Padana e la Monoclinale Pedevalpina, interessando interamente la bassa pianura parmense e la pianura lombardo - veneta, fino al margine morfologico Prealpino. Il limite meridionale dell’Avanfossa Padana è rappresentato dall’alto strutturale noto come External Thrust Front (ETF).

L'Avanfossa Padana costituisce la parte depocentrale del Bacino Padano, ove si trovano accumulati, con giacitura pressoché orizzontale, quasi duemila metri di depositi quaternari marini e continentali (Figure 3 e 5).

La Monoclinale Pedevalpina, situata a nord del precedente dominio, è rappresentata invece da una piattaforma generalmente regolare, debolmente immergente verso sud e interrotta solamente da un'estesa anomalia strutturale nota come Sistema Verona - Brescia e da altre secondarie a scala provinciale come le strutture di Piadena, Sanguinetto e Mantova.

Il sistema Verona Brescia si estende nel sottosuolo della pianura lodigiana, bresciana e veronese, a livello delle formazioni mesozoiche e mio-plioceniche (sepolte quindi da una spessa coltre alluvionale quaternaria). E' costituito da una serie di thrusts a sviluppo sequenziale a ritroso, contrapponendosi al sistema strutturale di tipo frontale dell'External Thrust Front e del Pedepenninic Thrust Front, ed è rappresentato da un sistema di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico, formatesi attraverso molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso nord nord/ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

Il sistema Verona - Brescia costituisce quindi un alto strutturale direttamente congiunto con la linea delle Giudicarie (linea di sutura della catena alpina).

Connessa al sistema Verona - Brescia c'è anche la faglia di Verona, situata a nord est dell'omologo centro abitato e impostata circa in corrispondenza del margine morfologico dei M. Lessini. Si tratta di una struttura verticale orientata nord-ovest e sud-est e responsabile dei maggiori rilasci sismici nella storia del bacino padano.

La struttura di Mantova è caratterizzata da un sistema di faglie verticali situate a nord dell'omologo centro abitato e orientate generalmente est-ovest. Esse sono all'origine della formazione del lago di Mantova e del gomito del F. Mincio.

La struttura di Piadena è situata sull'asse dell'omologo centro abitato orientata nord-ovest e sud-est. E' costituita da un thrusts a sviluppo sequenziale frontale, rappresentato da una piega asimmetrica con andamento anticlinalico, formatasi attraverso una faglia inversa, immergente verso sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

La struttura di Sanguinetto è caratterizzata infine da un sistema di faglie verticali situate a cavaliere tra la pianura mantovana e veronese. Esse presentano un'orientazione generalmente nord-ovest e sudest.

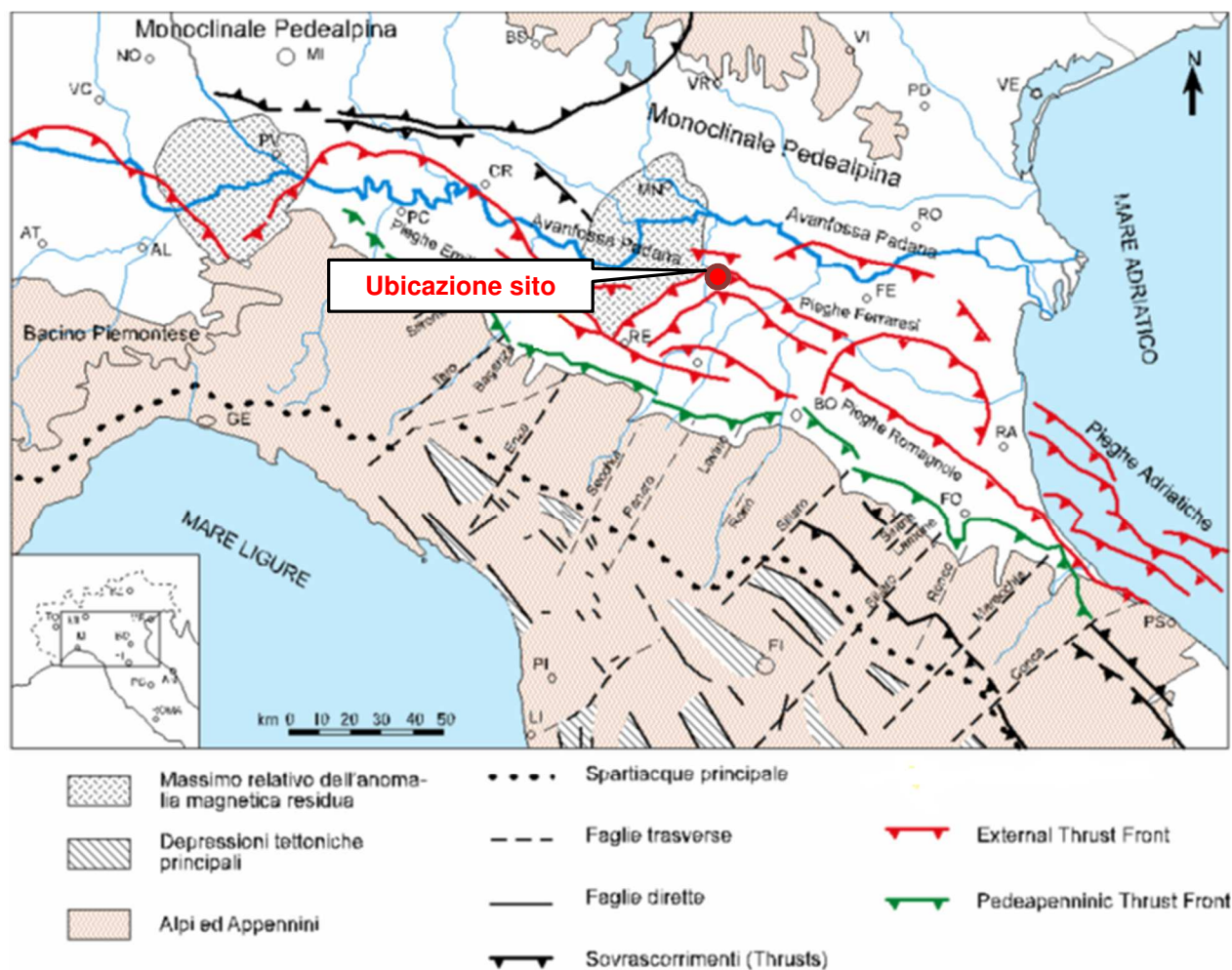


Fig. 3 – Struttura tettonica semplificata dell'Appennino settentrionale e dell'avanzfossa padano-adriatica (AGIP 1983; modificato).

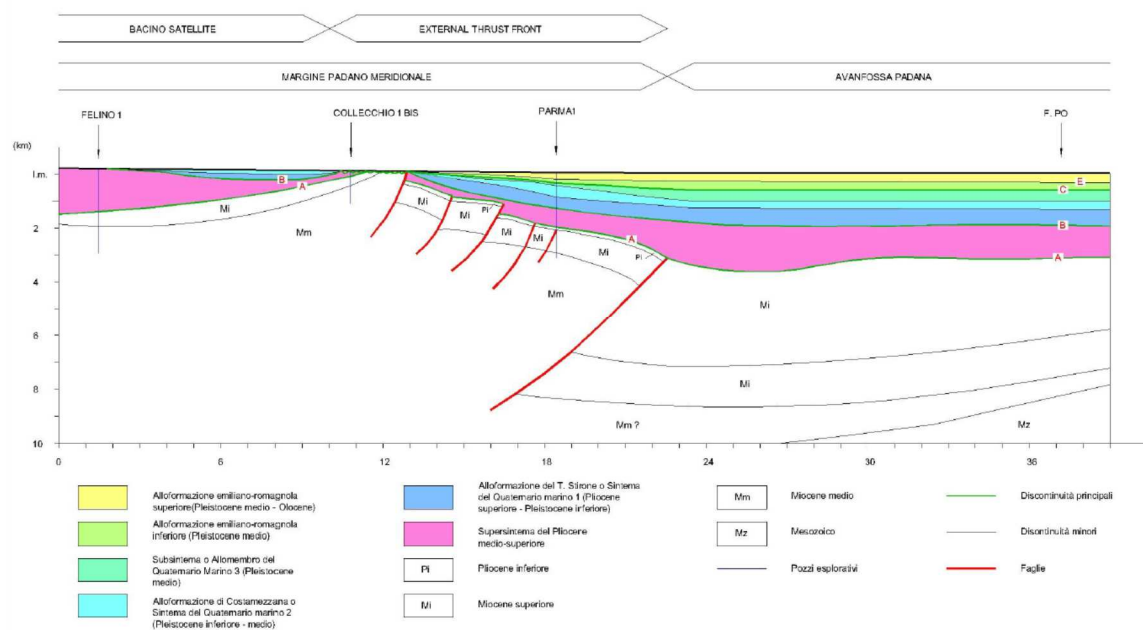


Fig. 4 – Sezione geologica della pianura padana (traccia in Fig. 5) - Pieri e Groppi (1981 - modificato).

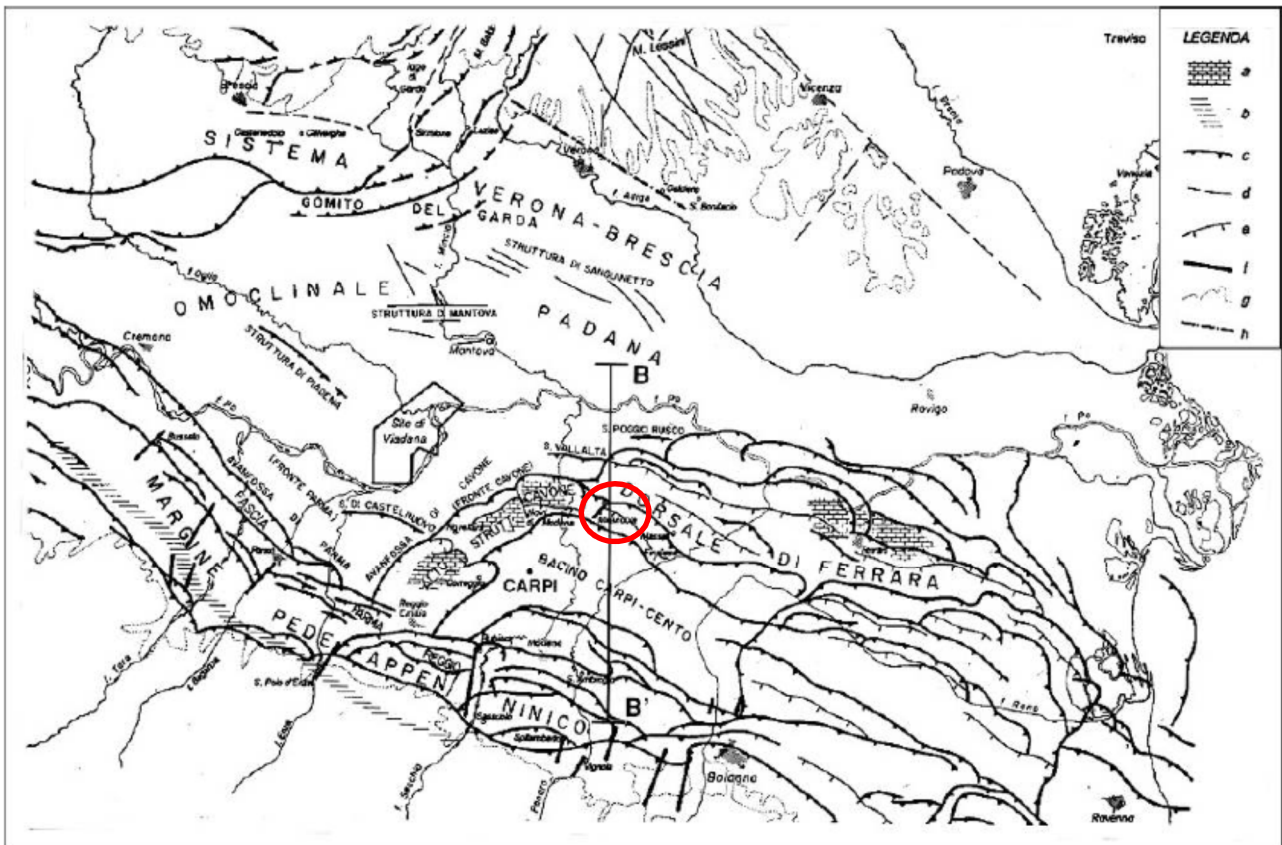


Fig. 5 – Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro orientale (da Serva 1990).
 Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona".

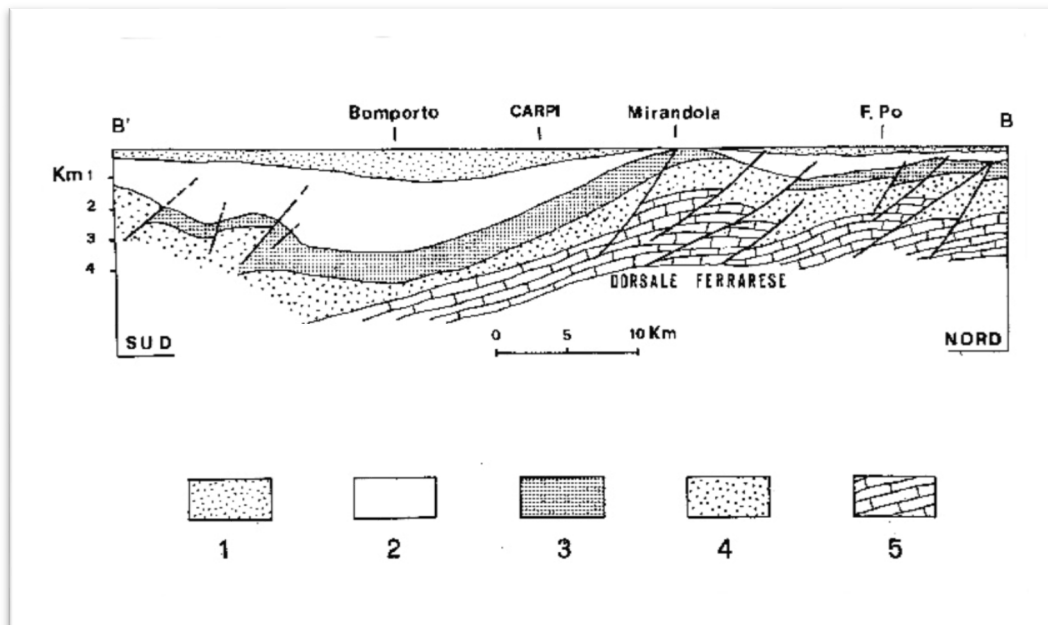


Fig. 6 - Sezione geologica della pianura padana (traccia in Fig. 5) - Pieri (1980).
 Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) Sedimenti marini del Pliocene Superiore e Quaternario; 3) Sedimenti marini del Pliocene Inferiore; 4) Sedimenti marini del Paleocene-Miocene; 5) Formazioni Calcareae Marine del Mesozoico.

Stratigrafia dei depositi del bacino padano

Seguendo lo schema dei rapporti stratigrafici di Dondi (1982), le sezioni geofisiche di Pieri e Groppi (1981) e il panorama geologico del Pedepennino, la copertura sedimentaria, al di sopra del basamento cristallino fino al piano campagna, si compone delle seguenti unità (Figg 4 e 6):

- Successioni carbonatiche di ambiente di piattaforma (Mesozoico): sono sedimentate dal Giurassico – Cretacico inf. fino all'Eocene medio prima della collisione continentale tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica e quindi nel periodo antecedente alla formazione del bacino padano (sondaggio AGIP di Bagnolo in Piano - Reggio Emilia);
- Successioni clastiche arenaceo-marnose (ante-evaporitico): sono sedimentate dall'Eocene superiore al Miocene superiore, prima del periodo Messiniano, ma successivamente alla collisione continentale tra le placche Corso – Sarda ed Adriatica, in fase di neoformazione del bacino padano; nella parte inferiore sono costituite da peliti marnose di ambiente di piattaforma esterna o bacinale, in rapporti eteropici con sedimenti torbiditici più grossolani d'ambiente di conoide sottomarina; nella parte superiore sono invece costituite prevalentemente da marne d'ambiente di piana e conoide sottomarina con intercalazioni d'intervalli marnosi sabbiosi, talora conglomeratici;
- Successioni clastiche messiniane (Miocene Superiore): sono sedimentate in piena crisi di salinità, in fase di forte regressione del mare; nelle zone marginali del bacino sono presenti sedimenti alluvionali costituiti da argille, sabbie ed arenarie e sedimenti di origine chimica costituiti da gessi, evaporiti e calcari solfiferi; nelle zone più interne del bacino padano sono sedimentati invece depositi conglomeratici, arenitici e pelitici di conoide sottomarina e sabbie di piattaforma continentale;
- Successioni clastiche post-messiniane: dopo la fase regressiva marina del Messiniano si ha nel periodo successivo (Pliocene), una fase di trasgressione caratterizzata da una sedimentazione prevalentemente di mare poco profondo; ai margini del bacino padano sedimentano sabbie litorali, mentre nelle parti interne argille e limi; verso la fine del Pliocene a seguito di una fase regressiva del mare l'ambiente deposizionale assume connotati prevalentemente litorali, mentre ai margini del bacino continua la sedimentazione delle sabbie verso le parti più interne, si assiste alla sedimentazione di depositi prevalentemente limosi e argilloso sabbiosi.
- Successioni terrigene marine del Quaternario (Quaternario marino 1-2 in Fig. 4): caratterizzano il Pleistocene inferiore e medio; il livello del mare inizialmente in fase di trasgressione con completa immersione di tutto il bacino padano regredisce con fasi alternanti fino all'altezza della città di Pescara, attualmente in fregio al mare Adriatico; la sedimentazione è caratterizzata da depositi prevalentemente fini, appartenenti ad un ambiente marino relativamente profondo, nella parte inferiore e da sabbie e ghiaie di

ambiente deltizio con, locale, sviluppo di livelli torbosi di ambiente lagunare in quella superiore.

- Successioni terrigene continentali del Quaternario (Alloformazioni inferiore e superiore in Fig. 4): caratterizzano l'arco temporale compreso tra il Pleistocene medio - superiore e l'attuale; sono suddivisibili in un'unità inferiore e in un'unità superiore; l'unità inferiore basale è costituita da depositi alluvionali prevalentemente fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi nastriformi, riferibili ad antichi paleoalvei fluviali, dotati di limitata continuità laterale, e da un'unità superiore; l'unità superiore comprende, invece, i sistemi di conoide alluvionale nella zona antistante ai rilievi appenninici ed alpini e i sistemi fluvio-deltizi lungo la fascia del Po.

Evoluzione del bacino

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale è il risultato di eventi tettonico-sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e attività ridotta delle strutture compressive.

Gli effetti dei movimenti verso Nord – Est delle falde appenniniche sono rilevabili alla scala dell'intero bacino sedimentario. In particolare si possono osservare i seguenti fenomeni:

- sollevamenti regionali che coinvolgono principalmente le zone del margine meridionale del bacino peri-suturale padano;
- la modificazione delle geometrie del bacino e delle condizioni di sedimentazione;
- la segmentazione della zona di margine bacinale per mezzo di faglie e superfici di scorrimento;
- la formazione di superfici di erosione, con estensione regionale, sui margini del bacino e sulle strutture ora sepolte (dorsale ferrarese);
- la migrazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina - Piana Bacinale (TSB) e conseguentemente quella del depocentro bacinale. La TSB è definita in sismica come il punto in cui i riflettori clinoformi della scarpata sottomarina si raccordano alla base con i riflettori piano-paralleli della piana bacinale. Generalmente corrisponde con il margine del bacino (Fig. 8).

Nell'intervallo tra un evento tettonico di sollevamento regionale e quello successivo, la TSB rimane bloccata sul fronte dell'arco strutturale, posto al margine del bacino marino, che separa le due zone del cuneo di accrezione che presentano la maggiore subsidenza differenziale.

Durante ogni evento tettonico regionale si assiste al sollevamento dei margini del bacino (soprattutto del margine meridionale, appenninico) e, contemporaneamente, allo spostamento della massima subsidenza differenziale sul fronte di un arco strutturale più avanzato.

La TSB può allora progradare rapidamente fino a raggiungere il nuovo fronte maggiormente attivo. Così si assiste contemporaneamente alla formazione della superficie di discontinuità erosiva sui margini e allo sviluppo di un prisma fluvio-deltizio progradante nella zona compresa tra i due fronti strutturali (Fig. 11). Tutto ciò può essere sintetizzato con il termine "regressione (o progradazione) forzata".

Concluso l'evento tettonico con la regressione forzata, si instaura un regime di subsidenza generalizzato che porta all'ampliamento delle aree deposizionali sui margini del bacino.

All'interno del bacino perisuturale padano in neoformazione possono essere distinte le seguenti classi di sistemi deposizionali:

- piana alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po);
- conoide alluvionale e piana alluvionale ad alimentazione alpina e appenninica;
- delta ad alimentazione assiale (paleo-Po), alpina e appenninica;
- delta conoide alpino e appenninico;
- piana costiera;
- piattaforma sommersa;
- scarpata sottomarina;
- piana bacinale.

L'organizzazione verticale delle facies all'interno delle prime quattro classi di sistemi deposizionali, ed in particolare nei sistemi di piana alluvionale, di conoide alluvionale e nei sistemi deltizi, è invariabilmente costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine. Molte volte è possibile distinguere una gerarchia di spessori, con insiemi di cicli di rango inferiore spessi alcuni metri che costituiscono cicli di rango superiore, spessi alcune decine di metri.

Si può ipotizzare che tali unità cicliche rappresentino fasi sedimentarie di alta energia alternate a fasi di bassa energia dovute rispettivamente all'attivazione e alla disattivazione dei sistemi deposizionali.

Queste fasi sembrerebbero controllate dalle oscillazioni climatico - eustatiche sviluppate alla scala dei 20 e dei 100 ka, per i cicli di rango inferiore e superiore rispettivamente (G. Di Dio, 1996; Di Dio & Valloni, 1997). In tal senso questi ultimi si configurano come Sequenze Deposizionali Elementari e rappresentano i mattoni con cui si costruiscono le Sequenze di ordine gerarchico superiore.

Nel sottosuolo dell'Emilia-Romagna, il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non avvengono in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Come già visto pocanzi nelle fasi di attività tettonica si hanno i seguenti effetti:

- sollevamenti regionali che coinvolgono principalmente le zone di margine del bacino;
- la modificazione delle geometrie del bacino e delle condizioni di sedimentazione;
- la segmentazione della zona di margine bacinale per mezzo di faglie e superfici di scorrimento;
- la formazione di superfici di erosione, con estensione regionale, sui margini del bacino e sulle strutture sepolte;
- la migrazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina - Piana Bacinale (TSB) e conseguentemente quella del depocentro bacinale.

Nell'intervallo di tempo tra un evento tettonico di sollevamento regionale e quello successivo si assistono invece ad importanti fenomeni di subsidenza con notevole sviluppo della sedimentazione, soprattutto per progradazione dei prismi di accrezione, in corrispondenza dei margini di bacino (Fig. 11).

A partire dal Messiniano cessano quasi completamente i movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo si registra un sensibile spostamento verso Nord – Est del fronte dell'Appennino settentrionale e si struttura il bacino Padano, inteso come l'ultimo di una lunga serie di bacini perisuturali che si sono succeduti durante l'orogenesi appenninica (Macigno, Marnoso Arenacea ecc.) a seguito della collisione tra la placca sardo corsa e quella adriatica. Da questo momento le geometrie deposizionali del neoformato bacino Padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini.

Il margine meridionale del bacino Padano, a ridosso del fronte appenninico, risente in modo consistente di tali movimenti. Il margine settentrionale (monoclinale pedealpina) risente invece in modo più blando di quanto succede nel bacino. I movimenti sono registrati da superfici di erosione arealmente anche molto estese, dalla riattivazione delle strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati ai movimenti eustatici.

La complessa evoluzione del Bacino Perisuturale Padano, nelle età che vanno dal Pliocene inferiore all'attuale, può essere riassunta in sette fasi salienti (Di Dio et. al. 1998):

1) Zancleano superiore – Piacenziano inferiore (da -3,9 a -3,6 - 3,3 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale (evento medio pliocenico), ovvero la strutturazione del settore piacentino delle pieghe emiliane (ETF), provoca un'importantissima regressione forzata nell'area piemontese sud-orientale e la rapida progradazione della Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB1 Figura 8) fin sul fronte dell'allineamento strutturale Rivergaro - Salsomaggiore, lasciando alle spalle (Provincia di Piacenza e Pavia) un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Figura 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (Linea A in Fig. 4 e 7). In Provincia di Modena si assiste invece alla sedimentazione

delle Argille Azzurre o Argille di Lugagnano ampiamente affioranti lungo il margine appenninico (Figura 9). A partire dall'evento medio pliocenico non è più individuabile un unico bacino di avanfossa continuo al fronte del margine appenninico e la deposizione torbiditica avviene al fronte delle pieghe emiliane e ferraresi (Formazione di Porto Garibaldi).

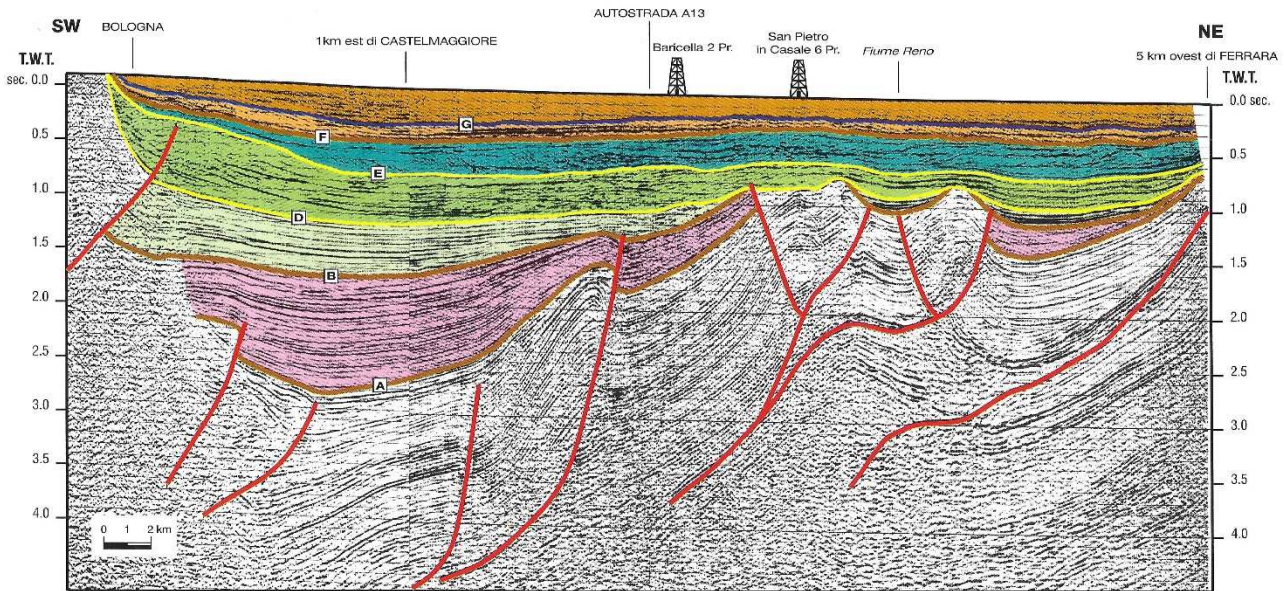


Fig. 7 – Profilo sismico Interpretato della Pianura Emiliana (G. Di Dio 1998)

2) Piacenziano – Gelasiano inferiore (da -3,6 - 3,3 a -2,4 Ma). Subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione e un ampliamento delle aree deposizionali sulla superficie di erosione, formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Depositi deltizi e costieri, di provenienza appenninica, si sviluppano sulla superficie di discontinuità originando il Supersistema del Pliocene medio-superiore affiorante nel territorio di Piacenza Provincia. In Provincia di Modena prosegue ancora la sedimentazione delle Argille marine di piattaforma e bacino.

3) Gelasiano inferiore – Pleistocene inferiore (da -2,4 a -1,6 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale che provoca un'importante regressione forzata nell'area emiliana; si attiva definitivamente il sistema delle pieghe emiliane (ETF). La Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB2 in Fig. 8) prograda rapidamente fin sul fronte dell'allineamento strutturale Cortemaggiore - Fontevivo - Reggio Emilia - Modena - Somaglia – Castrocara (attuale External Thrust Front - ETF), lasciando alle spalle un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Figura 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (linea B, Figg. 4 e 7). In Provincia di Modena si chiude la sedimentazione delle Argille marine (Argille Azzurre) attraverso la suddetta superficie subaerea (linea B) per poi iniziare con contatto basale netto e discordante la sedimentazione dell'Sistema del T.Stirone.

4) Pleistocene inferiore – Pleistocene medio (da -1,6 a -0,8 Ma). Subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione e un ampliamento delle aree deposizionali sulla superficie di erosione formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Depositi fluvio-deltizi, marino-marginali e di piattaforma, di provenienza appenninica ed alpina, danno origine Sintema del T. Stirone e al Sintema di Costamezzana (Quaternario marino 1-2). La superficie erosiva di separazione (contatto netto e discordante) tra il Sintema del T. Stirone e il Sintema di Costamezzana è contrassegnata da una ridotta fase sintettonica risalente a circa 1,2 Ma fa. L'alternanza di facies fini e grossolane all'interno dei due Sintemi rappresentano probabilmente fasi di avanzamento e ritiro dei sistemi deposizionali, in risposta alle oscillazioni climatico eustatiche, sviluppate alla scala 20-40Ka. In alcune zone centrali e marginali continua la sedimentazione delle Argille marine. La dorsale ferrarese rimane emersa e verrà sepolta solo dai depositi alluvionali continentali. Nel piemontese e nelle zone prealpine in questo periodo si è già passati alla sedimentazione continentale, con depositi fluvio lacustri sabbiosi e conoidi ghiaiose (Diluvium antico o Villafranchiano).

5) Pleistocene medio (da -0,9 a -0,8 Ma). Evento tettonico di sollevamento regionale che provoca la più importante regressione forzata del margine padano. La Zona di Transizione Scarpata sottomarina – Piana Bacinale (TSB3 Fig. 8) prograda rapidamente fin sul fronte dell'allineamento strutturale noto come "Dorsale Ferrarese", lasciando alle spalle un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante (Fig. 11), sormontato sul Margine da un'estesa superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione (linea C in Figg. 4 e 7).

6) Pleistocene medio (da -0,80 a -0,45 Ma, Fig. 10). Forte subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa inducono una rapida aggradazione sedimentaria e la contemporanea trasgressione della superficie di erosione formatasi in precedenza sul Margine Appenninico Padano. Inizialmente le aree che erano in condizione emersa sono di nuovo invase dalla trasgressione marina. Se al rapido innalzamento relativo del livello del mare si unisce la riduzione di apporto di materiale grossolano (ghiaia e sabbia) da parte dei fiumi, si ha come risultato la deposizione di sedimenti fini (argilla) su gran parte del bacino. La riduzione di apporto di materiale grossolano da parte dei fiumi è legata al fattore climatico: precipitazioni ridotte, tipiche di un interglaciale, cui si somma un aumento della vegetazione che riduce l'erosione dei versanti, determinano una ridotta energia da parte dei fiumi e un ridotto apporto di materiale grossolano in bacino. A questa serie di fattori occorre aggiungere anche l'arretramento dei punti di sbocco dei sistemi fluvio-deltizi causato dalla trasgressione. Successivamente alla fase di trasgressione i delta-conoidi alpini a Nord e quelli appenninici a Sud si uniscono con il sistema fluvio-deltizio centro padano, portando al riempimento definitivo del bacino marino. Verso la fine di questo periodo si verifica un evento minore di sollevamento delle strutture compressive appenniniche (in particolare ETF); esso è registrato in

affioramento da una superficie di discontinuità erosiva, che, solitamente, separa i depositi di piana alluvionale e conoide distale, citati in precedenza, dai depositi di conoide prossimale sovrastanti (Linea D in Figg. 4 e 7). Tale superficie, tracciata in sismica, risulta particolarmente evidente in corrispondenza dei principali fronti strutturali sepolti.



Fig. 8 – Fasi di migrazione della Transizione Scarpata Sottomarina – Piana Bacinale dal Pliocene medio al Pleistocene medio. In rosso l'area di interesse. (G. Di Dio 1998). In rosso l'ubicazione del sito

7) Pleistocene medio - attuale (da -0,45 all'attuale). Prosegue la forte subsidenza bacinale e la quiescenza tettonica relativa dello stadio evolutivo precedente. Nell'intervallo tra circa 200.000 e circa 100.000 anni fa, l'ampliamento delle aree deposizionali raggiunge la massima espansione sulle superfici di erosione del Margine. Il Margine Sudalpino del bacino è caratterizzato dalla presenza di depositi fluviali grossolani con intercalati paleosuoli con differenti tipi di alterazione. La sedimentazione nettamente continentale è influenzata da frequenti variazioni climatiche che portano poderosi apparati glaciali fino ad affacciarsi in pianura. La ridistribuzione dei depositi glaciali nelle valli fluviali porta all'accumulo di livelli fino a decametrici di ghiaie. L'alternanza con climi più miti è registrata dalla frequente presenza di paleosuoli intercalati. Deposit di conoide alluvionale, appartenenti a questa fase, affiorano in modo continuo lungo tutto il Margine Appenninico (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore) ed alpino (Litozona Ghiaioso-sabbiosa superiore); depositi di piana alluvionale, deltizi e costieri, coevi dei precedenti, aggradano nelle aree di pianura attuali. Successivamente, in corrispondenza delle strutture del Margine, si verificano sollevamenti tettonici

minori con spostamenti significativi verso valle delle cerniere strutturali che causano la fine della trasgressione e l'inizio del terrazzamento alluvionale.

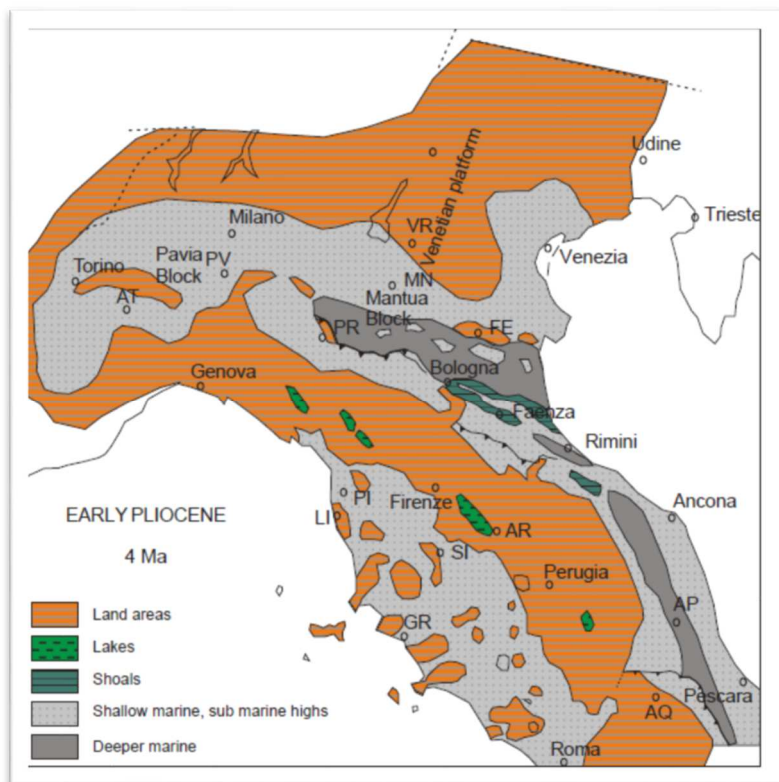


Fig. 9 – Ricostruzione paleogeografica al Pliocene Inferiore

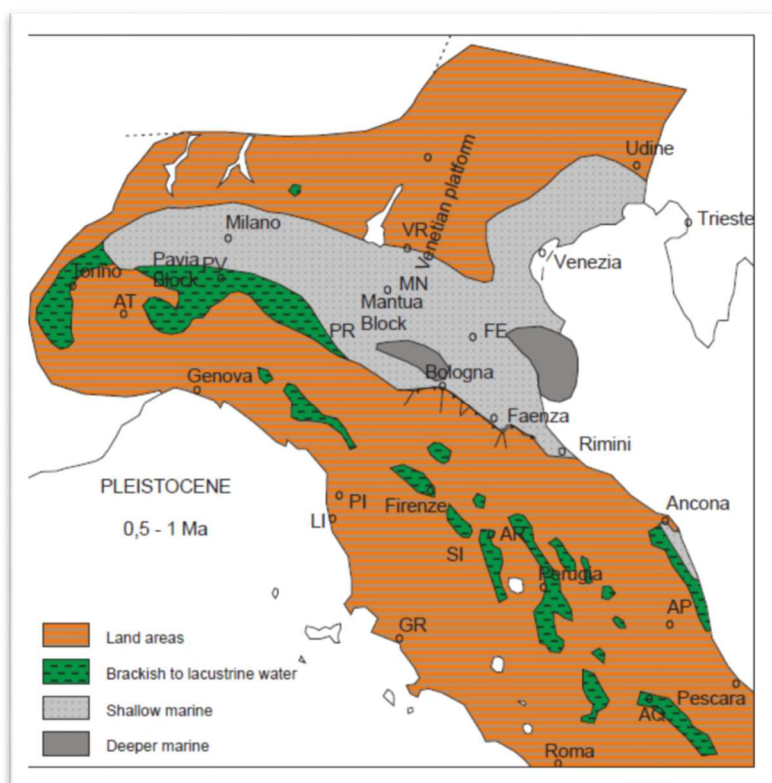


Fig. 10 – Ricostruzione paleogeografica al Pleistocene (0,5-1 Ma)

2.2.2 Assetto geologico dell'area di studio

Come già enunciato nei paragrafi precedenti i terreni che costituiscono il suolo e il sottosuolo del territorio comunale di Concordia appartengono ad una potente successione terrigena del Quaternario, suddivisibile, in senso stratigrafico, in un'unità inferiore d'ambiente marino (Supersistema Quaternario Marino) e in un'unità superiore (affiorante) d'ambiente continentale (Supersistema Emiliano-Romagnolo).

In riferimento a quanto desunto dai tecnici del Servizio cartografico e geologico della Regione Emilia Romagna, i sedimenti di origine marina si sono depositi a partire dall'inizio del Pleistocene inferiore (Santerniano 1,6 MA BP) fino a circa 800.000 (inizio del Pleistocene medio).

Nel suo complesso il Supersistema Quaternario Marino corrisponde ad una fase di rapida progradazione da Ovest verso Est dei sistemi deposizionali padani (sistemi di scarpata, di piattaforma, transizionali e quindi continentali in Fig. 11), progradazione che determina il rapido colmamento dei bacini profondi a sedimentazione torbidity ancora presenti nella parte orientale e Nordorientale dell'Emilia Romagna.

La generale evoluzione regressiva del gruppo è interrotta, con la deposizione di argille grigie marine di piattaforma, da almeno un'importante fase di rapida trasgressione.

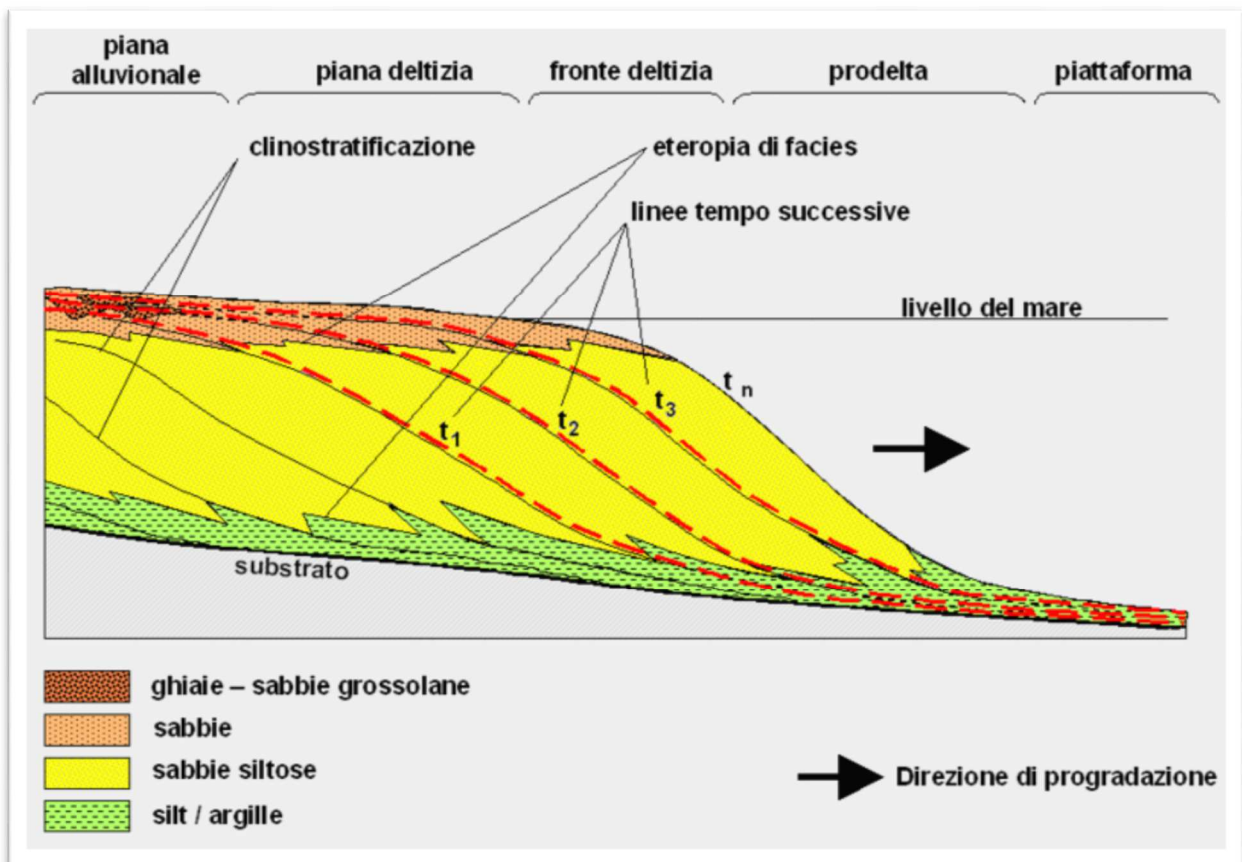


Fig. 11 – Sistema deltizio progradante

Di seguito viene fornita una rapida descrizione del Supersistema Quaternario Marino, mentre verrà trattato con maggior dettaglio il Supersistema Emiliano Romagnolo che, essendo affiorante, comprende i terreni investigati nel presente lavoro.

Supersistema Quaternario marino

La successione del supersistema Quaternario Marino è inquadrabile in un contesto geodinamico compressivo, caratterizzato da un bacino sedimentario tettonicamente attivo, sui margini del quale si sviluppano sistemi deposizionali fluvio-deltizi (Fig. 11) dominati sia dal moto ondoso sia dai processi di piena fluviale (Mutti *et alii*, 1996).

La base del supersistema Quaternario Marino è definita da una marcata superficie subaerea d'erosione e/o non deposizione che testimonia un evento tettonico regionale di sollevamento e basculamento del margine meridionale del Bacino Padano. Tale evento provoca un'importante regressione forzata in tutta l'area emiliana (Di Dio *et alii*, 1997a, b) e una notevole migrazione verso NE del margine appenninico.

Immediatamente al di sopra della superficie basale, in numerosi pozzi AGIP esaminati e in diverse località in affioramento, si rinviene un livello guida ricco in bioclasti noto nell'ambito della ricerca petrolifera e in letteratura con il nome di "calcarenite o crostone fossilifero". Esso è interpretabile come deposito di spiaggia residuale che registra la rapida trasgressione della linea di costa avvenuta durante la fase di subsidenza tettonica immediatamente successiva al sollevamento regionale. Al di sopra della superficie di inconformità basale e del "crostone fossilifero" si sviluppa una successione sedimentaria aggradante, costituita inferiormente (ATSa) da depositi prevalentemente fini, di piattaforma, fronte deltizio e prodelta e superiormente (ATSb, CMZ) da depositi marino-marginali e fluvio-deltizi organizzati secondo alternanze cicliche di facies fini e grossolane. Questi cicli fine-grossolano (Sequenze Deposizionali Elementari Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) rappresentano probabilmente fasi di avanzamento (attivazione) e ritiro (disattivazione) dei sistemi deposizionali in risposta alle oscillazioni climatico-eustatiche, sviluppate alla scala dei 20-40 ka.

Le unità che compongono questo supersistema nell'area sono comprese fra il Pliocene Superiore e il Pleistocene Inferiore. A scala regionale l'unità si estende al Pleistocene Medio (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Supersistema Emiliano Romagnolo

Il supersistema Emiliano-Romagnolo, definito da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi *et alii*, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Il limite inferiore del supersistema Emiliano-Romagnolo affiora solamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi dove è fortemente discordante sui depositi marini del Pleistocene Medio e mio-pliocenici.

Questa discordanza angolare si realizza anche nel sottosuolo in prossimità del margine appenninico ed è espressa dal contatto netto fra i depositi fluvio-deltizi alla base del supersintema e i depositi sabbioso-ghiaiosi litorali e di delta-conoide riferiti al tetto del Supersintema del Quaternario marino. Il limite superiore coincide col piano topografico.

L'età è compresa tra il Pleistocene Medio - Olocene (~ 650.000 anni BP – Attuale; Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Questa unità comprende due sintemi distinti (sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES) che sono stati riconosciuti e tracciati anche nelle porzioni di sottosuolo (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998; Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000: Foglio 199 Parma Sud e Foglio 200 Reggio Emilia).

Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI)

Si tratta di un'unità deposta in ambienti sedimentari di piana alluvionale, bacino interfluviale e conoide distale. È costituita da depositi prevalentemente limosi e limoso argillosi, di colore tipicamente grigio azzurrognolo, nei quali si intercalano livelli ghiaiosi che, in corrispondenza dei paleo-apparati fluviali principali, possono diventare localmente preponderanti. Le litofacies fini si ritrovano solitamente in banchi, spessi alcuni metri, massivi o con stratificazione piano parallela debolmente espressa, intervallati da strati decimetrici più argillosi e di colore scuro. Sono frequenti i livelli ricchi in sostanza organica (prevalentemente resti vegetali) e con presenza di malacofaune di ambiente continentale.

Il contatto di base con i depositi del supersintema Quaternario Marino è netto o erosivo e discordante. In corrispondenza della zona di alto strutturale AEI è quasi sempre completamente erosa, mentre a nord si "riapre" arrivando a raggiungere, gli spessori massimi. Età: Pleistocene Medio. L'unità si è deposta nell'intervallo compreso fra circa 650.000 e 350-450.000 anni B.P. (Regione Emilia Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)

Questa unità costituisce la porzione superiore del supersintema Emiliano- Romagnolo.

Si tratta di un'unità alluvionale, terrazzata, costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati), passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide. Sedimenti grossolani e fini sono presenti nella alta pianura, mentre depositi prevalentemente fini si osservano nella media pianura. Il limite inferiore è inconforme nelle porzioni affioranti e nell'alta pianura (dubitativamente inconforme nelle porzioni sepolte della media pianura). Il sintema Emiliano-Romagnolo Superiore risulta suddivisibile in quattro subsintemi, affioranti a quote progressivamente decrescenti lungo il margine appenninico; in ordine crescente di età:

- subsintema di Ravenna, AES8
- subsintema di Villa Verucchio, AES7

- subsintema di Agazzano, AES3
- subsintema di Maiatico, AES2

La sedimentazione del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore prende inizio al termine di un evento minore, ancorché regionale, di sollevamento delle strutture compressive appenniniche, registrato in affioramento da una superficie di discontinuità erosiva. Tale superficie, riconoscibile anche nei profili sismici, risulta particolarmente evidente in corrispondenza dei principali fronti strutturali sepolti (Di Dio *et alii*, 1997a, b).

Nel sottosuolo della pianura AES è costituito dalla sovrapposizione di cicli deposizionali di diverso ordine gerarchico. I cicli riconoscibili con maggior chiarezza hanno uno spessore di varie decine di metri e risultano generalmente organizzati verticalmente in sequenze *coarsening-upward* (CU) e in sequenze *fining-upward/coarsening upward* (FU/CU), entrambe caratterizzate da un'evoluzione di tipo trasgressivo-regressivo (T-R).

La porzione trasgressiva basale di ciascun ciclo è spesso caratterizzata dalla presenza di argille organiche di piana alluvionale, palude e piana costiera. Queste poggiano con un contatto generalmente netto sui depositi sabbiosi fluviali e deltizi del ciclo sottostante. Il limite inferiore di ognuno di questi cicli rappresenta una superficie di disattivazione della sedimentazione grossolana ed è riconoscibile nel sottosuolo come un forte contrasto di facies.

La porzione regressiva di ciascun ciclo consiste di depositi di piana alluvionale costituiti da sedimenti fini di tracimazione fluviale in cui le sabbie di canale fluviale sono subordinate e presenti solo come corpi lenticolari isolati. Al tetto del ciclo le sabbie di canale fluviale si fanno più abbondanti fino a formare corpi compositi e lateralmente estesi in tutto il sottosuolo del Foglio.

Sulla base dei caratteri trasgressivo-regressivi dei cicli deposizionali riconosciuti nel sottosuolo, della loro durata temporale e della loro estensione a scala regionale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) essi sono considerati il prodotto della ciclicità climatico-eustatica di quarto ordine. Nei settori intravallivi e pedecollinari di varie zone dell'Emilia-Romagna AES è suddiviso in subsintemi (AES2-8), ognuno dei quali è costituito da depositi alluvionali di un singolo terrazzo o di un gruppo di terrazzi, separati da quelli immediatamente sopra e sottostanti da scarpate di erosione particolarmente ampie, che delimitano depositi geometricamente discordanti tra loro. La superficie sommitale affiorante dei diversi subsintemi è caratterizzata da uno specifico grado di alterazione dei suoli.

Sulla base della prosecuzione fisica e/o geometrica dei corpi ghiaiosi di terrazzo e di conoide alluvionale, i 3 subsintemi più recenti (AES3, AES7, AES8) sono stati correlati con i 3 cicli deposizionali più superficiali riconosciuti all'interno di AES nel sottosuolo della pianura. Questi tre cicli sono quelli meglio definiti a scala regionale dato il numero relativamente alto di pozzi che li attraversano, compresi diversi carotaggi appositamente eseguiti per la cartografia geologica.

Nei depositi sepolti di AES al di sotto dei primi 3 cicli/subsintemi sono presenti altri 2 cicli deposizionali che tuttavia, diversamente da quelli già illustrati, sono conosciuti in modo più

approssimativo dato il numero esiguo di informazioni geognostiche disponibili e pertanto sono stati attribuiti ad AES indifferenziato. Nella pianura modenese lo spessore di AES varia da circa 300 m nei pressi di Nonantola (“Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia”) fino a circa 70-50 m presso Mirandola, in corrispondenza della culminazione strutturale delle pieghe ferraresi. L’Età è Pleistocene Medio - Olocene (per posizione stratigrafica). In Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), la base dell’unità è datata a circa 450-350 mila anni.

Assetto geomorfologico e litologia di superficie

I depositi che contraddistinguono il paesaggio del territorio comunale di Concordia appartengono al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, ed in particolare al Subsystema di Ravenna. Entrambi sono stati depositi dai fiumi e dai torrenti che, a partire dal Pleistocene Medio solcavano la Pianura Padana. Tale unità è caratterizzata da due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, originata dal Fiume Po; la seconda, trasversale, nord/est-vergente, originata dai sistemi di alimentazione appenninica.

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

1. pianura alluvionale ad alimentazione appenninica;
2. pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleoPo).

I suddetti sistemi deposizionali, in profondità si presentano interdigitati tra loro in relazione al tasso di apporto sedimentario, alle oscillazioni eustatiche del livello marino e alle fasi di attività e stasi tettonica, che nel corso del riempimento del bacino padano hanno determinato la continua variazione del depocentro bacinale.

Sistema deposizionale della Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica

In generale il modello di pianura alluvionale caratteristico di tutta la media e bassa pianura emiliano-romagnola interessata da fiumi e torrenti appenninici è abbastanza semplice: prima dei massicci interventi di regimazione idraulica che hanno portato alla costruzione degli argini artificiali, la dinamica della zona era caratterizzata da frequenti modifiche e divagazioni degli alvei fluviali, dovute alle ricorrenti rotte e tracimazioni dei corsi d’acqua, che scorrevano pensili rispetto alla piana circostante in alvei formati dalla naturale azione di deposito degli stessi.

Nel caso di rotte e tracimazioni le acque inondavano i territori adiacenti l’alveo, depositando sedimenti più grossolani (es. sabbie e sabbie limose) nelle vicinanze dello stesso e sedimenti più fini al diminuire della capacità di trasporto. L’azione di deposito così descritta provocava un graduale accrescimento dell’area, con un innalzamento progressivo del canale rispetto alle zone circostanti, dove invece arrivavano acque di esondazione a carico solido già ridotto sia quantitativamente che granulometricamente. Inevitabilmente e per svariate cause il corso d’acqua poteva ad un certo punto

abbandonare il proprio alveo per un tracciato impostato in aree più depresse, per poi ricominciare l'innalzamento di un nuovo edificio pensile ecc..

Secondo questo modello, schematizzato in Fig. 12, l'accrezione della pianura avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente, a causa di continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione.

La pianura risulta dunque costituita da un intrecciarsi di lenti a tessitura prevalentemente sabbiosa, corrispondenti a corpi d'alveo sepolti, e da sedimenti fini (limi ed argille) determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

Il modello descritto è confermato, oltre che dalla distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, dall'assetto morfologico della pianura.

Lo spessore delle unità sedimentarie riconosciute sul territorio risulta molto variabile, essendo funzione della maturità delle forme, delle dimensioni del canale fluviale e di quelle del relativo bacino idrografico, caratteristiche che condizionano la dinamica idromorfologica del fiume e l'entità degli eventi alluvionali.

La Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica si estende in territorio emiliano e basso mantovano, lungo gli assi dei fiumi Secchia e Panaro, fino a qualche chilometro a sud dell'asse fluviale del Po.

Il sistema deposizionale è caratterizzato da depositi prevalentemente fini argillosi e/o limosi attraversati in senso meridiano da corpi nastriformi di ghiaie e sabbie (Fig. 12).

Il rapporto tra materiali grossolani e fini risulta generalmente inferiore all'unità.

Oltre i 16 - 20 metri di profondità dal piano campagna il limite settentrionale della Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica, si trova in posizione più meridionale rispetto al limite riscontrabile nello strato superficiale. In profondità si rinvencono, infatti, potenti bancate sabbiose, riferibili ad antichi paleoalvei del fiume Po, a testimonianza della migrazione del corso d'acqua medesimo verso nord. Il tratto di pianura, con la successione sedimentaria descritta, è definita anche "Pianura a crescita verticale" o "Pianura alluvionale".

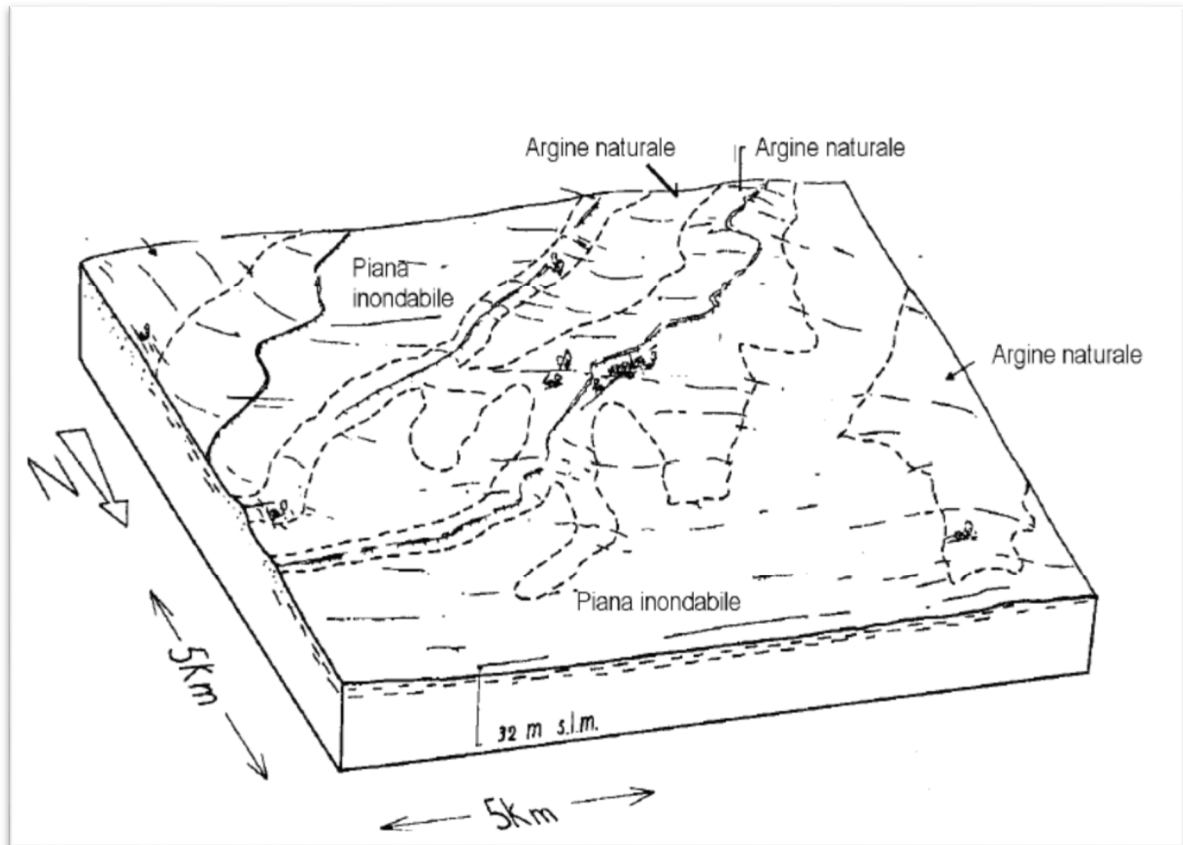


Fig. 12 – Conformazione del rilievo del sistema deposizionale della Piana alluvionale ad alimentazione appenninica (tratta da "I suoli dell'Emilia Romagna" 1994).

Depositi di argine naturale o dosso fluviale

I sedimenti di questa sottounità caratterizzano dossi debolmente rilevati che fiancheggiano canali fluviali con alveo tipicamente inciso e impostato a quota inferiore rispetto il piano campagna (Fig. 12).

Essi presentano generalmente una forma allungata secondo l'asse del corso d'acqua e sono caratterizzati da un profilo trasversale convesso con pendenza dell'ordine dello 0,2%. La successione stratigrafica è costituita da un'alternanza di sabbia fine e limo strutturati con argilla (Fig. 13). La frequenza dei livelli sabbiosi tende ad aumentare verso l'alto (sequenza negativa).

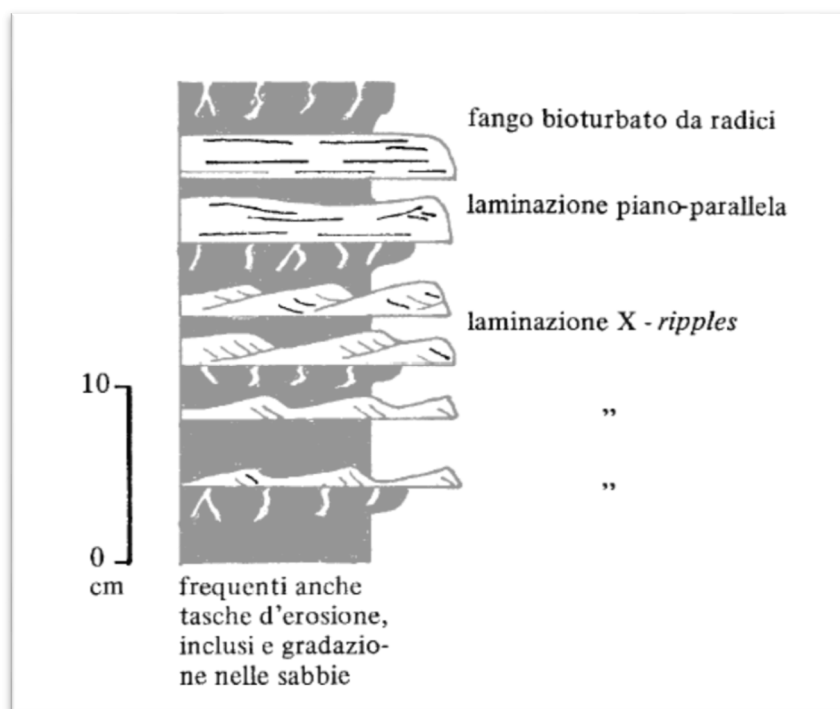


Fig. 13 – Tipica sequenza deposizionale di un deposito di argine naturale (in grigio i limi e le argille e in bianco le sabbie)

Depositi di piana inondabile

La piana inondabile, in senso paleogeografico, caratterizza la parte centrale delle zone perifluviali ed è delimitata dai sistemi di argine naturali paralleli ai corsi d'acqua; in passato rappresentava la zona di raccolta delle acque di piena tracimate dagli alvei incisi (Fig. 12).

La conformazione del rilievo è caratterizzata da lembi marginali di vaste depressioni con pendenze che variano tipicamente da 0,05 a 0,2%. Si tratta per lo più di superfici piane a profilo concavo con ondulazioni e modesti rilievi riferibili a depositi di argine del reticolo idrografico minore.

Tali superfici sono inoltre solcate da una fitta rete di canali artificiali per il deflusso delle acque di scorrimento superficiale. I corpi idrici, in alcuni casi sono impostati in corrispondenza di antichi drenaggi naturali, per il resto sono il frutto degli interventi di bonifica agraria operati dal medioevo fino ai nostri giorni.

I depositi di piana inondabili sono i materiali più fini del sistema di pianura alluvionale; predominano infatti limi e argille di decantazione con rare intercalazioni sabbiose in strati generalmente centimetrici.

Localmente si rinvencono anche livelli torbosi (Fig. 14).

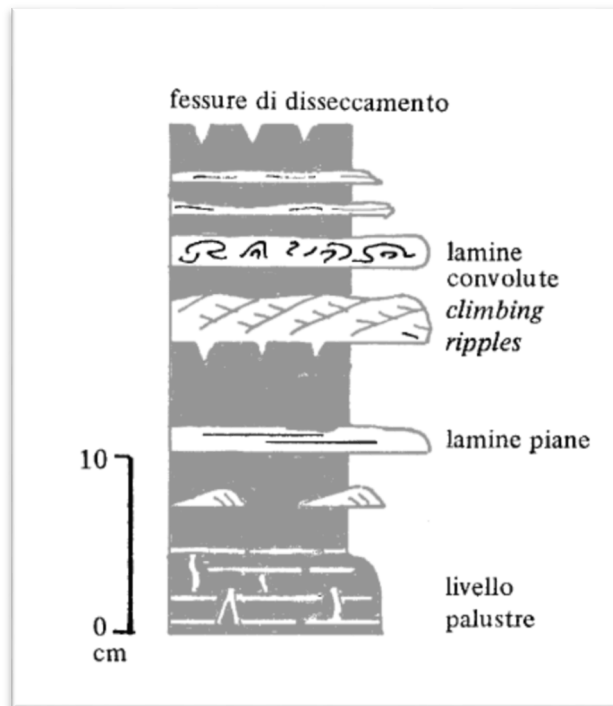


Fig. 14 – Tipica sequenza deposizionale di un deposito di piana inondabile (in grigio i limi e le argille e in bianco le sabbie)

Sistema deposizionale della Pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleoPo)

La Pianura alluvionale ad alimentazione assiale si estende dall'asse del Fiume Po per circa qualche chilometro in direzione sud, costituita dal sistema fluvio-deltizio del Fiume Po.

È sedimentata durante il Quaternario, in concomitanza della regressione verso est del Mare Adriatico e della progradazione verso il centro bacinale dei sistemi di conoide alluvionale dei tributari alpini ed appenninici.

Tale sistema fluvio-deltizio si sviluppa parallelamente al Fiume Po per una fascia di estensione di qualche chilometro interdigitato a vari livelli dagli strati sedimentati dai suoi affluenti. La successione stratigrafica è tipicamente caratterizzata da spesse bancate di sabbie prevalenti, interdigitate da corpi lentiformi di argille, limi e talora sabbie ghiaiose.

Il rapporto tra materiali grossolani (sabbie e ghiaie) e fini (limi ed argille) risulta alto. Il tratto di pianura con la successione sedimentaria descritta è comunemente definito "Piana di meandreggiamento del Fiume Po (Fig. 15).

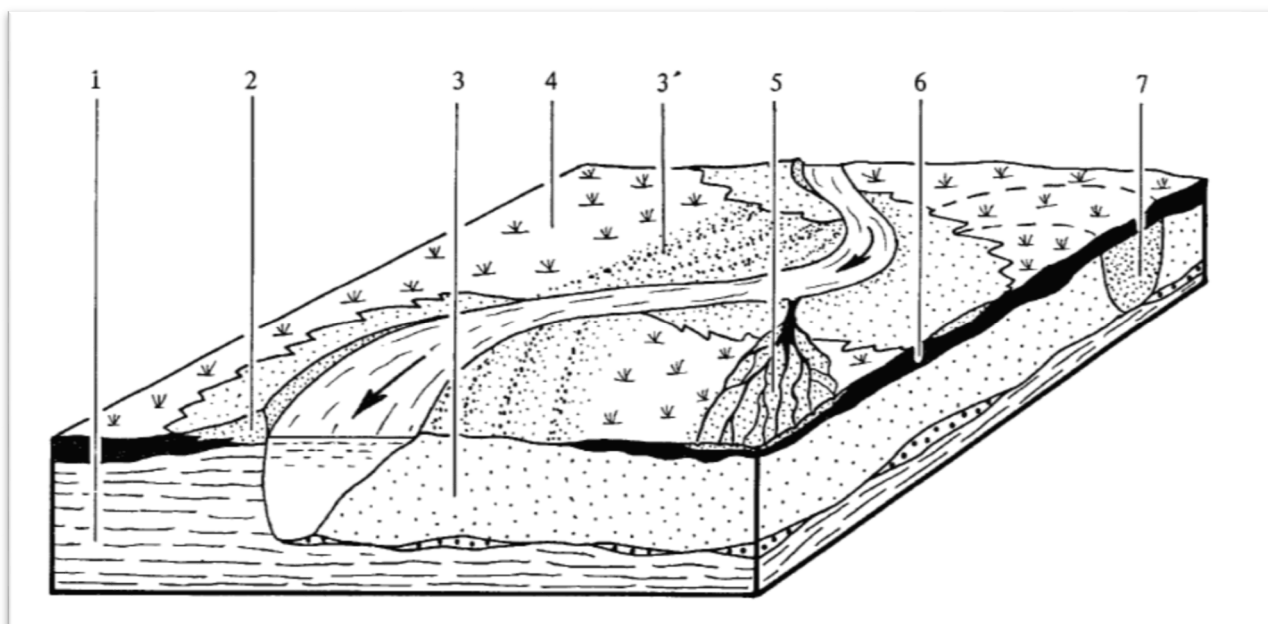


Fig. 15 – Block diagram della piana di meandreggiamento del Fiume Po ad alimentazione assiale: 1) alluvium più antico; 2) argine naturale; 3) barra di meandro; 4) piana inondabile; 5) lingua o ventaglio di rota; 6) pavimento residuale o fondo canale; 7) riempimento di canali morti.

La sovrapposizione e la giustapposizione nel tempo e nello spazio dei diversi ambienti deposizionali nel quaternario ha direttamente influenzato la morfologia della media e bassa pianura modenese. Nel territorio comunale sono presenti elementi morfologici direttamente osservabili in campagna, che seguono una direttrice prevalente N-S e O-E (Fig. 16). La bassa pianura, che occupa circa il 20% del territorio provinciale, è caratterizzata dalla presenza di strisce rilevate, dette “dossi”, corrispondenti ad alvei antichi od attuali pensili sulla pianura circostante e da zone depresse, dette “valli”, all’interno delle quali l’acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica. I dossi e i paleodossi sono di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevanti e dolcemente raccordanti alle superfici adiacenti.

Elemento di rilievo è rappresentato dal paleoalveo, risalente al XII-XII sec. che, proprio da Concordia, si stacca in direzione O-E verso Fossa, Nosedella e Quarantoli, testimonianza dell’azione di controllo del Fiume Po che scorreva molto più a sud rispetto all’attuale.

Dal punto di vista topografico l’area comunale presenta una morfologia insospettabilmente varia se si tiene conto che si colloca nella bassa pianura; le quote variano all’interno del territorio tra i 20.0 – 20.5 m s.l.m. in corrispondenza del centro abitato, ai 10.0-11.0 m s.l.m. della zona nordorientale (loc. “Co’ dei Belli - Malavicina), con graduale decremento spostandosi da est verso ovest.

La distribuzione dei paleoalvei e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l’assetto idraulico di superficie che la

distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (paleoalvei), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni; al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

Le conche morfologiche rappresentano ancora le aree di maggior rischio idraulico, non solo in caso di esondazione ma anche nel caso di eventi pluviometrici di eccezionale durata e/o intensità, che possono mettere in crisi la rete scolante o produrre ristagni di acqua, favoriti anche dalla scarsa permeabilità della litologia di superficie.

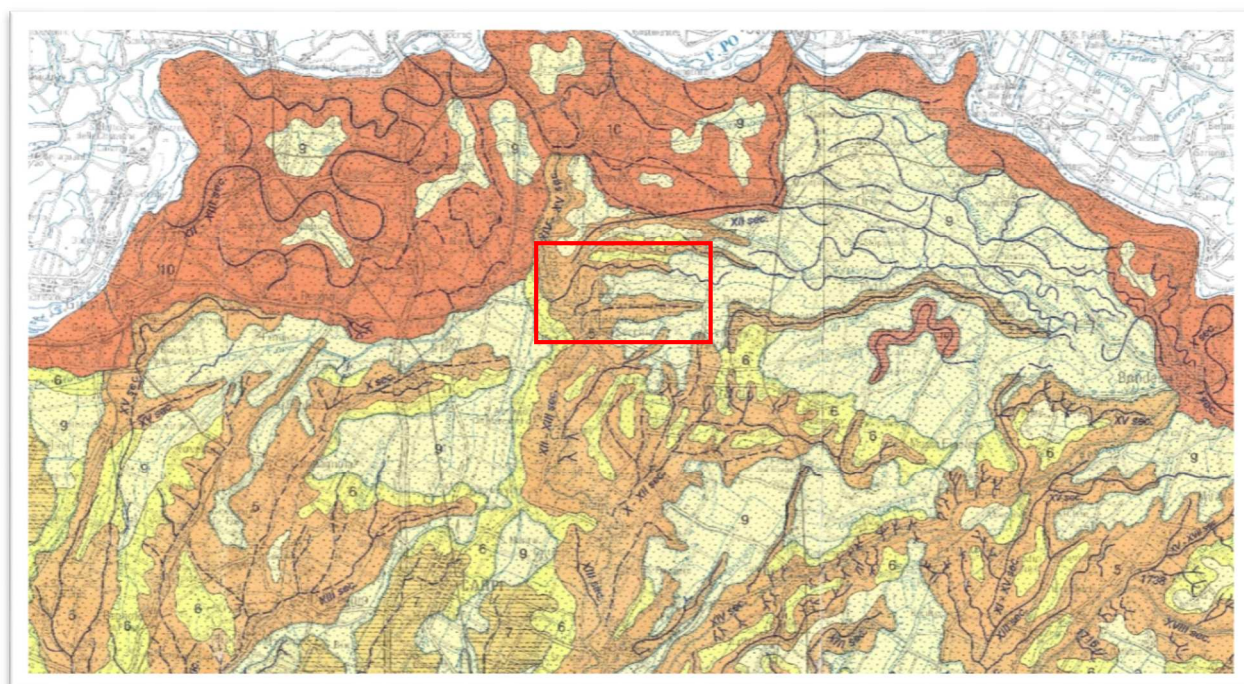
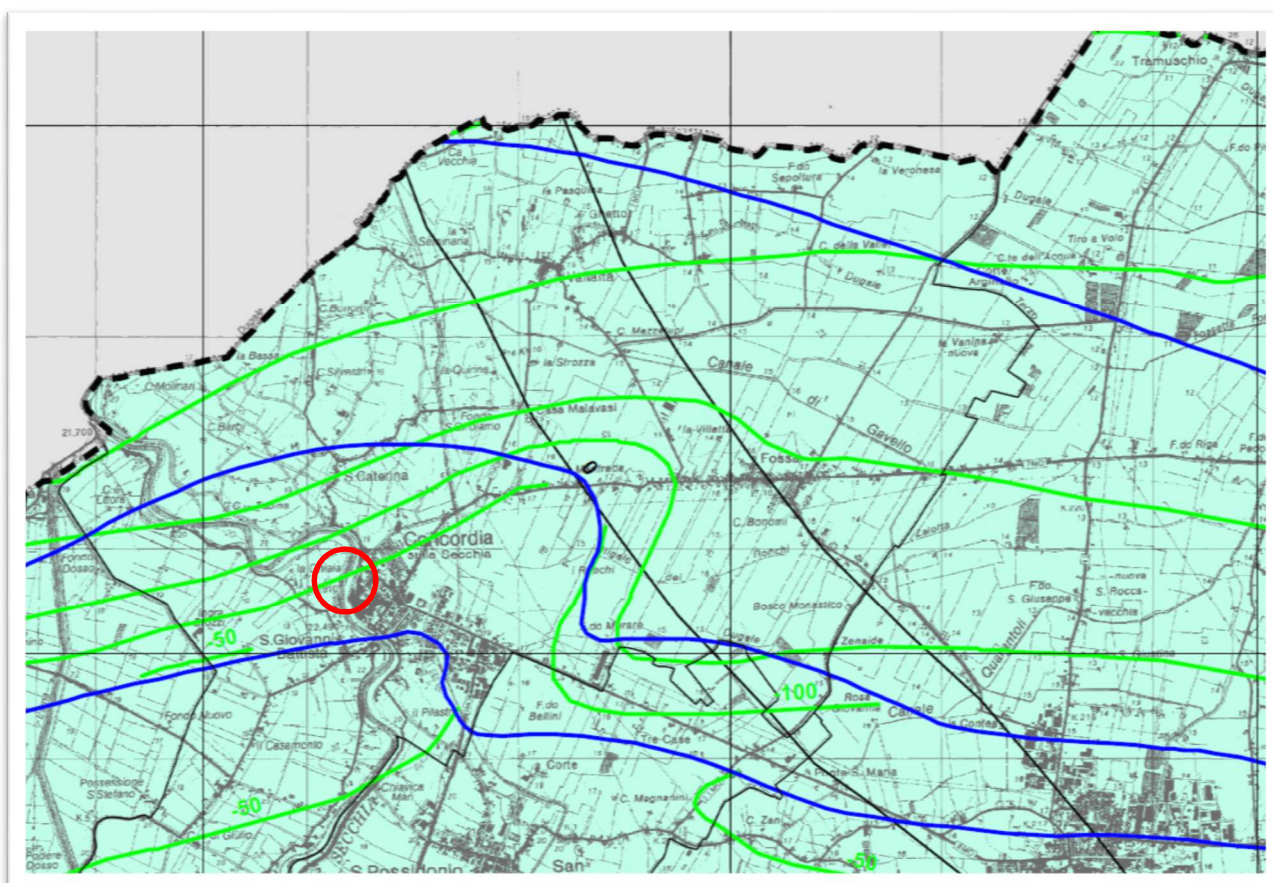


Fig. 16 – Principali elementi geomorfologici: particolare della Carta geologica di Pianura Dell’Emilia Romagna in scala 1:250000 (Legenda: 10 piana a meandri del Po; 9 piana inondabile; 6 argine distale; 5 dossi e canali)

I centri abitati storici, come Concordia, sorgono su dossi fluviali più rilevati rispetto alla pianura circostante. L’occupazione storica di queste aree più rilevate è legata alla maggior sicurezza e salubrità rispetto alle aree depresse di piana inondabile che, prima dell’intensa opera di bonifica degli ultimi due secoli, erano occupate da aree paludose con acque stagnanti. I dossi fluviali come appena visto sono forme legate all’attività fluviale e testimoniano la presenza di antichi canali e argini naturali; il loro rilievo è dovuto alla minore compattazione che i sedimenti sabbioso-limosi subiscono rispetto a quelli limo-argillosi delle aree depresse circostanti. La Fig. 16, estratta dalla cartografia di superficie della regione Emilia Romagna, riporta per la zona in esame, la presenza di depositi di piana inondabile. In Fig. 17 si riporta uno stralcio della carta dei depositi superficiali della pianura

modenese; in cui, per l'area di interesse, si riporta la prevalenza di depositi sabbiosi e limo-sabbiosi. Le litologie riscontrate durante l'esecuzione della prova penetrometrica (capitolo seguente), hanno permesso di approfondire la conoscenza stratigrafica dell'area. Al di sotto di uno primo gruppo di livelli a composizione prevalentemente argillo-limosa con spessore di circa 19-20 m da p.c. sono presenti, fino alla profondità di fine prova (21 m da p.c.), dei livelli prevalentemente sabbiosi con sporadiche intercalazioni limose, connesse con la deposizione dei depositi del Fiume Po.



	ghiaie affioranti
	ghiaie
	successioni alluvionali prevalentemente fini (argille e limi)
	sabbie
	isobate della superficie superiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
	isobate della base del ciclo alluvionale superiore / tetto del ciclo alluvionale inferiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
	isobate della base dei depositi alluvionali / tetto substrato marino (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)

Fig. 17 – Litologia di superficie: Stralcio della Tavola 3.01 “Carta dei depositi che influenzano il moto sismico di superficie” del PTCP di Modena

2.2.3 Assetto idrogeologico

L'area in esame si colloca in un settore della bassa pianura modenese caratterizzata dalla presenza nel sottosuolo di depositi alluvionali sabbiosi del fiume Po ricoperti da depositi più fini attribuibili al Secchia.

Le alluvioni sabbiose del fiume Po sono sature e ospitano falde idriche assai produttive. Si tratta di falde confinate e semiconfinite, Più in superficie possono essere riconosciute falde freatiche insediate negli orizzonti permeabili e il cui livello risulta condizionato in modo particolare dall'altezza idrometrica del fiume Secchia. Nella zona possono essere anche riconosciute locali falde sospese con caratteristiche effimere ed irregolari in relazione alla variabilità stagionale, a ricarica verticale per infiltrazioni superficiali, poste all'interno di livelli più permeabili.

Le falde superficiali risultano spesso in continuità con le falde più profonde, portando i livelli piezometrici a livelli prossimi al piano campagna, soprattutto in relazione ai livelli del fiume Secchia.

3. INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica, in considerazione dell'importanza dell'opera e dalla conoscenza delle caratteristiche geologiche dell'area, è stata condotta mediante l'esecuzione di un'indagine diretta costituita da n. 1 prova penetrometrica con piezocono sismico e di un'indagine indiretta cioè di n. 1 prova MASW.

Le indagini sono state eseguite obbligatoriamente nel cortile retrostante l'edificio oggetto del progetto di ristrutturazione dell'area di interesse, come risulta dall'ubicazione riportata in Tavola 2.

3.1 Indagine diretta

L'indagine diretta è consistita nell'esecuzione di n. 1 prove penetrometriche statica con piezocono sismico spinta fino ad una profondità di circa -21 m da p.c. Al termine della prova, nel foro di investigazione, è stato misurato il livello piezometrico. Le risultanze della prova penetrometrica e le relative elaborazioni sono riportate in Allegato A.

3.2 Indagini indirette

L'acquisizione dei dati è stata eseguita in modalità MASW tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (P.A.S.I. Mod.16SG24) collegato a 24 geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 34.5 metri con spaziatura tra i geofoni di 1.5 metri e tempo di acquisizione pari a 1 secondo. I risultati dell'indagine geofisica sono riportati in Allegato B.

3.3 Caratteristiche litostratimetriche dei terreni investigati

I terreni investigati risultano costituiti da depositi fini prevalentemente argillo-limosi e limo-argillosi, sovrastanti depositi sabbiosi; questo assetto stratigrafico è caratteristico delle aree di dosso naturale della bassa pianura alluvionale emiliana nelle quali la sedimentazione è inizialmente legata all'attività del F. Po e successivamente dai corsi d'acqua appenninici.

Dall'analisi e dall'interpretazione dei risultati delle indagini effettuate è stato possibile ricostruire il modello litostratimetrico dei terreni investigati attraverso la suddivisione del sottosuolo investigato in livelli lito-geomeccanici aventi caratteristiche omogenee.

Il rapporto tra la resistenza di punta Q_c e quella laterale f_s nonché la valutazione delle pressione dei pori ha permesso il riconoscimento litostratigrafico dei diversi livelli litologici (vedere per dettagli Allegato A).

La prova penetrometrica ha permesso, pertanto, di individuare, entro la massima profondità indagata, i seguenti principali livelli litostratigrafici:

Livello	Profondità		Litologia prevalente	Comportamento
	da (m)	a (m)		
A	0,00	1.5	Sabbia limosa	incoerente
B	1.5	2.5	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
C	2.5	9.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
D	9.0	16.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
E	16.0	19.0	Argilla limosa/Limo Argilloso	coesivo
F	19.0	20.5	Sabbia limosa e sabbia	incoerente
G	20.5	21.0 (f.f.)	Sabbia – sabbia e ghiaia	incoerente

Livello A (da 0,0 a 1,5 m da p.c.):

Terreno a tessitura da sabbiosa a sabbioso limosa; il materiale presenta un'elevata sovraconsolidazione, dovuta a ripetuti cicli imbibizione essiccamento e testimoniata da alti valori della resistenza alla punta ($1\text{Mpa} < Q_c < 5\text{ Mpa}$) con media pari a 2.9 MPa e dev. standard di 0.98.

Livello B (da 1,5 a 2,5 m da p.c.):

Terreno coesivo prevalentemente argillo-limoso sovraconsolidato con valori di resistenza alla punta Q_c compresi tra 0.84 e 2.39 Mpa con media pari a 1.33 MPa e dev. standard di 0.30, mentre la resistenza d'attrito f_s varia da un minimo di 43.4 ad una massimo di 121.2 KPa, con media di 83 KPa e dev. standard di 20.08.

Livello C (da 2.5 a 9.0 m da p.c.):

si tratta di un livello a comportamento coesivo costituito da argilla limosa e limo-argilloso da normalconsolidato e leggermente consolidato. I valori di resistenza di punta Q_c si distribuiscono intorno ad una valore medio di 0.77 MPa e dev. standard di 0.25, mentre i valori di resistenza d'attrito f_s presentano una media di 25.64 KPa con dev, standard di 9.73. Sono presenti intercalazioni di sabbia e sabbia limosa come quella presente tra le profondità di 6.50 e 7.50 m da p.c.

Livello D (da 9.0 a 16.0 m da p.c.):

il livello risulta costituito da argilla limosa e limo argilloso caratterizzate da un aumento progressivo delle resistenze penetrometriche. La resistenza di punta Q_c varia da un minimo di 0.72 MPa ad un massimo 2.19 MPa con un valore medio di 1.22 MPa e dev. standard pari a 0.25 mentre la resistenza d'attrito f_s si distribuisce intorno ad un valore medio di 56.70 con dev. standard pari a 24.11. Sono presenti livelletti di argilla organica di spessore massimo di circa 10 cm.

Livello E (da 16.0 a 19.0 m da p.c.):

si tratta di un livello costituito prevalentemente di argilla limosa e argilla limosa caratterizzato da un aumento delle resistenze alla penetrazione; la resistenza di punta si distribuisce intorno ad un valore medio di 2.31 MPa con dev. standard di 0.54, mentre i valori di resistenza di attrito presentano una media pari a 141.19 KPa e dev. standard pari a 45.0.

Livello F (da 19.0 a 20.5 m da p.c.):

è un livello a comportamento incoerente costituito da sabbia limosa e sabbia con intercalazione limo-argillose caratterizzato da valori di resistenza di punta Q_c che variano mediamente da 2.82 a 7.18 MPa con media pari a 5.32 ± 1.05 Mpa e da valori di resistenza d'attrito che si distribuiscono intorno ad un valore medio di 77.75 KPa con dev. standard pari a 12.62.

Livello G (da 20.5 a 21.0 m da p.c.):

corrisponde ad un livello ghiaioso-sabbioso addensato che determina il rifiuto strumentale. La resistenza di punta presenta varia da valore massimo di 35.4 MPa ad un valore minimo di 27.9 MPa, una media di 27.9 con dev. standard di 5.31, mentre la resistenza d'attrito varia da 146.5 a 56.2 KPa con valore medio di 109.7 KPa.

3.4 Caratteristiche geomeccaniche

Dall'elaborazione dei risultati della prova penetrometrica eseguita è stato anche possibile ricostruire il seguente modello geomeccanico assegnando ai livelli litostratigrafici suddetti alcuni dei principali parametri geotecnici di massima, stimati in base a correlazioni note in letteratura geotecnica nonché in analogia a terreni consimili, quali:

- Peso naturale dell'unità di volume del terreno γ ;
- coesione non drenata c_u e modulo di edometrico;
- coesione c' ;

- angolo di attrito interno ϕ' .

Schematicamente si può riassumere:

Livello	Profondità		γ (kN/m ³)	S_u (Kpa)	ϕ' (°)	OCR	M (Mpa)
	da (m)	a (m)					
A	0,00	1,5	16.5-17.5	0.0	38.0-39.0	-	25.0 - 30.0
B	1,5	2,5	18.0-18.5	35.0-40.0	0.0	6 - 8	20.0 - 25.0
C	2,5	9.0	17.0-17.5	20.0-25.0	0.0	1.6 - 2.2	1.5 - 2.5
D	9.0	16.0	18.0-18.5	35.0-45.0	0.0	1.5 – 2.2	2.5 - 3.0
E	16.0	19.0	19.0-19.5	85.5-94.0	0.0	2.5 – 3.0	4.5 - 5.5
F	19.0	20.5	18.5-19.5	0.0	30.0-35.0	-	20.0- 25.0
G	20.5	21.0	19.0-20.0	0.0	40.0-43.0	-	120.0 -150.0

Dove

γ = Intervallo Valori del Peso di volume, Robertson e Cabal (2010)

S_u = Intervallo Valori della Resistenza non drenata secondo Mayne 2010;

ϕ' = Intervallo Valori dell'Angolo di resistenza al taglio, secondo Senneset (1988);

M = Intervallo Valori del Modulo confinato (Modulo edometrico), procedura proposta da Togliani (2010).

OCR = Intervallo Valori del rapporto di sovra consolidazione da Mayne et. al. (2009)

Altri parametri sono indicati e riproposti nei grafici contenuti nell'elaborazione della prova SCPTU (All. A).

La prova SCPTU ha permesso anche di determinare il profilo sismico (Fig. 18) entro la profondità indagata di circa 21.0 m da p.c., ma, a causa del raggiunto rifiuto strumentale dovuto alla presenza di un livello sabbioso altamente addensato, non è stato possibile raggiungere la profondità di 30 m da p.c., necessaria alla definizione della categoria di sottosuolo secondo la Tabella 3.2.II della normativa vigente NTC e, pertanto, si è proceduto all'esecuzione di una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves).

La prova MASW, eseguita nel cortile retrostante l'edificio di interesse, ha consentito di determinare (vd. Allegato B), tramite la relazione riportata di seguito (NT08), un valore di V_{s30} al piano campagna pari a 232 m/s da cui si evince che il sottosuolo appartiene alla categoria del suolo di fondazione di **tipo C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s...*).

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

h_i : spessore in metri dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$: velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato.

Le due prove eseguite (cono sismico e MASW) hanno comunque fornito, entro la profondità raggiunta dalla prova penetrometrica, una perfetta corrispondenza dei risultati ottenuti.

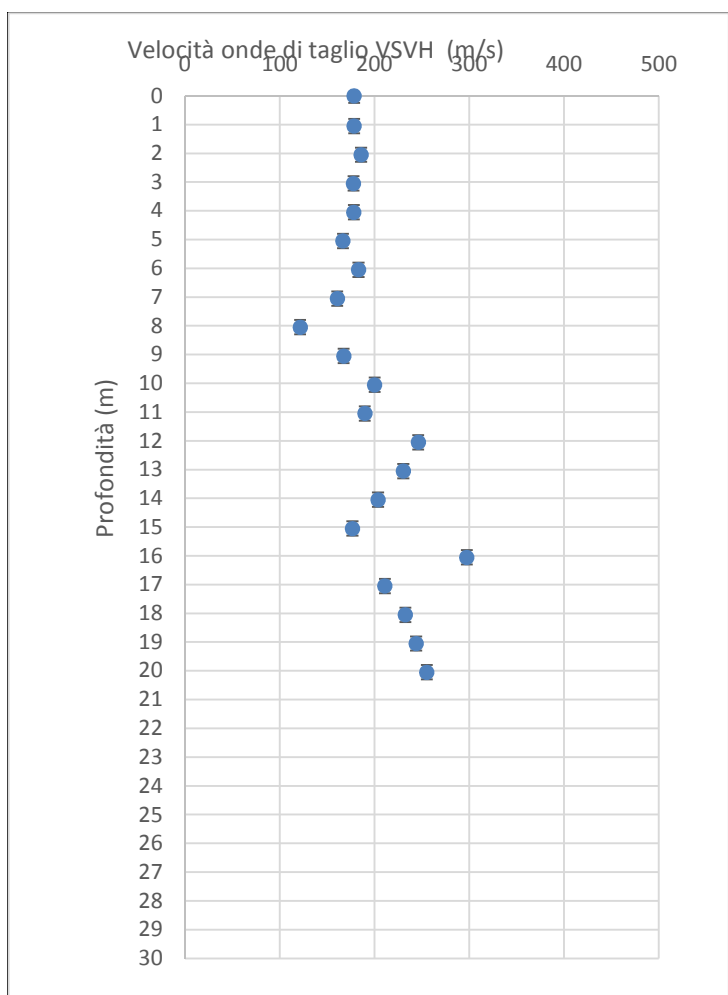


Fig. 18 – Profilo sismico della prova SCPTU

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA SISMICITA' STORICA

4.1 Caratteri strutturali e sismotettonici

In base all'assetto geostrutturale descritto al paragrafo 2.2.1 la sismicità, si concentra in corrispondenza degli elementi strutturali sepolti (faglie, pieghe, sovrascorrimenti). Le strutture sismogenetiche maggiormente attive sono l'ETF e il PTF ad est del Fiume Taro, il Sistema Verona Brescia e la faglia di Verona. Nell'area di studio l'attività sismica è, quindi, la conseguenza della propagazione dell'energia elastica liberata nelle citate zone sismogenetiche.

Le ricerche in campo sismotettonico avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare nel settore di pianura in esame, risultano attivi i sovrascorrimenti del margine appenninico, e delle pieghe emiliane e ferraresi (Fig. 19 – Fig. 21).

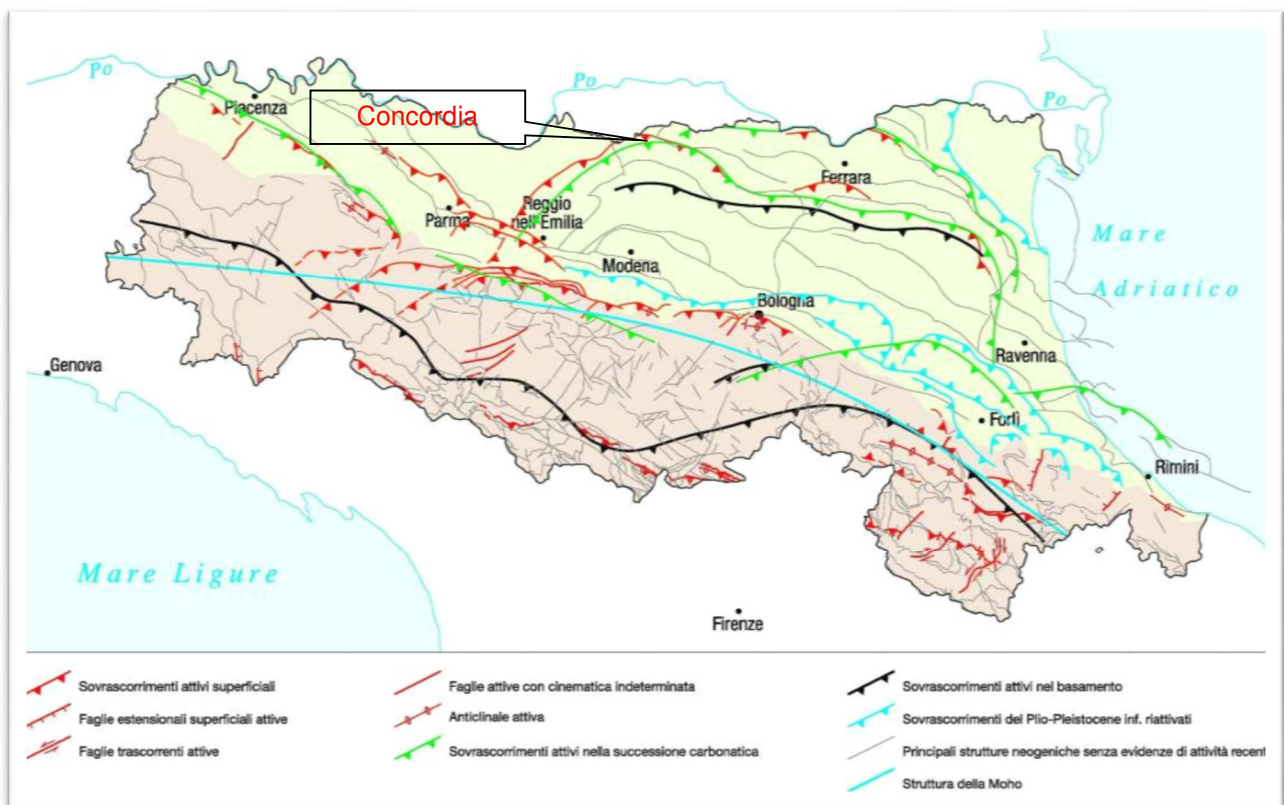


Fig. 19 – Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

Gli studi sulle sorgenti sismiche, promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata

ZS9, che prevede una suddivisione in 36 zone (Fig. 20 e Fig. 21), i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc.. In particolare il territorio di Concordia ricade nella zona Sismogenetica 912 (Dorsale Ferrarese):

- Zona Sismogenetica 912: rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'Appennino Settentrionale caratterizzata dallo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica "Adria") sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale (placca tettonica "Northern Apenninic Arc") con cinematismi attesi di sovrascorrimenti e faglie trascorrenti aventi assi SW-NE; i terremoti storici hanno raggiunto valori pari a $M = 5,9$; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 6 e 8 Km con profondità efficace di 7 km; nella Zona Sismogenetica 912 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{max} = 6,14$.

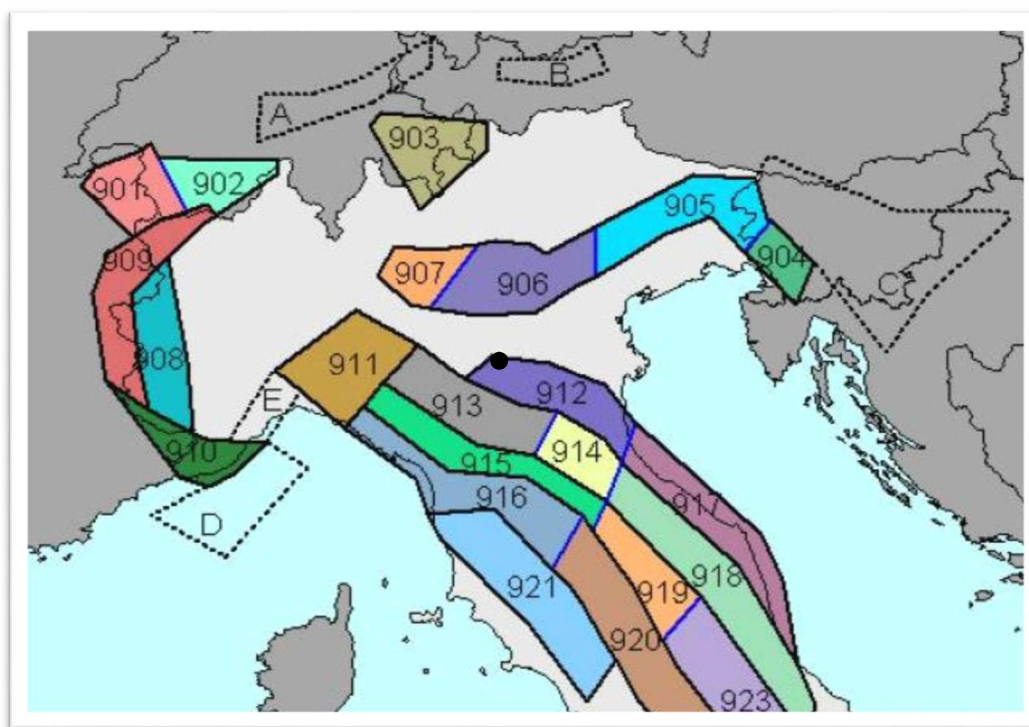


Fig. 20 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004" - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). Il punto nero individua approssimativamente l'area di intervento.

La sismicità locale è data prevalentemente dall'attività delle faglie compressive delle Pieghe Ferraresi (Pieri e Groppi, 1981).

Le Pieghe Ferraresi sono un sistema di pieghe-faglie che hanno dato origine a due dorsali sepolte che nell'insieme descrivono, in pianta, un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica, che si spinge fino ed oltre il Po tra Ferrara e Occhiobello (RO) (Bigi et al., 1990). In particolare sono distinguibili una dorsale più interna, che ha il massimo sollevamento tra Novi di

Modena e Medolla, nota come struttura o alto di Mirandola, e una più esterna che ha il culmine tra Bondeno e Ferrara (Fig. 22).

La strutturazione di queste dorsali sepolte è il risultato dell'attività di faglie inverse (*thrust*) la cui attività è iniziata nel Pliocene medio-superiore, con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud; di attivazione più recente sono le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (*backthrust*) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali (Fig. 22).

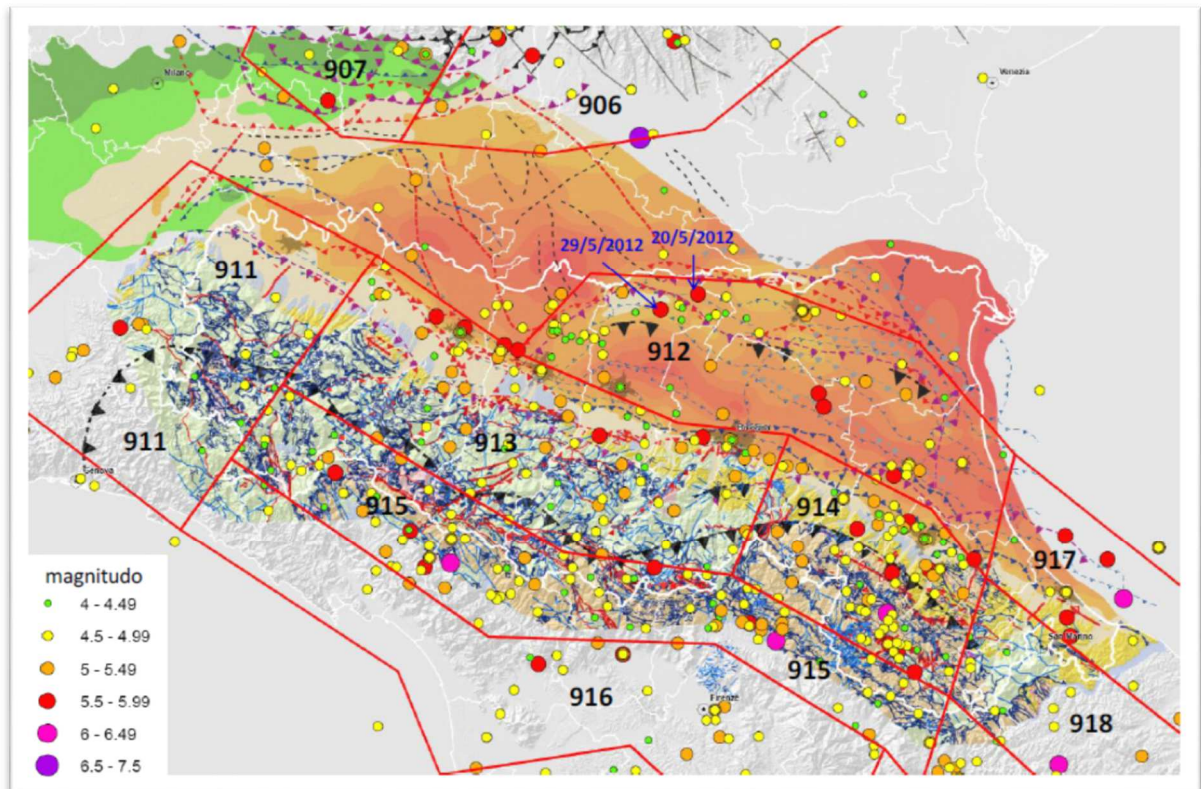


Fig. 21 – Schema tettonico dell'Appennino emiliano-romagnolo e della Pianura Padana centrale (Martelli, 2011) con zone sismogenetiche da ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), aree con limiti rossi, e localizzazione dei principali terremoti che hanno interessato l'Emilia-Romagna (dati INGV).

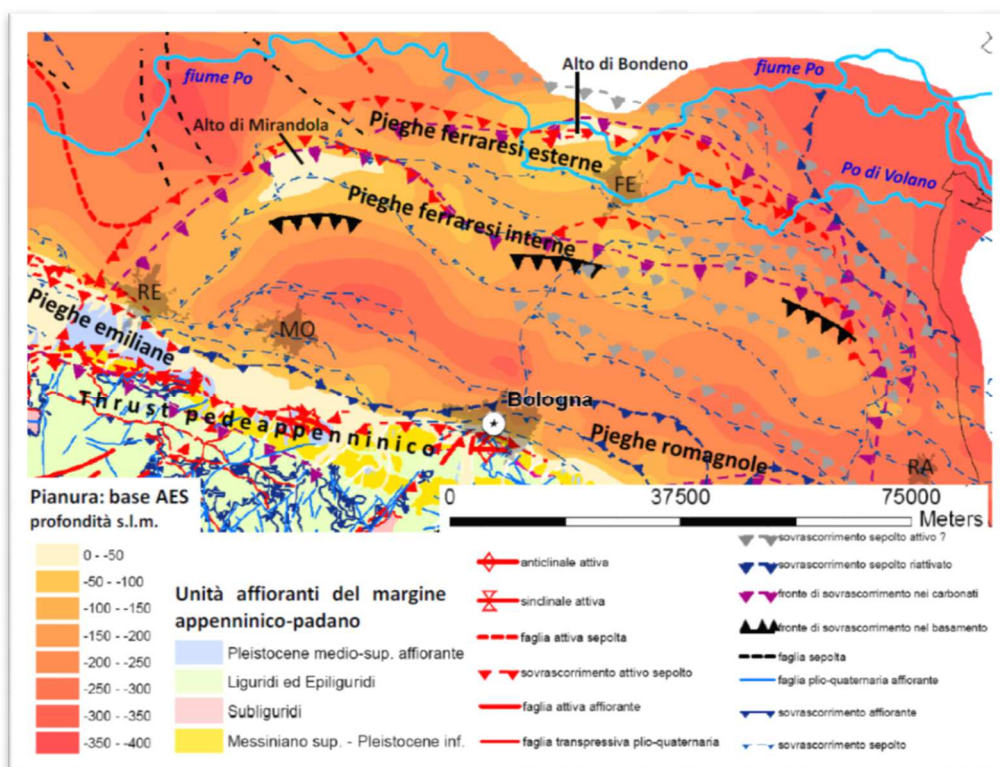


Fig. 22 – Schema tettonico dell'area interessata dalla sequenza sismica di maggio-giugno 2012 (da Martelli, 2011).

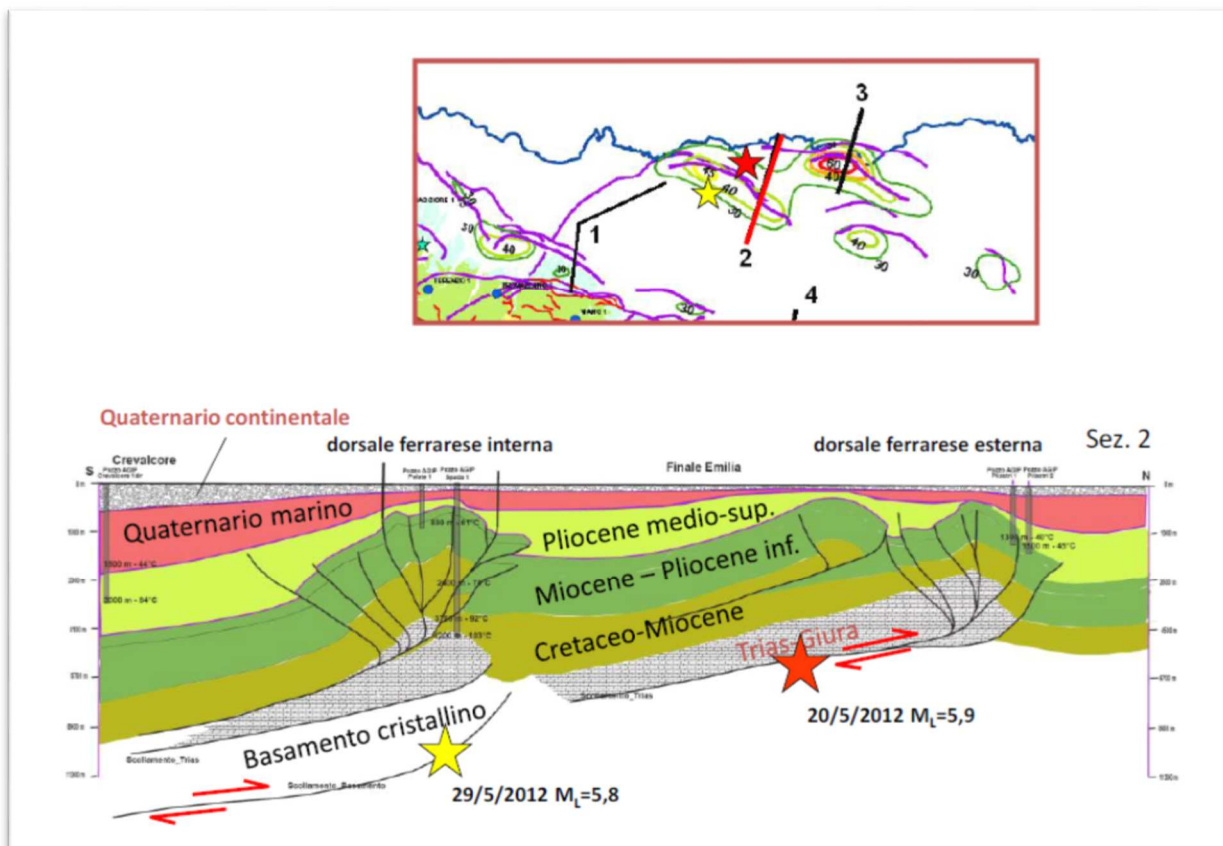


Fig. 23 – Sezione geologica profonda, da Crevalcore (BO) al Po, con proiezione degli ipocentri delle scosse principali del maggio 2012.

4.1.1 Zone Sismogenetiche

Un ulteriore approfondimento sulle caratteristiche sismo-tettoniche della pianura emiliano-lombarda deriva dall'analisi delle sorgenti sismogenetiche raccolte nel database Diss a cura dell'INGV in cui sono elencate e descritte le sorgenti sismiche legate a strutture tettoniche; con riferimento all'area di interesse le sorgenti sismogenetiche più vicine sono quelle indicate nella seguente figura (Fig. 24) e denominate ITCS050 e ITIS107 e di seguito descritte:

ITCS050: Poggio Rusco-Migliarino

Questa sorgente complessa si trova a cavallo della valle del basso Po e costituisce il fronte esterno delle pieghe ferraresi. Tale sistema di faglie è rappresenta l'arco più esterno, vergente a N-E, del margine orientale dell'Appennino Settentrionale e situato nel bel mezzo della pianura padana; è il sistema più avanzato di thrust appenninici con potenziale sismico. I cataloghi sismici, sia storici che strumentali, mostrano una sismicità diffusa, con magnitudo generalmente comprese tra 4,5 e 5,0. Tuttavia sono possibili eventi di magnitudo maggiore come i Terremoti di Ferrara del 1346 (Mw 5,8) e del 1570 (Mw 5,5) e il terremoto del 20 Maggio 2012 (M_L 5,9) con epicentro tra Mirandola e Finale Emilia. Questa sorgente è lunga e poco profonda (da 1 a 8 Km dalla superficie); l'attività tettonica è testimoniata sia dai profili sismici che dall'evidenza di deformazioni superficiali. Un segmento di questo arco è stato direttamente associato al terremoto del 1570. Il tasso di scivolamento è stimato in circa 0,1-0,5 mm per anno.

ITCS107 – Mirandola

Questa sorgente era già stata ipotizzata sulla base di evidenze geologiche e geomorfologiche legate all'attività tettonica recente connessa all'arco Ferrarese sepolto. Il tasso di sollevamento era stato stimato, negli ultimi 125Ka, in 0,16mm/a. Il terremoto dell'Emilia del 29/05/2012 ha attivato questa sorgente sismotettonica producendo un rilevabile sollevamento dell'anticlinale sepolta di Mirandola (circa 20 cm) La magnitudo associata a tale sorgente è, in conseguenza al terremoto suddetto, di 5.9. Tale sorgente è associata esclusivamente al sisma del 29 Maggio 2012, non essendovi dati storici e strumentali che possano legarla ad eventi più antichi. Sulla base dei dati sismici è stato calcolato un tasso di scivolamento della struttura di Mirandola pari a circa 0,94-0,6 mm/a negli ultimi 125 ka.

Presenta una lunghezza di circa 10 km e risulta poca profonda (da 4 a 7 km dalla superficie).

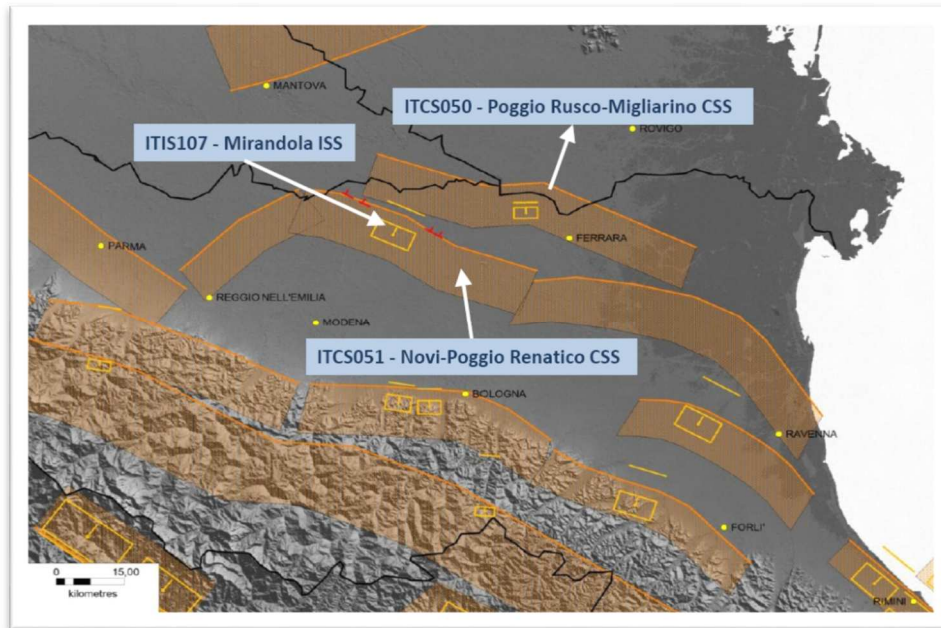


Fig. 24 – Sorgenti sismogenetiche

4.2 Pericolosità sismica di base

4.2.1 Analisi della sismicità

4.2.1.1 Sismicità storica

Da tutti gli eventi con dati di base è possibile selezionare le notizie in modo da definire "*storie sismiche*" dei singoli siti, identificanti cioè la successione temporale delle intensità risentite (in una definita località) rispetto alle intensità epicentrali dei vari eventi nel corso dei secoli.

Analizzando i dati di sito è necessario comunque tener conto che la ricostruzione dell'impatto d'ogni singolo terremoto dipende sia dal livello d'approfondimento delle ricerche, in relazione al contesto antropico in cui si è verificato un evento (densità e rilevanza degli insediamenti abitati), sia da fattori più propriamente fisici (condizioni di sito da cui dipendono i possibili effetti locali e di sito).

Per il comune di Concordia si è provveduto ad estrarre dal Database macrosismico dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, gli eventi sismici che hanno storicamente interessato il comune e le sue vicinanze; i risultati sono riportati nelle tabelle sottoriportate (Tabella 1; Tabella 2) e nella seguente figura (Fig. 25) .

L'osservazione della sismicità storica dai cataloghi sopra riportati denota per il territorio comunale i seguenti aspetti:

- storicamente il territorio comunale è stato interessato da un evento sismico con magnitudo 5.81;
- altri eventi sismici hanno interessato il comune di riflesso dai comuni contermini;

- nel raggio di 50 km dai confini del territorio comunale sono noti circa 8 eventi con magnitudo > 5.

Storia sismica di Concordia sulla Secchia [44.914, 10.982]

Numero di eventi: 25

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1806 02 12	NOVELLARA	28	7 5.19 ±0.39
4	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6 5.29 ±0.22
F	1818 12 09 18:55	Parmense	26	7 5.28 ±0.35
6	1891 06 07 01:06	Valle d'Illassi	403	8-9 5.86 ±0.06
3	1910 03 22 23:29	Bassa modenese	15	5 4.30 ±0.34
5-6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
4	1928 06 13 08:00	CARPI	35	6 4.78 ±0.23
3	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7 5.03 ±0.13
3	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
4	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
4	1929 05 11 19:22	Bolognese	64	
3	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09
3	1935 06 05 11:48	Faentino	27	6 5.16 ±0.25
5	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
NF	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5 4.74 ±0.25
7	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5	1978 12 25 22:53	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
4-5	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
3	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
5-6	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
4-5	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
3-4	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
3	1997 05 12 22:13	Reggiano	56	4-5 4.22 ±0.27
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

Tabella 1 – Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Concordia tra il 1000 ed il 2006 (da [www://emidius.mi.ingv.it/DBMI11](http://www.emidius.mi.ingv.it/DBMI11))

Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Cavezzo	IT	20	9 km
Mirandola	IT	43	7 km
Moglia	IT	16	6 km
Novi di Modena	IT	13	7 km
Rovereto sulla Secchia	IT	3	8 km
San Giacomo delle Segnate	IT	6	7 km
San Giovanni del Dosso	IT	5	10 km
San Possidonio	IT	9	3 km

Tabella 2 – Terremoti con effetto anche sul territorio comunale di Concordia ed epicentro a distanza inferiore a 10 km.

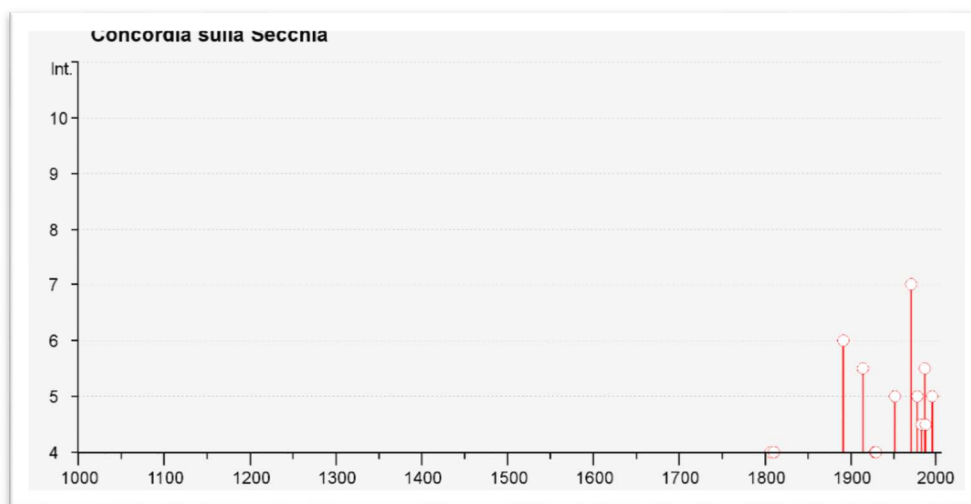


Fig. 25 – Sismicità storica del Comune di Concordia. Rappresentazione dei terremoti più forti risentiti nell'area di Concordia tra il 1000 ed il 2006 (da [www://emidius.mi.ingv.it/DBMI11](http://www.emidius.mi.ingv.it/DBMI11))

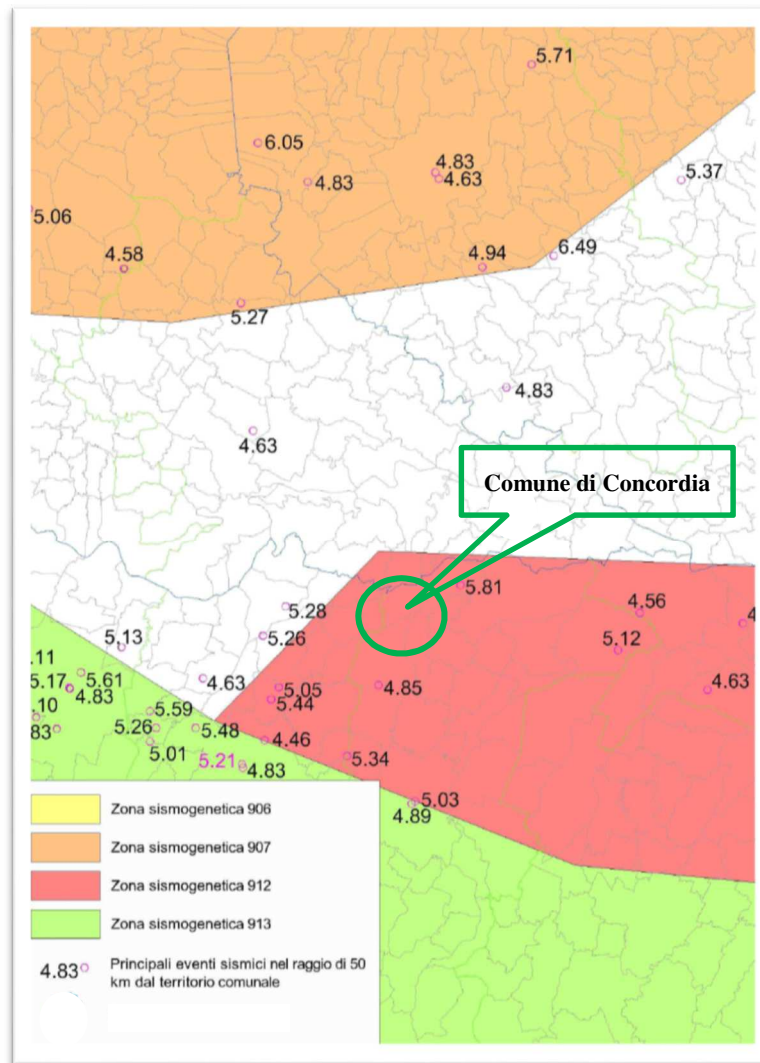


Fig. 26 – Epicentri dei terremoti che hanno interessato storicamente l'area in esame, in funzione della magnitudo.

4.2.1.2 Sismicità recente

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Concordia è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti aventi una magnitudo minima pari a 5.0, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/1984 e il 20/04/2014, in un raggio di 50 Km dal Comune di Concordia (

Fig. 27 e Tabella 3).

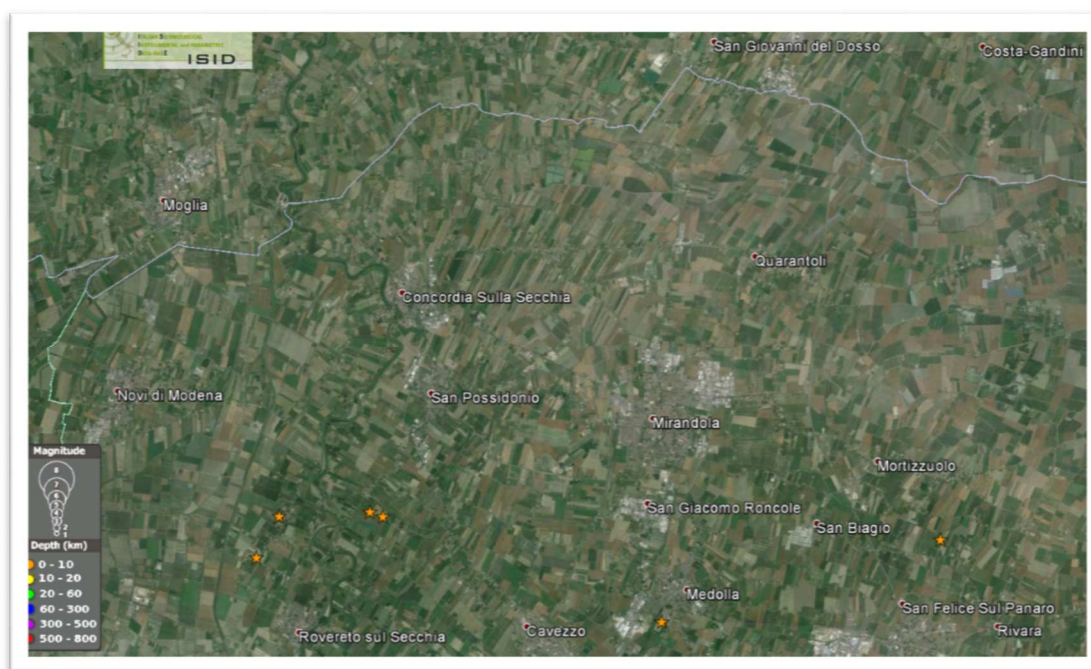


Fig. 27 – Eventi sismici recenti registrati in un raggio di 50 Km dal Comune di Concordia

Data Da: 1984/01/01 A: 2014/11/19
 Area Comune: Concordia sulla Secchia
 Distanza (km): 50.0
 Magnitudo Min: 5.0 Max: 10.0 Tipo: Mag pref
 Profondità (km) Min: ND Max: ND
 Terremoti totali: 8

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2012-05-29 11:00:22.990	44.866	10.976	7.2	5.1--ML	BULLETIN
2012-05-29 11:00:01.680	44.856	10.941	8.7	5.0--ML	REMO
2012-05-29 10:55:56.550	44.865	10.98	4.4	5.3--Mw	REMO
2012-05-29 08:25:51.480	44.865	10.948	7.9	5.0--ML	REMO
2012-05-29 07:00:02.880	44.842	11.066	8.1	5.6--Mw	REMO
2012-05-20 03:02:47.090	44.86	11.152	9.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:07:28.950	44.874	11.27	6.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:03:50.170	44.896	11.264	9.5	5.8--Mw	BULLETIN

Tabella 3: Eventi sismici recenti registrati in un raggio di 100 Km dal Comune di Villa Poma

4.2.1.3 Sequenza sismica del maggio-giugno 2012 in Emilia.

Il 20 e 29 Maggio 2012 due terremoti di ML 5.9 e ML 5.8 seguiti da molte repliche hanno colpito la Pianura Padana a circa 40 km a nord di Bologna. I due terremoti principali sono stati generati dalle faglie sepolte dell'Arco Ferrarese-Romagnolo appartenenti al fronte più esterno dell'Appennino Settentrionale, attivandolo per una lunghezza di circa 50 km. L'attività geologica recente di queste strutture è testimoniata dal controllo sull'andamento del drenaggio, ed è stata quantificata utilizzando

dati geologici e geofisici di sottosuolo. Le dorsali di Ferrara (ITCS050) e Mirandola (ITCS051), associate alle due scosse del 20 e 29 Maggio, hanno causato la diversione del corso dei fiumi Po, Secchia, Panaro e Reno. La deformazione cosismica del suolo, sollevamento e subsidenza, generata dai due terremoti è congruente con le anomalie del drenaggio descritte.

L'area interessata dall'innescò del sisma è una delle tante aree sismogeniche prossime alle zone dell'Appennino. Il complesso sistema di faglie che si diramano nella bassa pianura emiliana è quello della dorsale di Ferrara, che si raccorda a ovest con quella di Mirandola.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) non ha escluso che la seconda scossa del 29 maggio, avvenuta a distanza di nove giorni dal primo evento, possa essere scaturita dall'apertura di una nuova faglia. Secondo questa ipotesi non si tratterebbe di una forte scossa di assestamento del primo terremoto, bensì di un secondo terremoto.

Da un'analisi del meccanismo focale delle scosse di terremoto, risulterebbe che i processi cinematici di tutte le scosse registrate siano concordanti e che non ci siano state attivazioni di faglie discordi. I terremoti sono avvenuti lungo piani di faglia orientati all'incirca in direzione Est-Ovest e con movimento compressivo con una significativa componente trascorrente in direzione Nord-Sud. Tale orientazione è concordante con le strutture regionali di tipo appenninico aventi, in questo settore di catena, un senso di trasporto con vergenza NNE. In particolare la sismicità della sequenza dei terremoti dell'Emilia ha interessato i fronti compressivi più esterni, quali il Fronte Ferrarese ed il Fronte di Mirandola. Quest'ultimo è caratterizzato dalla presenza di una struttura anticlinale, detta appunto anticlinale di Mirandola. Il movimento delle faglie durante il terremoto ha provocato l'accavallamento delle falde appenniniche sepolte, al di sopra della placca adriatica, causando sollevamento del terreno e raccorciamento crostale. Grazie alle immagini radar acquisite e utilizzando l'interferometria differenziale, è stato possibile valutare la deformazione del terreno dopo le scosse del 29 maggio. Con questi dati è stato possibile misurare che il suolo si è sollevato di massimo 12 centimetri nell'area epicentrale, mentre si è abbassato di circa 2-3 centimetri nella zona di Finale Emilia. Queste ultime deformazioni sono probabilmente imputabili a movimenti superficiali di acqua nel sottosuolo.

Per lo studio delle sorgenti sismogenetiche i geologi dell'INGV hanno utilizzato dati geomorfologici e geologico-geofisici con particolare attenzione allo studio dell'idrografia della regione, quest'ultima in quanto elemento sensibile ai più piccoli cambiamenti indotti dall'attività tettonica. Attraverso lo studio del reticolo idrografico sono state rilevate anomalie del drenaggio di origine certamente non antropica. Tali anomalie, confrontate con le strutture delle anticlinali sepolte note dalla letteratura geologica, hanno reso possibile di ipotizzare l'origine di parte di esse e di identificare le strutture attive nel sottosuolo. Dall'ulteriore confronto con le serie storiche relative ai terremoti avvenuti nell'area interessata si può concludere che queste strutture sono sismogenetiche, ossia capaci di generare terremoti. In diversi casi è stato possibile osservare la coincidenza tra la posizione di una anomalia del drenaggio, la presenza di una anticlinale sepolta e la localizzazione di alcuni terremoti riportati nei cataloghi. Una notevole anomalia del drenaggio in un'area priva di sismicità storica nei pressi di

Mirandola fu messa in evidenza già dal 2000 rilevandone la correlazione con una importante faglia attiva sepolta. La sequenza sismica con i forti terremoti del 20 e del 29 maggio 2012 ha riattivato porzioni delle sorgenti identificate come ITCS050-Poggio Rusco-Migliarino e ITCS051-Novì-Poggio Renatico (Figura 17). Si ipotizza che queste sorgenti siano all'origine dei terremoti e che siano state la causa in passato del sollevamento delle dorsali di Ferrara e Mirandola che in passato causarono lo spostamento del corso dei fiumi Po, Reno, Secchia e Panaro. In particolare i geologi dell'INGV ipotizzano che la scossa del 29 maggio sia stata originata dalla sorgente ITIS107-Mirandola.

Tutti i sette terremoti della sequenza con $M > 5$ hanno avuto epicentro posizionato lungo l'asse mediano della struttura tettonica attiva dal punto di vista sismico.

Il territorio colpito dal sisma comprende un'area di 967 chilometri quadrati. I terremoti hanno duramente colpito tutta la zona della bassa modenese: Camposanto, Carpi, Cavezzo, Concordia sulla Secchia, Finale Emilia, Medolla, Mirandola, Novì di Modena, San Felice sul Panaro, San Possidonio e San Prospero hanno subito ingentissimi danni. La scossa del 20 maggio ha colpito duramente soprattutto le aree di San Felice sul Panaro, Finale Emilia e Canaletto (frazione di Finale Emilia). In queste località l'intensità macrosismica rilevata è stata pari a 7. Intensità macrosismiche superiori a 6 sono state rilevate anche a Cavezzo e Mirandola. Le forti scosse del 29 maggio si sono aggiunte a una situazione già drammatica. A Mirandola si sono avuti danni gravissimi al Castello dei Pico, al palazzo comunale, al duomo e alla chiesa di San Francesco, oltre agli ingentissimi danni subiti dal comparto biomedicale. A Finale Emilia si sono verificati crolli e lesioni serie alla Rocca Estense, al duomo ed alla torre dell'orologio, mentre a Camposanto si sono verificati danni gravi, mentre si sono registrati lievi danni però con nessun crollo a Castelfranco Emilia che i primi giorni dopo la scossa del 29 il centro è stato chiuso, e dopo tre o due settimane è stato riaperto, danni gravi ad una chiesa di Castelfranco Emilia.

Conseguenze pesantissime si sono avute anche a Medolla, dove si sono verificati i crolli di diversi capannoni industriali, e a Cavezzo, dove sono rimasti seriamente danneggiati tre quarti degli edifici del centro storico. Gravi danni alle chiese e agli edifici del centro storico sia a San Possidonio[60] che a San Prospero. A Soliera (13km circa da Modena) il sisma del 29 maggio ha reso inagibili le due scuole principali del comune, sia la media che l'elementare; il castello della città, abbastanza conosciuto, ha subito danni ingenti all'interno, dove ospitava la biblioteca comunale e diverse altre sale. A Concordia sulla Secchia è crollata la quasi totalità del centro storico, mentre a Novì di Modena è crollata la torre dell'orologio. Nella provincia di Modena si sono avute il maggior numero di vittime, in totale 17.

4.2.1.4 Classificazione sismica

La classificazione approvata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica" suddivide il territorio nazionale in 4 zone con livelli decrescenti di pericolosità sismica in relazione a 4 differenti valori di accelerazione orizzontale (a_g/g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico e a 4 differenti valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g/g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Il Comune di Concordia è stato classificato sismico in ZONA 3. Per i comuni che ricadono in tale classe è stata stimata un'accelerazione sismica orizzontale pari a $a_g/g = 0,05 - 0,015$, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Tali valori d'accelerazione sono relativi al bedrock, ovvero a formazioni litoidi o terreni omogenei molto rigidi.

Precedentemente all'emanazione della citata Ordinanza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Concordia risultava non classificato.

4.2.1.5 Pericolosità sismica di base secondo D.M. 14 gennaio 2008

La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, risalente alla fine degli anni '60, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti il moto del terremoto. La pericolosità sismica rappresenta l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Nelle seguenti figure (Fig. 28 e Fig. 29) si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo); dalla mappa risulta che l'area di Concordia presenta valori di accelerazione di picco al suolo a_g , cioè per $T=0$, (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compresi tra 0,125 e 0,150 g.

L'evoluzione normativa in materia sismica, con l'emanazione delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), ha fatto sì che i dati e le procedure necessari ai fini strettamente progettuali, siano svincolati dalla classificazione sismica del territorio, con alcune limitate eccezioni, prevedendo l'uso diretto dei parametri sismici del sito in oggetto.

Le Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 attualmente in vigore prevedono infatti, rispetto alla precedente classificazione comunale, un'analisi più puntuale della pericolosità sismica di base e dell'accelerazione sismica di riferimento.

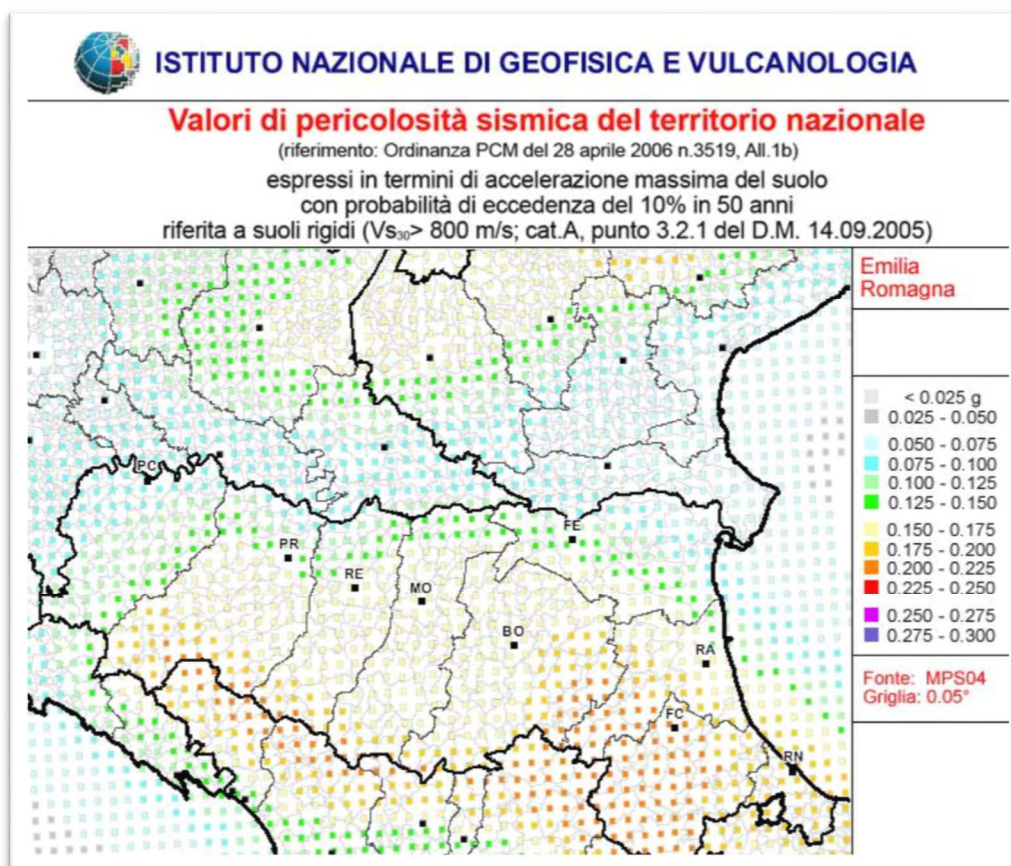


Fig. 28 – Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni tratto da INGV

Vengono utilizzate al meglio le possibilità offerte dalla definizione della pericolosità sismica italiana, recentemente prodotta e messa in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). L'azione sismica è valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, riferendosi non ad una zona sismica territorialmente coincidente con più entità amministrative, ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva in precedenza, bensì sito per sito e costruzione per costruzione. Tale approccio dovrebbe condurre in media, sull'intero territorio nazionale, ad una significativa ottimizzazione dei costi delle costruzioni antisismiche, a parità di sicurezza.

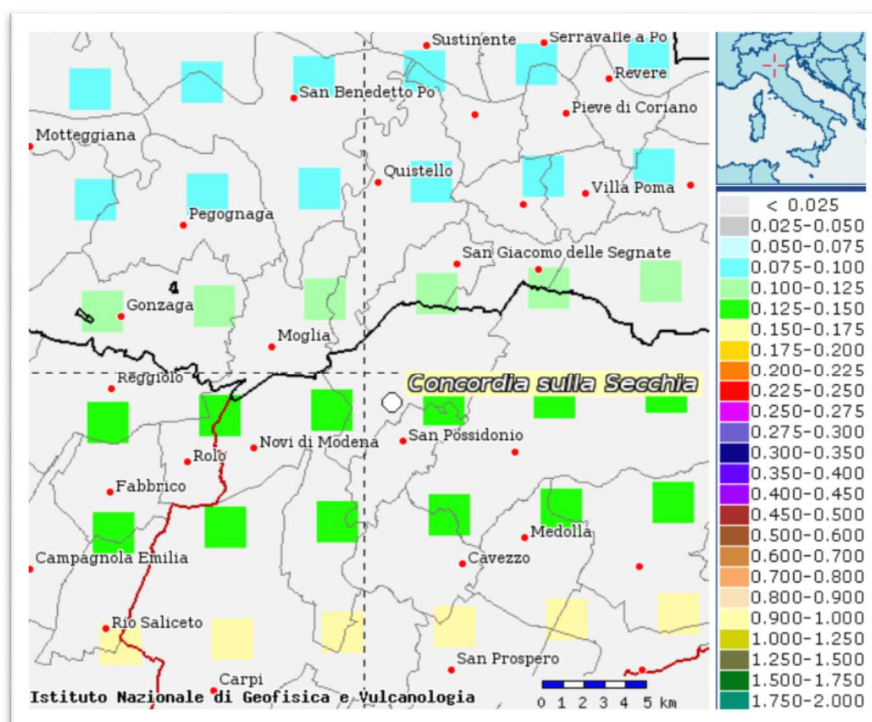


Fig. 29 – Particolare della Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni tratto da INGV

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni superate le quali l'opera non soddisfa più le esigenze per cui è stata progettata.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" VR e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR.

In conformità con quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 "Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni", la pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali definite su sito di riferimento rigido (sottosuolo di categoria A) orizzontale in funzione dei seguenti tre parametri:

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

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, riportati nelle tabelle dell'ALLEGATO C delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

Ogni spettro di risposta elastico è la rappresentazione oggettiva e sintetica delle principali caratteristiche di un terremoto o, meglio, dei possibili terremoti che si possono verificare in un dato sito. Ogni spettro di risposta elastico è legato, insieme ai parametri che lo descrivono, ad un determinato tempo di ritorno. All'aumentare del tempo di ritorno considerato aumenta anche la severità del sisma atteso e con esso i parametri che descrivono il suo spettro di risposta.

Per l'area oggetto di intervento (coordinate geografiche ED 50: Longitudine = 10°,982598 – Latitudine = 44°,915719) i valori che risultano sono riportati in Tabella 2 e sono stati ricavati attraverso il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il D.M. 14.01.2008 considera quattro stati limite per i quali l'opera deve garantire sicurezza; ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento (PVr) dell'azione sismica di riferimento durante il periodo di riferimento dell'opera (Vr); l'azione sismica di riferimento è quella descritta dallo spettro di risposta elastico per un determinato tempo di ritorno. Il tempo di ritorno da considerare è legato da una relazione a Vr e a PVr. Ad esempio per lo stato limite di collasso SLV l'azione sismica di riferimento, per un'opera con vita nominale di 50anni con classe di uso II, è quella dello spettro di risposta con tempo di ritorno di 475 anni; la normativa prevede che durante la vita di riferimento dell'opera vi sia il 10% di probabilità che l'azione sismica possa superare quella di riferimento.

L'edificio in esame, ricadendo tra il tipo di costruzione delle opere ordinarie in cui si prevede un normale affollamento, è stato classificato in classe II. Il periodo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica è quindi di 50 anni.

Il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici permette di ottenere gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite (Tabella 3 e Figura 27). Ad esempio, nel caso in esame, opera con classe d'uso II, il valore di a_g (per $T=0$) di riferimento per il calcolo dell'azione sismica in SLV è di 0.132g con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni con un tempo di ritorno di 475 anni.

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,036	2,583	0,242
50	0,045	2,545	0,269
72	0,054	2,502	0,275
101	0,064	2,498	0,282
140	0,075	2,523	0,276
201	0,089	2,597	0,269
475	0,132	2,585	0,271
975	0,179	2,544	0,276
2475	0,257	2,457	0,288

Tabella 2 – Parametri della forma spettrale a_g , F_0 e T_C' del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R).

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,037	2,583	0,242
SLD	50	0,045	2,543	0,269
SLV	475	0,132	2,585	0,271
SLC	975	0,179	2,543	0,276

Tabella 3 – Parametri della forma spettrale a_g , F_o e T_c^* del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R) per i diversi stati limite.

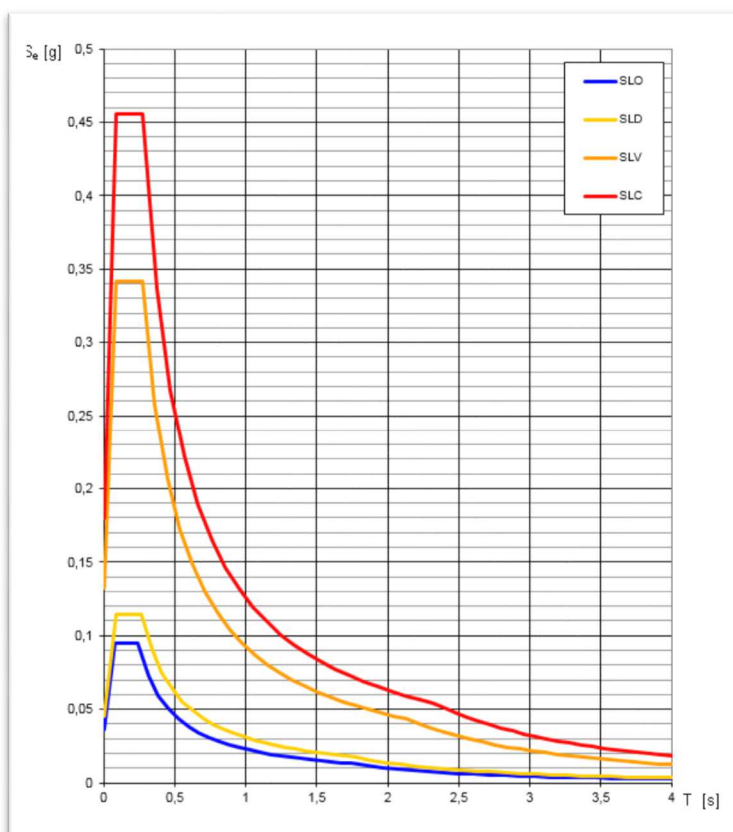


Fig. 30 – Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali per i periodi di tempi di ritorno T_R , associati ai diversi stati limite su sito di riferimento rigido (elaborazione effettuata mediante “Spettri NTC ver.1.0.3”).

4.3 Risposta sismica locale

Una volta definito il progetto, per uno specifico sito o area ed adottato lo stato limite da analizzare, la risposta sismica di base sito-specifica va ulteriormente sviluppata considerando l’amplificazione sismica in funzione delle condizioni litostratigrafiche e topografiche

Va ricordato, infatti, che il moto generato da un terremoto in un sito, è influenzato dalle particolari condizioni locali (risposta sismica locale), ovvero dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta

sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido, sottosuolo categoria A, con $V_{s30} > 800$ m/s (vedi paragrafo seguente), con superficie topografica orizzontale. Gli spettri di risposta elastica visti precedentemente sono riferiti a queste condizioni; per un sottosuolo di tipo diverso essi devono essere modificati, per tenere conto di eventuali fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica.

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale viene valutata in via semplificata con riferimento alle sette categorie del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione, definite dal D.M. 14.01.2008 "Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni", in relazione alle caratteristiche geofisiche e geotecniche del sottosuolo.

In particolare i parametri da considerare (Tabella 4) sono riferiti alla velocità delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri al di sotto della fondazione (V_{s30}), ottenuta, come già visto, attraverso la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

La prova congiunta MASW effettuata (vedi Allegato B) ha permesso di determinare un valore di V_{s30} , a piano campagna, superiore a **232 m/s**.

Sulla base di questi valori il suolo in esame può essere classificato in categoria C: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s...*).

Occorre pertanto considerare il rischio sismico, prevedendo in sede di progettazione accorgimenti costruttivi che garantiscano la stabilità delle opere anche in condizioni dinamiche, valutando in particolare le sollecitazioni orizzontali. Nel calcolo delle strutture sarà necessario considerare accelerazioni sismiche congruenti con quelle di riferimento definite su sito di riferimento rigido (sottosuolo di categoria A) orizzontale (0,132 g per SLV) e la categoria del suolo di fondazione "C".

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 4- Categorie del sottosuolo di fondazione

4.3.1 Amplificazione stratigrafica e topografica

L'areale risulta essere soggetto ad amplificazione di tipo stratigrafico del segnale sismico, derivante dalla presenza di terreni di **categoria C** con velocità delle onde di taglio comprese tra 180 m/s e 360 m/s. Si sottolinea come il risultato di V_{s30} ottenuto dall'elaborazione della prova geofisica effettuata ricada in pieno nei limiti della categoria C pur riferendosi al piano campagna; occorre poi osservare che in base a quanto previsto dall'art 3.2.2 NTC08, per le fondazioni superficiali, la profondità delle V_{s30} debba essere riferita al piano di imposta delle stesse e che pertanto, a maggior ragione, solo ipotizzando una quota di imposta di 1,0 m dal p.c., la velocità media di taglio entro i 30 m aumenta ($V_{s30} = 242$ m/s), consolidando maggiormente l'appartenenza dei terreni presenti nell'area di studio alla categoria indicata, categoria di suolo C.

Considerando una morfologia sub-pianeggiante dell'area di studio la condizione topografica si può connotare come configurazione semplice e si può adottare la classificazione di Tabella 3.2.IV delle NTC, valutando la categoria topografica T1. Si considera pertanto l'area non suscettibile ad amplificazione topografica.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = SS \cdot St \cdot a_g.$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (SS) e dell'amplificazione topografica (St),

a_g = accelerazione orizzontale massima (per un determinato stato limite) attesa su sito di riferimento rigido ($T=0$).

I coefficienti assumono i seguenti valori (Tabella 4):

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss – Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.50	1.44
Cc – Coeff. funz. categoria	1.68	1.62	1.61	1.60
St – Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 4– Coefficienti di amplificazione del segnale sismico

Il coefficiente sismico orizzontale k_h viene calcolato con la seguente relazione:

$$k_h = \beta \cdot a_{max} \text{ (g)}$$

Per il calcolo di β si fa riferimento alla Tabella 5.

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

Tabella 5 – Valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

I parametri sismici per i diversi stati limite, pertanto, assumono i valori riportati nella seguente Tabella 6:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0.011	0.013	0.046	0.059
k_v	0.005	0.007	0.023	0.030
$A_{max} \text{ (m/s}^2\text{)}$	0.532	0.650	1.875	2.430
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Tabella 6– Parametri sismici k_h e k_v per i diversi stati limite

I parametri di scuotimento vengono calcolati, secondo le NTC, a partire dalle stime di pericolosità sismica di base tenendo conto dell'amplificazione stratigrafica derivante dalla natura del terreno. Gli eventi sismici del 20 e 29 Maggio 2012 permettono di verificare se vi sia corrispondenza tra le stime del metodo semplificato delle NTC 08 e i valori reali misurati. Durante tali eventi sono stati registrati dalla Rete Accelerometrica Nazionale i parametri di scuotimento al suolo. In particolare dalla mappa delle massime accelerazioni rilevate (Fig. 31) si vede come il Comune di Concordia abbia subito accelerazioni orizzontali comprese tra 2.00 e 3.03 m/s²; tali valori di accelerazione risultano compatibili con i valori compresi tra 1,875 m/s² e 2.430 m/s² calcolati secondo la normativa NTC 08 per gli stati limite SLV e SLC rispettivamente (Figura 28)

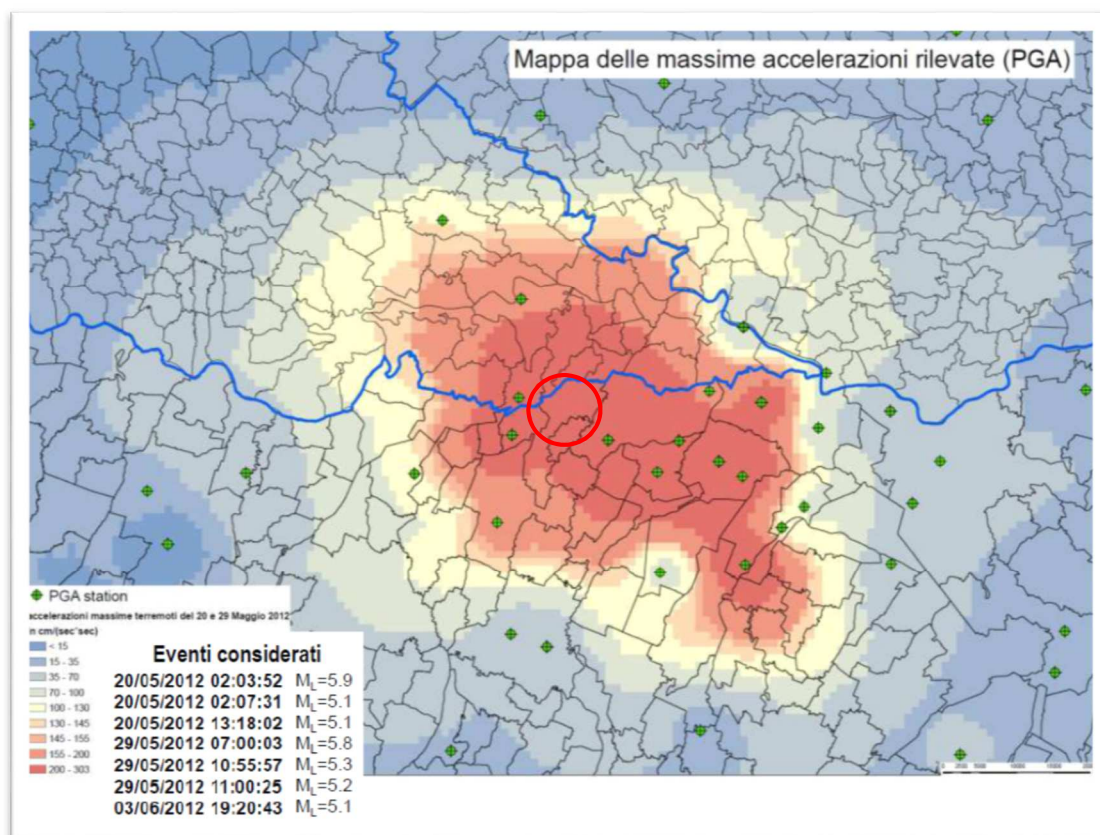


Fig. 31 –Accelerazioni rilevate al suolo (nel cerchio il Comune di Concordia sulla Secchia)

4.3.2 Occorrenza di fenomeni di liquefazione

La possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione può essere esclusa, in quanto è stata accertata l'assenza di depositi sabbiosi (fuso granulometrico di riferimento delle NTC 08) di spessore significativo entro i primi 20 metri di sottosuolo e pertanto la verifica può essere omessa in virtù delle circostanze previste dal cap. 7.11.3.4.2 delle NTC 08.

La tavola PSC4.3 allegata al quadro conoscitivo del Piano Strutturale Comunale, approvato con C.C. n. 23 del 20/04/2009 “Aree potenzialmente soggette ad effetti locali per eventi sismici” classifica l'area di interesse tra le aree soggette a possibili effetti attesi tra cui amplificazione di tipo stratigrafico, potenziale liquefazione e cedimenti (Fig. 32).

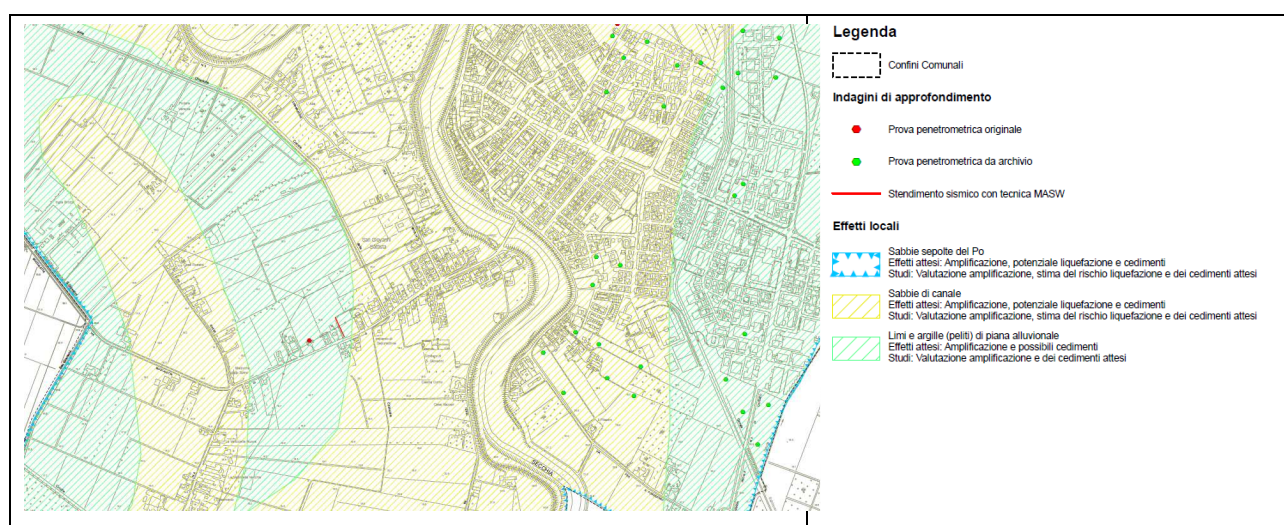


Fig. 32 – Stralcio della Tavola 4.3 del PSC del Comune di Concordia

La carta degli affetti della liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 Maggio 2012, elaborata dalla Regione Emilia Romagna, riporta, per l'abitato di Concordia, un fenomeno di liquefazione osservato (Fig. 33).

Si è ritenuto quindi opportuno approfondire tale aspetto mediante analisi di dettaglio del rischio di liquefazione, sebbene il riconoscimento stratigrafico desunto dall'elaborazione della prova SCPTU abbia determinato la presenza di litologie prettamente argillo-limose e l'assenza di depositi sabbiosi fino alla profondità di circa 20 m da p.c. profondità indicata dagli “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” come quella significativa entro cui verificare il rischio di liquefazione dei terreni.

Il rischio di liquefazione è stato, pertanto, valutato per mezzo di apposito software (Liquesab, autore Guido Riga) partendo dai dati della prova penetrometrica eseguita.

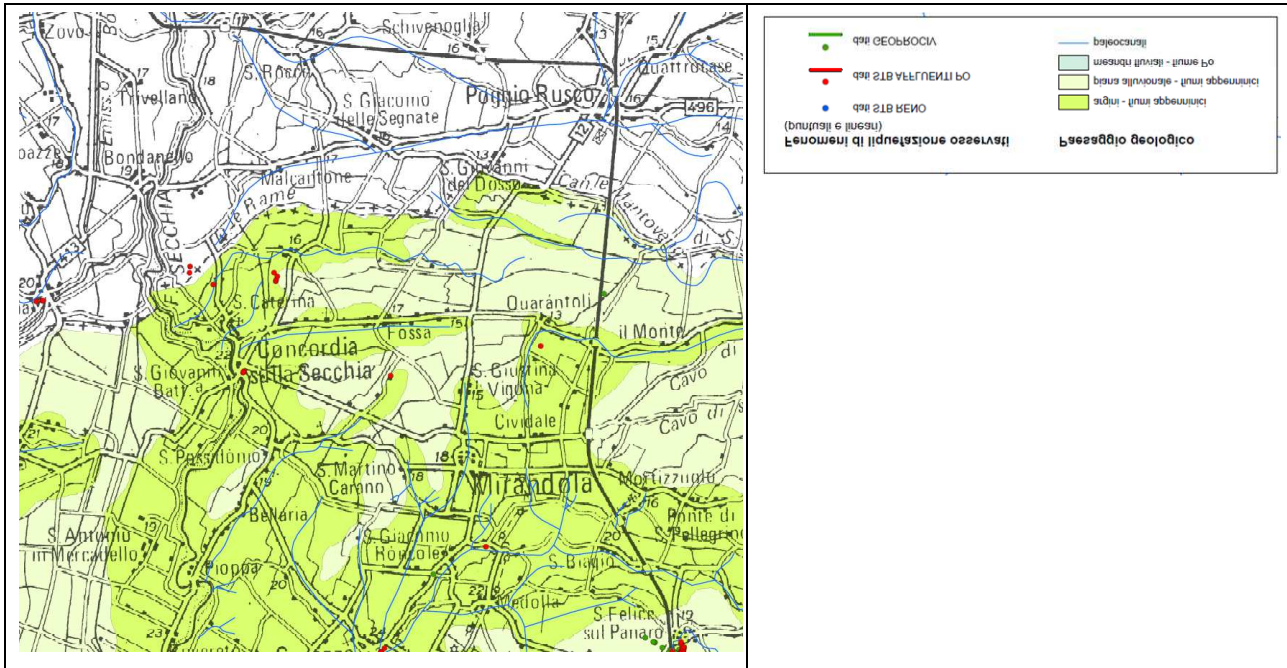


Fig. 33 – Stralcio della Carta degli effetti della liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 maggio 2012 -RER

L'analisi quantitativa svolta si basa sulla determinazione della resistenza di un terreno alla liquefazione attraverso la stima della domanda di resistenza ciclica alla liquefazione (CSR – Cyclic Stress Ratio) e della capacità di resistenza ciclica (CRR Cyclic Resistance Ratio). La conoscenza dei parametri suddetti permette la valutazione del fattore di sicurezza.

Secondo Seed e Idriss (1971) la CSR è calcolata utilizzando la seguente formula:

$$CSR = \tau_{av}/\sigma'_{vo} = 0,65 (a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})r_d$$

Dove:

a_{max} = accelerazione massima alla superficie del suolo;

g = accelerazione di gravità;

σ_{vo} = tensione verticale litostatica totale;

σ'_{vo} = tensione verticale litostatica effettiva;

r_d = fattore di riduzione delle tensioni alla profondità interessata;

0,65 = fattore peso;

τ_{av} = sforzo di taglio ciclico medio.

La capacità di resistenza alla liquefazione CRR è stata valutata a partire dai risultati delle prove penetrometriche statiche (CPTU) e più precisamente è stato fatto riferimento al valore della resistenza penetrometrica statica normalizzata (q_{c1N}), cioè al valore della resistenza alla punta normalizzata a circa 100 KPa (1 atm)

$$q_{c1N} = C_q * (q_c/P_a)$$

dove

C_q = fattore di normalizzazione = P_a/σ'_{vo}

P_a = pressione atmosferica (1 atm);

n = esponente usato per calcolare I_c

q_c = resistenza penetrometrica misurata in campagna

I_c = indice del tipo di terreno $I_c = ((3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + F)^2)^{0,5}$

$Q = ((q_c - \sigma_{vo})/P_a) * ((P_a/\sigma'_{vo})^n)$

F = attrito laterale normalizzato = $(f_s/(q_c - \sigma_{vo})) * 100\%$ dove f_s = resistenza laterale calcolata

La resistenza penetrometrica normalizzata per limi e sabbie viene trasformata in equivalente a sabbia pulita tramite la formula:

$$(q_{c1N})_{cs} = k_c * q_{c1N}$$

dove k_c è un fattore di correzione per caratteristiche granulometriche definito dalla equazione di Robertson e Wride.

K_c è funzione del contenuto dei fini $FC = 1,75 * I_c^{3,25} - 3,7$.

Viene quindi calcolato il fattore di sicurezza a liquefazione $FSL = CRR_{eq}/CSR_{fs}$.

CRR_{eq} cioè la CRR corretta dello sforzo di sovrappressione è uguale a:

$$CRR_{eq} = CRR_M * k_\sigma * k_\alpha$$

dove k_σ e k_α sono coefficienti di correzione per la tensione tangenziale mobilizzata e per la pressione efficace litostatica.

CRR_M è la capacità di resistenza alla liquefazione corretta della magnitudo. Per terremoti di magnitudo diversa da 7,5 il valore $CRR_{7,5}$ sarà corretto da un fattore di correzione della magnitudo MSF secondo la formula:

$$CRR_M = CRR_{7,5} * MSF.$$

CSR_{fs} è la CSR corretto con un fattore di sicurezza, in questo caso pari a 1.

L'indice del potenziale di liquefazione IP_L basato sul metodo di Iwasaki e al. è definito come:

$$IP_L = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

dove

$F(z)$ è una funzione del fattore di sicurezza;

$w(z) = 10 - 0,5 z$ (z = profondità);

dz è l'incremento differenziale della profondità.

In base a tale formula si ottiene che

IP_L	RISCHIO LIQUEFAZIONE
$IP_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < IP_L \leq 2$	Basso
$2 < IP_L \leq 5$	Moderato
$5 < IP_L \leq 15$	Alto
$IP_L > 15$	Molto alto

La probabilità di liquefazione è data dalla seguente equazione:

$$P_L = \frac{1}{1 + (FSL / 0.77)^{3.25}}$$

La suscettibilità a liquefazione è correlata al valore di PL tramite la seguente tabella:

PROBABILITÀ	SUSCETTIBILITÀ
$0,85 \leq PL$	Quasi certamente si ha liquefazione
$0,65 \leq PL \leq 0,85$	Molto probabile
$0,35 \leq PL \leq 0,65$	Liquefazione/non liquefazione stessa probabilità
$0,15 \leq PL \leq 0,35$	Non probabile
$PL < 0,15$	Quasi certamente non si ha liquefazione

Si passa quindi alla correlazione tra probabilità e potenziale di liquefazione secondo la seguente tabella:

PROBABILITÀ	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
$> 50\%$	alto
$10 - 50 \%$	moderato
$5 - 10 \%$	basso
$< 5 \%$	Molto basso

Dalle verifiche effettuate (Allegato C), svolte in relazione ai risultati delle indagini eseguite, emerge che la verifica della suscettibilità alla liquefazione evidenzia la non liquefacibilità dei terreni presenti fino alla profondità di fine indagine (circa -21.5 m da p.c.) eccezione fatta per alcuni materiali di spessore decimetrico presenti tra alla profondità di circa 20.0 e 20.5 m da p.c.

La verifica del rischio di liquefazione, considerando una magnitudo momento di 6,00 come indicato per la zona sismogenetica ITSC107 - Mirandola e un'accelerazione orizzontale al suolo di 0,30 g, come misurato in occasione degli ultimi pesanti eventi sismici del maggio c.a., evidenzia che i punti relativi alla prova scelta si distribuiscono tutti nell'area al di sotto della linea CSR/qc_{1Ncs} , appartenente al campo dei terreni NON liquefacibili. La verifica compiuta, inoltre, ha permesso di calcolare le accelerazioni critiche richieste per l'inizio della liquefazione che, in relazione alle prove penetrometriche eseguite, sono state determinate in valori superiori a quelle attese per la zona di appartenenza.

5. CONCLUSIONI

In ordine alle risultanze dell'indagine condotta, ai dati acquisiti relativi all'assetto litostratigrafico ed alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni del sottosuolo, si esprimono le seguenti considerazioni in merito alle verifiche effettuate.

Sulla base delle considerazioni esposte nei capitoli precedenti risulta che:

- l'area in esame appare stabile e si presenta caratterizzata da una superficie subpianeggiante occupata dai depositi alluvionali quaternari del fiume Secchia a granulometria medio-fine con prevalenza, nei primi metri, di argille limose e limi-argillosi, seguiti, oltre i 20 m di profondità da p.c., da sabbie ritenute ragionevolmente depositate dal fiume Po;
- dal punto di vista geologico strutturale il comune di Concordia è caratterizzato dal sistema delle pieghe Ferraresi che rappresentano il sistema tettonico posto più a nord dell'Appennino Settentrionale. Esso è rappresentato da un sistema di faglie inverse e fronti di accavallamento che formano un fascio arcuato di strutture che vergono dapprima in senso SO-NE a nord di Reggio Emilia per poi virare da Novi verso Mirandola e il ferrarese. Le pieghe Ferraresi-Romagnole attraversano il territorio di Concordia a nord del capoluogo dove determinano un innalzamento del substrato sedimentario marino di età pliocenica che raggiunge, in questa porzione di pianura, la profondità di poche decine di metri dalla superficie. La zona è da considerarsi sismicamente attiva;
- sotto il profilo idrogeologico, l'area è caratterizzata da una falda confinata impostata nei depositi alluvionali del fiume Po ragionevolmente riscontrati a circa 20 m dal p.c. attuale a cui si saldano falde freatiche in equilibrio con il livello idrometrico del fiume Secchia. E' possibile pertanto, in occasione delle stagioni umide e delle piene del Fiume Secchia, riscontrare un livello piezometrico prossimo al piano campagna. Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche è stato misurato un livello piezometrico a circa 4.0 m da p. c.;
- le indagini geognostiche effettuate, costituite da una prova penetrometrica statica con piezocono sismico, tipo SCPTU, ha permesso di individuare, entro la profondità indagata di circa 21,5 m da p.c., sette principali livelli lito-geomeccanici differenti, denominati con lettere progressive da A e G, di natura prevalentemente coesiva fino a circa 20 m e incoerente fino alla massima profondità indagata, profondità alla quale per la presenza di depositi sabbiosi addensati si è raggiunto il rifiuto strumentale; entro la profondità di 2.5 m da p.c. i terreni, di natura incoerente per i primi 1.5 m e di natura coesiva a seguire, presentano caratteristiche di sovraconsolidazione. Sottoposti ad essi i terreni prevalentemente argillosi e argillo-limosi da normalconsolidati e leggermente consolidati presentano valori geotecnici scarsi fino alla profondità di circa 9 m da p.c. Più in profondità e fino al livello sabbioso addensato presente a profondità di circa 20.5 m da p.c. i terreni sempre di natura argillo-limosa, aumentano le caratteristiche geotecniche sebbene esse rimangano contenute entro valori modesti;
- la parametrizzazione dei livelli lito-geomeccanici individuati è stata basata sulle risultanze dell'elaborazione dell'indagini eseguite, permettendo di assegnare i principali parametri

fisico-meccanici responsabili del comportamento di resistenza del complesso terreno-fondazioni;

- sismicamente l'area ricade in zona sismica 3 e risulta soggetta ad una sismicità storica medio-bassa, indotta da terremoti documentati con epicentro al di fuori del territorio comunale. La recente sequenza sismica avvenuta nel periodo maggio-luglio 2012 ha evidenziato una pericolosità sismica legata agli effetti di amplificazione di tipo stratigrafico dell'input sismico, derivante dalla presenza di depositi alluvionali con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s. La morfologia subpianeggiante, permette di escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico. La verifica della suscettibilità alla liquefazione, calcolata mediante software dedicato, ha evidenziato terreni non liquefacibili fino ad una profondità di circa 20 m da p.c. a cui segue un livello decimetrico di terreni potenzialmente liquefacibili e fino alla profondità di 20.5 m da p.c. Tuttavia la verifica del rischio di liquefazione ha portato tutti i punti scelti per la verifica a ricadere nel campo della "non liquefazione";
- in seguito agli eventi sismici del maggio 2012, l'area è stata inserita nella zona sismogenetica ITSC107 Mirandola, ritenuta sismicamente attiva;
- dalla elaborazione della prova MASW effettuata è stato possibile determinare un valore di V_{s30} pari a 232 m/sec (partendo da p.c.) verificando pertanto l'appartenenza dei depositi presenti nell'area di studio alla categoria di sottosuolo C “
- l'area oggetto di studio presenta valori dell'accelerazione orizzontale su suolo rigido, per i diversi stati limite, compresi tra 0,037g e 0,179g; considerando un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s pari a 1,5 (suolo tipo C) si arriva a valori compresi tra 0,055g e 0,268g; valori compatibili con quelli registrati durante gli eventi sismici del Maggio 2012;

Parma, Novembre 2015



Dr. Geol. Fabio Francesco Picinotti

Fabio F. Picinotti

6. BIBLIOGRAFIA

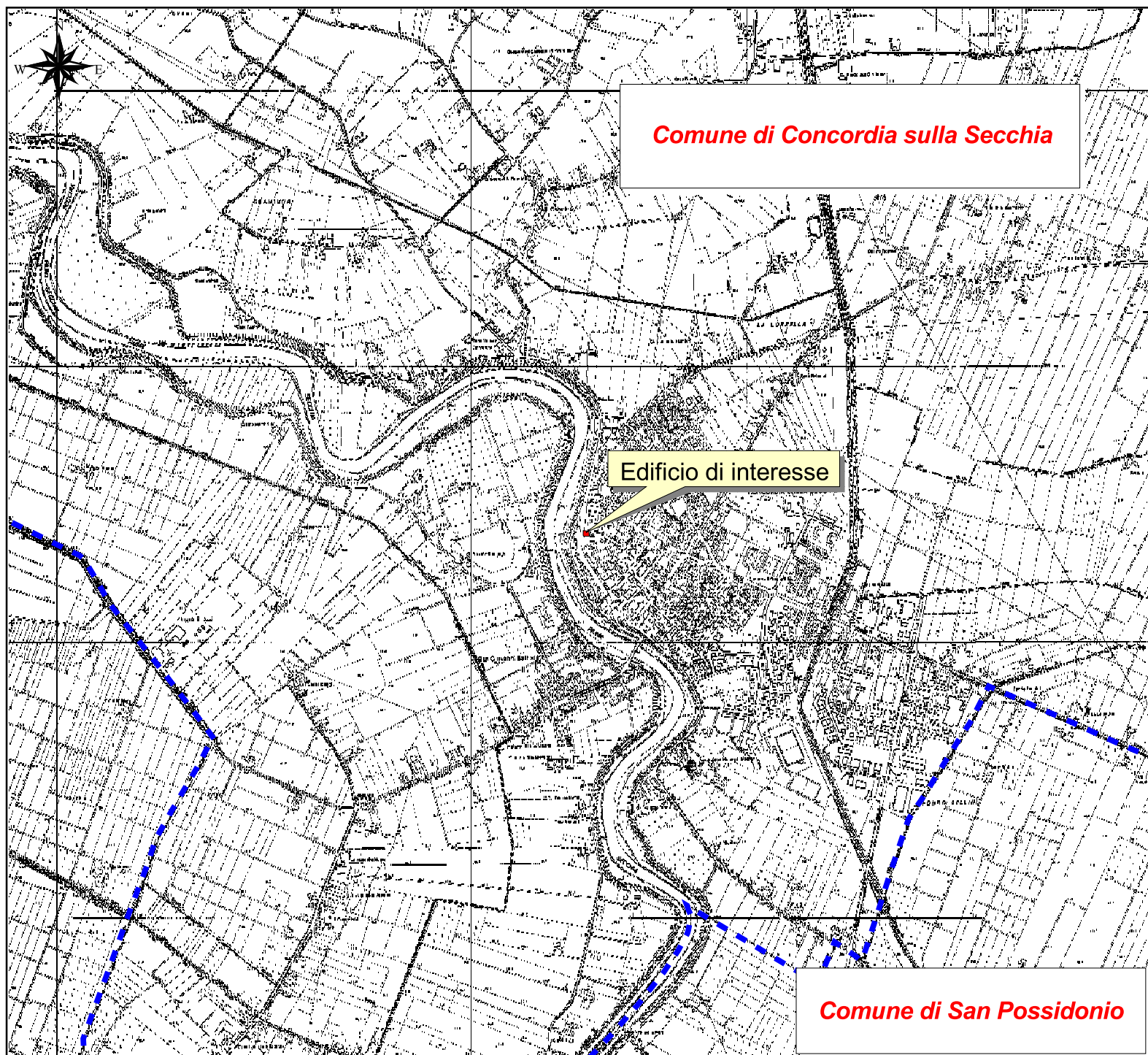
- BERNINI M. E PAPANI G., (1987): ALCUNE CONSIDERAZIONI SULLA STRUTTURA DEL MARGINE APPENNINICO EMILIANO TRA STIRONE ED ENZA (E SULLE RELAZIONI CON IL SISTEMA DEL F. TARO). L'ATENEO PARMENSE, ACTA NAT., 23, 4, 219-240, PARMA.
- BOWLES JOSEPH E. (1991): FONDAZIONI. MCGRAW-HILL.
- BRINCH HANSEN J. (1961): A GENERAL FORMULA FOR BEARING CAPACITY. THE DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE, BULL. N. 11, COPENHAGEN.
- BRINCH HANSEN J. (1970): A REVISED AND EXTENDED FORMULA FOR BEARING CAPACITY. THE DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE, BULL. N. 28, COPENHAGEN.
- BRUSCHI A., (2010): PROVE GEOTECNICHE IN SITU. DARIO FLACCOVIO EDITORE
- BRUSCHI A., (2012): INTERPRETAZIONE DI PROVE GEOTECNICHE IN SITU. DARIO FLACCOVIO EDITORE
- CESTARI F. (1996): PROVE GEOTECNICHE IN SITO. GEO-GRAPH S.N.C.
- COMUNE DI VILLA POMA: PGT 2010, RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
- LAMBE & WHITMAN (1997): MECCANICA DEI TERRENI; DARIO FLACCOVIO EDITORE
- LANCELOTTA R., (1987): GEOTECNICA. ZANICHELLI
- MEYERHOF G.G. (1951): THE ULTIMATE BEARING CAPACITY OF FOUNDATIONS. GEOTECHNIQUE, 2, PP. 301-332.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA. – ENI AGIP (1998): RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA. – UNIVERSITA DI SIENA (2013): ASSETTO TETTONICO E POTENZIALITÀ SISMOGENETICA DELL' APPENNINO TOSCO-EMILIANO E DELLA VAL PADANA.
- P.K. ROBERTSON & K.L. CABAL (2010): GUIDE TO CONE PENETRATION TEST FOR GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING
- P.K. ROBERTSON (2012): INTERPRETATION OF IN-SITU TEST – SOME INSIGHTS (MITCHELL LECTURE 2012)
- SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (2005): CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50000 – FOGLI 199 E 201.
- SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (1994). I SUOLI DELL'EMILIA ROMAGNA - CARTA 1:250.000.

SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA
(2004): CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ALLA SCALA 1:250000

TERZAGHI K., PECK R.B. (1967): SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE, JOHN WILEY & SONS, NEW YORK.

VESIC A.S. (1970): TESTS ON INSTRUMENTED PILES, OGEECHEE RIVER SITE, JSMFD, ASCE, VOL 96, N. SM2, PROC. PAPER 7170, MARCH.

ELABORATI CARTOGRAFICI





PROVINCIA DI MODENA
COMUNE DI CONCORDIA s.S

RIPARAZIONE SISMICA DI
IMMOBILE DEMANIALE IN USO
AD A.I.PO

Tav. 1
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
(SCALA 1:20.000)

LEGENDA

-  Edificio in uso A.I.PO
-  Confine comunale

Comune di San Possidonio



Studio di geologia
Dott. Fabio Francesco Picinotti



PROVINCIA DI MODENA
COMUNE DI CONCORDIA s.S

RIPARAZIONE SISMICA DI
IMMOBILE DEMANIALE IN USO
AD A.I.PO

Tav. 2
UBICAZIONE
INDAGINI GEOGNOSTICHE

(SCALA 1:1000)

LEGENDA

- ▲ Prova penetrometrica con piezocono
sismico SCPTU 1
- Stendimento sismico tipo MASW



Studio di geologia
Dott. Fabio Francesco Picinotti

ALLEGATO A

Prova penetrometrica CPTu

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
0,14	0,86	0,6	0,07	-0,35	Ghiaia	8,5	50,6	38,6		5,4	6,7	199	
0,15	0,86	1,5	0,18	-1,36	Ghiaia	10,1	49,4	38,4		5,3	6,7	194	
0,16	0,87	2,4	0,28	0,3	Ghiaia	10,9	48,5	38,2		5,3	6,7	191	
0,17	0,86	3,1	0,36	0,24	Ghiaia	11,4	47,1	38		5,3	6,7	186	
0,18	0,85	2,5	0,3	0,35	Ghiaia	11,1	45,8	37,7		4,8	6,3	182	
0,19	0,85	2,7	0,32	0,24	Ghiaia	11,2	44,8	37,6		4,7	6,3	179	
0,2	0,84	2,6	0,31	0,12	Ghiaia	11,2	43,6	37,4		4,5	6,1	175	
0,21	0,85	2,8	0,33	0,95	Sabbia	11,4	43,1	37,3		4,4	6,1	173	
0,22	0,85	3,4	0,4	-1,77	Sabbia	11,7	42,3	37,1		4,4	6,1	170	
0,23	0,89	4,2	0,47	0,71	Sabbia	12,1	42,7	37,2		4,5	6,4	172	
0,24	0,91	3,8	0,41	-0,53	Sabbia	11,9	42,6	37,2		4,3	6,5	171	
0,25	0,94	4	0,43	0,06	Sabbia	12	42,8	37,2		4,3	6,7	172	
0,26	0,98	3,9	0,4	-0,53	Sabbia	12	43,2	37,3		4,2	6,9	173	
0,27	1,02	4	0,39	-0,18	Sabbia	12	43,7	37,4		4,1	7,1	175	
0,28	1,05	4	0,38	-0,06	Sabbia	12	43,8	37,4		4	7,3	175	
0,29	1,09	3,8	0,35	0,77	Sabbia	11,9	44,3	37,5		3,9	7,5	177	
0,3	1,15	3,8	0,33	0,77	Ghiaia	11,9	45,1	37,6		3,9	7,9	180	
0,31	1,31	5,7	0,44	0,41	Sabbia	12,5	48,1	38,1		4,3	9,3	190	
0,32	1,42	6,1	0,43	0,24	Sabbia	12,6	49,7	38,4		4,4	10,2	196	
0,33	1,52	6	0,39	0,06	Ghiaia	12,6	51	38,7		4,4	10,9	200	
0,34	1,63	5,9	0,36	0,24	Ghiaia	12,5	52,4	38,9		4,4	11,7	206	
0,35	1,7	6,8	0,4	0,89	Ghiaia	12,8	53	39		4,4	12,2	208	
0,36	1,75	7,7	0,44	0,47	Sabbia	13	53,3	39,1		4,5	12,7	209	
0,37	1,84	6,4	0,35	0,89	Ghiaia	12,7	54,2	39,2		4,3	13,1	213	
0,38	2	8,5	0,43	1	Ghiaia	13,1	56	39,6		4,6	14,7	220	
0,39	2,06	8,9	0,43	1,54	Ghiaia	13,2	56,3	39,6		4,6	15,1	221	
0,4	2,17	10,4	0,48	1,24	Sabbia	13,5	57,3	39,8		4,8	16,2	225	
0,41	2,27	12	0,53	0,71	Sabbia	13,7	58,1	39,9		5	17,2	229	
0,42	2,44	15,5	0,63	-0,12	Sabbia	14,1	59,6	40,2		5,3	19	235	
0,43	2,51	15,5	0,62	-0,18	Sabbia	14,1	59,9	40,3		5,3	19,5	237	
0,44	2,55	17	0,67	-0,3	Sabbia	14,3	60	40,3		5,4	20	237	
0,45	2,5	19,5	0,78	0,12	Sabbia	14,6	59	40,1		5,5	19,7	233	
0,46	2,44	21,2	0,87	0,41	Sabbia	14,7	58	39,9		5,6	19,4	228	
0,47	2,23	25,7	1,15	0,59	Sabbia	15,2	55,2	39,4		6,2	18,5	217	
0,48	2,29	22,7	0,99	0,41	Sabbia	14,9	55,5	39,5		5,6	18,2	218	
0,49	2,37	22,2	0,94	0,71	Sabbia	14,9	56,1	39,6		5,5	18,7	220	
0,5	2,46	21,4	0,87	1,12	Sabbia	14,8	56,7	39,7		5,3	19,1	223	
0,51	2,63	22,5	0,85	1,06	Sabbia	14,9	58,2	39,9		5,4	20,6	229	
0,52	2,64	24,5	0,93	0,18	Sabbia	15	57,9	39,9		5,5	20,8	228	
0,53	2,63	23,3	0,89	0,65	Sabbia	15	57,5	39,8		5,3	20,4	226	
0,54	2,67	23,3	0,87	0,59	Sabbia	15	57,6	39,8		5,2	20,6	227	
0,55	2,71	20,7	0,76	1,65	Sabbia	14,8	57,7	39,9		4,9	20,4	227	
0,56	2,8	19,2	0,69	0,3	Sabbia	14,6	58,2	40		4,7	20,7	229	
0,57	2,84	24,3	0,85	0,35	Sabbia	15	58,3	40		5,1	21,7	230	
0,58	2,81	26,1	0,93	1,06	Sabbia	15,2	57,7	39,9		5,2	21,7	227	
0,59	3,01	25	0,83	3,96	Sabbia	15,1	59,3	40,1		5,1	23,1	234	
0,6	3,35	26	0,77	4,14	Sabbia	15,1	61,9	40,6		5,1	25,7	246	
0,61	3,63	23,5	0,65	1,89	Sabbia	14,9	63,7	40,9		5	27,6	254	
0,62	3,18	23	0,72	6,32	Sabbia	14,9	59,9	40,3		4,7	23,6	237	
0,63	3,24	24,4	0,75	0,71	Sabbia	15	60,1	40,3		4,8	24,2	238	
0,64	3,24	26,1	0,81	0,24	Sabbia	15,2	59,9	40,3		4,9	24,4	237	
0,65	3,37	27,8	0,83	0,35	Sabbia	15,3	60,7	40,4		5	25,6	240	
0,66	3,48	28,9	0,83	0,47	Sabbia	15,3	61,3	40,5		5	26,4	243	
0,67	3,68	28,8	0,78	1,42	Sabbia	15,3	62,5	40,7		5	28	249	
0,68	3,82	28,7	0,75	1,3	Sabbia	15,3	63,3	40,9		5	29	252	
0,69	3,77	32,7	0,87	3,31	Sabbia	15,5	62,7	40,8		5,2	29,1	249	
0,7	3,57	44,1	1,24	2,01	Sabbia	16,1	61	40,4		6	29,2	241	
0,71	3,62	45,4	1,25	1,12	Sabbia	16,2	61,1	40,5		6,1	29,8	242	
0,72	3,63	44,6	1,23	1,24	Sabbia	16,2	60,9	40,4		5,9	29,5	241	
0,73	3,64	46,1	1,27	2,36	Sabbia	16,2	60,8	40,4		6	29,8	241	
0,74	3,61	44,7	1,24	1,3	Sabbia	16,2	60,3	40,3		5,8	29,1	239	
0,75	3,6	49,2	1,37	1,3	Sabbia	16,4	60	40,3		6,1	29,6	237	
0,76	3,6	43,1	1,2	1,24	Sabbia	16,1	59,8	40,2		5,6	28,6	236	
0,77	3,6	45,4	1,26	1,24	Sabbia	16,2	59,6	40,2		5,7	28,8	235	
0,78	3,62	46,5	1,28	2,13	Sabbia	16,3	59,5	40,2		5,7	29	235	
0,79	3,62	46,4	1,28	1,77	Sabbia	16,3	59,3	40,1		5,6	28,8	234	
0,8	3,57	48,6	1,36	1,71	Sabbia	16,4	58,7	40		5,8	28,8	231	
0,81	3,42	49,5	1,45	1,48	Sabbia limosa	16,5		39,8		5,9	27,8	205	
0,82	3,22	60,1	1,86	2,13	Sabbia limosa	16,9		39,5		6,9	27,8	198	
0,83	3,2	63,8	1,99	0,77	Sabbia limosa	17		39,4		7,3	28,3	197	
0,84	3,24	65,3	2,01	-0,65	Sabbia limosa	17		39,4		7,3	28,7	197	
0,85	3,29	67	2,04	-0,77	Sabbia limosa	17,1		39,5		7,4	29,3	198	
0,86	3,27	71	2,17	-0,24	Sabbia limosa	17,2		39,4		7,8	29,7	197	
0,87	3,25	76,4	2,35	-0,06	Sabbia limosa	17,3		39,3		8,3	30,3	195	

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN/mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
0,88	3,29	78,1	2,37	-0,3	Sabbia limosa	17,4		39,3		8,4	30,8	196	
0,89	3,35	80	2,39	0,3	Sabbia limosa	17,4		39,4		8,4	31,3	197	
0,9	3,51	83,1	2,37	0,65	Sabbia limosa	17,5		39,6		8,4	32,8	201	
0,91	3,63	85,8	2,36	0,89	Sabbia limosa	17,5		39,7		8,5	34,1	203	
0,92	3,88	83,3	2,15	1,6	Sabbia limosa	17,4		40		7,9	35,4	209	
0,93	3,59	82,5	2,3	0,71	Sabbia limosa	17,5		39,6		8,1	33,1	201	
0,94	3,59	82,5	2,3	0,71	Sabbia limosa	17,5		39,6		8	32,9	200	
0,95	3,59	82,5	2,3	0,71	Sabbia limosa	17,5		39,5		7,9	32,8	199	
0,96	3,48	85,6	2,46	0,77	Sabbia limosa	17,6		39,3		8,3	32,4	196	
0,97	3,51	69,7	1,98	0,06	Sabbia limosa	17,2		39,4		6,7	30	196	
0,98	3,69	65	1,76	1,77	Sabbia limosa	17		39,6		6,1	30,4	200	
0,99	3,62	62,2	1,72	0,83	Sabbia limosa	17		39,4		5,9	29,4	198	
1	3,4	65,2	1,92	0,83	Sabbia limosa	17,1		39,1		6,2	28,2	191	
1,01	3,33	61,5	1,85	-0,24	Sabbia limosa	17		39		5,9	27	188	
1,02	3,27	61,4	1,88	0,59	Sabbia limosa	17		38,9		5,9	26,6	186	
1,03	3,21	61,3	1,91	0,83	Sabbia limosa	17		38,7		5,9	26,1	184	
1,04	3,12	60,8	1,95	0	Sabbia limosa	17,1		38,6		5,9	25,3	181	
1,05	3,28	60,5	1,84	0,06	Sabbia limosa	17		38,8		5,7	26,3	185	
1,06	3,14	60,1	1,91	-0,47	Sabbia limosa	17		38,6		5,7	25,1	180	
1,07	3,06	64,7	2,11	0,06	Sabbia limosa	17,2		38,4		6,2	25,3	177	
1,08	3,02	65,7	2,18	-0,18	Sabbia limosa	17,2		38,3		6,3	25,2	176	
1,09	2,99	67,6	2,26	1,06	Sabbia limosa	17,3		38,2		6,4	25,1	174	
1,1	3,1	66,2	2,13	2,25	Sabbia limosa	17,3		38,4		6,1	25,5	177	
1,11	3,12	66,6	2,13	0,59	Sabbia limosa	17,3		38,4		6,1	25,7	177	
1,12	3,16	64,1	2,03	-3,13	Sabbia limosa	17,2		38,4		5,8	25,5	178	
1,13	3,26	62,3	1,91	3,9	Sabbia limosa	17,1		38,6		5,6	25,9	180	
1,14	3,39	60,4	1,78	3,13	Sabbia limosa	17,1		38,7		5,3	26,4	183	
1,15	3,54	55,2	1,56	0,06	Sabbia limosa	16,9		38,9		4,8	26,5	187	
1,16	3,44	53,5	1,56	1,06	Sabbia limosa	16,8		38,7		4,7	25,5	184	
1,17	3,2	64,7	2,02	1,12	Sabbia limosa	17,2		38,4		5,7	25,6	177	
1,18	3,15	66	2,1	0,47	Sabbia limosa	17,3		38,3		5,8	25,4	175	
1,19	3,25	67,5	2,08	1,12	Sabbia limosa	17,3		38,4		5,8	26,2	177	
1,2	3,33	66,6	2	0,65	Sabbia limosa	17,3		38,5		5,6	26,5	179	
1,21	3,37	48,4	1,44	0,47	Sabbia limosa	16,7		38,5		4,3	24,1	179	
1,22	3,48	51,2	1,47	0,41	Sabbia limosa	16,8		38,6		4,4	25,1	182	
1,23	3,65	53,4	1,46	1,6	Sabbia limosa	16,8		38,8		4,4	26,4	186	
1,24	3,9	56,4	1,45	1,95	Sabbia limosa	16,9		39,1		4,5	28,4	192	
1,25	4,11	56,8	1,38	1,42	Sabbia limosa	16,9		39,4		4,5	30	196	
1,26	3,82	49,6	1,3	0,41	Sabbia limosa	16,7		39		4,1	26,8	189	
1,27	3,03	40,3	1,33	5,91	Sabbia limosa	16,4		37,9		3,7	20,4	168	
1,28	3,05	59,1	1,94	1,77	Sabbia limosa	17,1		37,9		5	23,2	168	
1,29	3,03	63,7	2,1	1,24	Sabbia limosa	17,3		37,8		5,3	23,6	167	
1,3	3,12	62,7	2,01	0,12	Sabbia limosa	17,3		37,9		5,2	24,1	169	
1,31	3,26	59,4	1,82	0,71	Sabbia limosa	17,1		38,1		4,8	24,4	172	
1,32	3,34	55,3	1,65	0,06	Sabbia limosa	17		38,2		4,4	24,1	174	
1,33	3,31	62,2	1,88	1,06	Sabbia limosa	17,2		38,2		4,9	25	173	
1,34	3,43	61,1	1,78	1	Sabbia limosa	17,2		38,3		4,7	25,4	176	
1,35	3,54	61,2	1,73	1,48	Sabbia limosa	17,2		38,4		4,7	26,2	178	
1,36	3,74	58,6	1,57	0,89	Sabbia limosa	17,1		38,7		4,4	27	183	
1,37	3,83	58,5	1,53	2,54	Sabbia limosa	17		38,8		4,3	27,4	184	
1,38	3,96	54,9	1,39	1,12	Sabbia limosa	16,9		38,9		4,1	27,8	187	
1,39	4,29	53,3	1,24	2,48	Sabbia	16,8	54,5	39,3		3,9	29,5	214	
1,4	5,7	66,9	1,17	3,49	Sabbia	17,1	62	40,6		4,4	41,2	246	
1,41	4,84	54,6	1,13	1,18	Sabbia	16,8	57,5	39,8		3,9	33,3	226	
1,42	4,75	46	0,97	1,48	Sabbia	16,5	56,9	39,7		3,5	31,3	224	
1,43	4,24	45,3	1,07	1,71	Sabbia	16,5	53,7	39,1		3,5	27,9	211	
1,44	3,97	42,5	1,07	3,07	Sabbia	16,5	51,9	38,8		3,4	25,9	204	
1,45	3,54	49,7	1,4	4,67	Sabbia limosa	16,8		38,2		3,8	24,1	174	
1,46	3,21	54,3	1,69	2,07	Sabbia limosa	17		37,8		4,1	22,5	166	
1,47	2,84	64,6	2,27	2,54	Sabbia limosa	17,4		37,1		5,1	21,7	156	
1,48	2,69	70,8	2,63	4,14	Sabbia limosa	17,6		36,9		5,8	21,7	151	
1,49	2,5	81,6	3,26	3,19	Sabbia limosa	18		36,5		7	21,7	145	
1,5	2,39	86,7	3,63	3,72	Limo argilloso	18,1			33,5	7,6	8,7	71	0,115
1,51	2,28	92,5	4,06	3,6	Limo argilloso	18,3			35,6	8,4	8,4	69	0,121
1,52	2,17	98,3	4,53	2,6	Limo argilloso	18,4			38,5	9,2	8,1	67	0,127
1,53	1,96	108,2	5,52	3,13	Limo argilloso	18,6			42,5	10,7	7,4	64	0,14
1,54	1,9	114,4	6,02	2,01	Limo argilloso	18,8			45	11,4	7,2	62	0,147
1,55	1,84	119,3	6,49	1,3	Argilla	18,9			46,1	12	4,7	30	0,153
1,56	1,78	121,2	6,81	2,13	Argilla	18,9			46	12,2	4,5	30	0,158
1,57	1,72	120,5	7,01	2,07	Argilla	18,9			46,4	12,2	4,4	29	0,16
1,58	1,66	112,1	6,75	1,24	Argilla	18,8			44,7	11,5	4,2	29	0,157
1,59	1,64	108,3	6,6	-0,65	Argilla	18,8			42,8	11,1	4,1	28	0,155
1,6	1,62	109,6	6,76	-1,06	Argilla	18,8			43,5	11,2	4,1	28	0,157
1,61	1,92	100,1	5,21	-0,65	Limo argilloso	18,5			41,5	9,5	7,2	62	0,136

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
1,62	1,67	98,1	5,87	0	Argilla	18,6			41,2	9,9	4,2	29	0,145
1,63	1,71	97	5,67	19,98	Limo argilloso	18,6			41,5	9,6	6,4	58	0,142
1,64	1,66	93,9	5,65	32,15	Limo argilloso	18,5			41,2	9,4	6,2	57	0,142
1,65	1,39	93,3	6,71	30,79	Argilla	18,6			40,2	9,9	3,4	26	0,155
1,66	1,36	93,7	6,89	27,24	Argilla	18,6			40,5	9,9	3,4	26	0,158
1,67	1,44	91,4	6,34	25,35	Argilla	18,6			39,5	9,5	3,6	26	0,151
1,68	1,4	88,5	6,32	25,83	Argilla	18,5			38,8	9,2	3,4	26	0,15
1,69	1,4	86,3	6,17	26,18	Argilla	18,5			38,5	9	3,4	26	0,148
1,7	1,35	84,1	6,23	29,08	Argilla	18,5			38,1	8,8	3,3	25	0,149
1,71	1,36	83,4	6,14	27,48	Argilla	18,4			38,1	8,7	3,3	25	0,148
1,72	1,36	83,1	6,11	26,89	Argilla	18,4			38	8,6	3,3	25	0,148
1,73	1,36	83,2	6,12	27,3	Argilla	18,4			38,3	8,6	3,3	25	0,148
1,74	1,36	84,5	6,21	26,83	Argilla	18,5			38,9	8,7	3,3	25	0,149
1,75	1,37	85,2	6,22	26,54	Argilla	18,5			39,1	8,7	3,4	25	0,149
1,76	1,36	85,4	6,28	26,71	Argilla	18,5			39,4	8,7	3,3	25	0,15
1,77	1,4	82,7	5,91	29,61	Argilla	18,4			38,3	8,3	3,4	25	0,145
1,78	1,63	81,2	4,98	28,01	Limo argilloso	18,3			38,2	7,7	5,9	55	0,133
1,79	1,56	72,3	4,64	26,36	Limo argilloso	18,1			35,8	7	5,6	54	0,128
1,8	1,5	67,9	4,53	26,06	Limo argilloso	18			34,1	6,7	5,4	53	0,127
1,81	2,49	76	3,05	29,55	Sabbia limosa	18		35,9		5,6	19,8	137	
1,82	2,96	75,8	2,56	33,86	Sabbia limosa	17,9		36,7		5	22,5	149	
1,83	2,98	73,3	2,46	33,98	Sabbia limosa	17,8		36,7		4,8	22,3	149	
1,84	2,76	71	2,57	31,5	Sabbia limosa	17,8		36,4		4,8	20,6	144	
1,85	2,35	72,5	3,09	28,19	Sabbia limosa	17,9		35,6		5,4	18,4	132	
1,86	1,32	99,5	7,54	29,84	Argilla	18,8			43,4	9,4	3,3	24	0,166
1,87	1,52	97,5	6,41	29,55	Argilla	18,7			43	8,9	3,7	26	0,152
1,88	1,46	106,5	7,29	30,38	Argilla	18,9			45,8	9,6	3,6	26	0,163
1,89	1,59	107,3	6,75	30,55	Argilla	18,9			46,9	9,5	3,9	27	0,156
1,9	1,58	109,6	6,93	34,34	Argilla	18,9			47,6	9,6	3,9	27	0,158
1,91	1,35	107,8	7,99	37,88	Argilla	19			45,9	9,7	3,3	24	0,172
1,92	1,26	115,5	9,17	35,16	Argilla	19,2			47,6	10,1	3,1	24	0,188
1,93	1,22	117,5	9,63	33,63	Argilla	19,2			46,7	10,1	3	23	0,194
1,94	1,22	117,5	9,63	33,63	Argilla	19,2			47	10,1	3	23	0,194
1,95	1,22	117,5	9,63	33,63	Argilla	19,2			46,9	10	3	23	0,194
1,96	1,23	103,1	8,38	33,33	Argilla	19			44	9,1	3	23	0,177
1,97	1,23	106	8,62	33,45	Argilla	19			45	9,3	3	23	0,18
1,98	1,25	108,1	8,65	33,86	Argilla	19,1			45,6	9,4	3,1	23	0,181
1,99	1,27	108,6	8,55	35,22	Argilla	19,1			46,8	9,3	3,1	23	0,179
2	1,29	73,1	5,66	37,76	Argilla	18,3			37,6	6,9	3,1	24	0,141
2,01	1,31	73,2	5,59	38,06	Argilla	18,3			37,4	6,8	3,1	24	0,14
2,02	1,33	74,1	5,57	38,18	Argilla	18,3			37,6	6,8	3,2	24	0,14
2,03	1,35	75,3	5,58	38,3	Argilla	18,4			38,2	6,9	3,2	24	0,14
2,04	1,36	76,7	5,64	38,71	Argilla	18,4			38,5	6,9	3,2	24	0,141
2,05	1,35	74	5,48	39,18	Argilla	18,3			37,8	6,7	3,2	24	0,139
2,06	1,35	74,4	5,51	39,71	Argilla	18,3			38,1	6,7	3,2	24	0,139
2,07	1,34	75	5,6	40,72	Argilla	18,4			38,7	6,8	3,2	24	0,141
2,08	1,32	75	5,68	40,07	Argilla	18,4			38,5	6,7	3,1	24	0,142
2,09	1,33	75,4	5,67	40,01	Argilla	18,4			38,7	6,7	3,2	24	0,141
2,1	1,32	75,9	5,75	39,71	Argilla	18,4			39,3	6,8	3,1	24	0,143
2,11	1,31	76,7	5,86	39,71	Argilla	18,4			39,6	6,8	3,1	23	0,144
2,12	1,31	78	5,95	39,71	Argilla	18,5			39,2	6,9	3,1	23	0,145
2,13	1,29	81,1	6,29	39,95	Argilla	18,6			40,2	7,1	3,1	23	0,15
2,14	1,28	82,6	6,45	40,13	Argilla	18,6			40,9	7,2	3,1	23	0,152
2,15	1,27	83,8	6,6	40,19	Argilla	18,6			41,1	7,2	3	23	0,154
2,16	1,27	84,3	6,64	40,19	Argilla	18,7			41,3	7,2	3	23	0,154
2,17	1,23	85,1	6,92	39,89	Argilla	18,7			42	7,3	3	22	0,158
2,18	1,22	85,7	7,02	40,19	Argilla	18,7			42,2	7,3	2,9	22	0,159
2,19	1,22	85,8	7,03	40,6	Argilla	18,7			42	7,2	2,9	22	0,159
2,2	1,21	85,6	7,08	40,25	Argilla	18,7			42,2	7,2	2,9	22	0,16
2,21	1,2	85,6	7,13	40,42	Argilla	18,7			42,5	7,2	2,9	22	0,161
2,22	1,18	84,5	7,16	40,78	Argilla	18,7			41,1	7,1	2,8	22	0,161
2,23	1,17	83,4	7,13	41,01	Argilla	18,7			40,9	7	2,8	22	0,16
2,24	1,16	81,4	7,01	41,43	Argilla	18,7			40,6	6,9	2,8	22	0,159
2,25	1,16	79,6	6,86	41,55	Argilla	18,6			40	6,7	2,8	22	0,157
2,26	1,16	77,6	6,69	41,84	Argilla	18,6			39,7	6,6	2,8	22	0,155
2,27	1,16	76,1	6,56	57,44	Argilla	18,5			39,5	6,5	2,7	22	0,152
2,28	1,17	74,7	6,39	49,11	Argilla	18,5			38,7	6,3	2,8	22	0,15
2,29	1,21	71,4	5,9	45,98	Argilla	18,4			38	6,1	2,8	22	0,144
2,3	1,22	69,4	5,69	45,98	Argilla	18,3			37,2	5,9	2,9	22	0,141
2,31	1,22	67,3	5,52	46,1	Argilla	18,3			37	5,8	2,9	22	0,139
2,32	1,22	65,4	5,36	46,45	Argilla	18,2			36,2	5,6	2,8	22	0,137
2,33	1,22	61,9	5,07	46,21	Argilla	18,1			34,9	5,3	2,8	22	0,133
2,34	1,2	60,1	5,01	45,92	Argilla	18,1			34,5	5,2	2,8	22	0,133
2,35	1,17	58,8	5,03	45,51	Argilla	18,1			34,2	5,1	2,7	21	0,133

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
2,36	1,13	58,5	5,18	45,33	Argilla	18,1			34,4	5,1	2,6	21	0,135
2,37	1,09	58,3	5,35	45,45	Argilla	18,1			33,6	5,1	2,5	21	0,137
2,38	1,02	56,5	5,54	45,86	Argilla	18,1			33,7	5,1	2,4	20	0,139
2,39	0,98	55,4	5,65	45,68	Argilla	18,1			33,4	5	2,3	20	0,141
2,4	0,93	54,7	5,88	45,68	Argilla	18,1			32,6	5	2,1	19	0,144
2,41	0,89	54,2	6,09	45,98	Argilla	18,1			32,2	4,9	2	19	0,146
2,42	0,85	52,3	6,15	46,69	Argilla	18			30,9	4,8	1,9	18	0,147
2,43	0,85	51,5	6,05	46,45	Argilla	18			30,5	4,7	1,9	18	0,146
2,44	0,85	51	6	46,21	Argilla	18			30,7	4,7	1,9	18	0,145
2,45	0,84	50,2	5,98	46,16	Argilla	18			30,3	4,6	1,9	18	0,145
2,46	0,84	49,3	5,87	46,1	Argilla	18			30	4,5	1,9	18	0,143
2,47	0,84	47,1	5,61	46,39	Argilla	17,9			29,6	4,4	1,9	18	0,14
2,48	0,84	45,9	5,46	46,27	Argilla	17,8			29,2	4,3	1,9	18	0,138
2,49	0,84	44,4	5,29	45,98	Argilla	17,8			28,8	4,2	1,9	18	0,136
2,5	0,84	43,4	5,16	45,98	Argilla	17,7			28,4	4,1	1,9	18	0,134
2,51	0,84	41,5	4,93	46,63	Argilla	17,6			28	4	1,9	18	0,131
2,52	0,85	40	4,71	46,63	Argilla	17,6			27,6	3,9	1,9	18	0,128
2,53	0,86	39	4,53	46,51	Argilla	17,5			27,2	3,8	1,9	18	0,126
2,54	0,86	38,3	4,46	46,51	Argilla	17,5			26,8	3,7	1,9	18	0,125
2,55	0,87	37,4	4,3	46,39	Argilla	17,4			26,3	3,6	1,9	18	0,123
2,56	0,86	36,4	4,23	46,21	Argilla	17,4			26,5	3,6	1,9	18	0,122
2,57	0,85	35,6	4,19	45,74	Argilla	17,4			26	3,5	1,9	18	0,122
2,58	0,8	34,9	4,36	45,09	Argilla	17,4			25,3	3,5	1,8	17	0,124
2,59	0,76	35,1	4,62	45,27	Argilla	17,4			25,4	3,5	1,7	17	0,127
2,6	0,73	35,1	4,81	45,86	Argilla	17,4			25,5	3,5	1,6	16	0,129
2,61	0,72	34,7	4,82	46,16	Argilla	17,4			25,6	3,5	1,6	16	0,129
2,62	0,71	33,9	4,77	46,16	Argilla	17,4			24,3	3,4	1,6	16	0,129
2,63	0,69	32,8	4,75	46,92	Argilla	17,3			23,9	3,3	1,5	16	0,128
2,64	0,69	32	4,63	47,04	Argilla	17,3			24	3,3	1,5	16	0,127
2,65	0,7	31,2	4,45	47,16	Argilla	17,2			23,5	3,2	1,5	16	0,125
2,66	0,71	30,5	4,3	47,28	Argilla	17,2			23,1	3,1	1,5	16	0,123
2,67	0,73	30	4,1	47,22	Argilla	17,1			23,2	3,1	1,6	16	0,12
2,68	0,79	29,3	3,71	47,34	Argilla	17,1			23,5	3	1,7	17	0,115
2,69	0,84	29,1	3,47	47,4	Limo argilloso	17			23,7	2,9	2,8	35	0,112
2,7	0,86	28,6	3,32	47,22	Limo argilloso	17			23,8	2,9	2,8	36	0,11
2,71	0,87	28,7	3,3	46,86	Limo argilloso	17			23,9	2,9	2,9	36	0,11
2,72	0,82	29,4	3,58	45,98	Argilla	17,1			23,2	2,9	1,8	17	0,114
2,73	0,78	30,4	3,89	46,27	Argilla	17,1			23,9	3	1,7	17	0,118
2,74	0,76	30,6	4,03	46,21	Argilla	17,2			24,6	3,1	1,7	17	0,119
2,75	0,74	30	4,06	45,92	Argilla	17,2			23,3	3	1,6	16	0,12
2,76	0,72	29,6	4,11	45,92	Argilla	17,1			23,4	3	1,6	16	0,12
2,77	0,67	30,1	4,49	46,21	Argilla	17,2			23,5	3	1,4	15	0,125
2,78	0,66	30	4,54	46,57	Argilla	17,2			22,8	3	1,4	15	0,126
2,79	0,65	29,3	4,5	46,45	Argilla	17,2			22,8	3	1,4	15	0,125
2,8	0,64	28,3	4,42	46,39	Argilla	17,1			22,3	2,9	1,4	15	0,124
2,81	0,64	27,5	4,29	46,45	Argilla	17,1			21,8	2,8	1,4	15	0,122
2,82	0,64	27,5	4,29	46,45	Argilla	17,1			21,9	2,8	1,4	15	0,122
2,83	0,64	27,5	4,29	46,45	Argilla	17,1			22	2,8	1,4	15	0,122
2,84	0,78	26,2	3,36	47,4	Argilla	16,9			23	2,7	1,7	17	0,111
2,85	0,87	25,8	2,96	47,4	Limo argilloso	16,8			22,5	2,5	2,8	36	0,106
2,86	0,94	25,3	2,69	47,34	Limo argilloso	16,7			22,6	2,4	3	37	0,102
2,87	0,99	24,7	2,49	47,34	Limo argilloso	16,6			22	2,3	3,2	38	0,1
2,88	1,01	23,9	2,36	47,04	Limo argilloso	16,6			21,3	2,2	3,2	38	0,098
2,89	0,93	24	2,58	46,04	Limo argilloso	16,6			22,1	2,3	3	37	0,101
2,9	0,87	24,3	2,79	45,74	Limo argilloso	16,7			22,2	2,4	2,8	35	0,103
2,91	0,8	24,5	3,07	45,56	Limo argilloso	16,8			22,3	2,5	2,6	34	0,107
2,92	0,75	24,6	3,28	45,27	Argilla	16,8			21,6	2,5	1,6	16	0,11
2,93	0,68	25,3	3,72	45,39	Argilla	16,9			21,6	2,6	1,4	15	0,115
2,94	0,68	25,3	3,72	45,39	Argilla	16,9			21,6	2,6	1,4	15	0,115
2,95	0,68	25,3	3,72	45,39	Argilla	16,9			21,7	2,6	1,4	15	0,115
2,96	0,67	27,7	4,14	39,54	Argilla	17,1			22,4	2,7	1,4	15	0,121
2,97	0,62	28,5	4,6	40,72	Argilla	17,2			22,3	2,8	1,3	15	0,126
2,98	0,59	29,2	4,95	41,66	Argilla	17,3			22,4	2,8	1,3	14	0,131
2,99	0,54	30,8	5,7	43,2	Argilla	17,4			21,6	2,8	1,1	14	0,14
3	0,52	31,9	6,14	43,85	Argilla	17,5			21,7	2,8	1,1	13	0,146
3,01	0,5	33,1	6,61	44,38	Argilla	17,6			21,8	2,8	1,1	13	0,152
3,02	0,49	33,7	6,88	44,74	Argilla organica	17,7			22,7	2,8	0,5	8	0,155
3,03	0,49	33,5	6,84	45,39	Argilla organica	17,7			22,8	2,8	0,5	8	0,155
3,04	0,49	32,6	6,64	45,86	Argilla organica	17,6			22,2	2,7	0,5	8	0,152
3,05	0,49	29,9	6,1	45,21	Argilla	17,4			20,1	2,6	1	13	0,145
3,06	0,49	28,3	5,78	44,86	Argilla	17,3			19,5	2,5	1	13	0,141
3,07	0,48	27,2	5,66	45,39	Argilla	17,3			19,6	2,5	1	13	0,139
3,08	0,48	25,7	5,35	45,45	Argilla	17,2			19,1	2,4	1	13	0,135
3,09	0,49	23,9	4,88	45,8	Argilla	17			18,5	2,3	1	13	0,129

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
3,1	0,52	20,6	3,95	45,98	Argilla	16,7			18,7	2,2	1,1	13	0,118
3,11	0,54	19,5	3,61	45,98	Argilla	16,6			18,1	2,1	1,1	13	0,113
3,12	0,56	18,4	3,28	45,86	Argilla	16,5			18,2	2,1	1,2	14	0,109
3,13	0,56	17,6	3,14	45,21	Argilla	16,4			17,6	2	1,2	14	0,107
3,14	0,55	17,4	3,15	44,68	Argilla	16,4			17,7	2	1,1	14	0,108
3,15	0,54	17,4	3,21	44,56	Argilla	16,4			17,7	2	1,1	13	0,108
3,16	0,53	17,5	3,3	44,74	Argilla	16,4			17,8	2	1,1	13	0,109
3,17	0,54	16,6	3,07	45,68	Argilla	16,3			17,1	1,9	1,1	13	0,106
3,18	0,56	15,9	2,84	45,86	Argilla	16,2			17,2	1,9	1,1	14	0,104
3,19	0,59	15,4	2,61	45,74	Argilla	16,1			17,2	1,8	1,2	14	0,101
3,2	0,62	15,6	2,51	45,45	Limo argilloso	16,1			17,3	1,8	1,9	29	0,099
3,21	0,65	16,1	2,47	44,91	Limo argilloso	16,1			18	1,8	2	30	0,099
3,22	0,7	18	2,57	44,97	Limo argilloso	16,3			18,8	1,9	2,2	31	0,1
3,23	0,74	18,8	2,53	45,21	Limo argilloso	16,4			19,5	1,9	2,3	32	0,1
3,24	0,79	19,7	2,49	44,5	Limo argilloso	16,4			20,3	2	2,5	33	0,099
3,25	0,82	20,8	2,54	43,73	Limo argilloso	16,5			21,1	2	2,6	33	0,1
3,26	0,81	21,8	2,7	43,44	Limo argilloso	16,6			21,9	2,1	2,6	33	0,102
3,27	0,74	23,6	3,19	42,96	Argilla	16,8			22	2,3	1,6	16	0,108
3,28	0,7	23,3	3,32	42,31	Argilla	16,8			21,4	2,2	1,5	15	0,11
3,29	0,67	22,6	3,37	42,2	Argilla	16,8			20,7	2,2	1,4	15	0,111
3,3	0,64	22,3	3,49	42,31	Argilla	16,8			20,7	2,2	1,3	14	0,112
3,31	0,62	21,8	3,52	43,02	Argilla	16,8			20,8	2,2	1,3	14	0,113
3,32	0,62	20,5	3,3	45,39	Argilla	16,6			20,1	2,1	1,3	14	0,11
3,33	0,64	20	3,12	45,51	Argilla	16,6			19,5	2	1,3	14	0,107
3,34	0,66	19,4	2,94	45,68	Argilla	16,5			19,5	2	1,4	15	0,105
3,35	0,67	19,1	2,85	45,45	Argilla	16,5			19,6	2	1,4	15	0,104
3,36	0,69	19,9	2,88	45,56	Argilla	16,5			19,6	2	1,4	15	0,104
3,37	0,74	20,5	2,77	44,91	Limo argilloso	16,6			21,2	2	2,3	31	0,103
3,38	0,74	21,4	2,9	43,44	Limo argilloso	16,6			22	2,1	2,3	31	0,105
3,39	0,72	22,9	3,18	43,56	Argilla	16,8			22,1	2,2	1,5	15	0,108
3,4	0,68	24,1	3,54	43,5	Argilla	16,9			21,3	2,2	1,4	15	0,113
3,41	0,6	24,4	4,06	44,86	Argilla	17			20,6	2,2	1,2	14	0,119
3,42	0,57	23,5	4,13	44,86	Argilla	17			20,7	2,2	1,2	14	0,12
3,43	0,54	22,5	4,16	45,74	Argilla	16,9			19,2	2,1	1,1	13	0,12
3,44	0,53	21,8	4,12	46,1	Argilla	16,9			19,3	2,1	1,1	13	0,12
3,45	0,53	21,3	4,02	46,51	Argilla	16,8			18,6	2	1,1	13	0,119
3,46	0,55	20,3	3,7	46,45	Argilla	16,7			18,7	2	1,1	13	0,115
3,47	0,57	19,7	3,46	46,45	Argilla	16,6			19,5	2	1,2	13	0,111
3,48	0,57	19,7	3,46	46,45	Argilla	16,6			19,6	2	1,2	13	0,111
3,49	0,61	18,2	2,98	46,51	Argilla	16,5			18,9	1,9	1,3	14	0,105
3,5	0,62	18,1	2,91	46,81	Argilla	16,4			18,2	1,8	1,3	14	0,105
3,51	0,65	18,4	2,83	46,98	Argilla	16,4			19,8	1,9	1,3	14	0,104
3,52	0,67	17,9	2,67	47,04	Limo argilloso	16,4			19	1,8	2,1	30	0,101
3,53	0,7	17,8	2,54	44,86	Limo argilloso	16,3			19,8	1,8	2,2	30	0,1
3,54	0,7	18,3	2,62	44,38	Limo argilloso	16,4			19,8	1,8	2,2	30	0,101
3,55	0,71	18,6	2,62	45,51	Limo argilloso	16,4			19,9	1,8	2,2	30	0,101
3,56	0,73	19	2,61	46,51	Limo argilloso	16,4			20	1,8	2,3	31	0,101
3,57	0,77	19,3	2,51	46,57	Limo argilloso	16,4			20	1,8	2,4	32	0,1
3,58	0,88	19,7	2,24	46,57	Limo argilloso	16,4			21,5	1,8	2,7	34	0,096
3,59	0,92	20,3	2,2	46,92	Limo argilloso	16,4			21,5	1,8	2,9	34	0,096
3,6	0,97	20,8	2,15	46,51	Limo argilloso	16,5			21,6	1,8	3	35	0,095
3,61	1	22	2,2	45,09	Limo argilloso	16,5			22,4	1,8	3,1	36	0,096
3,62	1,02	23,9	2,34	41,9	Limo argilloso	16,7			23,4	1,9	3,2	36	0,098
3,63	0,96	27,7	2,89	41,66	Limo argilloso	17			25,3	2,2	3,1	35	0,105
3,64	0,91	28,5	3,13	44,68	Limo argilloso	17,1			26,3	2,3	2,9	34	0,108
3,65	0,88	28,7	3,26	48,64	Argilla	17,1			25,5	2,3	1,9	17	0,109
3,66	0,87	29,1	3,35	51,24	Argilla	17,2			25,6	2,3	1,8	16	0,11
3,67	0,87	30,2	3,48	48,64	Argilla	17,2			26,5	2,4	1,8	16	0,112
3,68	0,9	29,1	3,23	50,35	Limo argilloso	17,1			26,6	2,3	2,9	34	0,109
3,69	0,92	26,5	2,88	51,06	Limo argilloso	17			24,9	2,1	2,9	34	0,104
3,7	0,92	25,4	2,76	50,53	Limo argilloso	16,9			25	2,1	2,9	34	0,103
3,71	0,9	26,6	2,96	48,64	Limo argilloso	17			25	2,1	2,9	34	0,105
3,72	0,79	30,3	3,84	47,69	Argilla	17,3			25,9	2,4	1,7	16	0,117
3,73	0,77	31,2	4,05	48,34	Argilla	17,4			26	2,4	1,6	15	0,119
3,74	0,75	30,6	4,08	49,35	Argilla	17,3			25,1	2,4	1,6	15	0,12
3,75	0,73	30,3	4,15	50,41	Argilla	17,3			25,2	2,4	1,5	15	0,121
3,76	0,73	30,1	4,12	51,77	Argilla	17,3			25,3	2,4	1,5	15	0,12
3,77	0,74	27,3	3,69	51,59	Argilla	17,1			23,7	2,2	1,6	15	0,115
3,78	0,74	26,9	3,63	51,18	Argilla	17,1			23,8	2,2	1,6	15	0,114
3,79	0,74	26,9	3,63	51,18	Argilla	17,1			23,9	2,2	1,6	15	0,114
3,8	0,71	26	3,66	50,88	Argilla	17,1			23,9	2,2	1,5	15	0,114
3,81	0,7	25,7	3,67	50,59	Argilla	17,1			23,2	2,1	1,5	15	0,114
3,82	0,68	25,5	3,75	50,59	Argilla	17,1			22,4	2,1	1,4	14	0,115
3,83	0,68	24,5	3,61	50,77	Argilla	17			22,4	2,1	1,4	14	0,114

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
3,84	0,67	22,7	3,38	51,24	Argilla	16,9			21,7	2	1,4	14	0,111
3,85	0,69	20,1	2,92	53,42	Argilla	16,6			20,9	1,8	1,4	14	0,105
3,86	0,72	17,9	2,49	53,01	Limo argilloso	16,4			20	1,7	2,2	30	0,099
3,87	0,73	17,6	2,41	52,66	Limo argilloso	16,3			19,9	1,6	2,2	30	0,098
3,88	0,74	18,2	2,46	52,3	Limo argilloso	16,4			20,9	1,7	2,3	30	0,099
3,89	0,74	18,9	2,56	52,89	Limo argilloso	16,5			20,9	1,7	2,3	30	0,1
3,9	0,74	18,9	2,56	52,89	Limo argilloso	16,5			21	1,7	2,3	30	0,1
3,91	0,77	17,6	2,28	53,78	Limo argilloso	16,3			20,1	1,6	2,4	31	0,097
3,92	0,8	18	2,25	54,07	Limo argilloso	16,3			20,2	1,6	2,5	31	0,096
3,93	0,85	17,8	2,1	54,02	Limo argilloso	16,3			20,9	1,6	2,6	32	0,094
3,94	0,85	17,8	2,1	54,02	Limo argilloso	16,3			21	1,6	2,6	32	0,094
3,95	0,85	17,8	2,1	54,02	Limo argilloso	16,3			21	1,6	2,6	32	0,094
3,96	1,28	33,7	2,63	33,92	Limo argilloso	17,3			29,5	2,2	4,1	40	0,102
3,97	1,08	39,8	3,69	41,55	Argilla	17,7			31,5	2,6	2,3	18	0,115
3,98	1,04	40,4	3,88	44,74	Argilla	17,7			32,5	2,7	2,2	18	0,118
3,99	0,99	40,1	4,05	50,53	Argilla	17,7			31,5	2,7	2,1	17	0,12
4	0,93	39,2	4,21	55,37	Argilla	17,7			30,7	2,6	2	17	0,122
4,01	0,9	38,6	4,29	64,24	Argilla	17,7			30,8	2,6	1,9	16	0,122
4,02	0,88	38,2	4,34	62,88	Argilla	17,7			29,8	2,6	1,9	16	0,123
4,03	0,87	36,9	4,24	65,07	Argilla	17,7			29	2,5	1,9	16	0,122
4,04	0,88	35,6	4,05	64,54	Argilla	17,6			29,1	2,5	1,9	16	0,119
4,05	0,89	34,8	3,91	63,53	Argilla	17,5			29,3	2,4	1,9	16	0,118
4,06	0,9	34,2	3,79	63,77	Argilla	17,5			29,4	2,4	1,9	16	0,116
4,07	0,91	32,3	3,55	65,42	Argilla	17,4			28,5	2,3	1,9	16	0,113
4,08	0,9	30,7	3,41	66,72	Argilla	17,3			27,7	2,2	1,9	16	0,111
4,09	0,91	29,8	3,28	66,66	Argilla	17,2			27,7	2,2	1,9	16	0,109
4,1	0,93	30,5	3,28	62,47	Argilla	17,3			27,8	2,2	2	17	0,109
4,11	0,93	31,8	3,42	61,93	Argilla	17,3			27,9	2,2	2	17	0,111
4,12	0,91	32,2	3,54	63,47	Argilla	17,4			28,9	2,3	1,9	16	0,113
4,13	0,89	31,1	3,5	65,19	Argilla	17,3			27	2,2	1,9	16	0,112
4,14	0,88	29,7	3,37	65,78	Argilla	17,3			27,1	2,2	1,9	16	0,111
4,15	0,87	29,3	3,37	64,65	Argilla	17,2			26,2	2,1	1,8	16	0,11
4,16	0,84	30,2	3,6	63,06	Argilla	17,3			27,3	2,2	1,8	16	0,113
4,17	0,8	31,4	3,93	62,76	Argilla	17,4			26,3	2,2	1,7	15	0,118
4,18	0,73	28,6	3,92	64,65	Argilla	17,3			25,5	2,1	1,5	15	0,117
4,19	0,69	27,8	4,02	67,43	Argilla	17,3			24,6	2,1	1,4	14	0,118
4,2	0,67	27	4,03	67,79	Argilla	17,2			23,8	2	1,4	14	0,118
4,21	0,67	25,4	3,8	66,78	Argilla	17,1			23,8	2	1,4	14	0,115
4,22	0,66	24,6	3,72	66,25	Argilla	17,1			23	1,9	1,4	14	0,114
4,23	0,63	23,4	3,72	66,01	Argilla	17			22,1	1,9	1,3	14	0,114
4,24	0,62	23,8	3,84	66,13	Argilla	17			22,1	1,9	1,3	13	0,116
4,25	0,6	23,9	3,99	66,66	Argilla	17,1			22,1	1,9	1,2	13	0,118
4,26	0,58	23,2	3,99	67,37	Argilla	17			21,3	1,8	1,2	13	0,118
4,27	0,57	21,9	3,84	67,67	Argilla	16,9			21,3	1,8	1,2	13	0,116
4,28	0,56	21,3	3,8	67,84	Argilla	16,9			19,6	1,7	1,1	13	0,115
4,29	0,57	20,9	3,66	68,08	Argilla	16,9			20,4	1,7	1,2	13	0,113
4,3	0,57	20,7	3,63	68,38	Argilla	16,8			20,4	1,7	1,2	13	0,113
4,31	0,58	20,6	3,56	68,61	Argilla	16,8			20,5	1,7	1,2	13	0,112
4,32	0,59	20,7	3,51	68,85	Argilla	16,8			20,5	1,7	1,2	13	0,112
4,33	0,59	20,7	3,51	68,85	Argilla	16,8			20,5	1,7	1,2	13	0,112
4,34	0,62	19,3	3,11	68,67	Argilla	16,7			20,5	1,7	1,3	13	0,107
4,35	0,63	18,8	2,98	68,49	Argilla	16,6			19,6	1,6	1,3	13	0,105
4,36	0,64	18,3	2,85	68,32	Argilla	16,5			19,7	1,6	1,3	14	0,103
4,37	0,64	18	2,82	68,14	Argilla	16,5			19,7	1,6	1,3	14	0,103
4,38	0,64	18	2,82	68,02	Argilla	16,5			19,7	1,6	1,3	14	0,103
4,39	0,65	18,3	2,81	67,84	Argilla	16,5			20,5	1,6	1,3	14	0,103
4,4	0,64	18,6	2,91	67,79	Argilla	16,6			19,7	1,6	1,3	14	0,104
4,41	0,64	19,1	2,98	67,79	Argilla	16,6			19,7	1,6	1,3	14	0,105
4,42	0,64	19,6	3,06	67,84	Argilla	16,7			20,7	1,7	1,3	14	0,106
4,43	0,64	20,3	3,17	67,9	Argilla	16,7			20,7	1,7	1,3	14	0,107
4,44	0,63	20,7	3,28	67,9	Argilla	16,8			20,7	1,7	1,3	13	0,109
4,45	0,62	21,2	3,42	67,84	Argilla	16,8			20,7	1,7	1,3	13	0,11
4,46	0,61	21,6	3,53	67,79	Argilla	16,9			20,8	1,7	1,2	13	0,112
4,47	0,61	21,8	3,57	67,67	Argilla	16,9			21,7	1,8	1,2	13	0,112
4,48	0,58	21,2	3,65	67,67	Argilla	16,9			20,8	1,7	1,2	13	0,113
4,49	0,56	20,7	3,69	68,2	Argilla	16,9			20	1,7	1,1	13	0,114
4,5	0,55	19,9	3,61	69,26	Argilla	16,8			20	1,7	1,1	13	0,113
4,51	0,55	18,6	3,38	70,15	Argilla	16,7			19,1	1,6	1,1	13	0,11
4,52	0,57	16,8	2,94	70,21	Argilla	16,5			18,2	1,5	1,1	13	0,104
4,53	0,58	17	2,93	70,09	Argilla	16,5			19	1,5	1,2	13	0,104
4,54	0,59	17,4	2,96	70,09	Argilla	16,5			19	1,5	1,2	13	0,104
4,55	0,59	17,7	3	70,33	Argilla	16,5			20	1,6	1,2	13	0,105
4,56	0,59	16,7	2,84	70,56	Argilla	16,4			19,1	1,5	1,2	13	0,103
4,57	0,6	16,6	2,76	70,09	Argilla	16,4			19,1	1,5	1,2	13	0,102

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
4,58	0,61	16,9	2,77	69,68	Argilla	16,4			19,1	1,5	1,2	13	0,102
4,59	0,61	17,6	2,88	69,68	Argilla	16,5			19,1	1,5	1,2	13	0,104
4,6	0,62	18,1	2,93	69,74	Argilla	16,6			20,1	1,6	1,2	13	0,104
4,61	0,61	18,7	3,07	70,09	Argilla	16,6			20,1	1,6	1,2	13	0,106
4,62	0,61	18,7	3,07	70,09	Argilla	16,6			20,1	1,6	1,2	13	0,106
4,63	0,61	19,1	3,12	70,39	Argilla	16,7			20,2	1,6	1,2	13	0,107
4,64	0,61	19,1	3,12	70,5	Argilla	16,7			20,2	1,6	1,2	13	0,107
4,65	0,61	19,1	3,12	70,74	Argilla	16,7			20,2	1,6	1,2	13	0,107
4,66	0,62	19,1	3,07	70,98	Argilla	16,7			20,2	1,6	1,2	13	0,106
4,67	0,67	19,2	2,87	71,21	Argilla	16,6			21,1	1,6	1,4	14	0,104
4,68	0,68	19,2	2,83	71,57	Argilla	16,6			21,1	1,6	1,4	14	0,103
4,69	0,7	19,3	2,76	72,04	Argilla	16,6			21,1	1,6	1,4	14	0,102
4,7	0,72	19,3	2,68	72,45	Argilla	16,6			21,1	1,6	1,5	14	0,101
4,71	0,73	19,4	2,66	70,92	Argilla	16,6			21,1	1,6	1,5	14	0,101
4,72	0,73	19,2	2,63	70,5	Argilla	16,6			21,2	1,6	1,5	14	0,101
4,73	0,72	19	2,64	70,21	Argilla	16,6			21,2	1,6	1,5	14	0,101
4,74	0,7	18,9	2,7	70,09	Argilla	16,6			21,2	1,6	1,4	14	0,101
4,75	0,7	19,3	2,75	70,8	Argilla	16,6			21,2	1,6	1,4	14	0,102
4,76	0,72	20,9	2,91	70,92	Argilla	16,7			22,2	1,7	1,5	14	0,104
4,77	0,71	21	2,95	71,27	Argilla	16,8			22,3	1,7	1,4	14	0,105
4,78	0,7	21,3	3,04	71,45	Argilla	16,8			22,3	1,7	1,4	14	0,106
4,79	0,7	21,2	3,03	71,63	Argilla	16,8			22,3	1,7	1,4	14	0,106
4,8	0,66	20,3	3,07	71,21	Argilla	16,7			20,5	1,6	1,3	14	0,106
4,81	0,64	20	3,13	71,15	Argilla	16,7			20,5	1,6	1,3	13	0,107
4,82	0,63	20	3,17	71,33	Argilla	16,7			20,5	1,6	1,3	13	0,107
4,83	0,63	19,6	3,1	71,69	Argilla	16,7			20,5	1,6	1,3	13	0,106
4,84	0,63	19,4	3,07	71,86	Argilla	16,7			20,6	1,6	1,3	13	0,106
4,85	0,63	18,5	2,94	72,04	Argilla	16,6			20,6	1,6	1,3	13	0,104
4,86	0,62	18,5	2,99	72,04	Argilla	16,6			20,6	1,6	1,2	13	0,105
4,87	0,63	18,6	2,96	71,92	Argilla	16,6			20,6	1,6	1,3	13	0,105
4,88	0,63	18,5	2,94	72,4	Argilla	16,6			20,6	1,6	1,3	13	0,104
4,89	0,63	17,8	2,83	72,99	Argilla	16,5			19,7	1,5	1,3	13	0,103
4,9	0,62	16,2	2,62	73,16	Argilla	16,4			18,7	1,4	1,2	13	0,1
4,91	0,62	15,8	2,55	72,99	Argilla	16,3			18,7	1,4	1,2	13	0,099
4,92	0,61	15,4	2,53	72,99	Argilla	16,3			18,7	1,4	1,2	13	0,099
4,93	0,61	15	2,46	72,87	Argilla	16,2			18,7	1,4	1,2	13	0,098
4,94	0,61	15	2,46	72,87	Argilla	16,2			18,8	1,4	1,2	13	0,098
4,95	0,61	15	2,46	72,87	Argilla	16,2			18,8	1,4	1,2	13	0,098
4,96	0,74	31,3	4,23	59,51	Argilla	17,5			26,5	2,1	1,5	14	0,121
4,97	0,7	31,3	4,48	63,59	Argilla	17,5			25,5	2,1	1,5	14	0,124
4,98	0,65	29,3	4,51	67,19	Argilla	17,4			24,6	2	1,3	13	0,124
4,99	0,62	26,8	4,33	69,85	Argilla	17,3			23,7	1,9	1,3	13	0,122
5	0,58	24,2	4,17	73,46	Argilla	17,1			21,9	1,8	1,2	13	0,12
5,01	0,57	23,1	4,05	74,05	Argilla	17,1			21	1,7	1,2	13	0,118
5,02	0,57	22	3,85	73,99	Argilla	17			21	1,7	1,2	13	0,116
5,03	0,57	21	3,68	74,35	Argilla	16,9			20,1	1,6	1,1	13	0,113
5,04	0,59	20	3,39	74,52	Argilla	16,8			20,1	1,6	1,2	13	0,11
5,05	0,6	19	3,16	74,58	Argilla	16,7			20,1	1,6	1,2	13	0,107
5,06	0,65	17,7	2,73	73,93	Argilla	16,5			20	1,5	1,3	13	0,102
5,07	0,68	17,6	2,58	73,64	Argilla	16,5			20	1,5	1,4	14	0,1
5,08	0,7	17,8	2,55	73,34	Argilla	16,5			20,9	1,5	1,4	14	0,099
5,09	0,73	18,3	2,51	73,1	Limo argilloso	16,5			20,9	1,5	2,2	29	0,099
5,1	0,76	18,4	2,42	72,69	Limo argilloso	16,5			21,7	1,5	2,3	30	0,098
5,11	0,76	18,4	2,42	72,1	Limo argilloso	16,5			21,7	1,5	2,3	30	0,098
5,12	0,76	18,9	2,49	71,92	Limo argilloso	16,5			21,7	1,5	2,3	30	0,099
5,13	0,75	19,9	2,65	72,51	Argilla	16,6			22	1,6	1,5	14	0,101
5,14	0,74	20,3	2,74	72,75	Argilla	16,7			22	1,6	1,5	14	0,102
5,15	0,7	19,9	2,84	73,64	Argilla	16,7			22	1,6	1,4	14	0,103
5,16	0,67	19,5	2,91	74,11	Argilla	16,7			21,2	1,6	1,4	14	0,104
5,17	0,65	19,2	2,95	74,52	Argilla	16,7			21,2	1,6	1,3	13	0,104
5,18	0,65	18,8	2,9	75,7	Argilla	16,6			20,2	1,5	1,3	13	0,104
5,19	0,66	18,5	2,8	76,47	Argilla	16,6			20,2	1,5	1,3	14	0,103
5,2	0,71	18,7	2,64	76,83	Argilla	16,6			21,1	1,5	1,4	14	0,101
5,21	0,85	20,3	2,39	77,24	Limo argilloso	16,6			23,9	1,6	2,6	31	0,098
5,22	0,93	21	2,25	76,83	Limo argilloso	16,6			23,9	1,6	2,9	33	0,096
5,23	1	21,7	2,17	75,94	Limo argilloso	16,6			24,8	1,6	3,1	34	0,095
5,24	1,07	23,1	2,16	75,05	Limo argilloso	16,7			24,8	1,6	3,3	35	0,095
5,25	1,13	25	2,22	74,05	Limo argilloso	16,8			26,9	1,7	3,5	36	0,096
5,26	1,18	27,2	2,3	73,1	Limo argilloso	17			26,9	1,7	3,7	37	0,097
5,27	1,2	29,1	2,43	72,34	Limo argilloso	17,1			28,1	1,8	3,8	37	0,098
5,28	1,13	33,1	2,92	72,45	Limo argilloso	17,4			30,4	2	3,6	36	0,105
5,29	1,06	34,6	3,27	72,87	Limo argilloso	17,5			30,6	2,1	3,4	35	0,109
5,3	0,97	35,1	3,62	73,52	Argilla	17,6			30,6	2,2	2	16	0,114
5,31	0,89	35,1	3,94	73,75	Argilla	17,6			29,5	2,2	1,9	16	0,118

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
5,32	0,83	33,9	4,08	73,99	Argilla	17,6			28,5	2,1	1,7	15	0,119
5,33	0,79	31,9	4,03	75,23	Argilla	17,5			27,5	2,1	1,7	15	0,119
5,34	0,76	30	3,95	78,9	Argilla	17,4			26,5	2	1,6	15	0,117
5,35	0,75	28,1	3,75	79,66	Argilla	17,3			25,5	1,9	1,5	14	0,115
5,36	0,76	25,3	3,32	79,37	Argilla	17,1			24,5	1,8	1,6	14	0,109
5,37	0,74	21,4	2,89	78,31	Argilla	16,8			22,5	1,6	1,5	14	0,104
5,38	0,73	21	2,87	76,53	Argilla	16,8			22,5	1,6	1,5	14	0,104
5,39	0,73	22,7	3,11	76,77	Argilla	16,9			23,6	1,7	1,5	14	0,107
5,4	0,74	25,2	3,41	77,83	Argilla	17,1			24,6	1,8	1,5	14	0,11
5,41	0,78	26,5	3,4	79,84	Argilla	17,2			24,7	1,8	1,6	15	0,11
5,42	0,84	26,8	3,19	80,14	Argilla	17,2			25,6	1,8	1,7	15	0,108
5,43	0,94	24,9	2,64	80,02	Limo argilloso	16,9			25,5	1,7	2,9	33	0,101
5,44	0,98	23,4	2,39	79,37	Limo argilloso	16,8			25,3	1,6	3	33	0,098
5,45	0,98	23,1	2,35	79,01	Limo argilloso	16,8			25,3	1,6	3	33	0,097
5,46	0,98	23,8	2,43	77,71	Limo argilloso	16,8			25,3	1,6	3	33	0,098
5,47	0,95	25,6	2,69	76,35	Limo argilloso	17			25,6	1,7	3	33	0,102
5,48	0,9	27,4	3,04	76,77	Argilla	17,2			25,8	1,8	1,9	16	0,106
5,49	0,82	29,4	3,58	77,77	Argilla	17,3			26,9	1,9	1,7	15	0,113
5,5	0,79	29,8	3,77	78,72	Argilla	17,4			26,9	2	1,6	15	0,115
5,51	0,8	29,2	3,65	79,49	Argilla	17,3			25,9	1,9	1,7	15	0,114
5,52	0,82	27,8	3,39	80,2	Argilla	17,2			27	1,9	1,7	15	0,11
5,53	0,88	26,6	3,02	80,49	Argilla	17,1			25,9	1,8	1,8	16	0,106
5,54	0,94	27,1	2,88	80,37	Limo argilloso	17,1			26,9	1,8	2,9	33	0,104
5,55	1,02	27,7	2,71	80,49	Limo argilloso	17,1			27,9	1,8	3,2	34	0,102
5,56	1,09	28,5	2,61	80,55	Limo argilloso	17,1			27,9	1,8	3,4	35	0,101
5,57	1,17	30,2	2,58	80,31	Limo argilloso	17,2			28,9	1,8	3,7	36	0,1
5,58	1,26	34,3	2,72	79,66	Limo argilloso	17,4			32,3	2	4	38	0,102
5,59	1,29	36,7	2,84	79,37	Limo argilloso	17,5			33,6	2,1	4,1	38	0,104
5,6	1,31	38,8	2,96	79,55	Limo argilloso	17,6			33,6	2,1	4,2	38	0,105
5,61	1,32	40,8	3,09	79,96	Limo argilloso	17,7			34,8	2,2	4,2	38	0,107
5,62	1,33	42,2	3,17	80,43	Limo argilloso	17,8			36	2,3	4,3	39	0,108
5,63	1,34	43	3,21	79,9	Limo argilloso	17,8			36,1	2,3	4,3	39	0,109
5,64	1,36	43,6	3,21	79,25	Limo argilloso	17,8			36,1	2,3	4,4	39	0,109
5,65	1,39	44,4	3,2	81,02	Limo argilloso	17,8			36,2	2,3	4,5	39	0,109
5,66	1,43	45,1	3,15	82,86	Limo argilloso	17,8			37,3	2,3	4,6	40	0,108
5,67	1,49	44,6	2,99	84,39	Limo argilloso	17,8			37,4	2,3	4,8	41	0,106
5,68	1,57	42,4	2,7	84,1	Limo argilloso	17,7			34,9	2,1	5	42	0,102
5,69	1,7	44,7	2,63	83,98	Limo argilloso	17,7			37,3	2,2	5,5	44	0,101
5,7	1,71	47,3	2,77	84,27	Limo argilloso	17,8			38,6	2,3	5,5	44	0,103
5,71	1,65	50,2	3,04	83,09	Limo argilloso	18			39,9	2,4	5,4	43	0,107
5,72	1,52	52,4	3,45	81,5	Limo argilloso	18,1			41,2	2,6	5	41	0,112
5,73	1,35	53,7	3,98	80,91	Argilla	18,2			41,1	2,7	2,9	19	0,119
5,74	1,19	52,7	4,42	80,2	Argilla	18,2			38,5	2,7	2,6	18	0,124
5,75	1,07	50,5	4,72	78,07	Argilla	18,2			37,5	2,6	2,3	17	0,128
5,76	0,97	46,6	4,8	74,7	Argilla	18,1			35,2	2,5	2,1	16	0,129
5,77	0,86	44,3	5,15	77,54	Argilla	18,1			32,9	2,4	1,8	15	0,133
5,78	0,73	38,1	5,22	88,41	Argilla	17,9			29,7	2,2	1,5	14	0,133
5,79	0,74	37,8	5,11	88,35	Argilla	17,9			29,7	2,2	1,6	14	0,132
5,8	0,75	34,6	4,62	89,12	Argilla	17,7			28,8	2,1	1,6	14	0,125
5,81	0,75	33,4	4,45	89,71	Argilla	17,6			27,7	2	1,6	14	0,123
5,82	0,76	30	3,95	88,82	Argilla	17,4			26,7	1,9	1,6	14	0,117
5,83	0,8	28,3	3,54	88,59	Argilla	17,3			26,7	1,9	1,7	15	0,112
5,84	0,84	28,8	3,43	88,71	Argilla	17,3			27,8	1,9	1,7	15	0,111
5,85	0,88	29,8	3,38	89	Argilla	17,3			27,8	1,9	1,8	15	0,11
5,86	0,93	30,2	3,25	89,24	Argilla	17,3			27,9	1,9	1,9	16	0,108
5,87	0,99	29,5	2,98	89,3	Limo argilloso	17,3			28,9	1,9	3,1	33	0,105
5,88	1,04	29,6	2,85	89,06	Limo argilloso	17,2			28,8	1,8	3,3	34	0,104
5,89	1,12	29,9	2,67	87,82	Limo argilloso	17,2			28,8	1,8	3,5	35	0,101
5,9	1,13	29,6	2,62	87,35	Limo argilloso	17,2			28,9	1,8	3,5	35	0,101
5,91	1,12	30,4	2,71	86,87	Limo argilloso	17,2			28,9	1,8	3,5	35	0,102
5,92	1,11	31,9	2,88	86,82	Limo argilloso	17,3			30,1	1,9	3,5	35	0,104
5,93	1,09	33,5	3,07	86,93	Limo argilloso	17,5			31,3	2	3,5	35	0,107
5,94	1,09	33,5	3,07	86,93	Limo argilloso	17,5			31,3	2	3,5	35	0,107
5,95	1,09	33,5	3,07	86,93	Limo argilloso	17,5			31,4	2	3,5	35	0,107
5,96	1,25	46,4	3,71	75,41	Argilla	18			37,2	2,4	2,7	18	0,115
5,97	1,18	50,4	4,27	77,71	Argilla	18,2			38,3	2,6	2,5	18	0,122
5,98	1,04	54,3	5,22	84,63	Argilla	18,4			38,1	2,7	2,2	17	0,134
5,99	0,99	52,8	5,33	85,81	Argilla	18,4			38,1	2,7	2,1	16	0,135
6	0,96	45,9	4,78	85,69	Argilla	18,1			34,9	2,4	2	16	0,128
6,01	0,92	38,3	4,16	86,82	Argilla	17,8			31,6	2,2	1,9	16	0,12
6,02	1	31,6	3,16	90,07	Argilla	17,4			29,4	1,9	2,1	16	0,107
6,03	1,17	30,3	2,59	93,08	Limo argilloso	17,2			30,2	1,8	3,7	36	0,1
6,04	1,39	28,6	2,06	91,96	Limo argilloso	17			28,6	1,6	4,3	39	0,094
6,05	1,62	28,6	1,77	89,06	Sabbia limosa	16,9		31,1		1,5	7,6	85	

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
6,06	1,85	30,1	1,63	90,18	Sabbia limosa	17		31,8		1,5	8,7	91	
6,07	2,09	34,1	1,63	89,42	Sabbia limosa	17,1		32,4		1,5	9,8	96	
6,08	2,08	37,4	1,8	87,23	Sabbia limosa	17,3		32,3		1,7	10,2	96	
6,09	1,97	41,8	2,12	84,27	Sabbia limosa	17,5		32,1		1,9	10,1	93	
6,1	1,85	45,8	2,48	80,91	Limo argilloso	17,8			37,5	2,1	5,9	45	0,099
6,11	1,55	48,7	3,14	78,78	Limo argilloso	18			39	2,3	5	41	0,108
6,12	1,36	49,8	3,66	80,61	Limo argilloso	18,1			40,3	2,5	4,4	39	0,114
6,13	1,23	49,3	4	88,12	Argilla	18,1			39	2,5	2,6	18	0,119
6,14	1,15	44,2	3,85	87,11	Argilla	18			35,5	2,3	2,4	18	0,117
6,15	1,08	35,7	3,3	85,16	Argilla	17,6			30,9	2	2,3	17	0,11
6,16	1,01	34,1	3,37	84,27	Argilla	17,5			30,9	2	2,1	16	0,11
6,17	0,94	36,3	3,86	89,3	Argilla	17,7			30,9	2,1	2	16	0,116
6,18	0,84	43,1	5,13	97,33	Argilla	18,1			31,9	2,3	1,8	15	0,132
6,19	0,82	45	5,49	97,57	Argilla	18,2			31,9	2,3	1,7	15	0,137
6,2	0,81	46,4	5,73	99,05	Argilla	18,2			33	2,4	1,7	15	0,139
6,21	0,79	46,9	5,93	95,68	Argilla	18,3			32	2,3	1,7	15	0,142
6,22	0,78	45,5	5,84	96,21	Argilla	18,2			32	2,3	1,6	14	0,141
6,23	0,81	40,4	4,99	97,04	Argilla	18			31	2,2	1,7	15	0,13
6,24	0,82	37,4	4,56	97,63	Argilla	17,8			30	2,1	1,7	15	0,125
6,25	0,83	35,7	4,3	99,23	Argilla	17,7			30	2,1	1,7	15	0,122
6,26	0,84	34	4,04	102	Argilla	17,6			29	2	1,8	15	0,118
6,27	0,86	29,2	3,39	114,12	Argilla	17,3			27,8	1,8	1,8	15	0,11
6,28	0,86	26	3,02	113,11	Argilla	17,1			26,7	1,7	1,8	15	0,105
6,29	0,86	23,1	2,68	112,4	Limo argilloso	16,9			25,5	1,6	2,7	31	0,101
6,3	0,86	21,8	2,53	112,88	Limo argilloso	16,8			24,3	1,5	2,6	31	0,099
6,31	0,94	22	2,34	116,78	Limo argilloso	16,8			25,2	1,5	2,9	32	0,097
6,32	1,02	22,1	2,17	115,95	Limo argilloso	16,7			26,2	1,5	3,1	34	0,095
6,33	1,14	22,8	2	115,77	Limo argilloso	16,7			24,9	1,4	3,5	35	0,093
6,34	1,28	23,6	1,84	118,61	Limo argilloso	16,7			25,7	1,4	3,9	37	0,091
6,35	1,39	23,6	1,69	118,96	Sabbia limosa	16,7		30,3		1,4	6,3	78	
6,36	1,46	22,4	1,53	114,89	Sabbia limosa	16,5		30,5		1,3	6,4	80	
6,37	1,47	22,3	1,52	115,12	Sabbia limosa	16,5		30,6		1,3	6,5	81	
6,38	1,43	25,9	1,81	107,5	Limo argilloso	16,8			28,1	1,5	4,4	39	0,09
6,39	1,35	28,6	2,12	108,21	Limo argilloso	17,1			29,5	1,6	4,2	38	0,094
6,4	1,23	31,2	2,53	108,92	Limo argilloso	17,3			31,2	1,8	3,9	37	0,099
6,41	1,13	31,2	2,76	110,69	Limo argilloso	17,3			30,2	1,8	3,5	35	0,102
6,42	1,04	27,4	2,63	111,34	Limo argilloso	17,1			29	1,7	3,2	34	0,1
6,43	0,89	29,2	3,28	110,87	Argilla	17,3			28,2	1,8	1,8	15	0,108
6,44	0,82	30,1	3,66	114,47	Argilla	17,4			28,3	1,9	1,7	15	0,113
6,45	0,76	30,7	4,03	119,2	Argilla	17,5			28,3	1,9	1,6	14	0,117
6,46	0,72	30,1	4,18	121,15	Argilla	17,5			26,1	1,8	1,5	14	0,119
6,47	0,71	28,7	4,04	120,56	Argilla	17,4			26,2	1,8	1,5	14	0,117
6,48	0,71	25,4	3,58	119,32	Argilla	17,2			25,1	1,7	1,4	14	0,112
6,49	0,73	25,1	3,43	120,44	Argilla	17,2			25,1	1,7	1,5	14	0,11
6,5	0,86	24,7	2,87	123,81	Argilla	17			26	1,6	1,8	15	0,103
6,51	1,12	24,7	2,2	128,12	Limo argilloso	16,9			26,6	1,5	3,4	35	0,095
6,52	1,88	26,6	1,41	133,44	Sabbia limosa	16,7		31,8		1,3	8,3	91	
6,53	2,29	25,2	1,1	137,17	Sabbia limosa	16,5		32,7		1,2	9,8	100	
6,54	2,64	22,9	0,87	131,08	Sabbia limosa	16,3		33,4		1,1	10,9	107	
6,55	2,91	21,6	0,74	125,7	Sabbia limosa	16,1		33,9		1,1	12	112	
6,56	3,11	22,2	0,71	111,99	Sabbia	16,1	26,9	34,2		1,1	12,9	128	
6,57	3,28	25,8	0,79	104,84	Sabbia limosa	16,4		34,5		1,1	13,6	119	
6,58	3,44	30,5	0,89	104,96	Sabbia limosa	16,6		34,7		1,2	14,8	122	
6,59	3,52	31,6	0,9	99,23	Sabbia limosa	16,7		34,8		1,2	15,1	123	
6,6	3,59	33,2	0,93	92,31	Sabbia limosa	16,8		34,9		1,3	15,9	124	
6,61	3,6	34	0,94	77,71	Sabbia limosa	16,8		34,9		1,3	15,9	124	
6,62	3,56	35,2	0,99	73,4	Sabbia limosa	16,9		34,8		1,3	15,8	123	
6,63	3,51	36,9	1,05	82,74	Sabbia limosa	17		34,8		1,4	16	123	
6,64	3,49	36,5	1,05	80,26	Sabbia limosa	17		34,7		1,4	15,9	122	
6,65	3,47	35,5	1,02	78,01	Sabbia limosa	16,9		34,7		1,3	15,4	122	
6,66	3,46	36	1,04	75,29	Sabbia limosa	17		34,7		1,3	15,3	122	
6,67	3,45	35,1	1,02	71,21	Sabbia limosa	16,9		34,7		1,3	15,3	121	
6,68	3,46	35,3	1,02	69,2	Sabbia limosa	16,9		34,7		1,3	15,3	122	
6,69	3,47	35,3	1,02	64,71	Sabbia limosa	16,9		34,7		1,3	15,4	122	
6,7	3,46	34,9	1,01	2,19	Sabbia limosa	16,9		34,6		1,3	15,3	121	
6,71	3,53	33,2	0,94	-19,03	Sabbia limosa	16,8		34,7		1,3	15,6	122	
6,72	3,55	34,2	0,96	-26,71	Sabbia limosa	16,9		34,7		1,3	15,7	122	
6,73	3,55	34,6	0,98	-34,99	Sabbia limosa	16,9		34,7		1,3	15,7	122	
6,74	3,54	35,1	0,99	-42,31	Sabbia limosa	16,9		34,7		1,3	15,7	122	
6,75	3,5	36,4	1,04	-47,51	Sabbia limosa	17		34,6		1,3	15,5	121	
6,76	3,45	37,4	1,08	-46,98	Sabbia limosa	17		34,6		1,4	15,7	120	
6,77	3,36	37,9	1,13	-46,98	Sabbia limosa	17,1		34,4		1,4	15,3	119	
6,78	3,16	40,4	1,28	-46,33	Sabbia limosa	17,2		34,1		1,5	14,8	115	
6,79	3,06	41,1	1,34	-46,04	Sabbia limosa	17,3		34		1,5	14,3	113	

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
6,8	2,97	40,2	1,35	-45,8	Sabbia limosa	17,3		33,8		1,5	13,9	111	
6,81	2,91	39,6	1,36	-45,51	Sabbia limosa	17,2		33,7		1,5	13,6	110	
6,82	2,8	39	1,39	-43,2	Sabbia limosa	17,2		33,5		1,5	13,1	108	
6,83	2,75	39,6	1,44	-43,14	Sabbia limosa	17,3		33,4		1,5	12,9	107	
6,84	2,7	38,8	1,44	-42,91	Sabbia limosa	17,3		33,3		1,5	12,7	106	
6,85	2,63	39,3	1,49	-41,96	Sabbia limosa	17,3		33,2		1,5	12,3	105	
6,86	2,54	40,5	1,6	-42,73	Sabbia limosa	17,4		33		1,6	12,2	103	
6,87	2,39	48,2	2,02	-4,55	Sabbia limosa	17,7		32,7		1,8	12	100	
6,88	2,39	48,2	2,02	-4,55	Sabbia limosa	17,7		32,7		1,8	12	100	
6,89	2,59	51,8	2	15,48	Sabbia limosa	17,8		33,2		1,9	13,3	104	
6,9	2,88	54,6	1,9	5,26	Sabbia limosa	17,9		33,7		1,9	14,8	110	
6,91	3,48	65,7	1,89	10,93	Sabbia limosa	18,1		34,6		2	18,3	121	
6,92	3,93	65,5	1,67	4,2	Sabbia limosa	18		35,2		1,9	20,3	128	
6,93	4,27	65,2	1,53	-1,3	Sabbia limosa	18		35,6		1,9	22	134	
6,94	4,27	65,2	1,53	-1,3	Sabbia limosa	18		35,6		1,9	22	134	
6,95	4,27	65,2	1,53	-1,3	Sabbia limosa	18		35,6		1,9	22	134	
6,96	4,59	44,7	0,97	11,41	Sabbia limosa	17,2		36		1,4	21	139	
6,97	4,53	44,1	0,97	11,11	Sabbia limosa	17,2		35,9		1,4	20,7	138	
6,98	4,36	43,6	1	11,29	Sabbia limosa	17,2		35,7		1,4	19,9	135	
6,99	4,26	42,2	0,99	10,81	Sabbia limosa	17,2		35,6		1,4	19,4	134	
7	4,1	40,4	0,99	10,76	Sabbia limosa	17,1		35,4		1,4	18,7	131	
7,01	3,93	38,6	0,98	10,28	Sabbia limosa	17		35,2		1,3	17,4	128	
7,02	3,59	32,3	0,9	8,98	Sabbia limosa	16,7		34,7		1,2	15,4	123	
7,03	3,41	27,8	0,82	8,81	Sabbia limosa	16,5		34,5		1,1	14,1	119	
7,04	3,26	24,1	0,74	9,22	Sabbia	16,3	27,2	34,3		1,1	13,5	128	
7,05	3,15	19,6	0,62	10,81	Sabbia	15,9	26,3	34,1		1	12,6	126	
7,06	3,09	14,1	0,45	12	Sabbia	15,3	25,8	34		1	12,3	125	
7,07	3,14	15,7	0,5	10,28	Sabbia	15,5	26,2	34,1		1	12,5	126	
7,08	3,13	17,4	0,56	8,92	Sabbia	15,7	26,1	34,1		1	12,5	126	
7,09	3,14	19	0,6	4,2	Sabbia	15,8	26,1	34,1		1	12,5	126	
7,1	3,13	22,3	0,71	-0,65	Sabbia	16,1	26	34		1	12,5	126	
7,11	3,09	26,1	0,84	-5,44	Sabbia limosa	16,4		34		1,1	12,8	113	
7,12	3,1	29,8	0,96	-3,9	Sabbia limosa	16,7		34		1,2	13,3	114	
7,13	3,13	30,3	0,97	-0,47	Sabbia limosa	16,7		34		1,2	13,4	114	
7,14	3,18	30,4	0,95	-0,47	Sabbia limosa	16,7		34,1		1,2	13,6	115	
7,15	3,18	30,1	0,95	0,06	Sabbia limosa	16,7		34,1		1,2	13,6	115	
7,16	3,13	29,8	0,95	2,42	Sabbia limosa	16,7		34		1,2	13,4	114	
7,17	3,07	29,6	0,96	5,5	Sabbia limosa	16,7		33,9		1,2	13,2	113	
7,18	3,06	28,1	0,92	7,74	Sabbia limosa	16,6		33,9		1,2	13,1	113	
7,19	3,08	27,1	0,88	5,56	Sabbia limosa	16,5		34		1,1	12,7	113	
7,2	3,1	26,2	0,85	5,14	Sabbia limosa	16,4		34		1,1	12,8	113	
7,21	3,13	24,8	0,79	5,08	Sabbia limosa	16,3		34		1,1	13	114	
7,22	3,17	23,5	0,74	3,31	Sabbia limosa	16,2		34,1		1,1	13,1	115	
7,23	3,36	22,1	0,66	4,96	Sabbia	16,1	27,8	34,4		1	13,4	130	
7,24	3,48	21,7	0,62	5,44	Sabbia	16	28,8	34,5		1	13,9	132	
7,25	3,59	20,8	0,58	5,02	Sabbia	15,9	29,6	34,7		1	14,3	134	
7,26	3,68	19,5	0,53	3,6	Sabbia	15,8	30,2	34,8		1	14,7	136	
7,27	3,79	17,9	0,47	0,3	Sabbia	15,6	31	35		1	15,1	138	
7,28	3,74	18,2	0,49	-2,66	Sabbia	15,7	30,6	34,9		1	14,9	137	
7,29	3,65	18,8	0,51	-4,61	Sabbia	15,7	30	34,8		1	14,6	135	
7,3	3,56	21,8	0,61	-5,79	Sabbia	16	29,3	34,6		1	14,2	133	
7,31	3,53	24,5	0,69	-4,96	Sabbia	16,2	29	34,6		1,1	14,6	133	
7,32	3,52	26,4	0,75	-7,56	Sabbia	16,4	29	34,6		1,1	14,6	133	
7,33	3,56	26,8	0,75	-6,56	Sabbia	16,4	29,2	34,6		1,1	14,7	133	
7,34	3,75	27,1	0,72	-3,66	Sabbia	16,4	30,6	34,9		1,1	15,5	137	
7,35	3,83	26,2	0,69	-2,19	Sabbia	16,3	31,2	35		1,1	15,9	138	
7,36	3,91	26,6	0,68	-1,89	Sabbia	16,3	31,7	35,1		1,1	16,2	140	
7,37	4,01	27,7	0,69	-2,84	Sabbia	16,4	32,4	35,2		1,1	16,6	142	
7,38	4,29	28	0,65	-5,67	Sabbia	16,4	34,2	35,5		1,1	17,8	146	
7,39	4,46	29,2	0,65	-3,84	Sabbia	16,4	35,2	35,7		1,2	19,1	149	
7,4	4,64	29,4	0,63	-3,07	Sabbia	16,4	36,3	35,9		1,2	19,9	152	
7,41	4,84	29,1	0,6	-2,54	Sabbia	16,4	37,4	36,1		1,2	20,8	155	
7,42	5,13	28,7	0,56	-0,77	Sabbia	16,3	39	36,4		1,2	22	160	
7,43	5,13	28,2	0,55	-0,3	Sabbia	16,3	39	36,4		1,2	22	160	
7,44	4,99	28	0,56	-0,71	Sabbia	16,3	38,2	36,3		1,2	21,4	158	
7,45	4,65	28,8	0,62	-1,95	Sabbia	16,4	36,3	35,9		1,2	20	152	
7,46	4,12	28,4	0,69	-2,42	Sabbia	16,4	33,1	35,3		1,1	17,1	143	
7,47	3,06	25	0,82	-1,54	Sabbia limosa	16,4		33,9		1,1	12,7	112	
7,48	2,61	23,7	0,91	-1,12	Sabbia limosa	16,4		33,1		1,1	10,8	103	
7,49	2,25	23,1	1,03	-0,24	Sabbia limosa	16,4		32,3		1,1	9,3	96	
7,5	2	24,1	1,2	0,41	Sabbia limosa	16,5		31,7		1,1	8,3	90	
7,51	1,83	25,6	1,4	0,71	Sabbia limosa	16,7		31,3		1,2	7,8	87	
7,52	1,67	28,7	1,72	2,01	Sabbia limosa	17		30,8		1,4	7,6	83	
7,53	1,48	35,8	2,42	-2,54	Limo argilloso	17,5			31,6	1,7	4,6	39	0,099

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
7,54	1,07	53,2	4,97	55,14	Argilla	18,4			38,1	2,4	2,3	16	0,132
7,55	0,93	57,5	6,18	85,75	Argilla	18,6			36,7	2,4	2	15	0,146
7,56	0,87	58,8	6,76	101,77	Argilla	18,7			36,8	2,4	1,8	15	0,153
7,57	0,86	59,3	6,89	116,9	Argilla	18,7			36,8	2,4	1,8	15	0,154
7,58	0,84	57,3	6,83	149,64	Argilla	18,7			36,8	2,4	1,8	15	0,151
7,59	0,83	56,5	6,8	164,12	Argilla	18,7			36,9	2,4	1,8	15	0,151
7,6	0,82	56,2	6,85	167,19	Argilla	18,7			36,9	2,4	1,7	15	0,151
7,61	0,79	55,2	6,99	190	Argilla organica	18,7			37,2	2,3	0,8	8	0,151
7,62	0,76	53,4	7,03	217,78	Argilla organica	18,6			38,6	2,3	0,8	8	0,15
7,63	0,72	50,4	7	245,61	Argilla organica	18,5			37,4	2,2	0,7	8	0,148
7,64	0,69	48,8	7,07	249,57	Argilla organica	18,5			34,8	2,1	0,7	8	0,149
7,65	0,66	46,7	7,08	252,41	Argilla organica	18,4			34,9	2,1	0,7	8	0,148
7,66	0,64	43,9	6,85	251,58	Argilla organica	18,3			33,6	2	0,6	8	0,145
7,67	0,59	33,9	5,74	268,96	Argilla organica	17,9			31,1	1,8	0,6	8	0,131
7,68	0,57	28,1	4,94	270,61	Argilla	17,6			27,4	1,6	1,1	13	0,122
7,69	0,55	23,7	4,31	269,61	Argilla	17,3			25,1	1,5	1,1	13	0,115
7,7	0,54	22,2	4,11	267,3	Argilla	17,1			25,1	1,5	1,1	12	0,112
7,71	0,54	21,4	3,95	258,08	Argilla	17,1			23,9	1,4	1,1	12	0,111
7,72	0,54	21,1	3,9	251,7	Argilla	17			23,9	1,4	1,1	12	0,11
7,73	0,54	21	3,9	248,21	Argilla	17			23,9	1,4	1,1	12	0,11
7,74	0,54	20,1	3,72	249,22	Argilla	17			23,9	1,4	1,1	12	0,108
7,75	0,54	20	3,7	249,93	Argilla	16,9			24	1,4	1,1	12	0,108
7,76	0,54	20	3,71	250,69	Argilla	17			24	1,4	1,1	12	0,108
7,77	0,54	20,2	3,74	251,82	Argilla	17			24	1,4	1,1	12	0,109
7,78	0,54	20,3	3,77	252,11	Argilla	17			24	1,4	1,1	12	0,109
7,79	0,53	20,3	3,82	251,7	Argilla	17			24	1,4	1	12	0,109
7,8	0,53	20,2	3,8	251,76	Argilla	17			24	1,4	1	12	0,109
7,81	0,53	19,9	3,76	251,17	Argilla	17			24,1	1,4	1	12	0,109
7,82	0,53	19,6	3,69	251,05	Argilla	16,9			24,1	1,4	1	12	0,108
7,83	0,53	18,8	3,54	251,88	Argilla	16,8			22,8	1,3	1	12	0,106
7,84	0,54	18,5	3,43	252,76	Argilla	16,8			22,8	1,3	1,1	12	0,105
7,85	0,56	18,6	3,32	253,71	Argilla	16,8			22,8	1,3	1,1	13	0,104
7,86	0,57	18,5	3,25	254,12	Argilla	16,8			22,8	1,3	1,1	13	0,103
7,87	0,57	18,7	3,28	253,83	Argilla	16,8			22,9	1,3	1,1	13	0,104
7,88	0,56	18,9	3,38	252,82	Argilla	16,8			22,9	1,3	1,1	13	0,105
7,89	0,55	18,6	3,38	251,88	Argilla	16,8			22,9	1,3	1,1	12	0,105
7,9	0,54	18,2	3,38	250,75	Argilla	16,8			22,9	1,3	1,1	12	0,105
7,91	0,54	18,2	3,38	249,45	Argilla	16,8			22,9	1,3	1,1	12	0,105
7,92	0,53	19,2	3,63	246,5	Argilla	16,9			22	1,3	1	12	0,107
7,93	0,53	19,2	3,63	246,5	Argilla	16,9			22	1,3	1	12	0,107
7,94	0,53	19,2	3,63	246,5	Argilla	16,9			22	1,3	1	12	0,107
7,95	0,53	19,2	3,63	246,5	Argilla	16,9			22	1,3	1	12	0,107
7,96	0,56	13	2,31	271,08	Argilla	16,1			20,3	1,1	1,1	13	0,093
7,97	0,56	14,2	2,54	270,14	Argilla	16,3			21,7	1,2	1,1	13	0,095
7,98	0,56	14,8	2,64	270,61	Argilla	16,4			21,7	1,2	1,1	13	0,096
7,99	0,55	15,4	2,8	271,62	Argilla	16,5			21,7	1,2	1,1	12	0,098
8	0,54	15,4	2,84	272,62	Argilla	16,5			21,7	1,2	1	12	0,098
8,01	0,54	15,3	2,83	273,51	Argilla	16,5			21,7	1,2	1	12	0,098
8,02	0,54	15,5	2,87	274,16	Argilla	16,5			21,7	1,2	1	12	0,098
8,03	0,54	15,8	2,92	274,75	Argilla	16,5			21,8	1,2	1	12	0,099
8,04	0,55	16,4	2,98	275,46	Argilla	16,6			23,1	1,3	1,1	12	0,1
8,05	0,55	16,4	2,98	275,99	Argilla	16,6			23,1	1,3	1,1	12	0,1
8,06	0,56	16,2	2,89	276,34	Argilla	16,5			23,2	1,3	1,1	13	0,099
8,07	0,56	16,1	2,87	276,52	Argilla	16,5			21,8	1,2	1,1	13	0,099
8,08	0,56	15,7	2,81	276,76	Argilla	16,5			21,8	1,2	1,1	13	0,098
8,09	0,56	15,6	2,78	277,29	Argilla	16,5			21,9	1,2	1,1	13	0,098
8,1	0,56	15	2,68	277,11	Argilla	16,4			21,9	1,2	1,1	13	0,097
8,11	0,56	15	2,67	277,52	Argilla	16,4			21,9	1,2	1,1	13	0,096
8,12	0,56	14,9	2,66	278,12	Argilla	16,4			21,9	1,2	1,1	13	0,096
8,13	0,56	14,7	2,62	278,65	Argilla	16,4			21,9	1,2	1,1	13	0,096
8,14	0,56	14,5	2,6	278,94	Argilla	16,3			21,9	1,2	1,1	13	0,096
8,15	0,56	14,6	2,6	279,89	Argilla	16,3			21,9	1,2	1,1	13	0,096
8,16	0,56	14,3	2,56	280,24	Argilla	16,3			22	1,2	1,1	13	0,095
8,17	0,56	14,4	2,56	280,6	Argilla	16,3			22	1,2	1,1	13	0,095
8,18	0,56	14,4	2,57	281,01	Argilla	16,3			22	1,2	1,1	13	0,095
8,19	0,55	14,6	2,65	281,9	Argilla	16,4			22	1,2	1,1	12	0,096
8,2	0,55	14,7	2,67	282,43	Argilla	16,4			22	1,2	1,1	12	0,096
8,21	0,55	14,8	2,68	282,73	Argilla	16,4			22	1,2	1,1	12	0,096
8,22	0,55	14,8	2,69	283,02	Argilla	16,4			22	1,2	1,1	12	0,096
8,23	0,55	15,1	2,74	283,38	Argilla	16,4			22,1	1,2	1,1	12	0,097
8,24	0,54	15,2	2,82	283,73	Argilla	16,5			22,1	1,2	1	12	0,098
8,25	0,54	15,2	2,82	284,68	Argilla	16,5			22,1	1,2	1	12	0,098
8,26	0,54	15,1	2,8	284,85	Argilla	16,4			22,1	1,2	1	12	0,097
8,27	0,55	14,9	2,71	285,21	Argilla	16,4			22,1	1,2	1,1	12	0,097

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
8,28	0,55	14,9	2,71	285,33	Argilla	16,4			22,1	1,2	1,1	12	0,097
8,29	0,56	14,8	2,65	285,8	Argilla	16,4			22,1	1,2	1,1	13	0,096
8,3	0,56	15,1	2,69	286,39	Argilla	16,4			22,2	1,2	1,1	13	0,096
8,31	0,56	15,1	2,69	286,8	Argilla	16,4			22,2	1,2	1,1	13	0,096
8,32	0,56	15,1	2,69	286,86	Argilla	16,4			22,2	1,2	1,1	13	0,096
8,33	0,57	15,3	2,68	286,15	Argilla	16,4			22,2	1,2	1,1	13	0,096
8,34	0,56	15,3	2,73	285,74	Argilla	16,4			22,2	1,2	1,1	13	0,097
8,35	0,56	15,3	2,74	285,56	Argilla	16,4			22,2	1,2	1,1	13	0,097
8,36	0,56	15,2	2,72	285,27	Argilla	16,4			22,3	1,2	1,1	13	0,097
8,37	0,56	15,4	2,75	285,5	Argilla	16,5			22,3	1,2	1,1	13	0,097
8,38	0,56	15,4	2,75	285,5	Argilla	16,5			22,3	1,2	1,1	13	0,097
8,39	0,55	15,6	2,84	286,74	Argilla	16,5			22,3	1,2	1,1	12	0,098
8,4	0,55	15,7	2,86	287,45	Argilla	16,5			22,3	1,2	1,1	12	0,098
8,41	0,56	15,8	2,83	288,58	Argilla	16,5			22,3	1,2	1,1	13	0,098
8,42	0,56	15,8	2,83	288,93	Argilla	16,5			22,3	1,2	1,1	13	0,098
8,43	0,56	15,8	2,83	289,23	Argilla	16,5			22,4	1,2	1,1	13	0,098
8,44	0,56	15,9	2,84	289,64	Argilla	16,5			22,4	1,2	1,1	13	0,098
8,45	0,56	15,9	2,84	289,94	Argilla	16,5			22,4	1,2	1,1	13	0,098
8,46	0,56	15,9	2,84	290,53	Argilla	16,5			22,4	1,2	1,1	13	0,098
8,47	0,56	15,9	2,84	290,88	Argilla	16,5			22,4	1,2	1,1	13	0,098
8,48	0,56	15,8	2,81	291,06	Argilla	16,5			22,4	1,2	1,1	13	0,098
8,49	0,56	15,7	2,81	291,18	Argilla	16,5			22,4	1,2	1,1	13	0,098
8,5	0,56	15,6	2,79	291,18	Argilla	16,5			22,5	1,2	1,1	13	0,097
8,51	0,55	15,4	2,8	291,65	Argilla	16,5			22,5	1,2	1,1	12	0,097
8,52	0,55	15,4	2,8	292,12	Argilla	16,5			22,5	1,2	1,1	12	0,097
8,53	0,55	15,3	2,79	292,54	Argilla	16,5			22,5	1,2	1,1	12	0,097
8,54	0,56	15,3	2,73	292,71	Argilla	16,5			22,5	1,2	1,1	13	0,097
8,55	0,55	15,3	2,78	292,83	Argilla	16,5			22,5	1,2	1,1	12	0,097
8,56	0,56	15,4	2,74	293,01	Argilla	16,5			22,6	1,2	1,1	13	0,097
8,57	0,56	15,3	2,74	293,66	Argilla	16,5			22,6	1,2	1,1	13	0,097
8,58	0,56	15,4	2,74	294,6	Argilla	16,5			22,6	1,2	1,1	13	0,097
8,59	0,57	15,4	2,7	295,43	Argilla	16,5			22,6	1,2	1,1	13	0,096
8,6	0,57	15,5	2,72	296,44	Argilla	16,5			22,6	1,2	1,1	13	0,097
8,61	0,58	15,6	2,69	297,62	Argilla	16,5			22,6	1,2	1,1	13	0,096
8,62	0,58	15,6	2,69	298,8	Argilla	16,5			22,6	1,2	1,1	13	0,096
8,63	0,59	15,6	2,64	299,57	Argilla	16,5			22,7	1,2	1,2	13	0,096
8,64	0,6	15,7	2,61	301,76	Argilla	16,5			23,6	1,2	1,2	13	0,096
8,65	0,62	15,7	2,53	305,12	Argilla	16,4			23,6	1,2	1,2	13	0,095
8,66	0,66	15,8	2,39	310,32	Argilla	16,4			23,6	1,2	1,3	14	0,094
8,67	0,71	15,6	2,2	316,88	Argilla	16,4			24,6	1,2	1,4	14	0,092
8,68	0,77	15,6	2,02	323,86	Limo argilloso	16,3			25,5	1,2	2,3	29	0,09
8,69	0,85	15,7	1,85	328,29	Limo argilloso	16,3			23,9	1,1	2,5	31	0,088
8,7	0,93	15,8	1,69	327,23	Limo argilloso	16,2			24,8	1,1	2,8	32	0,087
8,71	0,95	15,6	1,65	319,84	Limo argilloso	16,2			24,8	1,1	2,8	32	0,086
8,72	0,98	15,9	1,62	301,7	Limo argilloso	16,2			24,8	1,1	2,9	33	0,086
8,73	0,99	16,6	1,67	292,18	Limo argilloso	16,3			24,8	1,1	2,9	33	0,087
8,74	0,99	17,5	1,77	289,46	Limo argilloso	16,4			26,5	1,2	3	33	0,088
8,75	1,01	20	1,98	287,34	Limo argilloso	16,6			28,2	1,3	3,1	33	0,09
8,76	1,02	21,6	2,11	289,46	Limo argilloso	16,8			28,2	1,3	3,1	33	0,092
8,77	1,03	23	2,24	294,13	Limo argilloso	16,9			29,8	1,4	3,1	33	0,094
8,78	1,04	24,5	2,35	297,03	Limo argilloso	17			29,9	1,4	3,2	33	0,095
8,79	1,05	26	2,48	298,56	Limo argilloso	17,1			31,5	1,5	3,2	34	0,096
8,8	1,09	28,7	2,64	298,56	Limo argilloso	17,3			33,1	1,6	3,4	34	0,098
8,81	1,11	30	2,7	297,03	Limo argilloso	17,3			34,2	1,6	3,4	34	0,099
8,82	1,11	30	2,7	297,03	Limo argilloso	17,3			34,2	1,6	3,4	34	0,099
8,83	1,14	33,8	2,96	298,15	Limo argilloso	17,5			35,9	1,7	3,6	35	0,102
8,84	1,15	37,2	3,23	296,14	Argilla	17,7			36,2	1,8	2,4	17	0,106
8,85	1,16	40,5	3,49	296,5	Argilla	17,9			39,2	2	2,4	17	0,109
8,86	1,17	43,5	3,72	294,96	Argilla	18			40,6	2	2,5	17	0,112
8,87	1,18	45,9	3,89	294,96	Argilla	18,1			42,2	2,1	2,5	17	0,114
8,88	1,18	49	4,15	307,84	Argilla	18,2			43,7	2,2	2,5	17	0,117
8,89	1,19	50	4,2	315,05	Argilla	18,3			43,7	2,2	2,5	18	0,117
8,9	1,19	51,2	4,3	326,04	Argilla	18,3			45,2	2,3	2,5	18	0,118
8,91	1,21	52,6	4,34	330,65	Argilla	18,4			45,3	2,3	2,6	18	0,119
8,92	1,22	53,6	4,4	341,53	Argilla	18,4			45,3	2,3	2,6	18	0,119
8,93	1,22	55,1	4,52	353,17	Argilla	18,4			46,8	2,4	2,6	18	0,121
8,94	1,22	55,1	4,52	353,17	Argilla	18,4			46,9	2,4	2,6	18	0,121
8,95	1,22	55,1	4,52	353,17	Argilla	18,4			46,9	2,4	2,6	18	0,121
8,96	1,29	57,9	4,49	300,99	Argilla	18,5			46,9	2,4	2,8	18	0,121
8,97	1,3	59,8	4,6	299,69	Argilla	18,6			48,5	2,5	2,8	18	0,123
8,98	1,3	60,9	4,68	298,09	Argilla	18,6			48,5	2,5	2,8	18	0,124
8,99	1,3	63,1	4,85	300,63	Argilla	18,7			48,5	2,5	2,8	18	0,126
9	1,3	64,4	4,96	302,52	Argilla	18,7			50	2,6	2,8	18	0,127
9,01	1,29	66	5,11	306,48	Argilla	18,8			50,1	2,6	2,8	18	0,129

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
9,02	1,29	66	5,11	306,48	Argilla	18,8			50,1	2,6	2,8	18	0,129
9,03	1,3	68,5	5,27	321,85	Argilla	18,8			51,6	2,7	2,8	18	0,13
9,04	1,29	70,2	5,44	326,93	Argilla	18,9			51,6	2,7	2,8	18	0,132
9,05	1,27	71,1	5,6	331,54	Argilla	18,9			51,7	2,7	2,8	18	0,134
9,06	1,25	72,1	5,77	330,3	Argilla	19			53,2	2,8	2,7	18	0,136
9,07	1,25	73,3	5,86	322,62	Argilla	19			53,2	2,8	2,7	18	0,137
9,08	1,23	73,9	6,01	313,22	Argilla	19			53,3	2,8	2,7	18	0,139
9,09	1,17	74,6	6,37	296,97	Argilla	19,1			51,5	2,8	2,5	17	0,144
9,1	1,16	74,4	6,41	292	Argilla	19,1			50,2	2,7	2,5	17	0,144
9,11	1,14	74,1	6,5	284,85	Argilla	19,1			50,2	2,7	2,5	17	0,145
9,12	1,13	73,8	6,53	266,83	Argilla	19,1			50,3	2,7	2,4	17	0,146
9,13	1,09	74,6	6,84	259,44	Argilla	19,1			48,6	2,7	2,4	17	0,15
9,14	1,02	75,5	7,4	261,75	Argilla	19,2			47,3	2,6	2,2	16	0,156
9,15	1	75,7	7,57	270,14	Argilla	19,2			47,3	2,6	2,2	16	0,157
9,16	1	75,7	7,57	270,14	Argilla	19,2			47,4	2,6	2,2	16	0,157
9,17	0,95	74,9	7,88	272,86	Argilla organica	19,2			49,1	2,6	1	9	0,161
9,18	0,94	72,9	7,75	272,68	Argilla organica	19,1			46,1	2,5	1	9	0,159
9,19	0,94	71,6	7,62	274,39	Argilla organica	19,1			46,1	2,5	1	9	0,157
9,2	0,93	70,8	7,61	278,88	Argilla organica	19,1			46,2	2,5	1	9	0,157
9,21	0,91	70,4	7,74	291,83	Argilla organica	19,1			46,2	2,5	0,9	9	0,158
9,22	0,9	70,3	7,81	300,81	Argilla organica	19,1			46,2	2,5	0,9	9	0,158
9,23	0,89	69,2	7,78	308,14	Argilla organica	19,1			44,9	2,4	0,9	9	0,157
9,24	0,89	67,4	7,58	315,23	Argilla organica	19			46,5	2,4	0,9	9	0,155
9,25	0,92	60,5	6,57	319,78	Argilla	18,8			43,5	2,3	1,9	15	0,143
9,26	0,93	56,4	6,07	319,07	Argilla	18,7			43,6	2,3	2	16	0,138
9,27	0,94	52,8	5,61	317,77	Argilla	18,5			42,2	2,2	2	16	0,132
9,28	0,94	52,8	5,61	317,77	Argilla	18,5			42,2	2,2	2	16	0,132
9,29	0,92	48,9	5,31	314,7	Argilla	18,4			40,8	2,1	1,9	15	0,129
9,3	0,87	47,3	5,44	309,08	Argilla	18,4			39,4	2,1	1,8	15	0,13
9,31	0,85	45,7	5,38	303,17	Argilla	18,3			38	2	1,8	15	0,129
9,32	0,84	44,4	5,28	301,22	Argilla	18,3			38	2	1,8	15	0,128
9,33	0,84	43,8	5,21	301,34	Argilla	18,2			38	2	1,8	15	0,127
9,34	0,82	45,1	5,5	303,41	Argilla	18,3			38,1	2	1,7	15	0,13
9,35	0,81	46,3	5,72	306,42	Argilla	18,4			38,1	2	1,7	15	0,133
9,36	0,79	47,3	5,98	310,92	Argilla	18,4			38,1	2	1,6	14	0,135
9,37	0,78	48,5	6,22	315,17	Argilla	18,5			38,2	2	1,6	14	0,138
9,38	0,77	49,2	6,39	318,54	Argilla	18,5			38,2	2	1,6	14	0,139
9,39	0,79	49,3	6,24	323,62	Argilla	18,5			38,2	2	1,6	14	0,138
9,4	0,8	48	5,99	327,17	Argilla	18,4			38,3	2	1,7	15	0,135
9,41	0,82	46,6	5,69	334,32	Argilla	18,4			38,3	2	1,7	15	0,132
9,42	0,85	45,5	5,35	344,25	Argilla	18,3			39,7	2	1,8	15	0,128
9,43	0,91	41,2	4,52	358,31	Argilla	18,1			38,3	1,9	1,9	15	0,119
9,44	0,93	38,6	4,15	360,03	Argilla	17,9			38,3	1,9	1,9	16	0,114
9,45	0,95	36,8	3,87	360,26	Argilla	17,8			36,8	1,8	2	16	0,111
9,46	0,96	35,5	3,7	358,55	Argilla	17,8			36,8	1,8	2	16	0,11
9,47	0,95	34,3	3,61	355	Argilla	17,7			35,3	1,7	2	16	0,109
9,48	0,93	33,3	3,58	344,6	Argilla	17,7			35,3	1,7	1,9	16	0,108
9,49	0,93	33,3	3,58	344,6	Argilla	17,7			35,4	1,7	1,9	16	0,108
9,5	0,84	33,1	3,93	316,88	Argilla	17,7			34,1	1,7	1,7	15	0,112
9,51	0,82	33,8	4,12	315,11	Argilla	17,8			34,1	1,7	1,7	15	0,114
9,52	0,79	35	4,43	317,42	Argilla	17,9			34,2	1,7	1,6	14	0,117
9,53	0,77	36,6	4,76	320,84	Argilla	18			35,7	1,8	1,6	14	0,121
9,54	0,73	40,4	5,53	327,82	Argilla	18,2			34,4	1,8	1,5	14	0,129
9,55	0,72	41,2	5,73	332,01	Argilla	18,2			34,4	1,8	1,5	14	0,131
9,56	0,73	41,3	5,65	334,44	Argilla	18,2			34,4	1,8	1,5	14	0,13
9,57	0,73	41,1	5,64	336,86	Argilla	18,2			34,5	1,8	1,5	14	0,13
9,58	0,74	41,2	5,56	341,06	Argilla	18,2			35,8	1,8	1,5	14	0,129
9,59	0,78	39,8	5,11	350,1	Argilla	18,1			35,9	1,8	1,6	14	0,124
9,6	0,8	38,7	4,83	354,29	Argilla	18			35,9	1,8	1,6	15	0,121
9,61	0,81	38,1	4,7	357,43	Argilla	18			35,9	1,8	1,7	15	0,12
9,62	0,81	37,8	4,67	362,21	Argilla	18			35,9	1,8	1,7	15	0,119
9,63	0,8	35,9	4,48	373,03	Argilla	17,9			36	1,8	1,6	15	0,117
9,64	0,8	33,7	4,21	374,51	Argilla	17,8			34,5	1,7	1,6	15	0,114
9,65	0,81	31,7	3,91	374,21	Argilla	17,7			34,5	1,7	1,7	15	0,111
9,66	0,82	31,3	3,81	373,32	Argilla	17,6			35,8	1,7	1,7	15	0,11
9,67	0,84	31,2	3,71	372,2	Argilla	17,6			34,2	1,6	1,7	15	0,109
9,68	0,85	32,2	3,79	375,69	Argilla	17,7			35,9	1,7	1,7	15	0,109
9,69	0,85	32,8	3,86	376,57	Argilla	17,7			35,9	1,7	1,7	15	0,11
9,7	0,86	33	3,83	374,98	Argilla	17,7			35,9	1,7	1,8	15	0,11
9,71	0,87	32,7	3,76	370,9	Argilla	17,7			35,9	1,7	1,8	15	0,109
9,72	0,89	33,4	3,75	372,08	Argilla	17,7			36	1,7	1,8	15	0,109
9,73	0,89	34	3,82	372,97	Argilla	17,7			36	1,7	1,8	15	0,11
9,74	0,9	35	3,89	372,26	Argilla	17,8			36	1,7	1,8	15	0,111
9,75	0,91	36,2	3,97	372,73	Argilla	17,8			37,6	1,8	1,9	15	0,112

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
9,76	0,91	38,5	4,23	373,2	Argilla	18			37,7	1,8	1,9	15	0,115
9,77	0,9	39,1	4,35	370,55	Argilla	18			39,2	1,9	1,9	15	0,116
9,78	0,9	39	4,34	368,77	Argilla	18			37,7	1,8	1,9	15	0,116
9,79	0,9	39	4,34	369,6	Argilla	18			37,7	1,8	1,9	15	0,116
9,8	0,89	38,9	4,37	370,72	Argilla	18			37,8	1,8	1,8	15	0,116
9,81	0,89	38,5	4,33	370,84	Argilla	18			37,8	1,8	1,8	15	0,116
9,82	0,89	38,4	4,31	370,96	Argilla	18			37,8	1,8	1,8	15	0,116
9,83	0,9	39,5	4,39	374,56	Argilla	18			39,4	1,9	1,9	15	0,117
9,84	0,9	40,2	4,46	376,57	Argilla	18,1			39,5	1,9	1,9	15	0,117
9,85	0,89	41,2	4,63	379,06	Argilla	18,1			39,5	1,9	1,8	15	0,119
9,86	0,89	41,9	4,7	384,79	Argilla	18,1			39,5	1,9	1,8	15	0,12
9,87	0,9	39,2	4,35	393,24	Argilla	18			39,5	1,9	1,9	15	0,116
9,88	0,91	37,3	4,1	393,18	Argilla	17,9			38	1,8	1,9	15	0,113
9,89	0,92	36,4	3,96	391,64	Argilla	17,9			38	1,8	1,9	16	0,112
9,9	0,92	36,3	3,94	389,4	Argilla	17,9			38	1,8	1,9	16	0,111
9,91	0,9	37,1	4,12	382,72	Argilla	17,9			38,1	1,8	1,9	15	0,114
9,92	0,89	36,9	4,14	383,67	Argilla	17,9			38,1	1,8	1,8	15	0,114
9,93	0,87	36	4,13	380,36	Argilla	17,9			38,1	1,8	1,8	15	0,113
9,94	0,87	36	4,13	380,36	Argilla	17,9			38,2	1,8	1,8	15	0,113
9,95	0,87	36	4,13	380,36	Argilla	17,9			38,2	1,8	1,8	15	0,113
9,96	1,03	29,5	2,87	287,04	Argilla	17,4			33,3	1,5	2,1	16	0,101
9,97	1,03	33,6	3,26	296,44	Argilla	17,6			35	1,6	2,1	16	0,106
9,98	1,03	37,8	3,67	308,97	Argilla	17,9			38,3	1,8	2,1	16	0,11
9,99	1,01	40,4	4	319,72	Argilla	18			38,3	1,8	2,1	16	0,114
10	1	41,5	4,15	327,46	Argilla	18,1			39,9	1,9	2,1	16	0,115
10,01	1	41,5	4,15	327,46	Argilla	18,1			39,9	1,9	2,1	16	0,115
10,02	1	39,2	3,92	330,36	Argilla	18			38,4	1,8	2,1	16	0,113
10,03	1,01	38,6	3,82	328,29	Argilla	17,9			38,4	1,8	2,1	16	0,112
10,04	1,01	38,6	3,83	324,69	Argilla	17,9			38,4	1,8	2,1	16	0,112
10,05	1	39,7	3,97	321,67	Argilla	18			38,5	1,8	2,1	16	0,113
10,06	1	41,6	4,16	326,1	Argilla	18,1			40,1	1,9	2,1	16	0,116
10,07	1	43,3	4,33	339,58	Argilla	18,1			40,1	1,9	2,1	16	0,117
10,08	1,03	44,3	4,3	357,19	Argilla	18,2			40,1	1,9	2,1	16	0,117
10,09	1,05	43,8	4,17	362,63	Argilla	18,1			41,6	1,9	2,2	16	0,115
10,1	1,07	42,8	4	365,4	Argilla	18,1			41,6	1,9	2,2	16	0,114
10,11	1,07	41,5	3,88	367,41	Argilla	18			41,7	1,9	2,2	16	0,112
10,12	1,07	39,6	3,7	368,71	Argilla	17,9			40	1,8	2,2	16	0,11
10,13	1,07	36,5	3,41	370,96	Argilla	17,8			38,4	1,7	2,2	16	0,107
10,14	1,11	35,8	3,23	372,91	Argilla	17,7			38,4	1,7	2,3	17	0,105
10,15	1,15	35,7	3,11	373,44	Argilla	17,7			38,4	1,7	2,4	17	0,103
10,16	1,21	36,7	3,03	376,4	Limo argilloso	17,7			39,8	1,7	3,8	35	0,103
10,17	1,3	39,4	3,03	386,68	Limo argilloso	17,8			41,5	1,8	4,1	37	0,103
10,18	1,35	41,8	3,1	433,37	Limo argilloso	17,9			42,9	1,8	4,2	37	0,103
10,19	1,49	40,1	2,69	470,54	Limo argilloso	17,8			42,5	1,7	4,7	39	0,099
10,2	1,54	38,5	2,5	458,96	Limo argilloso	17,7			40,6	1,6	4,8	40	0,097
10,21	1,57	38,7	2,46	428,4	Limo argilloso	17,7			40,6	1,6	4,9	40	0,096
10,22	1,57	40,3	2,57	399,44	Limo argilloso	17,8			42,5	1,7	4,9	40	0,098
10,23	1,55	42,4	2,73	381,6	Limo argilloso	17,9			41,3	1,7	4,9	39	0,1
10,24	1,46	49,1	3,36	361,8	Limo argilloso	18,2			46,7	2	4,6	38	0,107
10,25	1,46	53	3,63	350,63	Argilla	18,3			48,4	2,1	3,1	19	0,111
10,26	1,47	57,7	3,92	350,51	Argilla	18,5			50,2	2,2	3,1	19	0,114
10,27	1,48	63,3	4,27	350,81	Argilla	18,7			51,9	2,3	3,2	19	0,119
10,28	1,46	69,2	4,74	381,72	Argilla	18,8			55,3	2,5	3,2	19	0,124
10,29	1,4	80	5,72	462,32	Argilla	19,1			60,3	2,8	3,1	19	0,134
10,3	1,4	82,7	5,9	477,34	Argilla	19,2			60,4	2,8	3,1	19	0,136
10,31	1,42	84,4	5,94	491,7	Argilla	19,2			62	2,9	3,1	19	0,136
10,32	1,42	85,7	6,04	476,69	Argilla	19,3			62,1	2,9	3,1	19	0,137
10,33	1,42	87,1	6,14	463,33	Argilla	19,3			62,1	2,9	3,1	19	0,139
10,34	1,43	88,8	6,21	452,22	Argilla	19,3			62,2	2,9	3,1	19	0,14
10,35	1,43	89,3	6,25	446,13	Argilla	19,4			62,2	2,9	3,1	19	0,14
10,36	1,45	89,6	6,18	441,29	Argilla	19,3			62,3	2,9	3,2	19	0,14
10,37	1,45	88,4	6,09	436,09	Argilla	19,3			62,3	2,9	3,2	19	0,139
10,38	1,48	83,3	5,63	422,02	Argilla	19,2			60,8	2,8	3,2	19	0,134
10,39	1,49	80,4	5,4	419,83	Argilla	19,1			59,2	2,7	3,2	19	0,131
10,4	1,5	78,7	5,24	420,84	Argilla	19,1			59,2	2,7	3,3	19	0,129
10,41	1,52	78,2	5,14	424,5	Argilla	19,1			59,3	2,7	3,3	19	0,128
10,42	1,55	78,1	5,04	426,93	Argilla	19			59,3	2,7	3,4	20	0,127
10,43	1,6	79,8	4,99	435,08	Argilla	19,1			61,2	2,7	3,5	20	0,127
10,44	1,61	81,2	5,04	456	Argilla	19,1			61,3	2,7	3,5	20	0,127
10,45	1,59	82	5,16	460,61	Argilla	19,1			63	2,8	3,5	20	0,128
10,46	1,58	81,6	5,16	458,07	Argilla	19,1			63,1	2,8	3,5	20	0,128
10,47	1,57	81,1	5,16	447,73	Argilla	19,1			61,4	2,7	3,4	20	0,128
10,48	1,57	78,4	4,99	400,69	Argilla	19,1			59,6	2,7	3,4	20	0,127
10,49	1,54	77,9	5,06	377,34	Argilla	19			59,6	2,7	3,4	19	0,128

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
10,5	1,5	77,8	5,19	353,53	Argilla	19,1			58	2,6	3,3	19	0,13
10,51	1,46	78,8	5,4	338,87	Argilla	19,1			57,8	2,7	3,2	19	0,132
10,52	1,4	80,1	5,72	324,63	Argilla	19,2			57,9	2,7	3	18	0,136
10,53	1,32	82,7	6,27	286,15	Argilla	19,3			56	2,7	2,9	18	0,143
10,54	1,28	83,2	6,5	279,89	Argilla	19,3			56,1	2,7	2,8	17	0,146
10,55	1,24	84,4	6,81	271,85	Argilla	19,3			54,2	2,7	2,7	17	0,15
10,56	1,2	85,9	7,16	269,66	Argilla	19,4			54,2	2,7	2,6	17	0,154
10,57	1,17	87,7	7,5	276,17	Argilla	19,4			54,3	2,7	2,5	17	0,158
10,58	1,1	89,2	8,1	297,8	Argilla organica	19,5			54,7	2,6	1,2	10	0,164
10,59	1,07	90	8,41	314,34	Argilla organica	19,5			54,7	2,6	1,1	9	0,167
10,6	1,07	90	8,41	314,34	Argilla organica	19,5			54,8	2,6	1,1	9	0,167
10,61	1,02	90,5	8,87	339,52	Argilla organica	19,6			54,8	2,6	1,1	9	0,17
10,62	1	90	9	353,47	Argilla organica	19,6			54,9	2,6	1,1	9	0,171
10,63	0,98	88,2	9	363,75	Argilla organica	19,6			53,3	2,5	1	9	0,171
10,64	0,98	86,3	8,81	373,8	Argilla organica	19,5			53,4	2,5	1	9	0,168
10,65	0,98	84,7	8,64	381,89	Argilla organica	19,5			53,4	2,5	1	9	0,166
10,66	1	81,4	8,14	390,7	Argilla organica	19,4			53,5	2,5	1	9	0,16
10,67	1	79,8	7,98	394,13	Argilla organica	19,4			53,5	2,5	1	9	0,158
10,68	1,01	78,3	7,76	397,38	Argilla organica	19,3			53,5	2,5	1,1	9	0,156
10,69	1,02	76,5	7,5	401,63	Argilla	19,3			51,7	2,5	2,2	16	0,153
10,7	1,03	74,3	7,21	403,94	Argilla	19,2			50,2	2,4	2,2	16	0,149
10,71	1,05	68,7	6,54	405,95	Argilla	19			52	2,4	2,2	16	0,142
10,72	1,06	66,6	6,29	405,24	Argilla	19			50,4	2,3	2,3	16	0,139
10,73	1,07	64,8	6,05	399,33	Argilla	18,9			50,5	2,3	2,3	16	0,137
10,74	1,08	62,6	5,79	401,04	Argilla	18,8			50,5	2,3	2,3	16	0,134
10,75	1,09	60,7	5,57	403,4	Argilla	18,8			48,9	2,2	2,3	16	0,131
10,76	1,11	58,6	5,27	410,26	Argilla	18,7			48,9	2,2	2,4	17	0,128
10,77	1,12	58,2	5,2	412,45	Argilla	18,7			49	2,2	2,4	17	0,127
10,78	1,13	57,9	5,12	409,85	Argilla	18,7			49	2,2	2,4	17	0,126
10,79	1,14	57,4	5,04	408,37	Argilla	18,6			49	2,2	2,4	17	0,125
10,8	1,15	57,4	4,99	401,57	Argilla	18,6			49,1	2,2	2,4	17	0,125
10,81	1,16	57,9	4,99	398,91	Argilla	18,7			49,1	2,2	2,5	17	0,125
10,82	1,17	58,4	4,99	404,59	Argilla	18,7			49,2	2,2	2,5	17	0,125
10,83	1,17	59	5,05	409,79	Argilla	18,7			49,2	2,2	2,5	17	0,126
10,84	1,18	60,2	5,1	414,81	Argilla	18,7			49,2	2,2	2,5	17	0,126
10,85	1,18	61,3	5,2	420,31	Argilla	18,8			50,9	2,3	2,5	17	0,127
10,86	1,2	62,2	5,18	424,86	Argilla	18,8			51	2,3	2,6	17	0,127
10,87	1,22	62,4	5,11	424,68	Argilla	18,8			52,8	2,3	2,6	17	0,126
10,88	1,23	62,5	5,08	420,72	Argilla	18,8			52,8	2,3	2,6	17	0,126
10,89	1,26	62,8	4,98	415,99	Argilla	18,8			52,8	2,3	2,7	18	0,125
10,9	1,28	62,7	4,9	405,95	Argilla	18,8			52,9	2,3	2,7	18	0,125
10,91	1,3	64,7	4,97	384,73	Argilla	18,8			52,9	2,3	2,8	18	0,126
10,92	1,3	65,8	5,06	381,42	Argilla	18,8			53	2,3	2,8	18	0,127
10,93	1,3	66,6	5,12	369,3	Argilla	18,9			51,2	2,3	2,8	18	0,128
10,94	1,3	66,6	5,12	369,3	Argilla	18,9			51,3	2,3	2,8	18	0,128
10,95	1,3	66,6	5,12	369,3	Argilla	18,9			51,3	2,3	2,8	18	0,128
10,96	1,37	64,7	4,72	320,55	Argilla	18,8			51,4	2,3	2,9	18	0,124
10,97	1,38	67	4,85	313,46	Argilla	18,8			51,4	2,3	2,9	18	0,126
10,98	1,38	67	4,85	313,46	Argilla	18,8			51,4	2,3	2,9	18	0,126
10,99	1,4	70,7	5,05	316,65	Argilla	18,9			53,1	2,4	3	18	0,128
11	1,41	72,3	5,13	316	Argilla	19			53,2	2,4	3	18	0,129
11,01	1,42	73,5	5,18	318,24	Argilla	19			54,9	2,5	3,1	18	0,13
11,02	1,43	76,2	5,33	316,83	Argilla	19,1			56,8	2,5	3,1	18	0,132
11,03	1,44	77,6	5,39	317,18	Argilla	19,1			56,8	2,5	3,1	18	0,133
11,04	1,44	79,8	5,54	316,47	Argilla	19,2			58,6	2,6	3,1	18	0,135
11,05	1,43	82,3	5,75	316,77	Argilla	19,2			56,7	2,6	3,1	18	0,137
11,06	1,42	84,6	5,96	316	Argilla	19,3			58,4	2,7	3,1	18	0,139
11,07	1,4	87,1	6,22	312,98	Argilla	19,3			58,4	2,7	3	18	0,143
11,08	1,37	89,4	6,53	317,36	Argilla	19,4			58,5	2,7	3	18	0,146
11,09	1,37	89,4	6,52	316,23	Argilla	19,4			58,5	2,7	3	18	0,146
11,1	1,36	89,2	6,56	308,73	Argilla	19,4			58,6	2,7	3	18	0,147
11,11	1,34	88,8	6,62	294,13	Argilla	19,4			58,6	2,7	2,9	18	0,148
11,12	1,34	88,8	6,62	294,13	Argilla	19,4			58,6	2,7	2,9	18	0,148
11,13	1,32	89,1	6,75	288,69	Argilla	19,4			58,7	2,7	2,9	18	0,149
11,14	1,3	88,9	6,83	298,62	Argilla	19,4			58,7	2,7	2,8	17	0,15
11,15	1,28	88,4	6,91	313,81	Argilla	19,4			58,8	2,7	2,8	17	0,15
11,16	1,28	87,8	6,86	303,65	Argilla	19,4			55,2	2,6	2,8	17	0,15
11,17	1,27	87,4	6,88	298,92	Argilla	19,4			55,3	2,6	2,7	17	0,15
11,18	1,26	87,2	6,92	298,68	Argilla	19,4			55,3	2,6	2,7	17	0,151
11,19	1,23	86,8	7,06	309,08	Argilla	19,4			55,3	2,6	2,7	17	0,152
11,2	1,22	86,3	7,08	311,15	Argilla	19,4			55,4	2,6	2,6	17	0,152
11,21	1,21	85,4	7,06	313,57	Argilla	19,4			55,4	2,6	2,6	17	0,152
11,22	1,22	85,1	6,97	313,46	Argilla	19,4			55,5	2,6	2,6	17	0,151
11,23	1,21	85	7,03	309,5	Argilla	19,4			55,5	2,6	2,6	17	0,151

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
11,24	1,2	85	7,08	314,46	Argilla	19,4			53,9	2,5	2,6	17	0,152
11,25	1,19	84,5	7,1	317,12	Argilla	19,4			54	2,5	2,6	17	0,152
11,26	1,18	83,6	7,08	319,6	Argilla	19,4			54	2,5	2,5	17	0,152
11,27	1,16	80,5	6,94	320,84	Argilla	19,3			54,1	2,5	2,5	17	0,15
11,28	1,16	78,8	6,79	316,47	Argilla	19,3			52,5	2,4	2,5	17	0,148
11,29	1,16	78,8	6,79	316,47	Argilla	19,3			52,5	2,4	2,5	17	0,148
11,3	1,15	77,2	6,71	310,92	Argilla	19,2			52,6	2,4	2,5	16	0,147
11,31	1,13	76,9	6,81	311,57	Argilla	19,2			52,6	2,4	2,4	16	0,148
11,32	1,12	76,7	6,85	306,9	Argilla	19,2			50,7	2,4	2,4	16	0,149
11,33	0,91	60,6	6,65	334,32	Argilla	18,9			42,6	2	1,9	15	0,144
11,34	1,11	64,3	5,79	329,53	Argilla	18,9			49,4	2,2	2,4	16	0,136
11,35	1,11	65	5,85	327,76	Argilla	18,9			49,4	2,2	2,4	16	0,136
11,36	1,11	65,2	5,87	325,93	Argilla	18,9			49,5	2,2	2,4	16	0,137
11,37	1,09	64,7	5,93	319,9	Argilla	18,9			47,7	2,2	2,3	16	0,137
11,38	1,07	64	5,98	312,51	Argilla	18,9			46,1	2,1	2,3	16	0,138
11,39	1,07	64	5,98	312,51	Argilla	18,9			46,1	2,1	2,3	16	0,138
11,4	1,03	64,8	6,3	301,05	Argilla	19			46,2	2,1	2,2	16	0,142
11,41	0,97	67,2	6,93	300,04	Argilla organica	19,1			46,2	2,1	1	9	0,149
11,42	0,93	68	7,31	302,94	Argilla organica	19,1			46,2	2,1	1	9	0,152
11,43	0,91	68	7,47	306,78	Argilla organica	19,1			46,3	2,1	0,9	9	0,154
11,44	0,89	66,9	7,52	306,36	Argilla organica	19,1			43	2	0,9	9	0,154
11,45	0,87	65	7,47	308,61	Argilla organica	19,1			43	2	0,9	8	0,153
11,46	0,85	63,6	7,48	312,98	Argilla organica	19			41,4	1,9	0,9	8	0,153
11,47	0,83	58,3	7,02	333,67	Argilla organica	18,9			41,4	1,9	0,8	8	0,147
11,48	0,82	53,7	6,55	336,27	Argilla organica	18,7			39,8	1,8	0,8	8	0,141
11,49	0,82	49,5	6,04	338,63	Argilla	18,6			39,8	1,8	1,7	14	0,135
11,5	0,82	46,8	5,71	344,07	Argilla	18,5			38,2	1,7	1,7	14	0,132
11,51	0,82	44	5,37	349,92	Argilla	18,4			38,2	1,7	1,7	14	0,128
11,52	0,84	40,1	4,77	350,75	Argilla	18,2			36,5	1,6	1,7	14	0,121
11,53	0,85	33,3	3,92	352,05	Argilla	17,8			34,8	1,5	1,7	14	0,111
11,54	0,86	31,2	3,62	354,23	Argilla	17,7			34,9	1,5	1,7	14	0,108
11,55	0,88	29,1	3,31	358,9	Argilla	17,5			33,1	1,4	1,8	15	0,105
11,56	0,89	25,9	2,91	358,84	Argilla	17,3			31,3	1,3	1,8	15	0,1
11,57	0,88	23,2	2,64	357,37	Argilla	17,1			29,5	1,2	1,7	15	0,097
11,58	0,88	22,3	2,54	356,36	Argilla	17			29,5	1,2	1,7	15	0,096
11,59	0,9	21,8	2,42	359,91	Argilla	17			29,6	1,2	1,8	15	0,095
11,6	0,88	21	2,38	356,6	Argilla	16,9			29,6	1,2	1,7	15	0,094
11,61	0,88	20,7	2,36	356,6	Argilla	16,9			29,6	1,2	1,7	15	0,094
11,62	0,88	20,7	2,35	356,6	Argilla	16,9			29,6	1,2	1,7	15	0,094
11,63	0,87	20,8	2,39	356,78	Argilla	16,9			29,6	1,2	1,7	15	0,094
11,64	0,88	20,7	2,35	355,89	Argilla	16,9			29,6	1,2	1,7	15	0,094
11,65	0,87	20,9	2,4	353,47	Argilla	16,9			29,7	1,2	1,7	15	0,094
11,66	0,85	21,3	2,51	353,35	Argilla	17			29,7	1,2	1,7	14	0,095
11,67	0,85	21,4	2,52	355,24	Argilla	17			29,7	1,2	1,7	14	0,095
11,68	0,85	21	2,47	355,42	Argilla	16,9			29,7	1,2	1,7	14	0,095
11,69	0,84	20,3	2,41	355,42	Argilla	16,9			27,9	1,1	1,6	14	0,094
11,7	0,84	19,6	2,33	355,53	Argilla	16,8			27,9	1,1	1,6	14	0,093
11,71	0,85	19,2	2,26	356,95	Argilla	16,8			27,9	1,1	1,7	14	0,093
11,72	0,86	19	2,21	357,13	Argilla	16,7			27,9	1,1	1,7	14	0,092
11,73	0,87	18,8	2,16	359,2	Limo argilloso	16,7			27,9	1,1	2,6	30	0,091
11,74	0,88	18,5	2,11	361,33	Limo argilloso	16,7			27,9	1,1	2,6	30	0,091
11,75	0,9	18,3	2,03	364,4	Limo argilloso	16,6			29	1,1	2,7	30	0,09
11,76	0,92	18,5	2,01	366,41	Limo argilloso	16,7			29	1,1	2,7	30	0,09
11,77	0,93	19,3	2,08	362,09	Limo argilloso	16,7			29,1	1,1	2,8	30	0,091
11,78	0,93	20,4	2,19	360,79	Limo argilloso	16,8			29,1	1,1	2,8	30	0,092
11,79	0,93	21,3	2,29	359,97	Limo argilloso	16,9			31,1	1,2	2,8	30	0,093
11,8	0,93	21,8	2,35	358,19	Limo argilloso	17			31,1	1,2	2,8	30	0,094
11,81	0,93	22,1	2,38	356,6	Argilla	17			29,9	1,2	1,8	15	0,094
11,82	0,94	22,4	2,38	356,95	Argilla	17			29,9	1,2	1,9	15	0,094
11,83	0,95	22,9	2,41	358,49	Argilla	17			31,1	1,2	1,9	15	0,095
11,84	0,97	23,4	2,42	361,5	Limo argilloso	17,1			31,1	1,2	2,9	31	0,095
11,85	0,97	23,6	2,43	364,16	Limo argilloso	17,1			31,2	1,2	2,9	31	0,095
11,86	0,98	23,3	2,38	368,36	Limo argilloso	17,1			31,2	1,2	2,9	31	0,094
11,87	0,98	22,7	2,32	371,08	Limo argilloso	17			31,2	1,2	2,9	31	0,094
11,88	0,99	22,2	2,24	372,55	Limo argilloso	17			31,2	1,2	3	31	0,093
11,89	1,01	21,6	2,14	373,62	Limo argilloso	16,9			31,2	1,2	3	32	0,092
11,9	1,02	21,1	2,07	375,21	Limo argilloso	16,8			29,3	1,1	3	32	0,091
11,91	1,04	20,9	2,01	378,11	Limo argilloso	16,8			30,4	1,1	3,1	32	0,09
11,92	1,03	20,1	1,95	377,46	Limo argilloso	16,7			30,4	1,1	3,1	32	0,089
11,93	1,03	20,4	1,98	376,04	Limo argilloso	16,8			30,4	1,1	3,1	32	0,09
11,94	1,03	20,4	1,98	376,04	Limo argilloso	16,8			30,4	1,1	3,1	32	0,09
11,95	1,03	20,4	1,98	376,04	Limo argilloso	16,8			30,5	1,1	3,1	32	0,09
11,96	1,35	47,3	3,5	196,97	Argilla	18,2			42,5	1,8	2,8	17	0,111
11,97	1,28	47,7	3,73	203,42	Argilla	18,3			42,5	1,8	2,7	17	0,113

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
11,98	1,16	44,5	3,84	218,96	Argilla	18,2			39,3	1,7	2,4	16	0,114
11,99	1,13	42,3	3,74	223,27	Argilla	18,1			39,3	1,7	2,3	16	0,113
12	1,11	40,4	3,64	228,89	Argilla	18			37,6	1,6	2,3	16	0,112
12,01	0,96	32,2	3,35	257,73	Argilla	17,7			32,7	1,4	1,9	15	0,107
12,02	1,04	32,3	3,11	256,43	Argilla	17,6			34	1,4	2,1	15	0,104
12,03	1,02	32,1	3,15	256,25	Argilla	17,6			34	1,4	2,1	15	0,105
12,04	1,01	31,7	3,14	256,13	Argilla	17,6			34,1	1,4	2	15	0,105
12,05	1	30,8	3,08	256,72	Argilla	17,6			32,7	1,4	2	15	0,104
12,06	0,99	30,5	3,08	259,2	Argilla	17,6			32,8	1,4	2	15	0,104
12,07	0,98	30,7	3,13	259,03	Argilla	17,6			32,8	1,4	2	15	0,104
12,08	0,97	31,3	3,22	259,62	Argilla	17,6			32,8	1,4	2	15	0,106
12,09	0,96	31,8	3,31	261,63	Argilla	17,7			32,8	1,4	1,9	15	0,107
12,1	0,95	30,6	3,22	266,12	Argilla	17,6			32,8	1,4	1,9	15	0,105
12,11	0,95	29,2	3,07	268,36	Argilla	17,5			31,1	1,3	1,9	15	0,104
12,12	0,95	28,4	2,99	269,25	Argilla	17,5			31,1	1,3	1,9	15	0,103
12,13	0,95	28,2	2,97	269,78	Argilla	17,4			31,1	1,3	1,9	15	0,102
12,14	0,95	27,4	2,88	272,21	Argilla	17,4			31,1	1,3	1,9	15	0,101
12,15	0,95	26,5	2,79	272,5	Argilla	17,3			31,1	1,3	1,9	15	0,1
12,16	0,95	25,7	2,7	272,44	Argilla	17,3			29,3	1,2	1,9	15	0,099
12,17	0,94	25,2	2,68	272,5	Argilla	17,2			29,4	1,2	1,9	15	0,099
12,18	0,94	25	2,66	273,15	Argilla	17,2			29,4	1,2	1,9	15	0,099
12,19	0,93	24,5	2,63	275,1	Argilla	17,2			29,4	1,2	1,8	15	0,098
12,2	0,92	23,7	2,58	275,1	Argilla	17,1			29,4	1,2	1,8	15	0,097
12,21	0,92	23,5	2,55	274,92	Argilla	17,1			29,4	1,2	1,8	15	0,097
12,22	0,91	23,5	2,58	275,1	Argilla	17,1			29,4	1,2	1,8	14	0,097
12,23	0,89	23,2	2,61	276,76	Argilla	17,1			29,5	1,2	1,8	14	0,098
12,24	0,88	22,9	2,6	278,29	Argilla	17,1			29,5	1,2	1,7	14	0,098
12,25	0,88	22,5	2,56	279,65	Argilla	17,1			29,5	1,2	1,7	14	0,097
12,26	0,89	22,3	2,5	281,19	Argilla	17			29,5	1,2	1,8	14	0,096
12,27	0,9	21,6	2,4	283,49	Argilla	17			27,7	1,1	1,8	14	0,095
12,28	0,94	20,7	2,2	289,58	Limo argilloso	16,9			28,8	1,1	2,8	30	0,093
12,29	0,96	20,4	2,12	292,06	Limo argilloso	16,8			28,8	1,1	2,9	30	0,092
12,3	0,98	20,1	2,05	294,43	Limo argilloso	16,8			28,8	1,1	2,9	30	0,091
12,31	0,99	19,3	1,95	296,32	Limo argilloso	16,7			26,9	1	2,9	31	0,09
12,32	1,01	18,4	1,82	297,5	Limo argilloso	16,6			26,9	1	3	31	0,089
12,33	1,04	18,3	1,76	298,33	Limo argilloso	16,6			26,9	1	3,1	31	0,088
12,34	1,09	20,3	1,87	301,93	Limo argilloso	16,8			30	1,1	3,3	32	0,089
12,35	1,13	20,9	1,85	305,83	Limo argilloso	16,8			30	1,1	3,4	33	0,089
12,36	1,17	20,9	1,78	308,85	Limo argilloso	16,8			30,1	1,1	3,5	33	0,088
12,37	1,22	21,1	1,73	309,44	Limo argilloso	16,8			29	1	3,6	34	0,088
12,38	1,25	21	1,68	305,83	Limo argilloso	16,7			29,1	1	3,7	34	0,087
12,39	1,22	21	1,72	302,94	Limo argilloso	16,7			29,1	1	3,6	34	0,088
12,4	1,2	21,7	1,8	301,4	Limo argilloso	16,8			30,1	1,1	3,6	33	0,089
12,41	1,16	21,9	1,89	298,15	Limo argilloso	16,9			30,1	1,1	3,5	33	0,09
12,42	1,14	22,6	1,98	300,1	Limo argilloso	16,9			30,1	1,1	3,4	33	0,091
12,43	1,15	22,1	1,93	303	Limo argilloso	16,9			30,2	1,1	3,4	33	0,09
12,44	1,18	22,1	1,87	306,25	Limo argilloso	16,9			30,2	1,1	3,5	33	0,089
12,45	1,22	22,4	1,84	307,84	Limo argilloso	16,9			31,3	1,1	3,6	34	0,089
12,46	1,26	23,4	1,86	310,97	Limo argilloso	16,9			31,3	1,1	3,8	34	0,089
12,47	1,29	24,8	1,92	310,09	Limo argilloso	17			31,4	1,1	3,9	35	0,09
12,48	1,3	26,5	2,04	307,13	Limo argilloso	17,2			33,5	1,2	3,9	35	0,092
12,49	1,29	28	2,17	302,17	Limo argilloso	17,3			33,5	1,2	3,9	35	0,093
12,5	1,27	28,6	2,25	299,98	Limo argilloso	17,3			35,6	1,3	3,9	34	0,094
12,51	1,2	28,4	2,37	300,4	Limo argilloso	17,3			34,3	1,3	3,6	33	0,095
12,52	1,17	28,2	2,41	299,86	Limo argilloso	17,3			34,4	1,3	3,6	33	0,096
12,53	1,15	27,6	2,4	299,45	Limo argilloso	17,3			34,4	1,3	3,5	33	0,096
12,54	1,13	26,7	2,36	299,8	Limo argilloso	17,2			32,4	1,2	3,4	32	0,095
12,55	1,12	24,7	2,21	305,95	Limo argilloso	17,1			32,4	1,2	3,4	32	0,093
12,56	1,13	24	2,13	310,86	Limo argilloso	17,1			32,4	1,2	3,4	32	0,092
12,57	1,16	23,6	2,03	314,76	Limo argilloso	17			30,4	1,1	3,5	33	0,091
12,58	1,19	23,6	1,98	317,77	Limo argilloso	17			30,4	1,1	3,6	33	0,091
12,59	1,21	23,9	1,97	320,19	Limo argilloso	17			31,6	1,1	3,6	34	0,091
12,6	1,27	25,3	1,99	324,92	Limo argilloso	17,1			33,7	1,2	3,8	34	0,091
12,61	1,3	25,7	1,97	327,17	Limo argilloso	17,1			33,7	1,2	3,9	35	0,091
12,62	1,34	26,5	1,98	329,41	Limo argilloso	17,1			33,8	1,2	4	35	0,091
12,63	1,37	27,2	1,98	332,01	Limo argilloso	17,2			35	1,2	4,1	36	0,091
12,64	1,39	28,3	2,03	335,85	Limo argilloso	17,2			35	1,2	4,2	36	0,092
12,65	1,39	28,8	2,07	337,21	Limo argilloso	17,3			35	1,2	4,2	36	0,092
12,66	1,39	28,9	2,08	331,72	Limo argilloso	17,3			35	1,2	4,2	36	0,092
12,67	1,35	29,1	2,15	325,34	Limo argilloso	17,3			33,8	1,2	4,1	35	0,093
12,68	1,29	29,6	2,29	322,26	Limo argilloso	17,4			36	1,3	3,9	35	0,095
12,69	1,25	29,4	2,36	322,14	Limo argilloso	17,4			36	1,3	3,8	34	0,095
12,7	1,19	28,8	2,42	331,3	Limo argilloso	17,4			36	1,3	3,6	33	0,096
12,71	1,18	28,7	2,44	337,81	Limo argilloso	17,4			36	1,3	3,6	33	0,096

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
12,72	1,18	28,1	2,38	343,42	Limo argilloso	17,3			36	1,3	3,6	33	0,095
12,73	1,18	27,6	2,34	348,09	Limo argilloso	17,3			36,1	1,3	3,6	33	0,095
12,74	1,17	27,6	2,36	349,8	Limo argilloso	17,3			36,1	1,3	3,6	33	0,095
12,75	1,16	28,6	2,46	352,46	Limo argilloso	17,4			36,1	1,3	3,5	33	0,096
12,76	1,16	28,6	2,46	352,46	Limo argilloso	17,4			36,1	1,3	3,5	33	0,096
12,77	1,13	29,3	2,59	356,72	Limo argilloso	17,4			34,8	1,3	3,4	33	0,097
12,78	1,13	29,4	2,6	359,2	Limo argilloso	17,4			34,9	1,3	3,4	33	0,098
12,79	1,12	27,5	2,45	362,98	Limo argilloso	17,3			34,9	1,3	3,4	33	0,096
12,8	1,12	26,7	2,39	366,35	Limo argilloso	17,3			32,9	1,2	3,4	33	0,095
12,81	1,13	25,8	2,28	372,32	Limo argilloso	17,2			34,1	1,2	3,4	33	0,094
12,82	1,15	24,8	2,15	377,28	Limo argilloso	17,1			34,1	1,2	3,5	33	0,092
12,83	1,2	23,2	1,93	386,09	Limo argilloso	17			32	1,1	3,6	34	0,09
12,84	1,22	23,3	1,91	387,8	Limo argilloso	17			32	1,1	3,6	34	0,089
12,85	1,23	23,3	1,89	389,22	Limo argilloso	17			32	1,1	3,7	34	0,089
12,86	1,26	23,4	1,86	389,63	Limo argilloso	16,9			32	1,1	3,8	34	0,089
12,87	1,3	24	1,85	386,03	Limo argilloso	17			33,2	1,1	3,9	35	0,089
12,88	1,27	27	2,12	380,24	Limo argilloso	17,2			34,2	1,2	3,8	34	0,092
12,89	1,25	29,1	2,33	383,07	Limo argilloso	17,4			36,4	1,3	3,8	34	0,094
12,9	1,26	30,1	2,39	385,2	Limo argilloso	17,4			36,4	1,3	3,8	34	0,095
12,91	1,26	29,4	2,34	386,03	Limo argilloso	17,4			36,4	1,3	3,8	34	0,095
12,92	1,26	29,7	2,36	386,68	Limo argilloso	17,4			36,4	1,3	3,8	34	0,095
12,93	1,24	30,3	2,45	386,32	Limo argilloso	17,5			36,5	1,3	3,8	34	0,096
12,94	1,24	30,3	2,45	386,32	Limo argilloso	17,5			36,5	1,3	3,8	34	0,096
12,95	1,24	30,3	2,45	386,32	Limo argilloso	17,5			36,5	1,3	3,8	34	0,096
12,96	1,45	49,3	3,4	233,14	Argilla	18,3			44,7	1,7	3	18	0,109
12,97	1,4	50,5	3,61	240,12	Argilla	18,4			45	1,8	2,9	17	0,112
12,98	1,35	51,1	3,79	247,03	Argilla	18,4			45	1,8	2,8	17	0,114
12,99	1,31	51,6	3,94	253,83	Argilla	18,4			45	1,8	2,7	17	0,115
13	1,29	52,1	4,04	259,91	Argilla	18,5			45,1	1,8	2,7	17	0,117
13,01	1,22	53,2	4,36	275,81	Argilla	18,5			45,1	1,8	2,5	16	0,12
13,02	1,22	53,2	4,36	275,81	Argilla	18,5			45,1	1,8	2,5	16	0,12
13,03	1,2	52,8	4,4	289,34	Argilla	18,5			45,2	1,8	2,5	16	0,12
13,04	1,16	47,8	4,12	300,75	Argilla	18,4			41,7	1,7	2,4	16	0,116
13,05	1,14	45,2	3,97	301,87	Argilla	18,3			41,7	1,7	2,4	16	0,114
13,06	1,13	43,4	3,84	303,06	Argilla	18,2			39,9	1,6	2,3	16	0,113
13,07	1,12	42	3,75	306,9	Argilla	18,1			39,9	1,6	2,3	16	0,112
13,08	1,11	40,3	3,63	313,34	Argilla	18,1			39,9	1,6	2,3	16	0,11
13,09	1,12	35,8	3,2	323,09	Argilla	17,8			38	1,5	2,3	16	0,105
13,1	1,13	33,7	2,98	326,1	Argilla	17,7			37,6	1,4	2,3	16	0,102
13,11	1,15	32,4	2,82	330	Argilla	17,6			37,6	1,4	2,3	16	0,1
13,12	1,16	31,3	2,7	337,86	Argilla	17,6			35,6	1,3	2,3	16	0,099
13,13	1,17	29,4	2,51	344,13	Limo argilloso	17,4			35,6	1,3	3,6	33	0,097
13,14	1,19	27,1	2,28	347,85	Limo argilloso	17,3			33,5	1,2	3,6	33	0,094
13,15	1,23	25,2	2,05	349,03	Limo argilloso	17,1			32,6	1,1	3,7	34	0,091
13,16	1,25	25,5	2,04	348,62	Limo argilloso	17,1			32,6	1,1	3,7	34	0,091
13,17	1,25	26	2,08	349,15	Limo argilloso	17,2			34,8	1,2	3,8	34	0,092
13,18	1,25	27,1	2,17	351,4	Limo argilloso	17,2			34,8	1,2	3,8	34	0,093
13,19	1,26	28,3	2,24	353,41	Limo argilloso	17,3			34,9	1,2	3,8	34	0,094
13,2	1,25	30	2,4	352,64	Limo argilloso	17,4			37	1,3	3,8	34	0,096
13,21	1,24	31,2	2,52	350,51	Limo argilloso	17,5			37,1	1,3	3,8	34	0,097
13,22	1,21	32,6	2,69	349,62	Limo argilloso	17,6			39,2	1,4	3,7	33	0,099
13,23	1,18	33,8	2,86	349,57	Argilla	17,7			37,8	1,4	2,4	16	0,101
13,24	1,16	34,2	2,95	353,53	Argilla	17,7			37,8	1,4	2,3	16	0,102
13,25	1,15	34,5	3	355,48	Argilla	17,8			37,9	1,4	2,3	16	0,102
13,26	1,14	35,7	3,13	361,86	Argilla	17,8			37,9	1,4	2,3	16	0,104
13,27	1,15	35,6	3,09	362,04	Argilla	17,8			37,9	1,4	2,3	16	0,103
13,28	1,15	35,6	3,09	362,51	Argilla	17,8			37,9	1,4	2,3	16	0,103
13,29	1,14	35,3	3,1	364,34	Argilla	17,8			37,9	1,4	2,3	16	0,103
13,3	1,15	35,3	3,07	365,17	Argilla	17,8			38	1,4	2,3	16	0,103
13,31	1,15	36,2	3,15	376,16	Argilla	17,8			40	1,5	2,3	16	0,104
13,32	1,15	36,7	3,19	385,67	Argilla	17,9			40	1,5	2,3	16	0,104
13,33	1,16	36,7	3,16	392,53	Argilla	17,9			40,1	1,5	2,4	16	0,104
13,34	1,17	36,8	3,14	393,89	Argilla	17,9			40,1	1,5	2,4	16	0,104
13,35	1,17	37,6	3,21	397,32	Argilla	17,9			40,1	1,5	2,4	16	0,104
13,36	1,19	38	3,19	399,98	Argilla	17,9			41,6	1,5	2,4	16	0,104
13,37	1,21	39,8	3,29	402,58	Argilla	18			41,6	1,5	2,5	17	0,105
13,38	1,21	39,8	3,29	402,58	Argilla	18			41,7	1,5	2,5	17	0,105
13,39	1,21	41,9	3,46	404,82	Argilla	18,1			43,8	1,6	2,5	17	0,107
13,4	1,22	42,7	3,5	406,42	Argilla	18,1			43,8	1,6	2,5	17	0,108
13,41	1,22	43,6	3,57	406	Argilla	18,2			43,8	1,6	2,5	17	0,109
13,42	1,21	44,4	3,67	409,31	Argilla	18,2			43,8	1,6	2,5	17	0,11
13,43	1,22	45,1	3,69	416,88	Argilla	18,2			45,9	1,7	2,5	17	0,11
13,44	1,23	44,9	3,65	418,83	Argilla	18,2			45,9	1,7	2,5	17	0,109
13,45	1,24	45,5	3,67	419,12	Argilla	18,2			46	1,7	2,6	17	0,11

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
13,46	1,23	46,2	3,75	419,18	Argilla	18,3			46	1,7	2,5	17	0,111
13,47	1,23	47,4	3,86	419,77	Argilla	18,3			46	1,7	2,5	17	0,112
13,48	1,24	48,7	3,92	421,43	Argilla	18,4			46,1	1,7	2,6	17	0,113
13,49	1,23	49,6	4,03	422,67	Argilla	18,4			48,1	1,8	2,6	17	0,114
13,5	1,23	50,4	4,09	425,33	Argilla	18,4			48,1	1,8	2,6	17	0,115
13,51	1,23	50,9	4,14	425,45	Argilla	18,5			48,2	1,8	2,6	17	0,115
13,52	1,22	51,6	4,23	427,46	Argilla	18,5			48,2	1,8	2,5	17	0,116
13,53	1,23	52	4,23	426,1	Argilla	18,5			48,2	1,8	2,6	17	0,116
13,54	1,23	53	4,31	426,22	Argilla	18,5			48,3	1,8	2,6	17	0,117
13,55	1,25	54,9	4,39	428,99	Argilla	18,6			50,3	1,9	2,6	17	0,118
13,56	1,24	55,1	4,45	431,3	Argilla	18,6			50,3	1,9	2,6	17	0,119
13,57	1,23	55,7	4,53	435,73	Argilla	18,6			50,3	1,9	2,6	17	0,119
13,58	1,23	55,8	4,54	437,8	Argilla	18,6			50,4	1,9	2,6	17	0,12
13,59	1,23	55,7	4,52	436,5	Argilla	18,6			50,4	1,9	2,6	17	0,119
13,6	1,22	55,4	4,54	436,91	Argilla	18,6			50,4	1,9	2,6	17	0,119
13,61	1,22	55,1	4,52	440,64	Argilla	18,6			50,5	1,9	2,6	17	0,119
13,62	1,22	54,8	4,49	441,88	Argilla	18,6			48,5	1,8	2,5	17	0,119
13,63	1,23	54,9	4,46	442,41	Argilla	18,6			48,5	1,8	2,6	17	0,119
13,64	1,23	55	4,47	444,3	Argilla	18,6			50,6	1,9	2,6	17	0,119
13,65	1,23	55,1	4,48	449,15	Argilla	18,6			50,6	1,9	2,6	17	0,119
13,66	1,28	54,8	4,28	458,07	Argilla	18,6			48,6	1,8	2,7	17	0,116
13,67	1,29	54,3	4,21	465,81	Argilla	18,6			50,4	1,8	2,7	17	0,116
13,68	1,3	53,2	4,09	469,36	Argilla	18,5			50,4	1,8	2,7	17	0,114
13,69	1,31	53	4,05	469,71	Argilla	18,5			50,4	1,8	2,7	17	0,114
13,7	1,32	53,1	4,02	468,53	Argilla	18,5			50,5	1,8	2,7	17	0,114
13,71	1,33	52,1	3,92	464,57	Argilla	18,5			50,5	1,8	2,8	17	0,112
13,72	1,34	52,3	3,9	462,86	Argilla	18,5			50,5	1,8	2,8	17	0,112
13,73	1,34	52,3	3,9	458,78	Argilla	18,5			50,6	1,8	2,8	17	0,112
13,74	1,34	53	3,96	456,3	Argilla	18,5			50,6	1,8	2,8	17	0,113
13,75	1,32	54,3	4,11	456,77	Argilla	18,6			50,6	1,8	2,7	17	0,115
13,76	1,31	55,7	4,25	459,19	Argilla	18,6			50,9	1,9	2,7	17	0,116
13,77	1,3	56,8	4,37	459,96	Argilla	18,7			51	1,9	2,7	17	0,118
13,78	1,29	57,1	4,42	460,08	Argilla	18,7			51	1,9	2,7	17	0,118
13,79	1,27	56,9	4,48	462,38	Argilla	18,7			51	1,9	2,7	17	0,119
13,8	1,27	57,3	4,51	462,09	Argilla	18,7			51,1	1,9	2,7	17	0,119
13,81	1,26	58	4,6	463,86	Argilla	18,7			51,1	1,9	2,6	17	0,12
13,82	1,26	58,3	4,63	466,7	Argilla	18,7			51,1	1,9	2,6	17	0,12
13,83	1,27	58,6	4,61	467,47	Argilla	18,7			51,2	1,9	2,7	17	0,12
13,84	1,28	58,6	4,58	465,93	Argilla	18,7			51,2	1,9	2,7	17	0,12
13,85	1,28	58,5	4,57	463,8	Argilla	18,7			51,2	1,9	2,7	17	0,12
13,86	1,28	58,3	4,56	464,69	Argilla	18,7			51,2	1,9	2,7	17	0,12
13,87	1,28	58,6	4,58	465,58	Argilla	18,7			51,3	1,9	2,7	17	0,12
13,88	1,28	58,3	4,55	465,69	Argilla	18,7			51,3	1,9	2,7	17	0,12
13,89	1,28	57,7	4,51	465,58	Argilla	18,7			51,3	1,9	2,7	17	0,119
13,9	1,27	56,8	4,47	463,74	Argilla	18,7			51,4	1,9	2,7	17	0,119
13,91	1,27	56,5	4,45	463,51	Argilla	18,7			51,4	1,9	2,7	17	0,118
13,92	1,27	55,9	4,4	462,8	Argilla	18,6			49,4	1,8	2,6	17	0,118
13,93	1,27	55,5	4,37	462,98	Argilla	18,6			49,4	1,8	2,6	17	0,117
13,94	1,27	55,5	4,37	462,98	Argilla	18,6			49,5	1,8	2,6	17	0,117
13,95	1,27	55,5	4,37	462,98	Argilla	18,6			49,5	1,8	2,6	17	0,117
13,96	1,28	54,8	4,28	472,02	Argilla	18,6			49,5	1,8	2,7	17	0,116
13,97	1,29	55,4	4,29	468,71	Argilla	18,6			49,5	1,8	2,7	17	0,117
13,98	1,28	56,4	4,41	465,34	Argilla	18,7			51,6	1,9	2,7	17	0,118
13,99	1,27	57,6	4,53	469,71	Argilla	18,7			51,7	1,9	2,7	17	0,119
14	1,27	57,4	4,52	471,31	Argilla	18,7			51,7	1,9	2,7	17	0,119
14,01	1,28	57	4,45	472,19	Argilla	18,7			51,7	1,9	2,7	17	0,118
14,02	1,28	56,5	4,41	472,43	Argilla	18,7			51,8	1,9	2,7	17	0,118
14,03	1,29	56	4,34	471,07	Argilla	18,6			49,7	1,8	2,7	17	0,117
14,04	1,29	56,2	4,36	468,71	Argilla	18,6			49,8	1,8	2,7	17	0,117
14,05	1,31	56,5	4,32	467,94	Argilla	18,6			51,8	1,9	2,7	17	0,117
14,06	1,31	57	4,35	468,59	Argilla	18,7			51,9	1,9	2,7	17	0,117
14,07	1,32	57,5	4,36	470,42	Argilla	18,7			51,9	1,9	2,8	17	0,117
14,08	1,33	58,2	4,37	471,43	Argilla	18,7			51,9	1,9	2,8	17	0,118
14,09	1,36	58,2	4,28	472,31	Argilla	18,7			53,8	1,9	2,9	17	0,117
14,1	1,36	57,9	4,25	469,71	Argilla	18,7			53,9	1,9	2,9	17	0,116
14,11	1,37	57,7	4,21	468,83	Argilla	18,7			53,9	1,9	2,9	17	0,116
14,12	1,37	57,8	4,22	465,34	Argilla	18,7			53,9	1,9	2,9	17	0,116
14,13	1,37	57,4	4,19	461,44	Argilla	18,7			54	1,9	2,9	17	0,116
14,14	1,39	56,5	4,06	446,13	Argilla	18,6			51,8	1,8	2,9	18	0,115
14,15	1,4	56,4	4,03	436,26	Argilla	18,6			50,1	1,8	2,9	18	0,114
14,16	1,42	56,5	3,98	430,53	Argilla	18,6			51,9	1,8	3	18	0,114
14,17	1,43	57,1	4	423,38	Argilla	18,6			51,9	1,8	3	18	0,114
14,18	1,44	61	4,23	422,49	Argilla	18,7			54,1	1,9	3	18	0,117
14,19	1,44	63,2	4,39	426,45	Argilla	18,8			54,2	1,9	3	18	0,119

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
14,2	1,43	64,8	4,53	423,62	Argilla	18,9			54,4	2	3	18	0,121
14,21	1,42	65,8	4,63	418,89	Argilla	18,9			54,4	2	3	18	0,122
14,22	1,4	67,2	4,8	409,31	Argilla	18,9			54,4	2	3	17	0,124
14,23	1,39	68,4	4,92	405,06	Argilla	19			54,5	2	2,9	17	0,125
14,24	1,38	70,2	5,09	401,34	Argilla	19			56,5	2,1	2,9	17	0,127
14,25	1,37	72,5	5,29	394,3	Argilla	19,1			56,6	2,1	2,9	17	0,13
14,26	1,36	75	5,51	392,29	Argilla	19,2			56,6	2,1	2,9	17	0,132
14,27	1,36	77,4	5,69	393,36	Argilla	19,2			58,7	2,2	2,9	17	0,134
14,28	1,34	81,2	6,06	390,46	Argilla	19,3			58,7	2,2	2,8	17	0,139
14,29	1,32	82,8	6,27	400,74	Argilla	19,4			58,7	2,2	2,8	17	0,141
14,3	1,31	82,9	6,33	408,9	Argilla	19,4			58,8	2,2	2,8	17	0,141
14,31	1,31	82,2	6,27	406,89	Argilla	19,4			58,8	2,2	2,8	17	0,141
14,32	1,31	81,6	6,23	409,49	Argilla	19,4			58,9	2,2	2,8	17	0,14
14,33	1,3	81,3	6,25	415,05	Argilla	19,4			58,9	2,2	2,8	17	0,14
14,34	1,3	81,3	6,25	415,05	Argilla	19,4			58,9	2,2	2,8	17	0,14
14,35	1,3	80,9	6,22	417,76	Argilla	19,4			59	2,2	2,8	17	0,14
14,36	1,3	80,3	6,18	415,11	Argilla	19,3			59	2,2	2,8	17	0,139
14,37	1,3	80	6,15	420,48	Argilla	19,3			59	2,2	2,8	17	0,139
14,38	1,3	79,7	6,13	425,39	Argilla	19,3			59,1	2,2	2,8	17	0,139
14,39	1,31	78,8	6,02	430,47	Argilla	19,3			59,1	2,2	2,8	17	0,137
14,4	1,32	77,3	5,86	435,79	Argilla	19,3			57,1	2,1	2,8	17	0,135
14,41	1,34	76	5,67	438,39	Argilla	19,2			57,2	2,1	2,8	17	0,133
14,42	1,37	74,2	5,42	444,54	Argilla	19,2			57,2	2,1	2,9	17	0,13
14,43	1,39	73,5	5,29	445,42	Argilla	19,1			57,2	2,1	2,9	17	0,129
14,44	1,39	73,2	5,27	446,07	Argilla	19,1			57,3	2,1	2,9	17	0,129
14,45	1,38	73,2	5,31	445,01	Argilla	19,1			57,3	2,1	2,9	17	0,129
14,46	1,37	73,7	5,38	447,31	Argilla	19,2			57,3	2,1	2,9	17	0,13
14,47	1,35	73,9	5,47	457,72	Argilla	19,2			57,4	2,1	2,9	17	0,131
14,48	1,34	73,2	5,46	467,35	Argilla	19,1			57,4	2,1	2,8	17	0,13
14,49	1,35	72,1	5,34	466,34	Argilla	19,1			57,4	2,1	2,9	17	0,129
14,5	1,36	70,9	5,21	467,64	Argilla	19,1			57,5	2,1	2,9	17	0,128
14,51	1,38	69,7	5,05	457,36	Argilla	19			55,4	2	2,9	17	0,126
14,52	1,38	69,2	5,01	448,44	Argilla	19			55,5	2	2,9	17	0,126
14,53	1,39	69,2	4,98	448,2	Argilla	19			55,5	2	2,9	17	0,125
14,54	1,38	70,2	5,09	437,03	Argilla	19,1			55,5	2	2,9	17	0,127
14,55	1,36	71,3	5,24	438,15	Argilla	19,1			55,6	2	2,9	17	0,128
14,56	1,36	71,9	5,28	436,62	Argilla	19,1			57,7	2,1	2,9	17	0,129
14,57	1,35	72	5,33	429,11	Argilla	19,1			55,7	2	2,8	17	0,13
14,58	1,35	71,6	5,31	421,84	Argilla	19,1			55,7	2	2,8	17	0,129
14,59	1,33	71,5	5,37	382,9	Argilla	19,1			53,7	2	2,8	17	0,131
14,6	1,28	73,5	5,75	392,41	Argilla	19,2			53,8	2	2,7	17	0,135
14,61	1,28	75,1	5,87	397,55	Argilla	19,2			55,8	2,1	2,7	17	0,136
14,62	1,26	77,4	6,14	405,18	Argilla	19,3			55,8	2,1	2,7	17	0,139
14,63	1,26	79,1	6,28	409,55	Argilla	19,3			55,9	2,1	2,7	17	0,14
14,64	1,25	80,9	6,48	411,8	Argilla	19,4			55,9	2,1	2,6	16	0,143
14,65	1,26	82,8	6,57	415,11	Argilla	19,4			55,9	2,1	2,7	17	0,144
14,66	1,26	82,8	6,57	415,11	Argilla	19,4			56	2,1	2,7	17	0,144
14,67	1,25	81	6,48	425,33	Argilla	19,4			56	2,1	2,6	17	0,142
14,68	1,26	78,2	6,21	437,15	Argilla	19,3			56	2,1	2,7	17	0,139
14,69	1,26	77,2	6,13	444,71	Argilla	19,3			56,1	2,1	2,7	17	0,138
14,7	1,27	76,8	6,04	449,68	Argilla	19,3			58,2	2,1	2,7	17	0,137
14,71	1,28	76,1	5,95	457,3	Argilla	19,3			58,2	2,1	2,7	17	0,136
14,72	1,29	75,8	5,88	462,92	Argilla	19,2			58,3	2,1	2,7	17	0,135
14,73	1,29	73,9	5,73	468,83	Argilla	19,2			58,3	2,1	2,7	17	0,133
14,74	1,3	73,1	5,62	475,92	Argilla	19,2			56,2	2	2,7	17	0,132
14,75	1,32	71,4	5,41	481,65	Argilla	19,1			56,3	2	2,8	17	0,129
14,76	1,34	69,9	5,21	485,73	Argilla	19,1			56,3	2	2,8	17	0,127
14,77	1,36	68,6	5,04	491,28	Argilla	19			56,3	2	2,9	17	0,125
14,78	1,4	67,5	4,82	502,98	Argilla	19			58,4	2	3	18	0,123
14,79	1,49	62,6	4,2	514,33	Argilla	18,8			56,2	1,9	3,1	18	0,116
14,8	1,54	61,1	3,97	521,6	Argilla	18,7			56,3	1,9	3,2	18	0,113
14,81	1,58	60,6	3,84	519,83	Argilla	18,7			55,9	1,8	3,3	19	0,112
14,82	1,6	60,5	3,78	509,43	Argilla	18,7			55,9	1,8	3,3	19	0,111
14,83	1,61	60,5	3,76	504,76	Argilla	18,7			56	1,8	3,4	19	0,111
14,84	1,62	61,4	3,79	474,56	Argilla	18,7			54,1	1,8	3,4	19	0,112
14,85	1,59	65,7	4,13	478,81	Argilla	18,9			56,4	1,9	3,3	19	0,116
14,86	1,6	67,2	4,2	479,46	Argilla	18,9			58,7	2	3,4	19	0,117
14,87	1,6	67,5	4,22	483,07	Argilla	18,9			58,7	2	3,4	19	0,117
14,88	1,58	69,5	4,4	494,06	Argilla	19			58,7	2	3,3	18	0,119
14,89	1,56	72,4	4,64	497,61	Argilla	19,1			61	2,1	3,3	18	0,121
14,9	1,52	75,9	5	510,25	Argilla	19,2			61	2,1	3,2	18	0,125
14,91	1,53	77,4	5,06	506,23	Argilla	19,2			61	2,1	3,2	18	0,126
14,92	1,54	78,7	5,11	495,77	Argilla	19,2			63,2	2,2	3,3	18	0,127
14,93	1,54	80,7	5,24	489,51	Argilla	19,3			63,3	2,2	3,3	18	0,128

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
14,94	1,54	80,7	5,24	489,51	Argilla	19,3			63,3	2,2	3,3	18	0,128
14,95	1,54	80,7	5,24	489,51	Argilla	19,3			63,4	2,2	3,3	18	0,128
14,96	1,49	83,2	5,58	441,94	Argilla	19,4			61,2	2,2	3,2	18	0,133
14,97	1,5	84,6	5,64	445,13	Argilla	19,4			63,4	2,2	3,2	18	0,134
14,98	1,51	86,7	5,74	456	Argilla	19,4			65,6	2,3	3,2	18	0,135
14,99	1,54	89,3	5,8	480,17	Argilla	19,5			65,7	2,3	3,3	18	0,135
15	1,55	90,6	5,84	480,41	Argilla	19,5			65,7	2,3	3,3	18	0,136
15,01	1,55	91,1	5,87	477,16	Argilla	19,5			65,8	2,3	3,3	18	0,136
15,02	1,56	91,1	5,84	475,21	Argilla	19,5			65,8	2,3	3,3	18	0,136
15,03	1,56	90,4	5,79	470,07	Argilla	19,5			65,8	2,3	3,3	18	0,135
15,04	1,61	88,9	5,52	469,77	Argilla	19,4			65,9	2,3	3,4	19	0,132
15,05	1,61	89	5,53	472,49	Argilla	19,4			65,9	2,3	3,4	19	0,132
15,06	1,61	89	5,53	472,49	Argilla	19,4			66	2,3	3,4	19	0,132
15,07	1,64	88,5	5,4	479,94	Argilla	19,4			66	2,3	3,5	19	0,131
15,08	1,64	88,5	5,4	499,67	Argilla	19,4			66	2,3	3,5	19	0,131
15,09	1,65	87,9	5,33	492,58	Argilla	19,4			66,1	2,3	3,5	19	0,13
15,1	1,66	87	5,24	483,3	Argilla	19,4			66,1	2,3	3,6	19	0,129
15,11	1,7	85,4	5,02	471,19	Argilla	19,3			64	2,2	3,6	19	0,127
15,12	1,67	84,4	5,06	468,94	Argilla	19,3			64	2,2	3,6	19	0,127
15,13	1,68	84,4	5,03	475,15	Argilla	19,3			64,1	2,2	3,6	19	0,127
15,14	1,69	86,3	5,11	483,84	Argilla	19,4			68,5	2,3	3,6	19	0,128
15,15	1,71	86	5,03	471,84	Argilla	19,3			66,3	2,2	3,7	19	0,127
15,16	1,74	85,8	4,93	451,63	Argilla	19,3			64,2	2,2	3,7	19	0,126
15,17	1,73	86,3	4,99	433,07	Argilla	19,3			64,2	2,2	3,7	19	0,127
15,18	1,75	88,5	5,06	404,53	Argilla	19,4			66,4	2,3	3,8	19	0,128
15,19	1,71	92,6	5,42	434,19	Argilla	19,5			66,5	2,3	3,7	19	0,132
15,2	1,78	92,9	5,22	397,32	Argilla	19,5			66,5	2,3	3,8	19	0,13
15,21	1,78	93,1	5,23	388,27	Argilla	19,5			66,6	2,3	3,8	19	0,131
15,22	1,7	96,3	5,67	401,1	Argilla	19,6			68,8	2,4	3,7	19	0,136
15,23	1,64	100,4	6,12	432,48	Argilla	19,7			68,8	2,4	3,5	19	0,14
15,24	1,64	100,7	6,14	448,56	Argilla	19,7			68,9	2,4	3,5	19	0,14
15,25	1,61	100,8	6,26	478,1	Argilla	19,7			68,9	2,4	3,5	18	0,141
15,26	1,59	100,9	6,35	497,55	Argilla	19,7			68,9	2,4	3,4	18	0,142
15,27	1,58	100	6,33	504,4	Argilla	19,7			69	2,4	3,4	18	0,141
15,28	1,58	98	6,2	517,11	Argilla	19,7			69	2,4	3,4	18	0,14
15,29	1,59	96,1	6,05	520,42	Argilla	19,6			69,1	2,4	3,4	18	0,138
15,3	1,62	93,3	5,76	509,37	Argilla	19,5			66,9	2,3	3,5	19	0,135
15,31	1,63	90,9	5,58	496,54	Argilla	19,5			67	2,3	3,5	19	0,133
15,32	1,65	89,4	5,42	493,53	Argilla	19,5			67	2,3	3,5	19	0,131
15,33	1,68	87,1	5,19	498,73	Argilla	19,4			64,9	2,2	3,6	19	0,128
15,34	1,72	86,8	5,05	496,01	Argilla	19,4			67,1	2,2	3,7	19	0,127
15,35	1,77	87,1	4,92	510,96	Argilla	19,4			67,2	2,2	3,8	19	0,125
15,36	1,89	84,4	4,47	518,76	Argilla	19,3			67,2	2,2	4	20	0,12
15,37	1,95	83,5	4,28	502,75	Argilla	19,2			67,2	2,2	4,2	20	0,118
15,38	1,95	83,5	4,28	502,75	Argilla	19,2			67,3	2,2	4,2	20	0,118
15,39	1,95	86,1	4,41	430	Argilla	19,3			67,3	2,2	4,2	20	0,121
15,4	1,94	87,2	4,5	412,74	Argilla	19,3			67,4	2,2	4,1	20	0,122
15,41	1,91	88,8	4,65	399,09	Argilla	19,4			67,4	2,2	4,1	20	0,124
15,42	1,88	90,7	4,83	390,82	Argilla	19,4			67,4	2,3	4	20	0,126
15,43	1,84	93,6	5,09	392,35	Argilla	19,5			67,5	2,3	3,9	19	0,129
15,44	1,74	99,4	5,71	366,53	Argilla	19,6			69,7	2,4	3,7	19	0,137
15,45	1,69	101,3	5,99	361,15	Argilla	19,7			67,3	2,4	3,6	19	0,14
15,46	1,64	103,8	6,33	394,89	Argilla	19,8			67,4	2,4	3,5	18	0,143
15,47	1,62	104,4	6,45	405,65	Argilla	19,8			67,4	2,4	3,5	18	0,145
15,48	1,58	105,2	6,66	437,27	Argilla	19,8			67,5	2,4	3,4	18	0,146
15,49	1,53	107,5	7,03	493,12	Argilla	19,9			72,1	2,5	3,3	18	0,149
15,5	1,53	108,9	7,12	521,3	Argilla	19,9			72,1	2,5	3,3	18	0,15
15,51	1,55	109,5	7,06	531,47	Argilla	19,9			72,2	2,5	3,3	18	0,149
15,52	1,58	110,1	6,97	537,08	Argilla	19,9			72,2	2,5	3,4	18	0,148
15,53	1,58	109,8	6,95	558,83	Argilla	19,9			72,3	2,5	3,4	18	0,147
15,54	1,59	109,7	6,9	575,14	Argilla	19,9			74,8	2,5	3,4	19	0,147
15,55	1,6	108,8	6,8	607,47	Argilla	19,9			74,8	2,5	3,5	19	0,145
15,56	1,61	107	6,65	600,32	Argilla	19,8			74,9	2,5	3,5	19	0,143
15,57	1,64	104,5	6,37	569,88	Argilla	19,8			74,9	2,5	3,5	19	0,141
15,58	1,65	102,1	6,19	538,86	Argilla	19,7			70,3	2,4	3,6	19	0,139
15,59	1,64	100,3	6,11	538,8	Argilla	19,7			70,4	2,4	3,5	19	0,138
15,6	1,61	98,4	6,11	558,77	Argilla	19,7			70,4	2,4	3,5	19	0,138
15,61	1,61	97,7	6,07	558,71	Argilla	19,6			70,4	2,4	3,5	19	0,137
15,62	1,62	97,6	6,03	551,03	Argilla	19,6			70,5	2,4	3,5	19	0,137
15,63	1,62	97,7	6,03	550,2	Argilla	19,6			70,5	2,4	3,5	19	0,137
15,64	1,61	98,2	6,1	561,73	Argilla	19,7			70,6	2,4	3,5	19	0,138
15,65	1,61	99,1	6,15	580,05	Argilla	19,7			73	2,4	3,5	19	0,138
15,66	1,62	99,3	6,13	618,88	Argilla	19,7			73,1	2,4	3,5	19	0,137
15,67	1,63	98,3	6,03	608,36	Argilla	19,7			73,1	2,4	3,5	19	0,136

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
15,68	1,62	97,3	6,01	593,88	Argilla	19,6			73,2	2,4	3,5	19	0,136
15,69	1,61	95,6	5,94	583,36	Argilla	19,6			70,9	2,3	3,4	19	0,136
15,7	1,6	94,5	5,9	564,15	Argilla	19,6			68,6	2,3	3,4	18	0,135
15,71	1,57	93,8	5,97	561,08	Argilla	19,6			68,6	2,3	3,4	18	0,136
15,72	1,55	94,1	6,07	559,36	Argilla	19,6			68,7	2,3	3,3	18	0,137
15,73	1,54	93,5	6,07	554,1	Argilla	19,6			68,7	2,3	3,3	18	0,137
15,74	1,49	92,9	6,24	541,87	Argilla	19,6			68,8	2,3	3,2	18	0,139
15,75	1,47	92,4	6,29	539,51	Argilla	19,6			66,6	2,2	3,1	18	0,139
15,76	1,45	91,8	6,33	534,78	Argilla	19,6			66,6	2,2	3,1	18	0,14
15,77	1,43	90,4	6,32	530,7	Argilla	19,6			64,3	2,2	3	18	0,14
15,78	1,4	89,3	6,38	527,75	Argilla	19,6			64,4	2,2	3	17	0,14
15,79	1,36	86,7	6,37	527,51	Argilla	19,5			62,2	2,1	2,9	17	0,14
15,8	1,36	86,7	6,37	527,51	Argilla	19,5			62,2	2,1	2,9	17	0,14
15,81	1,34	85,7	6,39	535,43	Argilla	19,5			62,3	2,1	2,8	17	0,14
15,82	1,33	85,4	6,42	542,11	Argilla	19,5			62,3	2,1	2,8	17	0,14
15,83	1,34	84,4	6,3	544,83	Argilla	19,5			62,4	2,1	2,8	17	0,139
15,84	1,33	82,3	6,18	543,64	Argilla	19,4			62,4	2,1	2,8	17	0,137
15,85	1,29	79,8	6,18	552,33	Argilla	19,4			60,2	2	2,7	17	0,137
15,86	1,27	78,5	6,18	561,67	Argilla	19,4			60,2	2	2,7	17	0,136
15,87	1,26	75,4	5,99	563,91	Argilla	19,3			60,3	2	2,7	17	0,134
15,88	1,26	72	5,71	563,15	Argilla	19,2			58	1,9	2,6	17	0,131
15,89	1,26	68,6	5,44	559,31	Argilla	19,1			58	1,9	2,6	17	0,128
15,9	1,26	63,5	5,04	561,2	Argilla	19			55,8	1,8	2,6	17	0,123
15,91	1,27	61,2	4,82	570,18	Argilla	18,9			55,8	1,8	2,6	17	0,121
15,92	1,29	59	4,57	577,57	Argilla	18,8			53,5	1,7	2,7	17	0,118
15,93	1,32	55,9	4,23	586,49	Argilla	18,7			53,5	1,7	2,7	17	0,114
15,94	1,32	55,9	4,23	586,49	Argilla	18,7			53,5	1,7	2,7	17	0,114
15,95	1,32	55,9	4,23	586,49	Argilla	18,7			53,6	1,7	2,7	17	0,114
15,96	1,72	34,1	1,98	573,13	Limo argilloso	17,6			44,2	1,2	5,2	39	0,09
15,97	1,79	36,8	2,05	587,49	Limo argilloso	17,7			44,2	1,2	5,4	39	0,091
15,98	1,84	38,4	2,09	599,55	Limo argilloso	17,8			45,7	1,2	5,6	40	0,091
15,99	2	41,1	2,05	631,29	Limo argilloso	17,9			48,5	1,3	6,1	42	0,091
16	2,19	43,4	1,98	593,11	Limo argilloso	17,9			50,1	1,3	6,7	43	0,091
16,01	2,28	47,3	2,07	633,3	Limo argilloso	18,1			50,1	1,3	7	44	0,092
16,02	2,34	52,3	2,23	701,61	Limo argilloso	18,2			54,6	1,4	7,2	45	0,093
16,03	2,4	58,3	2,43	746,11	Limo argilloso	18,4			57,5	1,5	7,4	45	0,096
16,04	2,52	60,5	2,4	696,71	Limo argilloso	18,5			57,6	1,5	7,8	46	0,096
16,05	2,65	62,2	2,35	569,29	Limo argilloso	18,5			57,6	1,5	8,2	47	0,096
16,06	2,75	66,2	2,41	535,13	Limo argilloso	18,6			60,5	1,6	8,6	48	0,097
16,07	2,81	73	2,6	525,86	Limo argilloso	18,8			63,3	1,7	8,8	48	0,099
16,08	2,84	81,9	2,89	534,66	Limo argilloso	19			68,9	1,9	9	48	0,103
16,09	2,9	97,5	3,36	712,61	Limo argilloso	19,3			76,4	2,1	9,3	49	0,108
16,1	2,95	103,8	3,52	766,56	Limo argilloso	19,4			79,2	2,2	9,5	50	0,109
16,11	3	108,8	3,63	684,12	Limo argilloso	19,5			81,9	2,3	9,7	50	0,111
16,12	3,07	114,6	3,73	607,41	Limo argilloso	19,6			84,7	2,4	10	50	0,113
16,13	3,12	121,4	3,89	546,42	Limo argilloso	19,7			87,3	2,5	10,2	51	0,115
16,14	3,16	128,8	4,08	541,81	Limo argilloso	19,8			90	2,6	10,4	51	0,118
16,15	3,22	138,1	4,29	546,66	Limo argilloso	20			92,6	2,7	10,6	51	0,12
16,16	3,41	151,8	4,45	585,66	Limo argilloso	20,1			97,8	2,9	11,3	53	0,122
16,17	3,54	160,3	4,53	558,89	Limo argilloso	20,2			103,2	3	11,8	54	0,123
16,18	3,61	170,8	4,73	606,35	Limo argilloso	20,3			105,8	3,1	12,1	54	0,126
16,19	3,58	185,4	5,18	818,86	Limo argilloso	20,5			116,5	3,4	12,1	55	0,13
16,2	3,52	194,1	5,51	798,48	Argilla	20,6			116,1	3,5	7,9	27	0,134
16,21	3,51	198	5,64	734,35	Argilla	20,6			118,6	3,6	7,9	27	0,136
16,22	3,4	197,9	5,82	551,62	Argilla	20,6			115,5	3,6	7,7	26	0,139
16,23	3,31	198,5	6	499,2	Argilla	20,7			115,6	3,6	7,5	26	0,142
16,24	3,19	200,1	6,27	501,63	Argilla	20,7			112,4	3,6	7,2	25	0,145
16,25	3,08	205,1	6,66	459,84	Argilla	20,8			114,8	3,7	7	25	0,15
16,26	2,94	212	7,21	604,75	Argilla	20,9			117,2	3,8	6,7	24	0,155
16,27	2,85	219	7,68	703,15	Argilla	20,9			119,6	3,9	6,5	24	0,16
16,28	2,78	218,6	7,86	705,04	Argilla	20,9			119,7	3,9	6,3	24	0,162
16,29	2,71	214,1	7,9	699,54	Argilla	20,9			117,4	3,8	6,1	24	0,162
16,3	2,64	211,4	8,01	682,58	Argilla	20,9			117,5	3,8	6	23	0,163
16,31	2,55	210	8,24	662,84	Argilla	20,9			117,6	3,8	5,8	23	0,166
16,32	2,46	207,8	8,45	668,4	Argilla	20,9			112	3,7	5,6	22	0,168
16,33	2,39	206,4	8,63	597,72	Argilla	20,9			112	3,7	5,4	22	0,171
16,34	2,24	199,8	8,92	515,99	Argilla	20,9			104,3	3,5	5	21	0,175
16,35	2,14	197,4	9,22	509,9	Argilla	20,9			102,1	3,4	4,8	21	0,178
16,36	2,08	194,8	9,37	508,07	Argilla	20,9			98,9	3,4	4,7	21	0,18
16,37	2,08	194,8	9,37	508,07	Argilla	20,9			99	3,4	4,7	21	0,18
16,38	1,98	183,4	9,26	525,09	Argilla	20,8			96,9	3,3	4,4	20	0,178
16,39	1,95	176,8	9,07	542,88	Argilla	20,7			94,7	3,2	4,3	20	0,175
16,4	1,92	169,5	8,83	580,99	Argilla	20,7			92,5	3,1	4,2	20	0,171
16,41	1,9	163,8	8,62	584,54	Argilla	20,6			92,6	3,1	4,2	20	0,169

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
16,42	1,89	158,4	8,38	592,58	Argilla	20,5			90,4	3	4,2	20	0,165
16,43	1,88	153,4	8,16	598,37	Argilla	20,5			90,5	3	4,1	20	0,163
16,44	1,88	144,2	7,67	612,91	Argilla	20,4			88,2	2,9	4,1	20	0,157
16,45	1,88	140,2	7,46	617,46	Argilla	20,3			86	2,8	4,1	20	0,154
16,46	1,87	137	7,33	617,75	Argilla	20,3			86,1	2,8	4,1	20	0,153
16,47	1,87	133,6	7,15	619,94	Argilla	20,2			86,1	2,8	4,1	20	0,15
16,48	1,87	131,3	7,02	621	Argilla	20,2			83,8	2,7	4,1	20	0,149
16,49	1,87	127,5	6,82	622,6	Argilla	20,1			83,9	2,7	4,1	20	0,147
16,5	1,89	121,4	6,42	630,52	Argilla	20			81,6	2,6	4,1	20	0,142
16,51	1,9	118,7	6,25	634,71	Argilla	20			81,6	2,6	4,1	20	0,14
16,52	1,91	116,4	6,09	637,61	Argilla	19,9			84,4	2,6	4,2	20	0,138
16,53	1,92	114	5,94	640,39	Argilla	19,9			82	2,5	4,2	20	0,136
16,54	1,93	112,7	5,84	641,81	Argilla	19,9			82	2,5	4,2	20	0,135
16,55	1,94	111,9	5,77	638,67	Argilla	19,8			82,1	2,5	4,2	20	0,134
16,56	1,96	112,9	5,76	639,91	Argilla	19,9			82,1	2,5	4,2	20	0,134
16,57	1,97	113,7	5,77	641,39	Argilla	19,9			82,2	2,5	4,3	20	0,135
16,58	1,98	114,1	5,76	632	Argilla	19,9			82,2	2,5	4,3	20	0,135
16,59	1,99	115	5,78	625,49	Argilla	19,9			82,3	2,5	4,3	20	0,135
16,6	2	116	5,8	618,34	Argilla	19,9			82,3	2,5	4,3	20	0,135
16,61	2,01	117,5	5,84	609,66	Argilla	19,9			84,8	2,6	4,4	20	0,136
16,62	2,01	120,9	6,02	589,03	Argilla	20			84,9	2,6	4,4	20	0,138
16,63	2,01	123,3	6,13	574,43	Argilla	20			82,2	2,6	4,4	20	0,14
16,64	2,01	125,7	6,25	557,53	Argilla	20,1			84,6	2,7	4,4	20	0,141
16,65	1,99	127,8	6,42	548,61	Argilla	20,1			84,7	2,7	4,3	20	0,144
16,66	1,98	130,7	6,6	544,89	Argilla	20,1			84,7	2,7	4,3	20	0,146
16,67	1,97	133	6,75	544,71	Argilla	20,2			84,8	2,7	4,3	20	0,147
16,68	1,96	136,1	6,94	553,16	Argilla	20,2			87,2	2,8	4,3	20	0,15
16,69	1,95	137,6	7,05	572,13	Argilla	20,2			87,2	2,8	4,3	20	0,151
16,7	1,94	138,9	7,16	591,75	Argilla	20,3			87,3	2,8	4,3	20	0,151
16,71	1,93	140,6	7,28	616,98	Argilla	20,3			87,4	2,8	4,2	20	0,152
16,72	1,91	141,6	7,41	635,25	Argilla	20,3			87,4	2,8	4,2	20	0,154
16,73	1,9	141,7	7,46	651,68	Argilla	20,3			87,5	2,8	4,2	20	0,154
16,74	1,88	142,5	7,58	665,62	Argilla	20,3			87,5	2,8	4,1	20	0,155
16,75	1,87	142,8	7,64	673,54	Argilla	20,3			87,6	2,8	4,1	20	0,155
16,76	1,89	141,6	7,49	669,76	Argilla	20,3			90,5	2,8	4,1	20	0,154
16,77	1,9	140,8	7,41	668,81	Argilla	20,3			90,5	2,8	4,2	20	0,153
16,78	1,92	139,6	7,27	674,84	Argilla	20,3			90,6	2,8	4,2	20	0,151
16,79	1,94	138,1	7,12	679,57	Argilla	20,3			90,7	2,8	4,3	20	0,15
16,8	1,95	136,2	6,99	686,31	Argilla	20,2			90,7	2,8	4,3	20	0,148
16,81	2	133	6,65	681,76	Argilla	20,2			88,3	2,7	4,4	20	0,144
16,82	2,03	131,2	6,46	670,59	Argilla	20,1			88,4	2,7	4,4	20	0,142
16,83	2,07	129,6	6,26	631,29	Argilla	20,1			88,4	2,7	4,5	21	0,141
16,84	2,11	128,5	6,09	614,68	Argilla	20,1			88,5	2,7	4,6	21	0,139
16,85	2,14	128,7	6,01	601,15	Argilla	20,1			88,5	2,7	4,7	21	0,139
16,86	2,18	129,6	5,95	581,64	Argilla	20,1			88,6	2,7	4,8	21	0,138
16,87	2,16	133,4	6,18	579,34	Argilla	20,1			88,6	2,7	4,7	21	0,141
16,88	2,14	135,8	6,34	590,98	Argilla	20,2			91,1	2,8	4,7	21	0,143
16,89	2,15	138,2	6,43	577,98	Argilla	20,2			91,2	2,8	4,7	21	0,144
16,9	2,14	140,1	6,55	548,14	Argilla	20,2			91,2	2,8	4,7	21	0,146
16,91	2,11	135,4	6,42	528,75	Argilla	20,2			86	2,7	4,6	21	0,144
16,92	2,13	143,3	6,73	475,8	Argilla	20,3			88,5	2,8	4,7	21	0,149
16,93	2,13	143,3	6,73	475,8	Argilla	20,3			88,5	2,8	4,7	21	0,149
16,94	2,13	143,3	6,73	475,8	Argilla	20,3			88,6	2,8	4,7	21	0,149
16,95	2,12	141,8	6,69	411,68	Argilla	20,3			88,6	2,8	4,6	20	0,149
16,96	2,14	149,8	7	414,69	Argilla	20,4			91	2,9	4,7	20	0,153
16,97	2,15	154,2	7,17	415,76	Argilla	20,4			91,1	2,9	4,7	20	0,155
16,98	2,15	159,3	7,41	411,8	Argilla	20,5			93,5	3	4,7	20	0,158
16,99	2,17	170,4	7,85	413,92	Argilla	20,6			95,9	3,1	4,8	21	0,164
17	2,16	175,1	8,11	422,43	Argilla	20,7			96	3,1	4,8	21	0,167
17,01	2,14	177,2	8,28	432,83	Argilla	20,7			96	3,1	4,7	20	0,169
17,02	2,14	178,8	8,36	440,16	Argilla	20,7			96,1	3,1	4,7	20	0,169
17,03	2,15	179,5	8,35	451,69	Argilla	20,7			96,1	3,1	4,8	21	0,169
17,04	2,15	178,6	8,31	459,07	Argilla	20,7			96,2	3,1	4,8	21	0,168
17,05	2,16	178,3	8,25	462,98	Argilla	20,7			96,3	3,1	4,8	21	0,168
17,06	2,17	176,3	8,12	497,49	Argilla	20,7			96,3	3,1	4,8	21	0,166
17,07	2,16	176,9	8,19	524,44	Argilla	20,7			96,4	3,1	4,8	21	0,166
17,08	2,16	177,6	8,22	539,27	Argilla	20,7			98,8	3,2	4,8	21	0,166
17,09	2,19	177,8	8,12	503,93	Argilla	20,7			98,8	3,2	4,9	21	0,165
17,1	2,22	177,2	7,98	475,56	Argilla	20,7			96,6	3,1	4,9	21	0,164
17,11	2,21	176,6	7,99	456,42	Argilla	20,7			96,6	3,1	4,9	21	0,165
17,12	2,19	176,9	8,08	461,26	Argilla	20,7			96,7	3,1	4,9	21	0,166
17,13	2,19	177	8,08	460,2	Argilla	20,7			96,7	3,1	4,9	21	0,166
17,14	2,18	177,1	8,13	474,68	Argilla	20,7			96,8	3,1	4,8	21	0,166
17,15	2,17	178,1	8,21	488,21	Argilla	20,7			96,9	3,1	4,8	21	0,167

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
17,16	2,18	178,6	8,19	496,13	Argilla	20,7			96,9	3,1	4,8	21	0,166
17,17	2,19	178,7	8,16	531,17	Argilla	20,7			99,3	3,2	4,9	21	0,165
17,18	2,2	180	8,18	542,58	Argilla	20,7			102,6	3,2	4,9	21	0,166
17,19	2,22	181,5	8,17	541,63	Argilla	20,7			102,7	3,2	4,9	21	0,166
17,2	2,26	183,5	8,12	537,91	Argilla	20,8			102,7	3,2	5	21	0,165
17,21	2,28	184	8,07	544,18	Argilla	20,8			102,8	3,2	5,1	21	0,165
17,22	2,3	184,2	8,01	546,54	Argilla	20,8			102,9	3,2	5,1	21	0,164
17,23	2,35	183,8	7,82	544	Argilla	20,7			102,9	3,2	5,2	21	0,162
17,24	2,36	183,4	7,77	535,61	Argilla	20,7			103	3,2	5,3	22	0,161
17,25	2,37	182,9	7,72	538,44	Argilla	20,7			103,1	3,2	5,3	22	0,161
17,26	2,38	183,9	7,73	531,35	Argilla	20,7			103,1	3,2	5,3	22	0,161
17,27	2,38	184	7,73	567,05	Argilla	20,7			105,6	3,3	5,3	22	0,16
17,28	2,39	183,8	7,69	608,47	Argilla	20,7			105,7	3,3	5,3	22	0,159
17,29	2,42	182,9	7,56	639,38	Argilla	20,7			109	3,3	5,4	22	0,157
17,3	2,5	180,6	7,22	662,67	Argilla	20,7			109,1	3,3	5,6	22	0,153
17,31	2,52	179,2	7,11	664,85	Argilla	20,6			106,7	3,2	5,6	22	0,152
17,32	2,54	178,6	7,03	639,62	Argilla	20,6			106,7	3,2	5,7	22	0,152
17,33	2,58	177,4	6,87	601,26	Argilla	20,6			106,8	3,2	5,7	23	0,15
17,34	2,61	175,9	6,74	566,63	Argilla	20,6			106,9	3,2	5,8	23	0,149
17,35	2,65	174,5	6,59	556,47	Argilla	20,6			106,9	3,2	5,9	23	0,147
17,36	2,71	171,4	6,33	519,18	Argilla	20,5			104,5	3,1	6	23	0,145
17,37	2,71	171,4	6,33	504,46	Argilla	20,5			104,5	3,1	6	23	0,145
17,38	2,72	171,4	6,3	503,28	Argilla	20,5			104,6	3,1	6	23	0,145
17,39	2,71	172,7	6,37	555,88	Argilla	20,5			104,7	3,1	6	23	0,145
17,4	2,71	175	6,46	582,47	Argilla	20,6			107,3	3,2	6	23	0,146
17,41	2,73	179,9	6,59	654,28	Argilla	20,6			107,3	3,2	6,1	23	0,147
17,42	2,76	181,6	6,58	669,76	Argilla	20,6			113,2	3,3	6,2	23	0,146
17,43	2,81	183,5	6,53	705,34	Argilla	20,6			113,3	3,3	6,3	24	0,146
17,44	2,86	183,7	6,42	747,59	Argilla	20,6			113,3	3,3	6,4	24	0,144
17,45	2,85	182,2	6,39	728,98	Argilla	20,6			113,4	3,3	6,4	24	0,144
17,46	2,86	179,7	6,28	690,44	Argilla	20,6			110,9	3,2	6,4	24	0,143
17,47	2,88	178,2	6,19	625,91	Argilla	20,6			111	3,2	6,4	24	0,142
17,48	2,85	180,7	6,34	519,06	Argilla	20,6			107,8	3,2	6,4	23	0,145
17,49	2,83	181,7	6,42	513,8	Argilla	20,6			107,8	3,2	6,3	23	0,146
17,5	2,79	182,4	6,54	500,92	Argilla	20,6			107,9	3,2	6,2	23	0,148
17,51	2,68	184,4	6,88	521,6	Argilla	20,7			108	3,2	6	23	0,152
17,52	2,68	182,8	6,82	593,94	Argilla	20,7			108	3,2	6	23	0,15
17,53	2,68	180,4	6,73	634,12	Argilla	20,6			108,1	3,2	6	23	0,148
17,54	2,75	178,1	6,48	779,74	Argilla	20,6			111,4	3,2	6,1	23	0,144
17,55	2,81	177,1	6,3	850,19	Argilla	20,6			111,5	3,2	6,3	24	0,141
17,56	2,9	177,3	6,11	885,29	Argilla	20,6			114,8	3,2	6,5	24	0,139
17,57	3,04	174,5	5,74	1012,06	Argilla	20,5			114,8	3,2	6,8	25	0,134
17,58	3,09	172,7	5,59	1057,33	Argilla	20,5			115,3	3,1	6,9	25	0,132
17,59	3,13	171,8	5,49	1026,36	Argilla	20,5			112,3	3,1	7	25	0,131
17,6	3,18	171,3	5,39	959,64	Argilla	20,4			112,3	3,1	7,1	25	0,131
17,61	3,23	170,2	5,27	855,09	Argilla	20,4			109,7	3	7,2	25	0,13
17,62	3,26	167,2	5,13	719,99	Argilla	20,4			109,7	3	7,2	25	0,129
17,63	3,24	162,9	5,03	648,6	Argilla	20,3			104	2,9	7,2	25	0,129
17,64	3,22	163,3	5,07	623,6	Argilla	20,3			104,1	2,9	7,1	25	0,129
17,65	3,19	164,3	5,15	598,37	Argilla	20,4			104,2	2,9	7	25	0,13
17,66	3,11	166,3	5,35	578,87	Argilla	20,4			106,9	3	6,9	24	0,133
17,67	3,08	168,2	5,46	635,07	Argilla	20,4			107	3	6,8	24	0,134
17,68	3,02	169,2	5,6	741,62	Argilla	20,4			107	3	6,7	24	0,135
17,69	3,02	169,2	5,6	741,62	Argilla	20,4			107,1	3	6,7	24	0,135
17,7	2,99	174,3	5,83	862,66	Argilla	20,5			113	3,1	6,6	24	0,136
17,71	2,99	174	5,82	839,25	Argilla	20,5			113,1	3,1	6,6	24	0,136
17,72	3,01	173,3	5,76	793,1	Argilla	20,5			109,9	3,1	6,7	24	0,136
17,73	2,99	173,7	5,81	787,84	Argilla	20,5			110	3,1	6,6	24	0,137
17,74	2,96	175,8	5,94	799,07	Argilla	20,5			110,1	3,1	6,6	24	0,138
17,75	2,93	183	6,25	885,94	Argilla	20,6			116,1	3,2	6,5	24	0,141
17,76	2,93	185,4	6,33	868,68	Argilla	20,6			118,8	3,3	6,6	24	0,142
17,77	2,91	186,6	6,41	872,53	Argilla	20,7			115,6	3,3	6,5	24	0,143
17,78	2,89	190,1	6,58	893,62	Argilla	20,7			119	3,3	6,5	24	0,144
17,79	2,88	192,2	6,67	924,35	Argilla	20,7			121,7	3,4	6,5	24	0,145
17,8	2,87	195,2	6,8	983,04	Argilla	20,8			121,8	3,4	6,4	24	0,146
17,81	2,85	197,2	6,92	1048,05	Argilla	20,8			121,9	3,4	6,4	24	0,147
17,82	2,87	197,1	6,87	1034,04	Argilla	20,8			122	3,4	6,4	24	0,146
17,83	2,9	197,2	6,8	1024,76	Argilla	20,8			122	3,4	6,5	24	0,146
17,84	2,92	196,4	6,73	1023,23	Argilla	20,8			122,1	3,4	6,6	24	0,145
17,85	2,93	196	6,69	1026	Argilla	20,8			122,2	3,4	6,6	24	0,145
17,86	2,96	191,7	6,48	1042,31	Argilla	20,7			122,3	3,4	6,6	25	0,142
17,87	2,98	188,8	6,33	1039,71	Argilla	20,7			119,6	3,3	6,7	25	0,14
17,88	3	185,9	6,2	1021,63	Argilla	20,6			119,7	3,3	6,7	25	0,139
17,89	3,01	182,6	6,07	952,49	Argilla	20,6			117	3,2	6,7	25	0,138

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
17,9	3,01	181,2	6,02	925	Argilla	20,6			117,1	3,2	6,7	25	0,138
17,91	3	180,4	6,01	884,64	Argilla	20,6			117,2	3,2	6,7	24	0,138
17,92	3,01	179,7	5,97	841,56	Argilla	20,6			113,9	3,2	6,7	24	0,138
17,93	3,01	179,7	5,97	841,56	Argilla	20,6			114	3,2	6,7	24	0,138
17,94	3,01	179,7	5,97	841,56	Argilla	20,6			114,1	3,2	6,7	24	0,138
17,95	3,02	167,2	5,54	644,76	Argilla	20,4			108,7	3	6,7	24	0,135
17,96	3,06	170,3	5,57	642,04	Argilla	20,5			108,8	3	6,8	24	0,135
17,97	3,06	171,7	5,61	651,03	Argilla	20,5			108,9	3	6,8	24	0,135
17,98	3,03	175,9	5,81	649,78	Argilla	20,5			111,6	3,1	6,7	24	0,138
17,99	3	179,4	5,98	665,5	Argilla	20,6			111,7	3,1	6,7	24	0,14
18	2,92	188	6,44	679,87	Argilla	20,7			114,5	3,2	6,5	24	0,145
18,01	2,87	192,1	6,69	689,2	Argilla	20,7			117,2	3,3	6,4	24	0,148
18,02	2,83	195,6	6,91	706,4	Argilla	20,8			117,3	3,3	6,3	23	0,15
18,03	2,79	197,8	7,09	752,5	Argilla	20,8			120	3,4	6,3	23	0,152
18,04	2,77	199	7,18	766,33	Argilla	20,8			120,1	3,4	6,2	23	0,153
18,05	2,72	198,5	7,3	759,88	Argilla	20,8			116,6	3,4	6,1	23	0,154
18,06	2,71	197,5	7,29	760	Argilla	20,8			114,1	3,3	6,1	23	0,154
18,07	2,69	195,8	7,28	751,97	Argilla	20,8			114,2	3,3	6	23	0,154
18,08	2,64	193,7	7,34	763,02	Argilla	20,8			114,3	3,3	5,9	23	0,154
18,09	2,64	192,5	7,29	761,13	Argilla	20,8			114,3	3,3	5,9	23	0,154
18,1	2,62	189,5	7,23	750,25	Argilla	20,8			111,8	3,2	5,8	23	0,153
18,11	2,59	183,3	7,08	745,82	Argilla	20,7			111,8	3,2	5,8	23	0,151
18,12	2,57	180,3	7,02	746,53	Argilla	20,7			109,3	3,1	5,7	22	0,15
18,13	2,54	176	6,93	743,87	Argilla	20,6			109,3	3,1	5,6	22	0,149
18,14	2,51	168,4	6,71	779,21	Argilla	20,6			106,7	3	5,6	22	0,146
18,15	2,49	166,8	6,7	827,73	Argilla	20,5			106,8	3	5,5	22	0,145
18,16	2,46	161,9	6,58	822,76	Argilla	20,5			104,2	2,9	5,4	22	0,144
18,17	2,45	158,3	6,46	814,43	Argilla	20,5			104,2	2,9	5,4	22	0,142
18,18	2,44	156	6,39	806,63	Argilla	20,4			104,3	2,9	5,4	22	0,142
18,19	2,41	152,4	6,32	803,5	Argilla	20,4			101,6	2,8	5,3	22	0,141
18,2	2,39	151,2	6,32	803,44	Argilla	20,4			101,7	2,8	5,2	22	0,141
18,21	2,37	148,9	6,28	797,23	Argilla	20,4			101,8	2,8	5,2	22	0,14
18,22	2,36	147,6	6,26	792,74	Argilla	20,3			101,8	2,8	5,2	22	0,14
18,23	2,33	146,5	6,29	783,88	Argilla	20,3			101,9	2,8	5,1	22	0,14
18,24	2,31	146,8	6,35	776,67	Argilla	20,3			98,8	2,8	5,1	21	0,141
18,25	2,25	146,9	6,53	757,46	Argilla	20,4			96,2	2,7	4,9	21	0,143
18,26	2,19	146,4	6,68	745,52	Argilla	20,4			96,3	2,7	4,8	21	0,145
18,27	2,07	146,3	7,07	723,13	Argilla	20,4			96,3	2,7	4,5	20	0,149
18,28	2,01	145,3	7,23	727,62	Argilla	20,4			93,3	2,7	4,4	20	0,15
18,29	1,98	144,5	7,3	738,08	Argilla	20,4			93,4	2,7	4,3	20	0,151
18,3	1,99	142,5	7,16	760,3	Argilla	20,4			93,4	2,7	4,3	20	0,149
18,31	1,99	140,7	7,07	760,12	Argilla	20,3			90,9	2,6	4,3	20	0,148
18,32	1,99	139,5	7,01	765,38	Argilla	20,3			90,9	2,6	4,3	20	0,147
18,33	1,95	139,9	7,17	785,24	Argilla	20,3			91	2,6	4,2	20	0,149
18,34	1,91	140,9	7,38	836,24	Argilla	20,4			94	2,6	4,2	20	0,15
18,35	1,83	137,6	7,52	862,3	Argilla	20,3			91,1	2,6	4	19	0,15
18,36	1,81	133,6	7,38	868,15	Argilla	20,3			91,1	2,6	3,9	19	0,149
18,37	1,81	123,6	6,83	843,86	Argilla	20,1			85,9	2,4	3,9	19	0,143
18,38	1,76	118,4	6,73	838,78	Argilla	20,1			85,9	2,4	3,8	19	0,142
18,39	1,75	113,3	6,48	830,33	Argilla	20			83,3	2,3	3,8	19	0,139
18,4	1,73	107,2	6,19	822	Argilla	19,9			80,6	2,2	3,7	19	0,136
18,41	1,72	104,3	6,06	819,16	Argilla	19,8			80,6	2,2	3,7	19	0,134
18,42	1,7	101,6	5,98	810,47	Argilla	19,8			80,7	2,2	3,6	19	0,133
18,43	1,68	99,8	5,94	802,2	Argilla	19,8			77,9	2,1	3,6	19	0,133
18,44	1,62	98,2	6,06	798,53	Argilla	19,8			75,4	2,1	3,4	18	0,134
18,45	1,59	99	6,23	793,57	Argilla	19,8			75,4	2,1	3,4	18	0,135
18,46	1,54	97,6	6,33	787,36	Argilla	19,8			75,5	2,1	3,3	18	0,136
18,47	1,52	97,3	6,4	784,94	Argilla	19,8			75,5	2,1	3,2	18	0,137
18,48	1,51	96,1	6,37	784,71	Argilla	19,8			75,6	2,1	3,2	18	0,136
18,49	1,5	96,5	6,43	780,45	Argilla	19,8			75,6	2,1	3,2	18	0,137
18,5	1,5	97,1	6,47	778,85	Argilla	19,8			75,6	2,1	3,2	18	0,138
18,51	1,51	99,3	6,58	778,91	Argilla	19,8			75,7	2,1	3,2	18	0,139
18,52	1,5	99,3	6,62	780,63	Argilla	19,8			75,7	2,1	3,2	18	0,139
18,53	1,5	98,3	6,55	783,94	Argilla	19,8			75,8	2,1	3,2	18	0,138
18,54	1,51	96	6,35	788,07	Argilla	19,8			75,8	2,1	3,2	18	0,136
18,55	1,52	94,3	6,2	784,47	Argilla	19,7			73,1	2	3,2	18	0,135
18,56	1,52	89,9	5,92	771,88	Argilla	19,6			73,1	2	3,2	18	0,132
18,57	1,51	87,5	5,79	772,35	Argilla	19,6			73,2	2	3,2	18	0,13
18,58	1,51	85,1	5,64	758,76	Argilla	19,5			70,5	1,9	3,2	18	0,129
18,59	1,53	81,6	5,33	758,05	Argilla	19,4			70,5	1,9	3,2	18	0,126
18,6	1,53	81,6	5,33	758,05	Argilla	19,4			70,5	1,9	3,2	18	0,126
18,61	1,53	79,7	5,21	761,18	Argilla	19,4			70,6	1,9	3,2	18	0,124
18,62	1,53	78,4	5,13	757,05	Argilla	19,4			67,8	1,8	3,2	18	0,123
18,63	1,53	78,3	5,12	756,16	Argilla	19,4			67,8	1,8	3,2	18	0,123

Prova penetrometrica SCPTU 1

z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
18,64	1,53	78,2	5,11	757,22	Argilla	19,4			67,9	1,8	3,2	18	0,123
18,65	1,54	77,4	5,03	755,92	Argilla	19,3			67,9	1,8	3,2	18	0,122
18,66	1,55	77,1	4,97	755,51	Argilla	19,3			67,9	1,8	3,2	18	0,122
18,67	1,55	77	4,97	754,39	Argilla	19,3			68	1,8	3,2	18	0,122
18,68	1,54	77	5	749,6	Argilla	19,3			68	1,8	3,2	18	0,122
18,69	1,54	77,7	5,05	746,65	Argilla	19,3			68	1,8	3,2	18	0,123
18,7	1,53	78,1	5,11	738,2	Argilla	19,4			68,1	1,8	3,2	18	0,123
18,71	1,54	78,3	5,09	733,88	Argilla	19,4			68,1	1,8	3,2	18	0,123
18,72	1,52	77,9	5,13	725,19	Argilla	19,4			65,8	1,8	3,2	18	0,124
18,73	1,51	77,7	5,15	722,83	Argilla	19,4			65,8	1,8	3,2	18	0,124
18,74	1,5	77,8	5,19	721,41	Argilla	19,4			65,8	1,8	3,1	18	0,124
18,75	1,5	76,6	5,11	721,47	Argilla	19,3			65,9	1,8	3,1	18	0,124
18,76	1,49	74,8	5,02	720,41	Argilla	19,3			65,9	1,8	3,1	17	0,122
18,77	1,49	73,2	4,92	721,53	Argilla	19,2			65,9	1,8	3,1	17	0,121
18,78	1,5	72,6	4,84	721,71	Argilla	19,2			63,2	1,7	3,1	17	0,121
18,79	1,5	71,7	4,78	718,81	Argilla	19,2			63,2	1,7	3,1	17	0,12
18,8	1,49	71,7	4,81	717,87	Argilla	19,2			63,3	1,7	3,1	17	0,12
18,81	1,49	71,4	4,79	718,04	Argilla	19,2			63,3	1,7	3,1	17	0,12
18,82	1,49	71	4,76	719,46	Argilla	19,2			63,3	1,7	3,1	17	0,12
18,83	1,5	70,8	4,72	719,82	Argilla	19,2			63,4	1,7	3,1	17	0,119
18,84	1,51	70,3	4,66	714,61	Argilla	19,2			63,4	1,7	3,1	18	0,119
18,85	1,51	70,1	4,64	711,54	Argilla	19,2			63,4	1,7	3,1	18	0,119
18,86	1,51	69,3	4,59	704,86	Argilla	19,1			63,5	1,7	3,1	17	0,118
18,87	1,52	69,3	4,56	708,47	Argilla	19,1			63,5	1,7	3,2	18	0,118
18,88	1,54	68,8	4,47	706,81	Argilla	19,1			63,5	1,7	3,2	18	0,117
18,89	1,55	69,1	4,46	710,71	Argilla	19,1			63,5	1,7	3,2	18	0,117
18,9	1,55	69,2	4,47	712,96	Argilla	19,1			63,6	1,7	3,2	18	0,117
18,91	1,56	69,3	4,44	714,97	Argilla	19,1			63,6	1,7	3,2	18	0,117
18,92	1,58	69,8	4,42	721,59	Argilla	19,1			65,9	1,7	3,3	18	0,116
18,93	1,58	69,8	4,42	721,59	Argilla	19,1			63,7	1,7	3,3	18	0,116
18,94	1,58	69,8	4,42	721,59	Argilla	19,1			63,7	1,7	3,3	18	0,116
18,95	1,85	54,6	2,95	569,94	Limo argilloso	18,6			57	1,4	5,7	38	0,102
18,96	1,88	61,5	3,27	564,92	Limo argilloso	18,8			60,1	1,5	5,8	38	0,106
18,97	1,87	63,6	3,4	567,05	Argilla	18,8			63,1	1,6	3,9	19	0,107
18,98	1,87	65,5	3,5	569,53	Argilla	18,9			63,1	1,6	3,9	19	0,108
18,99	1,9	68,3	3,59	580,88	Argilla	19			63,2	1,6	3,9	19	0,109
19	1,92	67,4	3,51	583,77	Argilla	18,9			63,2	1,6	4	19	0,108
19,01	1,96	67,2	3,43	595,65	Limo argilloso	18,9			63,2	1,6	6,1	39	0,107
19,02	2,12	70,7	3,33	625,26	Limo argilloso	19			65,4	1,6	6,6	41	0,106
19,03	2,2	73,7	3,35	632,88	Limo argilloso	19			68,5	1,7	6,9	41	0,107
19,04	2,32	78	3,36	641,51	Limo argilloso	19,1			70,8	1,7	7,3	42	0,107
19,05	2,38	76,9	3,23	643,4	Limo argilloso	19,1			70,8	1,7	7,5	43	0,106
19,06	2,52	76	3,02	615,45	Limo argilloso	19			67,7	1,6	7,9	44	0,103
19,07	2,52	76	3,02	615,45	Limo argilloso	19			67,7	1,6	7,9	44	0,103
19,08	2,52	80,3	3,18	619,82	Limo argilloso	19,1			70,9	1,7	7,9	44	0,105
19,09	2,56	84,1	3,29	616,51	Limo argilloso	19,2			74	1,8	8,1	44	0,107
19,1	2,75	84,5	3,07	601,21	Limo argilloso	19,2			73,2	1,7	8,6	46	0,104
19,11	2,82	84,5	3	589,15	Limo argilloso	19,2			73,2	1,7	8,9	46	0,104
19,12	2,8	82,9	2,96	581,94	Limo argilloso	19,1			73,3	1,7	8,8	46	0,103
19,13	2,78	78,3	2,82	574,73	Limo argilloso	19			70	1,6	8,7	46	0,101
19,14	2,83	79,3	2,8	576,74	Limo argilloso	19			70,1	1,6	8,8	46	0,101
19,15	2,96	80,4	2,71	619,41	Limo argilloso	19			70,1	1,6	9,3	47	0,1
19,16	3,12	79,4	2,55	658,59	Limo argilloso	19			72,2	1,6	9,8	49	0,098
19,17	3,42	78,7	2,3	698,01	Sabbia limosa	18,9		32,7		1,5	16	102	
19,18	4,32	79,1	1,83	692,69	Sabbia limosa	18,8		33,9		1,4	19,7	114	
19,19	4,81	82,2	1,71	673,07	Sabbia limosa	18,8		34,4		1,3	21,3	120	
19,2	5,75	89,9	1,56	491,05	Sabbia limosa	18,9		35,2		1,3	25,5	130	
19,21	6,17	93,1	1,51	441,52	Sabbia limosa	18,9		35,5		1,3	27,4	134	
19,22	6,51	93,2	1,43	426,98	Sabbia limosa	18,9		35,7		1,3	28,9	137	
19,23	6,8	88	1,29	389,04	Sabbia limosa	18,8		35,9		1,3	30,2	140	
19,24	6,81	85,2	1,25	363,63	Sabbia limosa	18,7		35,9		1,2	29,3	140	
19,25	6,81	85,2	1,25	363,63	Sabbia limosa	18,7		35,9		1,2	29,3	140	
19,26	6,74	78,5	1,16	360,26	Sabbia limosa	18,5		35,9		1,2	28,9	139	
19,27	6,67	69,6	1,04	372,02	Sabbia limosa	18,3		35,8		1,1	27,7	139	
19,28	6,71	65,5	0,98	377,81	Sabbia limosa	18,2		35,9		1,1	27,8	139	
19,29	6,87	61,7	0,9	387,03	Sabbia	18,1	37,3	36		1	27,4	155	
19,3	7,01	62	0,88	385,44	Sabbia	18,1	37,8	36,1		1	28	156	
19,31	7,13	63,1	0,89	371,85	Sabbia	18,1	38,2	36,2		1	28,5	158	
19,32	7,18	64,9	0,9	328,29	Sabbia	18,1	38,3	36,2		1,1	29,8	158	
19,33	7,09	66	0,93	305,01	Sabbia	18,2	37,9	36,1		1,1	29,4	157	
19,34	6,93	68,4	0,99	291,94	Sabbia limosa	18,3		36		1,1	28,7	141	
19,35	6,47	67,1	1,04	287,16	Sabbia limosa	18,3		35,7		1,1	26,8	136	
19,36	6,17	64,1	1,04	297,09	Sabbia limosa	18,2		35,4		1,1	25,6	133	
19,37	5,63	56	0,99	314,11	Sabbia limosa	18		35		1	22,5	127	

Prova penetrometrica SCPTU 1

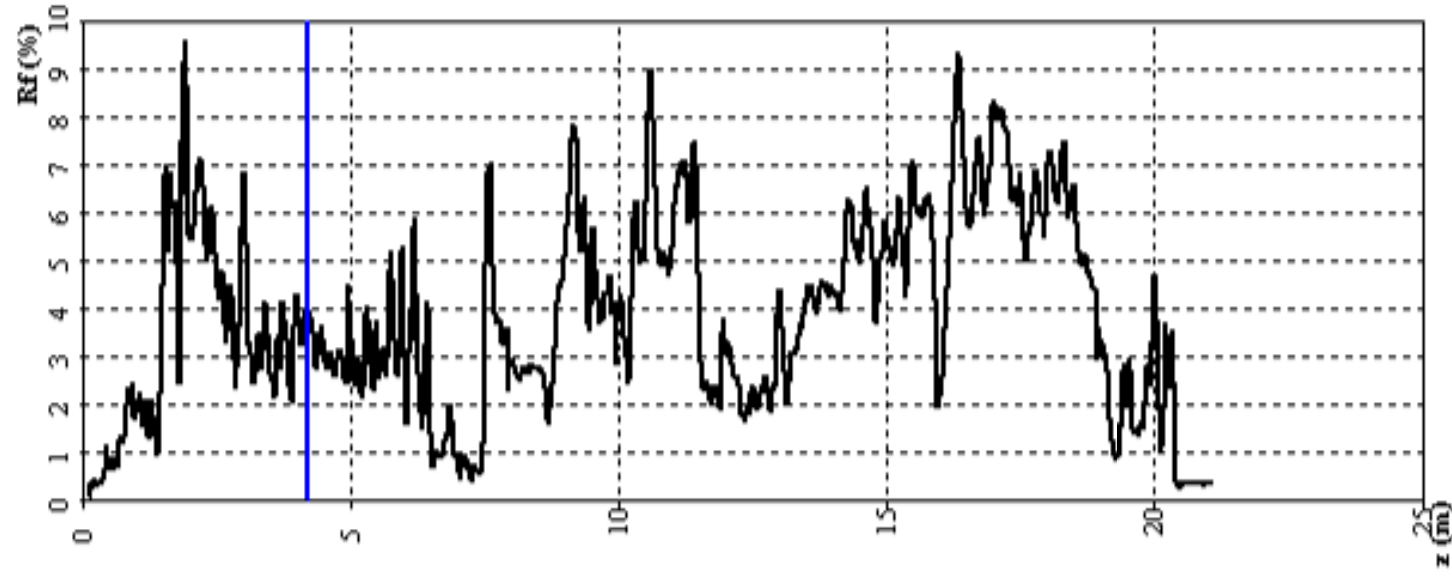
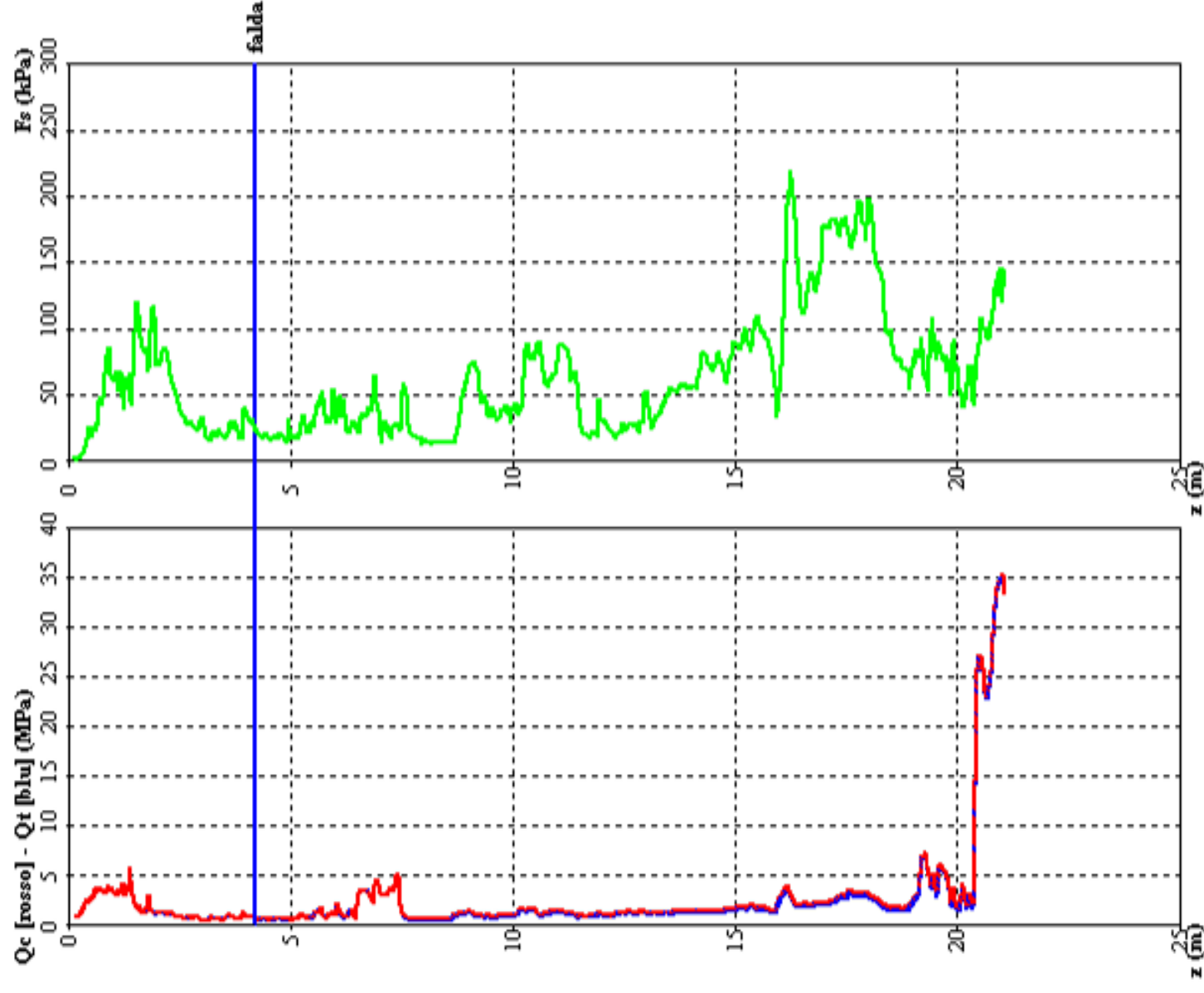
z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
19,38	5,41	53,7	0,99	314,88	Sabbia limosa	17,9		34,8		1	21,6	125	
19,39	5,27	54,5	1,03	318,36	Sabbia limosa	18		34,6		1	21	123	
19,4	5,15	63,6	1,23	317,24	Sabbia limosa	18,3		34,5		1,1	21,4	122	
19,41	5,14	70,6	1,37	307,72	Sabbia limosa	18,5		34,5		1,2	22,1	122	
19,42	4,89	79,5	1,63	272,44	Sabbia limosa	18,7		34,2		1,3	21,7	119	
19,43	4,89	79,5	1,63	272,44	Sabbia limosa	18,7		34,2		1,3	21,7	119	
19,44	4,32	87,2	2,02	265,47	Sabbia limosa	19		33,6		1,4	19,7	111	
19,45	4,04	93	2,3	321,02	Sabbia limosa	19,2		33,3		1,6	19,5	108	
19,46	3,65	98,8	2,71	507,95	Limo argilloso	19,3			76,6	1,7	11,5	52	0,101
19,47	3,57	101,7	2,85	507,06	Limo argilloso	19,4			80	1,8	11,3	51	0,103
19,48	3,68	103,4	2,81	454,41	Limo argilloso	19,4			80	1,8	11,7	52	0,103
19,49	4,15	108,1	2,61	927,19	Sabbia limosa	19,4		33,7		1,8	20,9	113	
19,5	4,37	107,5	2,46	1030,14	Sabbia limosa	19,4		34		1,7	21,6	116	
19,51	4,75	95,9	2,02	703,39	Sabbia limosa	19,1		34,3		1,5	22,3	119	
19,52	4,7	95,5	2,03	661,31	Sabbia limosa	19,1		34,2		1,5	22,1	118	
19,53	4,52	93,6	2,07	622,72	Sabbia limosa	19,1		34		1,5	21,2	116	
19,54	3,88	86,3	2,23	538,68	Sabbia limosa	19		33,2		1,5	18,2	107	
19,55	3,52	83,2	2,36	511,55	Limo argilloso	19			70	1,5	10,9	51	0,097
19,56	3,28	80,9	2,47	497,37	Limo argilloso	19			68	1,5	10,2	49	0,098
19,57	2,88	77,3	2,68	489,16	Limo argilloso	19			69,3	1,6	9	46	0,1
19,58	2,64	77	2,92	525,09	Limo argilloso	19			69,3	1,6	8,3	44	0,103
19,59	2,78	82,3	2,96	670,11	Limo argilloso	19,1			74,8	1,7	8,7	46	0,103
19,6	3,15	85,3	2,71	753,44	Limo argilloso	19,1			73,7	1,6	9,9	49	0,1
19,61	3,77	87,8	2,33	833,93	Sabbia limosa	19,1		33,2		1,5	17,7	107	
19,62	4,42	90	2,04	945,39	Sabbia limosa	19		34		1,5	20,7	116	
19,63	5,25	85,7	1,63	1028,01	Sabbia limosa	18,9		34,9		1,3	23,3	126	
19,64	5,56	84	1,51	832,57	Sabbia limosa	18,8		35,1		1,3	24,7	129	
19,65	5,71	86,6	1,52	746,94	Sabbia limosa	18,8		35,2		1,3	25,3	130	
19,66	5,82	86,8	1,49	720,58	Sabbia limosa	18,8		35,2		1,3	25,8	131	
19,67	5,77	84,9	1,47	666,45	Sabbia limosa	18,8		35,2		1,3	25,6	130	
19,68	5,73	81,1	1,42	601,44	Sabbia limosa	18,7		35,1		1,2	24,6	129	
19,69	5,68	81,4	1,43	588,85	Sabbia limosa	18,7		35,1		1,2	24,4	129	
19,7	5,51	81,8	1,48	552,57	Sabbia limosa	18,7		34,9		1,3	24,4	127	
19,71	5,43	81,3	1,5	544,12	Sabbia limosa	18,7		34,8		1,3	24,1	126	
19,72	5,39	80,5	1,49	543,11	Sabbia limosa	18,7		34,8		1,3	23,9	125	
19,73	5,35	77,1	1,44	523,55	Sabbia limosa	18,6		34,8		1,2	23	125	
19,74	5,34	75,4	1,41	508,54	Sabbia limosa	18,6		34,7		1,2	22,9	124	
19,75	5,28	75,4	1,43	464,93	Sabbia limosa	18,6		34,7		1,2	22,7	124	
19,76	5,19	75,7	1,46	448,67	Sabbia limosa	18,6		34,6		1,2	22,3	122	
19,77	5,07	78,2	1,54	437,5	Sabbia limosa	18,7		34,5		1,2	21,8	121	
19,78	4,8	79,7	1,66	445,25	Sabbia limosa	18,8		34,2		1,3	21,3	118	
19,79	4,72	76,9	1,63	454,29	Sabbia limosa	18,7		34,1		1,3	20,9	117	
19,8	4,57	69,6	1,52	469,65	Sabbia limosa	18,5		33,9		1,2	19,6	115	
19,81	4,57	69,6	1,52	469,65	Sabbia limosa	18,5		33,9		1,2	19,6	115	
19,82	4,48	68,1	1,52	471,31	Sabbia limosa	18,5		33,8		1,2	19,2	114	
19,83	4,44	69,4	1,56	462,92	Sabbia limosa	18,5		33,8		1,2	19,1	114	
19,84	4,26	74	1,74	432,89	Sabbia limosa	18,7		33,6		1,3	18,9	111	
19,85	4,06	76,4	1,88	408,84	Sabbia limosa	18,8		33,3		1,3	18	108	
19,86	3,47	71,3	2,05	390,17	Sabbia limosa	18,7		32,5		1,3	15,4	100	
19,87	3,13	65,3	2,09	397,97	Limo argilloso	18,6			60,1	1,3	9,6	48	0,093
19,88	2,59	52,8	2,04	421,13	Limo argilloso	18,3			54,8	1,2	7,9	44	0,092
19,89	2,38	50,2	2,11	435,08	Limo argilloso	18,3			53	1,2	7,2	42	0,093
19,9	2,19	50	2,28	464,28	Limo argilloso	18,3			53	1,2	6,6	40	0,095
19,91	1,94	54,6	2,82	575,03	Limo argilloso	18,6			59,6	1,4	6	39	0,1
19,92	2,02	58,1	2,88	611,96	Limo argilloso	18,6			59,6	1,4	6,2	39	0,101
19,93	2,02	58,1	2,88	611,96	Limo argilloso	18,7			59,6	1,4	6,2	39	0,101
19,94	2,02	58,1	2,88	611,96	Limo argilloso	18,7			59,6	1,4	6,2	39	0,101
19,95	3,66	88,9	2,43	150,11	Limo argilloso	19,1			70,4	1,6	11,5	51	0,099
19,96	3,57	90,3	2,53	145,5	Limo argilloso	19,2			70,5	1,6	11,2	50	0,1
19,97	3,19	91,3	2,86	135,45	Limo argilloso	19,3			71,4	1,7	10	47	0,104
19,98	2,95	86,4	2,93	131,14	Limo argilloso	19,2			66	1,6	9,2	45	0,105
19,99	2,44	77,8	3,19	132,68	Limo argilloso	19,1			61,5	1,6	7,6	41	0,108
20	2,25	74,7	3,32	143,67	Limo argilloso	19,1			61,5	1,6	7	40	0,11
20,01	1,91	70,7	3,7	204,48	Argilla	19,1			56,9	1,6	4	18	0,114
20,02	1,75	68,4	3,91	224,04	Argilla	19,1			54,2	1,5	3,6	17	0,116
20,03	1,57	70,2	4,47	331,78	Argilla	19,2			54,3	1,5	3,2	17	0,122
20,04	1,5	70,9	4,73	456	Argilla	19,2			59,3	1,6	3,1	17	0,123
20,05	1,43	62,2	4,35	514,09	Argilla	19			56,5	1,5	2,9	16	0,117
20,06	1,43	58,2	4,07	498,49	Argilla	18,9			53,7	1,4	2,9	16	0,114
20,07	1,43	55,9	3,91	497,61	Argilla	18,8			51,6	1,4	2,9	16	0,112
20,08	1,44	54,7	3,8	521,07	Argilla	18,7			53,8	1,4	2,9	17	0,111
20,09	1,46	54,9	3,76	522,66	Argilla	18,7			53,8	1,4	3	17	0,11
20,1	1,47	54,1	3,68	519,89	Argilla	18,7			53,8	1,4	3	17	0,11
20,11	1,6	53	3,31	560,43	Argilla	18,6			55,9	1,4	3,3	17	0,105

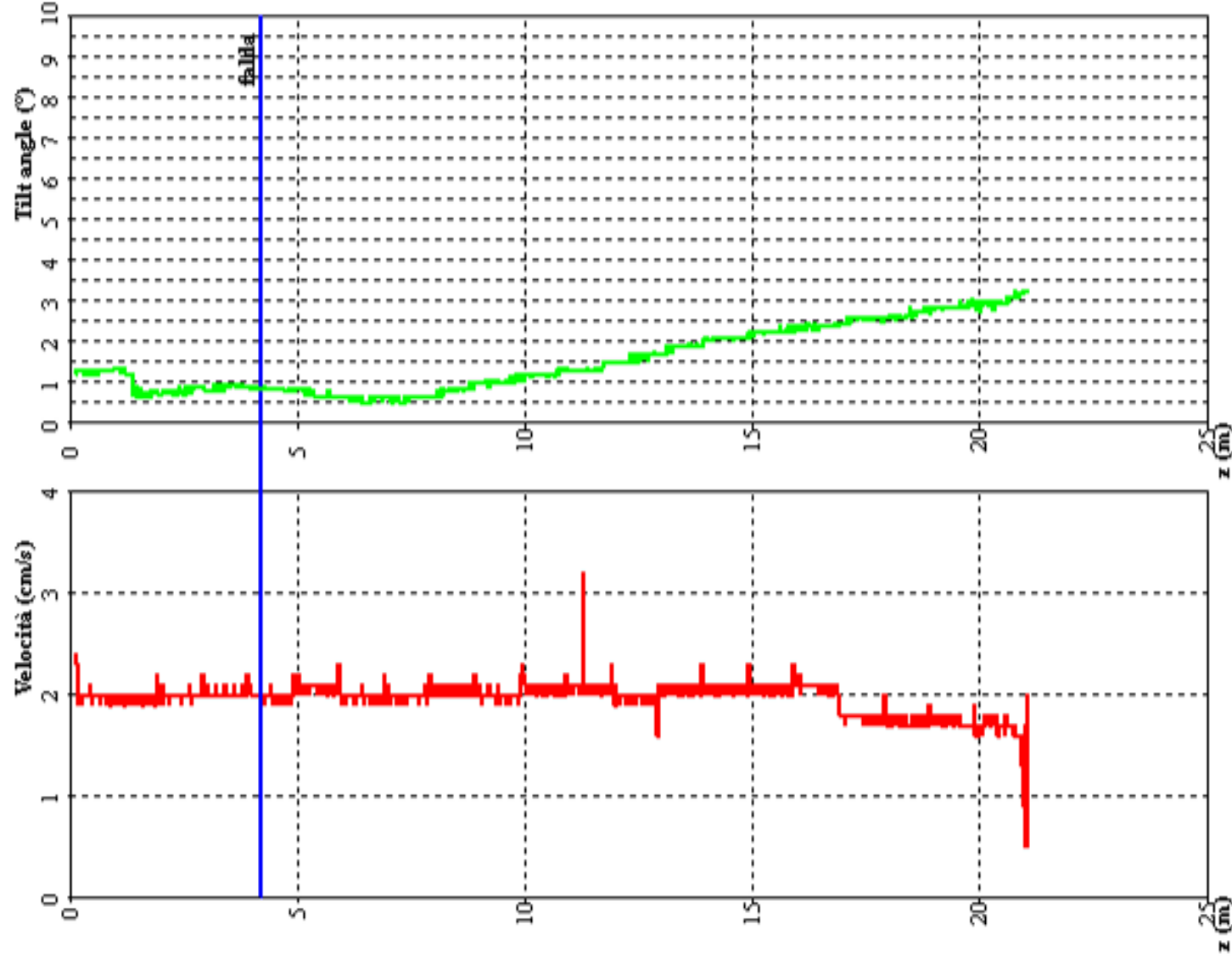
Prova penetrometrica SCPTU 1

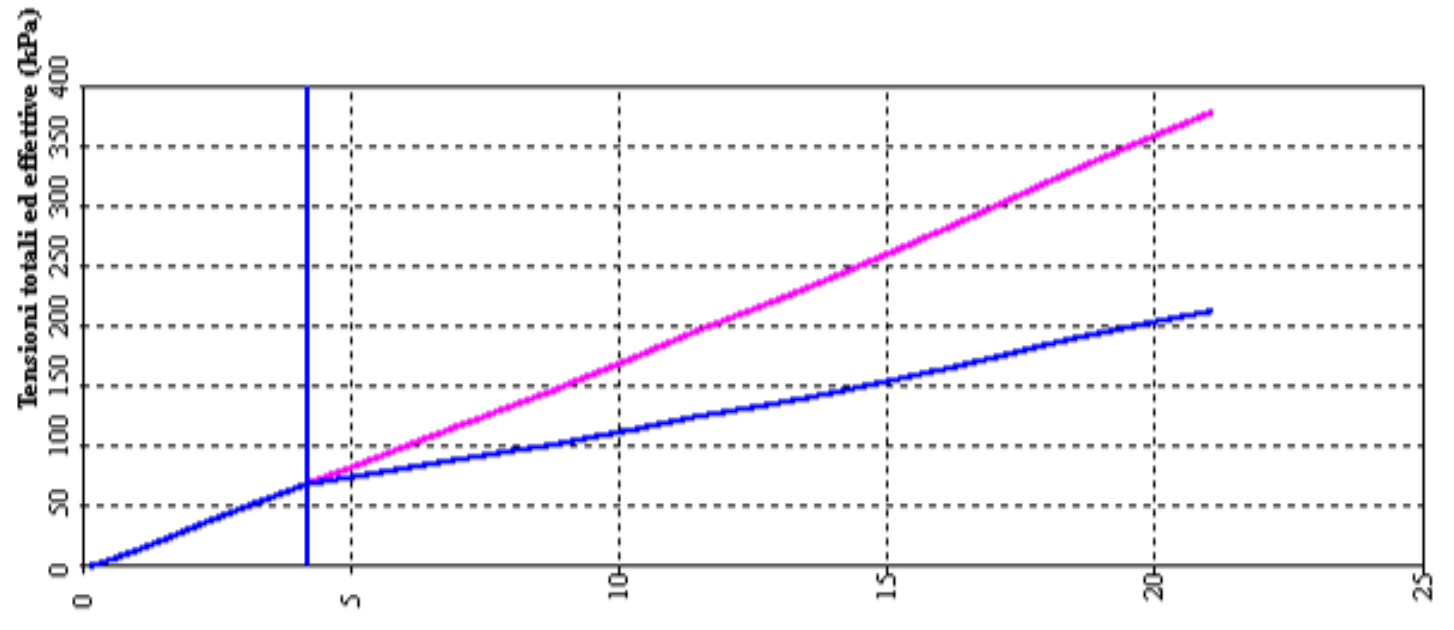
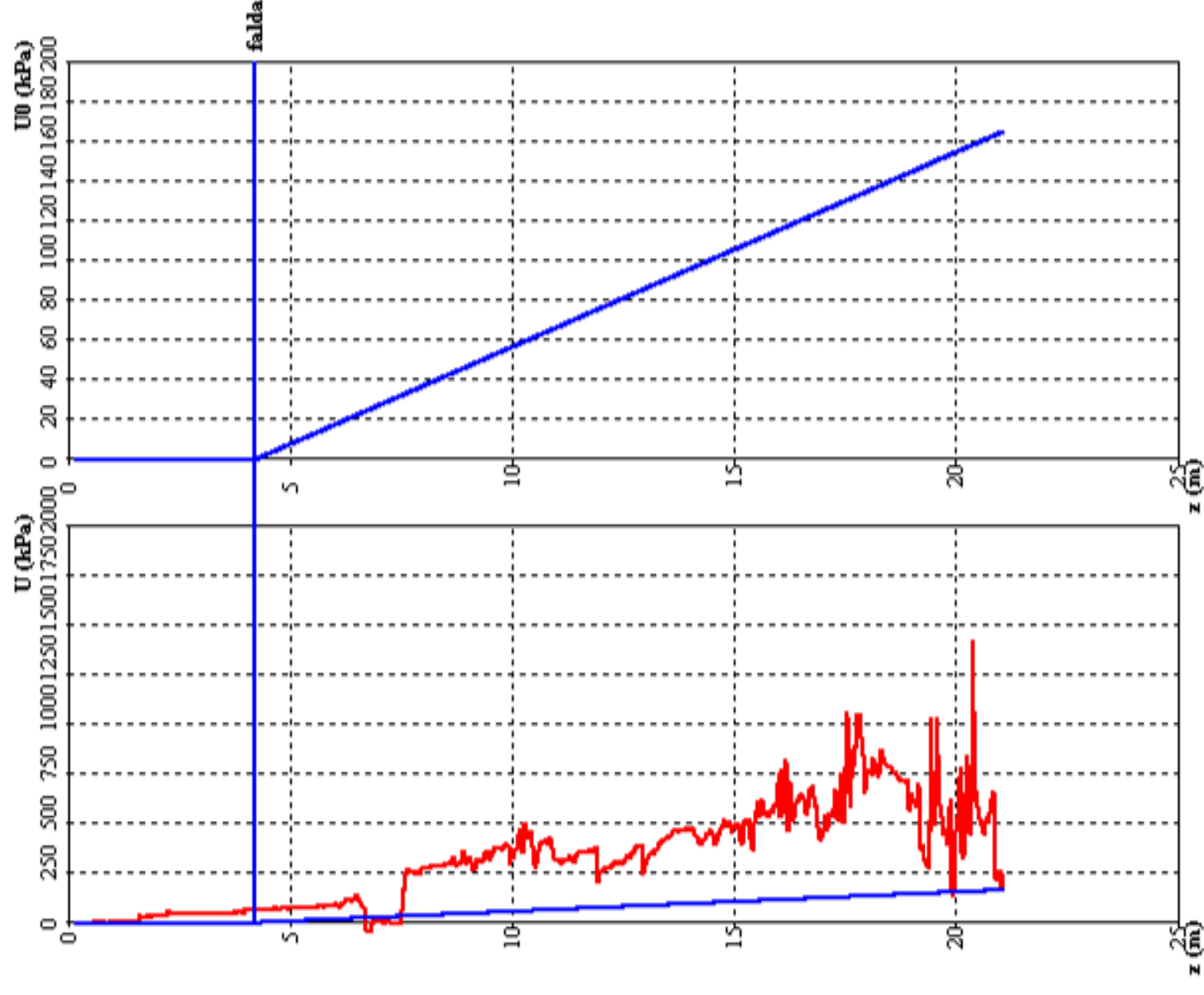
z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
20,12	1,86	52,8	2,84	603,45	Limo argilloso	18,5			54,9	1,3	5,7	38	0,1
20,13	2,67	50,5	1,89	728,98	Sabbia limosa	18,2		31,4		1,1	11	91	
20,14	3,17	51,1	1,61	773,95	Sabbia limosa	18,1		32,3		1,1	13,1	98	
20,15	3,78	47,7	1,26	449,21	Sabbia limosa	17,9		33		1	15,1	105	
20,16	3,88	42,9	1,11	395,84	Sabbia limosa	17,7		33,1		1	15,5	106	
20,17	3,88	41,4	1,07	366,59	Sabbia limosa	17,6		33		1	15,5	105	
20,18	3,53	41,8	1,18	343,71	Sabbia limosa	17,7		32,5		1	14,1	101	
20,19	3,24	42,4	1,31	333,55	Sabbia limosa	17,8		32,1		1	12,9	97	
20,2	2,78	44,1	1,59	315,94	Sabbia limosa	17,9		31,3		1	11,1	90	
20,21	2,58	45,6	1,77	315,58	Limo argilloso	18			50,3	1,1	7,8	43	0,089
20,22	2,38	47	1,98	341	Limo argilloso	18,2			50,4	1,1	7,2	41	0,092
20,23	1,98	53,1	2,68	406,12	Limo argilloso	18,5			53,2	1,3	6	38	0,1
20,24	1,79	55,5	3,1	422,61	Argilla	18,6			56,2	1,4	3,7	18	0,105
20,25	1,68	57,3	3,41	434,73	Argilla	18,7			54,1	1,4	3,4	17	0,108
20,26	1,59	58,8	3,7	565,27	Argilla	18,8			56,3	1,4	3,2	17	0,11
20,27	1,67	57,7	3,45	649,08	Argilla	18,8			58,4	1,4	3,4	18	0,106
20,28	2,04	60,6	2,97	750,07	Limo argilloso	18,7			62,6	1,4	6,3	40	0,101
20,29	2,27	67	2,95	800,48	Limo argilloso	18,9			68,1	1,5	7	42	0,101
20,3	2,51	72,5	2,89	835,71	Limo argilloso	19			70,2	1,5	7,8	44	0,101
20,31	2,87	70,7	2,46	727,73	Limo argilloso	18,8			66,7	1,4	8,9	46	0,097
20,32	2,94	69,1	2,35	592,81	Limo argilloso	18,8			64,7	1,4	9,1	47	0,096
20,33	2,91	68,6	2,36	526,8	Limo argilloso	18,8			64,8	1,4	9	46	0,096
20,34	2,82	69,7	2,47	482,65	Limo argilloso	18,8			64,8	1,4	8,7	45	0,098
20,35	2,44	71,8	2,94	444,6	Limo argilloso	19			63,9	1,5	7,6	42	0,103
20,36	2,22	68,7	3,1	447,2	Limo argilloso	18,9			63,9	1,5	6,9	40	0,105
20,37	2	65,9	3,29	456,42	Argilla	18,9			61,8	1,5	4,1	19	0,107
20,38	1,71	61,2	3,58	518,23	Argilla	18,9			59,6	1,5	3,5	18	0,109
20,39	1,63	56,7	3,48	583,06	Argilla	18,7			56,6	1,4	3,3	18	0,107
20,4	1,84	45,3	2,46	788,61	Limo argilloso	18,2			54,2	1,2	5,6	38	0,095
20,41	2,82	41,9	1,49	1013,53	Sabbia limosa	17,8		31,8		1	11,2	94	
20,42	7,4	49,7	0,67	1418,53	Sabbia	17,6	40	36,5		1	29,6	163	
20,43	11,01	56,2	0,51	1326,69	Sabbia	17,6	49,9	38,3		1,1	45,7	196	
20,44	14,11	61,7	0,44	1058,33	Sabbia	17,7	56,1	39,5		1,2	60,7	220	
20,45	19,34	64,7	0,33	605,4	Ghiaia	17,6	64	40,9		1,4	88,5	256	
20,46	21,04	69,4	0,33	620,06	Ghiaia	17,7	66,3	41,3		1,4	96,2	267	
20,47	23,4	79,4	0,34	688,08	Ghiaia	17,9	69,1	41,8		1,5	110	281	
20,48	24,28	79,7	0,33	677,15	Ghiaia	17,9	70,1	42		1,6	117,2	286	
20,49	25,46	80,1	0,31	654,98	Ghiaia	17,8	71,3	42,2		1,6	122,9	293	
20,5	25,85	82,3	0,32	645,59	Ghiaia	17,9	71,7	42,3		1,6	124,7	295	
20,51	26,54	83,8	0,32	609,24	Ghiaia	17,9	72,4	42,4		1,6	128,1	299	
20,52	26,74	86,8	0,32	597,6	Ghiaia	18	72,6	42,5		1,7	132,2	300	
20,53	26,86	88,5	0,33	579,87	Ghiaia	18	72,7	42,5		1,7	132,8	301	
20,54	26,89	95,1	0,35	527,75	Ghiaia	18,2	72,7	42,5		1,7	132,9	301	
20,55	26,87	97,6	0,36	524,38	Ghiaia	18,2	72,7	42,5		1,7	132,8	300	
20,56	26,88	99	0,37	525,68	Ghiaia	18,2	72,7	42,5		1,7	132,9	301	
20,57	26,88	99	0,37	525,68	Ghiaia	18,2	72,7	42,5		1,7	132,9	300	
20,58	26,8	107,8	0,4	518,53	Ghiaia	18,4	72,6	42,5		1,7	132,5	300	
20,59	26,76	108,9	0,41	520,54	Ghiaia	18,4	72,5	42,5		1,7	132,3	300	
20,6	26,45	104,8	0,4	516,99	Ghiaia	18,4	72,2	42,4		1,7	130,8	298	
20,61	26,23	102,8	0,39	506,71	Ghiaia	18,3	72	42,4		1,7	129,7	297	
20,62	25,6	100,3	0,39	490,46	Ghiaia	18,3	71,3	42,2		1,7	126,6	293	
20,63	25,26	101,2	0,4	474,74	Ghiaia	18,3	71	42,2		1,6	121,9	291	
20,64	24,91	101,1	0,41	465,58	Ghiaia	18,3	70,6	42,1		1,6	120,2	289	
20,65	24,25	101,4	0,42	459,43	Ghiaia	18,3	69,9	42		1,6	117	285	
20,66	23,99	99,6	0,42	458,01	Ghiaia	18,3	69,6	41,9		1,6	115,8	284	
20,67	23,29	101	0,43	449,97	Ghiaia	18,4	68,8	41,8		1,6	112,4	279	
20,68	23,05	99,5	0,43	445,3	Ghiaia	18,3	68,5	41,7		1,6	111,2	278	
20,69	22,8	99	0,43	451,16	Ghiaia	18,3	68,2	41,7		1,6	110	276	
20,7	22,67	95,4	0,42	487,8	Ghiaia	18,3	68,1	41,6		1,5	106,6	276	
20,71	22,74	94	0,41	502,1	Ghiaia	18,2	68,1	41,7		1,5	106,9	276	
20,72	22,96	92,6	0,4	520	Ghiaia	18,2	68,4	41,7		1,5	108	277	
20,73	23,08	93,2	0,4	524,08	Ghiaia	18,2	68,5	41,7		1,6	111,4	278	
20,74	23,29	93,3	0,4	528,57	Ghiaia	18,2	68,8	41,8		1,6	112,4	279	
20,75	23,77	93,2	0,39	522,72	Ghiaia	18,2	69,3	41,9		1,6	114,7	282	
20,76	24,01	93,1	0,39	509,66	Ghiaia	18,2	69,6	41,9		1,6	115,9	284	
20,77	24,32	95,5	0,39	505,29	Ghiaia	18,2	69,9	42		1,6	117,4	285	
20,78	24,51	97,3	0,4	507,42	Ghiaia	18,3	70,1	42		1,6	118,3	286	
20,79	24,74	99,5	0,4	514,98	Ghiaia	18,3	70,3	42,1		1,6	119,4	288	
20,8	25,25	104,8	0,42	546,54	Ghiaia	18,4	70,9	42,2		1,6	121,8	291	
20,81	25,58	106,1	0,41	563,44	Ghiaia	18,4	71,2	42,2		1,7	126,5	293	
20,82	26,54	108	0,41	575,32	Ghiaia	18,4	72,2	42,4		1,7	131,2	298	
20,83	27,15	109,8	0,4	587,02	Ghiaia	18,4	72,8	42,5		1,7	134,2	301	
20,84	28,54	113,1	0,4	603,69	Ghiaia	18,5	74,1	42,7		1,8	144,4	309	
20,85	29,16	114,9	0,39	613,68	Ghiaia	18,5	74,7	42,8		1,8	147,5	312	

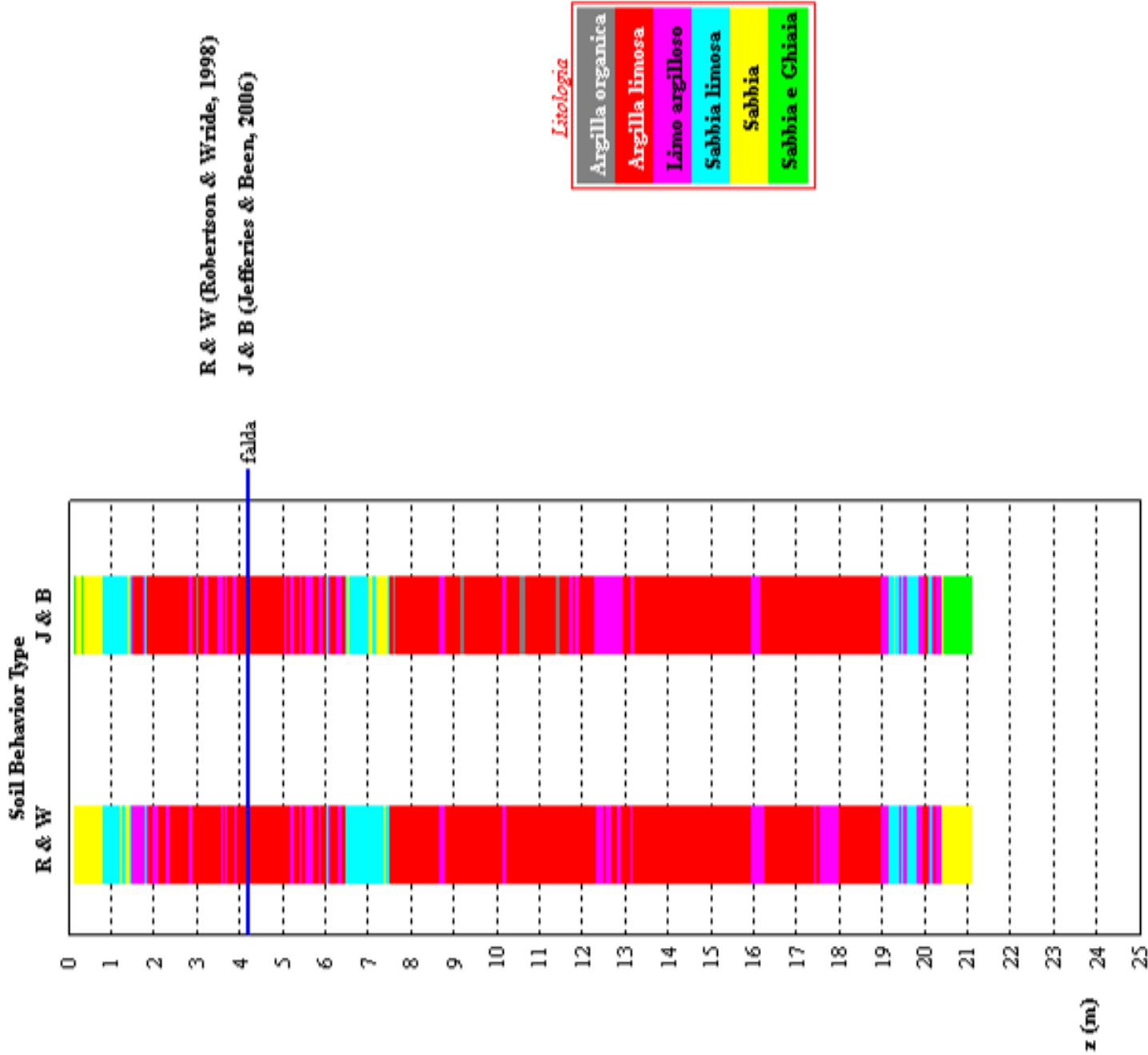
Prova penetrometrica SCPTU 1

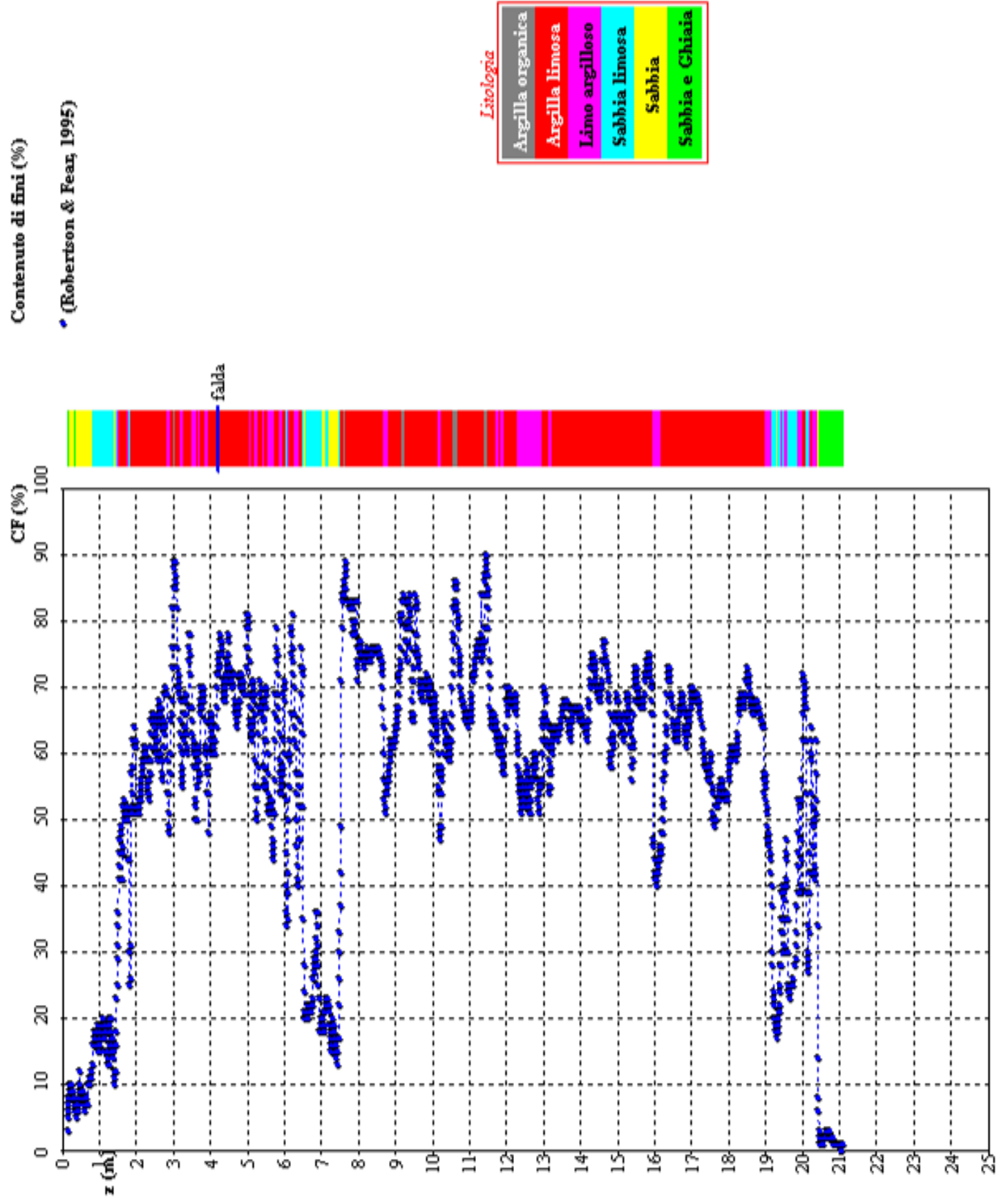
z	Qc (MPa)	Fs (kPa)	Rf (%)	U (kPa)	litologia	g (kN(mc)	Id (%)	Angolo d'attrito (°)	Su (kPa)	OCR (-)	M (MPa)	m (-)	Cc (-)
20,86	29,77	118,1	0,4	630,28	Ghiaia	18,5	75,3	42,9		1,8	150,6	315	
20,87	30,8	123,7	0,4	659,24	Ghiaia	18,6	76,2	43,1		1,9	159,2	321	
20,88	31,21	125,9	0,4	639,86	Ghiaia	18,6	76,5	43,2		1,9	161,3	323	
20,89	31,94	130,6	0,41	631,46	Ghiaia	18,7	77,1	43,3		1,9	165,1	327	
20,9	32,2	132,2	0,41	628,69	Ghiaia	18,7	77,3	43,3		1,9	166,5	328	
20,91	32,7	137,4	0,42	644,29	Ghiaia	18,8	77,7	43,4		1,9	169	330	
20,92	32,7	137,4	0,42	644,29	Ghiaia	18,8	77,7	43,4		1,9	169	330	
20,93	32,7	137,4	0,42	644,29	Ghiaia	18,8	77,7	43,4		1,9	169	330	
20,94	33,76	125,3	0,37	215,35	Ghiaia	18,6	78,4	43,5		1,9	174,5	335	
20,95	34,2	131,3	0,38	217,36	Ghiaia	18,7	78,8	43,6		2	180,5	337	
20,96	34,27	133,3	0,39	217,78	Ghiaia	18,7	78,8	43,6		2	180,8	337	
20,97	34,33	139,2	0,41	218,01	Ghiaia	18,8	78,9	43,6		2	181,1	337	
20,98	34,43	143,2	0,42	219,96	Ghiaia	18,8	78,9	43,6		2	181,7	338	
20,99	34,55	145,1	0,42	225,28	Ghiaia	18,8	79	43,6		2	182,3	338	
21	34,65	145,8	0,42	233,32	Ghiaia	18,9	79,1	43,6		2	182,8	339	
21,01	34,8	145,6	0,42	241,95	Ghiaia	18,9	79,2	43,7		2	183,6	340	
21,02	34,88	146,5	0,42	253,35	Ghiaia	18,9	79,3	43,7		2	184	340	
21,03	35,19	120,6	0,34	173,75	Ghiaia	18,5	79,5	43,7		2	185,7	341	
21,04	35,2	128,3	0,36	168,55	Ghiaia	18,6	79,5	43,7		2	185,7	341	
21,05	35,13	131,6	0,37	168,78	Ghiaia	18,6	79,4	43,7		2	185,4	341	
21,06	35,05	137,4	0,39	172,68	Ghiaia	18,7	79,3	43,7		2	184,9	340	
21,07	35,01	144,5	0,41	176,88	Ghiaia	18,8	79,3	43,7		2	184,7	340	
21,08	33,27	134,6	0,4	219,14	Ghiaia	18,7	78	43,4		1,9	172	332	
21,09	34,98	132,9	0,38	228,47	Ghiaia	18,7	79,3	43,7		2	184,6	340	
21,1	34,71	142,3	0,41	224,45	Ghiaia	18,8	79,1	43,6		2	183,2	339	
21,11	34,5	144,6	0,42	231,72	Ghiaia	18,8	78,9	43,6		2	182	338	
21,12	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,13	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,14	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,15	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,16	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,17	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,18	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,19	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,2	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,21	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,22	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	
21,23	34,5	144,6	0,01		Ghiaia	13,8	78,8	43,6		2	182	337	

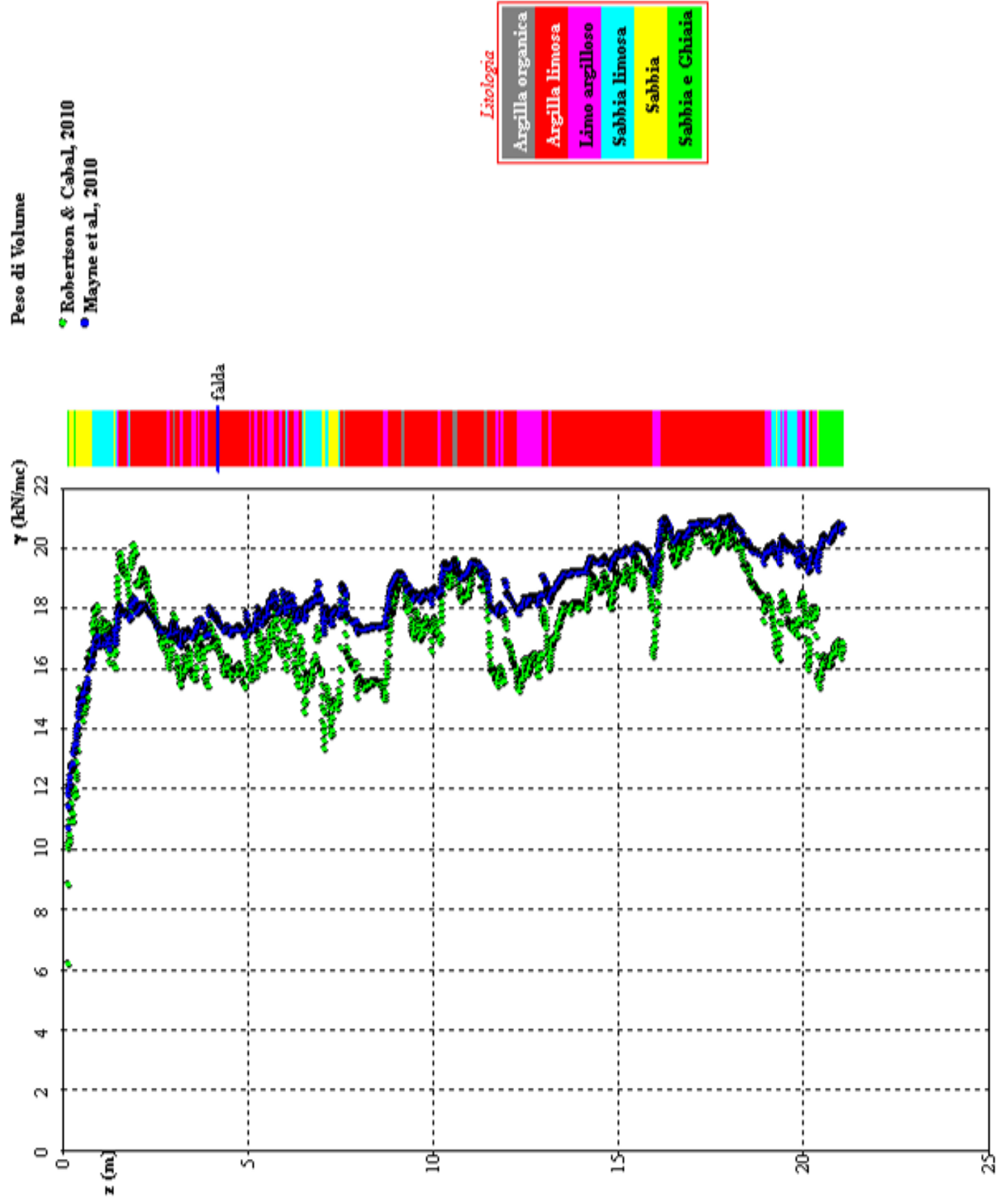




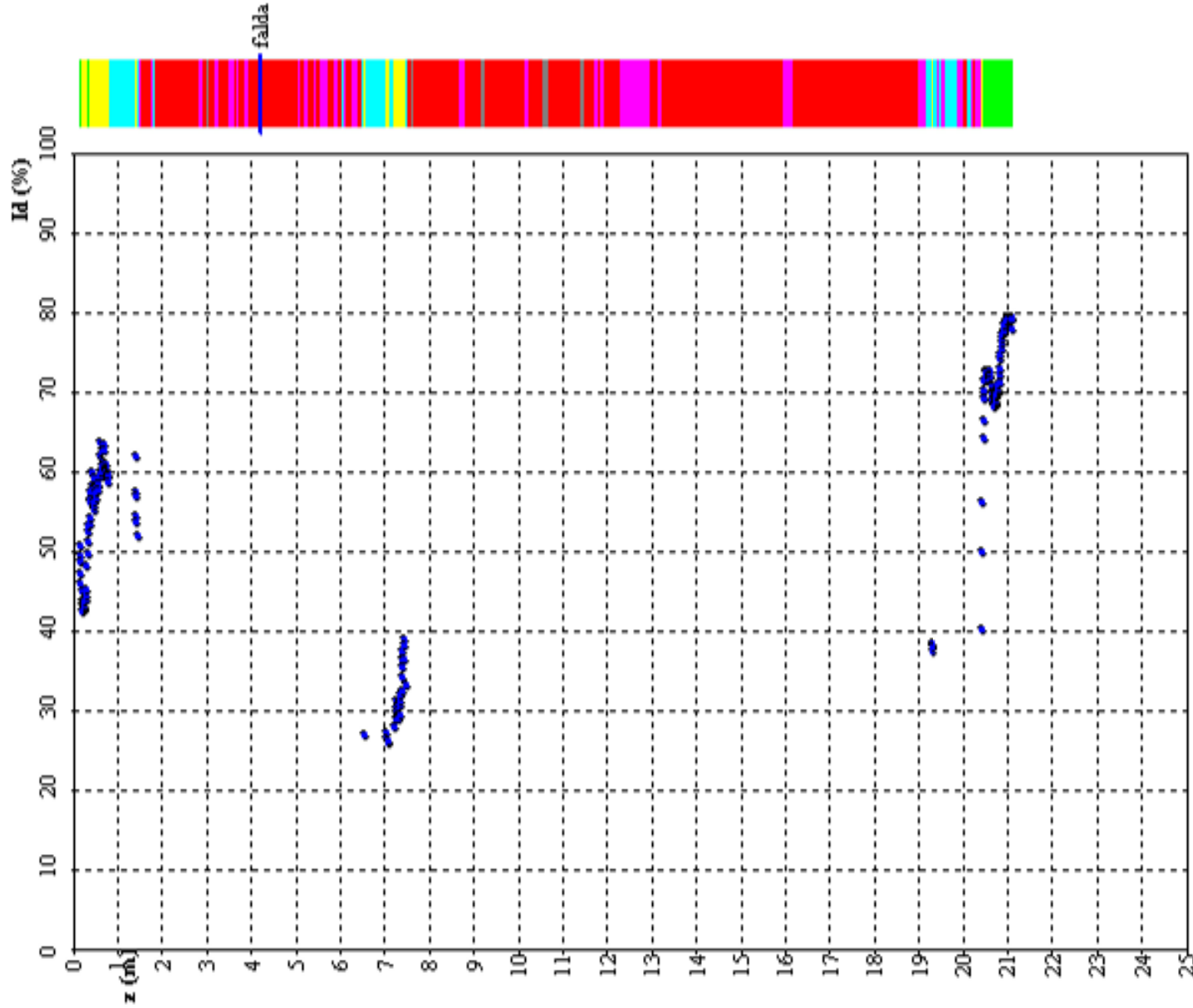


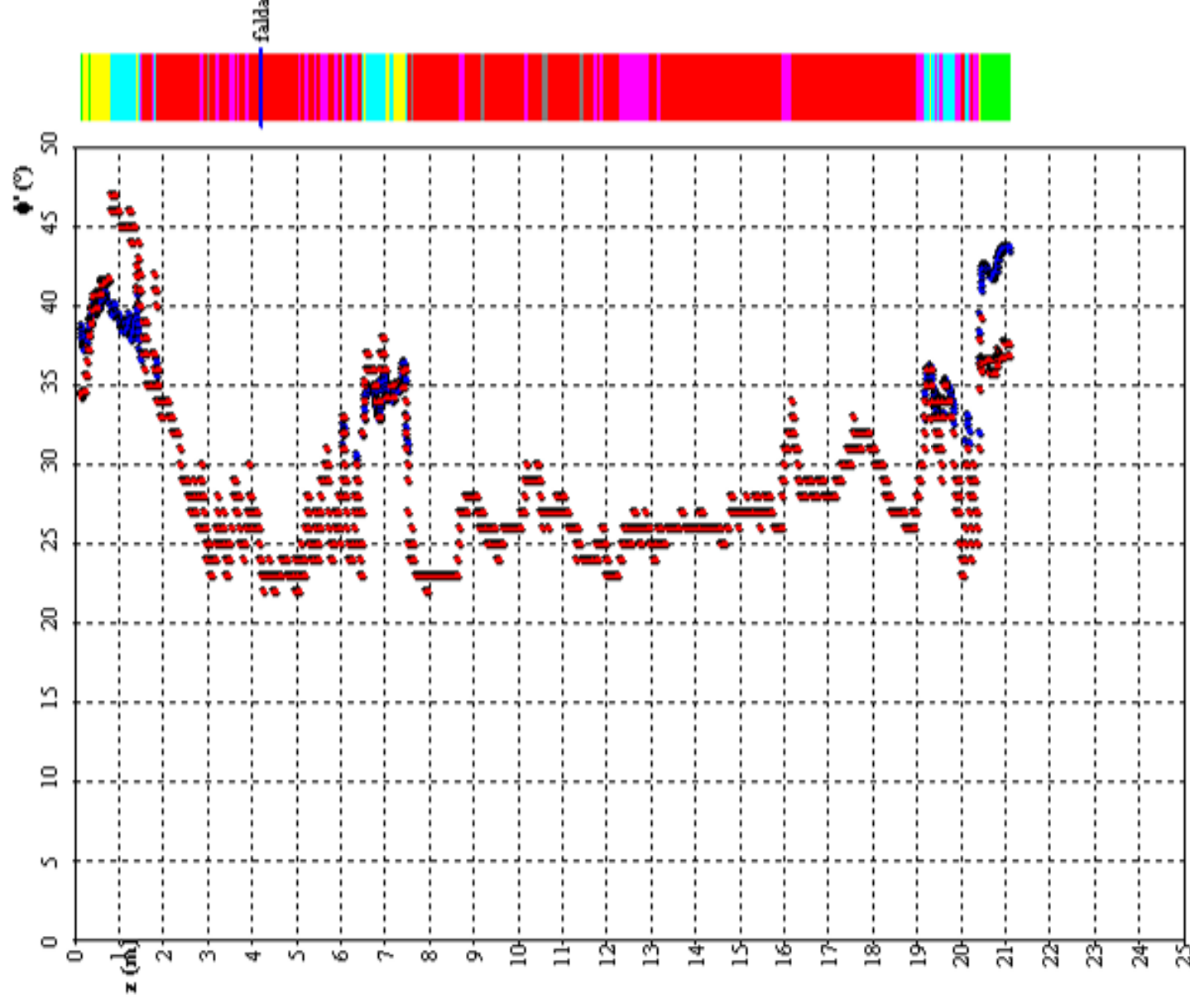






• (Jamiołkowski et al, 2001)



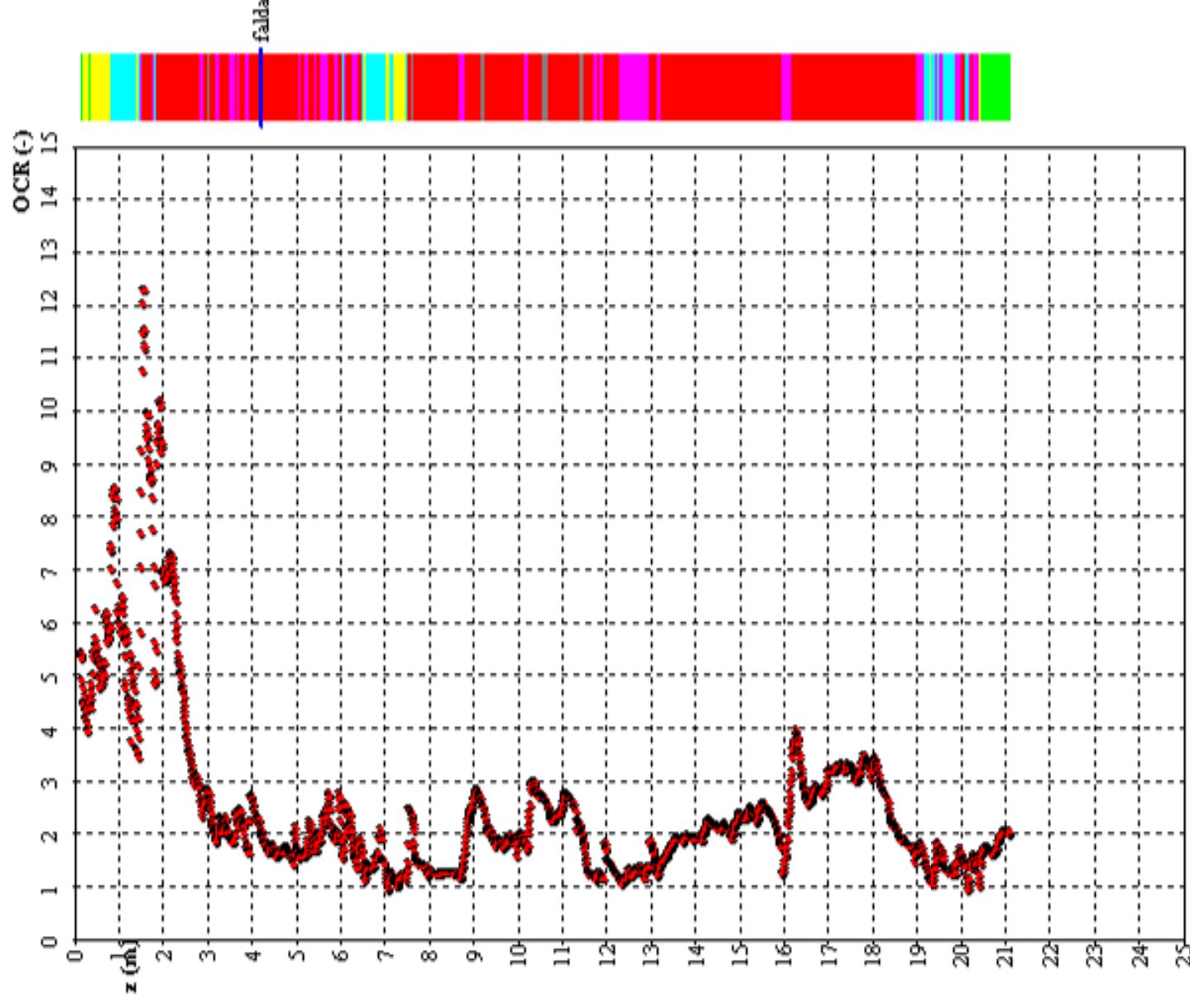


• Mayne, 2001 (terreno incoerente)

• Senneset, 1982 - 1988 - Senneset & Janbu, 1985

N.B.: L'angolo d'attrito è corretto in funzione della curvatura dell'involuppo di rottura secondo quanto suggerito da Meigh, 1987 e Chen & Juang, 1996

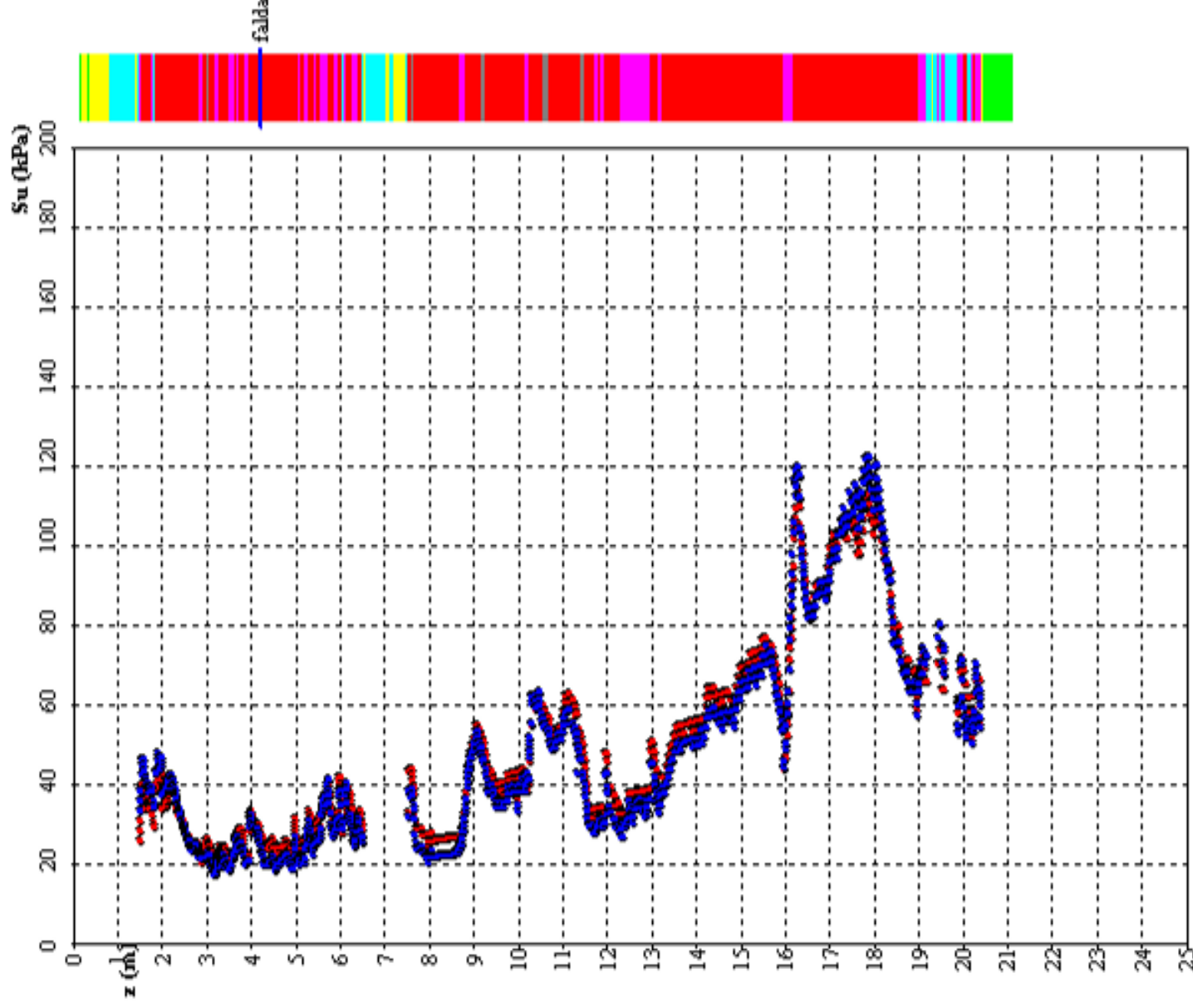
♦ Mayne, 2009



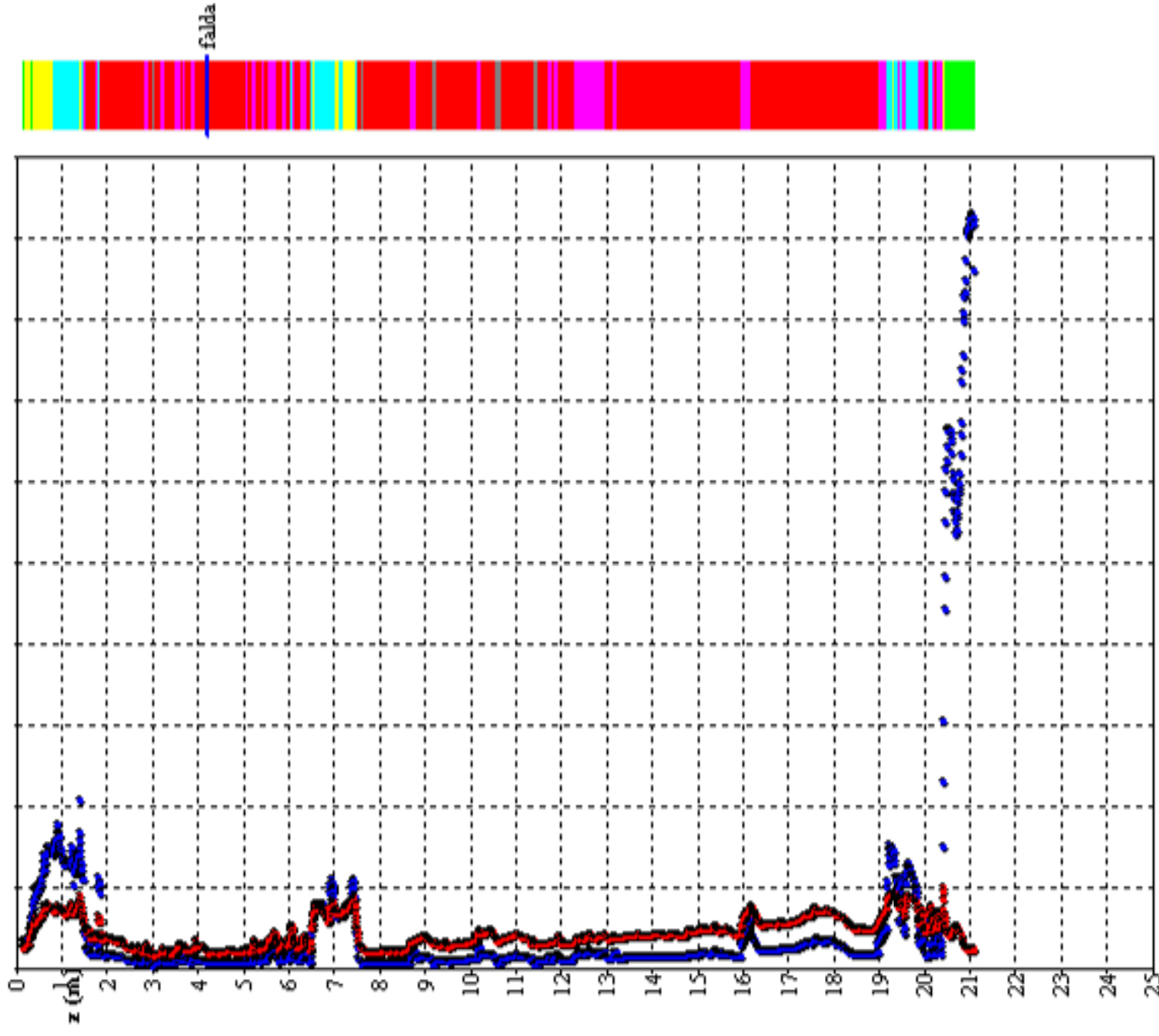
Prova Penetrometrica Statica CPTU 1

AIPO - Intervento di sistemazione sismica immobile dei
 Resistenza al taglio non drenata

- Ladd (1991, Ladd e DeGroot, 2003)
- Modello Cam Clay modificato (Mayne, 2001)

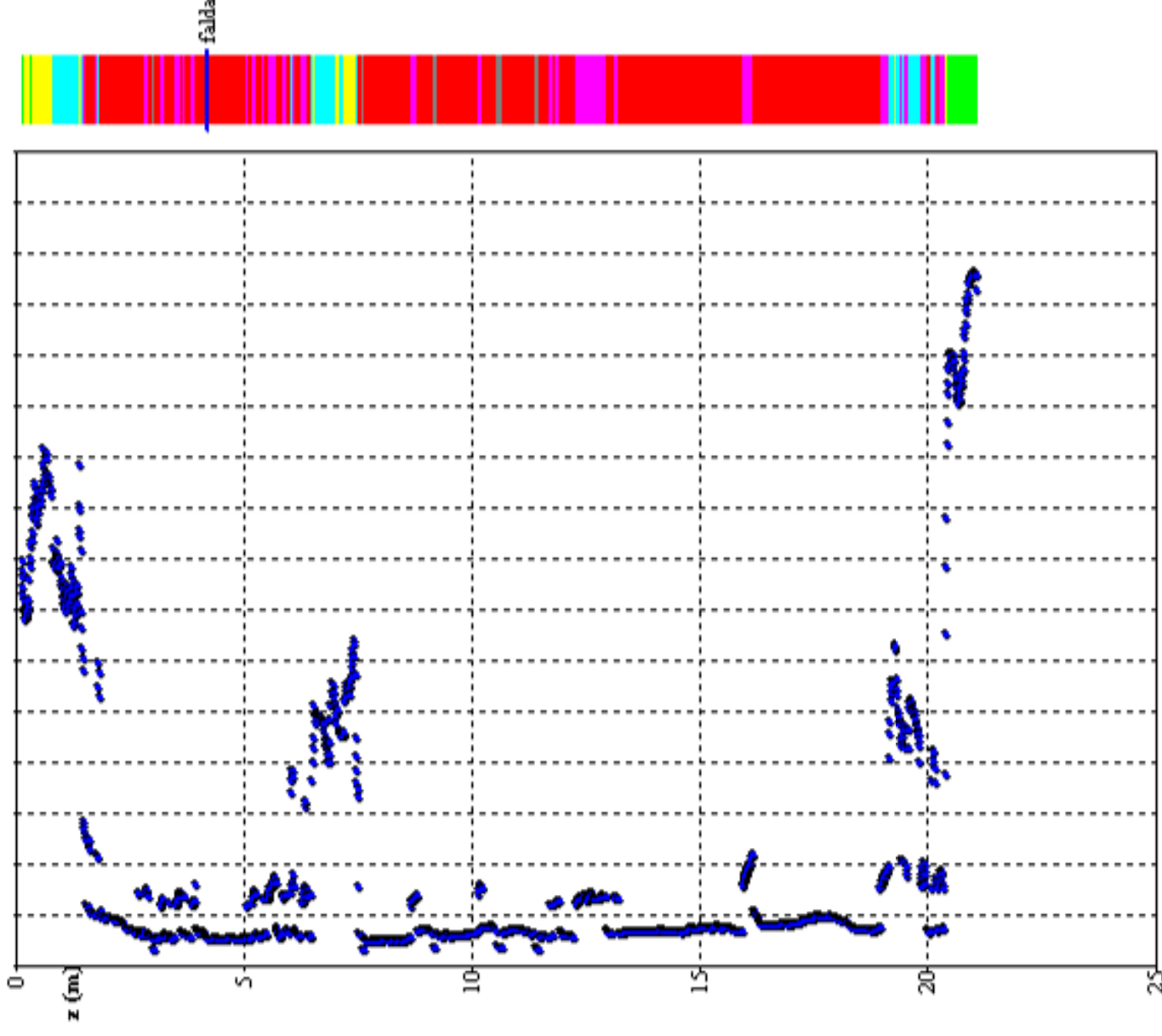


Modulo confinato



Litologia

Argilla organica
Argilla limosa
Limo argilloso
Sabbia limosa
Sabbia
Sabbia e Ghiaia



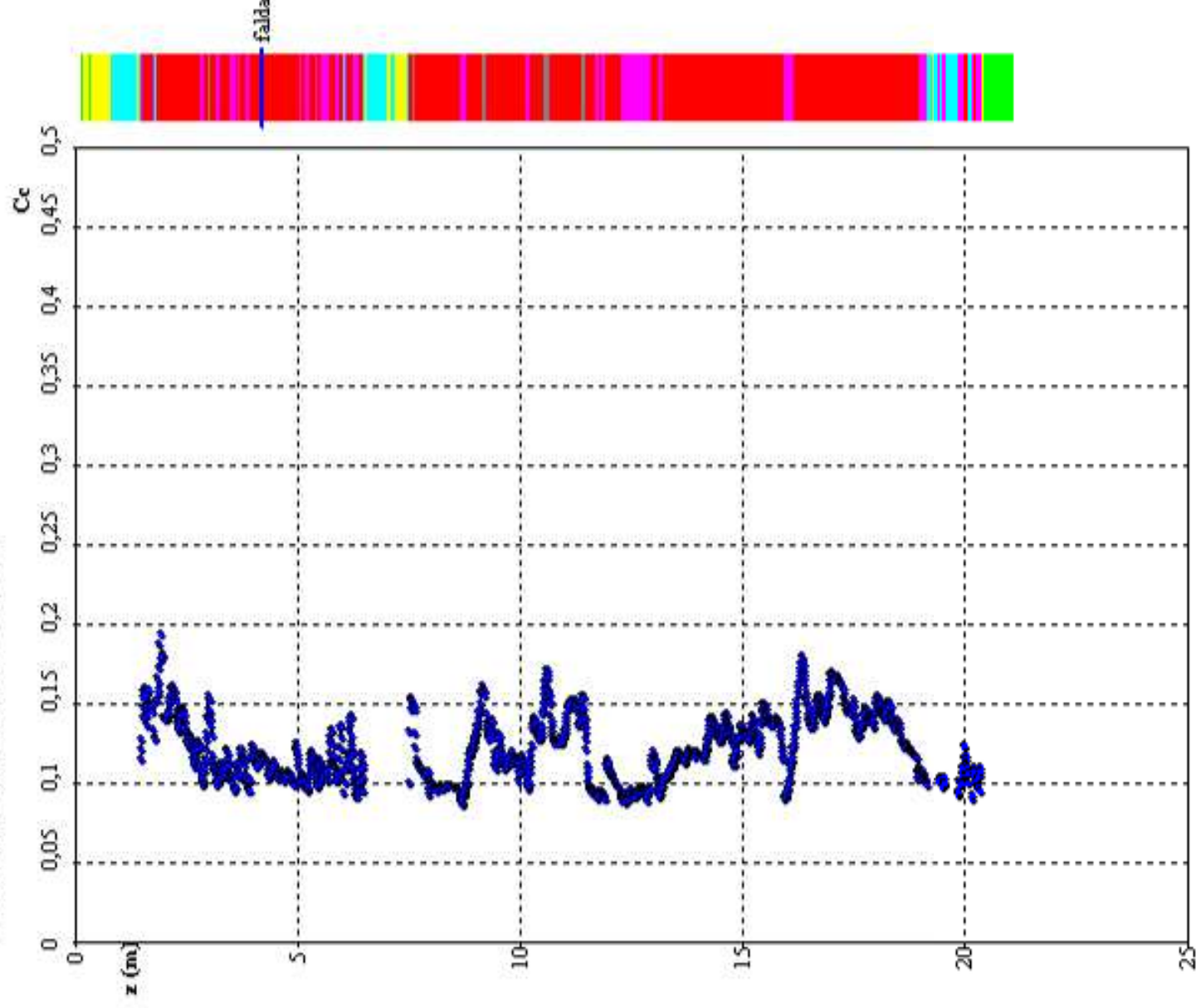
Litologia

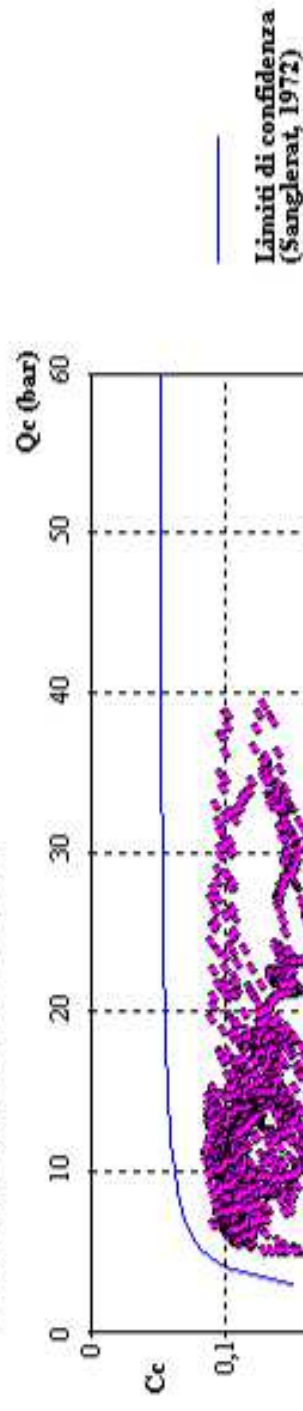
Argilla organica
Argilla limosa
Limo argilloso
Sabbia limosa
Sabbia
Sabbia e Ghiaia

• (Massarsch, 1997)

Indice di compressibilità

• Cc (Marchi & Righi)





ALLEGATO B

Elaborazione prova MASW

COMMITTENTE:

Dr. Geol. Fabio Picinotti
Via S. Pellico, 4 - 43125 Parma

COMMESSA:

Indagini geofisica
Indagine Masw con misura Vs₃₀

LOCALITA':

Via della Pace
Comune di Concordia s/S (MO)

TITOLO:

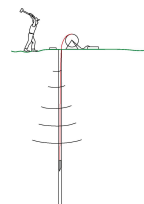
Relazione Tecnica

DATA:

Ottobre 2015

Via S. Cattania, 1/a
41012 Carpi (MO)

info@tecnogefisica.com
www.tecnogefisica.com



INDAGINE GEOFISICA

Committente: Dr. Geol. Fabio Picinotti
Via S. Pellico, 4 - 43125 Parma

Intervento: Indagine sismica
MASW

Località: Via della Pace
Comune di Concordia s/S (MO)

INDICE

Premessa	3
Caratteristiche attrezzatura	5
Metodologia d'indagine MASW	5
Interpretazione dati acquisiti	8
Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{s30})	10

Allegati: Scheda indagine MASW (formato A3)

Premessa

Nel mese di Ottobre 2015, su commissione di:

Dr. Geol. Fabio Picinotti

Via S. Pellico, 4 - 43125 Parma

Sono state effettuate una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves), in un terreno sito in via della Pace in Comune di Concordia sulla Secchia (MO) in merito al progetto di intervento di sistemazione sismica di un immobile. (fig. 1, 2 e 3)

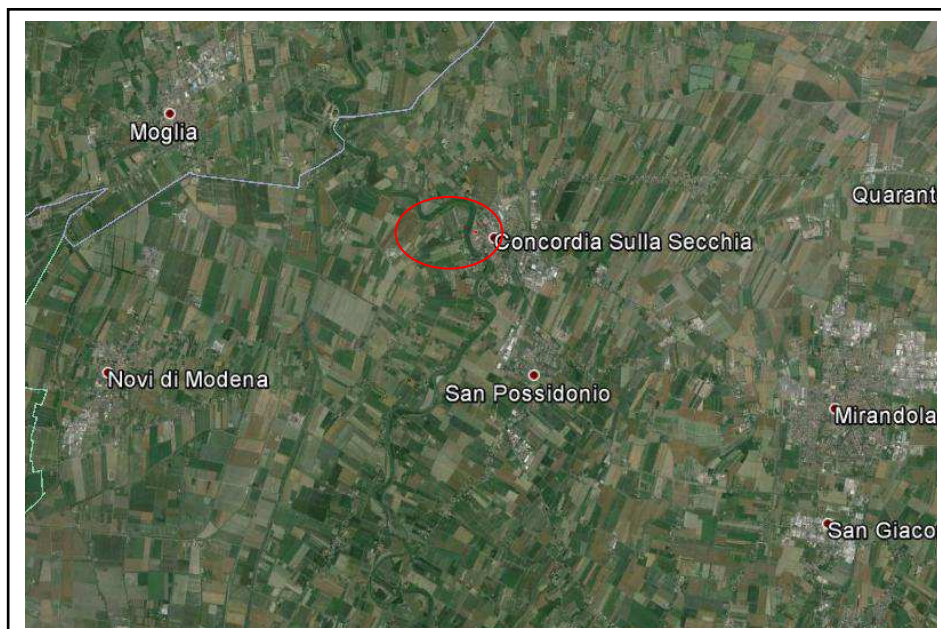


Fig.1 Ubicazione area di indagine

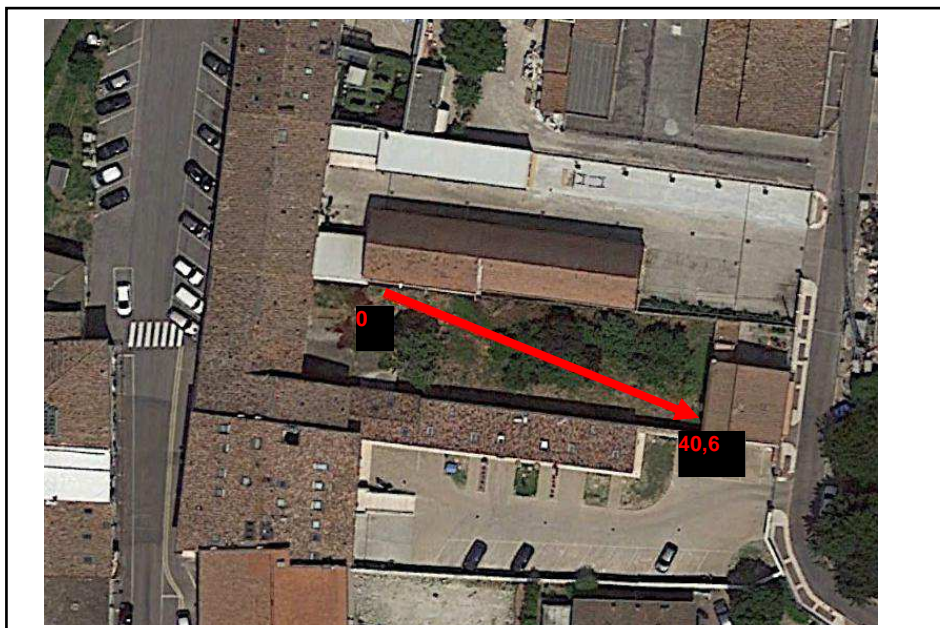


Fig.2 Ubicazione prova Masw

l'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche (V_s) del sottosuolo e la valutazione del parametro V_{s30} come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".*

Si ricorda che la normativa richiede l'azione sismica di progetto sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove V_{s_i} e h_i sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello stato i -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30 (m/sec)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ($N_{spt} > 50$) ($C_u > 250$ KPa)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180-360 ($15 < N_{spt} < 50$) ($70 < C_u < 250$ KPa)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 ($N_{spt} < 15$) ($C_u < 70$ KPa)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100 ($10 < C_u < 20$ Kpa)
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella1: classificazione del tipo di suolo secondo le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008 Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.



Fig. 3 Piazzamento prova Masw

Caratteristiche attrezzatura

Le indagini in sito sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali. Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,	
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,	
-Ambiente operativo:	Windows 3.11,	
-Canali:	24	
-Display:	VGA colori LCD TFT 10,4"	
-Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb	
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit	
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa	
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),	
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷2048 ms	Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 16 µs a 2 ms	
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz)	Passa Basso (100÷250 Hz)
	Notch (50÷180 Hz)	
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente	
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi	

- 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza 33 m l'uno per la prova MASW
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.

Metodologia d'indagine MASW

L'indagine sismica di tipo MASW, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto (V_{s30}). L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremiti di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica ($>2,5-3$) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio. La distanza tra il punto di energizzazione e il primo geofono è denominata "offset".

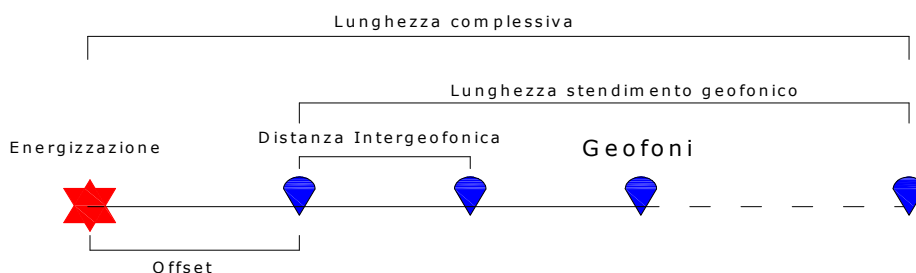


Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

La Base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con geometria come sotto indicato:

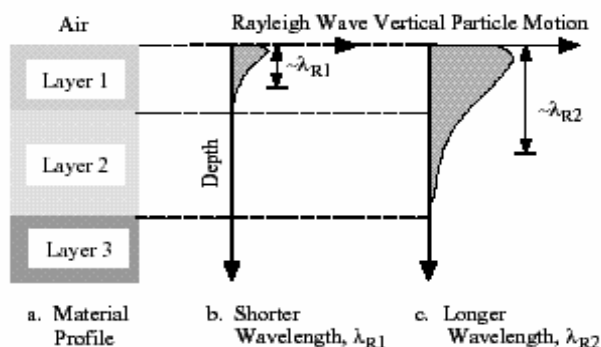
➤ Numero geofoni	24
➤ Distanza Intergeofonica	1,5 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	34,5 m
➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono “offset”	6 m
➤ Lunghezza complessiva	40,5 m

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di simica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato.

Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio Vs e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di investigazione di un indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della Vs assegnata ad una determinata profondità z dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè :

$$Z = \frac{\lambda}{(1,5 / 2,0)}$$

Inoltre si evidenzia che:

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$ (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

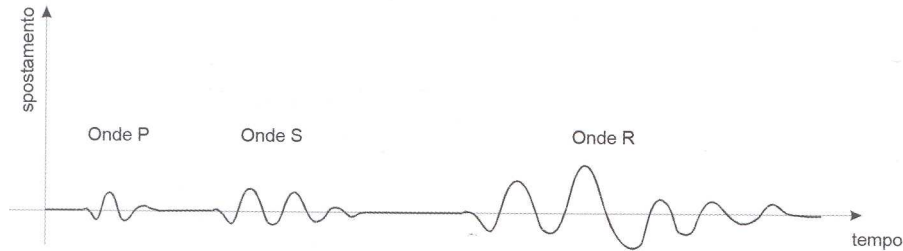


Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

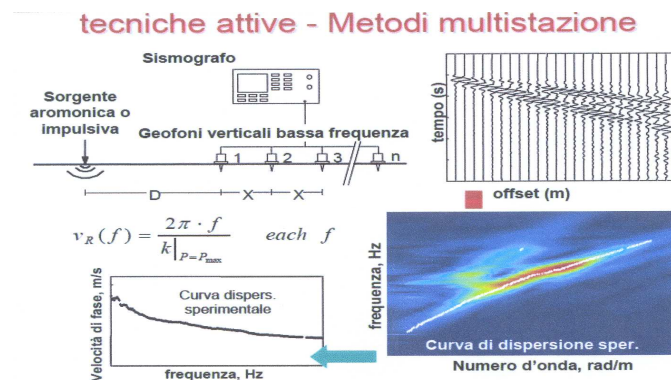
L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di V_s viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(fase)/f(frequenza)$, tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili V_s / profondità.

Interpretazione dati acquisiti

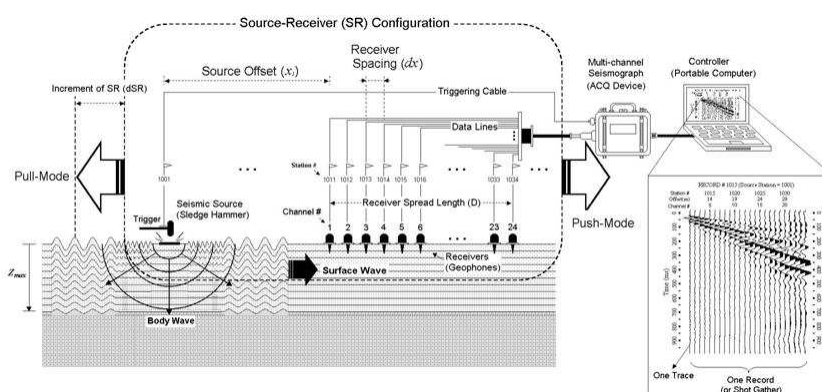
L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alti (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza massima 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità Vs, ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un massimo di circa 3-4 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura). Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (**SWAN®** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una "analisi spettrale" si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error") l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere $< 2-3\%$. L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione (ϵ_{MIN}) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed

eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello finale ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

- I dati della prospezione Masw ed in particolare il grafico "velocità sismica Vs – profondità", è contenuto nella allegata scheda: prospezione Sismica di Superficie –Metodologia MASW **MW_Concordia**
Nella scheda sono riportati:
 - Committente, cantiere, località, nome del file, strumentazione utilizzata e caratteristiche dell'indagine, data, direttore lavori e i risultati dell'elaborazione
 - Sismogramma misurato in campagna rappresentato nel dominio spazio/tempo
 - Spettro FK - Frequenza (Hz) / Numero d'onda (rad/m)
 - Sovrapposizione tra la curva di dispersione e curva teorica - Frequenza (Hz) / Velocità di Fase (m/s)
 - Grafico del modello della velocità – Velocità (m/s) / Profondità (m)

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.
- E' fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del $\pm 10\%$, quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando $\cdot 0,9$ le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Infatti ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Match fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate:

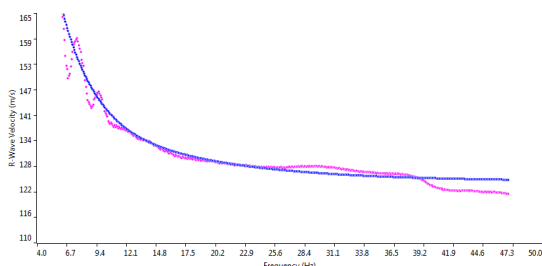


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità.
Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

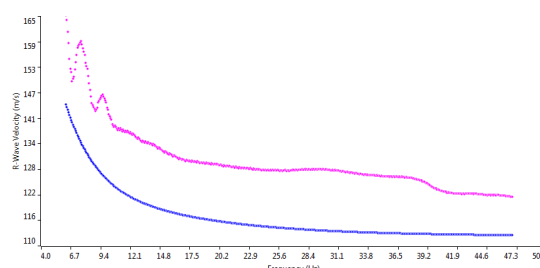


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità.
Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello NON ACCETTABILE

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione; sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e $V_{S30} \approx 190$ m/sec (grafico a sinistra) e $V_{S30} \approx 170$ m/sec (grafico a destra).

Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{s30})

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da art. 3.2 del DM 14-1-08) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e delle prove eseguite in sito, i valori della velocità media delle onde di taglio V_s risultano pertanto:

metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

1° strato: velocità media onde V_s 109 m/sec	spessore medio 0,56 m
2° strato: velocità media onde V_s 158 m/sec	spessore medio 6,71 m
3° strato: velocità media onde V_s 216 m/sec	spessore medio 6,73 m
4° strato: velocità media onde V_s 252 m/sec	spessore medio 6,75 m
5° strato: velocità media onde V_s 392 m/sec	spessore medio >9,25 m

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.2 DM 14-1-08), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurate, consentendo di ottenere la V_{s30} , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i-esimo
 V_{s_i} = velocità onde S nello strato i-esimo
 N = numero strati considerati

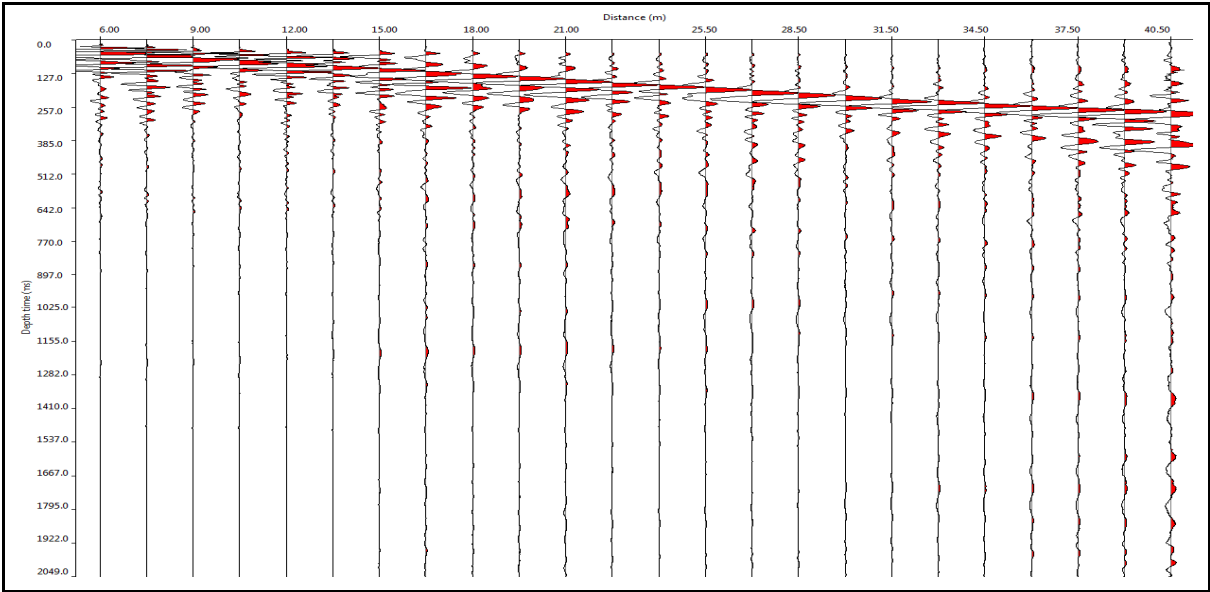
Ottenendo in base ai dati sopra esposti, ed in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC08, “

Prospezione MASW **V_{s30} = 232 m/sec (da p.c. a -30 m)**

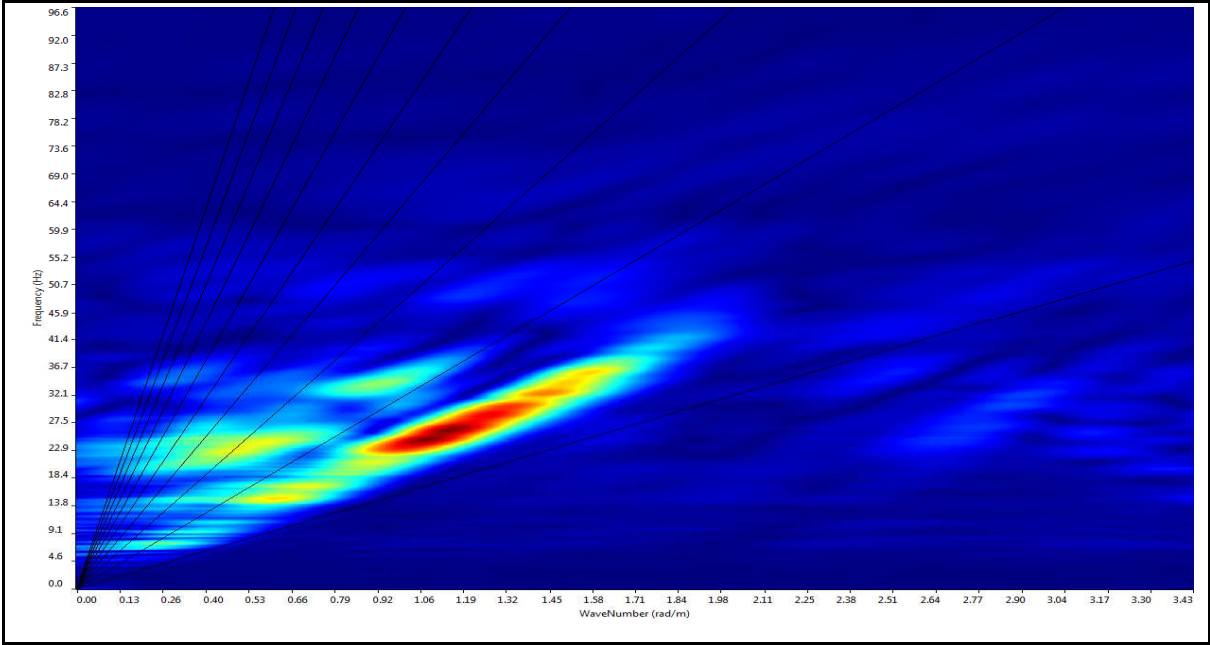
Il valore ottenuto corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s)

Si ricorda che “Per le fondazioni superficiali tale profondità va riferita al piano di imposta delle stesse...”,

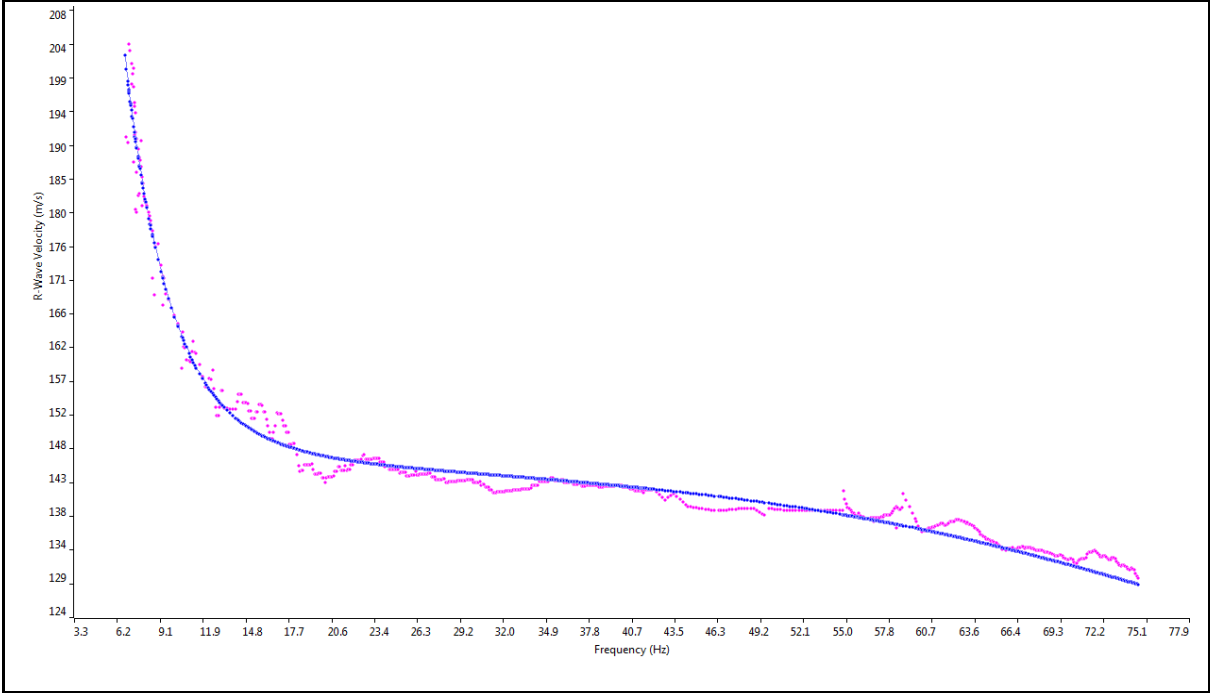
TECNOGEOFISICA snc



Sismogramma nel dominio spazio - tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata /curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

V_{S30} calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC08

Prof. posa fondazione in m da pc= 0

$V_s_{0/30} = 232 \text{ m/sec}$

PROFONDITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL
PROGETTISTA/COMMITTENTE

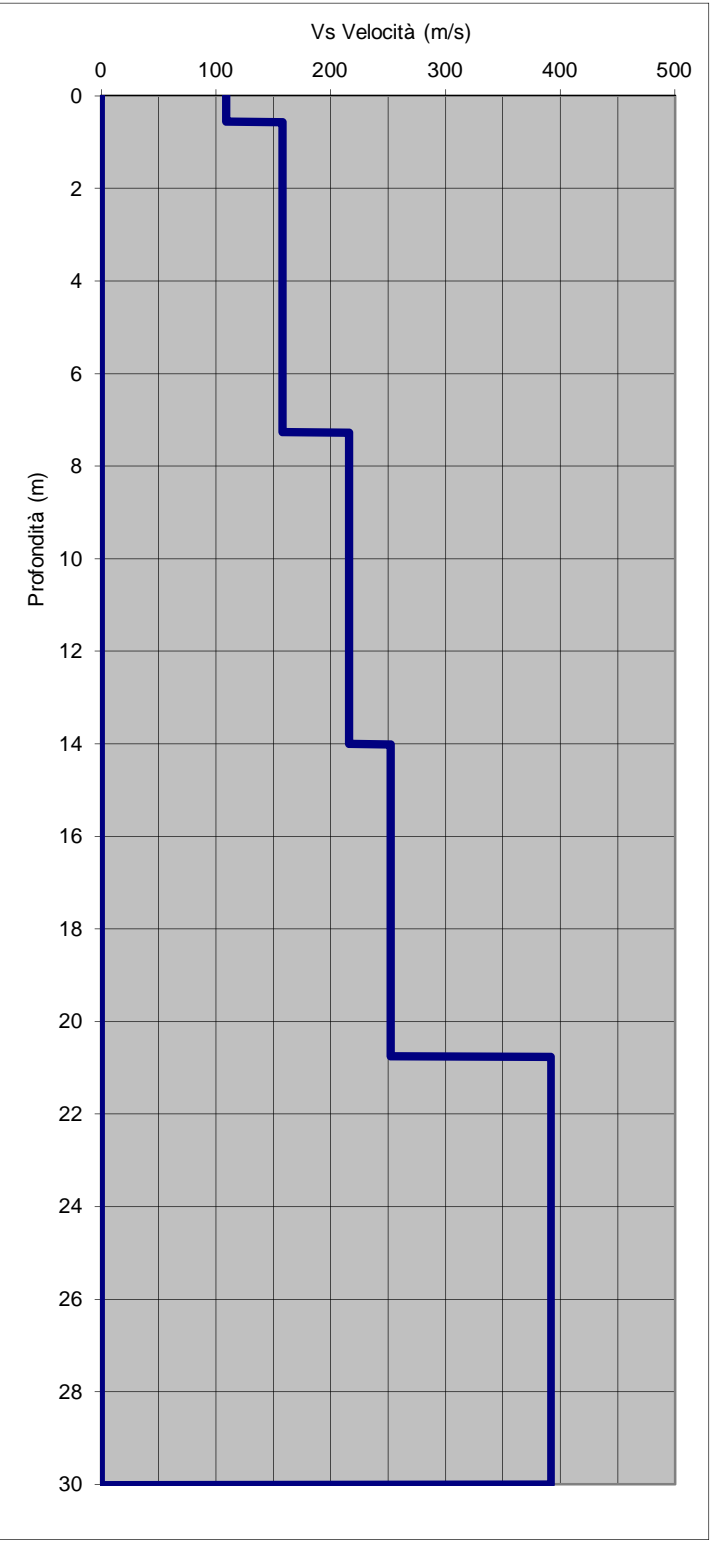


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati elaborazione

Strato	Profondità		Spessore	Vel
	da	a	m	m/sec
Strato1	0,00	0,56	0,56	109
Strato2	0,56	7,27	6,71	158
Strato3	7,27	14,00	6,73	216
Strato4	14,00	20,75	6,75	252
Strato5	20,75	30,00	9,25	392

$$V_{s_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$$V_{s_{30}} = 232 \text{ m/sec}$$

velocità calcolata dal p.c. naturale

Si ricorda che in base all'art 3.2.2 del DM 14 gennaio 2008

la Vs 30 di progetto è riferita al piano di imposta delle
fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di
fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.

Caratteristiche Indagine

Ubicazione indagine

Sismografo	PASI SG24	
Geofoni	Geospace	
N° geofoni a 4,5Hz	24	
Spaziatura geofoni	1,5	m
Lunghezza stendimento geofonico	34,5	m
Energizzazione	6	m
Lunghezza totale stendimento	40,6	m

PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE

METODOLOGIA MASW

COMMITTENTE:

Dr. Geol. Fabio Picinotti
Via S. Pellico, 4 - 43125 Parma

LOCALITA':

Via della Pace
Concordia sulla Secchia (MO)

CANTIERE:

Intervento di sistemazione sismica immobile

DATA: Ottobre 2015

FILE: MW_Concordia

Dir. Lavori:

Dr. Geol. Fabio Picinotti

Rif. 093_15

TECNOGEOFISICA snc

Via Catania, 1/a
41012 Carpi (MO)

info@tecnogeofisica.com

www.tecnogeofisica.com

ALLEGATO C

Verifica alla liquefazione

VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE
DATI GENERALI

COMUNE	:	Concordia
COMMITTENTE	:	AIPO
LOCALITA'	:	Concordia - Via Pace
DATA	:	Novembre 2015
LAVORO	:	Riparazione sismica di immobile demaniale

VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE
DATI DI CALCOLO

VERIFICA N°	1	MAGNITUDO	6.0	CARICO (kPa)	
AREA	1	ACCELERAZIONE MAX.	0.3	PROFONDITA' DEL CARICO (m)	
PROFONDITA' FALDA (m)	4.0				

DATI SULLE PROVE

PROVA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PROF.(m)	0,5	2	3,5	4,5	6	7,6	9	11	13	15	16,5	19	20	20,5	20.9
qc (kPa)	2460	1290	620	550	960	820	1300	1410	1290	1550	1890	1920	2250	25850	320000
fs (kPa)	21,4	73,1	18,1	19,9	45,9	56,2	64,4	72,3	52,1	90,6	121,4	67,4	74,7	82,3	132,2

DATI SULLA STRATIGRAFIA

STRATO N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PROFONDITA' (m)	1,5	3,5	9	16	19	20,5	21			
DENSITA' (kN/mc)	17	18,2	17,3	18,3	19	19,2	19,5			
CLASSIFICAZIONE	SM	CL	CL	CL	CL	SM	SW			

METODO MODIFICATO ROBERTSON - WRIDE

Prova N°	Prof. (m)	q _c (kPa)	fs (kPa)	Pt (kPa)	Pc (kPa)	n	Q	F	Ic	Cq	FC (%)	Kc	(qc/1N)cs	(N1/6)cs
1	0,5	2460	21,4	8,5	8,5	0,5	83,53	0,87	1,93	3,45	11,25	1,22	102,58	20,83
2	2	1290	73,1	34,6	34,6	1	36,28	5,82	2,75	2,92	43,44	4,41	164,58	48,27
3	3,5	620	18,1	61,9	61,9	1	9,01	3,24	3,05	1,63	62,13	7,35	73,66	25,77
4	4,5	550	19,9	79,2	74,29	1	6,33	4,22	3,24	1,36	76,51	9,88	73,16	29,21
5	6	960	45,9	105,15	85,53	1	9,99	5,36	3,14	1,18	68,95	8,53	95,75	35,66
6	7,6	820	56,2	132,82	97,52	1	7,04	8,17	3,37	1,03	87,91	11,99	100,82	44,72
7	9	1300	64,4	157,05	108,01	1	10,58	5,63	3,14	0,93	68,47	8,44	101,68	37,71
8	11	1410	72,3	193,65	125	1	9,73	5,94	3,18	0,81	77,93	9,02	101,78	38,89
9	13	1290	52,1	230,25	141,99	1	7,46	4,91	3,22	0,71	74,94	9,59	87,2	34,31
10	15	1550	90,6	266,85	158,97	1	8,07	7,06	3,29	0,63	80,55	10,62	103,55	42,9
11	16,5	1890	121,4	294,64	172,06	1	9,27	7,6	3,26	0,58	78,42	10,23	112,38	45,65
12	19	1920	67,4	342,15	195,05	1	8,08	4,27	3,16	0,51	69,96	8,71	85,73	32,23
13	20	2250	74,7	361,35	204,44	1	9,23	3,95	3,09	0,49	65,05	7,85	86,44	31,06
14	20,5	25850	82,3	370,95	209,14	0,5	175,02	0,32	1,42	0,69	1,86	1	177,57	30,28
15	20,9	320000	132,2	378,74	213,01	0,5	217,55	0,04	0,21	0,68	0	1	2178,13	268,52

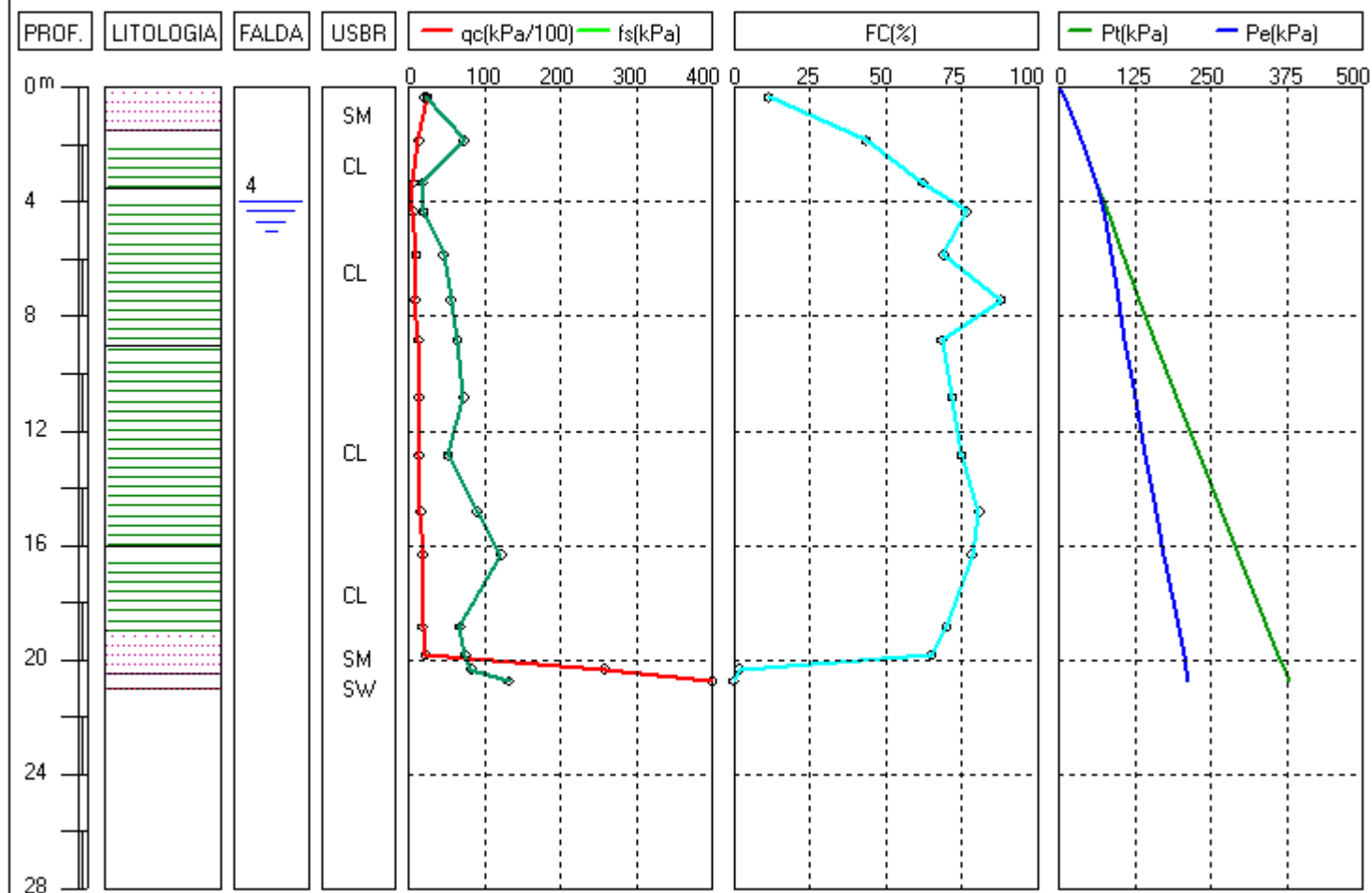
[illegible]

VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE
METODO MODIFICATO ROBERTSON - WRIDE

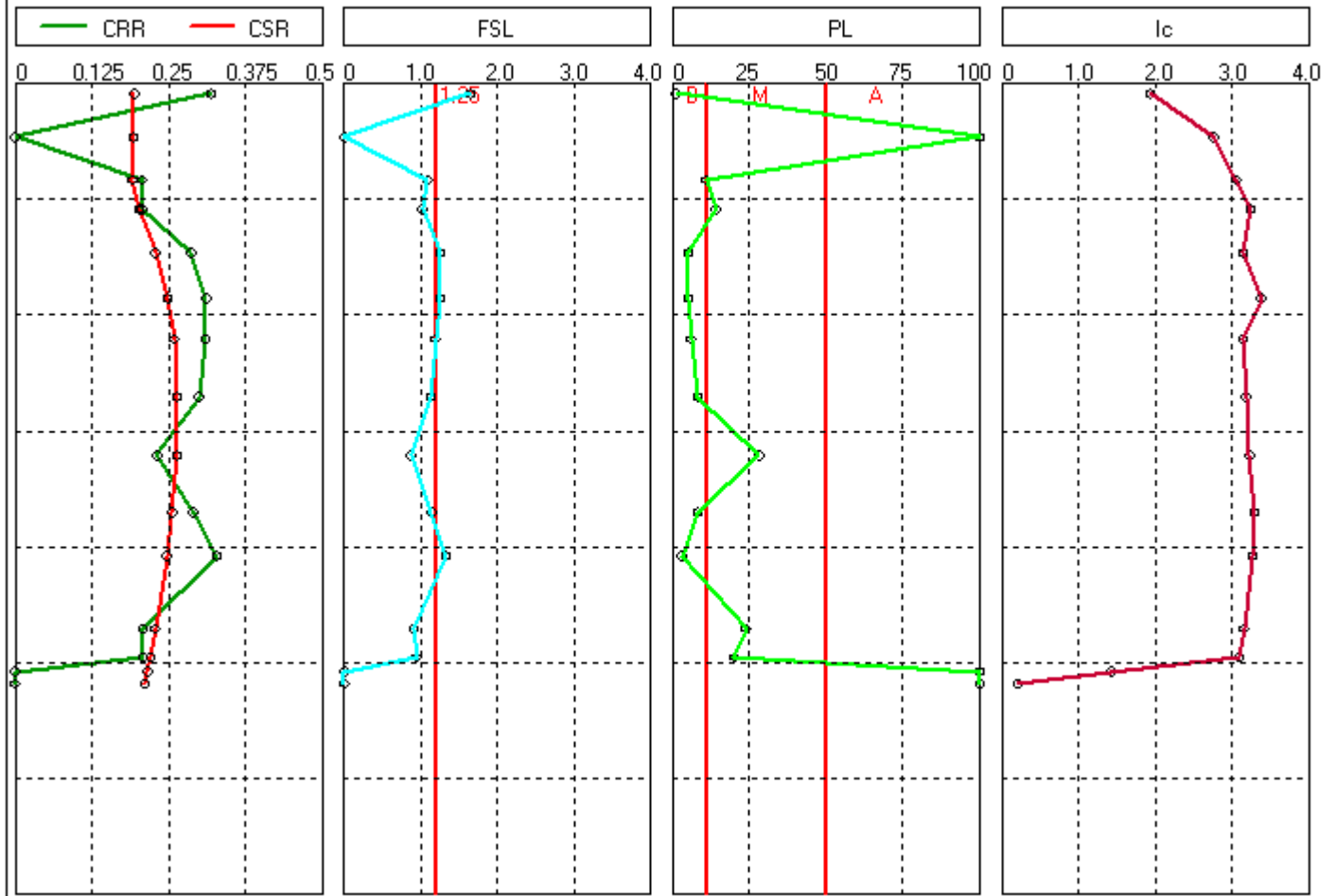
LEGENDA

qc	Resistenza alla punta misurata	CSR	Sforzo di taglio indotto dal sisma
fs	Attrito laterale specifico misurato	fsl	Fattore di sicurezza applicato a CSR
Pt	Tensione verticale litostatica	CRR7.5	Resistenza al taglio mobilitata per un terremoto di magnitudo 7.5
Pe	Tensione verticale litostatica efficace	Ksigma	Fattore di correzione della pressione di sovraccarico per CRR7.5
n	Esponente pressione (Ic)	CRRv	Resistenza al taglio mobilitata corretta con Ksigma
Q	Resistenza alla punta normalizzata	MSF	Fattore di scala della magnitudo per CRR7.5
F	Attrito laterale normalizzato	CRRm	Resistenza al taglio mobilitata dopo la correzione con MSF
Ic	Indice del tipo di terreno	CSRfsl	CSR corretto con un fattore di sicurezza fsl
Cq	Fattore di correzione pressione di sovraccarico	FSL	Fattore di sicurezza
FC	Contenuto in fini	PL	Probabilità/Indice del potenziale di liquefazione
Kc	Fattore di correzione fini	De*	Descrizione (probabilità di liquefazione)
rd	Coefficiente di riduzione delle tensioni	CL	Classe di fattibilità
(N1)60cs	Resistenza penetrometrica (N1)60 corretta	N/A	Non applicabile in terreni coesivi o asciutti
(qc1N)cs	Resistenza alla punta corretta per la presenza di fini		

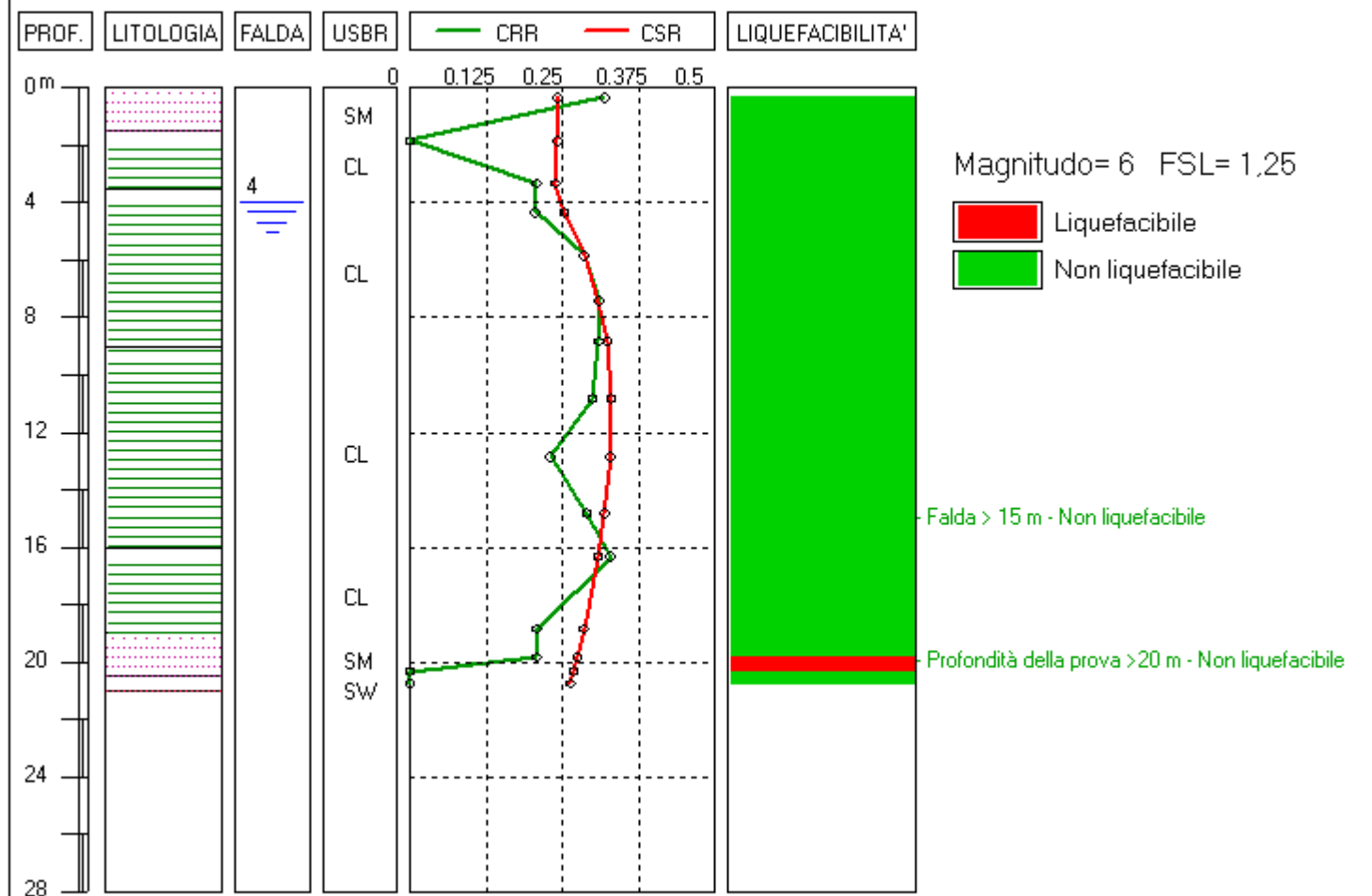
VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE



VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

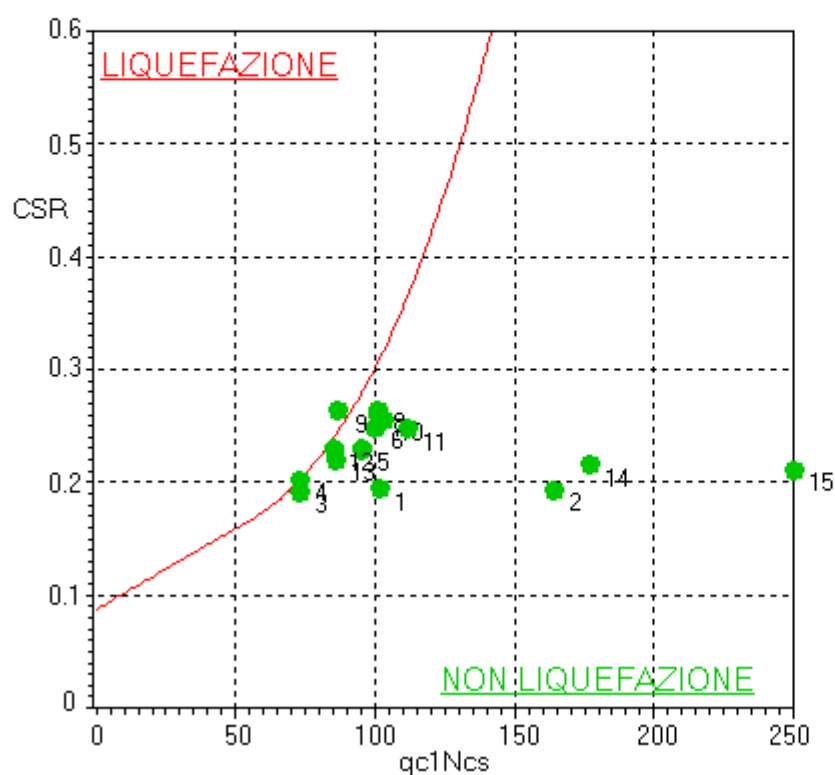


VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE



VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL SITO

Sabbia pulita M=6 FSL=1



N°	CSR	(qc1N)cs	(qc1N)csf	CRReq
1	0,194	102	52	0,194
2	0,193	164	51,4	0,193
3	0,191	73	50	0,191
4	0,202	73	56,7	0,202
5	0,229	95	68,5	0,229
6	0,248	100	74,8	0,248
7	0,259	101	79,19	0,259
8	0,264	101	83,09	0,264
9	0,263	87	85,09	0,263
10	0,255	103	84,89	0,255
11	0,247	112	84,09	0,247
12	0,229	85	80,99	0,229
13	0,22	86	78,89	0,22
14	0,215	177	77,69	0,215
15	0,211	250	76,59	0,211

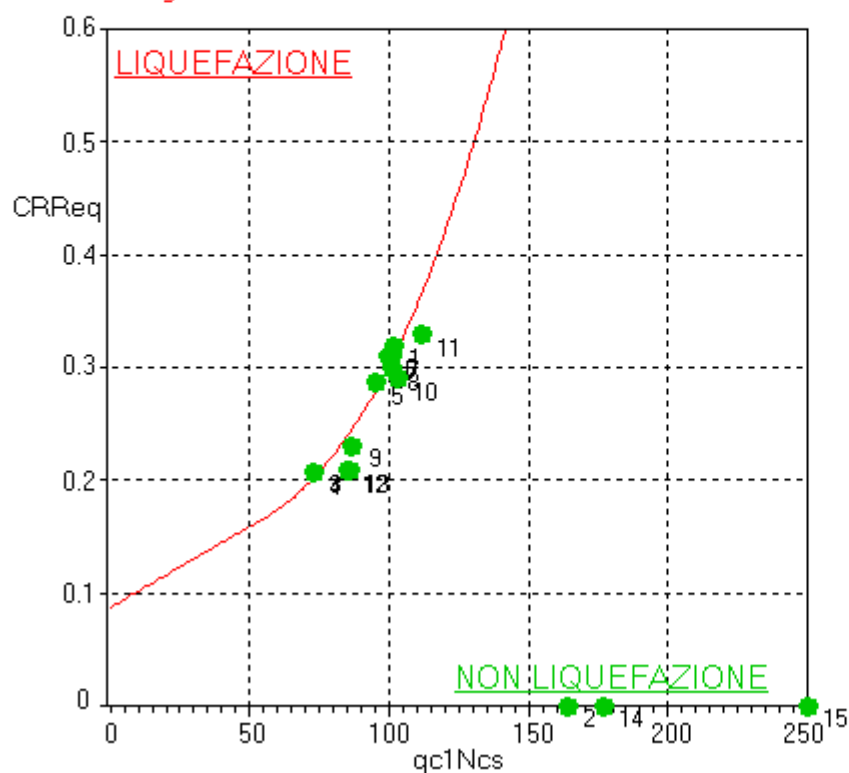
Media 0,231 97,2 71,67 0,231

STIMA DELL'ACCELERAZIONE CRITICA

Sabbia pulita $M=6$ FSL= 1,25

Fattore di amplificazione PGA = 1,31 Accelerazione critica = 0,31 g

Categoria di suolo di fondazione = C $V_{s30} = 324$ m/sec



N°	CSR	(qc1N)cs	(qc1N)csf	CRReq
1	0,194	102	92,29	0,319
2	0,193	164	51,4	0,193
3	0,191	73	59,4	0,207
4	0,202	73	58,7	0,206
5	0,229	95	85,09	0,286
6	0,248	100	90,49	0,31
7	0,259	101	91,39	0,309
8	0,264	101	91,49	0,299
9	0,263	87	75,69	0,23
10	0,255	103	93,29	0,289
11	0,247	112	102,39	0,328
12	0,229	85	74	0,208
13	0,22	86	74,8	0,207
14	0,215	177	77,69	0,215
15	0,211	250	76,59	0,211
Media	0,231	97,2	77,2	0,248

ALLEGATO D

Documentazione fotografica



Foto 1 – Prova penetrometrica SCPTU 1



Foto 2 – Particolare della prova penetrometrica SCPTU 1