

COMUNE DI NOVELLARA

Provincia di Reggio Emilia

**Progetto di costruzione di due nuove porcilaie
per ampliamento di allevamento suinicolo
in Strada Casaletto n. 4/A a Novellara (RE)**

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA E SISMICA

Committente: **Az. Agr. di Beltrami Alberto**
Strada Casaletto n. 4/A - 42017 Novellara (RE)

Il Geologo incaricato: **Dott. Geol. Alfredo Speroni**
Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna n° 549
Via Prato Bovino, 73/A – 42024 Castelnuovo di Sotto (RE)
Tel. e Fax: 0522 688313; Cell. 338 1204504
e-mail: alfredosperoni61@gmail.com
alfredosperoni@alice.it
PEC: alfredosperoni@pec.epap.it
Cod. Fisc: SPRLRD61D03C218K – P. IVA: 01407840352



Castelnuovo di Sotto, Gennaio 2026

Sommario

1. PREMESSA.....	- 2 -
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E STATO DI FATTO DELL'AREA	- 3 -
3. MODELLO GEOLOGICO.....	- 4 -
3.1. CARATTERI GEOLOGICI E MORFOLOGICI	- 4 -
3.2. CARATTERI IDROGRAFICI.....	- 6 -
3.3. CARATTERI IDROGEOLOGICI	- 9 -
4. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DI DETTAGLIO DEL SITO.....	- 12 -
5. SISMICITÀ	- 15 -
5.1. CARATTERISTICHE SISMOTETTONICHE.....	- 15 -
5.2. SISMICITÀ DEL TERRITORIO	- 18 -
5.3. CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	- 20 -
5.4. RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	- 26 -
5.4.1. <i>Categoria del sottosuolo di fondazione</i>	- 26 -
5.4.2. <i>Effetti sismici locali</i>	- 27 -
5.4.2.1. Amplificazione stratigrafica	- 27 -
5.4.2.2. Amplificazione topografica	- 28 -
5.4.2.3. Fenomeni di densificazione e cedimenti postsismici	- 28 -
5.4.2.4. Verifica del rischio di liquefazione	- 29 -
6. GEOTECNICA	- 33 -
6.1. ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITU	- 33 -
6.1.1. <i>Stato tensionale</i>	- 33 -
6.1.2. <i>Depositi coesivi</i>	- 33 -
6.1.2.1. Resistenza al taglio in condizioni non drenate	- 33 -
6.1.2.2. Angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate	- 33 -
6.1.2.3. Caratteristiche di deformabilità	- 33 -
6.1.3. <i>Depositi granulari</i>	- 34 -
6.1.3.1. Angolo di resistenza al taglio	- 34 -
6.1.3.2. Caratteristiche di deformabilità	- 34 -
6.2. MODELLO GEOTECNICO	- 34 -
6.3. MODULO DI REAZIONE E MODULO DI WINKLER	- 39 -
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	- 40 -

1. PREMESSA

Il presente studio geologico-tecnico e sismico è stato svolto per conto dell' **Azienda Agricola di Beltrami Alberto** di Novellara, ed in accordo con i progettisti dello Studio Tecnico Bergianti di Reggio Emilia, allo scopo di caratterizzare sotto il profilo geologico-geomorfologico, geotecnico e sismico l'area e i terreni di fondazione interessati dal progetto di costruzione di due nuove porcilaie in ampliamento ad un allevamento suinicolo sito in Strada Casaletto n.4/A a San Giovanni di Novellara (ved. Tav.1 e Tav.2).

Gli studi e i rilievi effettuati in situ sono stati svolti in ottemperanza a quanto prescritto dalle normative vigenti in materia. In particolare si fa riferimento a:

- D.P.R. 328/01;
- O.P.C.M. n° 3274 (2003) - *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*;
- Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione Emilia-Romagna – DAL n. 40 del 21/12/2005;
- D. Lgs.152 del03/04/2006 - *Norme in materia ambientale*;
- O.P.C.M. 3519 del 28/04/2006 ;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – *Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007*;
- L. R. dell'Emilia Romagna 30/10/2008 n.19 – *Norme per la riduzione del rischio sismico*.
- L. R. dell'Emilia Romagna 30/11/2009 n.23 – *Norme in materia di tutela e valorizzazione del paesaggio. Modifica della Legge Regionale 24/03/2000 n. 20 (Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio) e norme transitorie in merito alla Legge Regionale 30/10/2008 n.19 (Norme per la riduzione del rischio sismico)*;
- Direttiva 2007/60/CE e D.Lgs. 49/2010;
- L. R. n.15 del 30/07/2013;
- D.G.R. 01/08/2016 n.1300;
- D.M. 17/01/2018 – *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"*;
- Circolare 21/01/2019 C.S.LL.PP.

Oltre alla caratterizzazione litostratigrafica e litotecnica del sito preso in esame, lo studio si articola in una serie di analisi di carattere tematico relative all'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area al contorno. A tale scopo è stata svolta preliminarmente una ricerca bibliografica con la raccolta di dati relativi a studi effettuati in precedenza nella zona.

La fase dello studio di dettaglio in situ è consistita in rilievi effettuati sul posto e nell'analisi di indagini geognostiche specifiche che hanno consentito la caratterizzazione litologica, litotecnica e sismica dei terreni in posto.

Per la definizione delle caratteristiche litologiche e litotecniche dei terreni di fondazione sono state prese a riferimento una serie di prove penetrometriche statiche già effettuate all'interno della medesima area aziendale in occasione di un precedente studio condotto dallo scrivente nel 2016 in ordine a precedenti interventi edificatori (v. Tav. 4). In considerazione della prossimità di tali indagini geognostiche all'area di sedime dei nuovi fabbricati in progetto, ed in considerazione del fatto che dette indagini evidenziano

condizioni di buona omogeneità e correlabilità litologica e litotecnica in senso orizzontale in tutta l'area, si è ritenuto di non procedere all'esecuzione di ulteriori sondaggi penetrometrici.

Anche per la caratterizzazione sismica dell'area ai sensi del D.M. 17/01/2018 (*aggiornamento delle "Norme Tecniche delle Costruzioni"*), con determinazione della classe di terreni sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde sismiche di taglio V_s , è stata presa a riferimento una prospezione sismica a rifrazione di tipo MASW anch'essa effettuata in prossimità dell'area in oggetto, ed all'interno della medesima area aziendale, per il predetto studio condotto dallo scrivente nel 2016.

Le prove penetrometriche statiche furono eseguite dalla Ditta INTERGEO S.r.l. di Modena in data 31/03/2016, mentre per quanto riguarda l'indagine geofisica di tipo sismico (MASW), realizzata sempre in data 31/03/2016, ci si avvale della collaborazione specialistica della Ditta GEO-XPART ITALIA – Servizi – Tecnologia e Ambiente S.n.c. con sede in Vignola (MO).

Tutte le indagini geognostiche suindicate sono state ubicate nella planimetria di Tav. 4 riportata in coda alla presente relazione, mentre i relativi tabulati, grafici e report sono riportati rispettivamente in Allegato 1 e Allegato 2.

A corredo della presente relazione sono stati realizzati i seguenti elaborati cartografici:

- **Tav. 1 – Corografia** - scala 1:100.000
- **Tav. 2 – Inquadramento territoriale** (da Google Earth) - scala 1:10.000
- **Tav. 3 – Carta litomorfologica** - scala 1:5.000
- **Tav. 4 – Planimetria generale dell'area** - scala 1:1000
- **Tav. 5 – Sezione litostratigrafica** – scala $d=1:500$, scala $h=1:200$
- **Tav. 6 – Sezione geotecnica** – scala $d=1:500$, scala $h=1:200$

Inoltre sono stati riportati i seguenti allegati:

- **All. 1 – Prove penetrometriche statiche relative ad uno studio precedente**
- **All. 2 – Prospezione sismica a rifrazione di tipo MASW relativa ad uno studio precedente**

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E STATO DI FATTO DELL'AREA

L'intervento in progetto, come già detto Premessa, è relativo alla costruzione di due nuove porcilaie, di superficie pari a circa 1645 m² cadauna, all'interno dell'area aziendale dell'Az. Agr. di Beltrami Alberto sita in Strada Casaletto n.4/A a San Giovanni di Novellara (RE) (v. Tav.1 e Tav.2).

Rispetto alla Carta Tecnica Regionale dell'Emilia Romagna il sito è compreso nell'Elemento (scala 1:5.000) n. 183134, da cui è tratta la base topografica della cartografia tematica di Tav.3 mediante assemblaggio con stralci anche degli Elementi 183133, 182161 e 182162.

Per quanto attiene alla tutela paesistica, con riferimento al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) approvato dalla Provincia di Reggio Emilia con Del. n. 124 del 17/06/2010, e succ. varianti, l'area considerata non è gravata da vincoli di tipo paesaggistico.

Relativamente all'uso reale del suolo il sito si inserisce in una vasta area a vocazione agricola con uso del suolo essenzialmente a colture rotazionali e seminativo semplice. Nell'area di nuova edificazione tuttavia non sono presenti emergenze di tipo naturalistico o paesaggistico, né sono presenti essenze arboree pregiate di cui sia previsto il taglio.

3. MODELLO GEOLOGICO

3.1. Caratteri geologici e morfologici

La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini, avvenuto attraverso un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali di età pliocenica e quaternaria.

L'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (PIERI & GROPPA, 1982).

Il riempimento del bacino è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Questo riempimento del bacino non è avvenuto in maniera progressiva e continua, ma è il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

L'interpretazione dei profili sismici eseguiti nel corso degli anni dall'AGIP (Di Dio, 1997) ha permesso di riconoscere due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, connessa al paleodelta del Po; la seconda, trasversale, nord-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica.

Sulla base dei moderni concetti di stratigrafia sequenziale, ossia del metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali, nell'ambito dei depositi quaternari del margine appenninico padano e dell'antistante pianura sono state riconosciute due sequenze principali, in risposta ad altrettanti eventi tettonici di sollevamento regionale, così denominate:

- **SUPERSINTEMA DEL QUATERNARIO MARINO** (affiorante nella fascia collinare)
- **SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO**

L'organizzazione verticale delle facies di questi sistemi deposizionali è costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana, indotta dalle disattivazioni e dalle successive riattivazioni dei sistemi deposizionali.

All'interno delle sequenze deposizionali principali (Supersintemi) sono state distinte sequenze di rango inferiore, denominate **Sintemi**, delimitate da superfici di discontinuità indotte da eventi tettonici minori

a carattere locale e/o da oscillazioni climatico-eustatiche; a loro volta i *Sintemi* vengono suddivisi in unità minori (**Subsintemi e Unità**).

In particolare il settore di territorio in studio ricade nella fascia di medio-bassa pianura, costituita da una successione di sedimenti quaternari continentali riferibili alla deposizione operata nel tempo dai corsi d'acqua appenninici (*Supersistema Emiliano-Romagnolo*), che hanno dato origine ad ampie conoidi con apici nella fascia pedecollinare e che si aprono a ventaglio in direzione della pianura.

Con riferimento alla terminologia della “*Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG*”, elaborata secondo i concetti di stratigrafia sequenziale, i depositi affioranti nell’areale in studio sono riferibili al *Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)* (depositi della Pianura Padana di età 0.45 M.a. - Presente), la cui base è posta in questo settore di pianura a profondità comprese fra -200 m e -250 m rispetto al livello del mare. Di tale unità nell’area di interesse affiorano due sottounità che vengono così definite:

- **Subsistema di Ravenna (AES8) (Pleistocene sup. - Olocene)**: limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell’alta pianura su AES7b. Potenza fino ad oltre 20 m.
- **Subsistema di Ravenna – Unità di Modena (AES8a) (Olocene)**: depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (<10 m).

Nello specifico l’area in studio si colloca su terreni attribuibili al **Subsistema di Ravenna (AES8)**, che sono caratterizzati da una stratificazione di tipo cuneiforme e la cui granulometria è in stretto rapporto con l’energia delle correnti fluviali che li hanno originati: i sedimenti più grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di canale fluviale, mentre quelli fini di una sedimentazione per trascinamento avvenuta in zone distali dall’alveo attivo.

La conformazione attuale del territorio, infatti, è il risultato di processi che hanno operato in epoca antecedente all’arginatura e canalizzazione dei corsi d’acqua, nel corso di un mutevole divagare degli stessi indotto da fattori tettonici e climatici.

Nello specifico l’area considerata è caratterizzata da una litologia superficiale a granulometria fine rappresentata da argille e argille limose che ricoprono con continuità tutta l’area al contorno (ved. Tav. 3).

Sotto il profilo geomorfologico l’area in studio si colloca nella “bassa pianura” reggiana, caratterizzata, come già detto, da depositi continentali a granulometria fine e molto fine di origine alluvionale legati alla deposizione di acque a bassa competenza.

Dal punto di vista altimetrico il sito si inserisce in un contesto caratterizzato da una morfologia tabulare e sub-pianeggiante, alla quota di circa 22.00 m s.l.m., con una debole cadente topografica mediamente pari a 0.1% e vergente a larga scala verso NNE.

3.2. Caratteri idrografici

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale essa è rappresentata dalla normale rete irrigua e/o scolante, regimata ed incanalata dalle opere di bonifica agraria, che assicura il drenaggio dell'area.

L'attuale configurazione del reticolo idrografico della zona è il risultato degli interventi antropici che nel corso dei secoli hanno rettificato e modificato l'assetto della originale maglia drenante. Tale drenaggio è il risultato delle bonifiche effettuate dal XVI° sec. (Piano di Bonifica Bentivoglio) al XIX° sec.

I successivi interventi di bonifica, a partire dalla fine del XIX° sec., hanno prodotto l'assetto idrografico attuale.

Gli elementi idrografici principali, presenti in prossimità del sito considerato, sono rappresentati dal Cavo Bondeno, che scorre circa 330 m ad est con direzione di deflusso verso nord, ed il Cavo Tassone che scorre circa 2.0 km ad ovest con direzione di deflusso verso NNW.

Per quanto attiene ai corsi d'acqua di ordine superiore, il T. Crostolo dista circa 3.5 Km ad W, mentre il F. Po dista circa 10.8 Km in direzione NNW.

Relativamente al rischio di inondabilità ed esondabilità dell'area connesso con gli eventi eccezionali dei torrenti appenninici, in relazione alla D.G.R. dell'Emilia Romagna n.1300/2016 e al P.G.R.A. (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – Direttiva 2007/60/CE e D. Lgs. 49/2010) dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, il sito in oggetto, con riferimento all'ambito territoriale del Reticolo Secondario di Pianura, viene definito a media pericolosità P2-M (alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità) (ved. Fig.1). Conseguentemente, prendendo in considerazione il danno potenziale determinato dal tipo di insediamenti presenti, ossia il grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità degli elementi esposti, il sito ricade in una Classe di rischio medio R2, per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche (ved. Fig. 2).

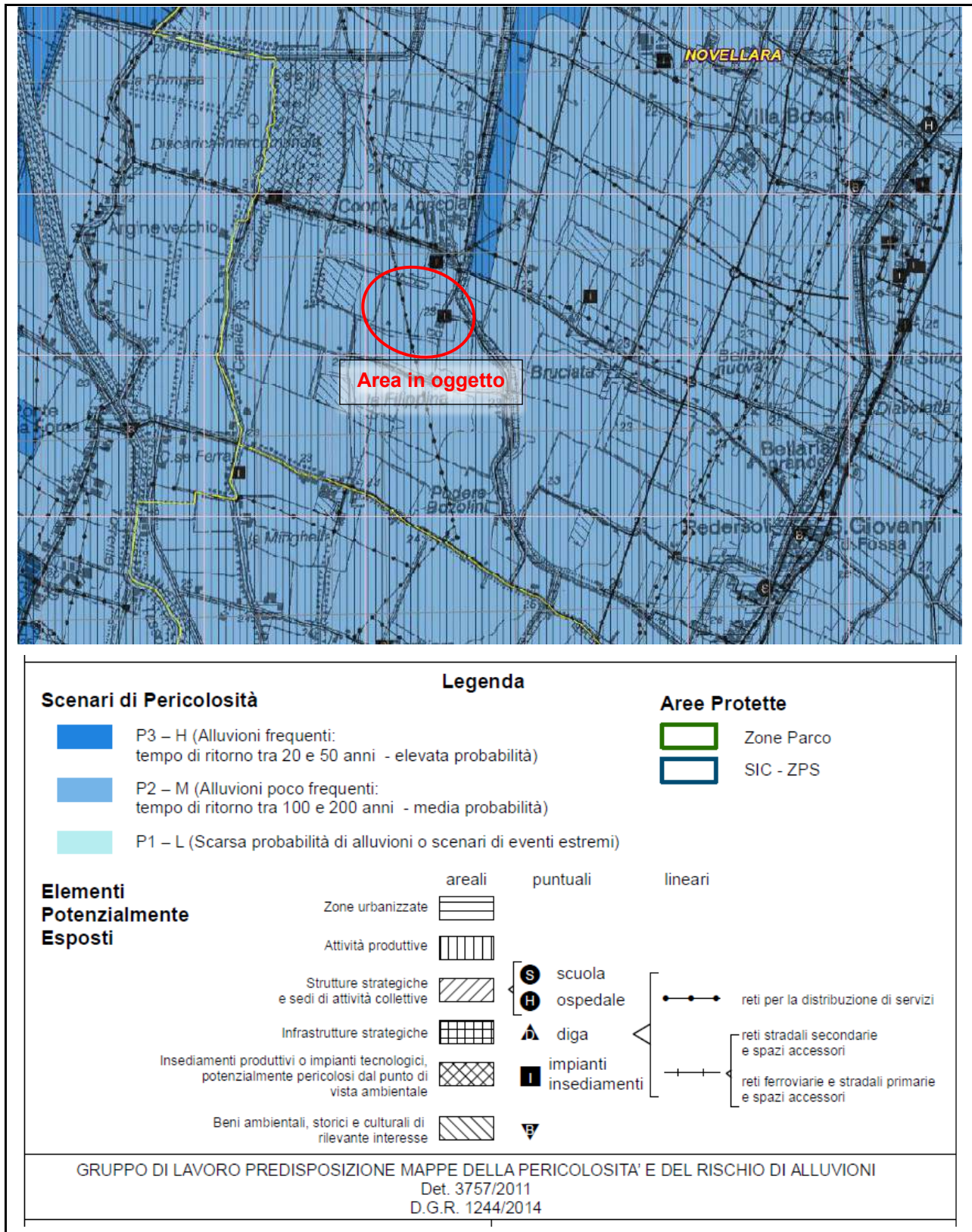
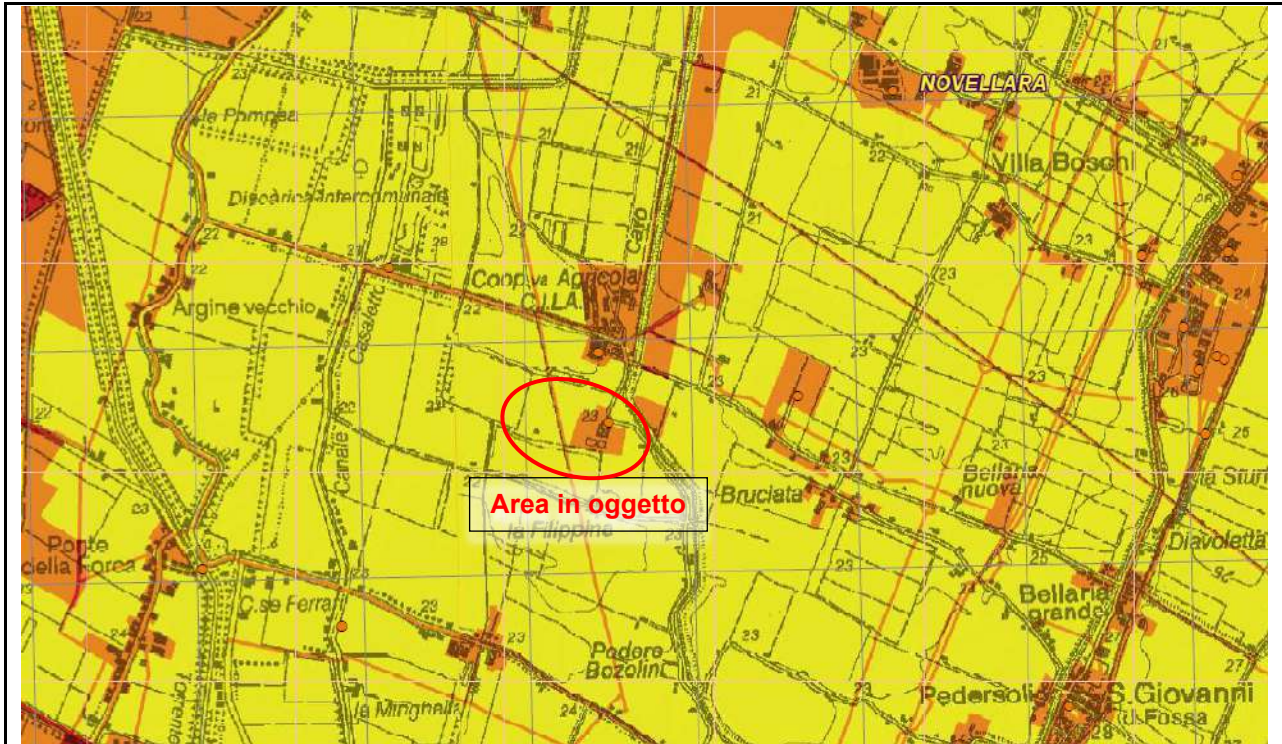


Fig. 1 – Stralcio dalla “Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti” – Tav. 182 SE - Ambito Territoriale: Reticolo Secondario di Pianura da: Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – Direttiva 2007/60/CE e D. Lgs. 49/2010



La cartografia rappresentata consiste nella mappatura del rischio di alluvioni, predisposta in attuazione della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010. In particolare, l'art. 6 comma 5 del D.Lgs. 49/2010 recita:
 "Le mappe del rischio di alluvioni indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni, nell'ambito degli scenari di cui al comma 2 e prevedono le 4 classi di rischio di cui al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 29 settembre 1998, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 3 del 5 gennaio 1999 [...]".
 Il D.P.C.M. 29.09.98 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e del D.L. 11.06.98, n. 180", richiamato nel D.Lgs. 49/2010, definisce quattro classi di rischio:
 • **R4 (rischio molto elevato):** per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.
 • **R3 (rischio elevato):** per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;
 • **R2 (rischio medio):** per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
 • **R1 (rischio moderato o nullo):** per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.
 Ai fini dell'attuazione del D.Lgs. 49/2010, le mappe del rischio sono state elaborate seguendo le indicazioni di cui al documento "Indirizzi operativi per l'attuazione della direttiva 2007/60/ce relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni", (MATTM, aprile 2013; http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/varidocumento_definitivo_indirizzi_operativi_direttiva_alluvioni_gen_13.pdf) in base ai quali la definizione del concetto di rischio si basa sulla seguente formula:
 $R = P \times E \times V = P \times Dp$ dove:
P (pericolosità): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;
E (elementi esposti): persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;
V (vulnerabilità): grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;
Dp (danno potenziale): grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;
R (rischio): numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità.
 L'analisi del rischio è stata svolta, pertanto, sovrapponendo, mediante procedure automatizzate su piattaforma GIS - Arcmap, alle mappe della pericolosità di alluvioni la cartografia degli elementi esposti distinti in 4 classi di danno potenziale (da D4 a D1), utilizzando l'algoritmo definito dagli "Indirizzi operativi" del MATTM, in particolare mediante la elaborazione di una matrice generale (Figura 1) che associa le classi di pericolosità P1, P2, P3 alle classi di danno D1, D2, D3 e D4, declinata in funzione della specificità e dell'intensità dei processi attesi (Figura 2, Figura 3 e 4).
 Pertanto, definiti i 3 livelli di pericolosità (P3, P2, P1) e i 4 di danno potenziale (D4, D3, D2, D1) sono stati stabiliti i quattro livelli di Rischio conseguenti R4, R3, R2 ed R1 e quindi redatte le mappe del rischio.

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

Figura 1 – Matrice del rischio (Indirizzi Operativi MATTM)

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

Figura 2 – Matrice del rischio di tipo A

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

Figura 3 – Matrice del rischio di tipo B

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

Figura 4 – Matrice del rischio di tipo C

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



**Fig. 2 – Stralcio dalla "Mappa del rischio potenziale" –
 Tav. 182 SE - Ambito Territoriale: Reticolo Secondario di Pianura
 da: Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – Direttiva 2007/60/CE e D. Lgs. 49/2010**

3.3. Caratteri idrogeologici

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

Secondo i più recenti studi (cfr. "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia Romagna" - Regione Emilia Romagna e Direzione Esplorazione Italia dell'ENI-AGIP S.p.A. a cura di G. Di Dio, 1998), si distinguono, sia in superficie che nel sottosuolo, 3 Unità Idrostratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C, a loro volta suddivise in 12 UIS gerarchicamente inferiori denominate Complessi Acquiferi (cfr. Fig. 3). Esse affiorano sul margine meridionale del Bacino Idrogeologico della Pianura per poi immergersi verso nord al di sotto dei sedimenti depositati dal fiume Po e dai suoi affluenti negli ultimi 20.000 anni, contenenti acquiferi di scarsa estensione e potenzialità (Acquifero Superficiale).

Ciascun Gruppo Acquifero risulta idraulicamente separato, almeno per gran parte della sua estensione, da quelli sovrastanti e sottostanti, grazie a livelli argillosi di spessore plurimetrico sviluppati a scala regionale, denominati Barriere di Permeabilità Regionali.

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

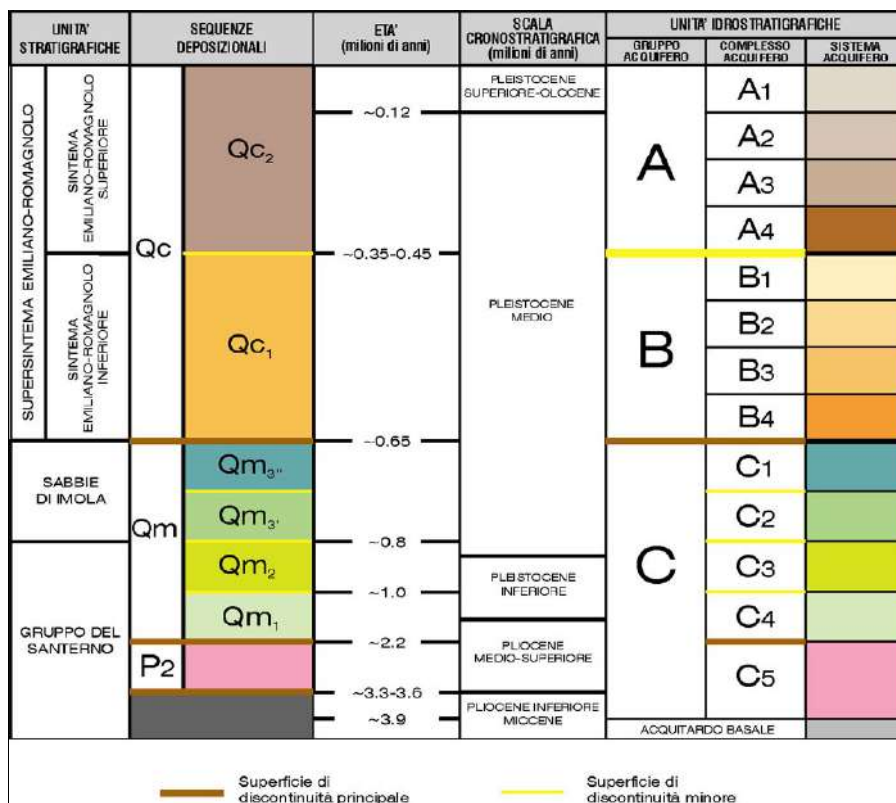


Fig. 3 – Schema delle Unità Idrostratigrafiche della Pianura Emiliano-Romagnola

Secondo l'attuale quadro delle conoscenze, i serbatoi acquiferi della Pianura Padana Emiliana si sono formati, a partire da circa 1 milione di anni fa e sono costituiti da sedimenti ghiaiosi e sabbiosi di

origine deltizia, litorale e alluvionale (Gruppo Acquifero C3) e poi, nel Pleistocene Medio e Superiore, all'interno delle Piane e delle Conoidi Alluvionali dei torrenti appenninici e del F. Po (Gruppi Acquiferi B e A).

La ricostruzione geometrica dei corpi acquiferi ha consentito di distinguere nella Pianura Emiliana tre aree di ricarica diretta:

- un'area pedecollinare, relativamente ristretta, di ricarica dell'intero serbatoio acquifero ed in particolare del Gruppo Acquifero C;
- un'area intermedia, corrispondente all'incirca all'alta pianura dove avviene la ricarica degli acquiferi superficiali e dell'acquifero cosiddetto "principale" (Gruppi di Acquiferi A-B), attualmente sfruttato ad uso idropotabile;
- un'area più settentrionale di possibile alimentazione dei soli acquiferi più superficiali (Subsistema di Ravenna e lenti acquifere sospese).

L'areale in studio ricade nell'area più settentrionale che secondo la terminologia tradizionale viene indicata come *Unità idrogeologica della media pianura*, con caratteristiche idrodinamiche relativamente omogenee. I limiti areali di questa unità sono sfumati sia verso Sud, che verso Nord, al passaggio con l'unità idrogeologica del Po, alla quale si sovrappone in parte.

L'edificio sedimentario alluvionale ospita un modesto sistema acquifero sotterraneo (Gruppo Acquifero A) le cui caratteristiche idrogeologiche sono in stretta relazione con le caratteristiche granulometriche dei depositi. Mentre i depositi argillosi e limosi risultano sostanzialmente impermeabili, un grado di permeabilità variabile sia sotto il profilo verticale che laterale può essere attribuito agli orizzonti limoso-sabbiosi e sabbioso-limosi.

Il sistema idrogeologico locale è rappresentato da un acquifero freatico superficiale, costituito da orizzonti argillosi e limosi ai quali si intercalano strati e sequenze limoso-sabbiose e sabbioso-limose (Complesso Acquifero A0) con soggiacenza mediamente compresa fra -1.50 e -2.50 m dal p.c. e da acquiferi più profondi, generalmente appartenenti ai Complessi Acquiferi A1 e A2 ed in pressione, intestati negli strati sabbiosi presenti a profondità di oltre 80-90 m dal p.c. (v. Fig.4).

Per quanto riguarda l'assetto idrodinamico dell'acquifero, facendo sempre riferimento ai dati bibliografici raccolti, esso indica un flusso vergente a larga scala verso NNE con un modesto gradiente idraulico in accordo con il gradiente topografico medio di questo settore della pianura.

Per quanto attiene alle caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali, essi sono strettamente correlabili alla litologia, costituita in superficie, come già detto, da depositi prevalentemente argillosi e limosi. Le caratteristiche litologiche superficiali, pertanto, portano ad attribuire all'area una permeabilità superficiale di grado da basso o molto basso, con coefficiente di permeabilità stimato nell'ordine di $1 \cdot 10^{-9} < K < 1 \cdot 10^{-8}$ cm/s.

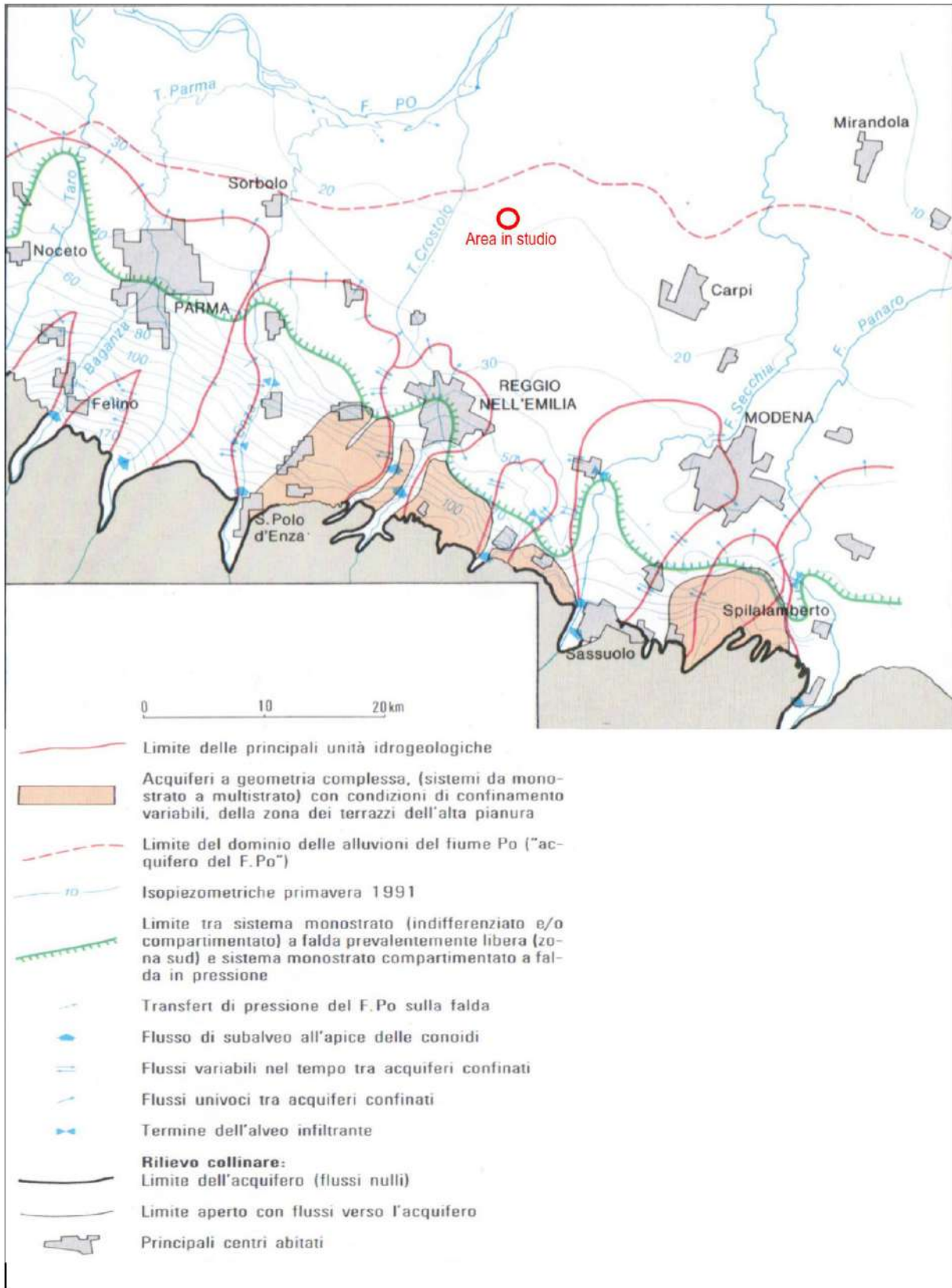


Fig. 4 – Modello concettuale di comportamento dell'acquifero principale della pianura emiliana (da "CARTA DELLA VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO DELL'ACQUIFERO PRINCIPALE – Pianura emiliana delle province di Parma, Reggio Emilia e Modena" - C.N.R. – G.N.D.C.I., 1993

4. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DI DETTAGLIO DEL SITO

La caratterizzazione litostratimetrica e litotecnica dei terreni di fondazione, come già detto, è stata definita sulla base dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche statiche prese a riferimento (v. All. 1).

Le prove penetrometriche statiche, dette anche CPT (dall'inglese Cone Penetration Test), sono state eseguite dalla Ditta INTERGEO S.r.l. di Modena utilizzando un penetrometro statico olandese Gouda da 10 tonnellate, automontato, ed impiegando per la perforazione una punta "Friction Jacket Cone" avente un'area di 10 cm² ed un angolo alla punta di 60°.

Nei tabulati di calcolo (v. Allegato 1) sono stati riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm d'avanzamento della punta (a velocità costante pari a 2 cm/s), i valori, calcolati mediante elaborazione automatica, della *resistenza penetrometrica alla punta* (Rp), espressi in kg/cm², i valori della *resistenza laterale locale* (RI), sempre espressi in kg/cm², nonché i valori del *rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale* (Rp/RI). Nei diagrammi penetrometrici, invece, per semplicità di lettura, sono state riportate, mediante plotter interfacciato con l'elaboratore, solamente due curve e precisamente:

- a sinistra la curva della *resistenza penetrometrica alla punta* (Rp: pressione di rottura del terreno), espressa in kg/cm²;
- a destra la curva del *rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale* (Rp/RI: *rapporto di Begemann*).

Le prove penetrometriche statiche consentono di definire con buona approssimazione l'assetto litostratimetrico in base al rapporto tra la resistenza alla punta (Rp) e la resistenza laterale (RI) definito come **Rapporto di Begemann**.

Secondo le Norme A.G.I. (1977), infatti, l'interpretazione della litologia sulla base del rapporto di Begemann è la seguente:

- $Rp/RI < 15$: argille plastiche e/o torbe;
- $15 < Rp/RI < 30$: argille e limi;
- $30 < Rp/RI < 60$: limi sabbiosi e sabbie limose;
- $Rp/RI > 60$: sabbie e ghiaie.

In Fig. 5 viene riportato il grafico in funzione della profondità dei valori misurati di Rp, mentre in Fig. 6 sono riportati i diagrammi del Rapporto di Begemann Rp/RI per le diverse prove CPT eseguite.

L'analisi e la correlazione dei dati così desunti ha quindi consentito la ricostruzione dettagliata della successione litostratigrafica dell'area in studio rappresentata graficamente nella Sezione litostratigrafica di Tav. 5.

Essa può essere sinteticamente descritta nel seguente modo:

- da p.c. a -0.50/0.60 m: suolo agrario.
- Da -0.50/0.60 m a -19.60/20.00 m: argille e limi prevalenti, con locali sottili intercalazioni di limi sabbiosi e/o sabbie limose.
- Da -19.60/20.00 m a -22.00/22.60 m: sabbie ben addensate.
- Da -22.00/22.60 m ad oltre -24.00 m (fine prove): argille e limi.

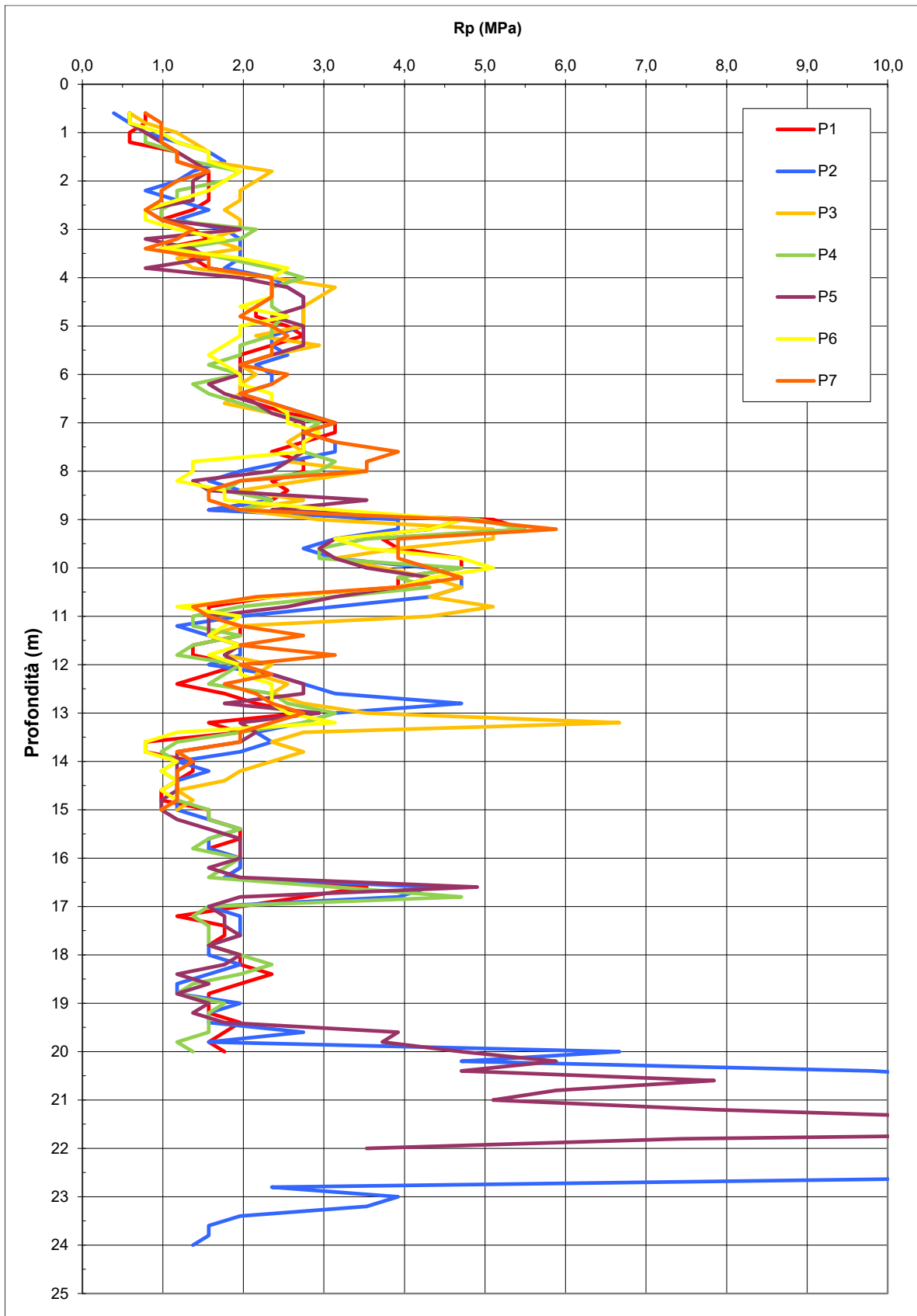


Fig. 5 – Rappresentazione grafica della resistenza alla punta R_p per le diverse CPT

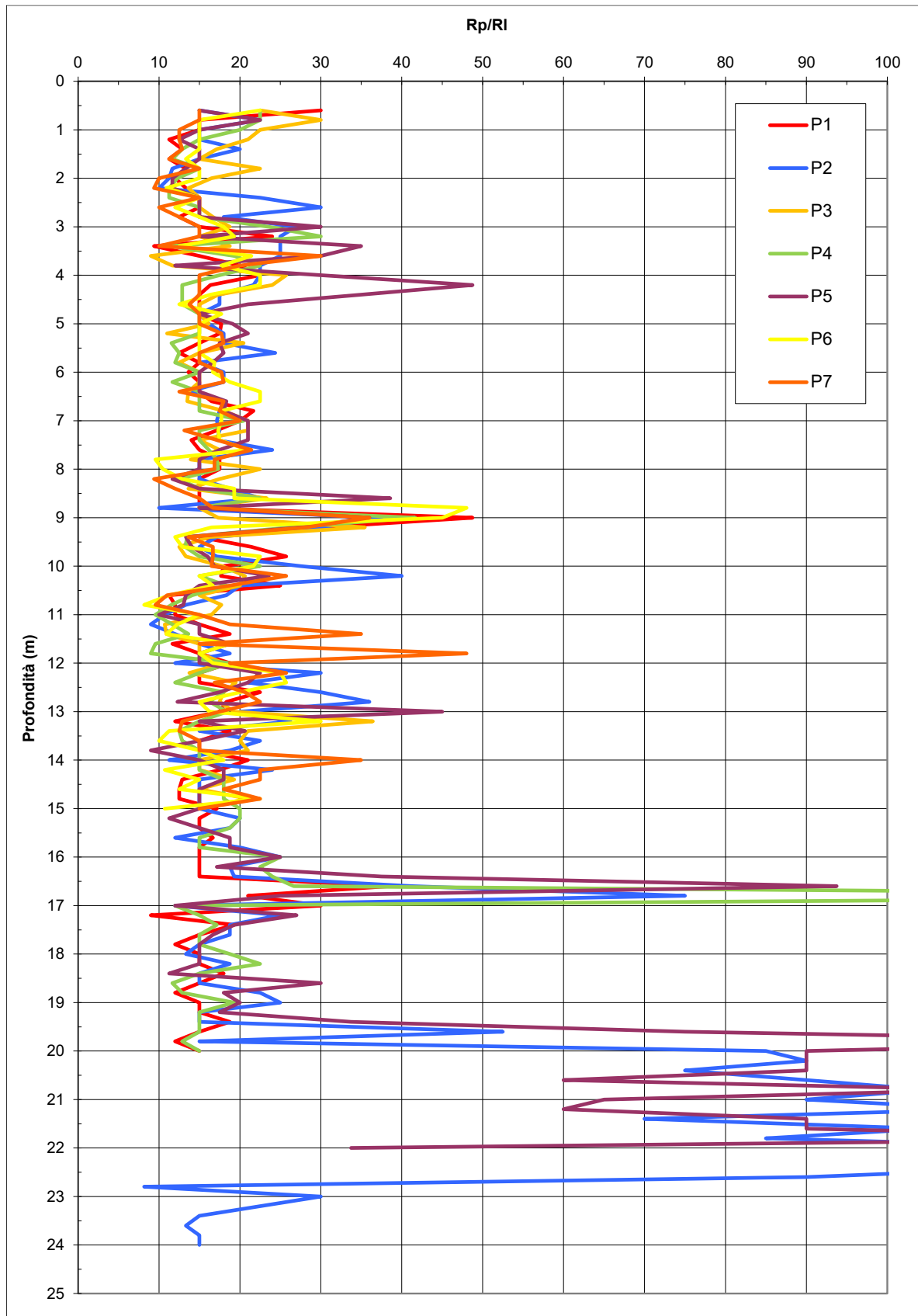


Fig. 6 – Rappresentazione grafica del rapporto di Begemann R_p/R_I per le diverse CPT

La successione litostratimetrica rilevata, come risulta dai grafici di Fig. 5 e Fig. 6 e come rappresentato nella Sezione Litostratigrafica di Tav. 5, evidenzia una buona omogeneità e correlabilità litologica sia in senso verticale che in senso orizzontale.

Le locali variazioni granulometriche e litologiche rilevate, attribuibili ad eventi deposizionali a diversa granulometria limitati nel tempo e nello spazio, sono il risultato di successivi episodi alluvionali a differente competenza della corrente.

5. SISMICITÀ

5.1. Caratteristiche sismotettoniche

Un passo fondamentale nella valutazione del rischio sismico di un'area è l'identificazione delle faglie attive. Sebbene esistano, infatti, strutture a scorrimento lento asismico (*fault creep o tectonic creep*), molte delle faglie attive sono considerate sorgenti sismiche in quanto lo scorrimento istantaneo dei due lati delle stesse, che avviene allorché lo stress supera la resistenza delle rocce, genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. A tali faglie sismogenetiche è associato il maggior rischio.

Per la definizione di faglia attiva si fa normalmente riferimento alla possibilità che una faglia possa attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessa la nostra società. D'altra parte le faglie che hanno la maggiore probabilità di muoversi in un futuro prossimo sono da ricercarsi tra quelle che si sono mosse nelle fasi più recenti della storia geologica. Così una delle definizioni più comunemente accettata è quella della *U.S Nuclear Regulatory Commission* (1982), che definisce attive le faglie che presentano un'attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni.

La Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250.000 (Fig. 7), oltre alla definizione della pericolosità sismica locale e all'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche, offre anche un quadro delle relazioni fra attività tettonica attuale e i rischi naturali. In detto lavoro, infatti, l'analisi comparata della sismicità e delle strutture attive, evidenti per la loro espressione sia morfologica che geologica, unitamente ad una riconsiderazione dei dati disponibili sui movimenti verticali del suolo (sollevamento dei terrazzi alluvionali, subsidenza, evoluzione del reticolo idrografico) ed alla ricostruzione delle isobate delle 2 principali e più recenti superfici di discontinuità del sottosuolo (rispettivamente 450.000 anni, base del SERS, e 10.000 anni, base dell'Olocene), ha permesso di ottenere un quadro neotettonico e sismotettonico ben definito del territorio indagato.

Esaminando la Fig. 8, che può essere considerata lo schema di sintesi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna, emerge che le zone a maggiore sollevamento, con tassi >1 mm/anno, sono individuabili nella parte alta della catena, corrispondente al settore a monte del principale raddoppio crostale a conferma dell'attività di questa struttura.

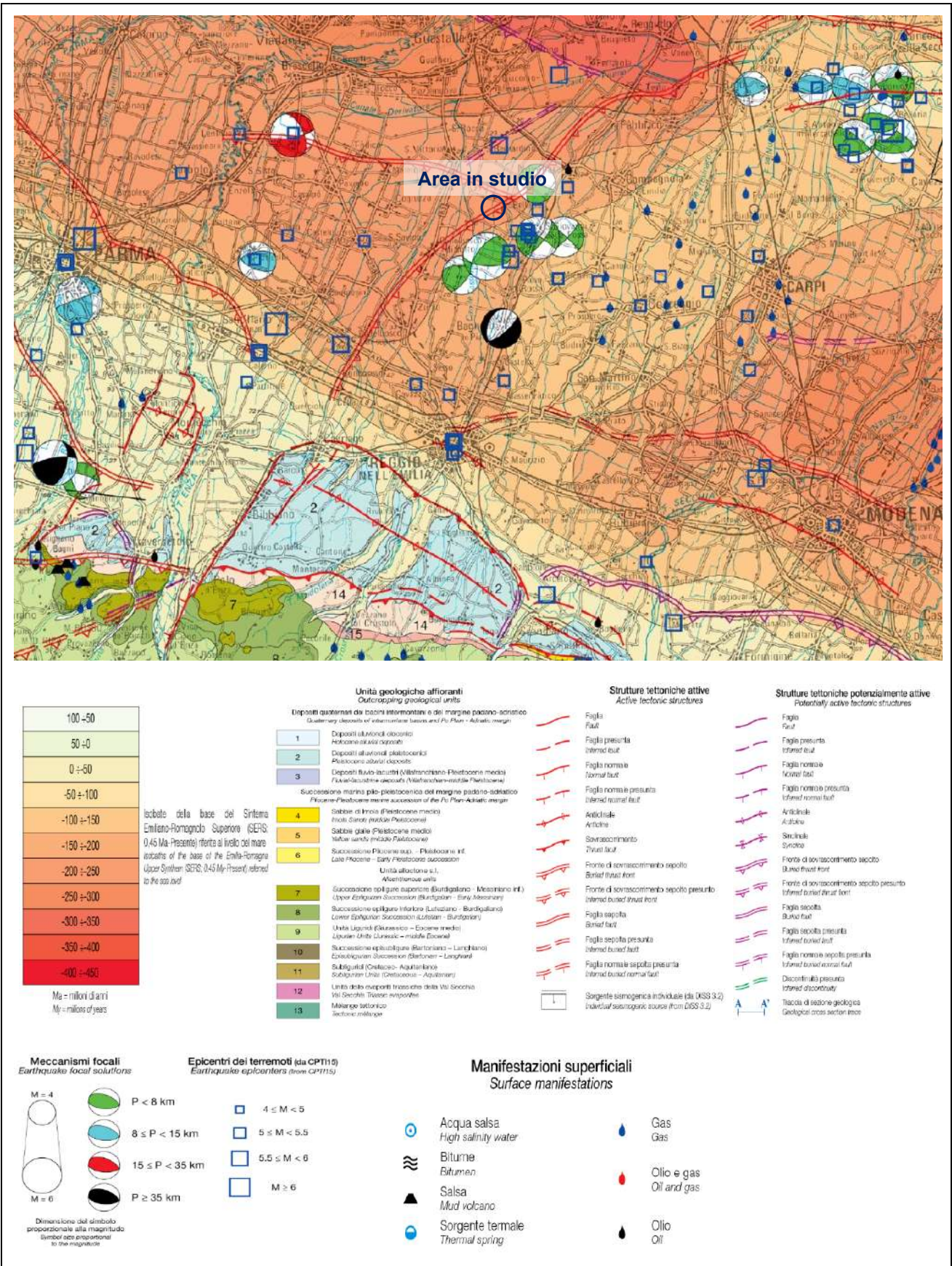


Fig. 7 - Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna riferito alla zona di pianura e alta pianura di Reggio Emilia

L'area a sollevamento intermedio, con tassi mediamente ≥ 1 mm/anno, corrisponde al settore immediatamente retrostante la struttura superficiale del margine che da Bologna si estende verso NW fino alla valle del Taro. Le aree a minore sollevamento (< 1 mm/anno) si collocano immediatamente a valle della struttura crostale. Anche in pianura le zone di minore abbassamento, con tassi < 1 mm/anno, corrispondono alle aree maggiormente interessate dalle strutture attive. Le strutture di questo settore sono sepolte e non mostrano, generalmente, evidenze in superficie.

In particolare, il sistema attivo delle Pieghe Emiliane corrisponde al limite tra la zona in minore sollevamento della catena con la zona di minore abbassamento della pianura.

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, risulta molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese.

I meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti indicando direzioni di compressione sia NE-SW che NW-SE. I meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari. Risulta quindi che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale ma con una densità inferiore. Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW ed i meccanismi distensivi sono rari e ben localizzati.

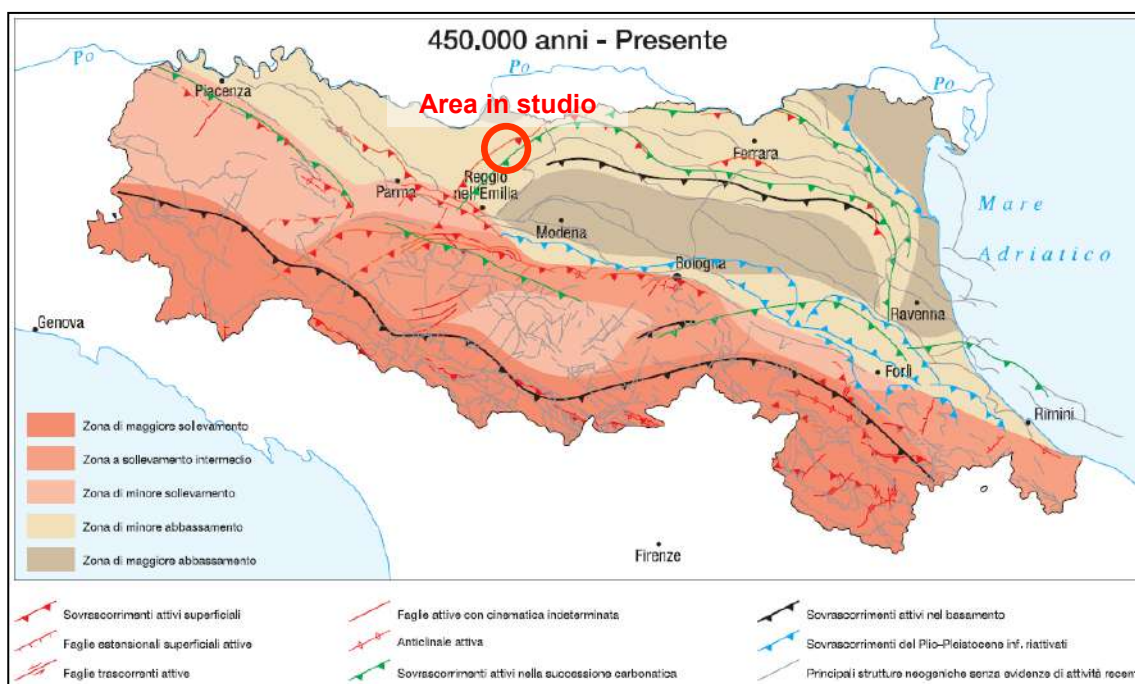


Fig. 8 - Schema di sintesi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna

La sismicità più profonda, con ipocentri oltre i 35 km, fino ad oltre 50 km, è sempre diffusa nel settore di catena e in corrispondenza del margine appenninico-padano, e decisamente minore in pianura. I meccanismi focali calcolati sono in accordo con quanto riscontrato nei livelli strutturali superiori.

Risulta così un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali nonché quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti e inquadrabili in un sistema

transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

In Fig. 9 è riportata la distribuzione delle strutture attive rispettivamente della copertura, della crosta e del mantello con una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività. Per questa zonazione si è tenuto conto anche degli effetti superficiali quali le aree di maggiore sollevamento in catena e di minore abbassamento in pianura, come pure della distribuzione delle aree a maggiore frequenza di fenomeni franosi.

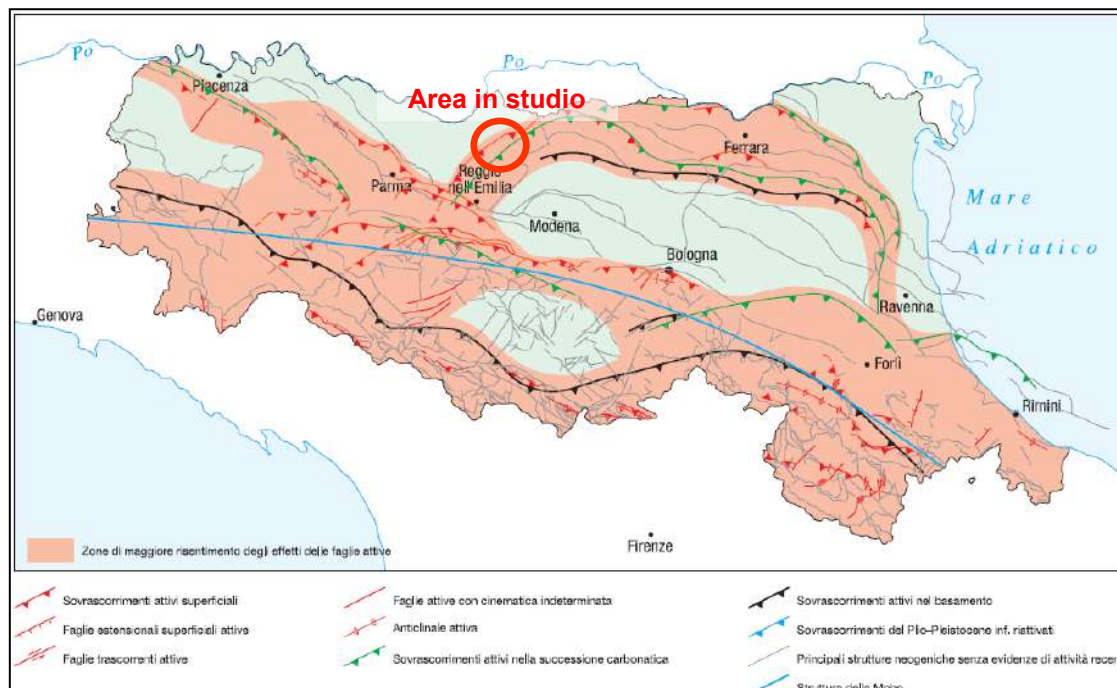


Fig. 9 - Zonazione delle aree che maggiormente risentono delle faglie attive

5.2. Sismicità del territorio

La storia sismica di Novellara è stata desunta dal Database macrosismico dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) denominato DBMI15, che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15).

I maggiori eventi sismici che hanno interessato il territorio di Novellara in epoca storica sono quindi riassunti in Tab.1 e nel diagramma di Fig. 10.

Dalla lettura di Tab.1 si evince che i maggiori eventi sismici censiti a Novellara sono quello verificatosi il 12/02/1806 con epicentro nel reggiano, caratterizzato da un'intensità del VII grado della scala MCS e da un valore di magnitudo Mw calcolata pari a 5.21, quello del 25/12/1810 con epicentro nella pianura emiliana, caratterizzato da un'intensità del VII grado della scala MCS e da un valore di magnitudo Mw calcolata pari a 5.06, e quello dell'11/09/1831 con epicentro nel reggiano, caratterizzato da un'intensità del VII grado della scala MCS e da un valore di magnitudo Mw calcolata pari a 5.48.

File downloaded from CPTI15 - DBMI15
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of Novellara
PlaceID IT_37630
Coordinates (lat, lon) 44.845, 10.731
Municipality (ISTAT 2015) Novellara
Province Reggio nell'Emilia
Region Emilia-Romagna
No. of reported earthquakes 43

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6	1547 02 10 13 20	Reggiano	7	7	5,1
F	1570 11 17 19 10	Ferrarese	58	7-8	5,44
5	1693 07 06 09 15	Mantovano	13	7	5,23
5-6	1738 11 05 00 30	Emilia occidentale	10	7	5,1
7	1806 02 12	Reggiano	28	7	5,21
7	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	33	6	5,06
7	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	25	7-8	5,48
6	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5,51
5	1860 07 17 13 43 31.00	Reggiano	5	4-5	3,93
F	1873 05 16 19 35	Reggiano	15	6-7	5,01
4	1886 10 15 02 20	Collecchio	44	6	4,7
F	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
4	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Ilasi	403	8-9	5,87
4	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5,44
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5,1
4	1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6	4,87
4	1928 06 13 08	Carpi	35	6	4,67
4	1932 07 13 03 42	Reggiano	8	4-5	3,86
NF	1937 09 17 12 19 05.00	Parmense	34	7	4,77
4	1953 08 22 05 26	Reggiano	6	6	4,73
4	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4,87
5	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
NF	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
4-5	1987 04 24 02 30 27.04	Reggiano	54	6	4,64
6	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
5-6	1988 03 15 12 03 16.17	Reggiano	160	6	4,57
6	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
4-5	1996 10 26 04 56 54.10	Pianura emiliana	63	5-6	3,94
4-5	1996 10 26 06 50 26.94	Pianura emiliana	35	5-6	3,63
5-6	1996 11 25 19 47 53.85	Pianura emiliana	65	5-6	4,29
4-5	1996 12 16 09 09 53.08	Pianura emiliana	115	5-6	4,06
5-6	1997 05 12 22 13 52.50	Pianura emiliana	56	4-5	3,68
5-6	1998 02 21 02 21 13.30	Pianura emiliana	104	5	3,93
NF	2002 06 18 22 23 38.10	Frignano	186	4	4,3
4	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5,24
4-5	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36
4-5	2012 01 25 08 06 37.09	Pianura emiliana	25	5-6	4,98

Tab. 1 – Principali eventi sismici i cui effetti si sono risentiti nel territorio di Novellara

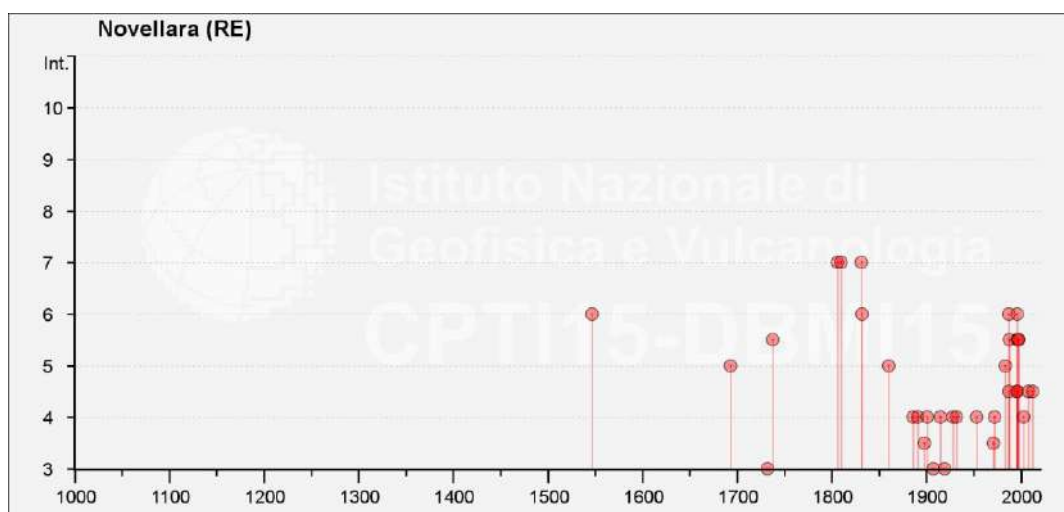


Fig. 10 – Diagramma della storia sismica di Novellara limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4/5.

Fonte dati: INGV - Database Macrosismico Italiano 2015 - <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>

5.3. Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

Gli studi sulla pericolosità sismica 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. 11), 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 considerato ricade nel margine ovest della zona sismogenetica 912 (Dorsale Ferrarese) della zonazione denominata ZS9. Essa è caratterizzata da terremoti di magnitudo media riconducibili alla presenza delle strutture sepolte attive. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km.

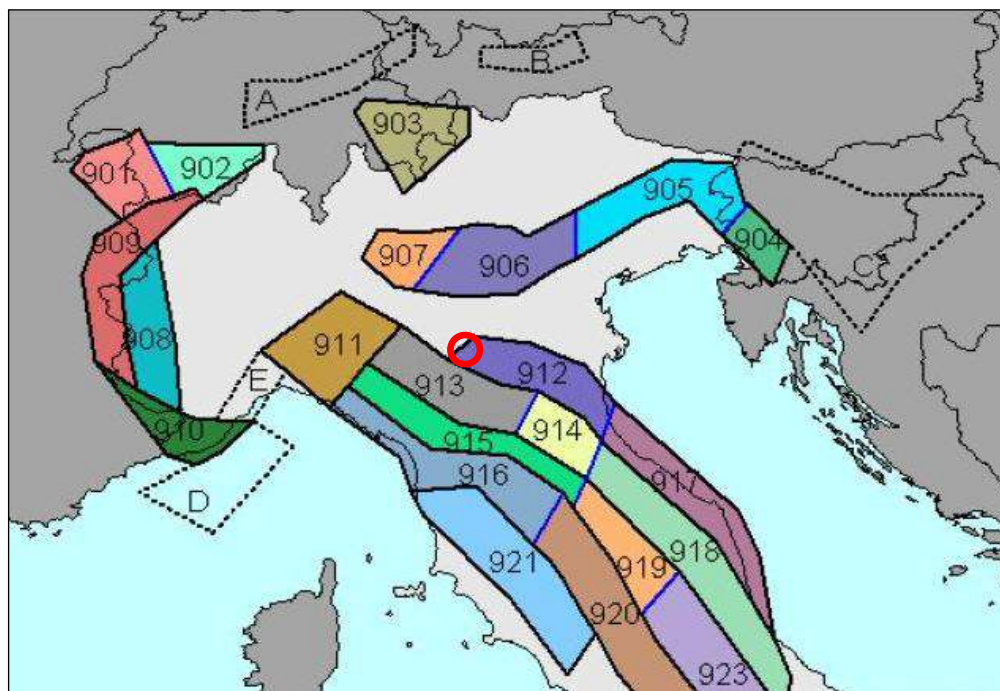


Fig. 11 – Zonazione sismogenetica ZS9 - tratta dalla “Carta Sismogenetica d’Italia – Zone ZS9” dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV (ultimo aggiornamento 01/04/2013). - Il cerchio rosso individua approssimativamente l’area in studio.

L’Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. Secondo la classificazione operata in tale ordinanza (v. Fig. 12) il Comune di Novellara, che prima risultava “non classificato”, viene identificato in **zona 3** (a sismicità medio-bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi tra 0,05 g e 0,15 g (dove g è l’accelerazione di gravità) (ved. Tab. 2).

La Delibera 1677/2005 del 24/10/2005 della Giunta Regionale dell’Emilia Romagna stabilisce la corrispondenza tra i livelli di sismicità stabiliti dall’Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 (Zona 1, 2, 3 e 4) e quelli previsti dalla precedente normativa (S=12, S=9, S=6); in particolare la Zona 3 corrisponde ad un grado di sismicità S=6.

Zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni (a_g)	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio di risposta elastico (a_g)
1	$0,25 < a_g \leq 0,35$ g	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g
4	$\leq 0,05$ g	0,05 g

Tab. 2 - Valori di accelerazione massima al suolo rigido, con riferimento all'Ordinanza n°3274 del 2003

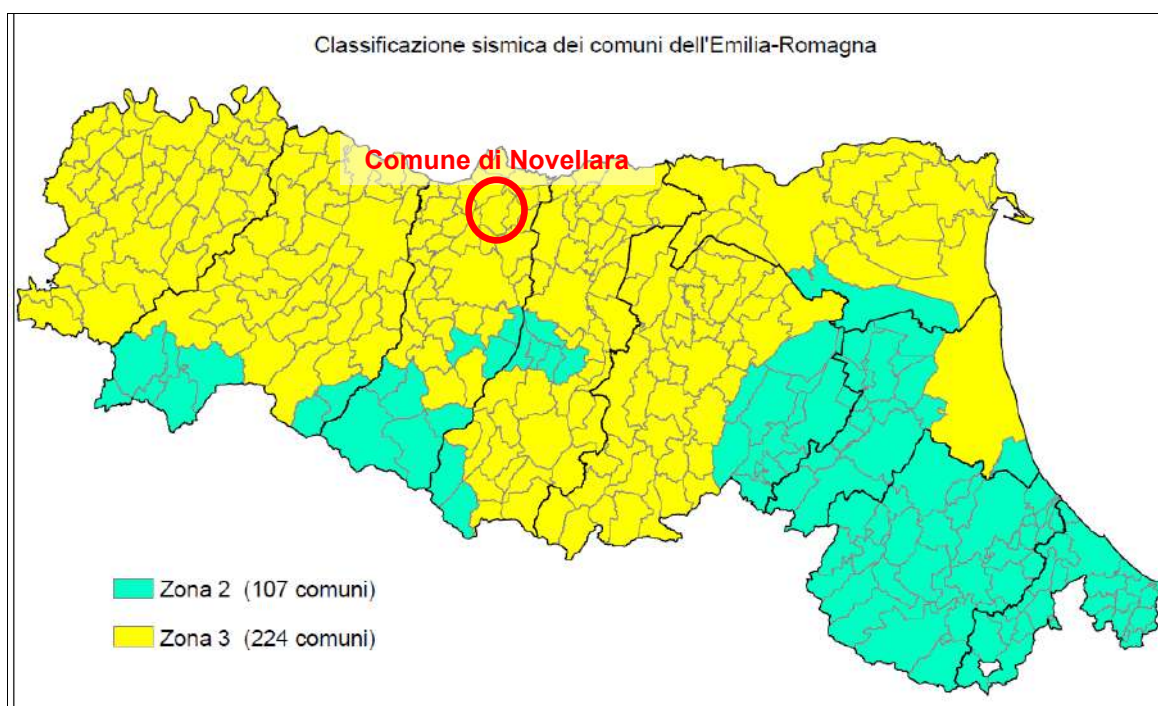


Fig. 12 - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna

Tale classificazione, tuttavia, ha ormai esclusivo valore amministrativo. Infatti nel presente studio sono state recepite le indicazioni riportate nell'Ordinanza n° 3519 del 28 aprile 2006 riguardante i criteri generali stabiliti per l'individuazione delle zone sismiche di riferimento a scala nazionale.

Secondo tale ordinanza, viene modificato l'approccio di attribuzione della classe sismica, avviando il superamento delle 4 zone sismiche assegnate a scala comunale, contraddistinte da diversi valori di accelerazione di picco orizzontale su suolo rigido di tipo A, verso una definizione puntuale dell'azione sismica da effettuarsi mediante singoli valori di pericolosità sismica.

Alle Norme Tecniche per le Costruzioni è allegato un documento sulla pericolosità sismica, in quanto l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

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

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

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (*reticolo di riferimento*; v. Fig. 13), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 2475 anni).

Il tempo di ritorno (T_R) viene calcolato con la seguente espressione:

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

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

Per determinare il tempo di ritorno vengono presi a riferimento i parametri delle opere in oggetto, che devono essere forniti dai progettisti e dai committenti in sede di progetto esecutivo. Nel caso in questione, prevedendo che nell'area in oggetto vengano realizzate costruzioni con livelli di prestazioni ordinari ed il cui uso preveda normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, vengono presi come riferimento i seguenti parametri:

- **Tipo di costruzione 2:** "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari", il cui valore minimo di vita nominale di progetto V_N è pari a 50 anni (come definito dalla Tab. 2.4.I delle N.T.C. 17/01/2018);
- **Classe d'uso II:** "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti" (come definito dal paragrafo 2.4.2 delle N.T.C. 17/01/2018), con conseguente coefficiente d'uso **$C_U=1$** (cfr. Tab. 2.4.II delle N.T.C.).

Da questi due parametri si ottiene il periodo di riferimento per l'azione sismica che, qualora i parametri di riferimento considerati siano corretti, sarà dato da:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1 = 50 \text{ anni.}$$

Inoltre devono essere definiti gli stati limite che forniscono le probabilità di superamento del periodo di riferimento P_{V_R} (ved. Paragrafo 3.2.1 e Tab. 3.2.I delle N.T.C. 17/01/2018), per gli Stati Limite Ultimi di Salvaguardia della Vita (**SLV**) con probabilità di superamento pari al 10% e per gli Stati Limite di Esercizio di Danno (**SLD**) con probabilità del 63%.

Qualora il sito in esame (Lat. = 44.8276 N; Long. = 10.6725 E) non ricada nei nodi del reticolo di riferimento (v. Fig. 13), i valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* possono essere ricavati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. Inoltre, nel caso l'attuale *pericolosità sismica su reticolo di riferimento* non contempli il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e alla P_{VR} fissate, i valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* ad esso corrispondenti potranno essere ricavati per interpolazione.

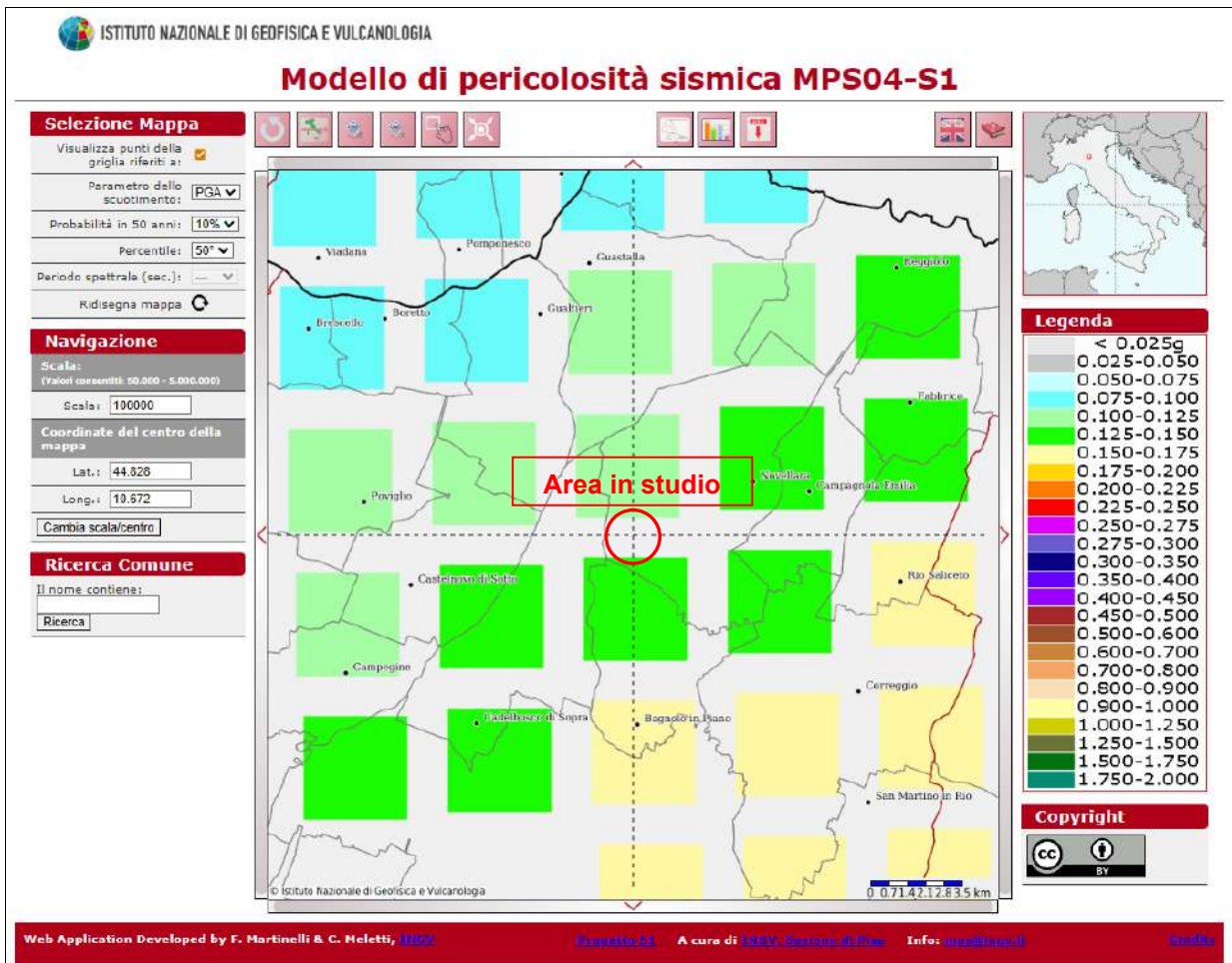


Fig. 13 – Stralcio della Mappa di pericolosità sismica dell'area in studio espressa in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno (a_g) per un tempo di ritorno di 475 anni

Ai fini del presente studio i valori dei parametri di pericolosità sismica sono stati desunti dai valori relativi alla *pericolosità sismica su reticolo di riferimento* riportati nelle tabelle dell'ALLEGATO B delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

Nel caso in questione i valori che risultano sono riportati in Tab. 3 e sono stati ricavati con l'ausilio del software online GEOSTRU-PS della GeoStru Software (www.geostru.com), mentre i grafici di variabilità dei parametri a_g , F_0 e T_C^* di Fig. 14 e gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite di Fig. 15 sono stati ricavati attraverso il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Parametri sismici

determinati con GeoStru PS

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 44,827659 [°]

longitudine: 10,672504 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	15167	44,851600	10,670900	2665,1
Sito 2	15168	44,853240	10,741300	6124,8
Sito 3	15390	44,803260	10,743580	6228,4
Sito 4	15389	44,801620	10,673240	2896,0

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,040	2,553	0,243
Danno (SLD)	63	50	0,050	2,519	0,262
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,133	2,512	0,281
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,177	2,539	0,281

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,670	1,000	0,012	0,006	0,588	0,200
SLD	1,500	1,630	1,000	0,015	0,008	0,738	0,200
SLV	1,500	1,600	1,000	0,048	0,024	1,956	0,240
SLC	1,430	1,600	1,000	0,061	0,030	2,482	0,240

Geostru

Tab. 3 – Parametri di pericolosità sismica

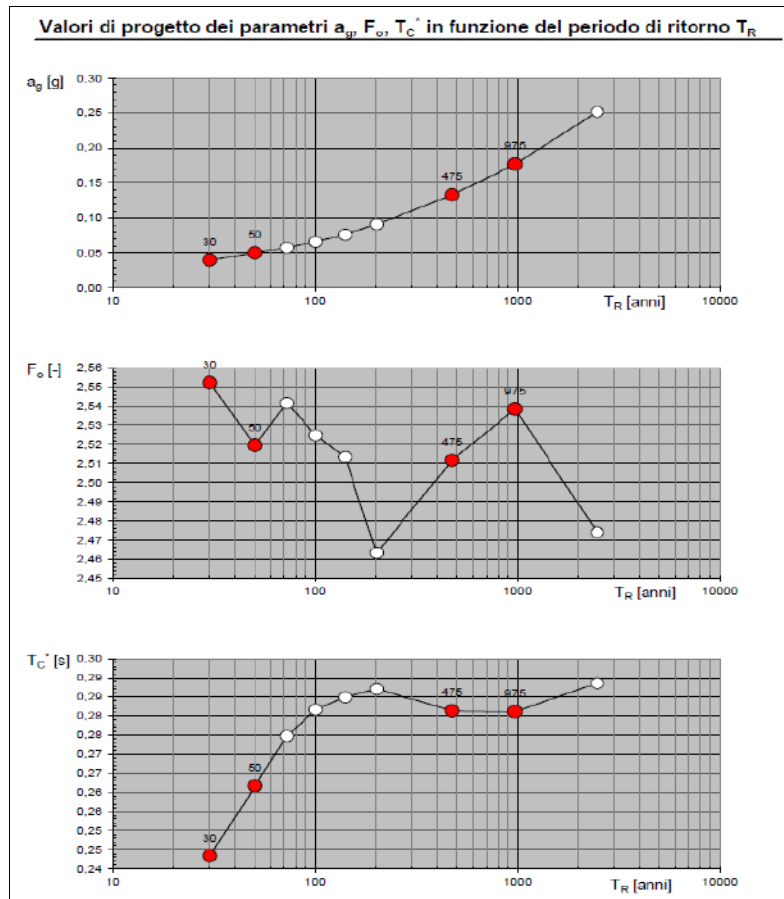


Fig. 14 – Variabilità dei parametri a_g , F_0 e T_c^* in funzione dei periodi di ritorno
 (elaborazione effettuata mediante "Spettri NTC ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici)

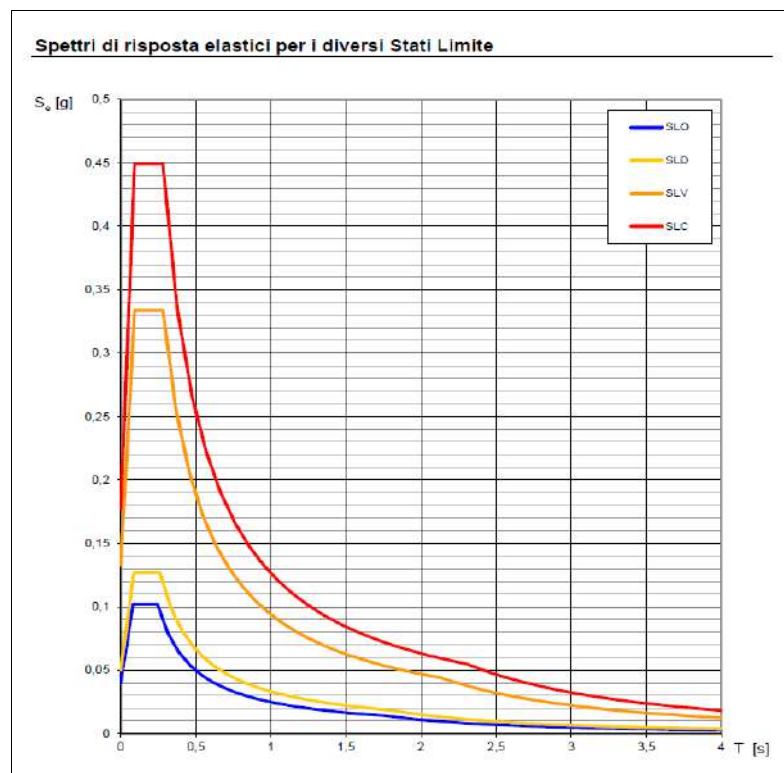


Fig. 15 – Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite
 (elaborazione effettuata mediante "Spettri NTC ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici)

5.4. Risposta sismica locale

Il moto generato da un terremoto in un dato sito è influenzato dalle particolari condizioni locali (risposta sismica locale), ovvero dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno, dalle caratteristiche 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 con superficie topografica orizzontale.

5.4.1. Categoria del sottosuolo di fondazione

Secondo quanto specificato nel Paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. Tuttavia qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle N.T.C. 17/01/2018 si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio V_s .

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

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

con:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,eq}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} ottenuto ponendo $H=30$ nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella seguente Tab. 4.

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

Tab. 4 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato
(tab. 3.2.II delle N.T.C. 17/01/2018)

Per l'area in esame la caratterizzazione geofisica del profilo stratigrafico del sottosuolo è stata ottenuta, come detto in Premessa, attraverso un'indagine diretta in sito di tipo sismico a rifrazione con determinazione sperimentale mediante inversione (metodo MASW) del valore di V_{s30} .

Per una più dettagliata illustrazione del metodo di indagine si rimanda alla "Relazione di indagine geofisica" riportata in Allegato 2 e redatta dal Dr. Geol. Giorgio Masotti della Ditta GEO-XPART ITALIA, che ha condotto tale indagine.

Pertanto sulla base dei dati acquisiti, che hanno restituito una V_{s30} pari a **199 m/s** relativamente al piano campagna, a **211 m/s** relativamente ad un ipotetico piano di posa delle fondazioni posto a -1.00 m dal p.c., o a **215 m/s** se riferita ad un piano di posa delle fondazioni posto a -1.50 m dal p.c (ved. All. 2), è possibile attribuire il sottosuolo di fondazione dell'area di intervento alla **categoria C**, corrispondente a:

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

5.4.2. Effetti sismici locali

5.4.2.1. Amplificazione stratigrafica

Sulla base della categoria di appartenenza del terreno le N.T.C. introducono i coefficienti S_s e C_c per tener conto dell'amplificazione stratigrafica del valore dell'azione sismica di progetto. L'areale, infatti, è soggetto ad amplificazione del segnale sismico di tipo stratigrafico derivante dalla presenza di depositi alluvionali con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s.

Per le categorie B, C, D e E questi due parametri possono essere calcolati attraverso le espressioni riportate in Tab.5, dove i valori di F_0 e T_{c^*} sono relativi al sottosuolo di categoria A, g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Il valore massimo del coefficiente S_s per l'area in studio, ottenuto dalla formula riportata in Tab. 5 per la categoria di sottosuolo C, è pari a 1.50.

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

Tab. 5 - Valori dei parametri S_s e C_c

5.4.2.2. Amplificazione topografica

Altro parametro introdotto dalle N.T.C. è il coefficiente di amplificazione topografica S_T che tiene conto delle condizioni topografiche del territorio.

La morfologia subpianeggiante dell'area permette di escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico.

In assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI del D.M. 17/01/2018, in funzione delle categorie topografiche definite nel paragrafo 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Considerando che l'area in studio è ubicata in pianura, la categoria topografica corrispondente è la T1: "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", che corrisponde ad un valore del coefficiente S_T pari a 1,0.

5.4.2.3. Fenomeni di densificazione e cedimenti postsismici

I terreni incoerenti (saturi e non), se sottoposti a forze dinamiche temporanee, quali intense vibrazioni o eventi tellurici, possono subire un riordino delle particelle, che si traduce in una compattazione dello strato interessato, e quindi in un cedimento, denominato *post-sismico*.

L'entità della deformazione verticale è funzione della densità iniziale del deposito (per le sabbie), del grado di sovraconsolidazione (per le argille), del suo spessore e della massima resistenza che si sviluppa nello strato.

In depositi incoerenti asciutti il cedimento post-sismico avviene pressoché immediatamente, mentre nei depositi incoerenti e coesivi saturi si completa quando le sovrappressioni interstiziali, generate dalle forze dinamiche, vengono interamente dissipate.

La valutazione dei cedimenti post-sismici viene usualmente fatta per i terreni incoerenti, poiché il riordino dei granuli in uno strato a seguito della dissipazione delle sovrappressioni è spesso legata al fenomeno della liquefazione, che interessa i soli depositi sabbiosi. Tuttavia anche depositi coesivi soffici e/o plastici, sotto carichi dinamici particolarmente intensi, possono subire un riassetto delle particelle.

La presenza quindi di depositi coesivi fini caratterizzati da valori di $c_u < 70$ kPa per spessori ≥ 5 m può favorire il verificarsi di cedimenti post-sismici dovuti alla riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulantesi durante il terremoto.

Pur essendo presenti nell'area indagata strati di terreni coesivi (argille e limi) a bassa consistenza, caratterizzati da valori di $c_u < 70$ kPa ma comunque con spessori limitati, si precisa che questa condizione rappresenta una situazione ad ampio e diffuso carattere areale, riscontrato da diverse indagini geognostiche effettuate al contorno dell'area in studio.

Pertanto, pur considerando le condizioni litostratigrafiche locali non sempre ottimali negli strati più superficiali, nel caso in cui non vi siano eteropie geologiche rilevanti e qualora siano previste strutture di modesto impatto, come nel caso in esame, si ritiene che tali eventuali fenomeni di densificazione e cedimenti postsismici non possano provocare danneggiamenti importanti sulle strutture in progetto.

5.4.2.4. Verifica del rischio di liquefazione

Ai fini del presente studio si è valutato il rischio di liquefazione per gli strati sabbiosi sotto falda presenti entro i primi 20 metri di profondità ed aventi spessore superiore ad un metro.

Per liquefazione si intende un processo di incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza al taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva ad uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il fattore di sicurezza F_s nella verifica di resistenza alla liquefazione di uno strato di terreno è, per definizione, il rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica **CRR** (*Cyclic Resistance Ratio*), e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica **CSR**.

Si ha dunque:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

La stima del fattore di sicurezza F_s passa attraverso la valutazione delle due quantità CSR e CRR.

La verifica è stata effettuata relativamente al banco di sabbie rilevate in corrispondenza delle prove P2 e P5 a profondità comprese fra -19.60 e -20.00 m dal p.c. e precedentemente descritte nel cap. 4.

Essa è stata condotta mediante il metodo di *Boulanger & Idriss (2014)*, che fa parte dei metodi “semplificati” reperibili “on line” nel sito web della *GeoStru Software* all'indirizzo <http://geoapp.geostru.eu/app/liquefazione/>.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione $(1.0) FS = CCR / CSR$ dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio Vs.

Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza.

Il risultato della verifica, i cui dati sono riportati nella seguente Tab. 6, dimostra che i depositi sabbiosi presenti nell'area indagata entro i primi 20 metri di profondità non sono liquefacibili.

Si fa presente inoltre che per il Comune di Novellara è stato redatto nel 2017 uno studio generale di microzonazione sismica di tutto il territorio e, nello specifico, si riporta di seguito in Fig. 16 uno stralcio della “*Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - MOPS*” dalla quale si evince che l'area in studio è classificata come area stabile Z1, suscettibile di amplificazione stratigrafica, come detto in precedenza, ma non soggetta a fenomeni di liquefazione delle sabbie.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Seed e Idriss
 Tokimatsu e Yoshimi
 Boulanger & Idriss 2014

DATI

Descrizione	sabbie sciolte		
Coordinate del sito: Latitudine, Longitudine	44.8276	10.6725	
Profondità di calcolo	Z	19.60	m
Profondità della falda dal p. c.	Zw	2.20	m
Peso di volume del terreno	G	20	kN/m ³
Numero di colpi NSPT	NSPT	19	
Frazione argillosa	FC	10	%
Magnitudo	M	5.48	
Accelerazione sismica massima	ag	0.19	(g)

Tipo di deposito	<input checked="" type="radio"/> Sabbie pulite <input type="radio"/> Sabbie limose
Consistenza del deposito	<input checked="" type="radio"/> Sabbie sciolte <input type="radio"/> Sabbie medio-dense

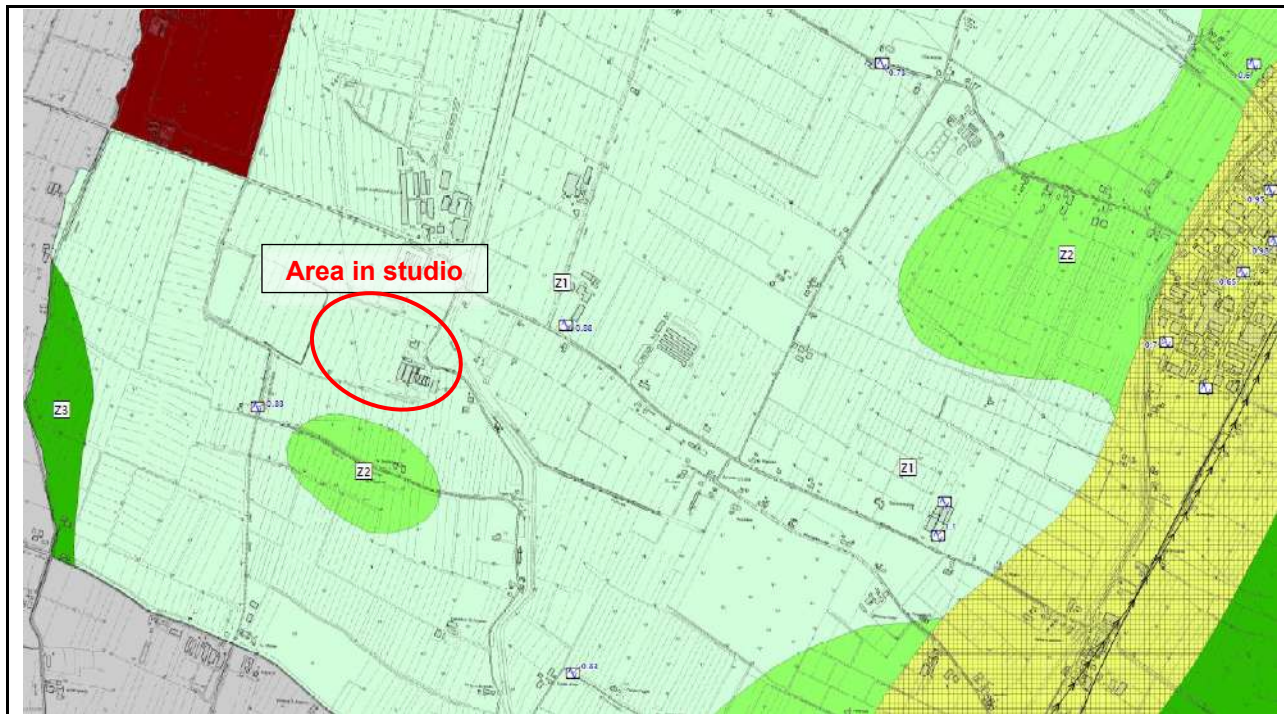
Boulanger & Idriss 2014

Pressione totale del terreno (kPa)	392.00
Pressione efficace del terreno (kPa)	374.60
Fattore correttivo per la frazione argillosa (%)	--
Numero di colpi standard corretto	10.5273
Resistenza alla liquefazione (CRR)	0.1355
Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	0.0673
Coefficiente di sicurezza (Fs = CRR / CSR)	2.0138

Il deposito non è liquefacibile

Tab. 6 – Verifica a liquefazione con il metodo di Boulanger & Idriss (2014)

Fonte: GeoStru Software - <http://geoapp.geostru.eu/app/liquefazione/>



Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Z1** Aree stabili con presenza di sequenze prevalentemente argillose - argillose limose consistenti - moderatamente consistenti; a profondità sottostanti -19/-20 m sabbie medio fini e medio grossolane ben assortite moderatamente addensate; oltre 27/28 m dal p.c. sabbie medie addensate ed argille limose - limi argillosi moderatamente consistenti con intercalati corpi lentiformi di sabbie medie addensate.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche con approfondimenti di II livello.
- Z2** Aree stabili con presenza di sequenze prevalentemente argillose limose e secondariamente limose argillose moderatamente consistenti, con intercalati, a profondità sottostanti -12 m dal p.c., subordinati corpi lentiformi sabbioso limosi - sabbiosi con spessori inferiori a 1 m; oltre -20 m pc argille limose - limi argillosi moderatamente consistenti con intercalate lenti sabbiose con spessori di 1,5/2 m, moderatamente addensate - addensate.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche con approfondimenti di II livello.
- Z3** Aree stabili con presenza di alternanze prevalentemente limose argillose - argillose limose, moderatamente consistenti con intercalati subordinati corpi lentiformi sabbiosi - sabbioso limosi da poco a moderatamente addensati con spessori inferiori a 1 m sino a -20 m;
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche con approfondimenti di II livello.
- Z4** Aree stabili con presenza di sequenze prevalentemente limose sabbiose - sabbioso limose da moderatamente consistenti - addensate a poco consistenti - addensate con Vs <140 m/sino a -7 m pc; a profondità sottostanti argille con lenti sabbioso limose - limose sabbiose moderatamente consistenti - poco addensate con Vs = 200/270 m/sec; a profondità soggiacenti -15 m pc sabbie-sabbie limose moderatamente addensate con Vs = 230/260 m/sec;
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche con approfondimenti di II livello.
- Z5** Aree potenzialmente instabili (LQ) con presenza di sequenze prevalentemente limose sabbiose-sabbioso limose da moderatamente consistenti/addensate a poco consistenti/addensate con Vs <180 m/sec nei primi 8 m del sottosuolo; a profondità sottostanti argille-argille limose moderatamente consistenti con Vs=200/250 m/sec con intercalate lenti sabbiose e limose argillose da poco a moderatamente addensate e limi argillosi moderatamente consistenti con Vs = 220/230 m/sec;
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, potenziale liquefazione;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche e della suscettività alla liquefazione e amplificazione con di III livello.
- Z6** Aree potenzialmente instabili (LQ) con presenza di sequenze prevalentemente argillose-argillose limose consistenti - moderatamente consistenti; a profondità sottostanti -13/-14 m sabbie medio fini e medio grossolane ben assortite moderatamente addensate con intercalati strati argillose limosi-limose argillosi moderatamente consistenti; oltre 24 m dal p.c. sabbie medie addensate sino a -30/-35 m pc, quindi argille limose e limi-limi sabbiosi moderatamente consistenti con intercalati i corpi lentiformi sabbie medie addensate.
Effetti attesi: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, potenziale liquefazione;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, valutazione della suscettività alla liquefazione con approfondimenti di III livello.
- Z7** Aree potenzialmente instabili (LQ) con presenza di sequenze prevalentemente argillose limose e secondariamente limose argillose moderatamente consistenti, con intercalati subordinati corpi lentiformi sabbioso limosi-sabbiosi con spessori inferiori a 1 m; a profondità sottostanti -13/-14 m sabbie medio fini e medio grossolane ben assortite moderatamente addensate; oltre -22 m pc argille-argille limose da consistenti a moderatamente consistenti con intercalati corpi lentiformi di sabbie poco assortite, moderatamente addensate - addensate.
Effetti attesi: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, potenziale liquefazione;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, valutazione della suscettività alla liquefazione con approfondimenti di III livello.
- Z8** Aree potenzialmente instabili (LQ) con presenza di alternanze prevalentemente limose argillose-argillose limose, moderatamente consistenti, con intercalati corpi lentiformi sabbiosi-sabbioso limosi da poco a moderatamente addensati con spessori inferiori a 1 m sino a -10/-12 m pc; a profondità sottostanti -13/-14 m sabbie medio fini e medio grossolane ben assortite, addensate sino a -20 m pc; a quote sottostanti argille moderatamente consistenti con intercalati corpi da tabulari a lentiformi di sabbie medio ben assortite addensate.
Effetti attesi: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, potenziale liquefazione;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, valutazione della suscettività alla liquefazione con approfondimenti di III livello.

Zone di attenzione per instabilità

- Z4_{att}** - Zona di attenzione per liquefazione tipo 1
Alternanze con prevalenza di strati sabbiosi e sabbioso limosi moderatamente/poco addensati con intercalati strati limosi argillosi poco consistenti.
Effetti attesi: potenziale liquefazione
Approfondimenti di III livello per stima della pericolosità di liquefazione
- POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI**
Aree potenzialmente instabili con presenza di depositi di piana alluvionale prevalentemente limose argillosi-limose argillose sabbiosi, da moderatamente a poco consistenti con intercalati corpi lentiformi sabbioso limosi poco addensati con spessori inferiori a 1 m e con Vs<140m/sec nei primi 7/8 m del sottosuolo; a profondità sottostanti argille moderatamente consistenti con Vs=200/250 m/sec con intercalati corpi sabbiosi a granulometria medio - medio fine, da poco addensati a moderatamente addensati; a quote soggiacenti -15 m p.c. sabbie moderatamente addensate con Vs=220/260 m/sec e argille limose-limi argillosi moderatamente consistenti con Vs=220/260 m/sec.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, cedimenti differenziali;
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, stima dei cedimenti con approfondimenti di III livello.
- SOVRAPPORZIONE DI INSTABILITA' DIFFERENTI.**
Aree potenzialmente instabile per sovrapposizione di instabilità differenti con presenza di resti di attività antropica: rifiuti urbani poco consistenti con Vs=70/100 m/sec nei primi 6/10 m dal p.c., incassati e seguiti da depositi di piana alluvionale prevalentemente argillosi con intercalate subordinate lenti limose argillose - argillose limose sino a -15 m pc consistenti-moderatamente consistenti con Vs=160/210 m/sec; a profondità sottostanti -15 m pc argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con intercalati corpi sabbiosi lentiformi da moderatamente addensati ad addensati con spessori da 2 a 6 m ed assetti lentiformi e Vs=200/350 m/sec.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, cedimenti differenziali.
Studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, stima dei cedimenti, potenziale instabilità di versante con approfondimenti di III livello.

Forme di superficie e sepolte

Asse di paleoalvio

Punti di misura di rumore ambientale

4.5 Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di F0 (Hz)

Altri elementi rappresentati

Limite di Comune

Fig. 16 – Stralcio dalla “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - MOPS” dello studio di Microzonazione Sismica – Regione Emilia Romagna, Comune di Novellara (2017)

6. GEOTECNICA

La raccolta di tutte le informazioni provenienti dalle prove penetrometriche prese a riferimento ha permesso di delineare un quadro globale delle caratteristiche geotecniche dei terreni caratterizzanti l'area in studio. Proprietà fisiche, compressibilità, resistenza al taglio dei vari strati di terreno individuati sono state analizzate facendo riferimento a tutti i dati disponibili, opportunamente confrontati tra loro.

6.1. Elaborazione dei risultati delle indagini in situ

6.1.1. Stato tensionale

I depositi di fondazione, rappresentati negli orizzonti superiori da terreni prevalentemente argillosi e limosi, quindi essenzialmente coesivi, sono stati considerati normalconsolidati comprendendo, a favore della sicurezza, anche gli strati superficiali.

6.1.2. Depositi coesivi

6.1.2.1. Resistenza al taglio in condizioni non drenate

La resistenza al taglio non drenata (c_u) è stata determinata dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPT mediante la seguente equazione (Baligh e Campanella, 1975).

Il valore della C_u è espresso nell'unità di misura della q_c

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

dove q_c è la resistente alla punta (espressa in kg/cm^2) e assumendo il parametro $N_k=20$, valore comunemente accettato in bibliografia per terreni consimili della pianura emiliana e verificato mediante confronto con dati geotecnici di laboratorio.

6.1.2.2. Angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate

L'angolo di resistenza al taglio (ϕ') è stimato a partire dai valori dei colpi N_{SPT} , in base alla formula proposta da Shioi e Fukuni (1982):

$$\Phi' = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15$$

I valori di N_{SPT} sono ricavati partendo della resistenza alla punta delle prove CPT, tramite la correlazione empirica $N_{SPT} = R_p/4.5$ (Robertson et al., 1983).

6.1.2.3. Caratteristiche di deformabilità

I parametri di deformabilità dei terreni coesivi sono stati determinati partendo dai valori di resistenza alla punta q_c ottenuti dalle prove penetrometriche statiche, in accordo con la correlazione di Mitchell e Gardner (1975). Il modulo edometrico (E_{ed}) si ottiene utilizzando la seguente espressione:

$$E_{ed} = \alpha q_c$$

dove i valori di α sono riportati nella Tab.7 (w_n = umidità naturale espressa in percentuale).

Argille di bassa plasticità (CL)	qc<0.7 (MPa) 0.7<qc<2 (MPa) qc>2 (MPa)	3< α <8 2< α <5 1< α <2.5
Limi di bassa plasticità (ML)	qc<2 (MPa) qc>2 (MPa)	1< α <3 3< α <6
Limi e argille di alta plasticità (MH, CH)	qc<2 (MPa)	2< α <6
Limi organici (OL)	qc<1.2(MPa)	2< α <8
Torba e argilla organica (Pt, OH)	50< w_n <100 100< w_n <200 w_n >200	1.5< α <4 1< α <1.5 0.4< α <1

Tab. 7 – Correlazione di Mitchell e Gardner (1975)

6.1.3. Depositi granulari

6.1.3.1. Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio (ϕ'), come descritto in precedenza, è stato stimato in base alla correlazione proposta da Shioi e Fukuni (1982):

$$\Phi' = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15$$

I valori di N_{SPT} sono sempre ricavati partendo della resistenza alla punta delle prove CPT, tramite la correlazione empirica $N_{SPT} = R_p/4.5$ (Robertson et al., 1983).

6.1.3.2. Caratteristiche di deformabilità

I valori del modulo elastico di Young E per i terreni granulari sono stati ricavati mediante la relazione di Schmertmann (1970-1978):

$$E = R_p \cdot 2.5$$

6.2. Modello geotecnico

L'individuazione del modello geotecnico dei terreni di fondazione è stato basato sull'interpretazione della stratigrafia dei terreni descritta nel cap. 4 e sulla correlazione dei dati derivanti dalle prove penetrometriche statiche prese a riferimento.

Le diverse unità litologiche sono state poi correlate alle caratteristiche geotecniche dei terreni determinate con i metodi descritti nel precedente paragrafo 6.1.

Gli strati di terreni coesivi e granulari sono stati suddivisi in 4 orizzonti o **Unità Geotecniche** diverse in relazione al valore della resistenza penetrometrica R_p .

Nelle successive Fig.17 e 18 sono riportate rispettivamente le rappresentazioni grafiche dei parametri geotecnici della coesione non drenata c_u e del modulo edometrico E_{ed} in funzione della profondità, ricavati per i depositi coesivi tramite le correlazioni espone nel paragrafo 6.1.2.

In Fig. 19 e 20, invece, sono rappresentati i valori del modulo elastico di Young E e dell'angolo di attrito interno ϕ ricavati sempre da correlazioni con i dati delle prove penetrometriche statiche.

In ognuno dei grafici proposti vengono evidenziati anche i **valori caratteristici** dei parametri per ogni orizzonte o unità geotecnica considerata, così come riportato nelle seguenti schematizzazioni.

Di seguito viene quindi proposta la caratterizzazione di dettaglio delle singole unità od orizzonti geotecnici rappresentati graficamente nella Sezione Geotecnica di Tav. 6.

Unità Geotecnica 1 (10 kg/cm² ≤ Rp < 20 kg/cm²) – terreni coesivi

L'Unità Geotecnica 1 è quella che caratterizza maggiormente gli strati superiori dei terreni interessati da fondazioni di tipo superficiale, fatta eccezione per l'orizzonte più superficiale presente in tutta l'area fino a -1.00/1.20 m dal p.c. costituito da terreni scarsamente consolidati.

Le caratteristiche geotecniche dell'unità 1 sono mediocri o discrete, con valori medi di resistenza penetrometrica: **10 kg/cm² ≤ Rp < 20 kg/cm²**.

Sotto il profilo litologico l'unità è rappresentata da terreni a comportamento coesivo rappresentati da prevalenti argille e limi, con locali sottili intercalazioni di limi sabbiosi o sabbie limose.

Questa unità geotecnica è presente, come già detto, negli orizzonti superiori fino a circa -3.80/4.00 m dal p.c., poi è presente ancora tra circa -11.00 e -12.50 m ed infine è prevalente negli orizzonti compresi fra -13.50 e -20.00, con alternanze di orizzonti della successiva Unità Geotecnica 2 (v. Tav.7).

I parametri geotecnici di riferimento sono:

	<i>range</i>	<i>valore medio</i>	<i>valore caratteristico</i>
Coesione non drenata c_u	cu = 19.61÷117.68 kPa	cu_m = 69.84 kPa	cu_k = 67.63 kPa
Coesione efficace c'	c' = 10.92÷11.87 kPa	c'_m = 11.30 kPa	c'_k = 11.28 kPa
Modulo edometrico E_{ed}	Eed = 0.98÷6.18 MPa	Eed_m = 3.82 MPa	Eed_k = 3.69 MPa
Angolo di attrito interno ϕ	$\phi = 18.65^\circ \div 23.94^\circ$	$\phi_m = 21.83^\circ$	$\phi_k = 21.7^\circ$
peso specifico γ			18.5 kN/m³

Unità Geotecnica 2 (20 kg/cm² ≤ Rp < 30 kg/cm²) – terreni coesivi

Questa unità è caratterizzata ancora da depositi a comportamento coesivo costituiti da argille e limi, con locali intercalazioni di limi sabbiosi o sabbie limose, ma con buona od elevata resistenza penetrometrica, per cui si considera: **20 kg/cm² ≤ Rp < 30 kg/cm²**.

L'unità è prevalente in tutta l'area indagata a partire dalla profondità di -3.80/4.00 m fino alla profondità di circa -8.80/9.00 m dal p.c.. E' poi ancora presente, in alternanza con l'unità 1, tra circa -11.00 e -14.00 m.

I parametri geotecnici di riferimento sono:

	<i>range</i>	<i>valore medio</i>	<i>valore caratteristico</i>
Coesione non drenata c_u	cu = 78.45÷176.52 kPa	cu_m = 117.13 kPa	cu_k = 114.68 kPa
Coesione efficace c'	c' = 10.56÷11.21 kPa	c'_m = 10.93 kPa	c'_k = 10.91 kPa
Modulo edometrico E_{ed}	Eed = 3.92÷8.83 MPa	Eed_m = 5.88 MPa	Eed_k = 5.76 MPa
Angolo di attrito interno ϕ	$\phi = 22.30^\circ \div 27.91^\circ$	$\phi_m = 23.96^\circ$	$\phi_k = 23.9^\circ$
peso specifico γ			19.0 kN/m³

Unità Geotecnica 3 ($30 \text{ kg/cm}^2 \leq R_p < 50 \text{ kg/cm}^2$) – terreni coesivi o semicoesivi

L'Unità Geotecnica 3 è sempre caratterizzata da depositi a comportamento prevalentemente coesivo, o semicoesivo, corrispondenti ad argille e limi con intercalazioni di limi sabbiosi o sabbie limose, ma con elevata resistenza penetrometrica, per cui si considera: $30 \text{ kg/cm}^2 \leq R_p < 50 \text{ kg/cm}^2$.

L'unità risulta prevalente in tutta l'area indagata negli orizzonti compresi fra circa -8.50 e -11.00 m dal p.c..

I parametri geotecnici di riferimento sono:

	<i>range</i>	<i>valore medio</i>	<i>valore caratteristico</i>
Coesione non drenata c_u	$c_u = 117.68 \div 294.20 \text{ kPa}$	$c_{u_m} = 192.24 \text{ kPa}$	$c_{u_k} = 182.79 \text{ kPa}$
Coesione efficace c'	$c' = 9.98 \div 11.06 \text{ kPa}$	$c'_m = 10.49 \text{ kPa}$	$c'_k = 10.44 \text{ kPa}$
Modulo edometrico E_{ed}	$E_{ed} = 4.90 \div 14.71 \text{ MPa}$	$E_{ed_m} = 9.51 \text{ MPa}$	$E_{ed_k} = 9.02 \text{ MPa}$
Angolo di attrito interno ϕ	$\phi = 23.16^\circ \div 30.06^\circ$	$\phi_m = 26.51^\circ$	$\phi_k = 26.2^\circ$
peso specifico γ			19.5 kN/m^3

Unità Geotecnica 4 ($R_p \geq 50 \text{ kg/cm}^2$) – terreni granulari

L'Unità Geotecnica 4 corrisponde principalmente ad uno strato di sabbie ben addensate, già descritto nel capitolo 4 e di spessore pari a circa 2.5/3.0 m, rilevato nelle verticali delle prove P2 e P5 a profondità comprese fra -19.60/20.00 e -21.80/22.60 m.

Le sabbie sono terreni a comportamento granulare e presentano generalmente un buon grado di addensamento. Per esse consideriamo qui valori di resistenza penetrometrica $R_p > 50 \text{ kg/cm}^2$, tuttavia si possono avere anche valori di $R_p > 100 \text{ kg/cm}^2$.

I parametri geotecnici di riferimento sono pertanto:

	<i>range</i>	<i>valore medio</i>	<i>valore caratteristico</i>
Modulo elastico di Young E	$E = 9.32 \div 44.13 \text{ MPa}$	$E_m = 25.54 \text{ MPa}$	$E_k = 20.76 \text{ MPa}$
Angolo di attrito interno ϕ	$\phi = 26.25^\circ \div 39.49^\circ$	$\phi_m = 33.11^\circ$	$\phi_k = 31.3^\circ$
peso specifico γ			20.0 kN/m^3

In considerazione di quanto sopra esposto si evince che i terreni degli strati più superficiali che maggiormente risentono degli effetti delle imposizioni di carico date da fondazioni di tipo superficiale, quali travi rovesce, plinti o platee, sono quelli riconducibili all'Unità Geotecnica 1, i quali presentano caratteristiche geotecniche discrete e che si configurano quindi idonei per fondazioni superficiali intestate mediamente tra -1.00 e -2.00 m dal p.c. Si raccomanda tuttavia di impostare le fondazioni oltre la profondità di -1.00/1.20 m dal p.c. al fine di oltrepassare l'orizzonte più superficiale scarsamente consolidato.

Pertanto i parametri geotecnici di riferimento per le verifiche geotecniche agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio, ai sensi delle N.T.C. del D.M. 17/01/2018, sono quelli riportati nella precedente tabella relativa all'Unità Geotecnica 1.

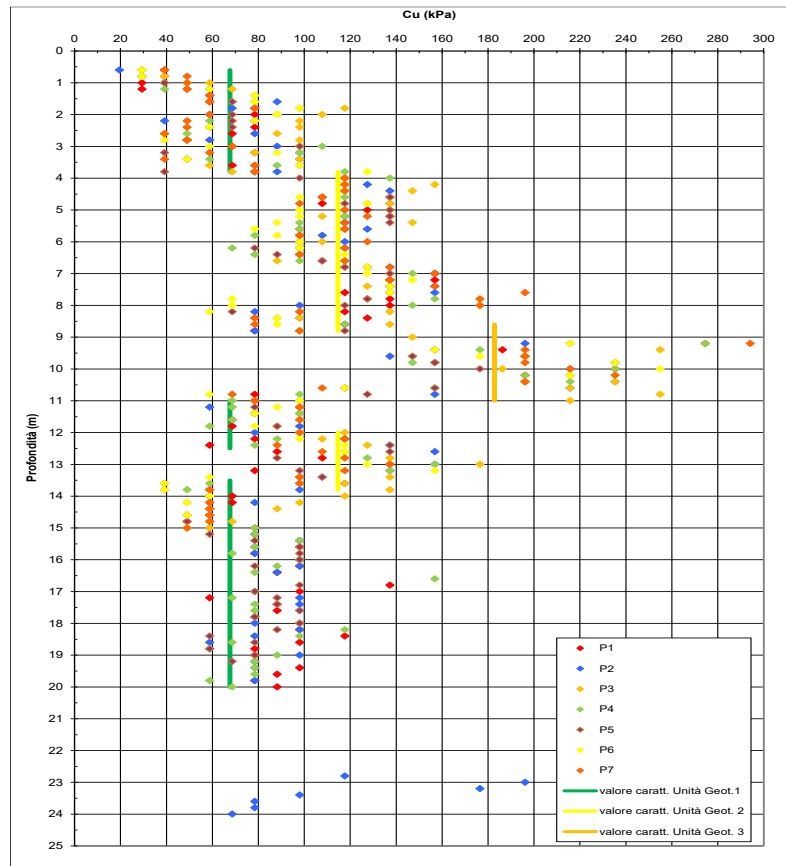


Fig. 17 – Valori della Coesione non Drenata c_u ricavati dalle prove CPT

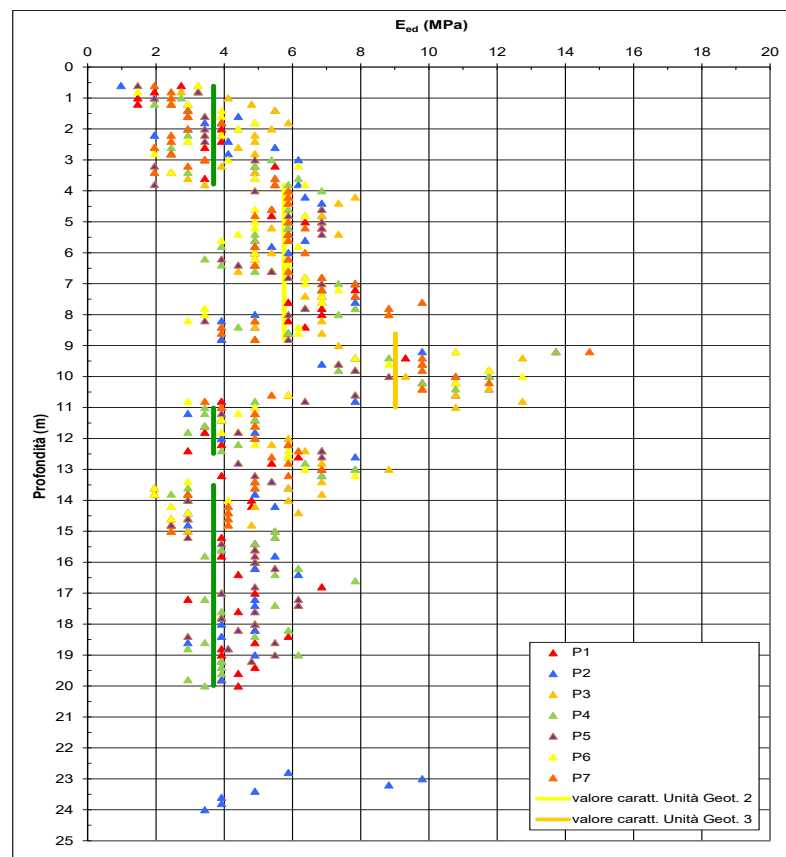


Fig. 18 – Valori del Modulo Edometrico E_{ed} ricavati dalle prove CPT

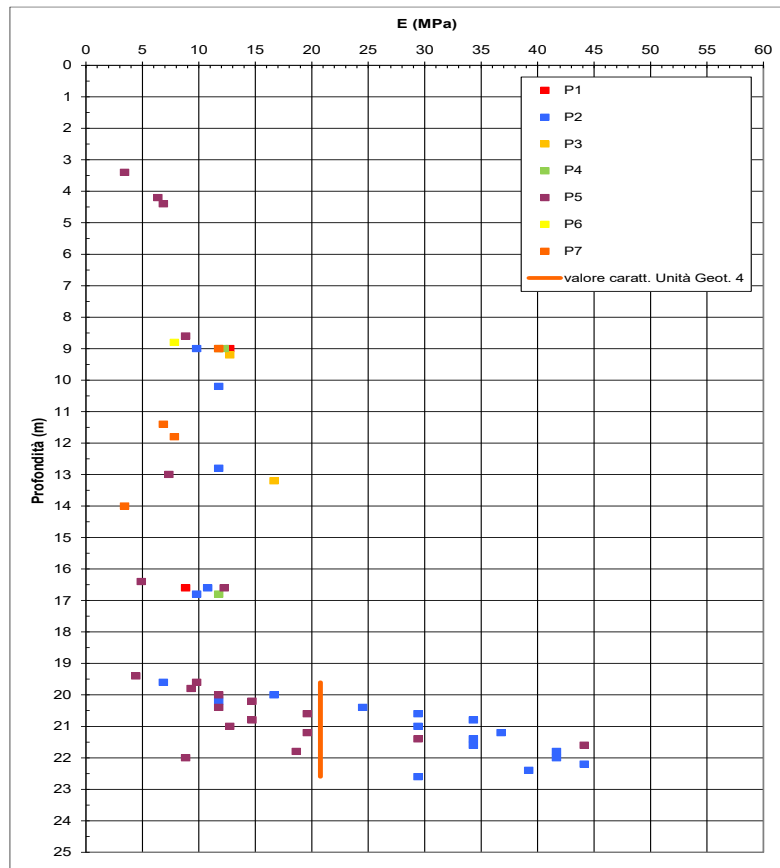


Fig. 19 – Valori del Modulo Elastico di Young E ricavati dalle prove CPT

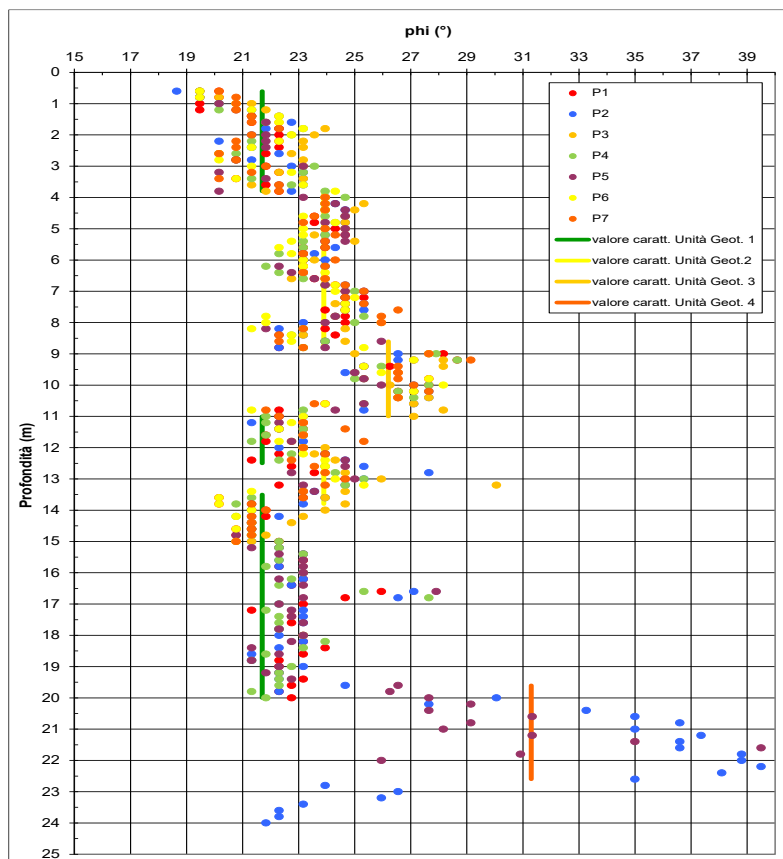


Fig. 20 – Valori dell'Angolo di Attrito Interno ϕ ricavati dalle prove CPT

6.3. Modulo di reazione e modulo di Winkler

Nell'analisi strutturale dei componenti di una fondazione si fa largo uso del modulo di reazione (o coefficiente di sottofondo), che lega concettualmente le pressioni sul terreno ai cedimenti.

Tale coefficiente ha origine dall'interpretazione dei dati ottenuti nella prova di carico su piastra, ed è definito come

$$k_s = \frac{q}{\delta}$$

dove q è il carico impresso al terreno di fondazione e δ il relativo cedimento.

In Fig. 21 viene mostrato l'andamento qualitativo del legame q - δ , ed è messo in evidenza il significato del modulo di reazione k_s .

Considerato che la rigidità degli elementi strutturali è in genere pari come minimo a 10 volte la rigidità del terreno, si osserva come la pressione su quest'ultimo ed i momenti flettenti calcolati risultino poco sensibili alla variazione del modulo di reazione. Ne consegue che tale modulo possa essere calcolato approssimativamente sulla base della capacità portante Q_{amm} attraverso, per esempio, la formula semplificata proposta dal Bowles:

$$k_s = C * Q_{amm} \text{ [KN/m}^3\text{]}$$

nella quale il termine C è in funzione del cedimento ammissibile; più in particolare, come si evince in Fig. 21, il valore di k_s risulta progressivamente inferiore per crescenti valori del cedimento sviluppato.

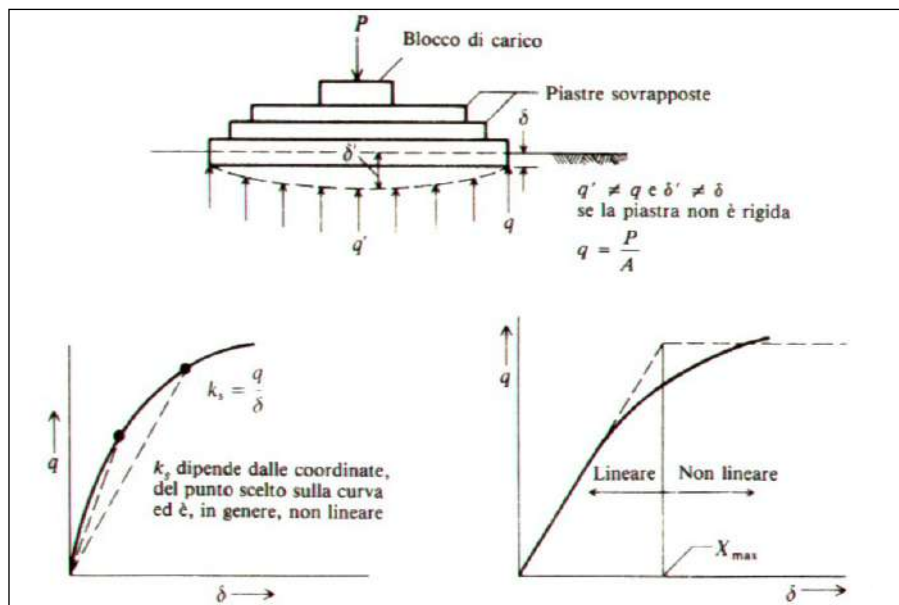


Fig. 21 - Determinazione del modulo di reazione k_s

Generalmente, si ritiene sufficientemente cautelativa l'assunzione di un cedimento ammissibile di 2.54 cm (o un pollice), che corrisponde ad un valore del parametro C pari a 40.

Ne conseguono i seguenti valori del modulo di sottofondo.

Nella tabella seguente si riportano i valori del modulo di Winkler calcolati per le tipologie di fondazioni superficiali più comunemente utilizzate:

	Ks [Kg/cm³]	Ks [KN/m³]
Plinto o platea	1.44	14400
Trave rovescia	1.56	15600

Va notato che nel caso di trave di fondazione secondo il modello di *trave su suolo elastico* proposta da Winkler risulta indispensabile fornire il valore dell'omonimo modulo, che consegue semplicemente dal prodotto del modulo di sottofondo e la larghezza della fondazione stessa.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio effettuato e le indagini svolte in situ consentono di trarre le seguenti considerazioni conclusive:

- A) *I terreni che caratterizzano l'area in studio sono costituiti da depositi continentali di tipo alluvionale attribuibili, secondo la "Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG", al Subsistema di Ravenna (AES8). Nello specifico i terreni che caratterizzano l'area in studio sono rappresentati prevalentemente da argille e limi, con locali sottili intercalazioni limoso-sabbiose o sabbioso-limose, fino alla profondità di circa -19.60/20.00 m dal p.c.. A partire da questa profondità è presente in tutta l'area indagata un banco di sabbie dello spessore di circa 2.5/3.0 m, la cui base è quindi posta a -22.00/22.60 m dal p.c.. Al di sotto delle sabbie sono presenti ancora argille e limi fino oltre la massima profondità indagata di -24.00 m dal p.c..*
- B) *L'area in studio, in considerazione dell'efficiente rete scolante superficiale, non presenta particolari problematiche di carattere idraulico. Tuttavia relativamente al P.G.R.A. (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni) il sito in oggetto, con riferimento all'ambito territoriale del Reticolo Secondario di Pianura, viene definito a pericolosità media P2-M, con alluvioni poco frequenti e tempi di ritorno tra 100 e 200 anni. Conseguentemente, prendendo in considerazione il danno potenziale determinato dal tipo di insediamenti presenti, ossia il grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità degli elementi esposti, il sito ricade in una Classe di rischio medio R2.*
- C) *Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea il sistema idrogeologico locale è rappresentato da una falda freatica superficiale (Complesso Acquifero A0) con soggiacenza mediamente compresa fra -1.50 e -2.50 m dal p.c., ma soggetta a sensibili variazioni stagionali in rapporto agli afflussi meteorici, e da acquiferi più profondi in pressione, appartenenti ai Complessi Acquiferi A1 e A2, intestati negli strati sabbiosi presenti a maggiori profondità.*
- D) *Con riferimento al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) il sito in studio non risulta soggetto ad alcun vincolo di tipo paesaggistico.*
- E) *Nel modello geotecnico descritto nel cap. 6 è stata effettuata la schematizzazione dei terreni di fondazione in 4 differenti tipologie di Unità geotecniche. A ciascuna di esse sono stati attribuiti i*

- parametri geotecnici, attraverso l'analisi statistica dei dati ottenuti dalle prove CPT, che possono essere utilizzati per le opportune verifiche geotecniche.
- F) Sulla base delle analisi effettuate si evince che i terreni degli strati interessati da fondazioni di tipo superficiale presentano caratteristiche geotecniche con valori generalmente discreti. Essi si configurano quindi idonei per l'adozione di soluzioni fondali superficiali intestate alla profondità minima consigliata di -1.00/1.20 m dal piano campagna.
- G) Secondo la classificazione sismica di cui all'O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003 il Comune di Novellara è stato identificato in zona 3 (a sismicità medio-bassa). Nel capitolo 6 sono stati indicati i parametri per la determinazione della pericolosità sismica nel rispetto delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17-01-2018.
- H) Relativamente all'analisi del rischio sismico, sulla base dei dati acquisiti il sottosuolo di fondazione dell'area indagata è attribuibile alla **categoria C**, di cui all'OPCM n° 3274/2003 e al D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni", con velocità delle onde di taglio nei primi 30 m sotto il piano campagna (V_{s30}) pari a **199 m/s**, pari a **211 m/s** se riferita ad un ipotetico piano di posa delle fondazioni posto a -1.00 m dal p.c., o a **215 m/s** se riferita ad un piano di posa delle fondazioni posto a -1.50 m dal p.c..
- I) Gli effetti sismici locali sono rappresentati dalla possibile amplificazione del segnale sismico conseguente alla presenza di litotipi con velocità delle onde di taglio (V_s) inferiori a 800 m/s. La caratterizzazione litostratimetrica, idrogeologica e geomeccanica del sito consente di escludere potenziali fenomeni di liquefazione delle sabbie, ovvero di diminuzione della resistenza al taglio causata dall'aumento della pressione interstiziale.
- J) Gli interventi in progetto, in considerazione della loro tipologia, del contesto nel quale si collocano e di quanto precedentemente illustrato, si ritiene che non comporteranno interferenze od alterazioni di tipo naturalistico e/o paesaggistico.

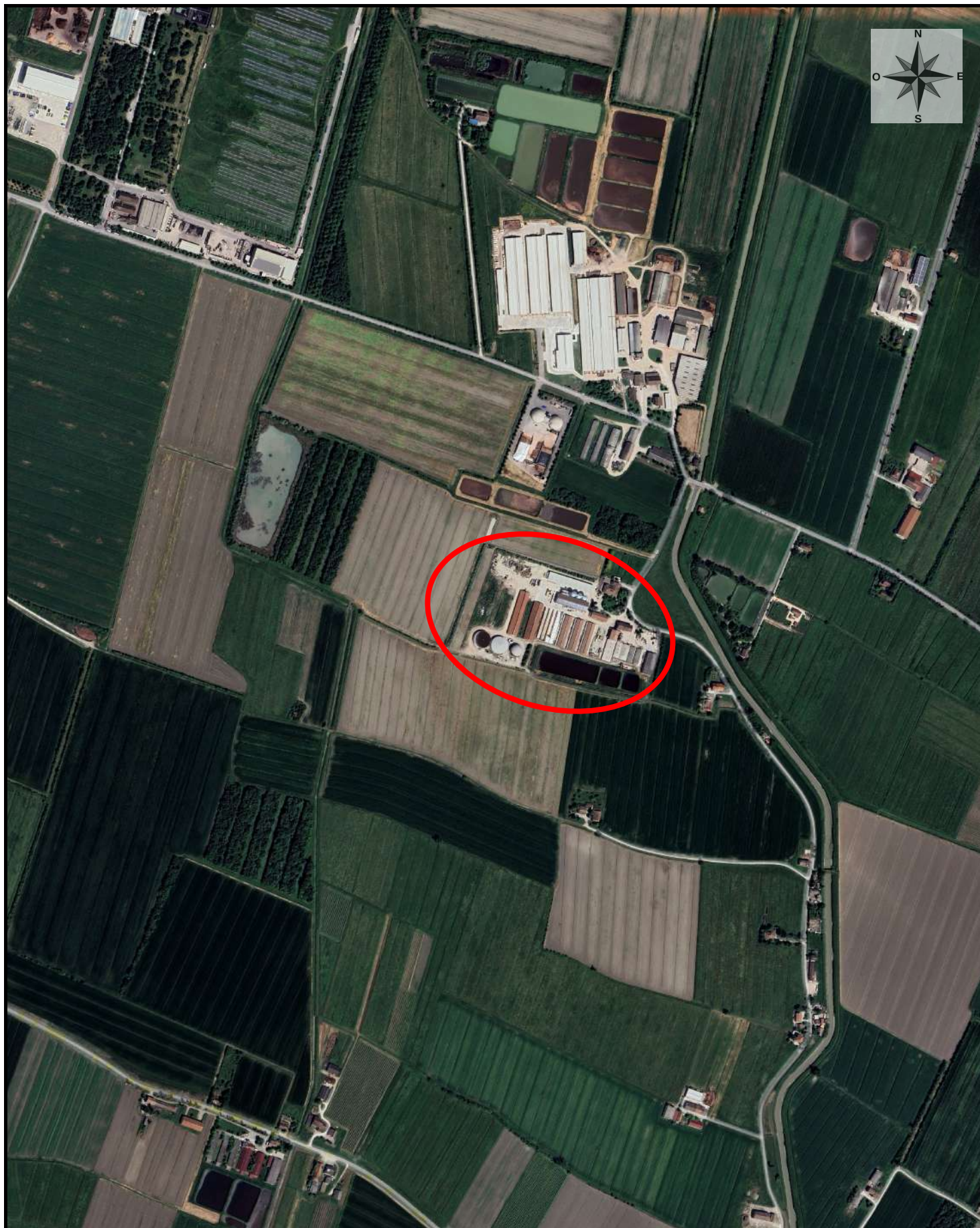
La validità delle ipotesi di progetto dovrà essere verificata in fase di costruzione, considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori al fine di adeguare, eventualmente, le opere alle situazioni riscontrate.

Per quanto esposto ed illustrato, fatte salve le considerazioni e le prescrizioni di cui sopra, si dichiara la fattibilità degli interventi in progetto sotto il profilo geologico-morfologico, geotecnico e sismico.

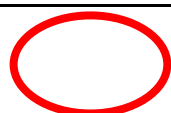
Castelnovo di Sotto, Gennaio 2026

Dr. Geol. Alfredo Speroni



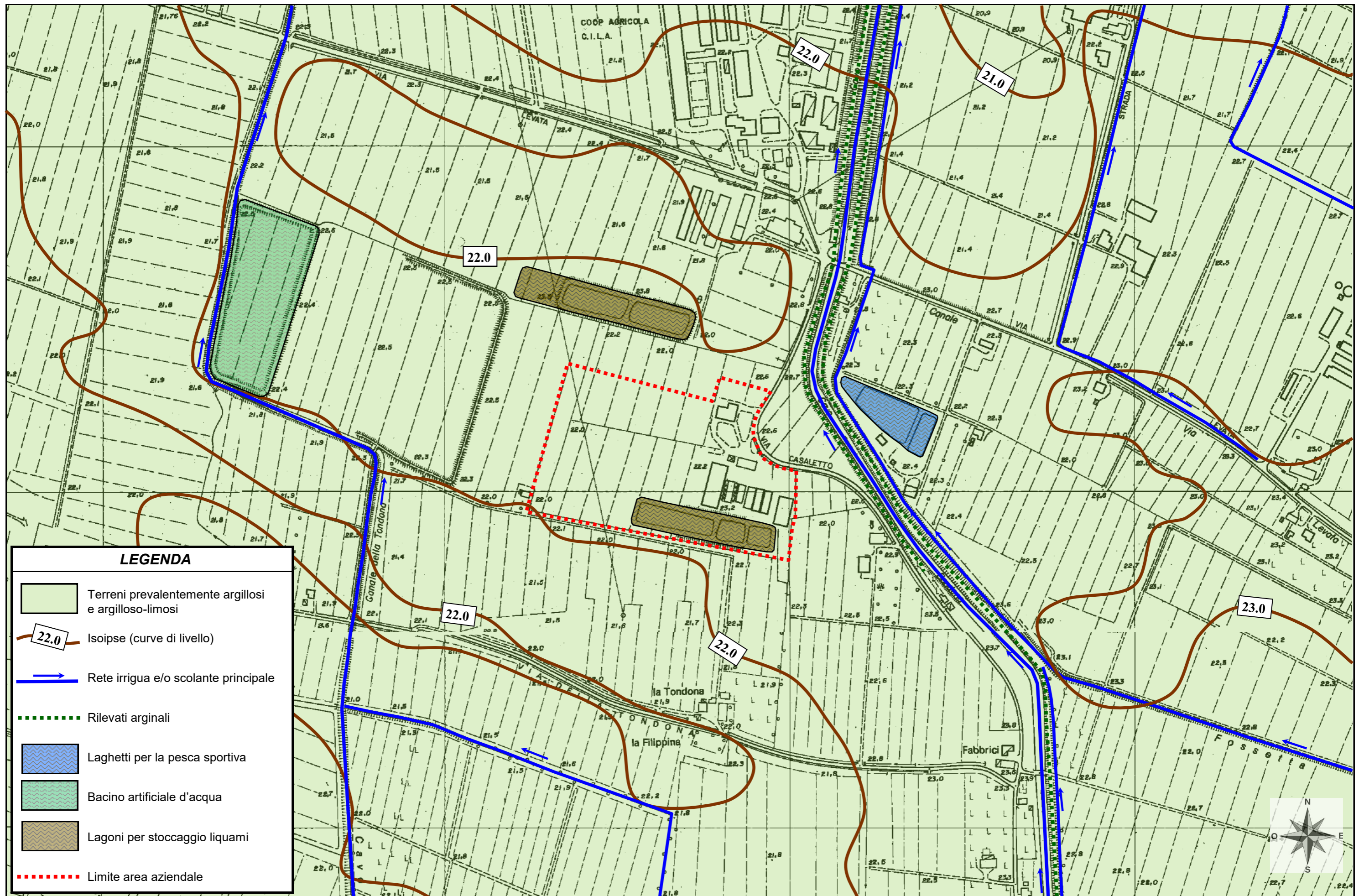


LEGENDA

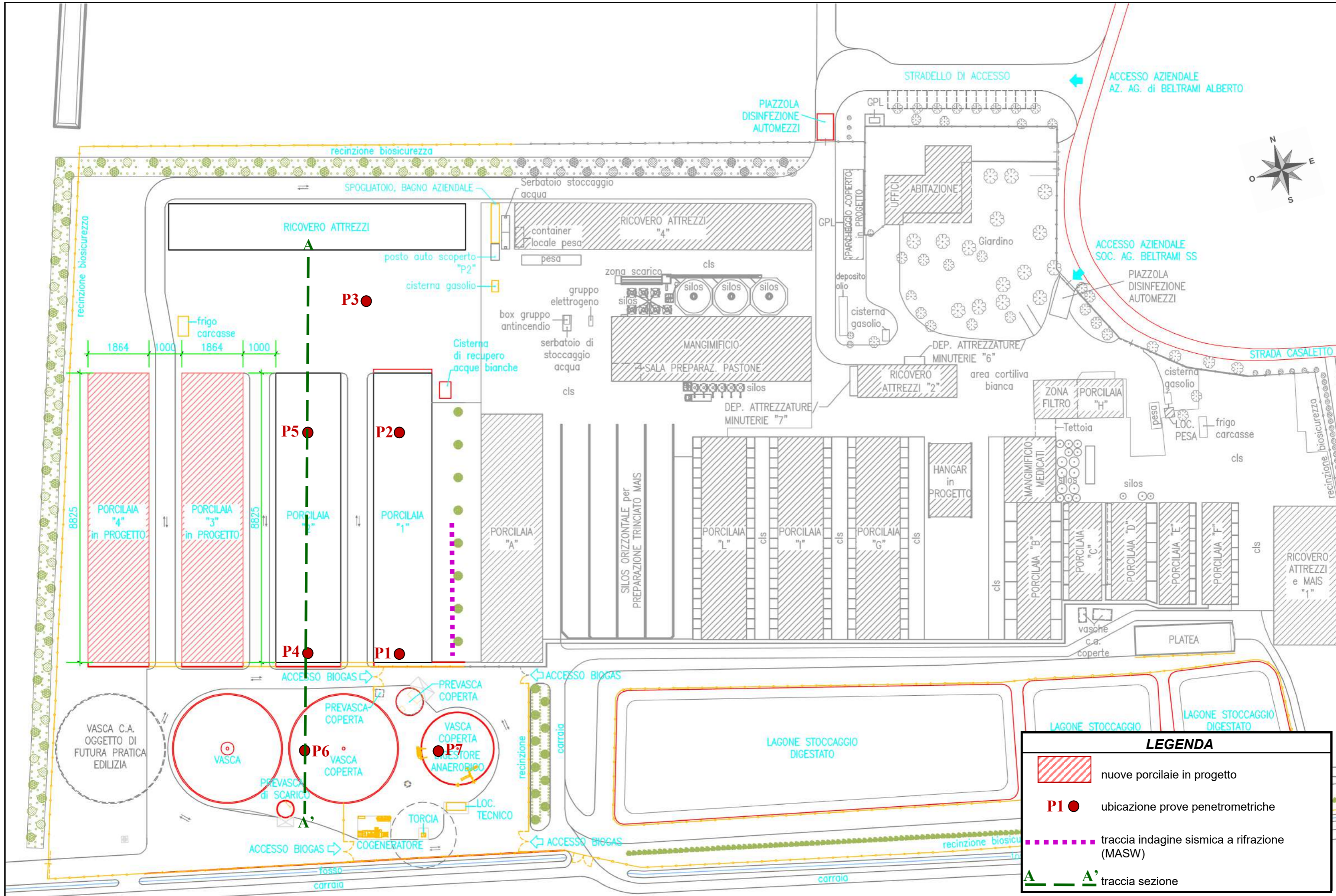


Area in oggetto

Tav. 2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE - scala 1:10.000
(da Google Earth)



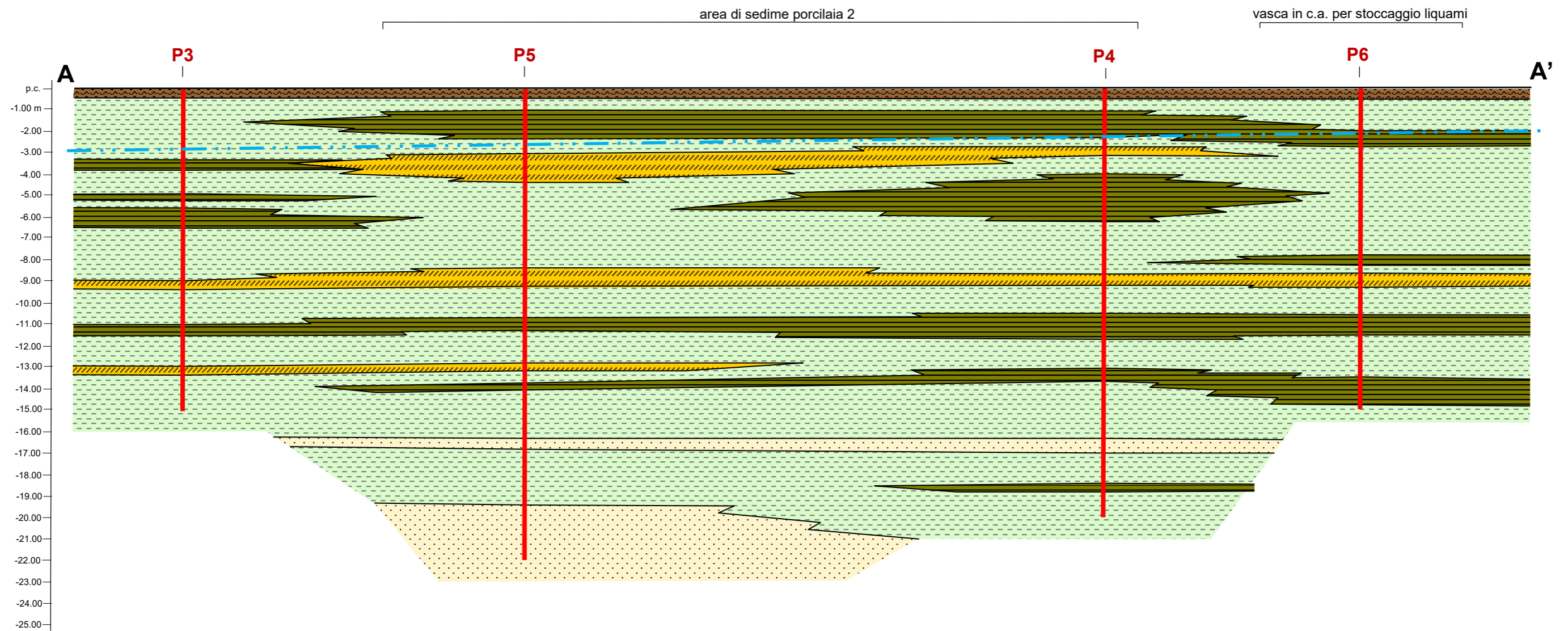
Tav. 3 - CARTA LITOMORFOLOGICA - scala 1: 5.000







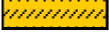


LEGENDA

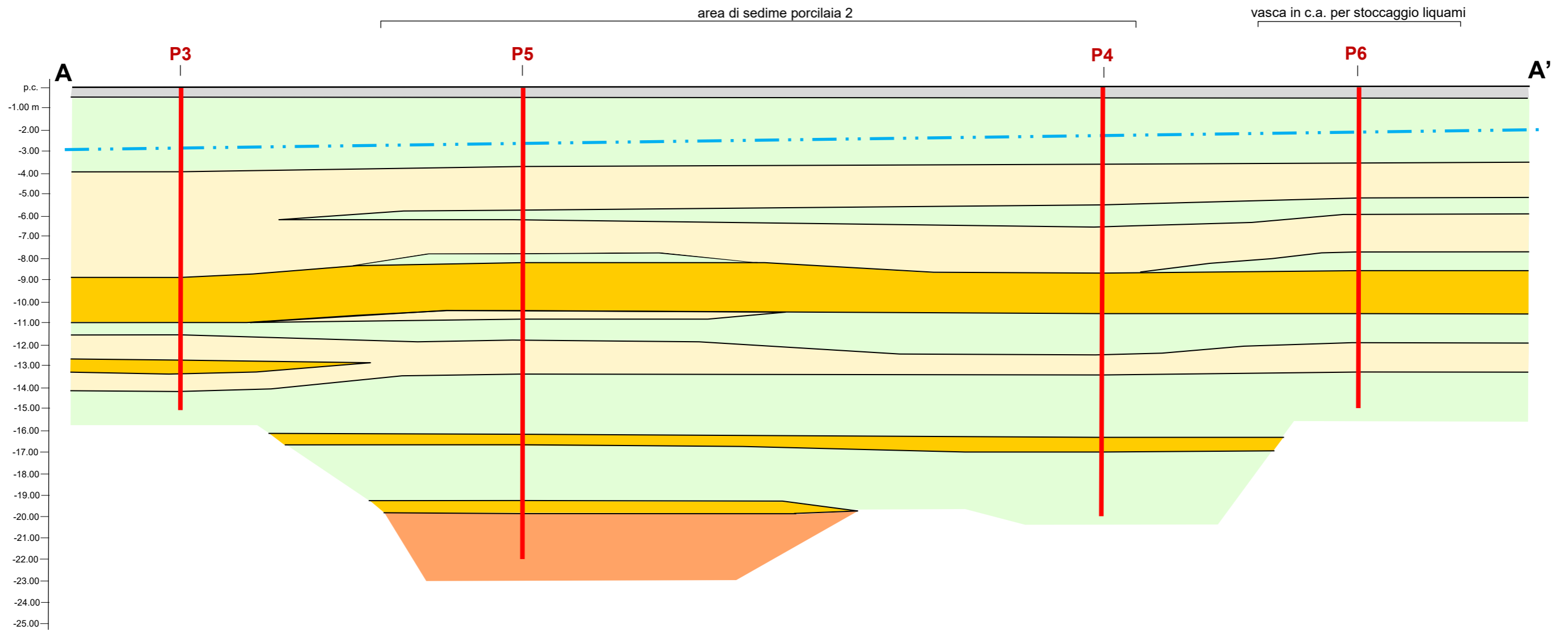
- nuove porcilaie in progetto
- P1 ● ubicazione prove penetrometriche
- traccia indagine sismica a rifrazione (MASW)
- A — A' traccia sezione


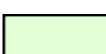
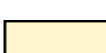




Tav. 4 - PLANIMETRIA GENERALE DELL'AREA - scala 1:1000



LEGENDA			
	Suolo agrario e/o terreni di riporto		Sabbie
	Argille plastiche		Livello di soggiacenza della falda freatica
	Argille e limi		Prove penetrometriche statiche
	Limi sabbiosi e/o sabbie limose		

Tav. 5 - SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA - scala d = 1:500, scala h = 1:200



LEGENDA	
	Suolo agrario rimaneggiato
	Unità Geotecnica 1 (terreni coesivi): $10\text{Kg/cm}^2 \leq R_p < 20\text{ Kg/cm}^2$
	Unità Geotecnica 2 (terreni coesivi): $20\text{Kg/cm}^2 \leq R_p < 30\text{ Kg/cm}^2$
	Unità Geotecnica 3 (terreni coesivi o semicoesivi): $30\text{Kg/cm}^2 \leq R_p < 50\text{ Kg/cm}^2$
	Unità Geotecnica 4 (terreni granulari): $R_p \geq 50\text{ Kg/cm}^2$
	Livello di soggiacenza della falda freatica
	Prove penetrometriche statiche

Tav. 6 - SEZIONE GEOTECNICA - scala d = 1:500, scala h = 1:200

ALLEGATO 1

**Prove penetrometriche statiche
relative ad uno studio precedente**



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **128/16** Data emissione: 31/03/16

Committente : C/O DOTT. SPERONI ALFREDO

Località : VIA CASALETTO, NOVELLARA

Prova numero : 1

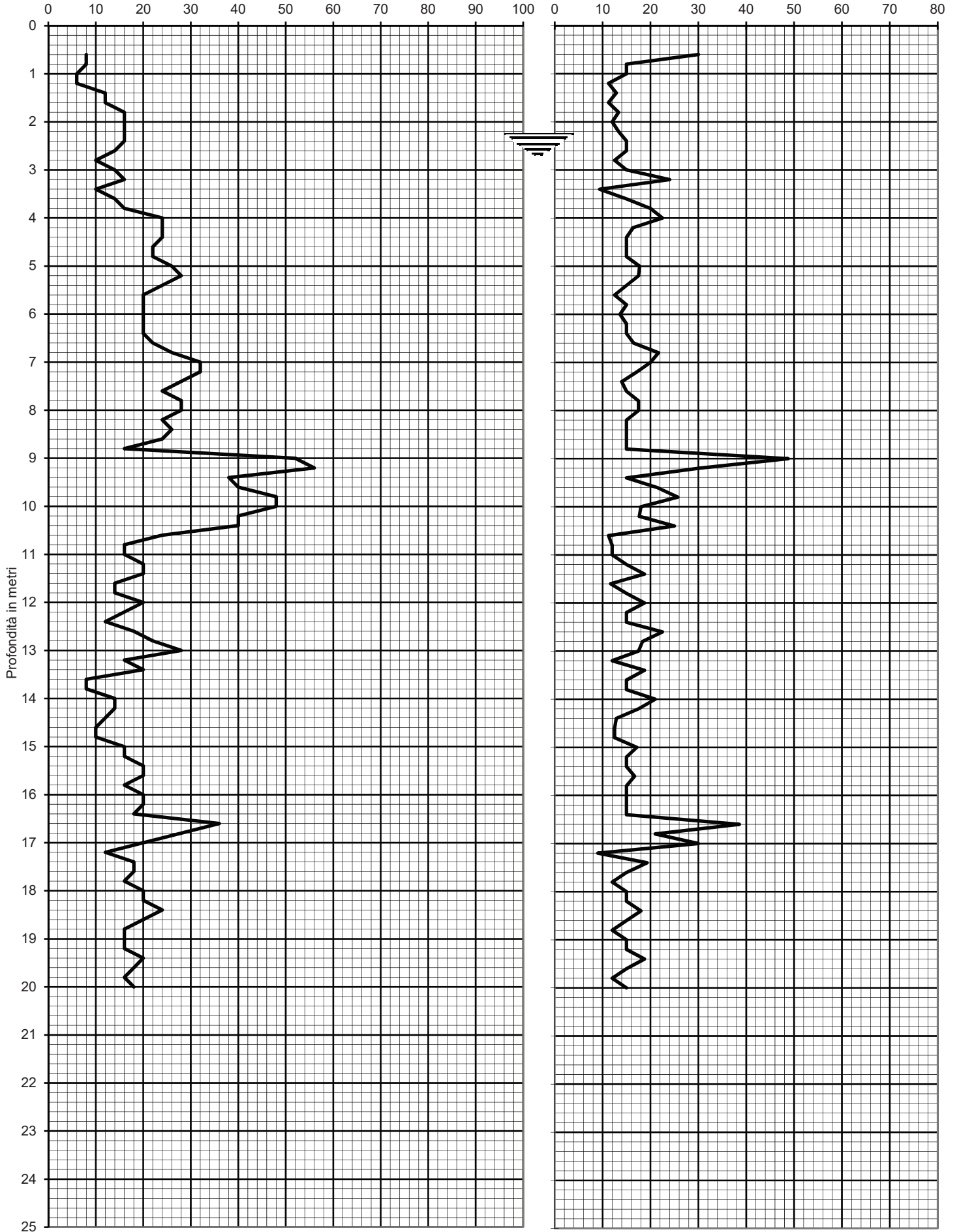
Data : 31/03/2016

Operatore : DR. STANZANI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	8	12	8	0,27	30,00
0,80	8	16	8	0,53	15,00
1,00	6	12	6	0,40	15,00
1,20	6	14	6	0,53	11,25
1,40	12	26	12	0,93	12,86
1,60	12	28	12	1,07	11,25
1,80	16	34	16	1,20	13,33
2,00	16	36	16	1,33	12,00
2,20	16	34	16	1,20	13,33
2,40	16	32	16	1,07	15,00
2,60	14	28	14	0,93	15,00
2,80	10	22	10	0,80	12,50
3,00	14	28	14	0,93	15,00
3,20	16	26	16	0,67	24,00
3,40	10	26	10	1,07	9,38
3,60	14	28	14	0,93	15,00
3,80	16	28	16	0,80	20,00
4,00	24	40	24	1,07	22,50
4,20	24	46	24	1,47	16,36
4,40	24	48	24	1,60	15,00
4,60	22	44	22	1,47	15,00
4,80	22	44	22	1,47	15,00
5,00	26	48	26	1,47	17,73
5,20	28	52	28	1,60	17,50
5,40	24	48	24	1,60	15,00
5,60	20	44	20	1,60	12,50
5,80	20	40	20	1,33	15,00
6,00	20	42	20	1,47	13,64
6,20	20	40	20	1,33	15,00
6,40	20	40	20	1,33	15,00
6,60	22	42	22	1,33	16,50
6,80	26	44	26	1,20	21,67
7,00	32	56	32	1,60	20,00
7,20	32	60	32	1,87	17,14
7,40	28	58	28	2,00	14,00
7,60	24	48	24	1,60	15,00
7,80	28	52	28	1,60	17,50
8,00	28	52	28	1,60	17,50
8,20	24	48	24	1,60	15,00
8,40	26	52	26	1,73	15,00
8,60	24	48	24	1,60	15,00
8,80	16	32	16	1,07	15,00
9,00	52	68	52	1,07	48,75
9,20	56	84	56	1,87	30,00
9,40	38	76	38	2,53	15,00
9,60	40	68	40	1,87	21,43
9,80	48	76	48	1,87	25,71
10,00	48	88	48	2,67	18,00
10,20	40	74	40	2,27	17,65
10,40	40	64	40	1,60	25,00
10,60	24	56	24	2,13	11,25
10,80	16	36	16	1,33	12,00
11,00	16	36	16	1,33	12,00
11,20	20	40	20	1,33	15,00
11,40	20	36	20	1,07	18,75
11,60	14	32	14	1,20	11,67
11,80	14	28	14	0,93	15,00
12,00	20	36	20	1,07	18,75
12,20	16	32	16	1,07	15,00
12,40	12	24	12	0,80	15,00
12,60	18	30	18	0,80	22,50
12,80	22	40	22	1,20	18,33
13,00	28	52	28	1,60	17,50
13,20	16	36	16	1,33	12,00
13,40	20	36	20	1,07	18,75
13,60	8	16	8	0,53	15,00
13,80	8	16	8	0,53	15,00
14,00	14	24	14	0,67	21,00
14,20	14	26	14	0,80	17,50
14,40	12	26	12	0,93	12,86
14,60	10	22	10	0,80	12,50
14,80	10	22	10	0,80	12,50
15,00	16	30	16	0,93	17,14

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	16	32	16	1,07	15,00
15,40	20	40	20	1,33	15,00
15,60	20	38	20	1,20	16,67
15,80	16	32	16	1,07	15,00
16,00	20	40	20	1,33	15,00
16,20	20	40	20	1,33	15,00
16,40	18	36	18	1,20	15,00
16,60	36	50	36	0,93	38,57
16,80	28	48	28	1,33	21,00
17,00	20	30	20	0,67	30,00
17,20	12	32	12	1,33	9,00
17,40	18	32	18	0,93	19,29
17,60	18	36	18	1,20	15,00
17,80	16	36	16	1,33	12,00
18,00	20	40	20	1,33	15,00
18,20	20	40	20	1,33	15,00
18,40	24	44	24	1,33	18,00
18,60	20	40	20	1,33	15,00
18,80	16	36	16	1,33	12,00
19,00	16	32	16	1,07	15,00
19,20	16	32	16	1,07	15,00
19,40	20	36	20	1,07	18,75
19,60	18	36	18	1,20	15,00
19,80	16	36	16	1,33	12,00
20,00	18	36	18	1,20	15,00
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **129/16**

Data emissione: 31/03/16

Committente : C/O DOTT. SPERONI ALFREDO

Località : VIA CASALETTO, NOVELLARA

Prova numero : 2

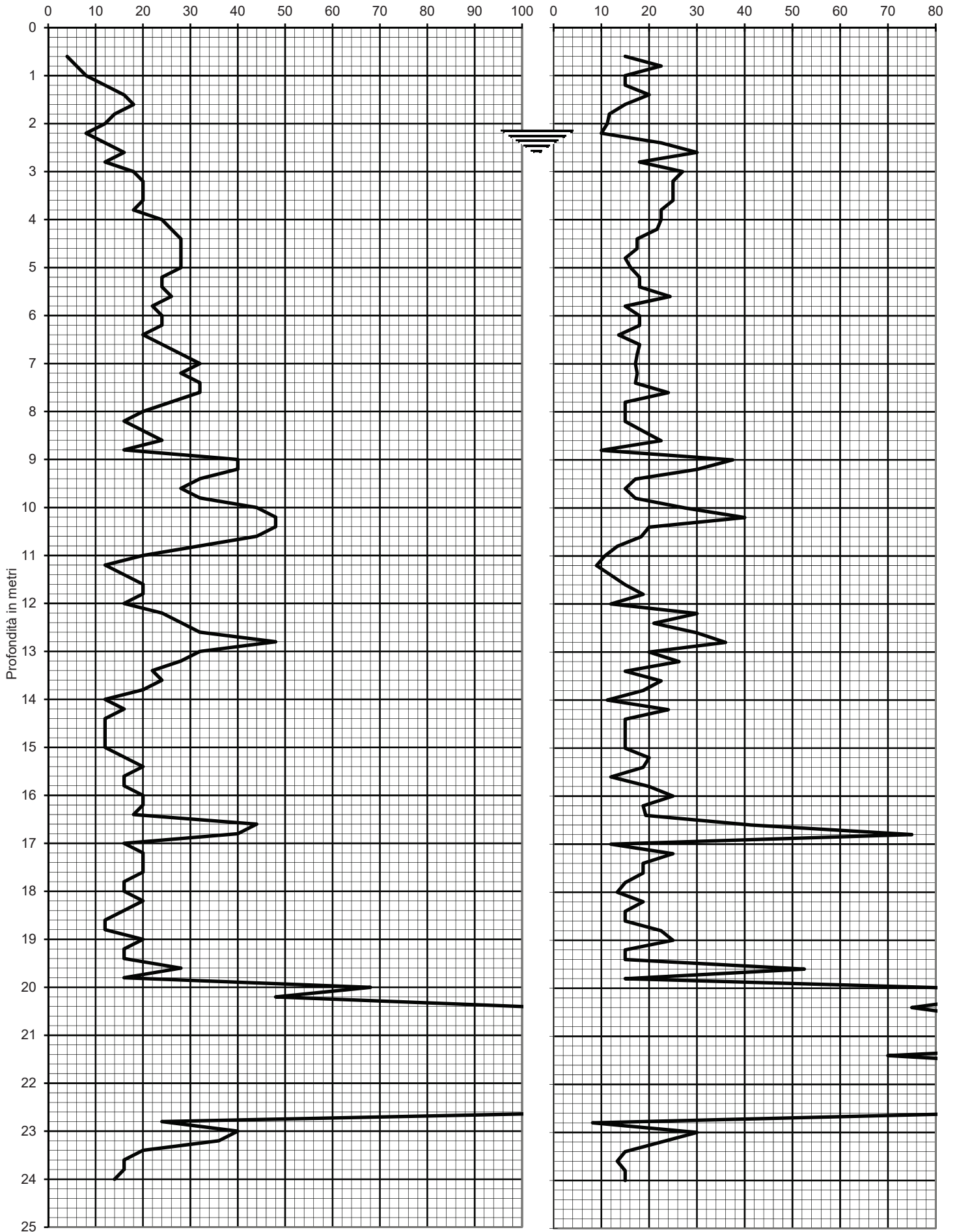
Data : 31/03/2016

Operatore : DR. STANZANI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	4	8	4	0,27	15,00
0,80	6	10	6	0,27	22,50
1,00	8	16	8	0,53	15,00
1,20	12	24	12	0,80	15,00
1,40	16	28	16	0,80	20,00
1,60	18	36	18	1,20	15,00
1,80	14	32	14	1,20	11,67
2,00	12	28	12	1,07	11,25
2,20	8	20	8	0,80	10,00
2,40	12	20	12	0,53	22,50
2,60	16	24	16	0,53	30,00
2,80	12	22	12	0,67	18,00
3,00	18	28	18	0,67	27,00
3,20	20	32	20	0,80	25,00
3,40	20	32	20	0,80	25,00
3,60	20	32	20	0,80	25,00
3,80	18	30	18	0,80	22,50
4,00	24	40	24	1,07	22,50
4,20	26	44	26	1,20	21,67
4,40	28	52	28	1,60	17,50
4,60	28	52	28	1,60	17,50
4,80	28	56	28	1,87	15,00
5,00	28	54	28	1,73	16,15
5,20	24	44	24	1,33	18,00
5,40	24	44	24	1,33	18,00
5,60	26	42	26	1,07	24,38
5,80	22	44	22	1,47	15,00
6,00	24	44	24	1,33	18,00
6,20	24	44	24	1,33	18,00
6,40	20	42	20	1,47	13,64
6,60	24	44	24	1,33	18,00
6,80	28	52	28	1,60	17,50
7,00	32	60	32	1,87	17,14
7,20	28	52	28	1,60	17,50
7,40	32	60	32	1,87	17,14
7,60	32	52	32	1,33	24,00
7,80	26	52	26	1,73	15,00
8,00	20	40	20	1,33	15,00
8,20	16	32	16	1,07	15,00
8,40	20	36	20	1,07	18,75
8,60	24	40	24	1,07	22,50
8,80	16	40	16	1,60	10,00
9,00	40	56	40	1,07	37,50
9,20	40	60	40	1,33	30,00
9,40	32	60	32	1,87	17,14
9,60	28	56	28	1,87	15,00
9,80	32	60	32	1,87	17,14
10,00	44	68	44	1,60	27,50
10,20	48	66	48	1,20	40,00
10,40	48	84	48	2,40	20,00
10,60	44	80	44	2,40	18,33
10,80	32	68	32	2,40	13,33
11,00	20	48	20	1,87	10,71
11,20	12	32	12	1,33	9,00
11,40	16	36	16	1,33	12,00
11,60	20	40	20	1,33	15,00
11,80	20	36	20	1,07	18,75
12,00	16	36	16	1,33	12,00
12,20	24	36	24	0,80	30,00
12,40	28	48	28	1,33	21,00
12,60	32	48	32	1,07	30,00
12,80	48	68	48	1,33	36,00
13,00	32	56	32	1,60	20,00
13,20	28	44	28	1,07	26,25
13,40	22	44	22	1,47	15,00
13,60	24	40	24	1,07	22,50
13,80	20	36	20	1,07	18,75
14,00	12	28	12	1,07	11,25
14,20	16	26	16	0,67	24,00
14,40	12	24	12	0,80	15,00
14,60	12	24	12	0,80	15,00
14,80	12	24	12	0,80	15,00
15,00	12	24	12	0,80	15,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	16	28	16	0,80	20,00
15,40	20	36	20	1,07	18,75
15,60	16	36	16	1,33	12,00
15,80	16	28	16	0,80	20,00
16,00	20	32	20	0,80	25,00
16,20	20	36	20	1,07	18,75
16,40	18	32	18	0,93	19,29
16,60	44	60	44	1,07	41,25
16,80	40	48	40	0,53	75,00
17,00	16	36	16	1,33	12,00
17,20	20	32	20	0,80	25,00
17,40	20	36	20	1,07	18,75
17,60	20	36	20	1,07	18,75
17,80	16	32	16	1,07	15,00
18,00	16	34	16	1,20	13,33
18,20	20	36	20	1,07	18,75
18,40	16	32	16	1,07	15,00
18,60	12	24	12	0,80	15,00
18,80	12	20	12	0,53	22,50
19,00	20	32	20	0,80	25,00
19,20	16	32	16	1,07	15,00
19,40	16	32	16	1,07	15,00
19,60	28	36	28	0,53	52,50
19,80	16	32	16	1,07	15,00
20,00	68	80	68	0,80	85,00
20,20	48	56	48	0,53	90,00
20,40	100	120	100	1,33	75,00
20,60	120	140	120	1,33	90,00
20,80	140	160	140	1,33	105,00
21,00	120	140	120	1,33	90,00
21,20	150	170	150	1,33	112,50
21,40	140	170	140	2,00	70,00
21,60	140	160	140	1,33	105,00
21,80	170	200	170	2,00	85,00
22,00	170	190	170	1,33	127,50
22,20	180	200	180	1,33	135,00
22,40	160	180	160	1,33	120,00
22,60	120	140	120	1,33	90,00
22,80	24	68	24	2,93	8,18
23,00	40	60	40	1,33	30,00
23,20	36	60	36	1,60	22,50
23,40	20	40	20	1,33	15,00
23,60	16	34	16	1,20	13,33
23,80	16	32	16	1,07	15,00
24,00	14	28	14	0,93	15,00
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **130/16** Data emissione: 31/03/16

Committente : C/O DOTT. SPERONI ALFREDO

Località : VIA CASALETTO, NOVELLARA

Prova numero : 3

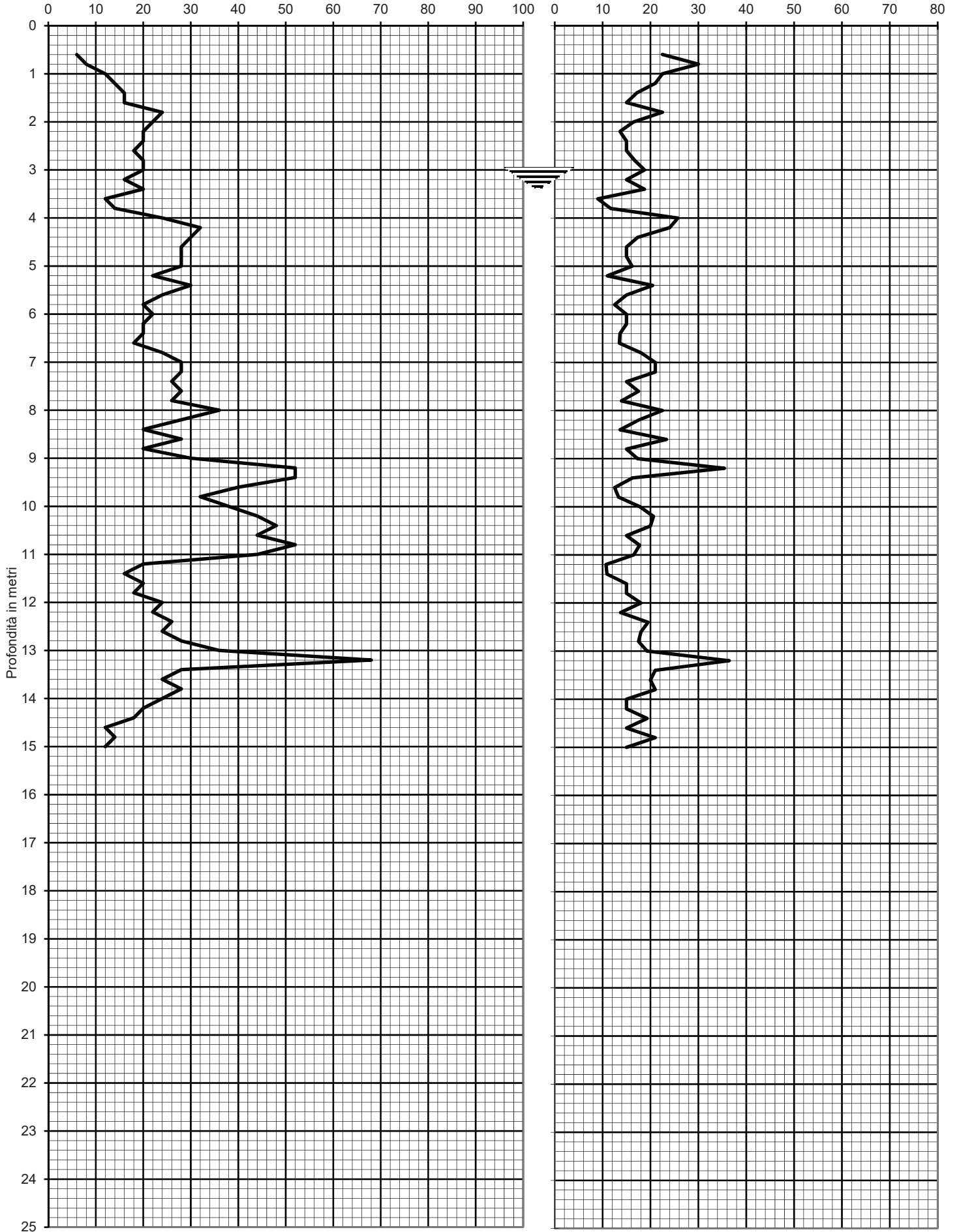
Data : 31/03/2016

Operatore : DR. STANZANI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta Rp (kg/cm²)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	6	10	6	0,27	22,50
0,80	8	12	8	0,27	30,00
1,00	12	20	12	0,53	22,50
1,20	14	24	14	0,67	21,00
1,40	16	30	16	0,93	17,14
1,60	16	32	16	1,07	15,00
1,80	24	40	24	1,07	22,50
2,00	22	42	22	1,33	16,50
2,20	20	42	20	1,47	13,64
2,40	20	40	20	1,33	15,00
2,60	18	36	18	1,20	15,00
2,80	20	38	20	1,20	16,67
3,00	20	36	20	1,07	18,75
3,20	16	32	16	1,07	15,00
3,40	20	36	20	1,07	18,75
3,60	12	32	12	1,33	9,00
3,80	14	32	14	1,20	11,67
4,00	24	38	24	0,93	25,71
4,20	32	52	32	1,33	24,00
4,40	30	56	30	1,73	17,31
4,60	28	56	28	1,87	15,00
4,80	28	56	28	1,87	15,00
5,00	28	54	28	1,73	16,15
5,20	22	52	22	2,00	11,00
5,40	30	52	30	1,47	20,45
5,60	24	48	24	1,60	15,00
5,80	20	44	20	1,60	12,50
6,00	22	44	22	1,47	15,00
6,20	20	40	20	1,33	15,00
6,40	20	42	20	1,47	13,64
6,60	18	38	18	1,33	13,50
6,80	24	44	24	1,33	18,00
7,00	28	48	28	1,33	21,00
7,20	28	48	28	1,33	21,00
7,40	26	52	26	1,73	15,00
7,60	28	52	28	1,60	17,50
7,80	26	54	26	1,87	13,93
8,00	36	60	36	1,60	22,50
8,20	28	52	28	1,60	17,50
8,40	20	42	20	1,47	13,64
8,60	28	46	28	1,20	23,33
8,80	20	40	20	1,33	15,00
9,00	30	56	30	1,73	17,31
9,20	52	74	52	1,47	35,45
9,40	52	100	52	3,20	16,25
9,60	40	88	40	3,20	12,50
9,80	32	68	32	2,40	13,33
10,00	38	70	38	2,13	17,81
10,20	44	76	44	2,13	20,63
10,40	48	84	48	2,40	20,00
10,60	44	88	44	2,93	15,00
10,80	52	96	52	2,93	17,73
11,00	44	84	44	2,67	16,50
11,20	20	48	20	1,87	10,71
11,40	16	38	16	1,47	10,91
11,60	20	40	20	1,33	15,00
11,80	18	36	18	1,20	15,00
12,00	24	44	24	1,33	18,00
12,20	22	46	22	1,60	13,75
12,40	26	46	26	1,33	19,50
12,60	24	44	24	1,33	18,00
12,80	28	52	28	1,60	17,50
13,00	36	64	36	1,87	19,29
13,20	68	96	68	1,87	36,43
13,40	28	48	28	1,33	21,00
13,60	24	42	24	1,20	20,00
13,80	28	48	28	1,33	21,00
14,00	24	48	24	1,60	15,00
14,20	20	40	20	1,33	15,00
14,40	18	32	18	0,93	19,29
14,60	12	24	12	0,80	15,00
14,80	14	24	14	0,67	21,00
15,00	12	24	12	0,80	15,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **131/16** Data emissione: 31/03/16

Committente : C/O DOTT. SPERONI ALFREDO

Località : VIA CASALETTO, NOVELLARA

Prova numero : 4

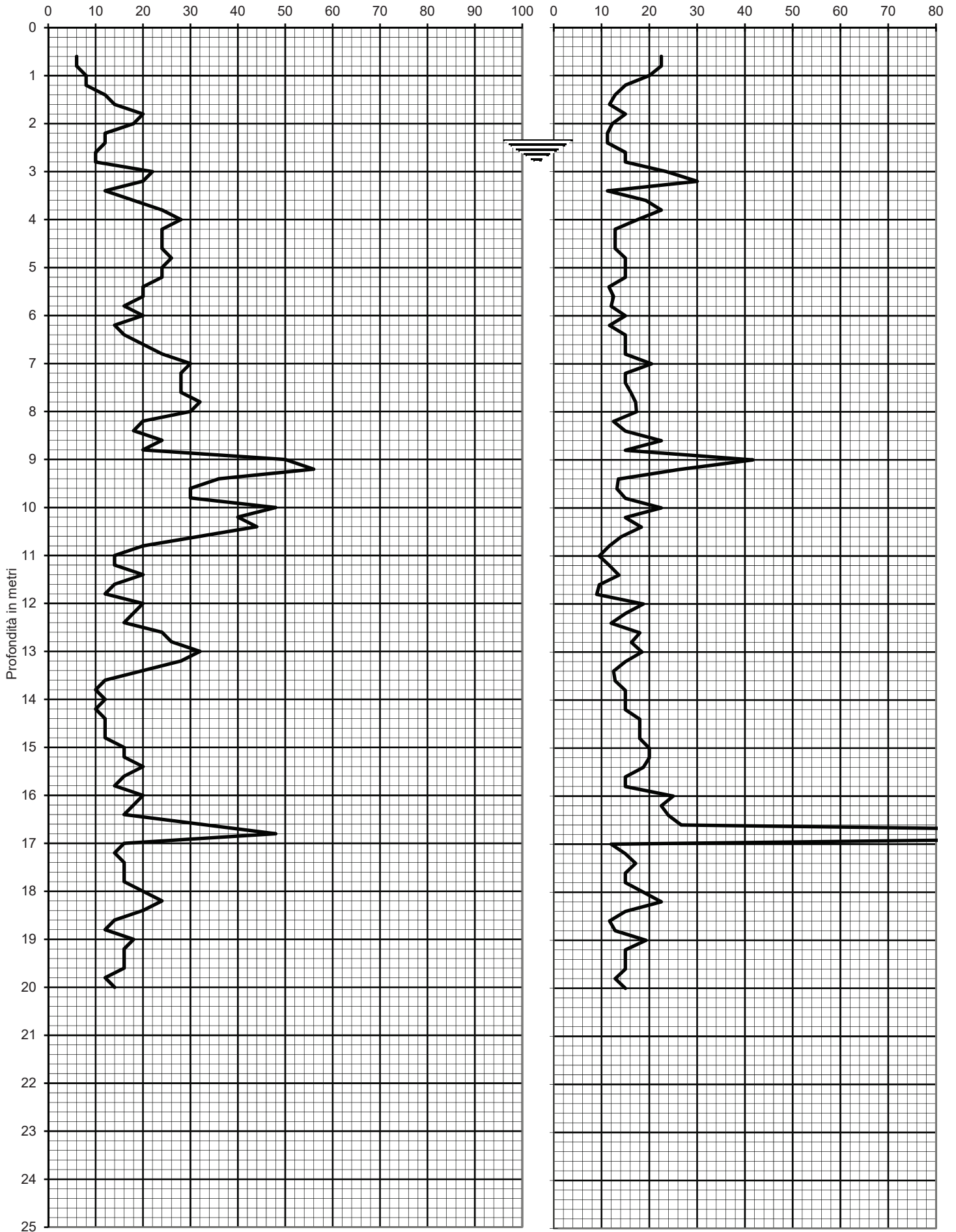
Data : 31/03/2016

Operatore : DR. STANZANI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	6	10	6	0,27	22,50
0,80	6	10	6	0,27	22,50
1,00	8	14	8	0,40	20,00
1,20	8	16	8	0,53	15,00
1,40	12	26	12	0,93	12,86
1,60	14	32	14	1,20	11,67
1,80	20	40	20	1,33	15,00
2,00	18	40	18	1,47	12,27
2,20	12	28	12	1,07	11,25
2,40	12	28	12	1,07	11,25
2,60	10	20	10	0,67	15,00
2,80	10	20	10	0,67	15,00
3,00	22	36	22	0,93	23,57
3,20	20	30	20	0,67	30,00
3,40	12	28	12	1,07	11,25
3,60	18	32	18	0,93	19,29
3,80	24	40	24	1,07	22,50
4,00	28	52	28	1,60	17,50
4,20	24	52	24	1,87	12,86
4,40	24	52	24	1,87	12,86
4,60	24	52	24	1,87	12,86
4,80	26	52	26	1,73	15,00
5,00	24	48	24	1,60	15,00
5,20	24	48	24	1,60	15,00
5,40	20	46	20	1,73	11,54
5,60	20	44	20	1,60	12,50
5,80	16	36	16	1,33	12,00
6,00	20	40	20	1,33	15,00
6,20	14	32	14	1,20	11,67
6,40	16	32	16	1,07	15,00
6,60	20	40	20	1,33	15,00
6,80	24	48	24	1,60	15,00
7,00	30	52	30	1,47	20,45
7,20	28	56	28	1,87	15,00
7,40	28	56	28	1,87	15,00
7,60	28	54	28	1,73	16,15
7,80	32	60	32	1,87	17,14
8,00	30	56	30	1,73	17,31
8,20	20	44	20	1,60	12,50
8,40	18	36	18	1,20	15,00
8,60	24	40	24	1,07	22,50
8,80	20	40	20	1,33	15,00
9,00	50	68	50	1,20	41,67
9,20	56	88	56	2,13	26,25
9,40	36	76	36	2,67	13,50
9,60	30	64	30	2,27	13,24
9,80	30	60	30	2,00	15,00
10,00	48	80	48	2,13	22,50
10,20	40	80	40	2,67	15,00
10,40	44	80	44	2,40	18,33
10,60	32	66	32	2,27	14,12
10,80	20	46	20	1,73	11,54
11,00	14	36	14	1,47	9,55
11,20	14	32	14	1,20	11,67
11,40	20	42	20	1,47	13,64
11,60	14	36	14	1,47	9,55
11,80	12	32	12	1,33	9,00
12,00	20	36	20	1,07	18,75
12,20	18	36	18	1,20	15,00
12,40	16	36	16	1,33	12,00
12,60	24	44	24	1,33	18,00
12,80	26	50	26	1,60	16,25
13,00	32	58	32	1,73	18,46
13,20	28	56	28	1,87	15,00
13,40	20	44	20	1,60	12,50
13,60	12	26	12	0,93	12,86
13,80	10	20	10	0,67	15,00
14,00	12	24	12	0,80	15,00
14,20	10	20	10	0,67	15,00
14,40	12	22	12	0,67	18,00
14,60	12	22	12	0,67	18,00
14,80	12	22	12	0,67	18,00
15,00	16	28	16	0,80	20,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	16	28	16	0,80	20,00
15,40	20	36	20	1,07	18,75
15,60	16	32	16	1,07	15,00
15,80	14	28	14	0,93	15,00
16,00	20	32	20	0,80	25,00
16,20	18	30	18	0,80	22,50
16,40	16	26	16	0,67	24,00
16,60	32	50	32	1,20	26,67
16,80	48	52	48	0,27	180,00
17,00	16	36	16	1,33	12,00
17,20	14	28	14	0,93	15,00
17,40	16	30	16	0,93	17,14
17,60	16	32	16	1,07	15,00
17,80	16	32	16	1,07	15,00
18,00	20	36	20	1,07	18,75
18,20	24	40	24	1,07	22,50
18,40	20	40	20	1,33	15,00
18,60	14	32	14	1,20	11,67
18,80	12	26	12	0,93	12,86
19,00	18	32	18	0,93	19,29
19,20	16	32	16	1,07	15,00
19,40	16	32	16	1,07	15,00
19,60	16	32	16	1,07	15,00
19,80	12	26	12	0,93	12,86
20,00	14	28	14	0,93	15,00
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **132/16** Data emissione: 31/03/16

Committente : C/O DOTT. SPERONI ALFREDO

Località : VIA CASALETTO, NOVELLARA

Prova numero : 5

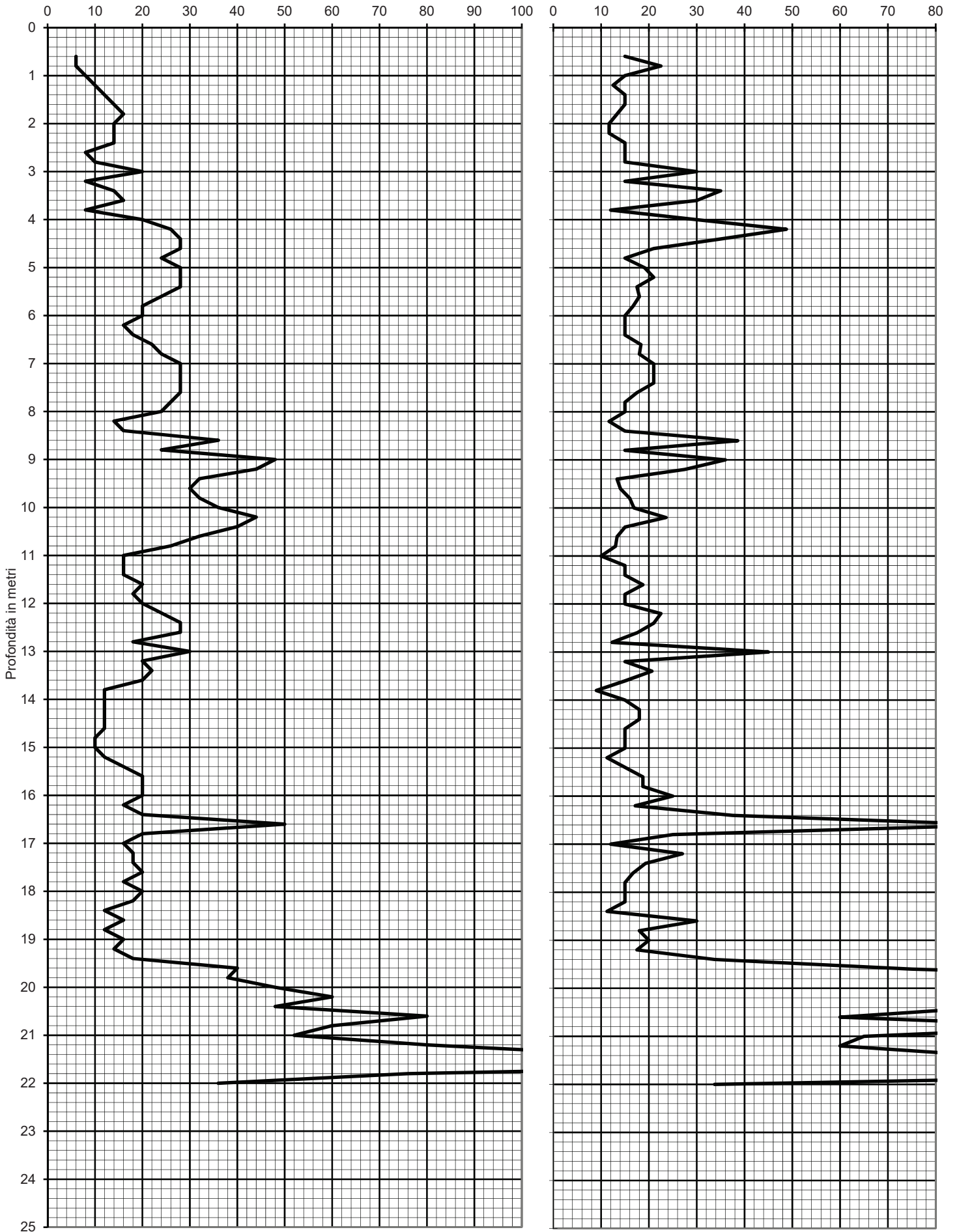
Data : 31/03/2016

Operatore : DR. STANZANI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	6	12	6	0,40	15,00
0,80	6	10	6	0,27	22,50
1,00	8	16	8	0,53	15,00
1,20	10	22	10	0,80	12,50
1,40	12	24	12	0,80	15,00
1,60	14	28	14	0,93	15,00
1,80	16	34	16	1,20	13,33
2,00	14	32	14	1,20	11,67
2,20	14	32	14	1,20	11,67
2,40	14	28	14	0,93	15,00
2,60	8	16	8	0,53	15,00
2,80	10	20	10	0,67	15,00
3,00	20	30	20	0,67	30,00
3,20	8	16	8	0,53	15,00
3,40	14	20	14	0,40	35,00
3,60	16	24	16	0,53	30,00
3,80	8	18	8	0,67	12,00
4,00	20	30	20	0,67	30,00
4,20	26	34	26	0,53	48,75
4,40	28	40	28	0,80	35,00
4,60	28	48	28	1,33	21,00
4,80	24	48	24	1,60	15,00
5,00	28	50	28	1,47	19,09
5,20	28	48	28	1,33	21,00
5,40	28	52	28	1,60	17,50
5,60	24	44	24	1,33	18,00
5,80	20	38	20	1,20	16,67
6,00	20	40	20	1,33	15,00
6,20	16	32	16	1,07	15,00
6,40	18	36	18	1,20	15,00
6,60	22	40	22	1,20	18,33
6,80	24	44	24	1,33	18,00
7,00	28	48	28	1,33	21,00
7,20	28	48	28	1,33	21,00
7,40	28	48	28	1,33	21,00
7,60	28	52	28	1,60	17,50
7,80	26	52	26	1,73	15,00
8,00	24	48	24	1,60	15,00
8,20	14	32	14	1,20	11,67
8,40	16	32	16	1,07	15,00
8,60	36	50	36	0,93	38,57
8,80	24	48	24	1,60	15,00
9,00	48	68	48	1,33	36,00
9,20	44	68	44	1,60	27,50
9,40	32	68	32	2,40	13,33
9,60	30	62	30	2,13	14,06
9,80	32	62	32	2,00	16,00
10,00	36	68	36	2,13	16,88
10,20	44	72	44	1,87	23,57
10,40	40	80	40	2,67	15,00
10,60	32	68	32	2,40	13,33
10,80	26	56	26	2,00	13,00
11,00	16	40	16	1,60	10,00
11,20	16	32	16	1,07	15,00
11,40	16	32	16	1,07	15,00
11,60	20	36	20	1,07	18,75
11,80	18	36	18	1,20	15,00
12,00	20	40	20	1,33	15,00
12,20	24	40	24	1,07	22,50
12,40	28	48	28	1,33	21,00
12,60	28	52	28	1,60	17,50
12,80	18	40	18	1,47	12,27
13,00	30	40	30	0,67	45,00
13,20	20	40	20	1,33	15,00
13,40	22	38	22	1,07	20,63
13,60	20	40	20	1,33	15,00
13,80	12	32	12	1,33	9,00
14,00	12	24	12	0,80	15,00
14,20	12	22	12	0,67	18,00
14,40	12	22	12	0,67	18,00
14,60	12	24	12	0,80	15,00
14,80	10	20	10	0,67	15,00
15,00	10	20	10	0,67	15,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	12	28	12	1,07	11,25
15,40	16	32	16	1,07	15,00
15,60	20	36	20	1,07	18,75
15,80	20	36	20	1,07	18,75
16,00	20	32	20	0,80	25,00
16,20	16	30	16	0,93	17,14
16,40	20	28	20	0,53	37,50
16,60	50	58	50	0,53	93,75
16,80	20	32	20	0,80	25,00
17,00	16	36	16	1,33	12,00
17,20	18	28	18	0,67	27,00
17,40	18	32	18	0,93	19,29
17,60	20	38	20	1,20	16,67
17,80	16	32	16	1,07	15,00
18,00	20	40	20	1,33	15,00
18,20	18	36	18	1,20	15,00
18,40	12	28	12	1,07	11,25
18,60	16	24	16	0,53	30,00
18,80	12	22	12	0,67	18,00
19,00	16	28	16	0,80	20,00
19,20	14	26	14	0,80	17,50
19,40	18	26	18	0,53	33,75
19,60	40	48	40	0,53	75,00
19,80	38	42	38	0,27	142,50
20,00	48	56	48	0,53	90,00
20,20	60	70	60	0,67	90,00
20,40	48	56	48	0,53	90,00
20,60	80	100	80	1,33	60,00
20,80	60	68	60	0,53	112,50
21,00	52	64	52	0,80	65,00
21,20	80	100	80	1,33	60,00
21,40	120	140	120	1,33	90,00
21,60	180	210	180	2,00	90,00
21,80	76	84	76	0,53	142,50
22,00	36	52	36	1,07	33,75
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **133/16** Data emissione: 31/03/16

Committente : C/O DOTT. SPERONI ALFREDO

Località : VIA CASALETTO, NOVELLARA

Prova numero : 6

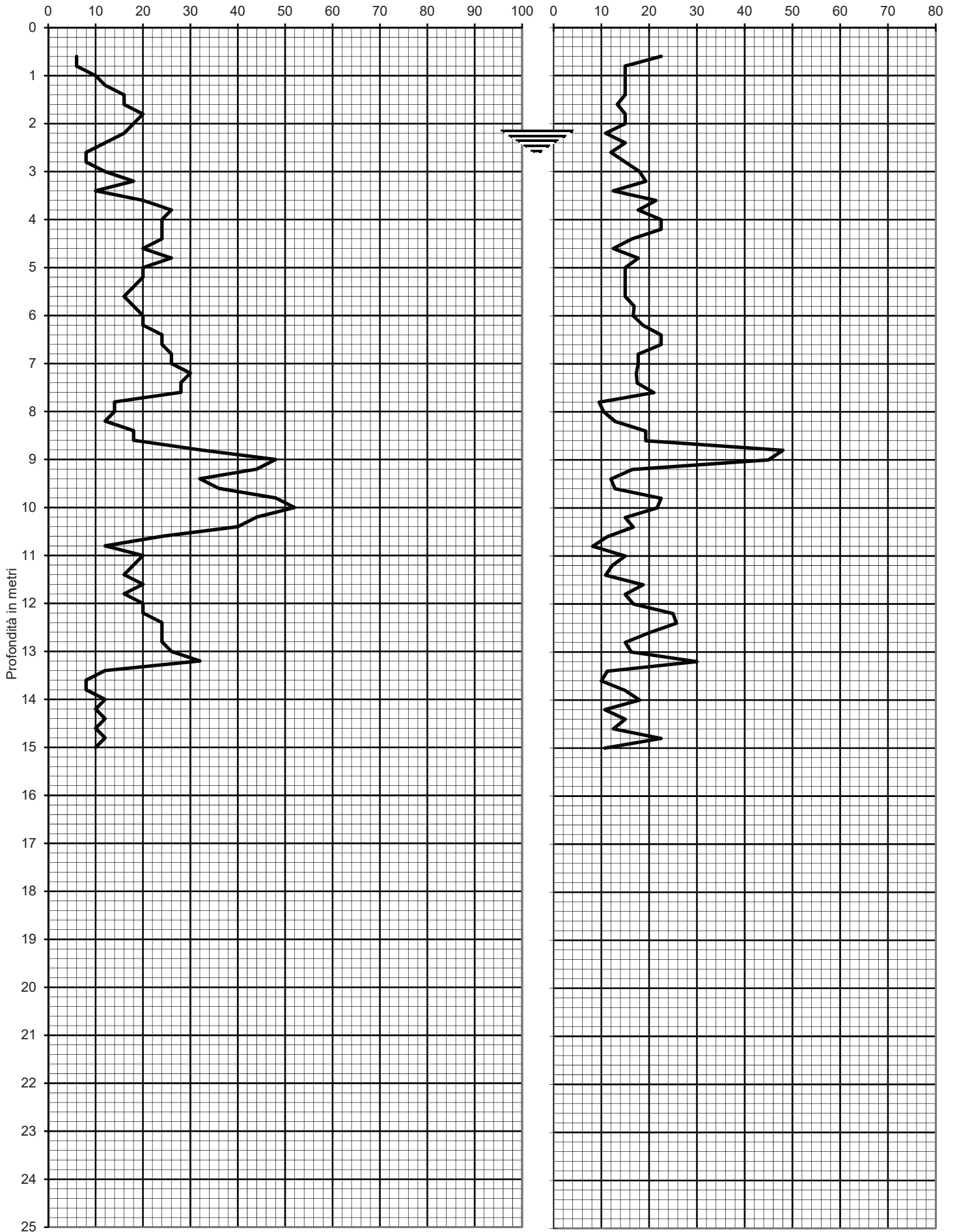
Data : 31/03/2016

Operatore : DR. STANZANI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	6	10	6	0,27	22,50
0,80	6	12	6	0,40	15,00
1,00	10	20	10	0,67	15,00
1,20	12	24	12	0,80	15,00
1,40	16	32	16	1,07	15,00
1,60	16	34	16	1,20	13,33
1,80	20	40	20	1,33	15,00
2,00	18	36	18	1,20	15,00
2,20	16	38	16	1,47	10,91
2,40	12	24	12	0,80	15,00
2,60	8	18	8	0,67	12,00
2,80	8	16	8	0,53	15,00
3,00	12	22	12	0,67	18,00
3,20	18	32	18	0,93	19,29
3,40	10	22	10	0,80	12,50
3,60	20	34	20	0,93	21,43
3,80	26	48	26	1,47	17,73
4,00	24	40	24	1,07	22,50
4,20	24	40	24	1,07	22,50
4,40	24	46	24	1,47	16,36
4,60	20	44	20	1,60	12,50
4,80	26	48	26	1,47	17,73
5,00	20	40	20	1,33	15,00
5,20	20	40	20	1,33	15,00
5,40	18	36	18	1,20	15,00
5,60	16	32	16	1,07	15,00
5,80	18	34	18	1,07	16,88
6,00	20	38	20	1,20	16,67
6,20	20	36	20	1,07	18,75
6,40	24	40	24	1,07	22,50
6,60	24	40	24	1,07	22,50
6,80	26	48	26	1,47	17,73
7,00	26	48	26	1,47	17,73
7,20	30	56	30	1,73	17,31
7,40	28	52	28	1,60	17,50
7,60	28	48	28	1,33	21,00
7,80	14	36	14	1,47	9,55
8,00	14	34	14	1,33	10,50
8,20	12	26	12	0,93	12,86
8,40	18	32	18	0,93	19,29
8,60	18	32	18	0,93	19,29
8,80	32	42	32	0,67	48,00
9,00	48	64	48	1,07	45,00
9,20	44	84	44	2,67	16,50
9,40	32	72	32	2,67	12,00
9,60	36	78	36	2,80	12,86
9,80	48	80	48	2,13	22,50
10,00	52	88	52	2,40	21,67
10,20	44	88	44	2,93	15,00
10,40	40	76	40	2,40	16,67
10,60	24	56	24	2,13	11,25
10,80	12	34	12	1,47	8,18
11,00	20	40	20	1,33	15,00
11,20	18	40	18	1,47	12,27
11,40	16	38	16	1,47	10,91
11,60	20	36	20	1,07	18,75
11,80	16	32	16	1,07	15,00
12,00	20	38	20	1,20	16,67
12,20	20	32	20	0,80	25,00
12,40	24	38	24	0,93	25,71
12,60	24	42	24	1,20	20,00
12,80	24	48	24	1,60	15,00
13,00	26	50	26	1,60	16,25
13,20	32	48	32	1,07	30,00
13,40	12	28	12	1,07	11,25
13,60	8	20	8	0,80	10,00
13,80	8	16	8	0,53	15,00
14,00	12	22	12	0,67	18,00
14,20	10	24	10	0,93	10,71
14,40	12	24	12	0,80	15,00
14,60	10	22	10	0,80	12,50
14,80	12	20	12	0,53	22,50
15,00	10	24	10	0,93	10,71

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



VIA AUSTRIA, 24 - 41122 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **134/16** Data emissione: 31/03/16

Committente : C/O DOTT. SPERONI ALFREDO

Località : VIA CASALETTO, NOVELLARA

Prova numero : 7

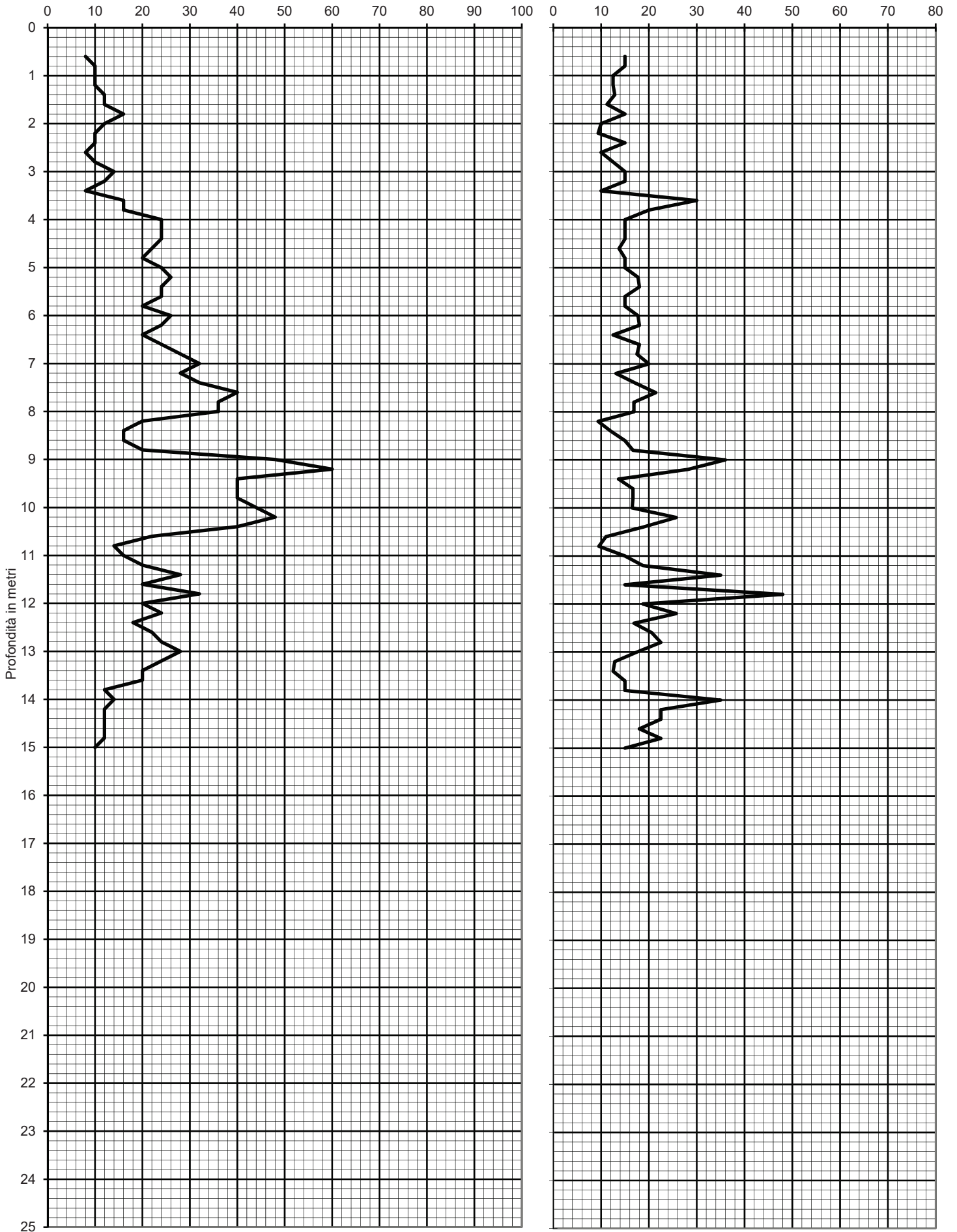
Data : 31/03/2016

Operatore : DR. STANZANI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	8	16	8	0,53	15,00
0,80	10	20	10	0,67	15,00
1,00	10	22	10	0,80	12,50
1,20	10	22	10	0,80	12,50
1,40	12	26	12	0,93	12,86
1,60	12	28	12	1,07	11,25
1,80	16	32	16	1,07	15,00
2,00	12	30	12	1,20	10,00
2,20	10	26	10	1,07	9,38
2,40	10	20	10	0,67	15,00
2,60	8	20	8	0,80	10,00
2,80	10	22	10	0,80	12,50
3,00	14	28	14	0,93	15,00
3,20	12	24	12	0,80	15,00
3,40	8	20	8	0,80	10,00
3,60	16	24	16	0,53	30,00
3,80	16	28	16	0,80	20,00
4,00	24	48	24	1,60	15,00
4,20	24	48	24	1,60	15,00
4,40	24	48	24	1,60	15,00
4,60	22	46	22	1,60	13,75
4,80	20	40	20	1,33	15,00
5,00	24	48	24	1,60	15,00
5,20	26	48	26	1,47	17,73
5,40	24	44	24	1,33	18,00
5,60	24	48	24	1,60	15,00
5,80	20	40	20	1,33	15,00
6,00	26	48	26	1,47	17,73
6,20	24	44	24	1,33	18,00
6,40	20	44	20	1,60	12,50
6,60	24	44	24	1,33	18,00
6,80	28	52	28	1,60	17,50
7,00	32	56	32	1,60	20,00
7,20	28	60	28	2,13	13,13
7,40	32	60	32	1,87	17,14
7,60	40	68	40	1,87	21,43
7,80	36	68	36	2,13	16,88
8,00	36	68	36	2,13	16,88
8,20	20	52	20	2,13	9,38
8,40	16	36	16	1,33	12,00
8,60	16	32	16	1,07	15,00
8,80	20	38	20	1,20	16,67
9,00	48	68	48	1,33	36,00
9,20	60	92	60	2,13	28,13
9,40	40	84	40	2,93	13,64
9,60	40	76	40	2,40	16,67
9,80	40	76	40	2,40	16,67
10,00	44	84	44	2,67	16,50
10,20	48	76	48	1,87	25,71
10,40	40	72	40	2,13	18,75
10,60	22	52	22	2,00	11,00
10,80	14	36	14	1,47	9,55
11,00	16	32	16	1,07	15,00
11,20	20	36	20	1,07	18,75
11,40	28	40	28	0,80	35,00
11,60	20	40	20	1,33	15,00
11,80	32	42	32	0,67	48,00
12,00	20	36	20	1,07	18,75
12,20	24	38	24	0,93	25,71
12,40	18	34	18	1,07	16,88
12,60	22	38	22	1,07	20,63
12,80	24	40	24	1,07	22,50
13,00	28	52	28	1,60	17,50
13,20	24	52	24	1,87	12,86
13,40	20	44	20	1,60	12,50
13,60	20	40	20	1,33	15,00
13,80	12	24	12	0,80	15,00
14,00	14	20	14	0,40	35,00
14,20	12	20	12	0,53	22,50
14,40	12	20	12	0,53	22,50
14,60	12	22	12	0,67	18,00
14,80	12	20	12	0,53	22,50
15,00	10	20	10	0,67	15,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

ALLEGATO 2

**Prospezione sismica a rifrazione
di tipo MASW relativa
ad uno studio precedente**

COMMITENZA

Dott. Geol. Speroni Alfredo
 Via Prato Bovino 73/a
 42024 Castelnovo di Sotto (RE)

TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO

RILIEVO SISMICO A RIFRAZIONE PER LA DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DEI TERRENI DI FONDAZIONE AI SENSI DEL DM 14/01/2008

OGGETTO DELL'ELABORATO

RELAZIONE DI INDAGINE GEOFISICA

LOCALIZZAZIONE

ITALIA
 REGIONE EMILIA ROMAGNA
 PROVINCIA DI REGGIO EMILIA
 COMUNE NOVELLARA
 STRADA CASALETTO

CODIFICA GENERALE ELABORATO

CODICE INTERNO	LOTTO	SETTORE DI ATTIVITA'	AREA DI PROGETTAZIONE	TIPO DOCUMENTO	N. ELABORATO
3708	0	C	A	REL	1

VERSIONE

DATA

OGGETTO

VERSIONE	DATA	OGGETTO
0	02/04/2016	1° EMISSIONE

DATI PROGETTISTA

PROPRIETA'

Dott. Geol. Giorgio Masotti
 Via di Mezzo, 90
 41058 Vignola (MO) – Italy



INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA D.M. 14/01/2008.....	2
3	INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE	3
4	ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – VS – METODO M.A.S.W.....	4
5	NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14.01.2008).....	9

INDICE DEGLI ALLEGATI

FIGURA 1:	UBICAZIONE BASE SISMICA MASW.....	4
FIGURA 2:	ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE.....	5
FIGURA 3:	ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE.....	6
FIGURA 4:	TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE.....	6
FIGURA 5:	ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE	7

1 PREMESSA

Su incarico del Dott. Geol. Alfredo Speroni e d'intesa con la Committenza, il sottoscritto:

- Dott. Giorgio Masotti, Geologo libero professionista, regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna con il numero 588 - Sez.A, in qualità di consulente tecnico della ditta Geo-Xpert Italia – Servizi – Tecnologie e Ambiente snc, con sede in Vignola (MO) – Via di Mezzo, 90,

ha provveduto alla stesura della presente relazione, finalizzata all'elaborazione delle indagini geofisiche effettuate con il metodo sismico a rifrazione ai fini della determinazione della caratterizzazione sismica del terreno di fondazione ai sensi del testo unitario "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14.01.2008).

L'area interessata dall'indagine geofisica è ubicata nel Comune di Novellara (RE) – Via Casaletto.

Allo scopo di determinare le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni presenti, è stata condotta un'indagine diretta in sito, di tipo sismico MASW, eseguita in data 31/03/2016, con determinazione sperimentale mediante inversione (Metodo MASW) del valore di $V_{s,30}$.

2 NORMATIVA D.M. 14/01/2008

Il D.M. 14.01.2008 prevede una classificazione dei terreni in base alla loro condizione topografica che deve essere considerata nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Il D.M. del 14.01.2008 prescrive che le azioni sismiche su ciascuna struttura sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r , ricavato moltiplicando la vita nominale dell'opera V_N per il coefficiente d'uso C_U , definito al variare della classe d'uso dell'opera stessa. La presente normativa stabilisce che gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso. Gli stati limite di esercizio sono lo Stato Limite di Operatività (SLO) e lo Stato Limite di Danno (SLD), mentre gli stati limite ultimi sono lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di Collasso (SLC).

Il D.M. 14.01.2008 stabilisce che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulle categorie di sottosuolo di riferimento e sulle condizioni topografiche del sito.

Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si essere effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$ entro i primi 30 m di profondità. Nei casi in cui tale determinazione non sia possibile, la classificazione può essere effettua in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [m/s]$$

la resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ è definita dall'espressione:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

la resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ è definita dall'espressione:

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}$$

dove h_i , $V_{s,i}$, $N_{SPT,i}$ e $c_{u,i}$ sono rispettivamente lo spessore, la velocità delle onde di taglio V_s , il numero di colpi N_{SPT} e la resistenza non drenata c_u nell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità.

Le categorie di sottosuolo di riferimento sono:

Tipo A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.
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 $V_{s,30}$ 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).
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 (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
Tipo D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ 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).
Tipo E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D con spessore non superiore ai 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

La normativa prevede due categorie aggiuntive di sottosuolo per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno:

S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30} < 100$ 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 a liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

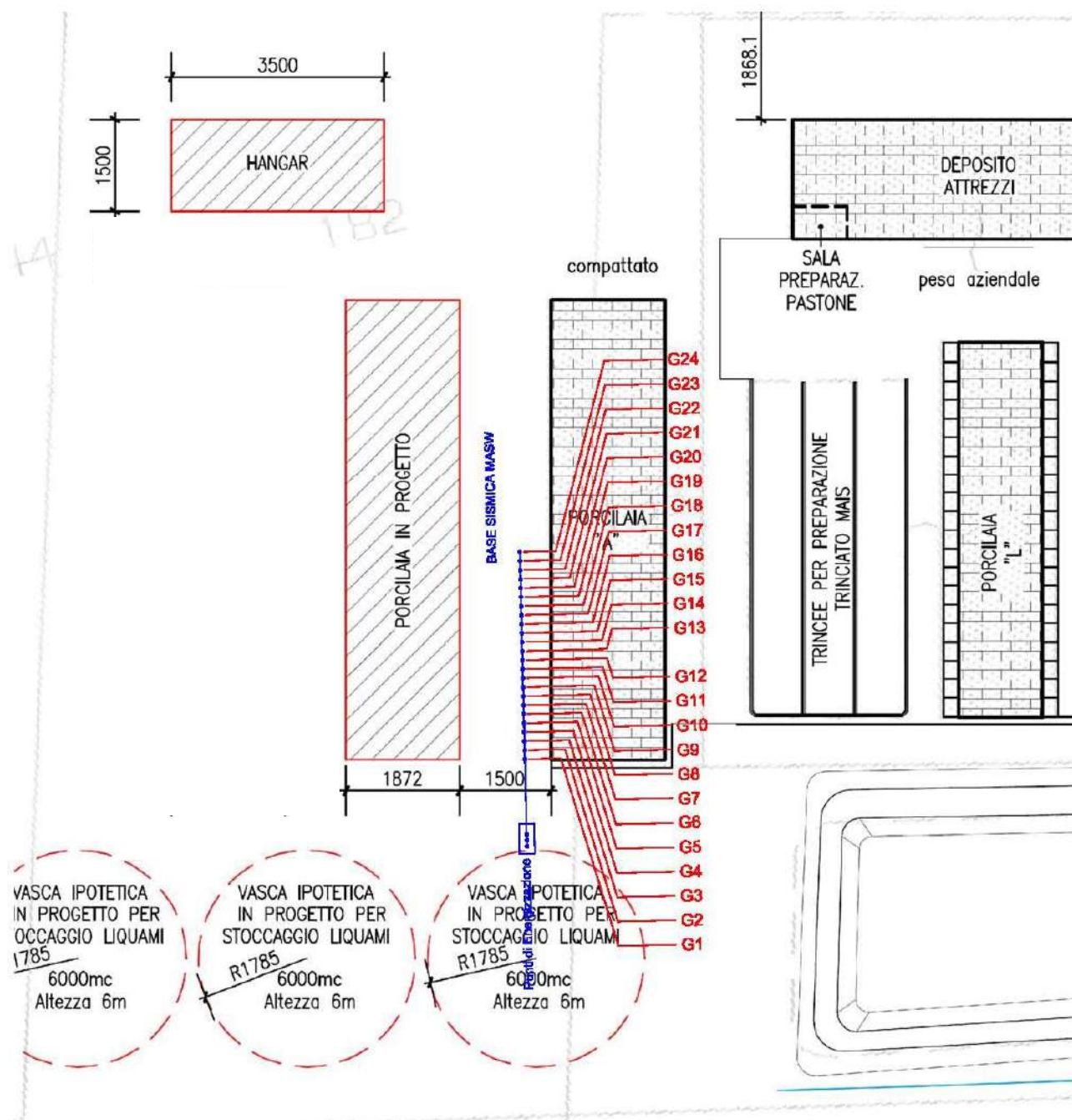
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

3 INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE

Al fine di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dalle opere di progetto è stata eseguita in data 31/03/2016, nr. 1 base sismica masw con sistema di acquisizione a 24 canali.

Si riporta di seguito l'elaborazione condotta e le caratteristiche dello stendimento sismico effettuato.

Figura 1: UBICAZIONE BASE SISMICA MASW



4 ELABORAZIONE ONDE SISMICHE - Vs - METODO M.A.S.W.

La determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) è stata effettuata mediante elaborazione con il metodo MASW, allo scopo di determinare la categoria sismica del terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato dalla Nuova Normativa Sismica (Ordinanza P.C.M. 2003 e s.m.i.) e dagli Eurocodici 7 e 8.

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità

frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

Con riferimento al modello geotecnico sintetico determinato con le indagini in sito, è stata tracciata una curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

In seguito i parametri del modello geotecnico preliminare si sono apportate le modifiche necessarie al fine di ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale. Questa fase definita come processo di inversione consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi caratterizzati da valori di rigidità differente.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

L'elaborazione ha riguardato l'intero campionamento della registrazione avente durata 2048 mS e una frequenza di campionamento di 500 microS, per la quale si è tenuta in considerazione la traccia sismica rilevata a seguito dell'energizzazione effettuata a ml. 5,00 dal geofono n. 1 in posizione di sparo estremo SINISTRO rispetto alla base sismica, con uno stendimento avente un interasse geofonico pari a 1,50 ml.

N. tracce	24
Durata acquisizione [ms]	1024,0
Interdistanza geofoni [m]	1,50
Periodo di campionamento [ms]	0,50

Figura 2: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE

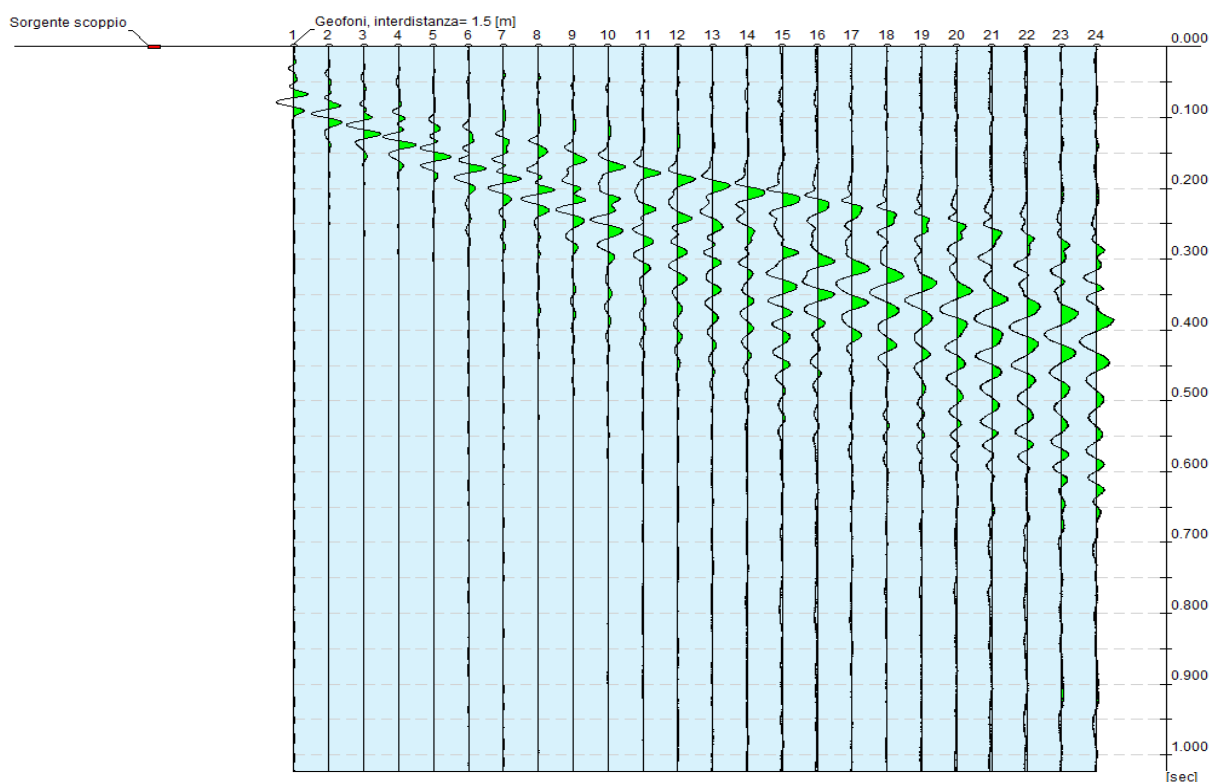


Figura 3: ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

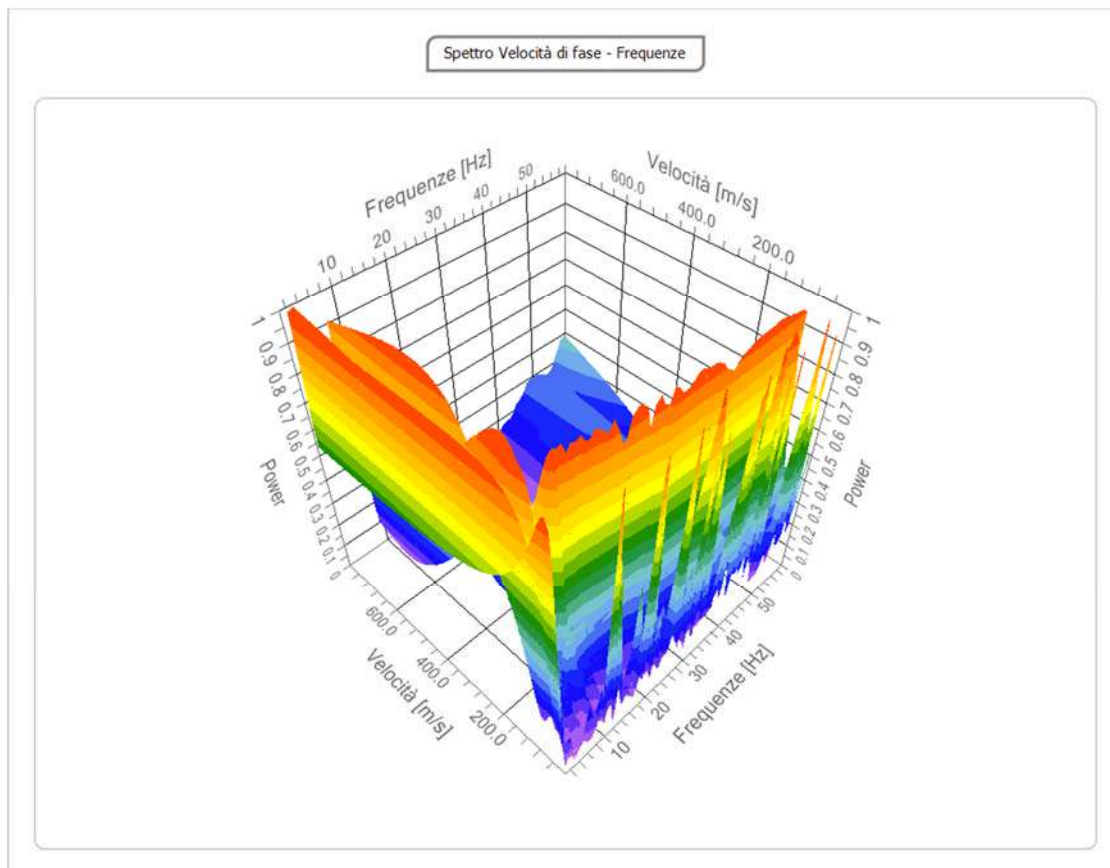


Figura 4: TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/s]	Modo
1	4.0	243.8	0
2	4.6	215.9	0
3	5.6	189.7	0
4	6.6	171.6	0
5	8.4	156.9	0
6	10.4	145.4	0
7	12.2	138.8	0
8	14.3	132.3	0
9	17.0	124.0	0
10	19.3	117.5	0
11	22.0	112.6	0
12	24.3	107.6	0
13	27.9	99.4	0
14	30.3	97.8	0
15	32.8	96.2	0
16	35.3	94.5	0
17	38.3	92.9	0
18	41.1	89.6	0
19	44.1	89.6	0
20	47.2	88.0	0
21	50.8	86.3	0
22	54.0	86.3	0

Figura 5: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE

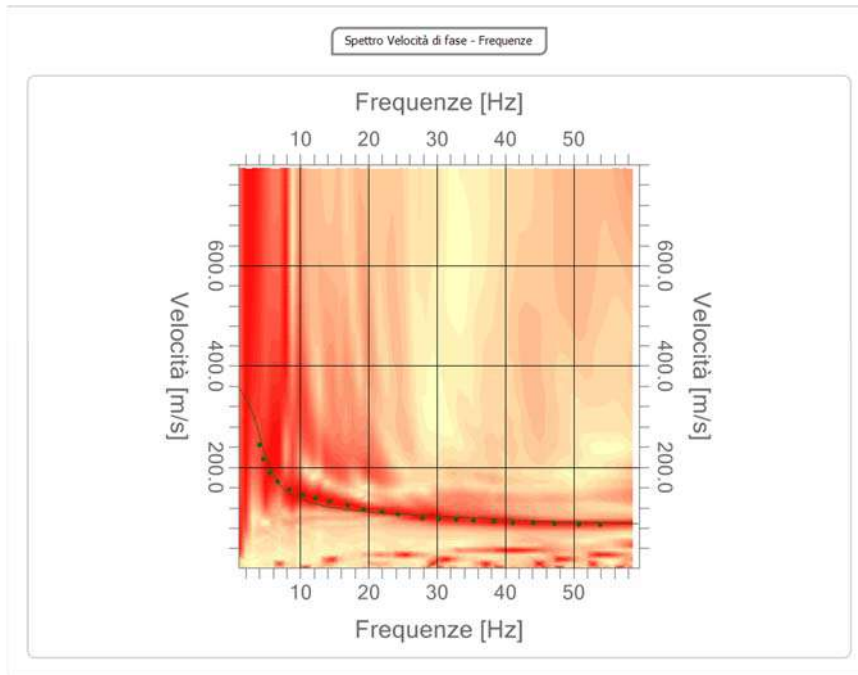


Figura 6: TABELLA RELATIVA AL PROCESSO DI INVERSIONE

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/s]	Vs [m/s]
1	1.10	1.10	1850.0	0.5	No	285.2	86.0
2	4.00	2.90	1810.0	0.4	Si	303.0	123.7
3	10.20	6.20	1820.0	0.4	Si	432.6	176.6
4	12.00	1.80	1830.0	0.4	Si	478.8	195.5
5	20.40	8.40	1840.0	0.5	Si	719.8	217.0
6	22.90	2.50	1900.0	0.3	Si	534.0	285.4
7	34.89	12.00	1860.0	0.4	Si	768.2	313.6
8	oo	oo	1880.0	0.4	Si	920.4	375.7

Figura 7: ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE

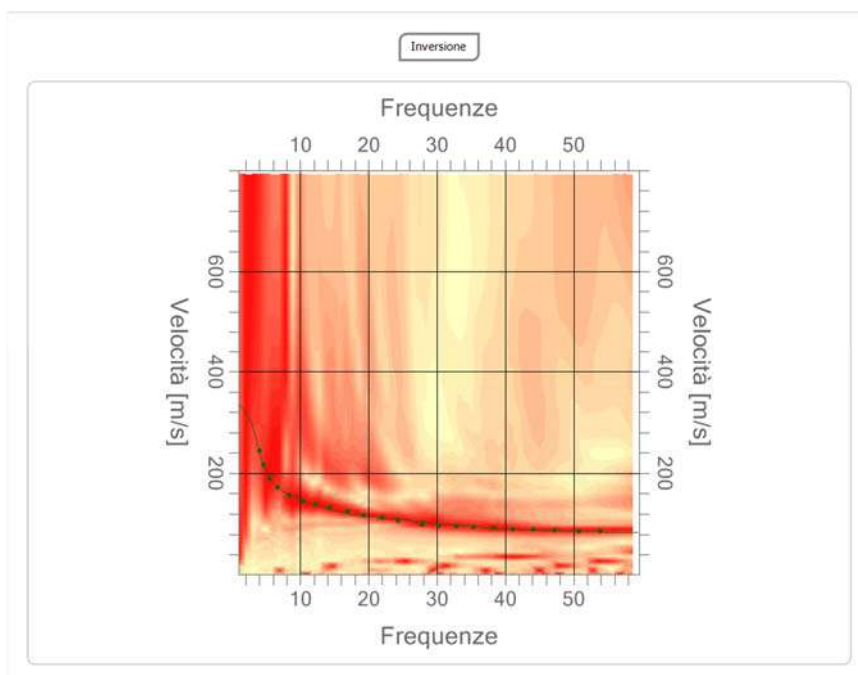


Figura 8: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

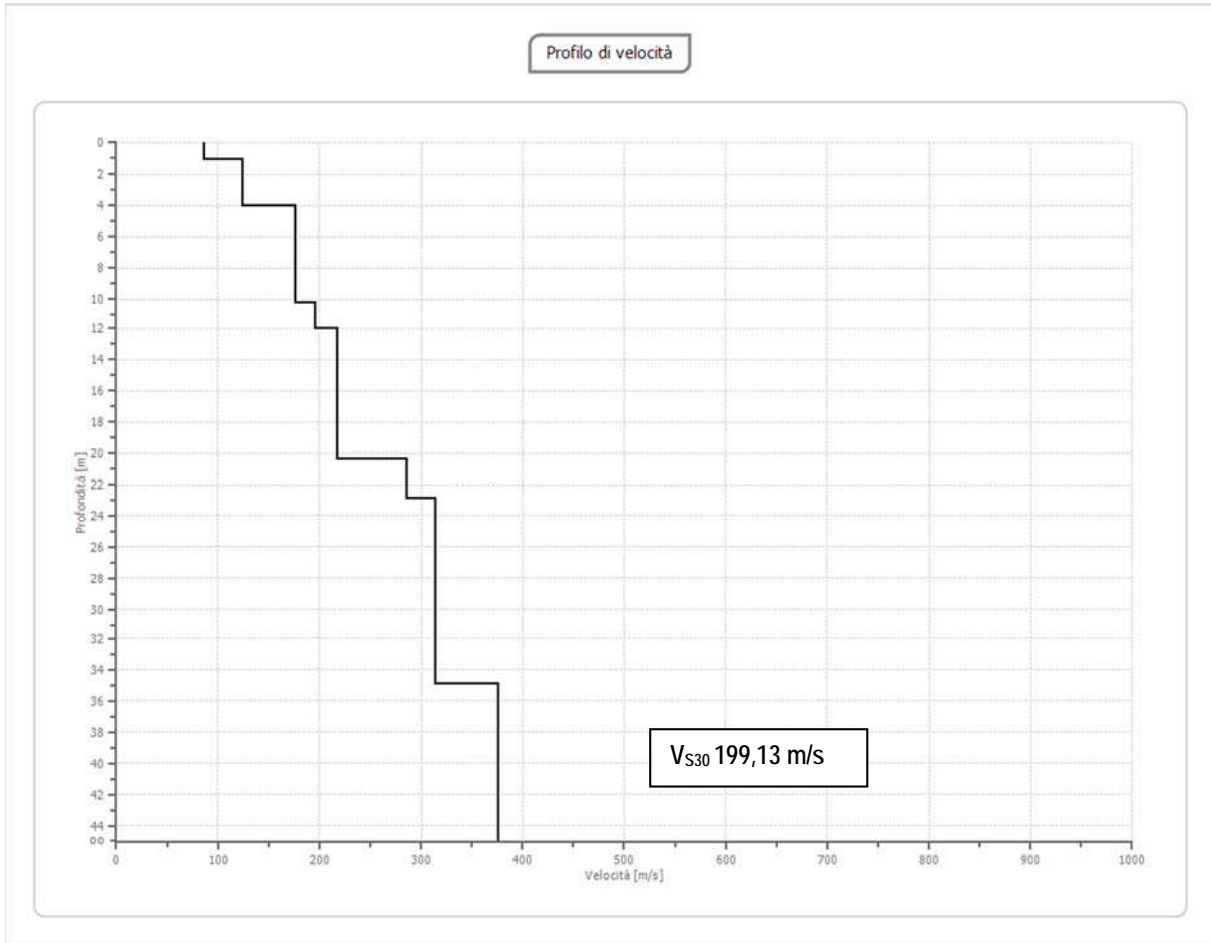


Figura 9: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 10: ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

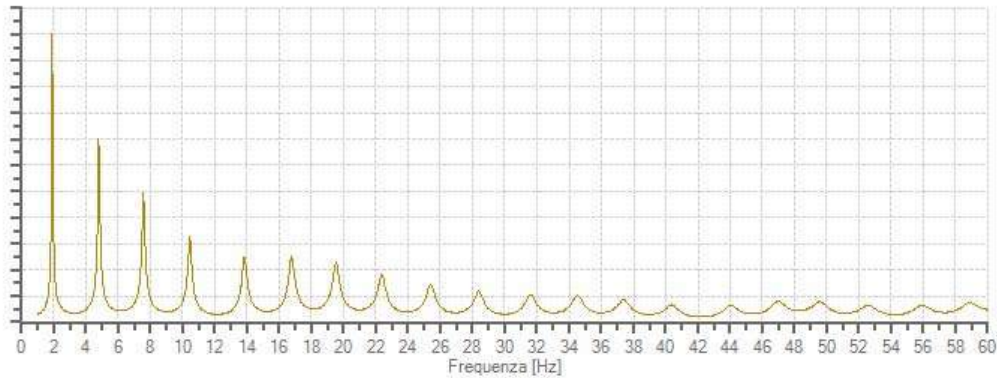
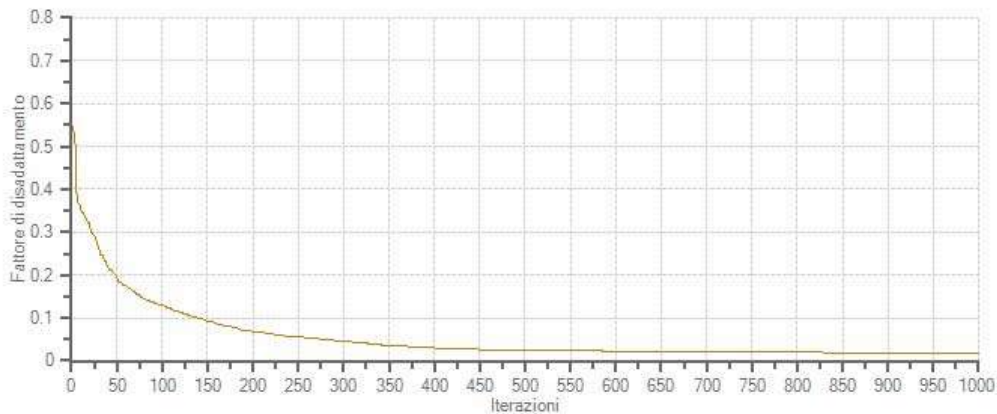


Figura 11: ANDAMENTO DEL FATTORE DI DISADATTAMENTO



Al termine della elaborazione si è rilevato riscontrato una convergenza dei valori corrispondente ad un errore pari a 0,023%, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a 0,018.

Figura 12: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'

*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).												
N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm ³]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.1	1.1	85.98	285.15	1800	0.45	13.31	146.36	128.62	38.59	7	10.93
2	4	2.9	123.7	303	1860	0.4	28.46	170.76	132.81	79.69	11	68
3	10.2	6.2	176.62	432.62	1870	0.4	58.33	349.99	272.21	163.33	27	407.13
4	12	1.8	195.48	478.83	1880	0.4	71.84	431.05	335.26	201.16	29	678.01
5	20.4	8.4	217.03	719.79	1890	0.45	89.02	979.21	860.51	258.15	35	1146.51
6	22.9	2.5	285.42	533.97	1950	0.3	158.85	555.99	344.18	413.02	N/A	4541.79
7	34.89	12	313.6	768.17	1910	0.4	187.84	1127.06	876.6	525.96	N/A	N/A
8	∞	∞	375.75	920.4	1930	0.4	272.49	1634.96	1271.63	762.98	0	N/A

5 NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14.01.2008)

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a una profondità di circa 34,89 ml. dal piano campagna.

Ai sensi del DM 14.01.2008 (GU del 04.02.2008, n. 29 – S.O. n. 30), punto 3.2.2. "Categoria di suolo e condizioni topografiche", il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,30}$) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a 199,13 m/s, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra 199,09 e 199,18 m/s come evidenziato nella tabella di seguito allegata:

<i>Velocità onde Vs da elaborazione MASW</i>					$V_{s,30}$ calcolato	199.13	[m/s]
Strato	Base strato [m]	h_i [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]	Errore strumentale	0.023	[%]
1	1.10	1.10	85.98	0.012794	$V_{s,30}$ - Max	199.18	[m/s]
2	4.00	2.90	123.70	0.023444	$V_{s,30}$ - Min	199.09	[m/s]
3	10.20	6.20	176.62	0.035104			
4	12.00	1.80	195.48	0.009208			
5	20.40	8.40	217.03	0.038704			
6	22.90	2.50	285.42	0.008759			
7	34.89	7.10	313.60	0.022640			

In base al valore di $V_{s,30}$ considerato anche l'errore dell'elaborazione, pertanto si può considerare l'area in esame 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 (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Sulla base dell'effettiva profondità di posa delle fondazioni si riporta di seguito la classificazione dei terreni in base alla normativa sismica vigente:

<i>Categoria di sottosuolo alla quota di posa delle fondazioni</i>				
<i>Quota di posa delle fondazioni</i>			$V_{s,30}$ - Min	<i>Categoria di Sottosuolo</i>
Fondazioni posate ad una quota di	0.00	ml. da piano campagna	199	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	0.50	ml. da piano campagna	205	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	1.00	ml. da piano campagna	211	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	1.50	ml. da piano campagna	215	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	2.00	ml. da piano campagna	219	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	2.50	ml. da piano campagna	223	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	3.00	ml. da piano campagna	227	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	3.50	ml. da piano campagna	231	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	4.00	ml. da piano campagna	236	TIPO C

Si precisa che sulla base delle caratteristiche litotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, il tecnico deve valutare l'eventuale classificazione dei suoli di fondazione come di tipo S1 e/o S2.

Vignola 02/04/2016



Dott. Geol. Giorgio Masotti