



CONSORZIO DI BONIFICA DI PIACENZA

Sede legale: 29122 Piacenza – strada Val Nure, 3 – tel. 0523 464811 – fax 0523 464800 – C.F. 91096830335

info@cbpiacenza.it – www.cbpiacenza.it

e-mail certificata: cbpiacenza@pec.it

TITOLO DEL PROGRAMMA:

REGOLAMENTO UE N. 1305 DEL 13-12-2013 PROGRAMMA SVILUPPO RURALE PSR 2014-2020

MISURA 4 - Investimenti in immobilizzazioni materiali

SOTTOMISURA 4.3 - Investimenti in infrastrutture per lo sviluppo l'ammodernamento e l'adeguamento dell'agricoltura e della silvicoltura, compresi l'accesso ai terreni agricoli e forestali, la ricomposizione e il miglioramento fondiario, l'approvvigionamento e il risparmio di energia e risorse idriche

TIPOLOGIA DI OPERAZIONE 4.3.02 - Investimenti in infrastrutture irrigue

PROGETTO ESECUTIVO

LOCALIZZAZIONE: Comune di BORGONOVO V.T. – Provincia di Piacenza

Regione Emilia Romagna

TITOLO PROGETTO:

CUP: **G42E17000020006**

REALIZZAZIONE DI INVASO AD USO IRRIGUO PRESSO LOC. FABBIANO DI BORGONOVO V.T. NEL DISTRETTO IRRIGUO TIDONE (PC)

CODICE PROGETTO:
2017-PSRR-01

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

DOCUMENTO:
RELAZIONI SPECIALISTICHE

REDATTO DA:



DATA: 30 ALBO. P.

CODICE ELABORATO

SCALA:

LIVELLO PROGET:	DOC:	PROGR:	TAV:	REV:	
PE	B	6	0	0	-

30-4-2019

D							
C							
B							
A							
Revisione:	Descrizione:	Redatto:	Data:	Verificato:	Data:	Approvato:	Data:



Indice

1. PREMESSA	1
2 ANALISI TERRITORIALI	3
2.1 Inquadramento geografico	3
2.2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico	3
2.2.1 Assetto geologico generale	3
2.2.2 Inquadramento morfologico	7
2.2.3 Inquadramento idrogeologico	8
3. INDAGINE GEOGNOSTICA	12
3.1 Indagini dirette	13
3.2 Indagini indirette	13
3.5 Geologia di dettaglio dell'area e risultati delle indagini	14
3.6 Caratteristiche geomeccaniche	16
4. CLASSIFICAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA SISMICITA' STORICA	17
4.1 Caratteri strutturali e sismotettonici	17
4.2 Sismicit� storica	20
4.3 Classificazione sismica	23
4.4 Pericolosit� sismica di base secondo D.M. 14 gennaio 2008	24
4.5 Risposta sismica locale	29
4.5.1 Amplificazione stratigrafica e topografica	30
4.5.2 Occorrenza di fenomeni di liquefazione	32
4.5.3 Fenomeni di cedimento postsismico	32
5. CONCLUSIONI	33
6. BIBLIOGRAFIA	35

Allegati

Allegato A: Indagini geognostiche

Allegato B: Sezioni lito-geomeccaniche interpretative

Allegato C: Rapporti di laboratorio

1. PREMESSA

Il presente studio geologico, redatto su incarico del Consorzio della Bonifica di Piacenza attraverso la deliberazione del Comitato n.264 del 11 ottobre 2017, ai sensi dell'art.36 del D.Lgs. n. 50/2016, è elaborato a supporto della progettazione di un bacino di raccolta delle acque ad uso irriguo nel Comune di Borgonovo Val Tidone (PC), nei pressi della frazione di Fabbiano.

Lo studio si pone lo scopo di definire il modello geologico attraverso la definizione dell'assetto morfologico e litostratimetrico dei luoghi e di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati dall'intervento, al fine di indirizzare le future strategie di intervento.

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

- Decreto Ministeriale 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" che ricomprende:
 - Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri n°3274 del 20/03/2003;
 - D.P.R. n°380 del 06/06/2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (Testo A)";
 - D.M. 21/01/1981, attuativo della Legge 64/1974, e successive modifiche ed integrazioni (D.M. 11/03/1988 e Circ.LL.PP. n°30483 del 24/09/1988 "Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988");
- Legge regionale 30 ottobre 2008, n°19 "Norme per la riduzione del rischio sismico".
- Circolare 617 del 02/2/09 (G.U. n.47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008");
- L.R. Regione E.R. n°20 del 24/03/2000 inerente la "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" e Delibera progr.112, prot. 8511, Oggetto n.2131 "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

Allo scopo di accertare la caratterizzazione litostratimetrica e geomeccanica dei terreni costituenti il sottosuolo, sono state appositamente realizzate specifiche e mirate indagini geognostiche dirette ed indirette all'interno del lotto interessato dal progetto.

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

- ricerca bibliografica di dati relativi all'assetto geolitologico, geomorfologico, idrogeologico e sismotettonico generale e locale;
- caratterizzazione litostratimetrica e geomeccanica dei terreni del sedime attraverso l'esecuzione di indagini dirette sul lotto di interesse;

- caratterizzazione sismica attraverso l'utilizzo dei risultati di specifica indagine geofisica.

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

- indagini dirette eseguite allo scopo di accertare la caratterizzazione stratigrafica e geomeccanica:
 - n. 5 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione prove SPT, prove di permeabilità Lefranc, prelievo di campioni indisturbati, prove di laboratorio;
 - n. 3 sondaggi con escavatore;
 - n. 3 prove penetrometriche dinamiche;
- indagini indirette, al fine di valutare la risposta sismica locale semplificata attraverso la determinazione della categoria di suolo ai sensi del cap. 3.2.2 Tab. 3.2.II del D.M. 14 gennaio 2008:
 - n. 2 stendimenti geofisici di tipo MASW;
 - n. 1 prova HVSR.
- Prove di laboratorio, al fine di valutare alcuni parametri geotecnici di interesse:
 - n. 5 analisi granulometriche;
 - n. 5 determinazione dei limiti di Atterberg.
 - n. 1 Prova Proctor

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

2 ANALISI TERRITORIALI

2.1 Inquadramento geografico

L'area in studio si colloca nella porzione sud orientale del Comune di Borgonovo Val Tidone, nella frazione Fabbiano, località "il Molino" ad una quota di circa 137 m s.l.m. (Figura 1).

Dal punto di vista cartografico l'area è ricompresa nella 'sezione' n. 179020 "Castelnuovo" della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000.

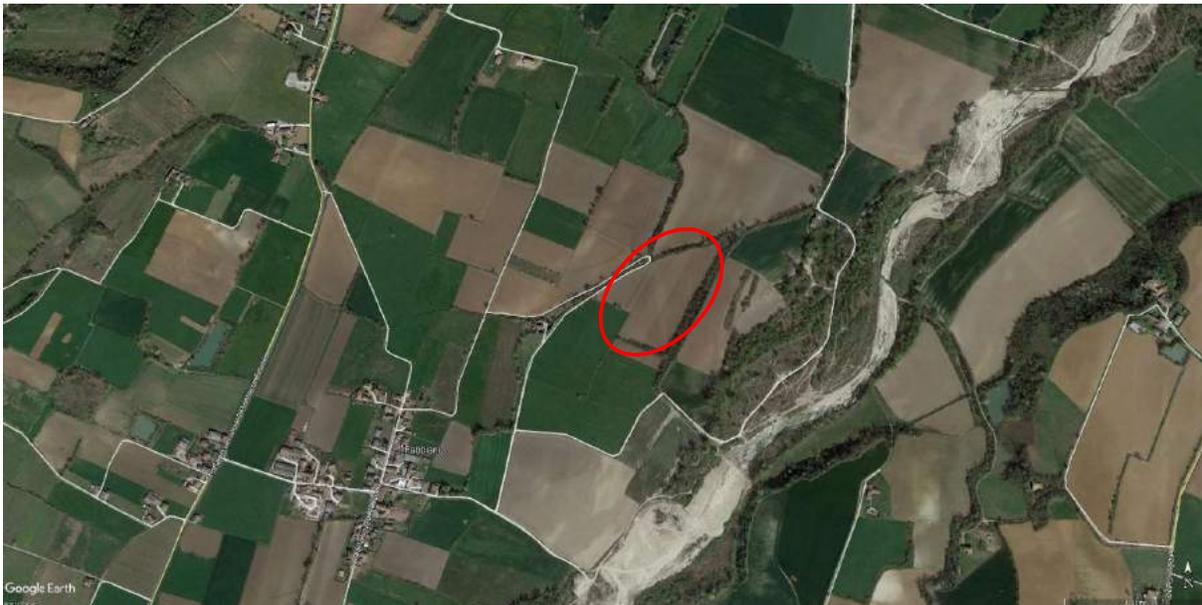


Figura 1 – Ubicazione del sito di studio

2.2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

2.2.1 Assetto geologico generale

I depositi affioranti nel tratto di pianura in esame sono contraddistinti da una potente successione terrigena del Quaternario, suddivisibile, in senso stratigrafico, in un'unità inferiore d'ambiente marino (Qm) e in un'unità superiore (affiorante) d'ambiente continentale (Qc).

In riferimento a quanto desunto dai tecnici del Servizio cartografico e geologico della Regione Emilia Romagna, i sedimenti di origine marina (Qm) si sono depositi a partire dalla fine del Pliocene fino a 650.000 anni SP (Pleistocene medio). In essi sono riconoscibili tre distinti cicli progradazionali (Qm1, Qm2 e Qm3) ben individuabili nei profili sismici AGIP.

I sedimenti dell'unità Qm1 sono sedimentati nell'intervallo temporale compreso tra 2,2 e 1,0 milioni di anni (Piacenziano sup. - Pleistocene inf.) e sono costituiti da: alla base da calcareniti fossilifere, in discordanza angolare con i sottostanti depositi pliocenici; nella parte intermedia da depositi silico-

clastici essenzialmente fini argillosi e siltosi di ambiente marino poco profondo; nella parte superiore da sabbie fini e medio-grossolane di ambiente litorale o deltizio.

I depositi dell'unità Qm2 sono sedimentati nell'intervallo temporale compreso tra 1,0 e 0,8 milioni di anni (Pleistocene inferiore inizio del Pleistocene medio) in contatto inconforme sui sottostanti depositi dell'unità Qm1. Essi sono costituiti principalmente da sabbie, da fini a grossolane d'ambiente litorale, talora associate a limi argillosi d'ambiente lagunare e ghiaie, solitamente alterate, d'ambiente deltizio a segnalazione della presenza di una paleofoce di qualche corso d'acqua.

I sedimenti dell'unità Qm3 sono sedimentati nell'intervallo temporale compreso tra 0,8 e 0,65 milioni di anni (Pleistocene medio) e sono analoghi ai precedenti costituiti da: in prevalenza da limi sabbiosi in strati spessi e molto spessi con intercalazioni sabbiose, d'ambiente litorale; in subordine da ghiaie solitamente alterate, in corpi discontinui a geometria lenticolare, d'ambiente deltizio con locale sviluppo di livelli torbosi e da limi argillosi d'ambiente lagunare.

Per quanto riguarda i depositi continentali (Qc), sedimentati circa 650.000 anni SP, i tecnici del Servizio cartografico e geologico della Regione Emilia Romagna hanno riconosciuto due unità stratigrafiche principali: Unità Emiliana Inferiore e Unità Emiliana Superiore.

L'Unità Emiliana Inferiore (UEI), depositatasi presumibilmente tra circa 650.000 e 450.000 - 350.000 anni SP (pleistocene medio), rappresenta la fase iniziale della sedimentazione continentale del Quaternario con limite inferiore e superiore di tipo erosivo. L'unità è sedimentata in un ambiente di piana alluvionale durante un periodo di subsidenza regionale, costituita in prevalenza da depositi fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi nastriformi, riferibili ad antichi paleoalvei fluviali, i quali diventano preponderanti in corrispondenza dell'apertura dei principali bacini vallivi sull'antistante pianura alluvionale.

L'Unità Emiliana Superiore (UES) ha avuto origine circa 350.000 - 450.000 anni SP (pleistocene medio), dopo un'importante fase tettonica di sollevamento regionale, con la quale ebbe inizio la rapida progradazione dei sistemi di conoide alluvionale nella zona antistante ai rilievi appenninici e dei sistemi fluvio-deltizi lungo la fascia del Po, responsabile peraltro della superficie d'inconformità tra l'unità Emiliana superiore e l'Unità Emiliana Inferiore. L'unità Emiliana Superiore (UES) in corrispondenza della pianura piacentina è costituita dalle seguenti caratteristiche:

- dal margine morfologico dell'Appennino fino a circa 'altezza dell'Autostrada del Sole e poco oltre sono presenti depositi prevalentemente ghiaiosi nelle aree attigue e contigue dei corsi d'acqua principali e limi e/o argille prevalenti o comunque più abbondanti nelle aree perfluviali. Il rapporto tra materiali grossolani e fini, elevato nella zona di alta pianura, decresce linearmente procedendo verso valle e verso le zone più interne delle aree perfluviali, fino a valori medi, generalmente superiori all'unità, I sedimenti sono organizzati in grandi sistemi di conoide alluvionale, dove le litologie grossolane (ghiaie e sabbie) costituiscono estesi corpi tabulari, interdigati da cunei di materiali essenzialmente fini (limi ed argille). Il tratto di pianura con la successione sedimentaria descritta è comunemente

definito “Pianura pedemontana” ed è appunto il frutto della coalescenza dei sistemi di conoide alluvionale

- dall’asse del Fiume Po, per una fascia di estensione di qualche chilometro, si estende la zona di meandreggiamento del Fiume Po, I depositi sono costituiti da spesse bancate di sabbie prevalenti e ghiaie con locali intercalazioni lentiformi di argille e limi; il rapporto tra materiali grossolani e fini risulta alto, Il tratto di pianura con la successione sedimentaria descritta è comunemente definito “Piana di meandreggiamento del Fiume Po”.

Più in particolare nell’area di studio possono essere individuati le seguenti unità deposizionali, desunte anche dalla consultazione delle seguenti documentazioni cartografiche:

- Carta geologica d’Italia alla scala 1:50000 Foglio 179 “Ponte dell’Olio”. Servizio Cartografico
- Ufficio Geologico della Regione Emilia Romagna.
- I suoli dell’Emilia Romagna - Carta 1:250.000 (1994). Servizio Cartografico - Ufficio Geologico della Regione Emilia Romagna.

Depositi dell’alveo del T. Tidone

La conformazione del rilievo è caratterizzata da un alveo inciso nel materasso alluvionale e da una zona golenale, più o meno ampia, sottesa da rilevati arginali. Nel tratto di pianura pedemontana, leggermente sospese a lato del T. Tidone, sono presenti anche alcune superfici terrazzate (terrazzi fluviale in evoluzione) che separano l’alveo inciso dalle fasce golenali.

Nell’alveo di piena si assiste all’affioramento di depositi alluvionali attuali e recenti, soggetti ad un continuo processo di mobilitazione. Le ghiaie sono le litologie prevalenti, sostituite progressivamente, procedendo verso la foce del Fiume Po da sabbie fini e/o limi.

In particolare le ghiaie caratterizzano l’alveo inciso dalla sorgente fino alla foce. Nelle fasce golenali le litologie prevalenti sono rappresentate da sabbie fini, limi e limi sabbiosi. Da monte a valle si assiste comunque ad un generale decremento delle classi granulometriche con aumento del grado di cernita.

Per quanto concerne i depositi delle fasce golenali, possono essere accomunati ai depositi di argine naturale. In questo caso però l’azione di contenimento dei rilevati arginali, interagendo con il passaggio delle piene fluviali, determina l’accumulo di classi granulometriche mediamente più grossolane rispetto a quelle rinvenibili negli argini naturali.

Alluvioni recenti e medio recenti

I depositi alluvionali recenti e medio-recenti rappresentano gli ultimi 1.500 anni di storia evolutiva, e possono essere suddivisi in depositi dei terrazzi fluviali, depositi di argine naturale e depositi di piana inondabile.

I depositi dei terrazzi fluviali recenti e medio-recenti rappresentano una sottounità dell'unità emiliana Superiore, sedimentata nell'ambito degli eventi alluvionali che hanno caratterizzato gli ultimi 1.500 anni di storia evolutiva, nell'ambiente deposizionale della pianura pedemontana.

Tali depositi caratterizzano i terrazzi più bassi, e quindi più recenti, che bordano i corsi d'acqua principali. La successione stratigrafica è prevalentemente ghiaiosa, con intercalazioni sabbiose, a giacitura suborizzontale e geometria lenticolare.

I depositi di argine naturale recenti e medio-recenti rappresentano una sottounità dell'Unità emiliana Superiore, sedimentati nell'ambito degli eventi alluvionali che hanno caratterizzato gli ultimi 1.500 anni di storia evolutiva, nell'ambiente deposizionale della pianura a crescita verticale.

Essi caratterizzano le aree attigue alla rete idrica principale, costituendo dossi debolmente rilevati, rispetto il piano campagna circostante, estesi parallelamente all'alveo inciso. I depositi di argine naturale presentano generalmente una forma allungata, secondo l'asse del corso d'acqua, e sono caratterizzati da un profilo trasversale convesso con pendenza dell'ordine di 0.2 - 0.5%.

La successione stratigrafica è costituita in prevalenza da sabbie fini, limi e limi sabbiosi ai quali si intercalano livelli di sabbie medie e grossolane, con spessore generalmente di qualche decimetro, riferibili a processi di rotta fluviale.

La distribuzione della litologia superficiale risulta tuttavia influenzata dalla presenza dei rilevati arginali. Essi rappresentano di fatto un limite fisico che separa le zone golenali, soggette ad una continua evoluzione, relativamente all'alternanza degli eventi di piena del corso d'acqua, dalle aree extragolenali dove invece si registra un effettivo congelamento degli eventi stessi.

Nella fascia golenale prevalgono infatti litologie prevalentemente sabbiose, in ragione delle elevate energie di sedimentazione, che caratterizzano gli ambienti deposizionali durante il manifestarsi delle piene straordinarie.

Contrariamente le aree extragolenali, ampiamente antropizzate e difese contro le piene dalle citate opere idrauliche, riflettono un panorama litologico relativo ai processi deposizionali manifestatisi antecedentemente ai massicci interventi di regimazione.

Occasionalmente la sedimentazione può interessare anche queste aree extragolenali, qualora durante piene fluviali di estrema entità si verificano fenomeni di esondazione o addirittura la rottura degli argini.

Depositi antichi di conoide alluvionale

I depositi di conoide alluvionale antichi rappresentano una sottounità dell'Unità emiliana Superiore, sedimentati nell'intervallo temporale compreso tra i 7.500 e i 1.500 anni fa, nell'ambiente deposizionale della pianura pedemontana.

La conformazione del rilievo è caratterizzata da superfici pianeggianti leggermente degradanti verso nord-est con pendenze che variano da 0.6 a 1.0%. Le quali sono terrazzate dai depositi alluvionali recenti e medio recenti.

Tali superfici sono inoltre discretamente sopraelevate rispetto all'alveo dei fiumi attuali e dei terrazzi più recenti e presentano deboli ondulazioni legate alla rimozione ed al trasporto dei materiali alluvionali, mobilizzati dai corsi d'acqua minori che le attraversano.

La successione stratigrafica è costituita da depositi prevalentemente ghiaiosi, strutturati in spessi corpi a geometria cuneiforme e organizzati in cicli elementari a base grossolana e tetto fine.

In particolare l'area in cui sorge il plesso scolastico rientra tra i depositi di piana alluvionale appartenenti all'Unità di Vignola AES7b (Figura 2) a prevalente tessitura ghiaiosa con copertura discontinua limo-argillosa.

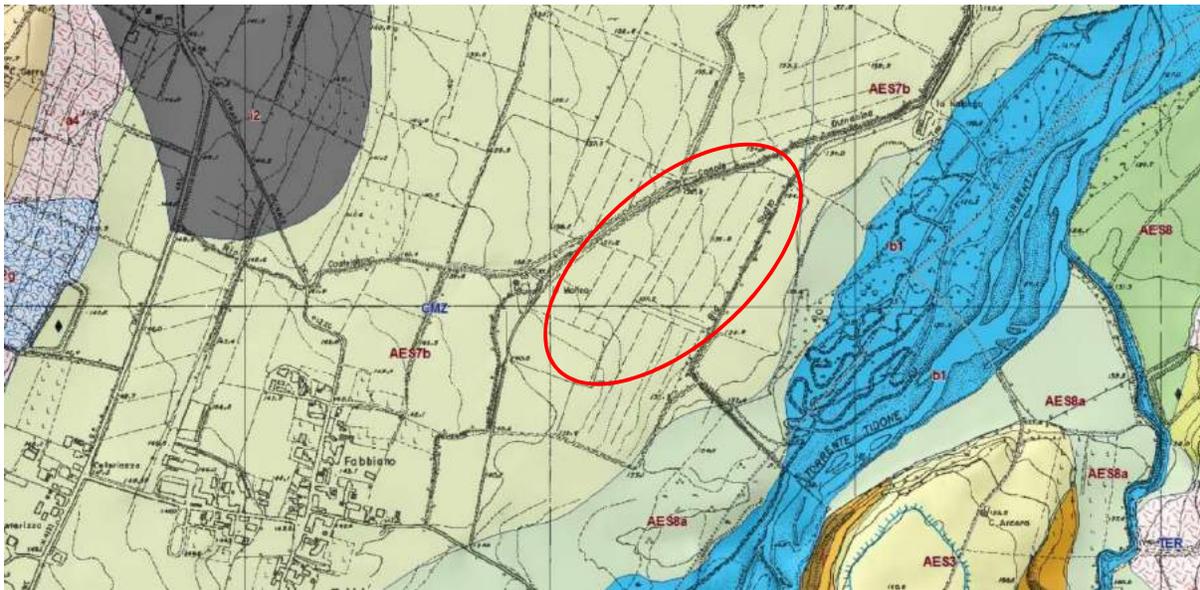


Figura 2 – Inquadramento geologico (https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss)

2.2.2 Inquadramento morfologico

Il contesto geomorfologico di questa porzione di pianura piacentina è il risultato dell'effetto di alternanze climatiche, movimenti tettonici e interventi antropici che si sono susseguiti negli ultimi millenni, modellando il paesaggio e la conformazione morfologica dell'area e interagendo in particolare con la rete idrografica superficiale.

Le zone di pertinenza fluviale, seppur intensamente modificate da interventi antropici, sono quelle che mantengono ancora il più elevato grado di naturalità. Le zone perifluviali, invece presentano notevoli modificazioni, dovute principalmente alla bonifica agraria, all'infrastrutturazione e all'insediamento. In particolare la superficie morfologica risulta pesantemente livellata tanto da 'mascherare' le geometrie tipiche degli ambienti fluviali e perifluviali, talvolta visibili solo in forma relittuale.

Gli elementi caratterizzanti la zona di interesse sono essenzialmente il sistema idrico superficiale e la pianura pedemontana (su cui ricade l'area di progetto).

L'area di progetto si estende nella pianura pedemontana, che in questo caso comprende la fascia di territorio che borda il margine appenninico. Si tratta di un ambiente formatosi dalla coalescenza di sistemi di conoide alluvionale (in questo caso del T. Tidone).

Dal punto di vista sedimentologico la pianura pedemontana è caratterizzata dalla presenza di corsi d'acqua con canali intrecciati, a bassa sinuosità ed alta energia, che presentano una deposizione prevalentemente ghiaiosa all'interno dell'alveo ed essenzialmente fine nelle zone più marginali del sistema.

Allontanandosi dai corsi d'acqua verso le porzioni più interne delle zone perfluviali sono individuabili alcuni ordini di terrazzi fluviali, impostati a quote progressivamente superiori e caratterizzati da superfici pianeggianti, degradanti verso nord/nord-est. Le superfici di terrazzo, verso il lato fiume, sono interrotte lateralmente da scarpate (orli di terrazzo), talvolta notevolmente addolcite dagli interventi di bonifica agraria; si riconosce comunque lungo tali linee una netta variazione della cadente topografica.

Geometricamente l'area in esame è caratterizzata da superfici piane a bassa inclinazione. Le quote altimetriche dell'area cartografata risultano di circa 125-135 m s.l.m.

Il sistema idrografico principale è rappresentato dal Torrente Tidone che scorre a sud est dell'area in esame a circa 550 m di distanza.

In particolare il T. Tidone, dall'andamento pseudo rettilineo, possiede una configurazione di drenaggio a canale singolo o doppio con alveo caratterizzato da una distesa di alluvioni incise da uno o due canali ad andamento leggermente sinuoso che delimitano barre fluviali centrali o laterali (nell'ambito dell'alveo inciso).

2.2.3 Inquadramento idrogeologico

L'edificio sedimentario alluvionale ospita un sistema acquifero sotterraneo, le cui caratteristiche idrogeologiche sono in stretta relazione con le caratteristiche granulometriche dei depositi: ai sedimenti argillosi e limosi può essere attribuita una permeabilità bassa ($k = 10^{-6} \div 10^{-8}$ cm/s), mentre i depositi ghiaiosi presentano una permeabilità elevata ($k = 10^{-1} \div 10^{-3}$ cm/s), localmente ridotta dalla presenza di significative percentuali di matrice fine.

Con riferimento allo studio "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), l'acquifero della pianura emiliano-romagnola è stato distinto in tre Unità Idrostratigrafiche Sequenziali (UIS) di rango superiore, denominate Gruppo Acquifero A – B e C, intese come singoli corpi geologici formati da gruppi di strati geneticamente legati, ossia depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione (Figura 3). Ogni UIS è separata da quelle adiacenti attraverso livelli scarsamente permeabili o impermeabili arealmente continui, che ne determinano l'isolamento idraulico.

A loro volta i Gruppi Acquiferi sono suddivisi in 12 UIS, gerarchicamente inferiori, denominate Complessi Acquiferi, composti da serbatoi acquiferi sovrapposti e giustapposti, parzialmente o totalmente isolati tra loro.

Ne consegue che i flussi idrici si propagano principalmente con componente parallela alle superfici di strato e solo secondariamente con componente ortogonale e, pertanto, i flussi possono essere considerati necessariamente confinati all'interno della medesima UIS.

Il limite della circolazione idrica sotterranea è costituito dall'Acquitardo Basale, rappresentato dalla formazione impermeabile plio-pleistocenica delle Argille Azzurre affiorante nella zona di margine appenninico.

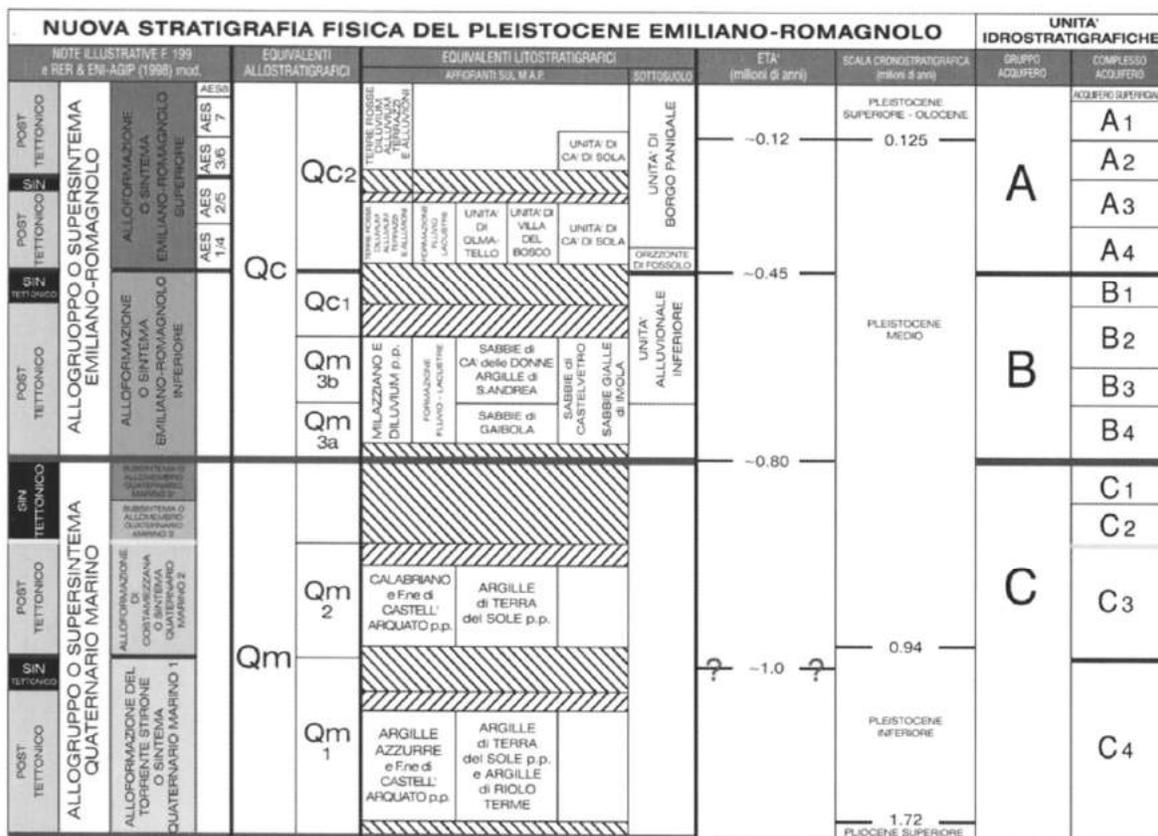


Figura 3 - Schema geologico-stratigrafico e idrostratigrafico del Bacino Pleistocenico della Pianura Emiliano-Romagnola. (G. Di Dio, 2001).

Il Gruppo acquifero A è costituito dai depositi ascrivibili al Sintema Emiliano Romagnolo superiore (450.000 - 350.000 anni BP) ed è essenzialmente caratterizzato da:

- ghiaie e sabbie prevalenti nella pianura pedemontana;
- depositi prevalentemente fini argillosi e/o limosi attraversati in senso meridiano da corpi nastriformi di ghiaie e sabbie, nella pianura a crescita verticale;

- estese bancate sabbiose a sviluppo tabulare a partire dall'allineamento dei centri frazionali di Paradigna e Bogolese fino all'asse fluviale del Po.

Il gruppo acquifero B corrisponde al Sintema Emiliano Romagnolo inferiore (650.000 e 450.000 - 350.000 anni BP) che rappresenta la fase iniziale della sedimentazione continentale del Quaternario con limite inferiore e superiore di tipo erosivo. L'unità è sedimentata in un ambiente di piana alluvionale durante un periodo di subsidenza regionale, costituita in prevalenza da depositi fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi nastriformi, riferibili ad antichi paleoalvei fluviali, i quali diventano preponderanti in corrispondenza dell'apertura dei principali bacini vallivi sull'antistante pianura alluvionale.

Il Gruppo acquifero C è costituito dai depositi del Quaternario Marino, sedimentati nell'intervallo temporale compreso tra 3,3-3,6 e 0,65 milioni di anni (Piacenziano sup. - Pleistocene medio) in ambienti principalmente marino-marginale e di delta-conoide.

In particolare l'areale di intervento interessa la porzione sommitale dell'edificio sedimentario alluvionale, coinvolgendo, pertanto, il complesso acquifero superficiale A1, coincidente dal punto di vista stratigrafico con il Subsintema di Villa Verucchio AES 7 nei cui depositi ghiaiosi è insediata la falda freatica. La località di Fabbiano è situata in corrispondenza dell'apice della conoide del T. Tidone, dove si realizza l'infiltrazione della falda principale.

Nei fori di sondaggio n. 3 e 5 è stato installato un tubo piezometrico da 3" che ha permesso la verifica del livello di falda. La misura eseguita a metà novembre, dopo un prolungato periodo siccitoso, ha verificato un livello piezometrico variabile tra 3,8 e 4,40 m da p.c.

La falda misurata si riferisce al primo livello ghiaioso intercettato che, considerando le quote, è in comunicazione diretta con le acque di subalveo del T. Tidone.

E' difficile ipotizzare una variazione sul lungo periodo del livello di falda in quanto negli ultimi anni si è avuta una marcata oscillazione dei livelli piezometrici in risposta alla variazione nella distribuzione delle precipitazioni; nella figura che segue (Figura 4) si può notare come fino al 2008 nella conoide del Tidone vi fosse un trend di modesto innalzamento dei livelli. Si ritiene che per avere una misura precisa sia necessario un monitoraggio periodico nei fori piezometrici.

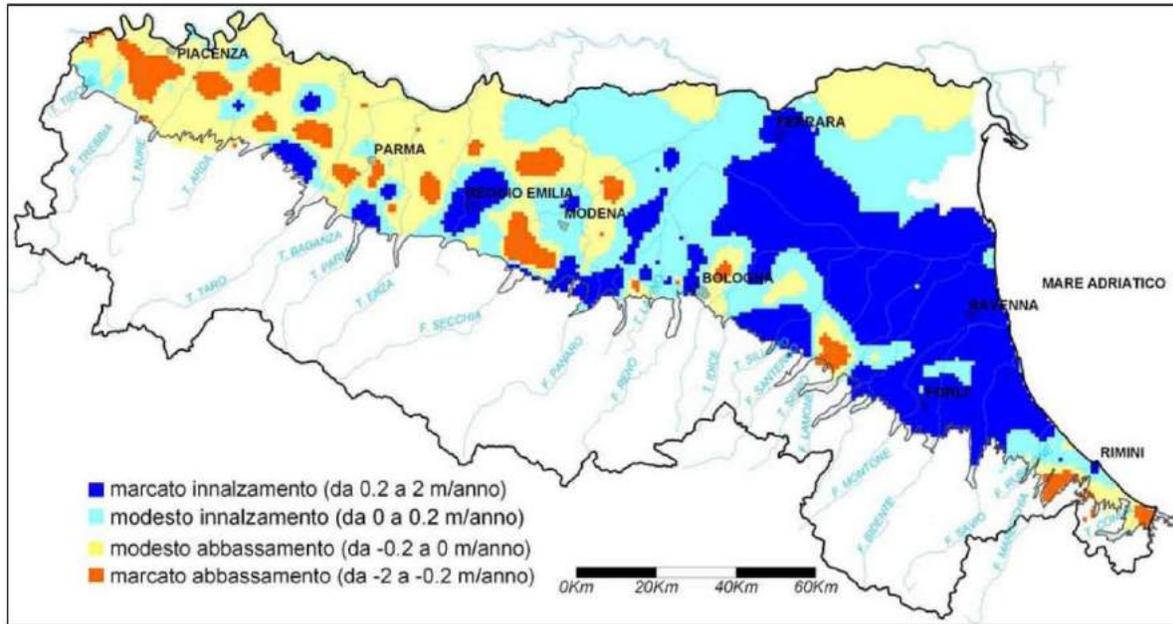


Figura 4 – Stralcio dal Rapporto 2014 del PTCP della Provincia di Piacenza

3. INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica, in considerazione dell'importanza dell'opera e dalla conoscenza delle caratteristiche geologiche dell'area, è stata condotta mediante l'esecuzione di indagini dirette, cioè di n. 5 sondaggi a carotaggio continuo, n.3 prove penetrometriche dinamiche e di indagini indirette (prova MASW+ H/V) eseguite al fine di determinare la categoria di suolo ai sensi della Capitolo 3.2.2 delle NTC, Tabella 3.2.II.

Le indagini sono state effettuate nell'area di interesse, come risulta dalla seguente figura (Figura 5).

In Allegato A è riportato un dettagliato report della campagna geognostica.

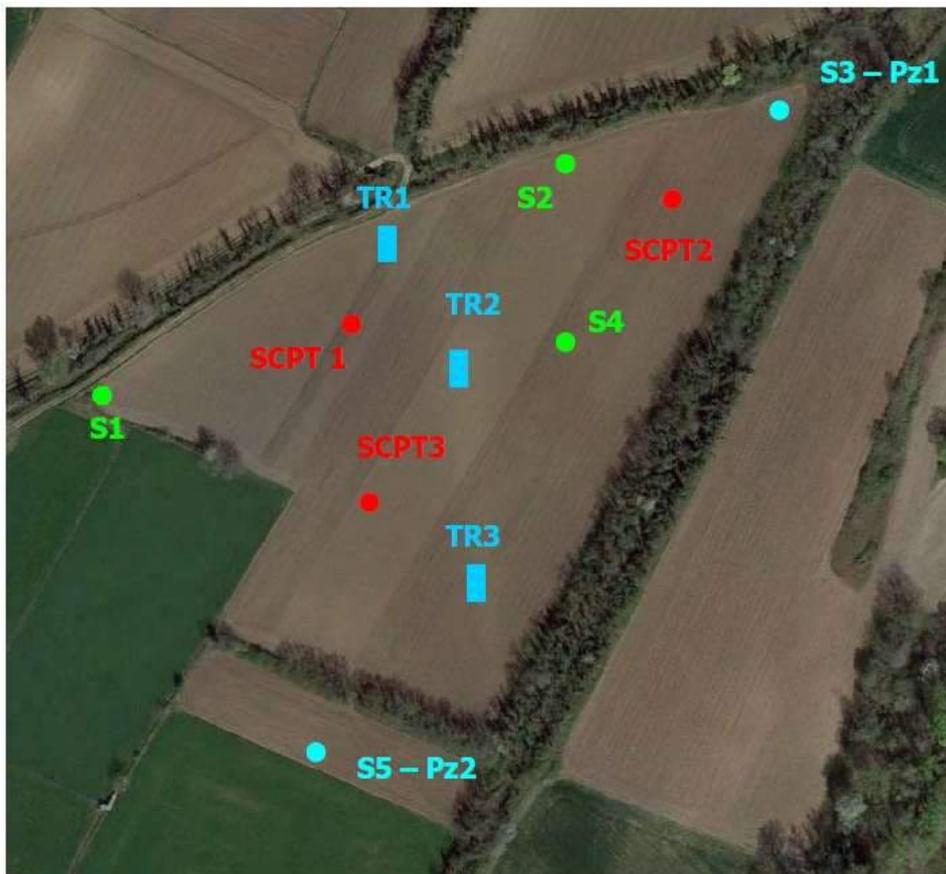


Figura 5 – Ubicazione delle prove penetrometriche eseguite (SCPT 1-SCPT2 –SCPT3) e dei cinque sondaggi (S1-S2-S3-S4-S5), due dei quali attrezzati a piezometro (PZ1-PZ2) e le tre trincee (TR1-TR2-TR3)

3.1 Indagini dirette

L'indagine diretta è consistita nell'esecuzione di n. 5 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a 12.0 m da p.c. Sulle carote appena estratte è stata effettuata la misura speditiva della resistenza al taglio non drenata attraverso l'utilizzo di pocket penetrometer e vane test. Al fine di caratterizzare i terreni interessati dal sondaggio sono state eseguite diverse prove dinamiche SPT con punta aperta nei terreni limosi e sabbiosi e con punta chiusa nei livelli prevalentemente ghiaiosi.

In corrispondenza dei fori di sondaggio S3 e S5 sono stati installati due tubi piezometrici da 3" per il controllo del livello di falda.

Su alcuni tratti delle carote di sondaggio sono stati prelevati campioni rimaneggiati su cui sono state eseguite le seguenti prove:

- n. 5 analisi granulometriche mediante stacci e densimetro;
- n. 5 determinazione dei limiti di Atterberg.
- n. 1 Prova Proctor

Nella tabella seguente sono riassunte per ogni sondaggio le operazioni effettuate

Prove	S1	S2	S3	S4	S5
Spt	3.0 m 9.0 m	1,5 m	2,5 m	2.0 m 2,5 m	1,5 m 3.0 m 4,5 m
Lefranc	x	x	x	x	x
Piezometro			x		x
Campione rimaneggiato		1,0 – 3,0 m	0,0 – 1,0 m 1,0 – 2,0 m	3,5 – 4,5 m	4,0 – 6,0 m

Sono inoltre state eseguite 3 prove penetrometriche dinamiche spinte a profondità variabili tra 4,5 e 9 m.

I rapporti di prova delle indagini effettuate sono riportati dettagliatamente in allegato (Allegato A).

3.2 Indagini indirette

L'indagine eseguita è stata del tipo congiunto MASW + HVSR, analizzando le onde Rayleigh, ed analizzando al contempo anche le misure di microtremore atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V utile a definire eventuali risonanze di sito e quindi a vincolare meglio il profilo di Vs.

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (modello Echo 24/2002) collegato a 24 geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

Sono stati realizzati due stendimenti sismici lineari di lunghezza pari a 115 metri con spaziatura tra i geofoni di 5 metri e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

I risultati dell'indagine geofisica sono riportati in Allegato A.

3.3 Geologia di dettaglio dell'area e risultati delle indagini

Come già visto nell'inquadramento generale nell'area di interesse sono presenti terreni depositi nel pleistocene superiore in un contesto di conoide alluvionale e appartenenti all'Unità di Vignola; essa è costituita da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, ricoperti da una coltre limoso-argillosa discontinua. L'Unità di Vignola intaglia e terrazza depositi più antichi sottostanti.

Le frequenti divagazioni del T. Tidone nel corso del quaternario hanno determinato variazioni della successione stratigrafica e nella distribuzione dei depositi anche su brevi distanze, nell'ordine delle decine di metri; ne deriva un assetto litostratigrafico variegato, anche se meno complesso rispetto al sito di Bilegno.

Le indagini eseguite hanno permesso di determinare la definizione dell'assetto litostratigrafico dell'area di indagine approfondendo la comprensione dei rapporti stratigrafici dei terreni investigati. Complessivamente sono stati riconosciuti 3 livelli principali presenti su tutta l'area ma con profondità e spessori variabili. Dalla superficie in profondità:

- il primo livello, denominato con la lettera A, rappresenta la copertura argillosa/limo argillosa, la cui parte più superficiale è occupata dal suolo coltivo a tessitura argillosa (Livello 0); lo spessore varia da 30 cm a 3 m;
- il secondo livello, denominato con la lettera B, è costituito da ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa; lo spessore varia da 1,5 a 10 m circa;
- il terzo livello, denominato con la lettera C, è costituito da argille limose e limi argillosi molto compatti; esso è presente fino alla profondità massima indagata di 12 m.

In generale si osserva:

- diminuzione dello spessore della copertura (livello A) e conseguente innalzamento del tetto delle ghiaie (livello B), da S verso N;
- lo spessore del corpo ghiaioso (Livello B) aumenta spostandosi da S verso N, con il valore minimo in corrispondenza del sondaggio S 1 e quello massimo in corrispondenza di S3; di conseguenza le argille sottostanti (livello C) si approfondiscono spostandosi da S a N.

Il livello di falda, misurato nei piezometri, si attesta ad un livello variabile tra 3,8 e 4,4 m da p.c. Si rimarca che tale livello è stato misurato e valutato dopo un lungo periodo siccitoso che ha caratterizzato il periodo primaverile, estivo ed autunnale.

Nella tabella seguente si sintetizzano gli elementi sopra evidenziati

Livello	Composizione (Classificazione USCS)	Profondità	
		da (m)	a(m)
A	Argilla limosa-sabbiosa (CL)	0.00	0.20 – 3.00
B	Ghiaia e ciottoli (GM)	0.20 – 3.00	3.50 – 10.20
C	Argilla limosa-sabbiosa (CL)	3.50 – 10.20	12.00

Livello A:

E' costituito da una coltre argilloso limosa-sabbiosa sovraconsolidata molto consistente. I valori della coesione non drenata, misurati con pocket vane test sulle carote di sondaggio, variano tra 1.0 e 1.6 Kg/cm², mentre i valori di N₃₀ delle prove penetrometriche dinamiche variano tra 5 e 15; i valori di velocità delle onde di taglio misurate con le prove MASW si attestano intorno a 300 m/s. Presenta pertanto elevata compattezza, con una coesione non drenata variabile tra 100 e 150 Kpa e un modulo edometrico M variabile tra 30 e 60 Mpa. Su un campione appartenente a questo livello è stata eseguita una prova Proctor dalla quale è risultata una densità secca ottimale di 1,85 g/cm³ ottenuta ad un valore di umidità w pari a 11%

Livello B:

Si tratta di un livello costituito da ghiaie, ghiaie sabbiose mediamente addensate sottostante il livello precedente e presente fino alla profondità massima di circa 10.00 m da p.c. I valori di N_{spt} variano tra 26 e 50, mentre i valori di N₃₀ delle prove penetrometriche dinamiche variano tra 15 e 50; i valori di velocità delle onde di taglio misurate con le prove MASW si attestano intorno a 450 m/s; non sono stati ritenuti attendibili i valori di pocket penetrometer e pocket tor vane eseguiti su questo livello in corrispondenza del sondaggio S3 in quanto si tratta di prove non adatte a livelli ghiaiosi. A questo livello può essere associato un valore dell'angolo di resistenza al taglio ϕ' di circa 38°- 40° e un modulo edometrico M di circa 80 Mpa. Le prove di permeabilità a carico variabile con metodo Lefranc hanno permesso di determinare una permeabilità variabile tra 2*10⁻⁴ e 2*10⁻⁶ m/s, in funzione del contenuto di fine della matrice; si precisa tuttavia che le prove Lefranc sono state eseguite in vicinanza del passaggio litologico con le sottostanti argille; pertanto tali valori sono da ritenersi come una media tra la permeabilità orizzontale nelle ghiaie (k_n) e la permeabilità verticale (K_v) nelle argille.

Livello C:

Sottostante il precedente è costituito da argille e argille limose-sabbiose molto consistenti grigio-azzurre; l'aspetto è spesso scaglioso e fittamente stratificato. I valori di pocket penetrometer sono mediamente compresi tra 3.0 e 4.0 kg/cm², mentre di valori di vane test si distribuiscono intorno a valori di circa 1.5-2.0 kg/cm². I valori di Nspt sono mediamente compresi tra 26 e 50. Presenta pertanto elevatissima compattezza, con una coesione non drenata variabile superiore ai 200 Kpa e un modulo edometrico M variabile tra 60 e 80 Mpa. Tali valori sono tipici di rocce tenere come argilliti e marne, così come i valori di velocità delle onde di taglio misurate con le prove MASW sono molto elevati e variabili tra 600 e 700 m/s.

3.4 Caratteristiche geomeccaniche

L'elaborazione dei risultati delle indagini effettuate ha permesso di assegnare ai depositi investigati e ai livelli litostratigrafici individuati, i valori dei principali parametri fisico-meccanici responsabili del comportamento meccanico del complesso terreno-fondazioni; essi vengono riportati sinteticamente nella tabella seguente (Tabella 1).

Livello	γ (kN/m ³)	Id (%)	ϕ'_p	Su (kpa)	M (Mpa)	E25 (Mpa)
A	18.5 – 19.0			100 - 150	30 - 60	150-200
B	19.0 – 20.0	40 - 45	38 - 40		75 - 80	200-250
C	20.0 – 21.0			200	60 - 80	150-200

Tabella 1 – Parametri fisico-meccanici dei livelli litostratigrafici riconosciuti

Dove:

γ (kN/mc) = Peso di volume

Id (%) = Indice di densità

ϕ'_p = Angolo di attrito di picco - Hatanaka e Huchida (1996, 1998)

Su (KPa) = coesione non drenata

M (MPa) = Modulo confinato

E25 = Modulo elastico operativo a un livello del 25%

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA SISMICITA' STORICA

4.1 Caratteri strutturali e sismotettonici

La sintesi delle attuali conoscenze in termini di dati sismologici e degli elementi strutturali attivi è stata sintetizzata nella Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, pubblicata nel 2004 a cura del Servizio Sismico e dei Suoli regionale. In questo lavoro sono state identificate, sulla base di evidenze geologiche e morfologiche, le principali strutture attive che interessano l'Emilia-Romagna, la cui sintesi è riportata in Figura 6.

L'Appennino è una catena a thrusts che si è strutturata principalmente in età neogenica ma che mostra morfologie estremamente giovani, evidenze di sollevamenti recenti e una costante sismicità, che testimoniano come il processo di costruzione della catena sia ancora attivo.

Le maggiori evidenze di strutture attive, sia da profili sismici che da osservazioni di campagna, sono state rilevate nel settore del margine appenninico compreso tra Salsomaggiore e la valle dell'Idice, sul fronte sepolto delle pieghe emiliane tra Piacenza e Reggio Emilia e al tetto della dorsale ferrarese tra Reggio Emilia e le Valli di Comacchio.

Negli affioramenti lungo il margine piacentino, non sono presenti chiare evidenze di deformazioni recenti; i depositi della successione del margine si presentano pressoché indeformati e si immergono blandamente sotto i depositi alluvionali padani.

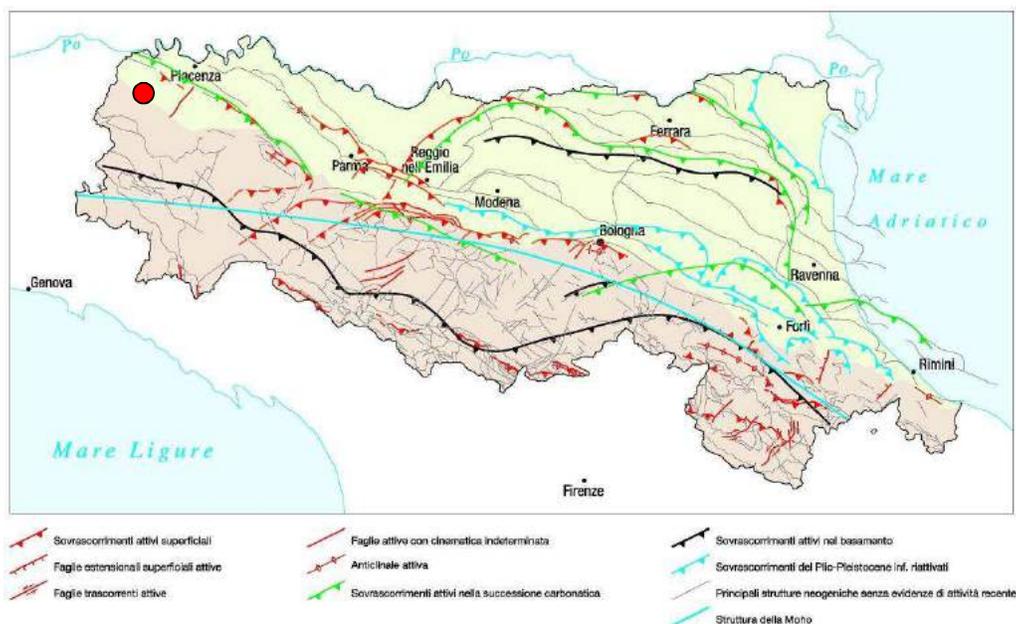


Figura 6 – Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: “Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004). Il punto rosso individua approssimativamente l'area d'intervento.

Anche dai profili sismici risulta che l'unica struttura importante che mostra attività tardoquaternaria è il fronte sepolto dell'alto di Chero-Carpaneto che rappresenta la prosecuzione verso SE del thrust di Stradella.

Sotto il profilo sismico, gli studi sulla pericolosità sismica, promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, hanno portato alla definizione di una zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9, che prevede una suddivisione in 36 zone (Figura 7), i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

In particolare il territorio di Borgonovo val Tidone ricade nella zona sismogenetica 911 (Tortona-Bobbio), caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, originati da movimenti prevalentemente compressivi NW e trascorrenti con assi SW-NE nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture sepolte attive. La zona 911 rappresenta il limite settentrionale dell'arco appenninico, costituendo un ruolo di svincolo tra il sistema alpino e quello appenninico; il meccanismo di fagliazione prevalente risulta essere trascorrente.

Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 8 e 12 km e i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a $M_{wmax} = 6,14$. La Figura 8 evidenzia la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database più aggiornato e disponibile DISS 3.1. (Database of Individual Seismogenic Sources a cura dell'INGV), da cui si evidenzia che il territorio di Castel San Giovanni si colloca tra due "fasce" sismogenetiche:

- ITCS044 Portalbera-Cremona
- ITCS045 San Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro.

Gli autori individuano una struttura sismogenetica estesa da Portalbera (Pv), a Cremona, che interessa una fascia di oltre 50 km di lunghezza e circa 10 di larghezza, comprendente tutto il fronte avanzato delle strutture appenniniche sepolte che si manifestano in superficie con il colle di San Colombano e i piccoli rilievi di Casalpusterlengo. Questo fronte consiste in un sistema di faglie N-NE vergente posta all'estremità nord-ovest della catena Nord Appenninica,

A tale struttura, denominata ITSA044, è attribuita una velocità di scorrimento (slip rate) di 0,1– 0,5 mm all'anno e la possibilità di generare terremoti di magnitudo M_w 5,5. Recentemente, come indicato in figura, è stata ipotizzata l'attività di una faglia (125 Fold San Colombano) circa coincidente con la dorsale del colle.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano nella regione una sismicità diffusa di grado intermedio ($4,5 < M_w < 5,0$), con l'eccezione del terremoto del Lodigiano del 28/7/1276 (M_w 5.1) e del 15/5/1951 (M_w 5.2).

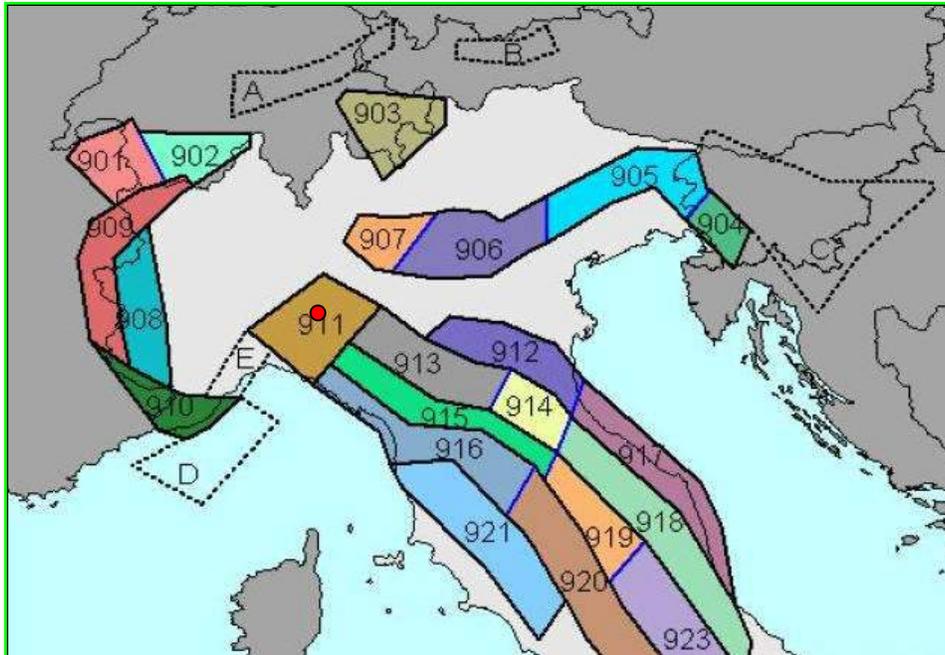


Figura 7 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: “Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004” - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). Il punto rosso individua approssimativamente l’area di intervento.

Per quanto riguarda la struttura ITCS045, questa sorgente è posta a cavallo della regione ad ovest della valle del Taro, e si colloca al passaggio tra il fronte di pieghe pedeappennico (a SE) ed il fronte di pieghe esterne dell’Appennino settentrionale (a N e NW). Si tratta di sistema di faglie vergenti verso NE, in parte costituite da piccoli archi, nel settore pedecollinare della catena dell’Appennino Settentrionale.

I cataloghi storici e strumentali mostrano una mancanza di sismicità significativa in questa regione ad eccezione di alcuni terremoti di grado medio ($4.5 < M_w < 5.0$) nei settori orientali e occidentali dell’area. La sismicità massima è stata assunta sulla base della sismicità regionale ($M_w 5.5$).

Occorre segnalare come sia di recente identificazione una sorgente sismogenetica direttamente interferente con il tettonico comunale di Castel San Giovanni, indicata come ITCS018: Rivanazzano-Stradella da DISS 3.1.

In particolare si segnala lo studio condotto da Benedetti, L. C., P. Tapponnier, Y. Gaudemer, I. Manighetti, and J. Van der Woerd (2003) “Geomorphic evidence for an emergent active thrust along the edge of the Po Plain: The Broni-Stradella fault.”, riguardante l’evidenza geomorfologica di un thrust attivo emergente evidenziatosi attraverso una scarpata di faglia che taglia EW i depositi superficiali quaternari da Casteggio a Sarmato.

Secondo questo studio la scarpata individuabile tra Sarmato e Montebello (PV), di cui la scarpata di Fontana Pradosa ne rappresenta un esempio, come il risultato dell’emergenza della faglia attiva immergente verso sud, il “thrust” di Stradella, che si estende verso est.

Occorre precisare come l'evidenza morfologica sostenuta dagli autori, si collochi in area interessata dalle divagazioni dell'alveo del Fiume Po durante il Pleistocene superiore, per cui potrebbe trattarsi di un caso di "convergenza morfologica" tra un elemento del paesaggio di origine tettonica e uno di natura puramente erosiva.

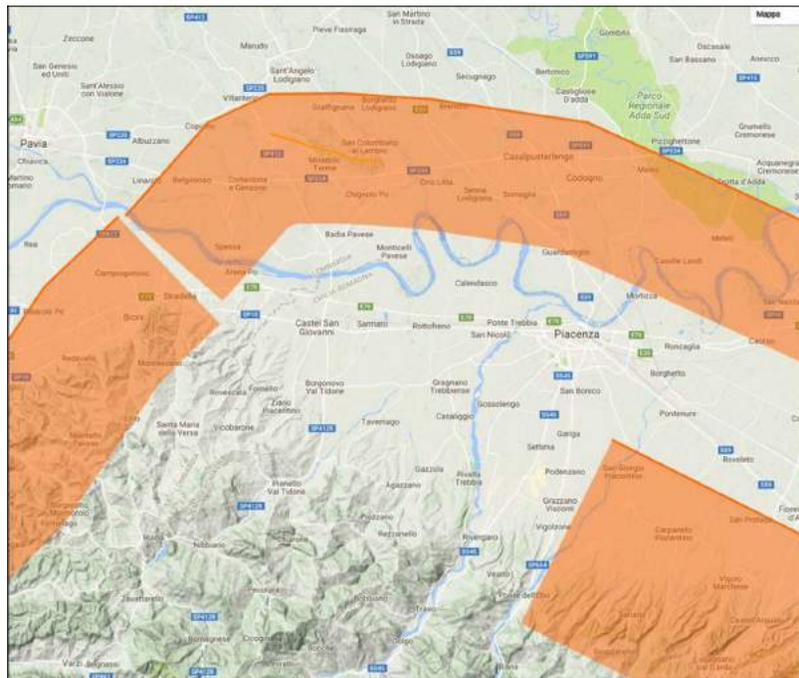


Figura 8 – Sorgenti sismogenetiche

4.2 Sismicità storica

La Provincia di Piacenza è soggetta ad un'attività sismica bassa, indotta da alcuni e storicamente documentati terremoti, con epicentro nell'ambito del territorio provinciale, e di riflesso dagli eventi più intensi provenienti dalle province limitrofe.

Dall'esame delle registrazioni dei terremoti, riportati nella specifica letteratura divulgativa (catalogo ENEL - PFG, bollettino sismico mensile dell'Istituto Nazionale di Geofisica e rapporti sull'attività sismica dell'Istituto di Geofisica e Geodetica dell'Università di Genova), si evince che la sismicità si concentra, in particolare modo, nel settore settentrionale.

Nel complesso il territorio provinciale può essere ritenuto potenzialmente pericoloso, anche se la sismicità è molto bassa. Nell'ambito territoriale della pianura piacentina gli epicentri dei terremoti sono concentrati lungo i piani di rottura del substrato terziario in corrispondenza del fascio di accavallamento dell'E.T.F., descritto precedentemente. La massima intensità risentita nel territorio Comunale di Borgonovo Val Tidone è pari a $I \leq 6$.

A seguito dell'emanazione dell'Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri n° 3274 del 20 marzo 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" e ss.mm.ii., il Comune di Borgonovo Val Tidone è stato classificato sismico in Zona 4. Per i comuni che ricadono in tale classe è stata stimata un'accelerazione sismica orizzontale pari a $ag/g < 0,05$, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Precedentemente all'emanazione della citata Ordinanza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Borgonovo Val Tidone risultava non classificato.

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

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

Per il comune di Borgonovo si è ritenuta rappresentativa della sismicità l'estrazione dal Database Macrosismico dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - DBMI15), degli eventi sismici che hanno storicamente interessato il comune di Piacenza (dal 1000 ad oggi) e le sue vicinanze; i terremoti che hanno colpito Piacenza sono stati 82 e schematicamente i terremoti più significativi sono mostrati nella figura (Figura 9) e nelle tabelle (Tabella 2 e 4) sottoriportate.

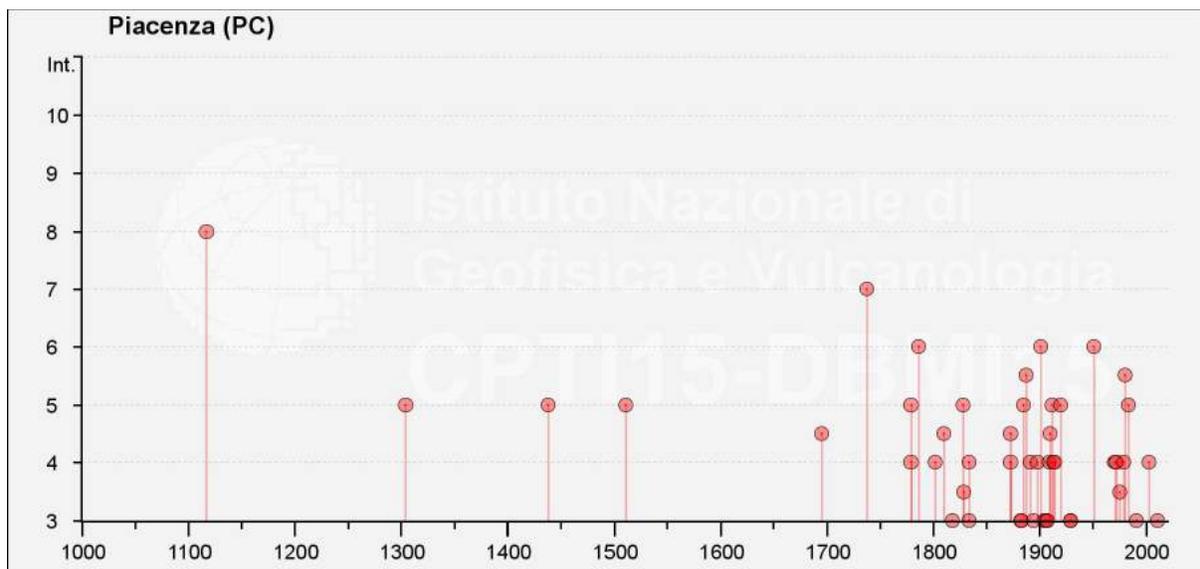


Figura 9 – Storia sismica di Piacenza dall'anno 1000. Fonte dati: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011 -<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>

Intensità	Anno Mese Giorno Ora Minuto Secondo	Area epicentrale	Intensità epicentrale	Mw
8	1117 01 03 15 15	Veronese	9	6,52
F	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	7-8	5,68
F	1276 07 29 18 30	Monferrato	5	4,81
5	1304 10 23 00 45	Pianura emiliana		
F	1348 01 25	Alpi Giulie	9	6,63
5	1438 06 11 02	Parmense	8	5,56
F	1473 05 07 07 45	Milanese	4	3,7
5	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	9	6,32
4-5	1695 02 25 05 30	Asolano	10	6,4
F	1732 02 04 18 20	Parma	5-6	4,65
7	1738 11 05 00 30	Emilia occidentale	7	5,1
5	1779 07 14 19 30	Bolognese		
4	1779 11 23 18 30	Bolognese	5	4,7
6	1786 04 07 00 15	Pianura lombarda	6-7	5,22
4	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	8	5,6
4-5	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	6	5,06
3	1818 12 09 18 55	Parmense	7	5,24
5	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	8	5,72
3-4	1829 09 06 19 30	Cremona	5-6	4,4
F	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5,51
4	1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	9	5,96
3	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	6-7	5,08
NF	1857 02 01	Parmense-Reggiano	6-7	5,11
2-3	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	8	5,85
F	1873 05 16 19 35	Reggiano	6-7	5,01
4	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	9-10	6,29
4-5	1873 09 17	Appennino tosko-ligure	6-7	5,26
3	1882 02 15 05	Val Borbera	6	4,77
3	1883 03 07 21 15	Piemonte sud-occidentale	4-5	4,17
NF	1884 09 12 07 23	Pianura lombarda	6	4,7
5	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	6	5,01
5-6	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	9	6,27
NF	1889 03 08 02 57 04.00	Bolognese	5	4,53
NF	1889 12 08	Gargano	7	5,47
4	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Ilasi	8-9	5,87
NF	1891 08 01 13 32 22.00	Lugo	4-5	4,36
NF	1892 01 05	Garda occidentale	6-7	4,96
NF	1892 03 05	Valle d'Aosta	7	4,98
3	1894 11 27 05 07	Bresciano	6	4,89
NF	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	8	5,5
F	1895 08 07 19 49 32.00	Appennino tosko-emiliano	5	4,67
NF	1895 08 09 17 38 20.00	Adriatico centrale	6	5,11
NF	1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	6	4,59
4	1898 03 04 21 05	Parmense	7-8	5,37
6	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	7-8	5,44
2-3	1902 08 04 22 36 10.00	Lunigiana	6	4,78
NF	1902 12 04 16 35 01.00	Lunigiana	5	4,35
3	1904 02 25 18 47 50.00	Reggiano	6	4,81
2-3	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	6	4,82
3	1906 08 25 03 11	Parmense	5	4,25
3	1907 04 25 04 52	Veronese	6	4,79
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	6-7	5,36
4-5	1910 01 23 01 50	Piacentino	5	4,39
5	1912 10 01 18 10	Piacenza	4	3,7
4	1913 03 27 02 25 44.00	Val Trebbia	4-5	4,24
4	1914 10 27 09 22	Lucchesia	7	5,63
2	1916 05 17 12 50	Riminese	8	5,82
F	1918 01 13 12	Pianura lombarda	4	4,62
5	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	10	6,53
NF	1928 06 13 08	Carpi	6	4,67
NF	1929 04 10 05 44	Bolognese	6	5,05
3	1929 04 20 01 10	Bolognese	7	5,36
3	1929 05 11 19 23	Bolognese	6-7	5,29
2	1930 10 26 07 31	Modenese	4	4,12
6	1951 05 15 22 54	Lodigiano	6-7	5,17
2	1960 03 23 23 10	Vallese	7	5
NF	1967 04 03 16 36 18.00	Reggiano	5	4,44
4	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	8	5,51
4	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	5	4,87
3-4	1975 11 13 19 55 14.00	Appennino piacentino	5-6	4,36
4	1979 02 09 14 44	Bergamasco	6	4,78
NF	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	10	6,81
5-6	1980 12 23 12 01 06.00	Piacentino	6-7	4,57
5	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	6-7	5,04
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	6	4,43
3	1991 10 31 09 31 18.63	Emilia occidentale	5	4,33
NF	2000 08 21 17 14	Monferrato	6	4,94
4	2003 04 11 09 26 57.78	Valle Scrivia	6-7	4,81
F	2004 11 24 22 59 38.55	Garda occidentale	7-8	4,99
2	2005 04 18 10 59 18.56	Valle del Trebbia	4	3,97
F	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	6-7	5,36
3	2011 07 17 18 30 27.31	Pianura lombardo-veneta	5	4,79

Tabella 2 - Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Fidenza tra il 1438 e il 2008

Località	EQs	Distanza (km)
San Lazzaro Alberoni	4	3
San Rocco al Porto	4	3
Guardamiglio	2	6
San Nicolò a Trebbia	1	7
Gossolengo	4	8
Santo Stefano Lodigiano	3	8
Calendasco	4	8
Pontenure	8	9
Fombio	5	9
Caselle Landi	3	10
San Fiorano	2	10

Tabella 3– Terremoti con effetto anche sul territorio comunale di Piacenza ed epicentro a distanza inferiore a 10 km.

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

- storicamente il territorio comunale è stato interessato da eventi sismici intensità massima I_{max} 7-8;
- altri eventi sismici hanno interessato il comune di riflesso dai comuni contermini;
- nel raggio di 10 km dai confini del territorio comunale sono noti circa 11 eventi con intensità significativa.

4.3 Classificazione sismica

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

Il Comune di Borgonovo Val Tidone è stato classificato in Zona 4. Per i comuni che ricadono in tale classe è stata stimata un'accelerazione sismica orizzontale pari a $ag/g = <0,05$, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Tali valori d'accelerazione sono relativi al bedrock, ovvero a formazioni litoidi o terreni omogenei molto rigidi.

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

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

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

Nella seguente figura (Figura 10) si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo); dalla mappa risulta che l'area di studio presenta valori di accelerazione di picco al suolo a_g , cioè per $T=0$, (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compresi tra 0,075 e 0,100 g.

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

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

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

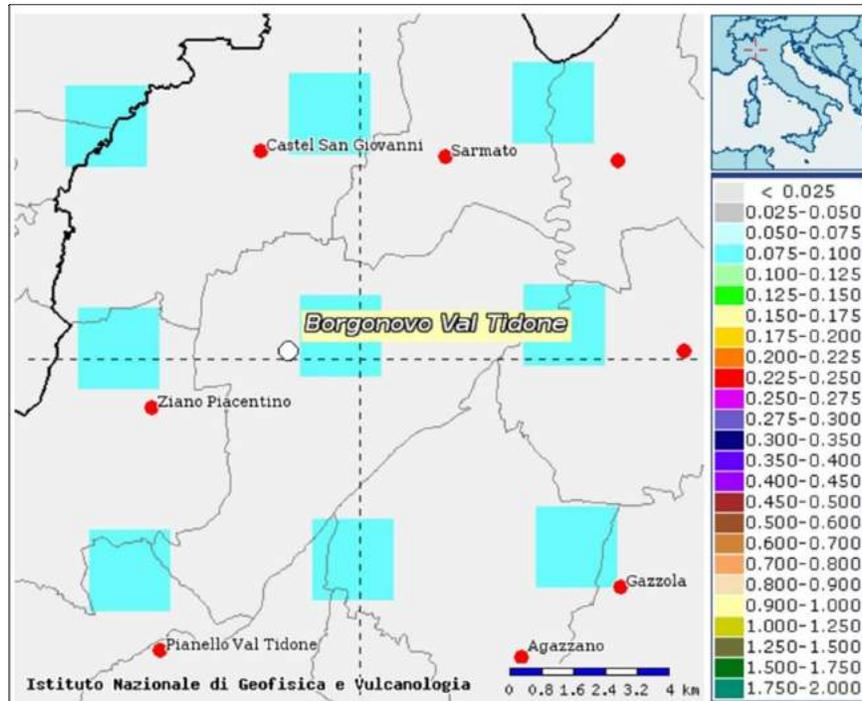


Figura 10– Particolare della Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni tratto da INGV

Dal grafico di disaggregazione consultabile dal sito suddetto per il punto di interesse, otteniamo che la maggior rilevanza statistica si ha per terremoti di magnitudo compresa tra 4.0 e 5.5 e distanza compresa tra 0 e 20 km; contributi più modesti possono arrivare da terremoti più lontani oltre i 20 km (Figura 11).

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

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

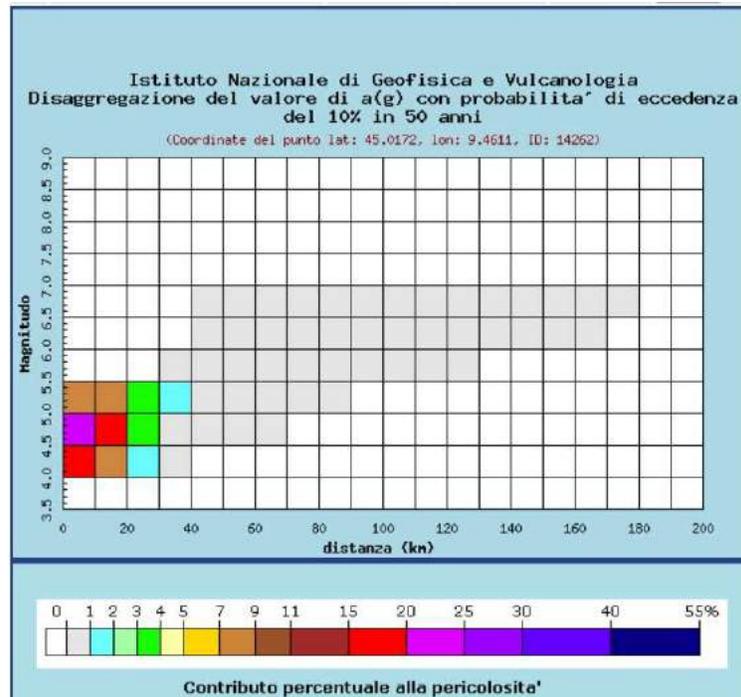


Figura 11- Dati disaggregati della pericolosità sismica di base per il sito di interesse

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

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

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

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

Per l'area oggetto di intervento (coordinate geografiche ED 50: Longitudine = 9,453941 – Latitudine = 44,978855) i valori che risultano sono riportati in Tabella 4 e sono stati ricavati attraverso il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

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

Per l'intervento in progetto è stato classificato in classe I. Il periodo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica è di 35 anni.

Il foglio elettronico "Spettri NTC ver.1.0.3" predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici permette di ottenere gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite (Tabella 5 e Figura 12). Ad esempio, nel caso in esame, opera con classe d'uso I, il valore di a_g (per $T=0$) di riferimento per il calcolo dell'azione sismica in SLV è di 0,084 g con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni con un tempo di ritorno di 332 anni.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,031	2,508	0,203
50	0,038	2,553	0,219
72	0,045	2,512	0,244
101	0,052	2,512	0,253
140	0,059	2,526	0,265
201	0,069	2,494	0,273
475	0,097	2,474	0,281
975	0,127	2,467	0,285
2475	0,174	2,468	0,291

Tabella 4– Valori dei parametri della forma spettrale del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R).

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,031	2,508	0,203
SLD	35	0,033	2,522	0,208
SLV	332	0,084	2,482	0,278
SLC	682	0,111	2,471	0,283

Tabella 5– Valori dei parametri della forma spettrale del sito di intervento in funzione dei periodi di ritorno (T_R) per i diversi stati limite.

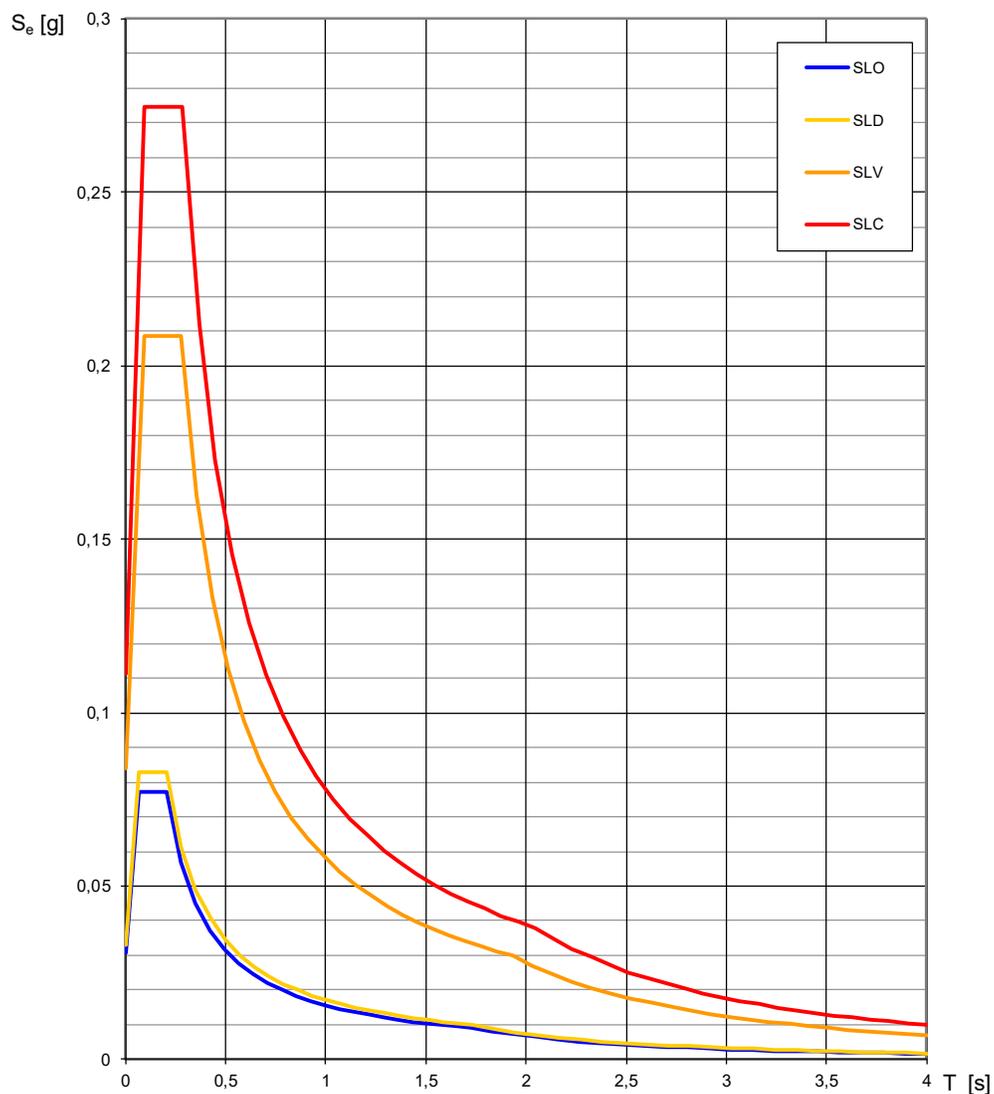


Figura 12 – Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali per i periodi di tempi di ritorno T_r associati ai diversi stati limite su sito di riferimento rigido (elaborazione effettuata mediante “Spettri NTC ver.1.0.3”).

Con la strategia di progettazione viene definita la vita nominale e la classe di uso. La combinazione di questi parametri definisce il periodo di riferimento legato al tempo di ritorno T_r . Considerando che l'edificio in progetto può essere classificato in classe III cioè "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi ...", che comporta un coefficiente d'uso $C_u = 1.5$, il periodo di riferimento $V_r = V_n \cdot C_u$ per il calcolo dell'azione sismica è quindi di 75 anni.

4.5 Risposta sismica locale

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

Va ricordato, infatti, che il moto generato da un terremoto in un sito è influenzato dalle particolari condizioni locali (risposta sismica locale), ovvero dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido, sottosuolo categoria A, con $V_{s30} > 800$ m/s (vedi paragrafo seguente), con superficie topografica orizzontale. Gli spettri di risposta elastica visti precedentemente sono riferiti a queste condizioni; per un sottosuolo di tipo diverso essi devono essere modificati, per tenere conto di eventuali fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica.

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

In particolare i parametri da considerare (Tabella 6) sono riferiti alla velocità delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri al di sotto della fondazione (V_{S30}), ottenuta, come già visto, attraverso la seguente espressione:

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

Le due prove MASW effettuate per lo scopo, hanno permesso di determinare un valore di V_{S30} variabile tra **552 e 651 m/s** calcolata cautelativamente a piano campagna; questa variazione è legata alla variabilità, anche su brevi distanze, degli spessori dei diversi livelli litologici presenti.

Sulla base di questi valori il suolo in esame può essere classificato in **categoria 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 $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)". Occorre pertanto considerare il rischio sismico, prevedendo in sede di progettazione accorgimenti costruttivi che garantiscano la stabilità delle opere anche in condizioni dinamiche, valutando in particolare le sollecitazioni orizzontali. Nel calcolo delle strutture sarà necessario considerare accelerazioni sismiche congruenti con quelle di riferimento definite su sito di riferimento rigido (sottosuolo di categoria A)

orizzontale (0,084 g per SLV) e la categoria del suolo di fondazione che, in base alla formula suddetta, risulta essere la “B”.

Allo scopo di definire il periodo di risonanza di sito e migliorare (tramite analisi congiunta MASW+HVSr) la definizione del profilo verticale V_s nelle porzioni più profonde, si è effettuata una misurazione di microtremotremore utili a definire il rapporto H/V lungo lo stendimento.

I criteri SESAME definiscono la robustezza statistica della curva HVSr e degli eventuali picchi presenti. Il computo del picco a 18 Hz ha soddisfatto 4 criteri su 6 e pertanto non si possono escludere fenomeni di amplificazione attorno a tale frequenza.

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

Tabella 6 - Categorie del sottosuolo di fondazione

4.5.1 Amplificazione stratigrafica e topografica

L’areale di studio risulta essere soggetto ad amplificazione di tipo stratigrafico del segnale sismico, derivante dalla presenza di terreni di **categoria B** con velocità delle onde di taglio comprese tra 360 e 800 m/s.

Si sottolinea come il risultato di V_{s30} ottenuto dalla prova geofisica effettuata riferendosi al piano campagna ricada in pieno nei limiti della categoria B; la velocità media di taglio entro i 30 m aumenta, rafforzando l’appartenenza del suolo alla categoria B.

Al fine di indirizzare pertanto le future considerazioni sulle strutture si propongono i coefficienti di amplificazione del segnale sismico per la categoria di suolo B.

La morfologia sub pianeggiante (categoria T1) esclude la possibilità di amplificazione topografica.

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

$$a_{max}=S*a_g=SS*St*a_g \text{ dove}$$

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

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

I coefficienti assumono i seguenti valori (Tabella 7):

Coefficienti	Categoria di suolo B			
	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss – Amplificazione stratigrafica	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc – Coeff. funz. categoria	1.51	1.51	1.42	1.42
St – Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 7 – Coefficienti di amplificazione del segnale sismico

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

$$K_h=\beta * a_{max} (g)$$

Per il calcolo di β si fa riferimento alla tabella seguente (Tabella 8).

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

Tabella 8 – Valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

I parametri sismici per i diversi stati limite e per la categoria di suolo C, pertanto, assumono i valori riportati nella tabella di seguito riportata (Tabella 9):

Coefficienti	Categoria di suolo B			
	SLO	SLD	SLV	SLC
Kh	0.007	0.08	0.020	0.032
Kv	0.004	0.004	0.010	0.016
Amax (m/s ²)	0.362	0.386	0.989	1.309
Beta	0.200	0.200	0.200	0.240

Tabella 9 – Parametri sismici Kh e Kv per i diversi stati limite

4.5.2 Occorrenza di fenomeni di liquefazione

La possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione può essere esclusa, in quanto si esclude la presenza di depositi sabbiosi (fuso granulometrico di riferimento delle NTC 08) di spessore significativo entro i primi 20 metri di sottosuolo.

4.5.3 Fenomeni di cedimento postsismico

L'assenza di spessori significativi di depositi fini caratterizzati da valore di coesione inferiori a 70 kPa, permette di escludere il verificarsi di cedimenti post-sismici, dovuti alla riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto.

5. CONCLUSIONI

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

- l'area in esame appartiene ad un contesto non urbanizzato; la superficie di intervento rientra in un'area sub-pianeggiante stabile, occupata superficialmente dai depositi alluvionali appartenenti alla Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano e più precisamente all'Unità di Vignola AES7b (Pleistocene Superiore), caratterizzati da una successione a carattere alluvionale costituita in senso generale da un'alternanza di litologie fini e ghiaie;
- le indagini geognostiche effettuate, costituite da n. 5 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT, n. 3 prove penetrometriche dinamiche e n. 3 sondaggi con escavatore, hanno permesso di individuare, entro la profondità indagata, tre principali livelli lito-geomeccanici differenti, denominati A e C. Il livello A, a comportamento coesivo, caratterizza il sottosuolo fino ad una profondità variabile tra 0.20 – 3.0 m; il livello, costituito da limi argillosi, si presenta sovraconsolidato. Il livello B, di natura granulare, sottostante il precedente, è costituito da ghiaia in matrice limo argilla sabbiosa raggiunge una profondità variabile tra 3.50 – 10.20 m da p.c. Sottostante quest'ultimo livello è posto il livello C di natura coesiva costituito da argille e argilliti di aspetto spesso scaglioso e che raggiunge la massima profondità investigata pari a 12.0 m da p.c. La variabilità degli spessori dei diversi livelli anche su brevi distanze testimonia le frequenti divagazioni del T. Tidone nel corso del Pleistocene e dell'Olocene.
- sotto il profilo idrogeologico, le indagini eseguite hanno permesso di appurare la presenza di falda a partire da circa 3.80 m da p.c. Occorre osservare che tale livello non rappresenta un alto stazionamento della falda in considerazione anche del prolungato periodo siccitoso. Si ritiene che il livello di falda, a pelo libero, possa risalire, nei periodi di intense e prolungate precipitazioni; si consiglia pertanto un monitoraggio periodico dei livelli di falda nei piezometri;
- le prove di permeabilità a carico variabile con metodo Lefranc hanno permesso di valutare la permeabilità del livello B ghiaioso; i valori variano tra $2 \cdot 10^{-4}$ e $2 \cdot 10^{-6}$ m/s, in funzione del contenuto di fine della matrice; si precisa tuttavia che le prove Lefranc sono state eseguite in vicinanza del passaggio litologico con le sottostanti argille del livello C; pertanto tali valori sono da ritenersi come una media tra la permeabilità orizzontale nelle ghiaie (k_h) e la permeabilità verticale (k_v) nelle argille;
- la parametrizzazione dei livelli lito-geomeccanici individuati è stata basata sulle risultanze dell'elaborazione delle prove geognostiche eseguite; essi hanno permesso di assegnare ai livelli riconosciuti, i principali parametri fisico-meccanici responsabili del comportamento di resistenza del complesso terreno-fondazioni.

- sismicamente l'area ricade in zona sismica 4 e risulta soggetta ad una sismicità storica medio-bassa, indotta da terremoti documentati con epicentro nell'ambito del territorio provinciale sia, di riflesso, dagli eventi più intensi provenienti dalle province limitrofe. Le valutazioni sul rischio sismico effettuate, hanno evidenziato una pericolosità sismica legata agli effetti di amplificazione di tipo stratigrafico dell'input sismico, derivante dalla presenza di depositi alluvionali con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s. Nel calcolo delle strutture geotecniche sarà necessario considerare accelerazioni sismiche congruenti con quelle di riferimento definite su sito rigido orizzontale e la categoria del suolo di fondazione (B). Infatti l'indagine geofisica eseguita ha permesso di determinare una VS_{30} variabile tra circa 550 e 650 a m/s a partire dal piano campagna che convalida la categoria di suolo alla classe B;
- l'area di studio appartiene alla Zona Sismogenetica 911 per la quale può essere preso come riferimento, sulla base dei meccanismi focali, valori di magnitudo massima M_{max} pari a 6,14;
- la morfologia dell'area permette di escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico; l'assenza di depositi sabbiosi entro i primi 20 m di sottosuolo permette di escludere il pericolo di liquefazione, così come l'assenza di spessori significativi di depositi fini caratterizzati da valore di coesione inferiori a 70 kPa, permette di escludere il verificarsi di cedimenti post-sismici;
- l'area oggetto di studio presenta valori dell'accelerazione orizzontale, per i diversi stati limite, compresi tra 0,031 e 0,111;
- la prova HVSR ha evidenziato un picco corrispondente a 18 Hz.

Parma, Gennaio 2018



Dr. Geol. Fabio Francesco Picinotti

6. BIBLIOGRAFIA

- BERNINI M. E PAPANI G., (1987): Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano tra Stirone ed Enza (e sulle relazioni con il sistema del F. taro). L'Ateneo Parmense, Acta Nat., 23, 4, 219-240, Parma.
- CESTARI F. (1996): Prove geotecniche in sito. Geo-Graph s.n.c.
- BOWLES JOSEPH E. (1991): Fondazioni. McGraw-Hill.
- BRINCH HANSEN J. (1961): A General Formula for Bearing Capacity. The Danish Geotechnical Institute, Bull. N. 11, Copenhagen.
- BRINCH HANSEN J. (1970): A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. The Danish Geotechnical Institute, Bull. N. 28, Copenhagen.
- ISTITUTO DI GEOLOGIA DELL'UNIVERSITA' DI PARMA (1966): Carta geologica 1:100.000 della Provincia di Parma e zone limitrofe.
- COLOMBO P., COLLESELLI F. (2004): Elementi di Geotecnica.
- COMUNE DI CASTEL SAN GIOVANNI. (2013): Relazione Geologia e Analisi del Rischio Sismico a supporto del POC
- DI FRANCESCO R. (2014): Manuale avanzato di meccanica delle terre.
- LANCELLOTTA R., (1987): Geotecnica.
- LAMBE T.W., WHITMAN R.V.(1997): Meccanica dei terreni
- MEYERHOF G.G. (1951): The Ultimate Bearing Capacity of Foundations. Geotechnique, 2, pp. 301-332.
- PETRUCCI et al. (1975): Pozzi idrici delle province di Parma e Piacenza. Università degli Studi di Parma, Istituto di Geologia.
- PROVINCIA DI PARMA (2000): Nuova carta della vulnerabilità degli acquiferi.
- PROVINCIA DI PARMA (2000): Indirizzi per la Tutela delle acque.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA. – ENI AGIP (1998): Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna.
- F. ROCCAFORTE, C. CUCINOTTA (2015): STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI IN GEOFISICA APPLICATA; DARIO FLACCOVIO EDITORE.
- SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (2005-1994): Carta geologica d'Italia alla scala 1:50000 e I suoli dell'Emilia Romagna - Carta 1:250.000.
- SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA (2004): Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250000
- TANZINI M. (2002): L'indagine geotecnica
- TERZAGHI K., PECK R.B. (1974): Geotecnica
- VESIC A.S. (1970): Tests on Instrumented Piles, Ogeechee River Site, JSMFD, ASCE, vol 96, n. SM2, Proc. Paper 7170, March.

http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia/sito_cartografia/sito_cartografia.htm

<http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/sismica.htm>

<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

<http://www.ingv.it/it/>

ALLEGATI

Allegato A: Risultati delle indagini geognostiche

**RAPPORTO TECNICO SULLE INDAGINI
ESEGUITE IN COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
PRESSO LA LOCALITA' FABBIANO (PC)**



COMMITTENTE: Consorzio Bonifica di Piacenza

DATA: DICEMBRE 2017

Sede legale:

Via Aldo Moro, n. 5
27028 S.Martino Siccomario (PV)
tel 0382/1750334 fax 0382/1752557
Registro Imprese n.

P.IVA / C.F. 02015400183

e-mail: gta@gtasrl.it sito internet: www.gtasrl.it

Sede operativa:

Via Aldo Moro, n. 5
27028 S.Martino Siccomario (PV)
tel 0382/1750334 fax 0382/1752557

AZIENDA CERTIFICATA
UNI EN ISO 9001:2000

Indice

PREMESSA	2
1. INDAGINI IN SITO.....	2
2. PROVE PENETROMETRICHE.....	2
3. SONDAGGI GEOGNOSTICI	5
3.1 SPT IN FORO.....	7
3.2 POCKET PENETROMETER E VANE TEST.....	9
4. TRINCEE ESPLORATIVE	10
5. PROVE LEFRANC A CARICO VARIABILE	11

TAVOLE ED ALLEGATI

Tavola 1 – Ubicazione delle indagini eseguite

scala 1:2000

Allegato 1 – Prove penetrometriche -dati di campagna - tabelle e grafici

Allegato 2 – Stratigrafie sondaggi

Allegato 3 – Documentazione fotografica sondaggi

Allegato 4 – Stratigrafie trincee

Allegato 5 – Dati prove Lefranc a carico variabile

Allegato 6 – Report indagini sismiche

PREMESSA

La campagna di indagini riportata nel presente rapporto è stata eseguita per conto del Consorzio di Bonifica di Piacenza, presso la Località Fabbiano (PC).

1. INDAGINI IN SITO

Al fine di ottenere utili informazioni tecniche destinate ad una corretta interpretazione delle caratteristiche reologiche e sismiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, si è proceduto a:

- esecuzione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche (SCPT);
 - esecuzione di tre trincee esplorative con prelievo di campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio;
 - realizzazione di cinque sondaggi a carotaggio continuo (due dei quali attrezzati a piezometro);
 - realizzazione di SPT in foro;
 - realizzazione di prove geomeccaniche direttamente in campagna su spezzoni di terreno all'interno delle cassette catalogatrici mediante Pocket Penetrometer e Vane Test;
 - esecuzione di prove Lefranc a carico variabile in ogni sondaggio eseguito
-
- due indagini sismiche tramite realizzazione di MASW al fine di determinare la categoria sismica del sottosuolo (commentati in allegato 6);
 - la realizzazione di un'indagine HVSR per determinare la frequenza del sito (commentato in allegato 6);

2. PROVE PENETROMETRICHE

Le prove penetrometriche sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico/dinamico Pagani modello "Emilia TG 63-200" avente una spinta di infissione di 20 t (punta statica: manicotto sup. 150 mm², punta diam. 36 mm, aste lunghe 1,00 m), un maglio di 73,0 Kg, volata 75 cm (punta dinamica: angolo di apertura di 60°, aste lunghe 0,90 m).

Le prove sono state ubicate direttamente nell'area oggetto d'intervento come riportato nella immagine seguente, dove sono indicati anche le trincee ed i sondaggi eseguiti.

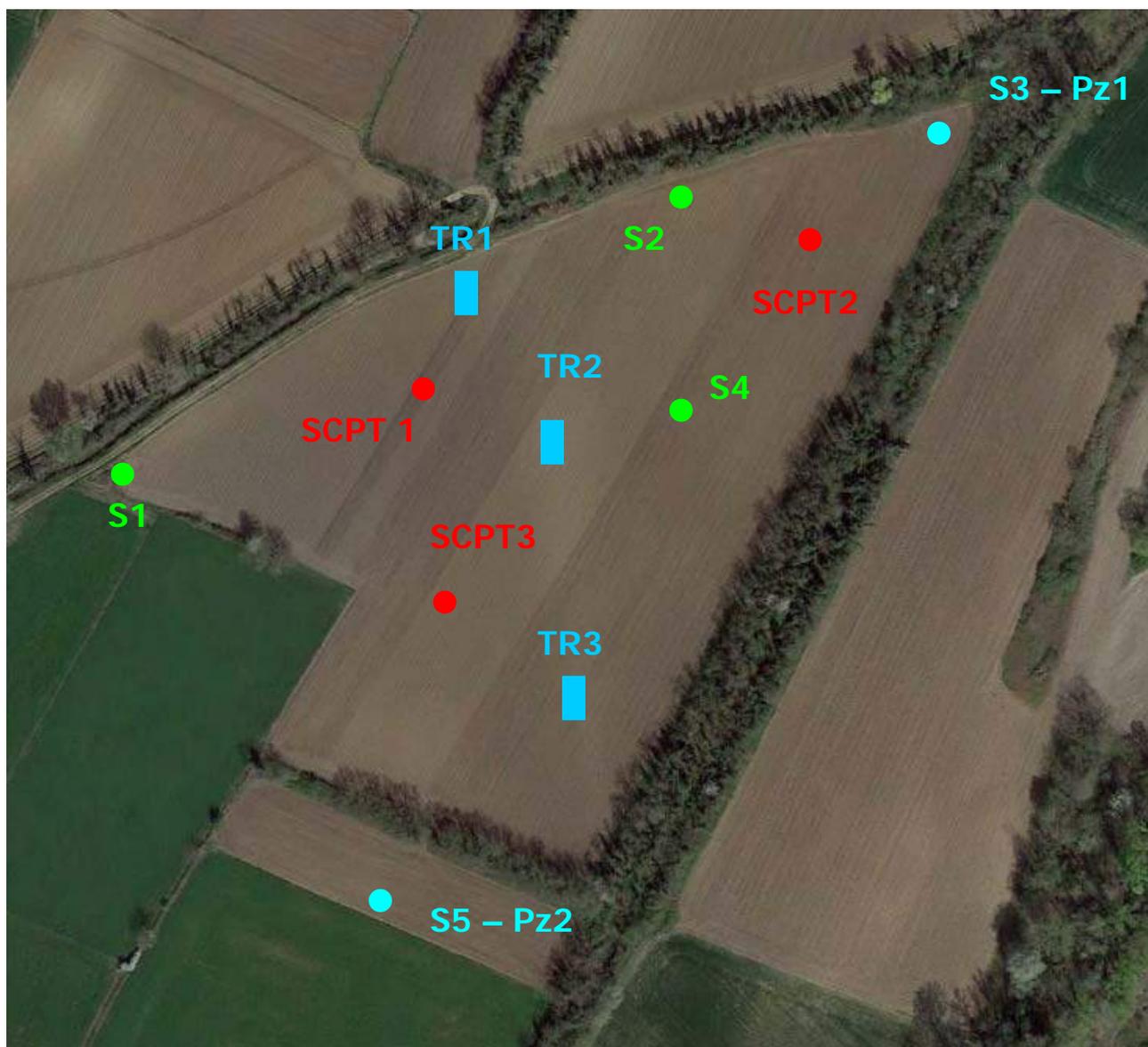


Fig. 1 – Ubicazione delle prove penetrometriche eseguite (SCPT 1-SCPT2 –SCPT3) e dei cinque sondaggi (S1-S2-S3-S4-S5), due dei quali attrezzati a piezometro (PZ1-PZ2) e le tre trincee (TR1-TR2-TR3)

La *prova penetrometrica dinamica* (SCPT) consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno la punta conica metallica posta alla estremità dell'asta di acciaio; l'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di peso standard.

Si conta il numero di colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita (30 cm); la resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e diretta del numero di colpi per una data penetrazione.

Il numero di colpi della prova SCPT (N_{30}) è correlato con l'equivalente numero di colpi della prova SPT (N_{SPT} ; Standard Penetration Test) secondo la seguente relazione:

$$N_{30} / N_{SPT} \approx 0,5 \div 0,6 \text{ (Cestari 1990)}$$

I dati di campagna e le elaborazioni delle prove penetrometriche sono riportati nell'Allegato 1.



Fig. 2 – Particolare fotografico delle prove SCPT1



Fig. 3 – Particolare fotografico delle prove SCPT2



Fig. 3 – Particolare fotografico delle prove SCPT3

3. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti nr 5 sondaggi a carotaggio continuo, spinti tutti alla profondità di 12 m da p.c.. Due di questi sondaggi (S3 e S5) sono stati successivamente attrezzati a piezometro.



Foto 4 – Posizionamento S5

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda perforatrice Beretta T 45.

Come utensile per la perforazione ed il recupero dei campioni è stato utilizzato un carotiere semplice con le seguenti caratteristiche:

diametro esterno	diametro interno	lunghezza utile	Corona
ϕ_{est}	ϕ_{int}		
101 mm	94 mm	150 cm	Widia

La perforazione a rotazione, riducendo al minimo il disturbo del terreno, ha richiesto l'impiego del rivestimento provvisorio costituito da tubi in acciaio con le seguenti caratteristiche:

diametro esterno	Diametro interno	Lunghezza spezzoni
ϕ_{est}	ϕ_{int}	
127 mm	114 mm	150 cm

Il terreno è stato sistemato in apposite cassette catalogatrici in PVC dotate di coperchio dove è stato analizzato e fotografato dal geologo di cantiere per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.

Le stratigrafie ed il report fotografico è riportato in allegato.

All'interno dei fori lasciati dal Sondaggio S3 ed S5 sono stati installati due piezometri per il monitoraggio della falda.

Il condizionamento dei due piezometri è stato il seguente:

Pz1 – Pz2	
0-3 m	tubo cieco in PVC diametro 89 mm (3")
3-12 m	tubo fessurato in PVC diametro 89 mm (3") luce 0,5 mm

In entrambi i piezometri è stato posto del ghiaietto calibrato (2-5 mm di diametro) in corrispondenza dei filtri (da 3 a 12 m), mentre nel resto della perforazione è stata posta bentonite in pellet. Il primo mezzo metro di ogni piezometro è stato cementato ed a protezione del tubo di ogni piezometro è stato posto un chiusino fuori terra munito di lucchetto. Il posizionamento dei due piezometri e le rispettive stratigrafie e condizionamento, sono riportati nelle tavole allegate.

All'interno del PZ1 è stata rilevata in data 7 Dicembre 2017 acqua alla profondità di 4,40 m da piano campagna, mentre nel PZ2 l'acqua si attestava a 3,80 m da p.c..

3.1 SPT IN FORO

All'interno di ogni sondaggio sono state eseguite delle SPT in foro; tali prove consistono nel misurare il numero di colpi necessario per l'avanzamento di un'apposita scarpa per tre tratti successivi di lunghezza di 15 cm ciascuno.

Le prove sono state eseguite con un dispositivo a sgancio automatico, con altezza di caduta di 762 mm e con un maglio del peso di 63,5 kg, conforme alla normativa ASTM D 1586/67 ed un campionatore della lunghezza di 813 mm, diametro interno di 35 mm e peso totale di 7,2 kg.

Per le operazioni di pulizia e approfondimento del foro non è possibile eseguire la prova con frequenza maggiore di una al metro. Il campionatore viene infisso per tre avanzamenti successivi di 150 mm ciascuno. Il primo tratto, detto di avviamento, comprende l'eventuale penetrazione iniziale per peso proprio; se sotto un numero di colpi $N1 = 50$ l'avanzamento è minore di 15 cm, l'infissione deve essere sospesa, la prova è considerata conclusa, e si annota la relativa penetrazione (ad esempio $N1 = 50/13$ cm).

La resistenza alla penetrazione è caratterizzata dalla somma del numero di colpi necessari all'avanzamento del secondo e terzo tratto da 150 mm: $NSPT = N2 + N3$

$N1$ = numero colpi necessari per l'avanzamento del campionatore nei primi 15 cm

$N2$ = numero colpi necessari per l'avanzamento del campionatore nei successivi 15 cm

$N3$ = numero colpi necessari per l'avanzamento del campionatore negli ultimi 15 cm

I valori delle prove SPT in foro sono riportati nella tabella seguente:

Tratto in prova m da p.c.	SONDAGGIO S1	SONDAGGIO S2	SONDAGGIO S3
	Numero Colpi SPT N1 - N2 - N3	Numero Colpi SPT N1 - N2 - N3	Numero Colpi SPT N1 - N2 - N3
1.50-1.95		17-31-35	
2.50-2.95			15-14-12
3.00-3.45	13-12-13		
9.00-9.45	55-Rif.		

Tratto in prova m da p.c.	SONDAGGIO S4 Numero Colpi SPT N1 - N2 - N3	SONDAGGIO S5 Numero Colpi SPT N1 - N2 - N3
1,50-1,95		20-32-33
2.00-2.45	26-22-19	
2.50-2.95	12-13-13	
3.00-3.45		27-32-19
4.50-4.95		17-19-20
6.00-6.45	4-11-15	

Si riporta di seguito la classificazione orientativa della compattezza dei terreni in base alla prova SPT secondo Terzaghi e Peck:

ARGILLE

Stato di consistenza	N
Molle (molto soffice)	$0 < N < 2$
Tenero (soffice)	$2 < N < 4$
Medio (plastico)	$4 < N < 8$
Compatto (compatto)	$8 < N < 15$
Molto compatto (Molto compatto)	$15 < N < 30$
Duro (estremamente compatto)	$N > 30$

SABBIE

Stato di addensamento	N
Molto sciolta	$0 < N < 4$
Sciolta	$4 < N < 10$
Media	$10 < N < 30$
Addensata	$30 < N < 50$
Molto addensata	$N > 50$

3.2 POCKET PENETROMETER E VANE TEST

In corrispondenza di spezzoni di carota a comportamento coesivo, è stato possibile direttamente in campagna provvedere ad una prima caratterizzazione geomeccaniche dei terreni mediante l'utilizzo del Pocket Penetrometer e del Vane Test.

Di seguito si riportano i risultati delle varie prove realizzate nei sondaggi dove è stato possibile effettuarle:

Sondaggio 1			Sondaggio 1		
Pocket Pentrometer	Profondità m da p.c.	Valore (kg)	Vane Test	Profondità m da p.c.	Valore (kg/cm²)
Pocket 1	0.4	>11	Vane 1	0,4	1.0
Pocket 2	0.9	>11	Vane 2	1.9	1.6
Pocket 3	1.4	>11			
Pocket 4	1.8	>11			

Sondaggio 3			Sondaggio 3		
Pocket Pentrometer	Profondità m da p.c.	Valore (kg)	Vane Test	Profondità m da p.c.	Valore (kg/cm²)
Pocket 1	5.60	>11	Vane 1	5.60	1.8
Pocket 2	6.25	>11	Vane 2	6.30	1.8
Pocket 3	6.85	>11	Vane 3	6.90	2.0
Pocket 4	7.25	10	Vane 4	7.25	1.8
Pocket 5	7.50	>11	Vane 5	7.50	1.9
Pocket 6	8.0	>11	Vane 6	7.90	1.6
Pocket 7	8.40	>11	Vane 7	8.40	1.4
Pocket 8	8.80	>11	Vane 8	8.80	1.6
Pocket 9	9.70	>11	Vane 9	9.20	1.5
Pocket 10	10.10	10	Vane 10	9.80	1.0
Pocket 11	10.50	6.5	Vane 11	10.40	1.0
Pocket 12	11.50	6	Vane 12	10.70	1.2
			Vane 12	11.30	1.2

Sondaggio 4			Sondaggio 4		
Pocket Pentrometer	Profondità m da p.c.	Valore (kg)	Vane Test	Profondità m da p.c.	Valore (kg/cm²)
Pocket 1	0.25	9.5	Vane 1	0.25	1.5
Pocket 2	5.40	>11	Vane 2	5.40	1.2
Pocket 3	5.90	>11	Vane 3	5.90	1.5

4. TRINCEE ESPLORATIVE

Mediante un mini escavatore a braccio rovescio sono state anche realizzate tre trincee geognostiche (TR1-TR2-TR3) che hanno permesso di prendere visione diretta dei terreni fino alla profondità di tre metri.

All'interno di ogni trincea per ogni cambio litologico sono stati prelevati campioni di terreno che sono stati portati in laboratorio e sottoposti ad analisi specifiche.

La loro ubicazione è riportata in tavola 1, mentre la documentazione fotografica e la relativa serigrafia sono riportate in Allegato 4.



Foto 5 – realizzazione di una trincea

I campioni prelevati e consegnati al laboratorio C.G.G. di Piacenza sono classificati come

Scavo 1 – da 0,0 a 3,0 metri

Pz da 4,0 a 6,0 metri

Tr 2 da 1,0 a 3,0 metri

Vicino Tr 2 da 3,5 a 4,5 metri

Tr 3 da 0,0 -1 metri

Tr 3 da 1,0 a 2,0 metri

5. PROVE LEFRANC A CARICO VARIABILE

La prova Lefranc a carico variabile è destinata a misurare la conducibilità idrica del terreno e si esegue misurando gli assorbimenti di acqua, facendo filtrare quest'ultima attraverso un tratto di foro predeterminato.

E' una prova di permeabilità da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi, sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo avere saturato con acqua il terreno.

Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato alla prova.

Nel nostro caso è stata effettuata una prova di abbassamento che è stata eseguita riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello.

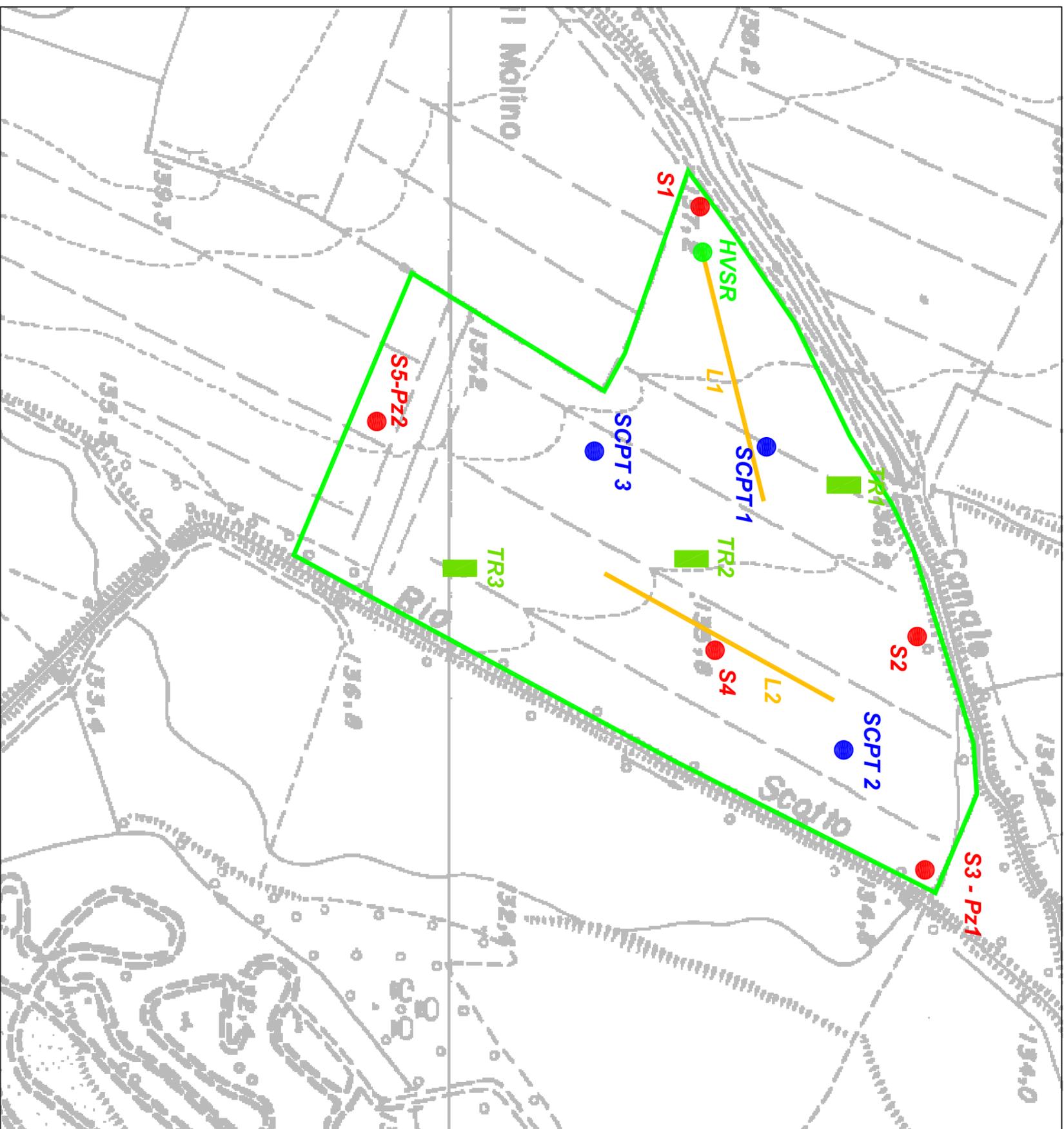
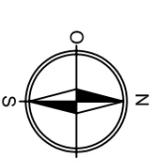
Il metodo a carico idraulico variabile è stato eseguito mediante:

- riempimento con acqua fino alla estremità del rivestimento;
- misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a distanza di 30", 1', 2', 4', 6', 8', 10', 12', 15', 20', 25', 35', 40', 45' dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello di falda.

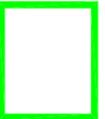
Per una migliore visione delle geometrie della prova e dei dati di ingresso (tempi – abbassamenti) si rimanda alle schede allegate.

Dicembre 2017

dott. geol. Giuseppe Zuffada
Ordine dei geologi della Lombardia n. 1134



scala 1.2000

	Area di indagine
	Sondaggio a carotaggio continuo
	Sondaggio a carotaggio continuo attrezzato a piezometro
	Trincea geognostica
	Prova penetrometrica dinamica
	Stendimento sismico (MASW)
	Punto di acquisizione indagine HVSR

PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
INDAGINI GEONOSTICHE IN
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
LOCALITA' FABBIANO

TAVOLA 1
UBICAZIONE DELLE
INDAGINI SVOLTE

GTA S.p.A.
 INDAGINI GEONOSTICHE

Sede legale ed uffici:
 Via Aldo Moro, 5 - 27028 S.MARTINO SICCOMARIO (PV)
 Tel. 0382/1750334 Fax. 0382/1752557
 e-mail: gta@gast.it



Sede legale ed uffici:

Via Aldo Moro, 5 - 27028 S.MARTINO SICCOMARIO (PV)
Tel. 0382/1750334 Fax 0382/1752557
e-mail: gta@gtasrl.it

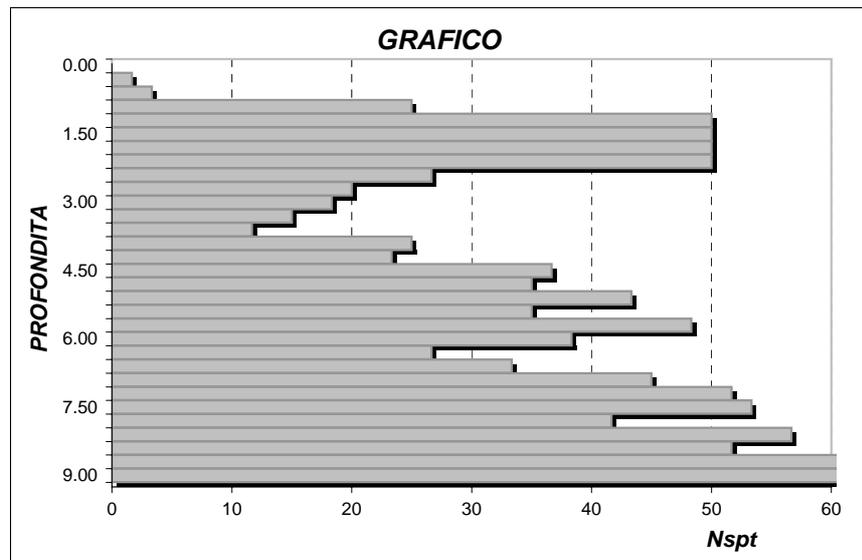
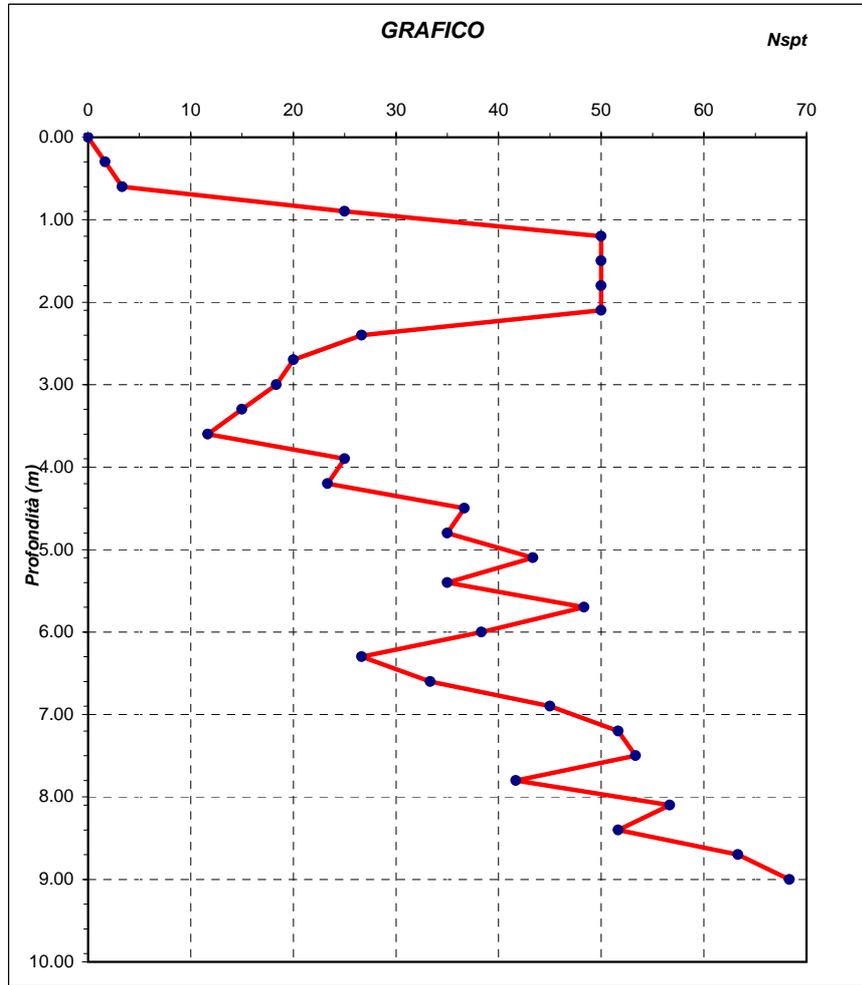
**PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE**

***INDAGINI GEOGNOSTICHE IN
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
LOCALITA' FABBIANO***

**ALLEGATO 1
PROVE
PENETROMETRICHE**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA		SCPT 1
LETTURE DI CAMPAGNA - VALORI DI RESISTENZA		
COMMITTENTE: Consorzio Bonfica di Piacenza	QUOTA INIZIO: piano campagna	
LOCALITA': Fabbiano - Borgonovo Val Tidone (PC)	PROFONDITA' FALDA:	
DATA:24/11/2017	NOTE:	

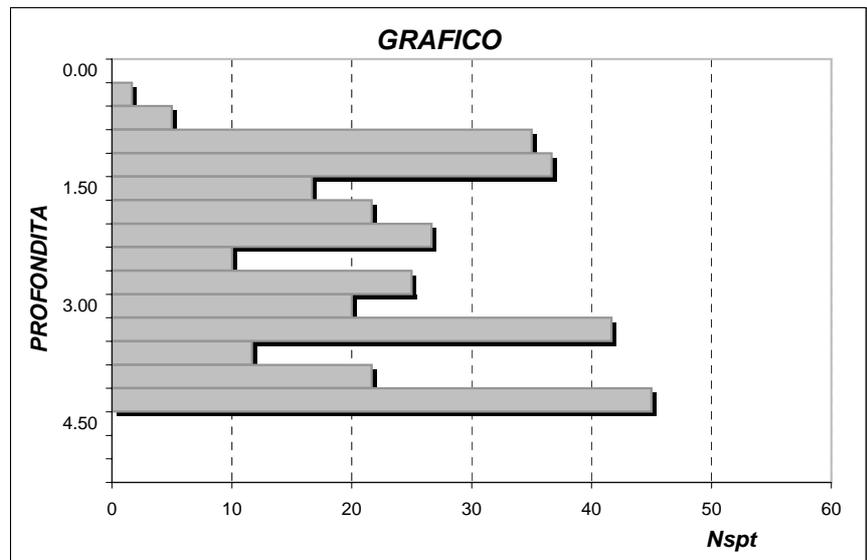
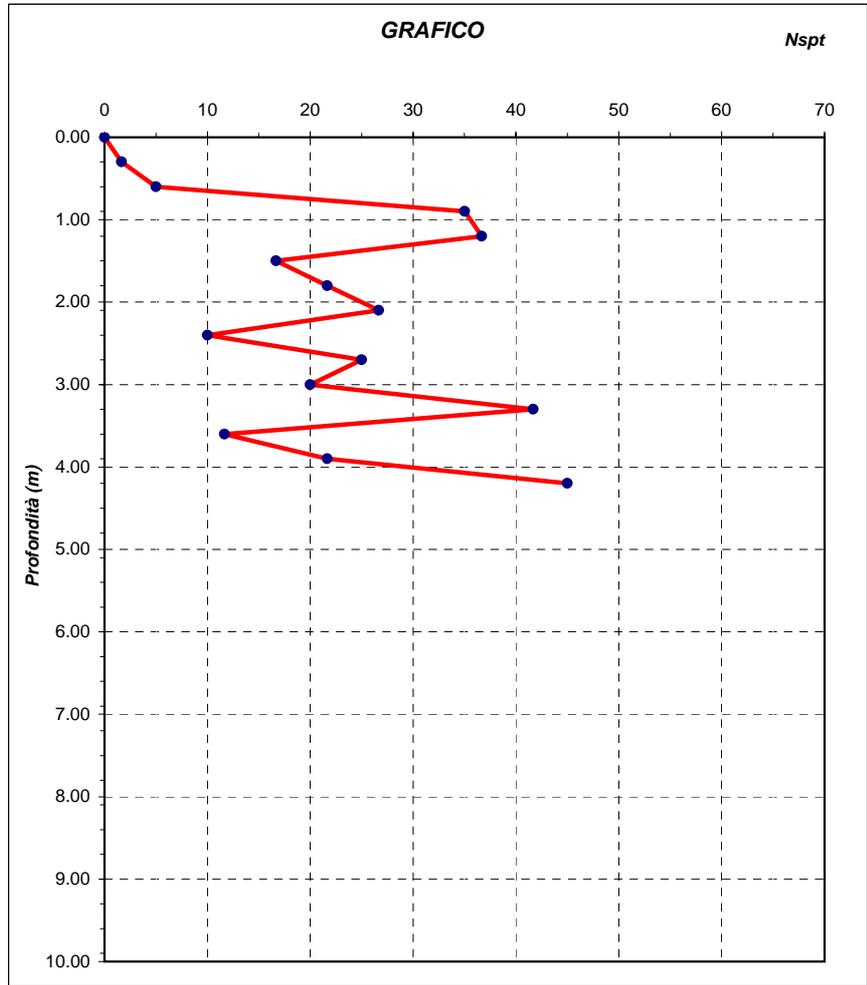
Prof	N°30	Nspt
<i>m</i>	<i>n° colpi</i>	<i>n° colpi</i>
0.00	0	0
0.30	1	2
0.60	2	3
0.90	15	25
1.20	30	50
1.50	30	50
1.80	30	50
2.10	30	50
2.40	16	27
2.70	12	20
3.00	11	18
3.30	9	15
3.60	7	12
3.90	15	25
4.20	14	23
4.50	22	37
4.80	21	35
5.10	26	43
5.40	21	35
5.70	29	48
6.00	23	38
6.30	16	27
6.60	20	33
6.90	27	45
7.20	31	52
7.50	32	53
7.80	25	42
8.10	34	57
8.40	31	52
8.70	38	63
9.00	41	68
9.30	Rifiuto	



- PENETROMETRO PAGANI STATICO/DINAMICO modello "Emilia TG 63-200" da 20 t
- Sistema di battitura: maglio kg 73, volata 75 cm.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA		SCPT 2
LETTURE DI CAMPAGNA - VALORI DI RESISTENZA		
COMMITTENTE: Consorzio Bonfica di Piacenza		QUOTA INIZIO: piano campagna
LOCALITA': Fabbiano - Borgonovo Val Tidone (PC)		PROFONDITA' FALDA:
DATA: 24/11/2017		NOTE:

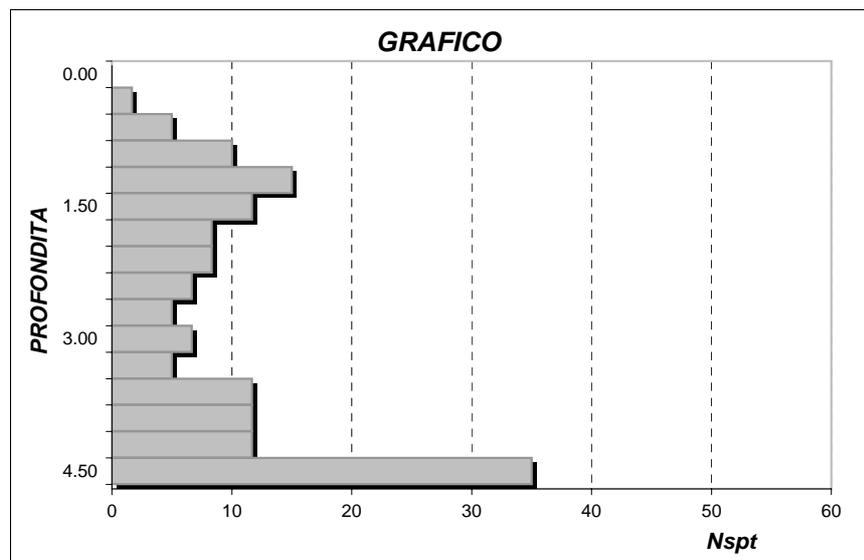
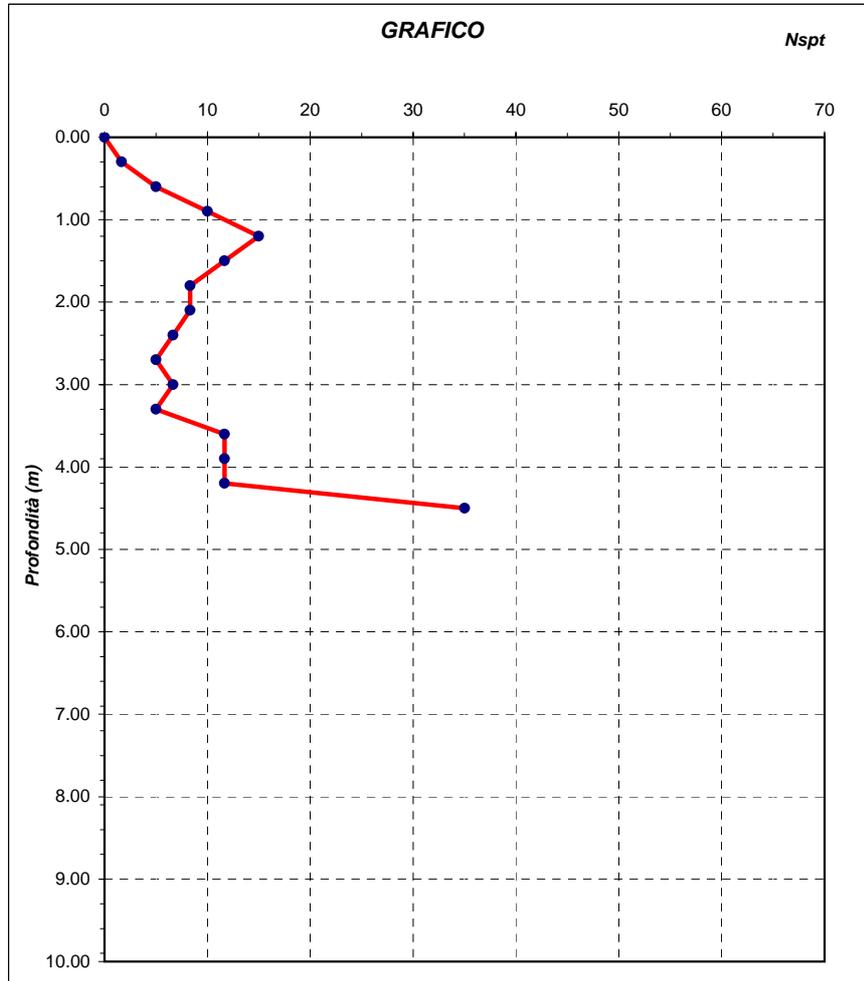
Prof	N°30	Nspt
m	n° colpi	n° colpi
0.00	0	0
0.30	1	2
0.60	3	5
0.90	21	35
1.20	22	37
1.50	10	17
1.80	13	22
2.10	16	27
2.40	6	10
2.70	15	25
3.00	12	20
3.30	25	42
3.60	7	12
3.90	13	22
4.20	27	45
4.50	Rifiuto	



- PENETROMETRO PAGANI STATICO/DINAMICO modello "Emilia TG 63-200" da 20 t
- Sistema di battitura: maglio kg 73, volata 75 cm.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA		SCPT 3
LETTURE DI CAMPAGNA - VALORI DI RESISTENZA		
COMMITTENTE: Consorzio Bonfica di Piacenza		QUOTA INIZIO: piano campagna
LOCALITA': Fabbiano - Borgonovo Val Tidone (PC)		PROFONDITA' FALDA:
DATA:24/11/2017		NOTE:

Prof	N°30	Nspt
<i>m</i>	<i>n° colpi</i>	<i>n° colpi</i>
0.00	0	0
0.30	1	2
0.60	3	5
0.90	6	10
1.20	9	15
1.50	7	12
1.80	5	8
2.10	5	8
2.40	4	7
2.70	3	5
3.00	4	7
3.30	3	5
3.60	7	12
3.90	7	12
4.20	7	12
4.50	21	35
4.80	Rifiuto	



- PENETROMETRO PAGANI STATICO/DINAMICO modello "Emilia TG 63-200" da 20 t
- Sistema di battitura: maglio kg 73, volata 75 cm.



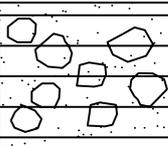
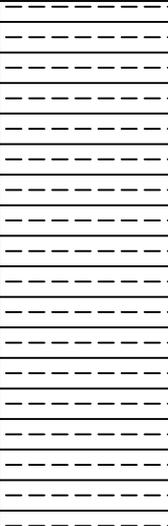
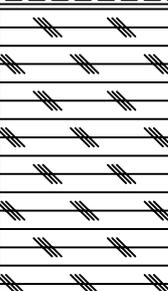
Sede legale ed uffici:

Via Aldo Moro, 5 - 27028 S.MARTINO SICCOMARIO (PV)
Tel. 0382/1750334 Fax 0382/1752557
e-mail: gta@gtasrl.it

**PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE**

***INDAGINI GEOGNOSTICHE IN
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
LOCALITA' FABBIANO***

**ALLEGATO 2
STRATIGRAFIE
SONDAGGI**

Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno	SPT	Piezometro Ø 3"	Pocket penetrometer (kg)	Vane test (kg/cm ²)
0.00							
			Terreno coltivo			0.4 m >11	0.4 m 1
0.70			Limi argillosi marrone scuro con concrezioni calcaree			0.9 m >11 1.4 m >11 1.8 m >11	1.9 m 1.6
2.00			Limi e sabbie con ghiaie arrotondate	3 m 13 12 13			
3.50			Argilla e limi compatti con colorazione variabile da grigio ad azzurro				
9.00			Marne argillose molto compatte	9 m 55 Rif			
12.00			Fine sondaggio				

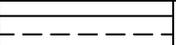
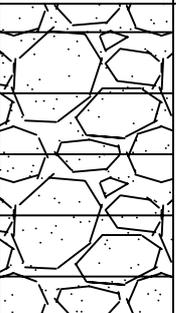
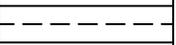
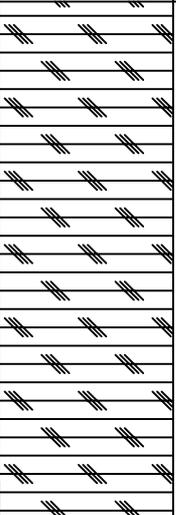
Attrezzatura utilizzata : Beretta T45

Metodo di perforazione : carotaggio continuo con carotiere semplice

Diametro perforazione: 101 - 127 mm

Sondatore : Rade Iliev - Ilcho Mitevski

NOTE:

Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno	SPT	Piezometro Ø 3"	Pocket penetrometer (kg)	Vane test (kg/cm ²)
0.00			Terreno coltivato				
0.70			Limi argillosi marroni				
1.20			Ghiaia, rari ciottoli e sabbia limosa	1.5 m 17 31 35			
4.50			Sabbie limose con ghiaie anche alterate di colore grigio e marrone ocra				
6.00			Ghiaia e sabbia limosa di colore azzurro				
6.20			Argilla limosa				
7.00			Argilla marnosa di colore grigio-azzurro				
12.40			Fine sondaggio				

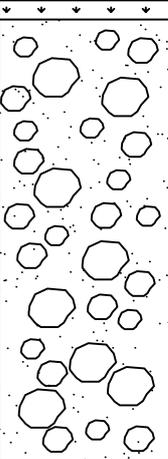
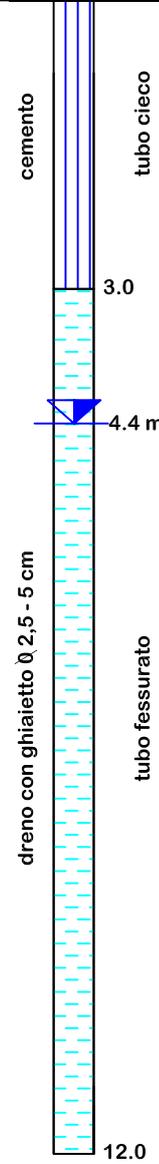
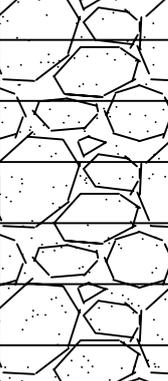
Attrezzatura utilizzata : Beretta T45

Metodo di perforazione : carotaggio continuo con carotiere semplice

Diametro perforazione: 101 - 127 mm

Sondatore : Rade Iliev - Ilcho Mitevski

NOTE:

Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno	SPT	Piezometro Ø 3"	Pocket penetrometer (kg)	Vane test (kg/cm ²)
0.00			Terreno coltivo				
0.20			Ciottoli arrotondati di matrice calcarea di varie dimensioni	2.5 m 15 14 12			
4.80			Ghiaia e sabbia marrone			5.60 m	5.60 m
6.00			Ghiaia, ciottoli e sabbia limosa di colore grigio azzurro. Terreni consistenti			>11	1.8
						6.25 m	6.30 m
						>11	1.8
						6.85 m	6.90 m
						>11	2.0
						7.25 m	7.25 m
						10	1.8
						7.50 m	7.50 m
						>11	1.9
						8.00 m	7.90 m
						>11	1.6
						8.40 m	8.40 m
						>11	1.4
						8.80 m	8.80 m
						>11	1.6
						9.20 m	9.20 m
						>11	1.5
						9.70 m	9.80 m
						>11	1.0
						10.10 m	10.40 m
						10	1.0
						10.50 m	10.70 m
						6.5	1.2
						11.50 m	11.30 m
						6	1.2
12.00			Fine sondaggio				

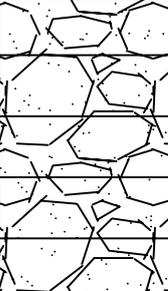
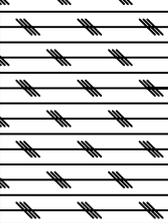
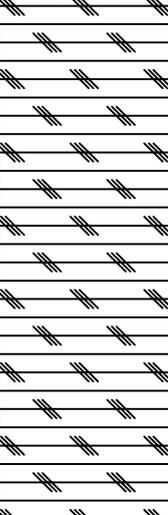
Attrezzatura utilizzata : Beretta T45

Metodo di perforazione : carotaggio continuo con carotiere semplice

Diametro perforazione: 101 - 127 mm

Sondatore : Rade Iliev - Ilcho Mitevski

NOTE:

Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno	SPT	Piezometro Ø 3"	Pocket penetrometer (kg)	Vane test (kg/cm ²)
0.00			Terreno coltivo			0.25 m 9.5	0.25 m 1.5
0.90			Ghiaia e rari ciottoli con sabbia e limo	2 m 26 2.5 m 22 12 13 13			
4.00			Argilla di colore grigio azzurro marnosa e marne argillose di colore grigio-azzurro	6 m 4 11 15		5.40 m >11	5.40 m 1.2
6.50			Argilla marnosa e marne di colore grigio			5.90 m >11	5.90 m 1.5
12.00			Fine sondaggio				

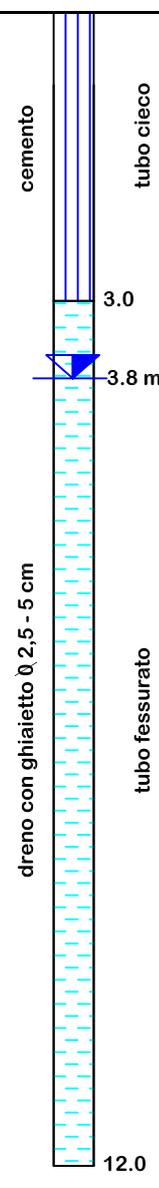
Attrezzatura utilizzata : Beretta T45

Metodo di perforazione : carotaggio continuo con carotiere semplice

Diametro perforazione: 101 - 127 mm

Sondatore : Rade Iliev - Ilcho Mitevski

NOTE:

Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno	SPT	Piezometro Ø 3"	Pocket penetrometer (kg)	Vane test (kg/cm²)
0.00			Terreno coltivo				
0.30			Argille e limi marroni compatti	1.5 m 20 32 33			
3.00				3 m 28 32 19		3.0 3.8 m	
5.30			Ghiaia e sabbia limose	4.5 m 17 19 20			
12.00				Argilla marnosa e marne argillose di colore grigio-azzurro			
			Fine sondaggio				

Attrezzatura utilizzata : Beretta T45

Metodo di perforazione : carotaggio continuo con carotiere semplice

Diametro perforazione: 101 - 127 mm

Sondatore : Rade Iliev - Ilcho Mitevski

NOTE:



Sede legale ed uffici:

Via Aldo Moro, 5 - 27028 S.MARTINO SICCOMARIO (PV)
Tel. 0382/1750334 Fax 0382/1752557
e-mail: gta@gtasrl.it

**PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE**

***INDAGINI GEOGNOSTICHE IN
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
LOCALITA' FABBIANO***

**ALLEGATO 3
DOCUMENTAZIONE
FOTOGRAFICA SONDAGGI**

SONDAGGIO S1

0 m



5 m

5 m



10 m

10 m



12 m

SONDAGGIO S2

0 m



5 m

5 m



10 m

10 m



12.4 m

SONDAGGIO S3

0 m



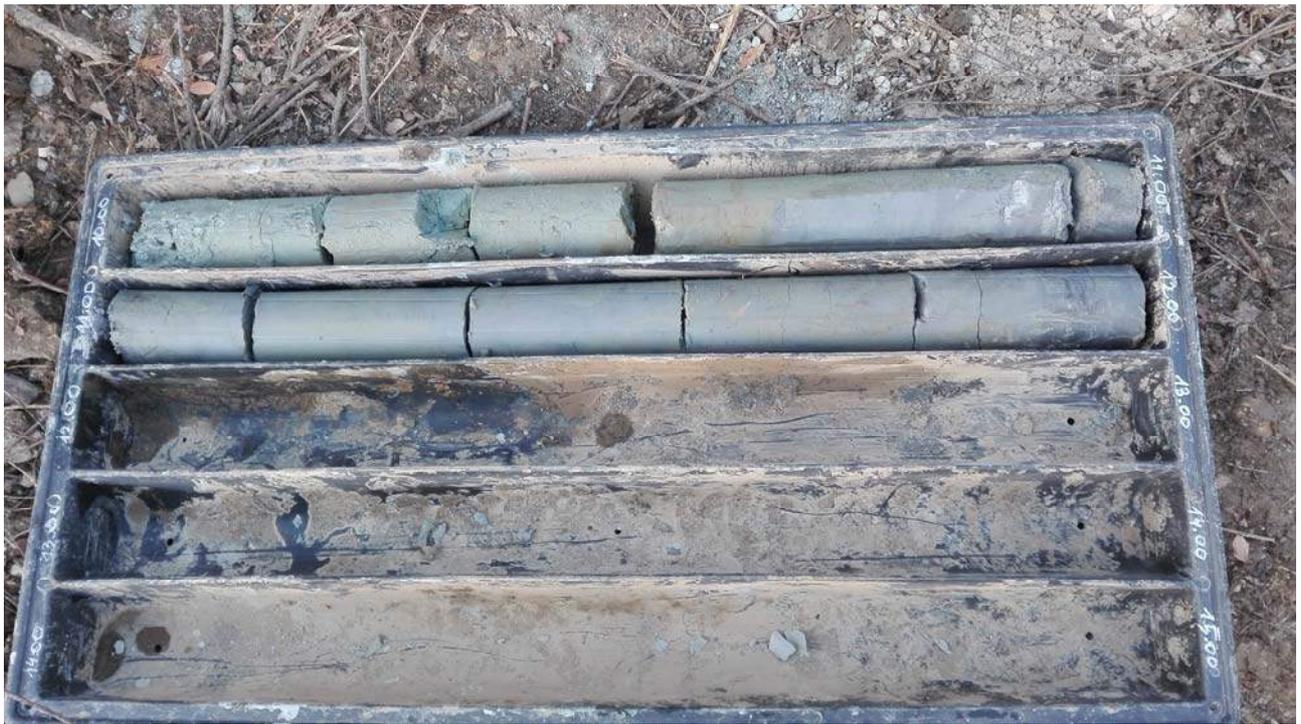
5 m

5 m



10 m

10 m



12 m

SONDAGGIO S4

0 m



5 m

5 m



10 m

10 m



12 m

SONDAGGIO S5

0 m



5 m

5 m



10 m

10 m



12 m



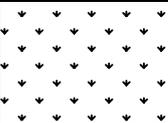
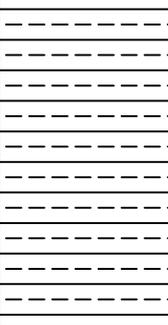
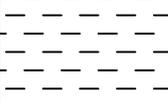
Sede legale ed uffici:

Via Aldo Moro, 5 - 27028 S.MARTINO SICCOMARIO (PV)
Tel. 0382/1750334 Fax 0382/1752557
e-mail: gta@gtasrl.it

**PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE IN
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
LOCALITA' FABBIANO**

**ALLEGATO 4
STRATIGRAFIA
TRINCEE**

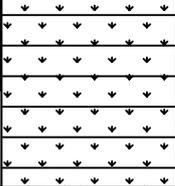
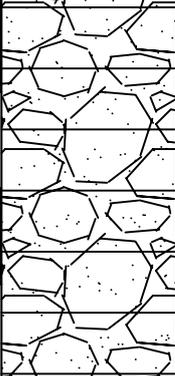
Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno
0.00			
			Terreno coltivato
0.65			Limi argillosi
2.45			Argilla azzurra

3.00 Fine trincea



Attrezzatura utilizzata : Mini escavatore a braccio rovescio
Operatore : Trajanov Dragi

NOTE:

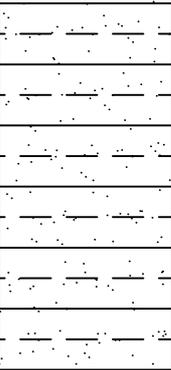
Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno
0.00			
			Terreno coltivo limoso
1.00			Ghiaia, ciottoli con sabbia fine e limo

3.00 Fine trincea



Attrezzatura utilizzata : Mini escavatore a braccio rovescio
Operatore : Trajanov Dragi

NOTE:

Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno
0.00			
			Terreno coltivato
1.00			Limo debolmente argilloso, marrone

3.00 Fine trincea



Attrezzatura utilizzata : Mini escavatore a braccio rovescio
Operatore : Trajanov Dragi

NOTE:



Sede legale ed uffici:

Via Aldo Moro, 5 - 27028 S.MARTINO SICCOMARIO (PV)
Tel. 0382/1750334 Fax 0382/1752557
e-mail: gta@gtasrl.it

**PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE IN
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
LOCALITA' FABBIANO**

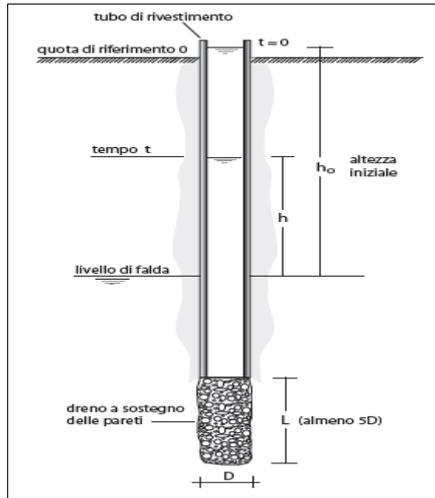
**ALLEGATO 5
DATI PROVE LEFRANC A
CARICO VARIABILE**

COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica di Piacenza -
Località Fabbiano (Borgonovo Val Tidone)

SONDAGGIO: S1 - FABBIANO

CARATTERISTICHE TECNICHE DI PERFORAZIONE

Diametro rivestimenti (mm)	127
Profondità foro da p.c. (m)	4.00
Profondità rivestimento da p.c. (m)	3
Sporgenza testa tubo rivest. da p.c. (cm)	10
Falda a m dal p. c (cm)	300
Lunghezza del tratto di foro in prova (cm)	100



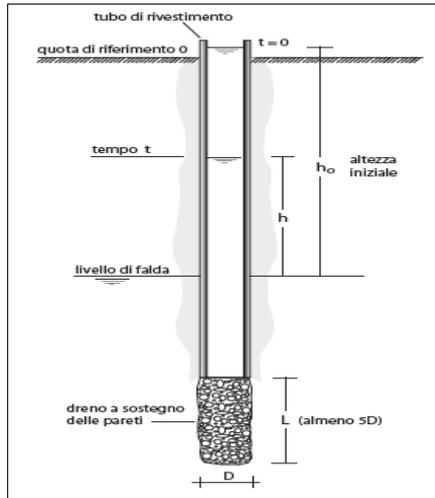
t (s)	abb. (cm)
30	34
60	52
120	75
180	110
240	155
360	180
480	195
600	200
720	212
900	220
1200	230
1500	236
2100	240
2400	251
2700	256

COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica di Piacenza -
Località Fabbiano (Borgonovo Val Tidone)

SONDAGGIO: S2 - FABBIANO

CARATTERISTICHE TECNICHE DI PERFORAZIONE

Diametro rivestimenti (mm)	127
Profondità foro da p.c. (m)	3.50
Profondità rivestimento da p.c. (m)	2.5
Sporgenza testa tubo rivest. da p.c. (cm)	10
Falda a m dal p. c (cm)	290
Lunghezza del tratto di foro in prova (cm)	100



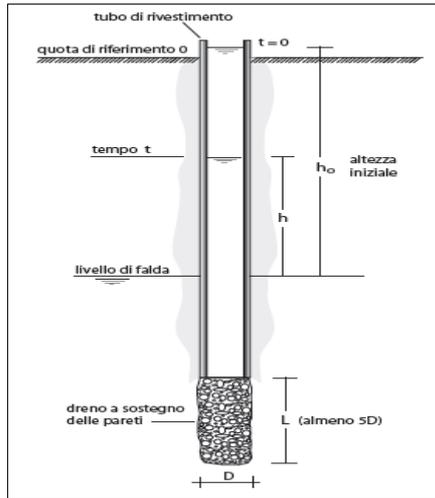
t (s)	abb. (cm)
30	290
60	292
120	297
180	305
240	307
360	310
480	313
600	315
720	316
900	318
1200	320
1500	320
2100	321
2400	322
2700	322

COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica di Piacenza -
Località Fabbiano (Borgonovo Val Tidone)

SONDAGGIO: S3 - FABBIANO

CARATTERISTICHE TECNICHE DI PERFORAZIONE

Diametro rivestimenti (mm)	127
Profondità foro da p.c. (m)	7.50
Profondità rivestimento da p.c. (m)	6.5
Sporgenza testa tubo rivest. da p.c. (cm)	10
Falda a m dal p. c (cm)	730
Lunghezza del tratto di foro in prova (cm)	100



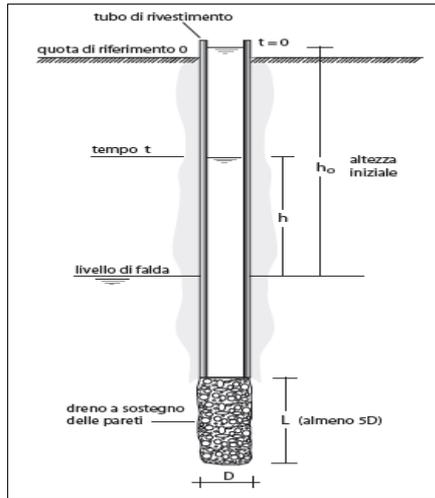
t (s)	abb. (cm)
30	35
60	50
120	65
180	86
240	110
360	140
480	160
600	190
720	210
900	250
1200	290
1500	330
2100	370
2400	390
2700	495

COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica di Piacenza -
Località Fabbiano (Borgonovo Val Tidone)

SONDAGGIO: S4 - FABBIANO

CARATTERISTICHE TECNICHE DI PERFORAZIONE

Diametro rivestimenti (mm)	127
Profondità foro da p.c. (m)	4.00
Profondità rivestimento da p.c. (m)	3
Sporgenza testa tubo rivest. da p.c. (cm)	10
Falda a m dal p. c (cm)	360
Lunghezza del tratto di foro in prova (cm)	100



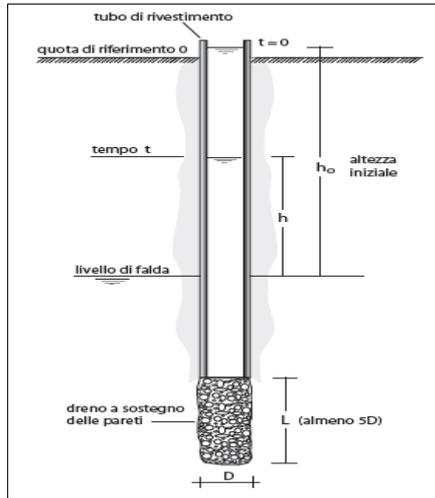
t (s)	abb. (cm)
30	20
60	40
120	50
180	55
240	57
360	60
480	62
600	70
720	71
900	73
1200	74
1500	75
2100	75
2400	75
2700	75

COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica di Piacenza -
Località Fabbiano (Borgonovo Val Tidone)

SONDAGGIO: S5 - FABBIANO

CARATTERISTICHE TECNICHE DI PERFORAZIONE

Diametro rivestimenti (mm)	127
Profondità foro da p.c. (m)	4.00
Profondità rivestimento da p.c. (m)	3
Sporgenza testa tubo rivest. da p.c. (cm)	10
Falda a m dal p. c (cm)	300
Lunghezza del tratto di foro in prova (cm)	100



t (s)	abb. (cm)
30	0.2
60	0.6
120	10
180	16.5
240	20
360	28
480	36
600	43
720	49
900	58
1200	73
1500	85
2100	105
2400	118
2700	129



Sede legale ed uffici:

Via Aldo Moro, 5 - 27028 S.MARTINO SICCOMARIO (PV)
Tel. 0382/1750334 Fax 0382/1752557
e-mail: gta@gtasrl.it

**PROVINCIA DI PIACENZA
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE**

***INDAGINI GEOGNOSTICHE IN
COMUNE DI BORGONOVO VAL TIDONE
LOCALITA' FABBIANO***

**ALLEGATO 6
REPORT
INDAGINI SISMICHE**

1. PREMESSA.....	2
2. UBICAZIONE DELL' INDAGINE.....	2
3. PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).....	4
3.1 Descrizione metodologica d'indagine.....	4
3.2 Strumentazione utilizzata	6
4. INTERPRETAZIONE ED ELABORAZIONE DATI – L1.....	6
5. RISULTATI	13
6. INTERPRETAZIONE ED ELABORAZIONE DATI – L2.....	14
7. RISULTATI	20
8. INDAGINE HVSR	21
8.1 Rapporti spettrali H/V	22

1. PREMESSA

Le due prove geofisiche oggetto del presente rapporto, sono state eseguite per conto del Consorzio di Bonifica di Piacenza ed hanno riguardato la valutazione della velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali nei terreni interessati dal progetto di realizzazione di un nuovo bacino di raccolta delle acque ad uso irriguo in Comune di Borgonovo Val Tidone, presso la Località Fabbiano (PC).

Quanto sopra, al fine di definire il parametro V_{S30} secondo quanto previsto O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008.

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico, richiede la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio V_s degli strati di terreno presenti nel sito, fino alla profondità di almeno 30 m dal piano campagna, secondo quanto richiesto dalle sopra citate normative.

Secondo quanto previsto dal programma d'indagine, sono stati realizzati n° 2 indagini sismiche con metodologia M.A.S.W.

Questo documento costituisce il rapporto tecnico redatto a chiusura della commessa e riporta la descrizione delle attività svolte in cantiere, le specifiche tecniche delle attrezzature impiegate, i dati di campagna ed i risultati delle prove eseguite in sito.

2. UBICAZIONE DELL' INDAGINE

L'indagine è stata eseguita su un terreno posto a circa 700 m a Nord-Est di Fabbiano; l'ubicazione dell'area è riportata nella figura seguente.

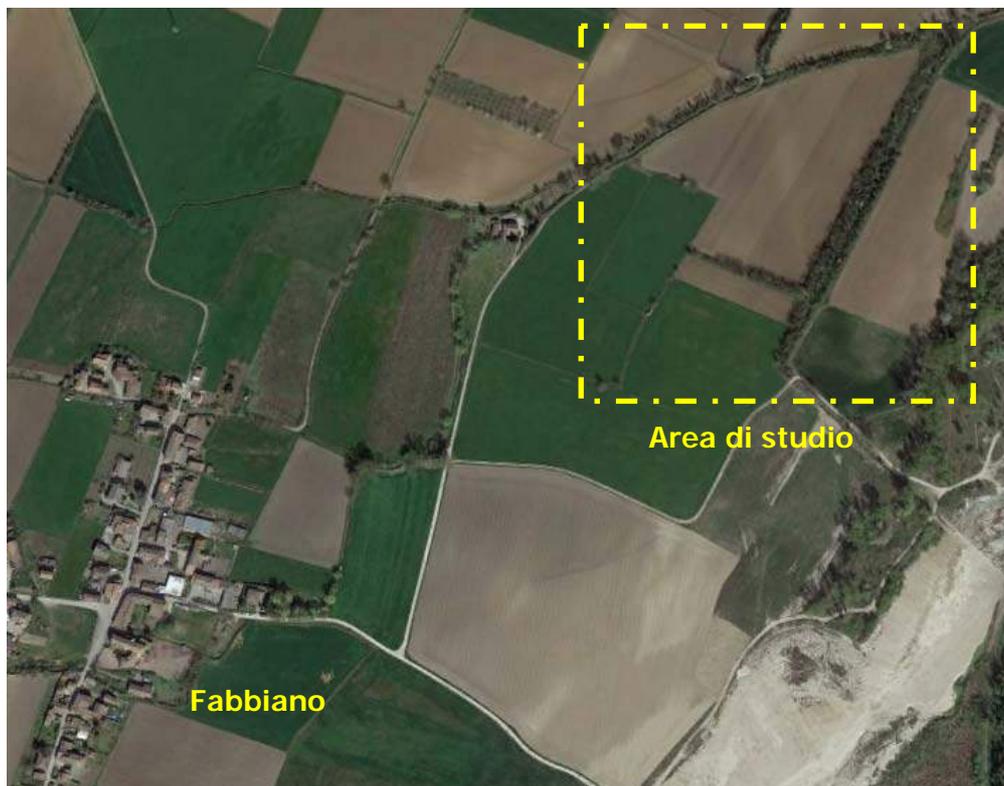


Fig. 1 – Ubicazione dell'area di studio

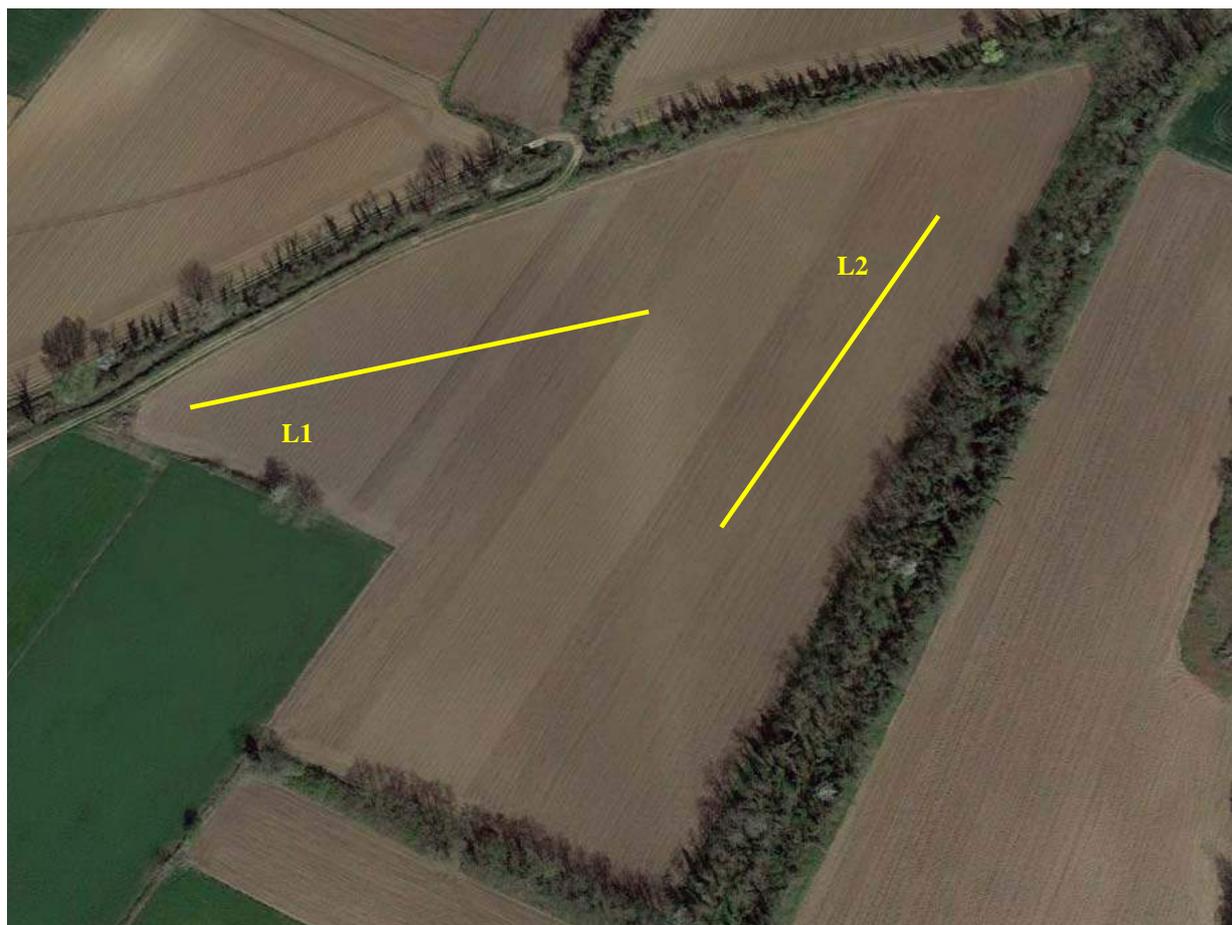


Fig. 2 – Particolare delle due stese sismiche realizzate



Fig. 3 – Stendimento sismico L1



Fig. 4 – Stendimento sismico L2

3. PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

3.1 Descrizione metodologica d'indagine

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi, ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P** - Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S** - Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L** - Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R** - Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

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 identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali e 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

A partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, è possibile simulare la curva di dispersione teorica che lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times f$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta *inversione* e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

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.

3.2 *Strumentazione utilizzata*

Per l'esecuzione dell'indagine, si è utilizzato un sismografo a 24 canali, modello ECHO 24/2002 della Ambrogeo di Rivergaro (PC), con le seguenti principali impostazioni utilizzate:

Campionamento: 0.131 msec

Convertitore A/D 16 bit

Guadagno singoli canali: 100 dB

Distorsione: 0.01%

Risposta in frequenza: 7 – 950 Hz

Lo strumento è collegato ad un PC notebook via cavo, sul quale è installato il programma di acquisizione Ambrogeo 7.0.

I ricevitori sono geofoni con frequenza propria 4.5 Hz. Le energizzazioni sono fornite da una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico.

Operativamente si sono realizzate due linee sismiche della lunghezza di 115 m, utilizzando 24 geofoni con interdistanza 5 m ed energizzazioni a 5 e 10 m di distanza dal primo ed ultimo geofono dello stendimento.

4. INTERPRETAZIONE ED ELABORAZIONE DATI – L1

Per l'elaborazione è stato utilizzato il software Easy Masw della Geostru Software e si è sviluppata in due fasi:

1. determinazione della curva di dispersione e la valutazione dello spettro di velocità;
2. inversione della curva di dispersione interpretata, mediante picking di un modo dell'onda di Rayleigh e successiva applicazione di algoritmi genetici.

La sovrapposizione delle curve teoriche e sperimentali fornisce un parametro abbastanza indicativo sull'attendibilità del modello geofisico risultante.

STENDIMENTO L1

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	1002.3
Interdistanza geofoni [m]	5.0
Periodo di campionamento [msec]	0.131

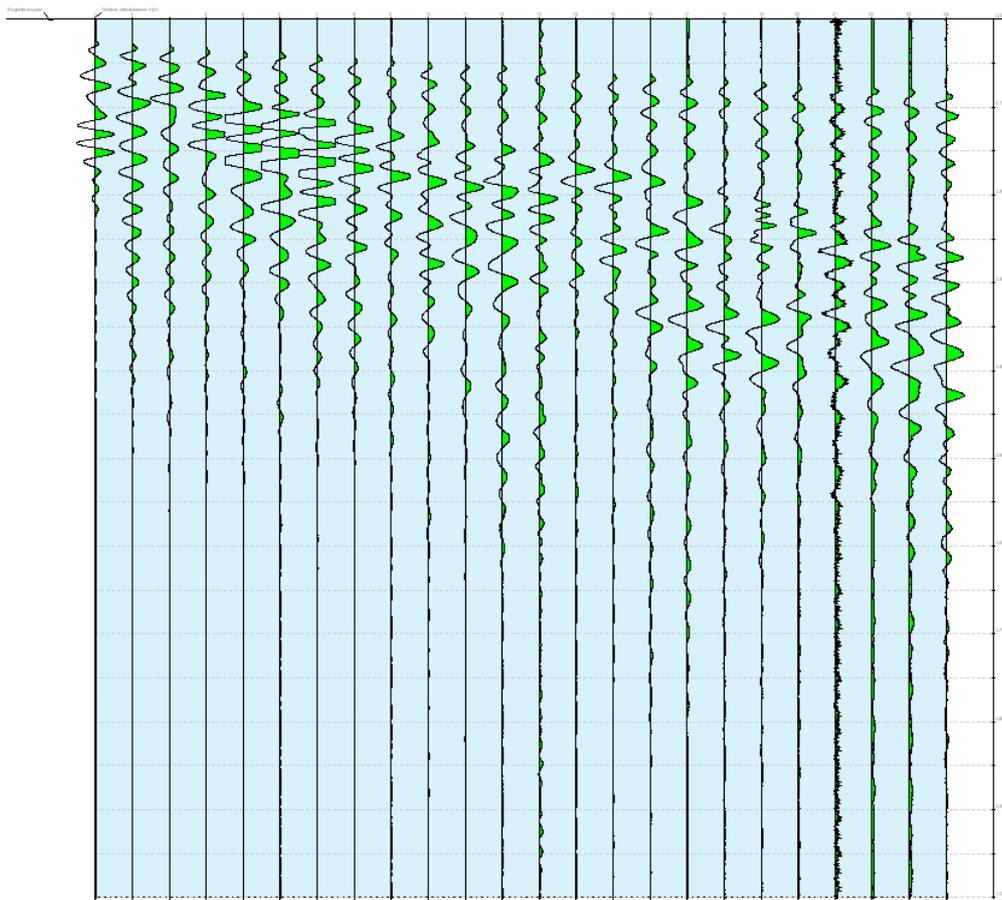


Fig. 5 - Sismogramma stendimento MASW L1

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

Spettro Velocità di fase - Frequenze

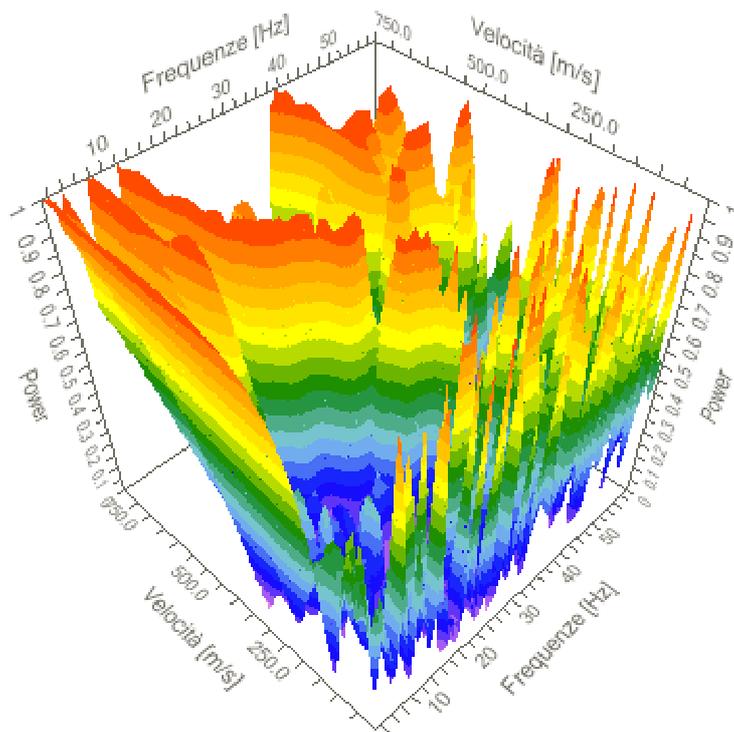


Fig. 6- Analisi spettrale

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.9	782.3	0
2	6.4	691.3	0
3	9.0	653.0	0
4	11.5	595.5	0
5	14.8	557.1	0
6	16.9	518.8	0
7	19.7	480.4	0
8	22.3	432.5	0
9	26.0	374.9	0
10	28.5	322.6	0
11	30.9	282.2	0
12	33.7	240.7	0
13	36.1	208.7	0
14	39.1	186.4	0
15	42.9	164.0	0
16	45.4	157.6	0
17	49.2	144.8	0
18	52.2	125.6	0
19	56.7	125.6	0

Tabella 1 - Parametri della curva di dispersione

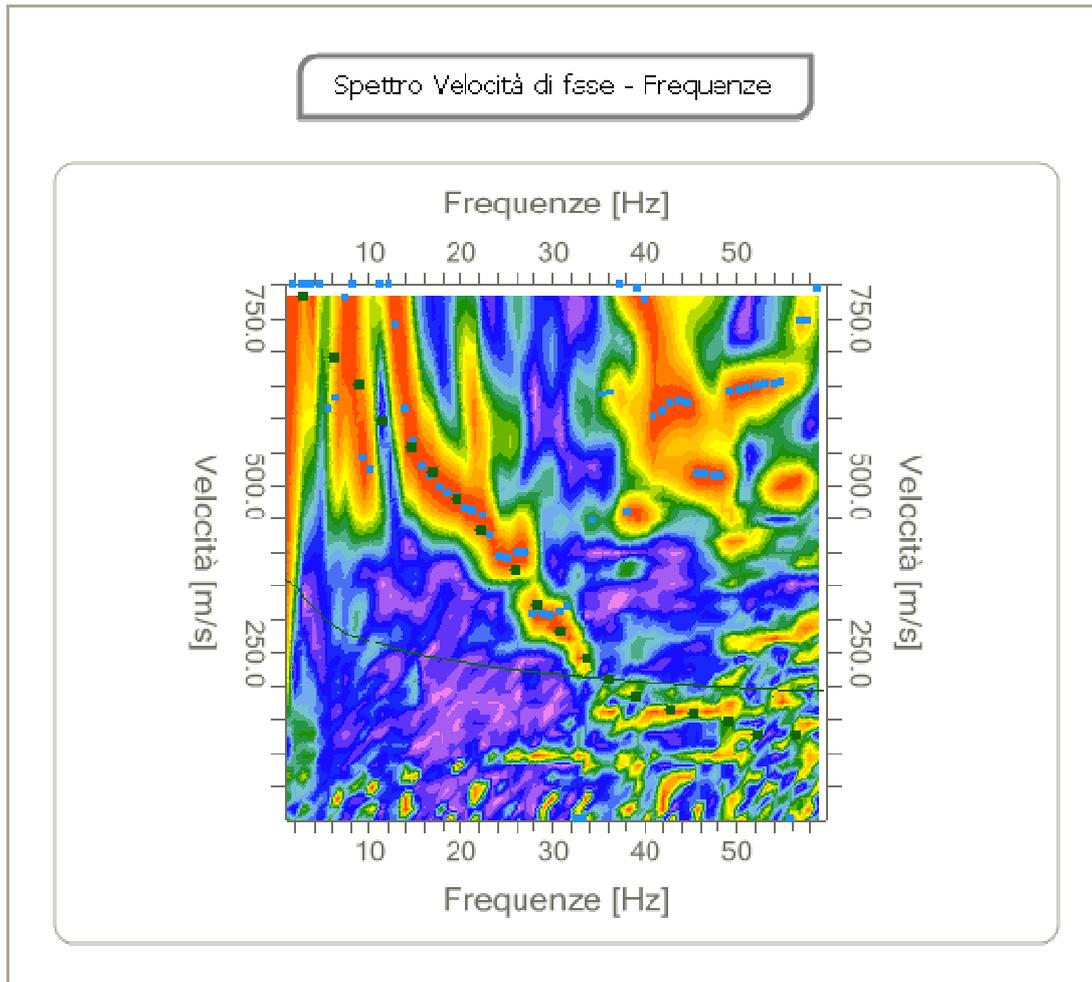


Fig. 7 -Curva di dispersione stendimento masw L1

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.33	1.33	1800.0	0.3	242.2	129.4
2	3.71	2.38	1800.0	0.3	554.8	296.6
3	10.24	6.53	1900.0	0.3	1367.9	731.2
4	38.49	28.25	2000.0	0.3	1359.4	726.6
5	oo	oo	2100.0	0.3	1585.4	847.4

Percentuale di errore

0.162 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.047

Tabella 2 - Valori dell'inversione

Inversione

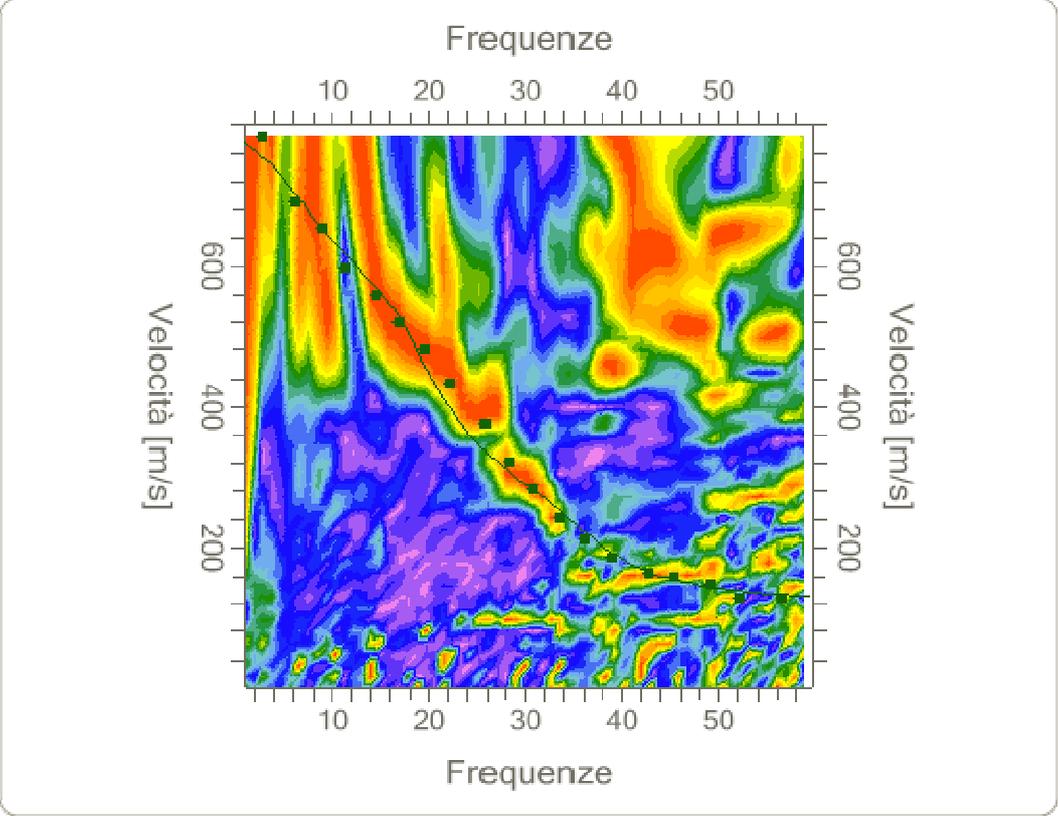


Fig. 8-Inversione

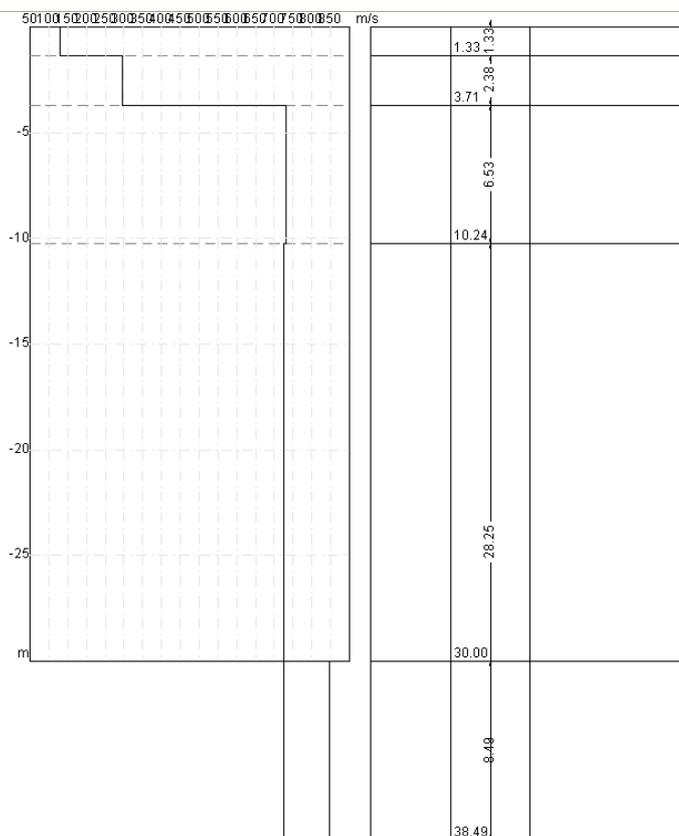
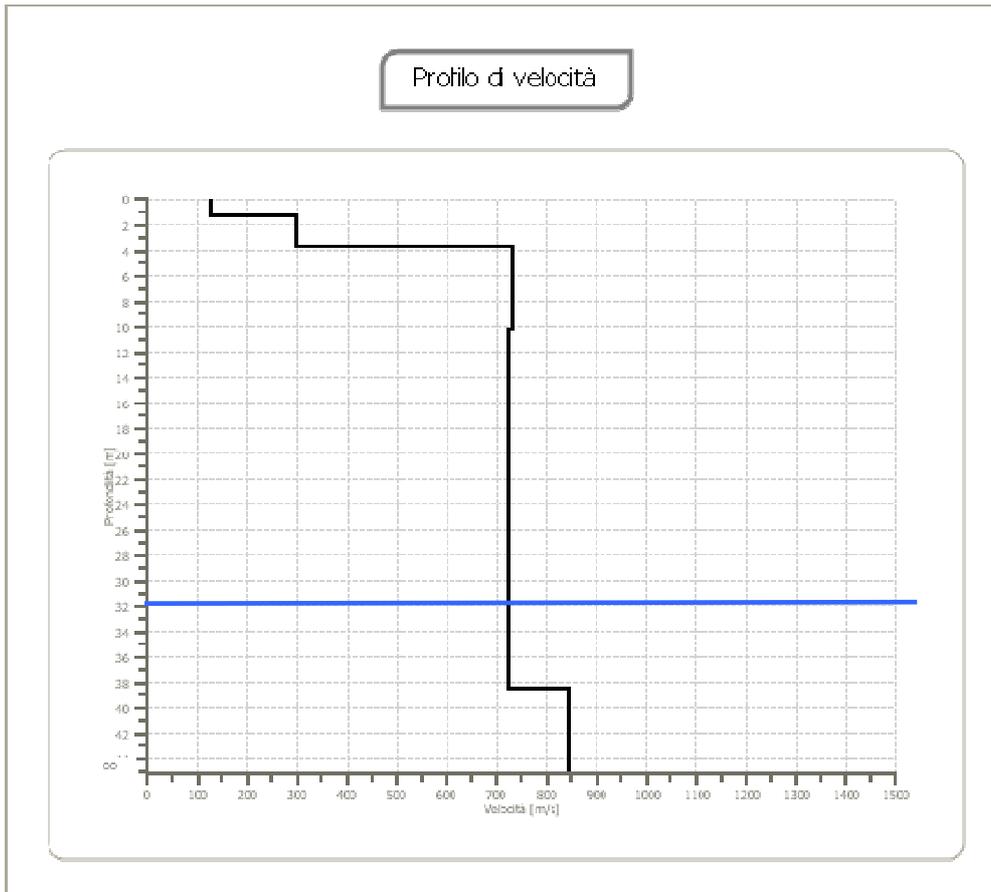


Fig. 9-10- Modello risultante dall'inversione dei dati - Sismostratigrafia

5. RISULTATI

A partire dal modello sismico mono-dimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 ("*Norme tecniche per le costruzioni*"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove Hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Vs30 [m/sec]	552,12
Categoria del suolo	B Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri

I valori delle Vs sono stati ricavati dall'indagine sismica di tipo MASW, consentendo, tramite formule empiriche, di eseguire una prima stima dei principali parametri elastici dei terreni investigati, con:

G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.33	1.33	129.44	242.17	1700.00	0.30	28.48	99.70	61.72	74.06
2	3.71	2.38	296.55	554.80	1900.00	0.30	167.09	584.82	362.03	434.43
3	10.24	6.53	731.17	1367.89	2000.00	0.30	1069.21	3742.24	2316.62	2779.95
4	38.49	28.25	726.64	1359.41	1900.00	0.30	1003.20	3511.21	2173.61	2608.33
5	oo	oo	847.42	1585.37	2000.00	0.30	1436.23	5026.82	3111.84	3734.21

Tabella 3 - Schema riassuntivo parametri

6. INTERPRETAZIONE ED ELABORAZIONE DATI – L2

STENDIMENTO L2

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	1002.3
Interdistanza geofoni [m]	5.0
Periodo di campionamento [msec]	0.131

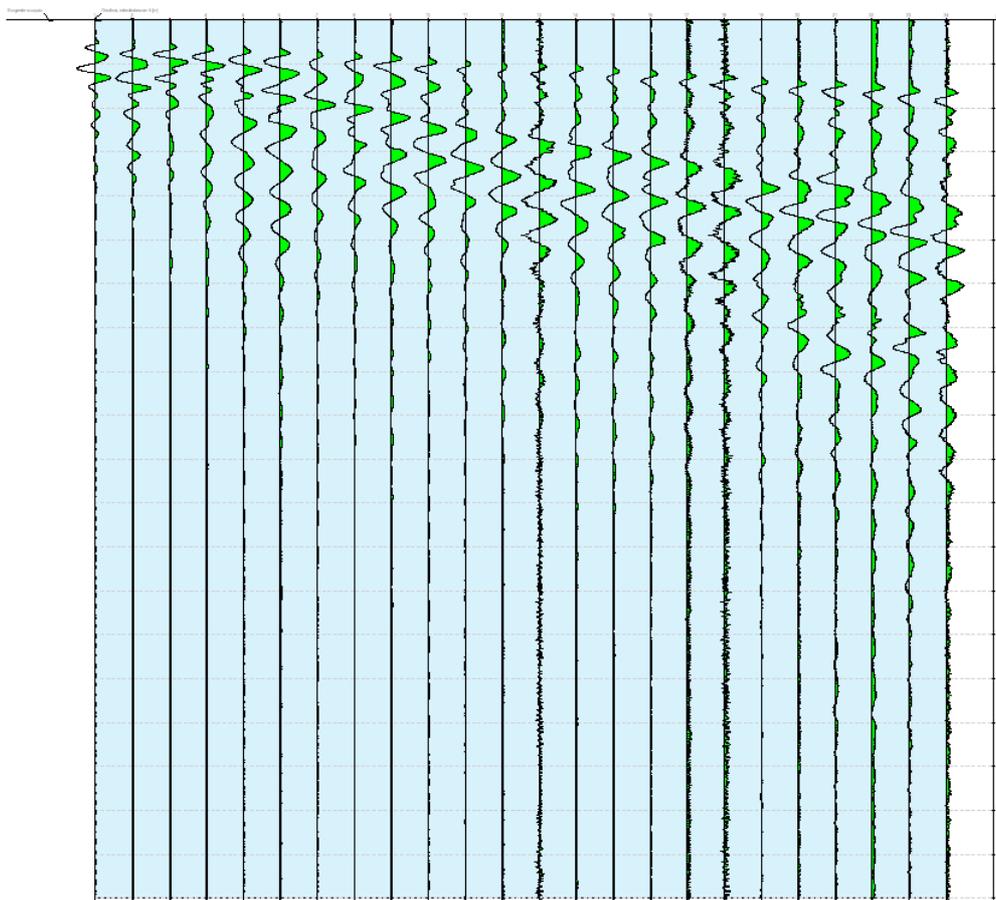


Fig. 11 - Sismogramma stendimento MASW L2

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

Spettro Velocità di fase - Frequenze

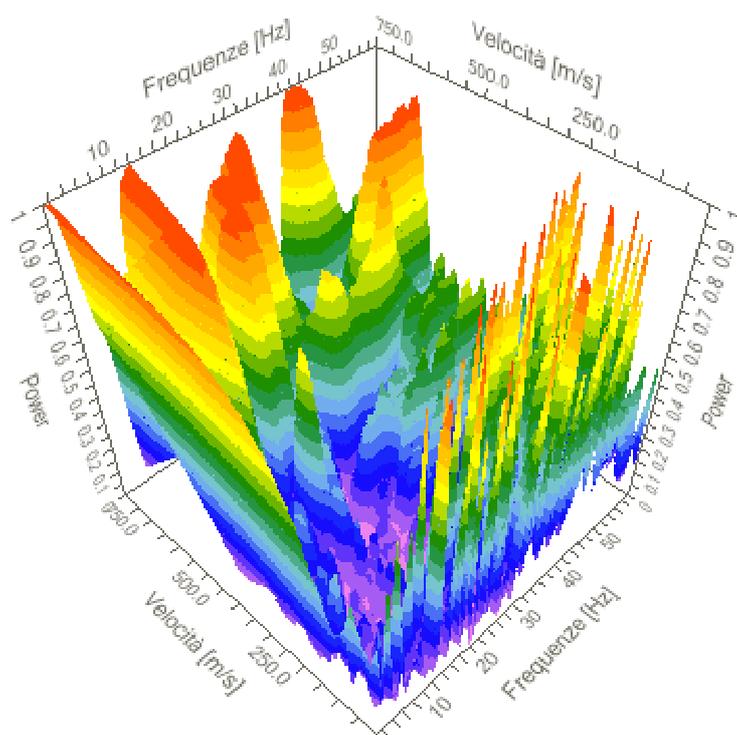


Fig. 12- Analisi spettrale

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.9	781.8	0
2	5.0	739.3	0
3	8.7	710.5	0
4	11.1	684.9	0
5	13.6	662.6	0
6	17.4	621.0	0
7	19.7	598.7	0
8	22.8	576.3	0
9	25.3	541.1	0
10	28.4	525.1	0
11	31.6	506.0	0
12	34.7	502.8	0
13	37.0	505.8	0
14	39.6	502.8	0
15	42.6	506.0	0
16	46.4	506.0	0
17	48.2	506.0	0
18	50.8	509.2	0
19	53.6	509.2	0

Tabella 4 - Parametri della curva di dispersione

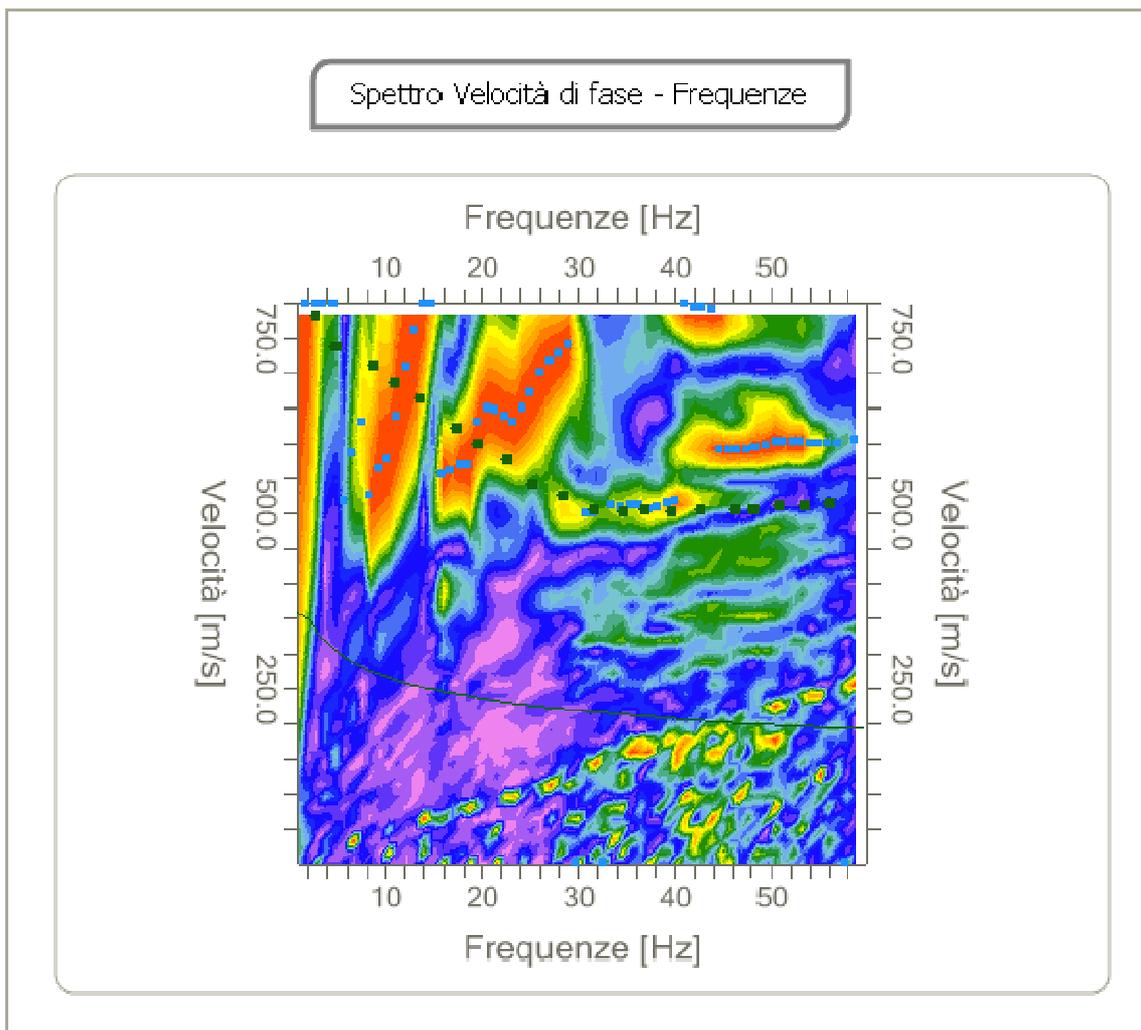


Fig. 13 -Curva di dispersione stendimento masw L2

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.00	4.00	1800.0	0.3	841.9	450.0
2	11.63	7.63	1800.0	0.3	1147.5	613.4
3	28.59	16.96	1900.0	0.3	1368.7	731.6
4	44.54	15.95	2000.0	0.3	1715.5	917.0
5	oo	oo	2100.0	0.3	1642.4	877.9

Percentuale di errore

0.187 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.048

Tabella 5 - Valori dell'inversione

Inversione

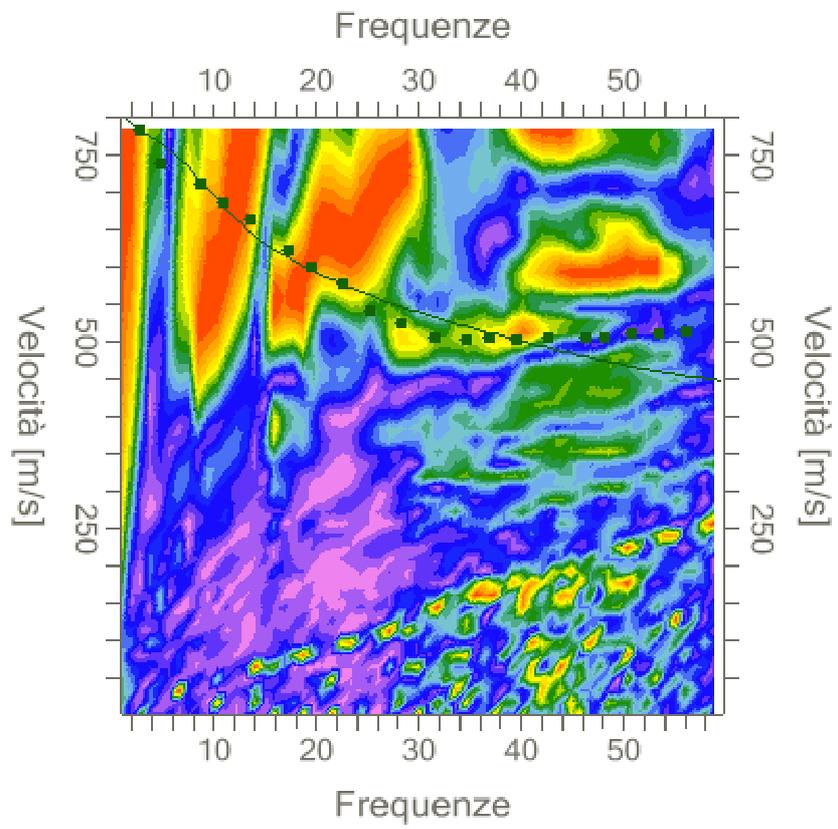


Fig. 14-Inversione

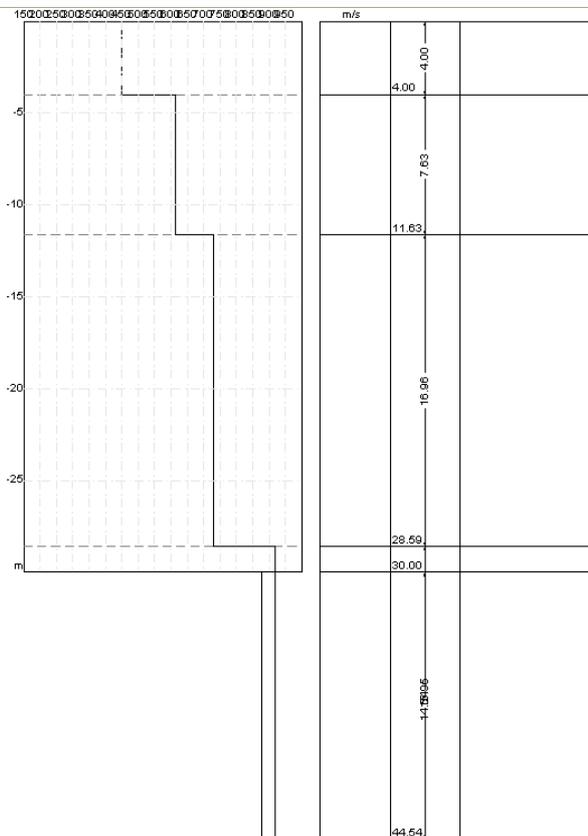
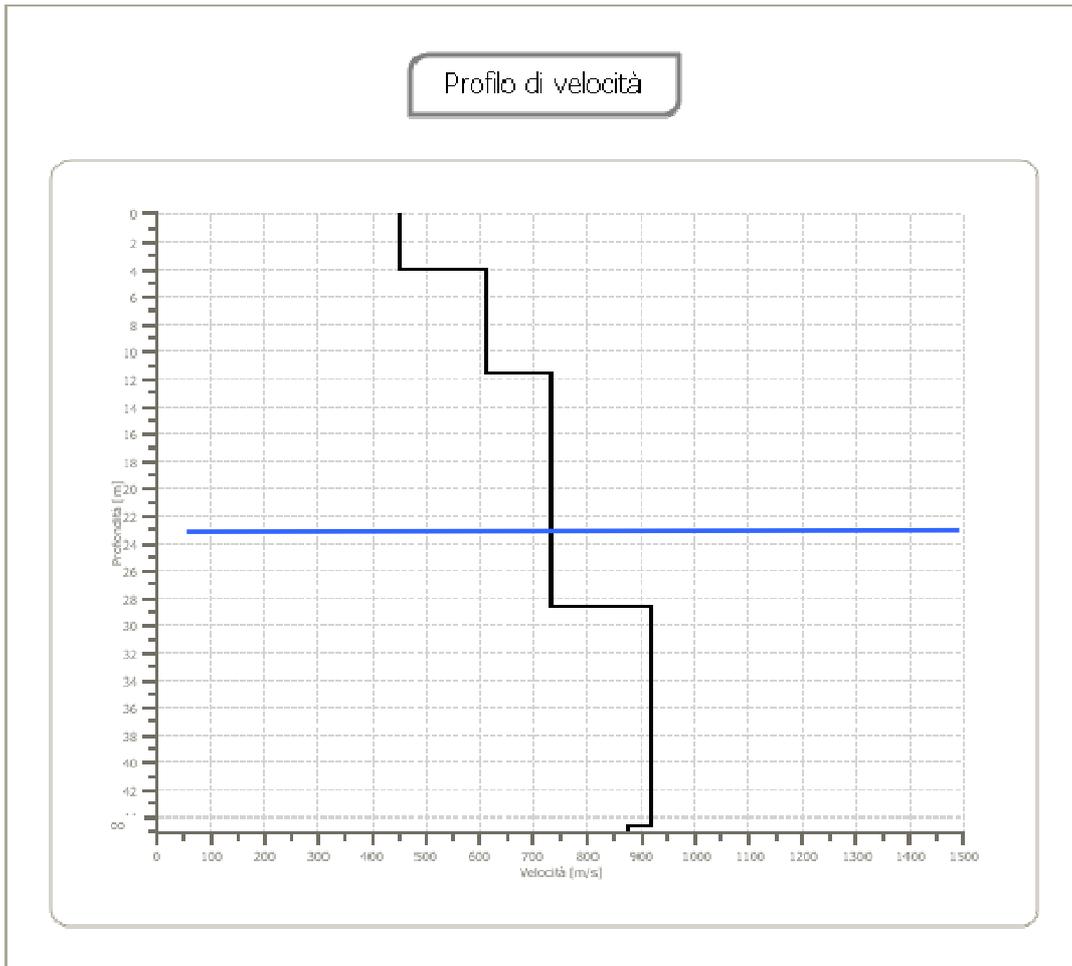


Fig. 15-16- Modello risultante dall'inversione dei dati - Sismostratigrafia

7. RISULTATI

A partire dal modello sismico mono-dimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove Hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Vs30 [m/sec]	651,50
Categoria del suolo	B
	Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri

I valori delle Vs sono stati ricavati dall'indagine sismica di tipo MASW, consentendo, tramite formule empiriche, di eseguire una prima stima dei principali parametri elastici dei terreni investigati, con:

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	4.00	4.00	450.00	841.87	1700.00	0.30	344.25	1204.88	745.88	895.05
2	11.63	7.63	613.39	1147.54	1900.00	0.30	714.86	2502.01	1548.86	1858.63
3	28.59	16.96	731.61	1368.72	2000.00	0.30	1070.52	3746.81	2319.46	2783.35
4	44.54	15.95	917.00	1715.54	1900.00	0.30	1597.67	5591.86	3461.62	4153.95
5	oo	oo	877.88	1642.37	2000.00	0.30	1541.36	5394.75	3339.61	4007.53

Tabella 6 - Schema riassuntivo parametri

8. INDAGINE HVSR

Nel sito in esame è stata eseguita la misurazione dei microtremori finalizzate ad analizzare il rapporto spettrale H/V (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSR*) utile a definire eventuali risonanze di sito.

Le acquisizioni sono state svolte il giorno 7 Dicembre 2017 con la seguente strumentazione:

- sismografo GEA 24 (PASI)
- geofono triassiale Gemini-2 (PASI)
- software elaborazione dati winMASW-3C 7.2 (ELIOSOFT)



Fig. 17- Postazione per l'acquisizione segnale HVSR

8.1 Rapporti spettrali H/V

Di seguito si riportano i dati di acquisizione e le immagini relative alla coerenza ed elaborazione dei dati.

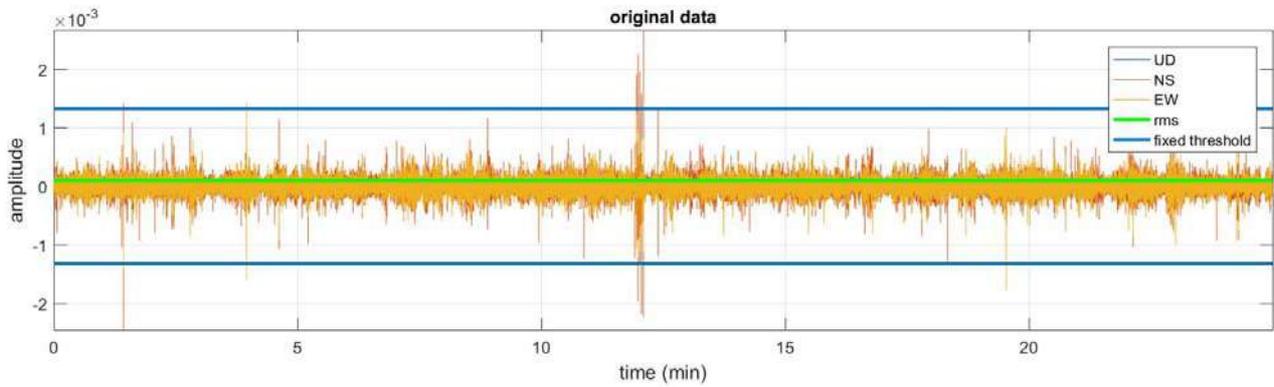


Fig. 18-Dato di campagna

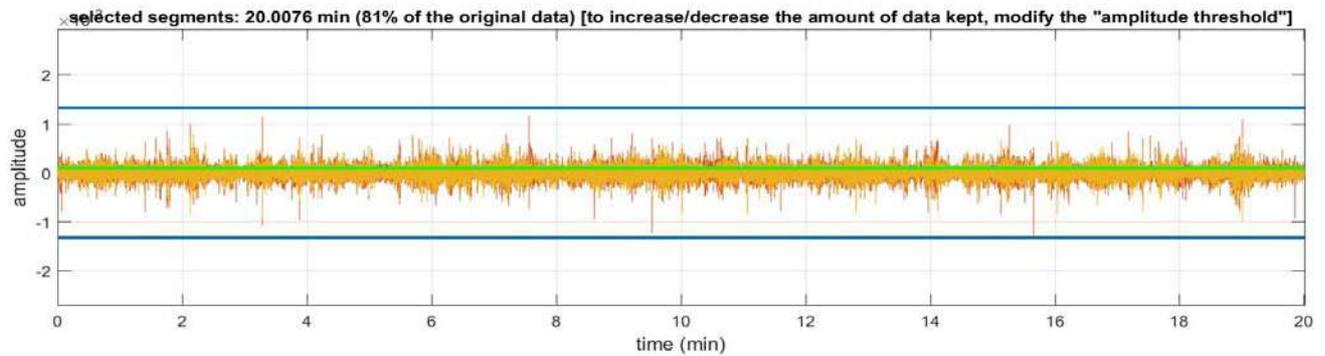


Fig. 19-Dato di campagna filtrato

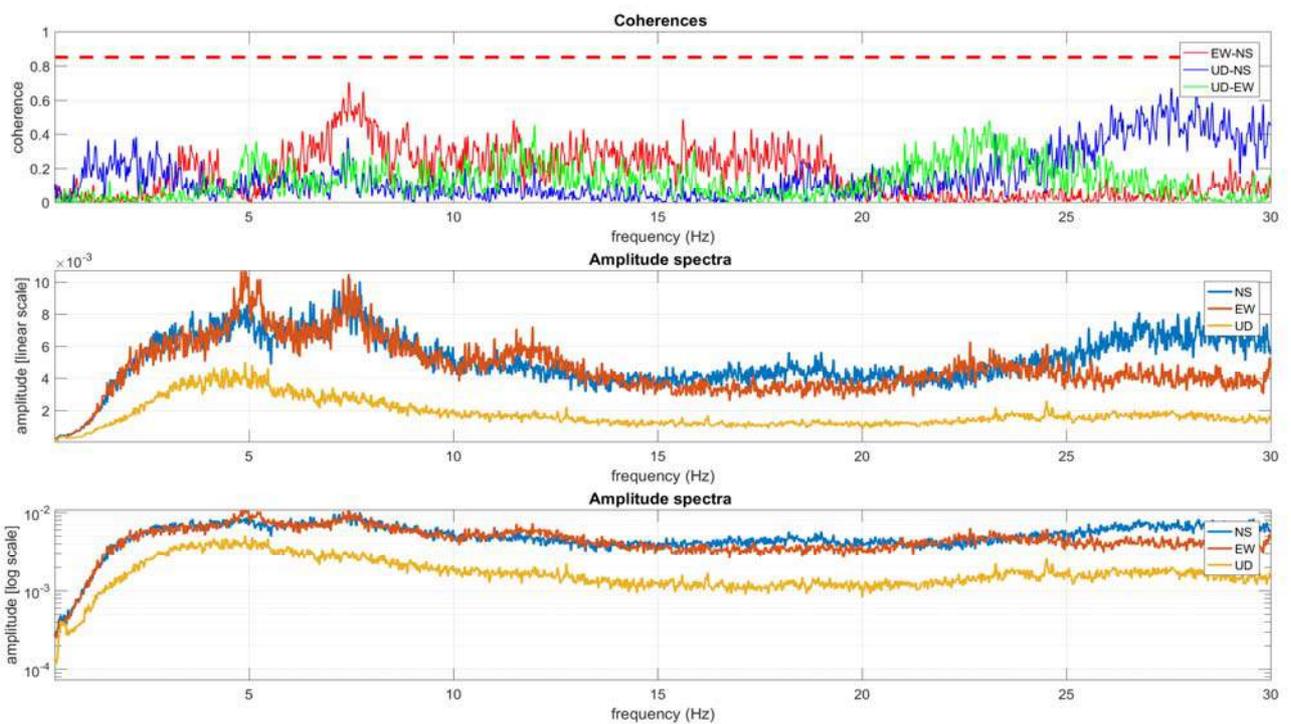


Fig. 20-Coerenza dei segnali

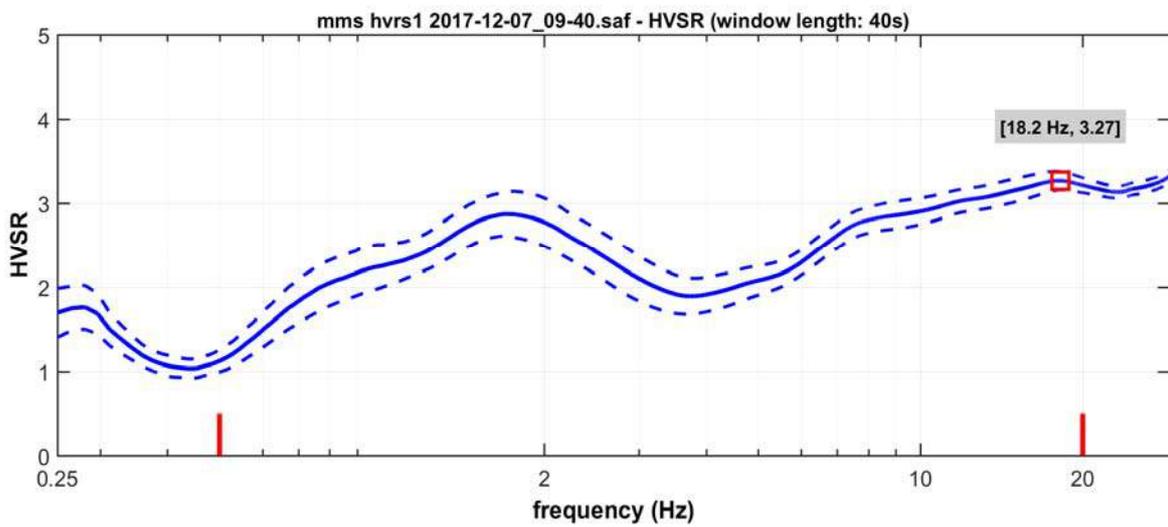
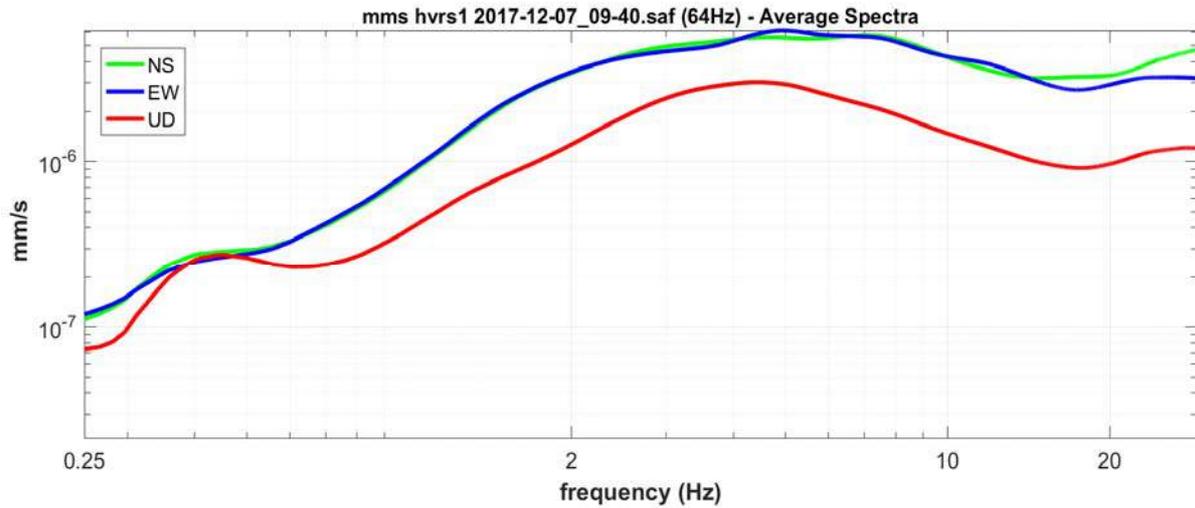


Fig. 21-Spettri medi d'ampiezza delle singole componenti e, sotto, rapporto spettrale H/V

Di seguito si riportano i criteri SESAME computati (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e l'eventuale significatività del picco a circa 18Hz):

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 18.2 (± 7.6)

Peak HVSR value: 3.3 (± 0.1)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: 18.181 > 0.25 (OK)

#2. [$nc > 200$]: 42907 > 200 (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f- in the range [$f_0/4, f_0$] | $A_{H/V}(f-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 4.6Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $A_{H/V}(f+) < A_0/2$]: (NO)

#3. [$A_0 > 2$]: 3.3 > 2 (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_{af} < \epsilon(f_0)$]: 7.569 > 0.909 (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0.231 < 1.58 (OK)

Per quanto sopra riportato, siccome il picco a 18Hz non rispetta dal punto di vista meramente formale il minimo di 5 criteri su 6, non può essere definito come completamente significativo.

Come si può notare i primi 3 criteri SESAME vengono rispettati e questo sta ad indicare la buona continuità del segnale e quindi la validità dei dati stessi.

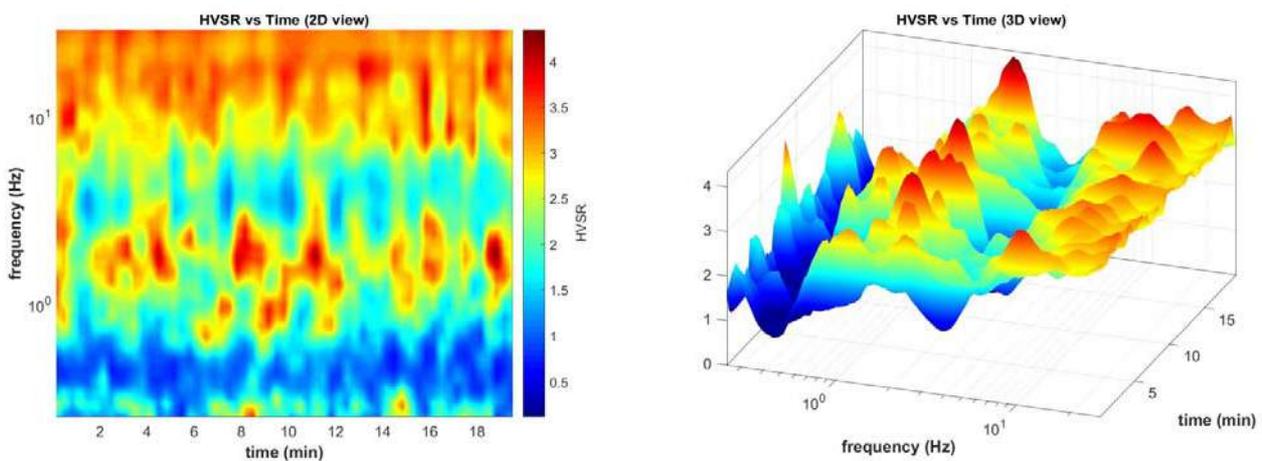


Fig. 22-Stabilità delle misure HVSR

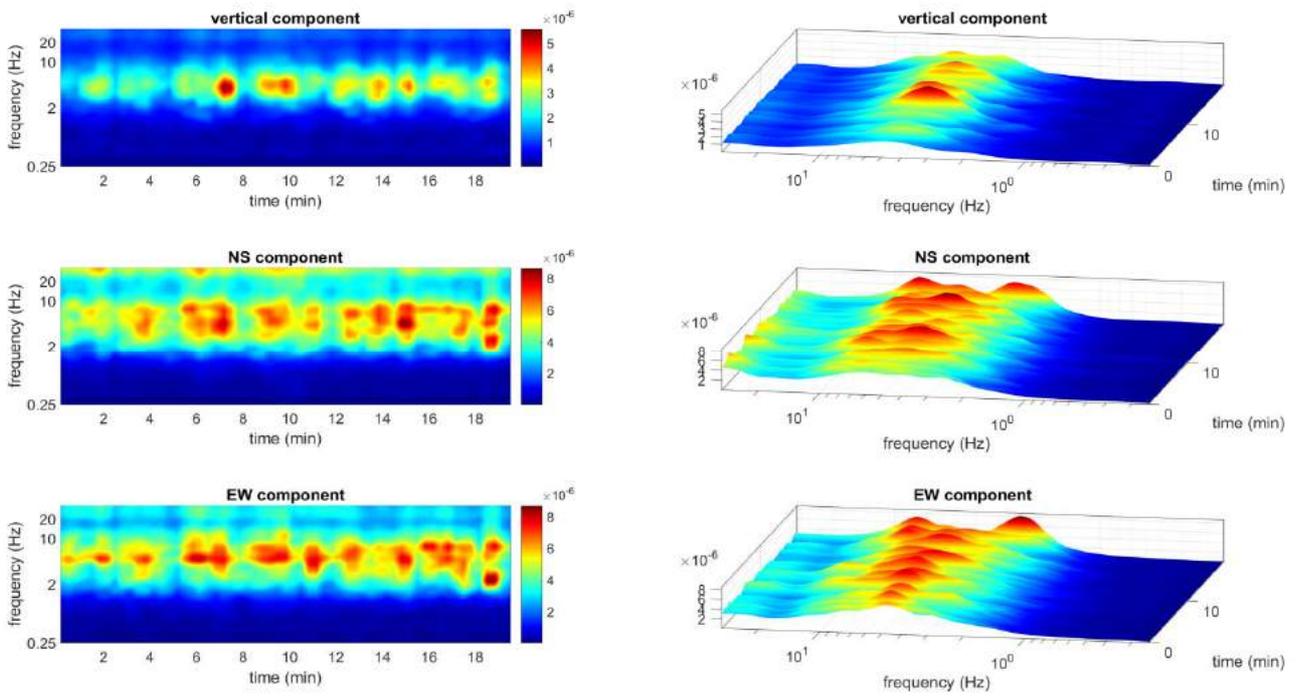


Fig. 23-Stabilità per ogni singola componente

La direttività del segnale risulta NE-SW come da figura seguente.

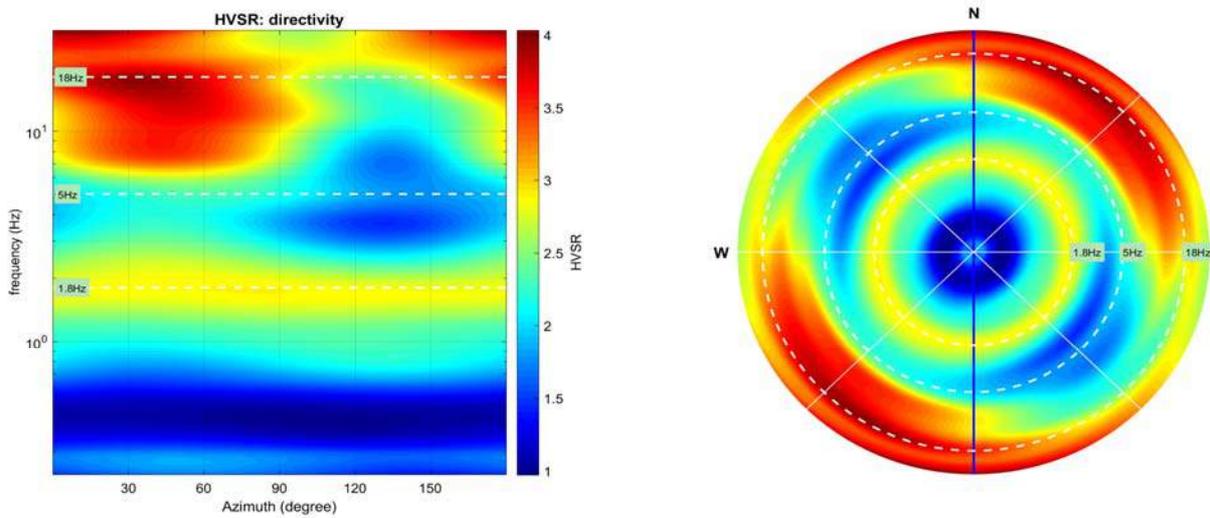


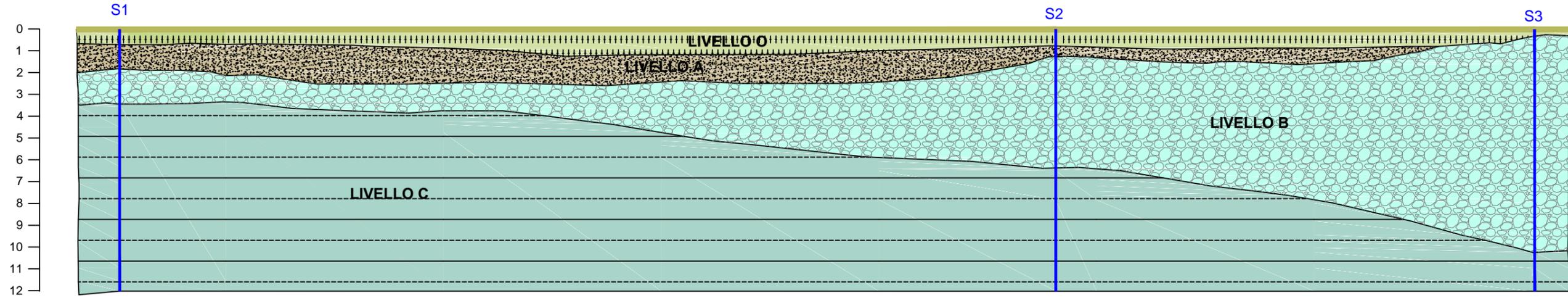
Fig. 24-Direttività delle misure HVSR

San Martino Siccomario, Dicembre 2017

Dott. Geol. Giuseppe Zuffada

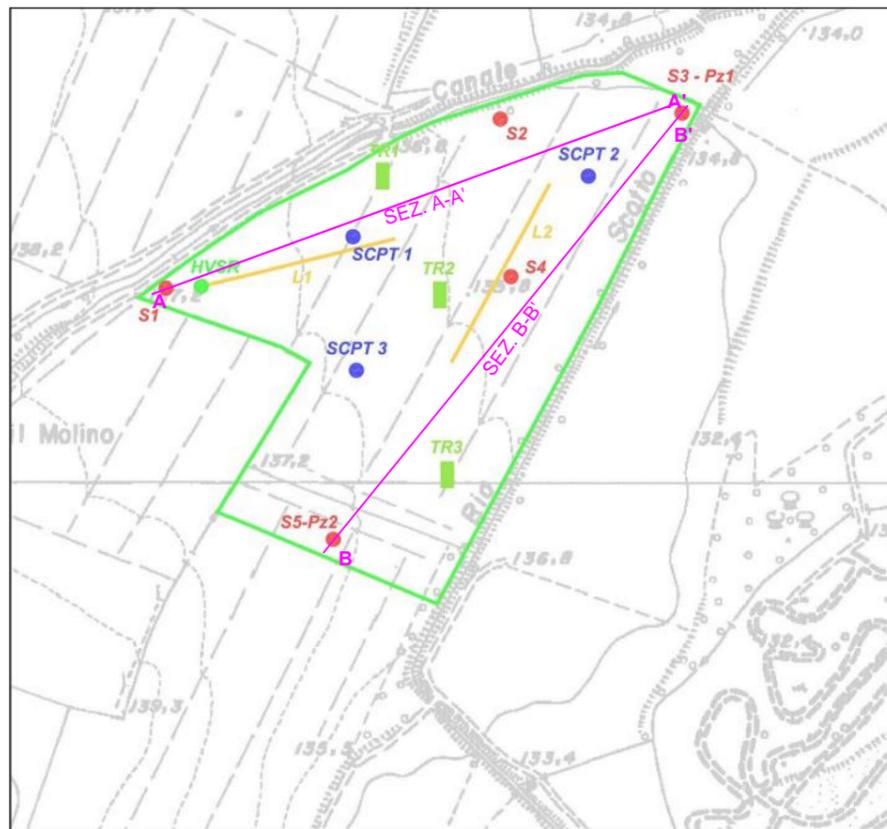
Allegato B: Sezioni lito-geomeccaniche interpretative

SEZIONE LITO-GEOMECCANICA INTERPRETATIVA A - A'

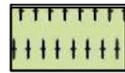
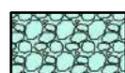


Scala orizz. 1:1000
Scala vert. 1: 200

CTR 179024



Scala 1:2000

-  **LIVELLO O**
Coltre superficiale, terreno vegetale
-  **LIVELLO A**
Limo e limo-argilloso sovraconsolidato, molto consistente
-  **LIVELLO B**
Ghiaie e ghiaie sabbiose mediamente addensate
-  **LIVELLO C**
Argille e argille limose molto consistenti

 **CONSORZIO DI BONIFICA DI PIACENZA**

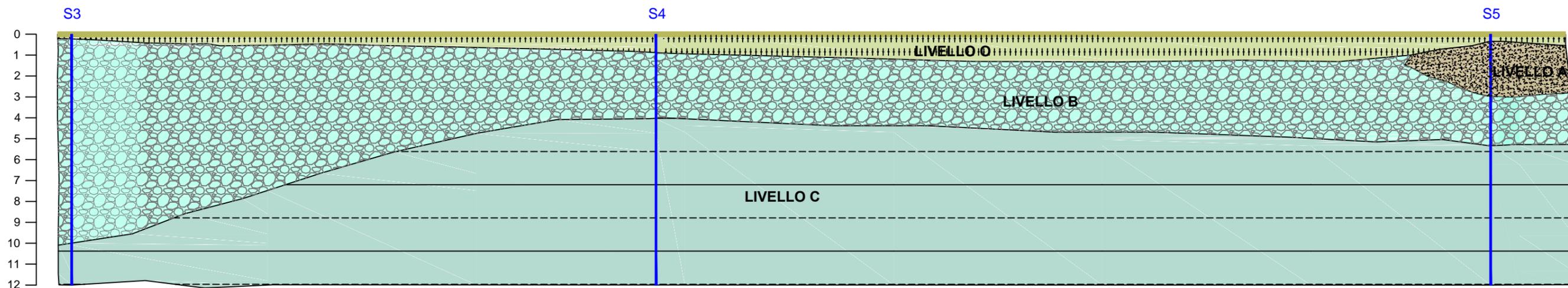
Relazione geologica relativa a supporto della realizzazione di un invaso irriguo denominato "Fabbiano 2"

SEZIONE LITO-GEOMECCANICA INTERPRETATIVA A-A'



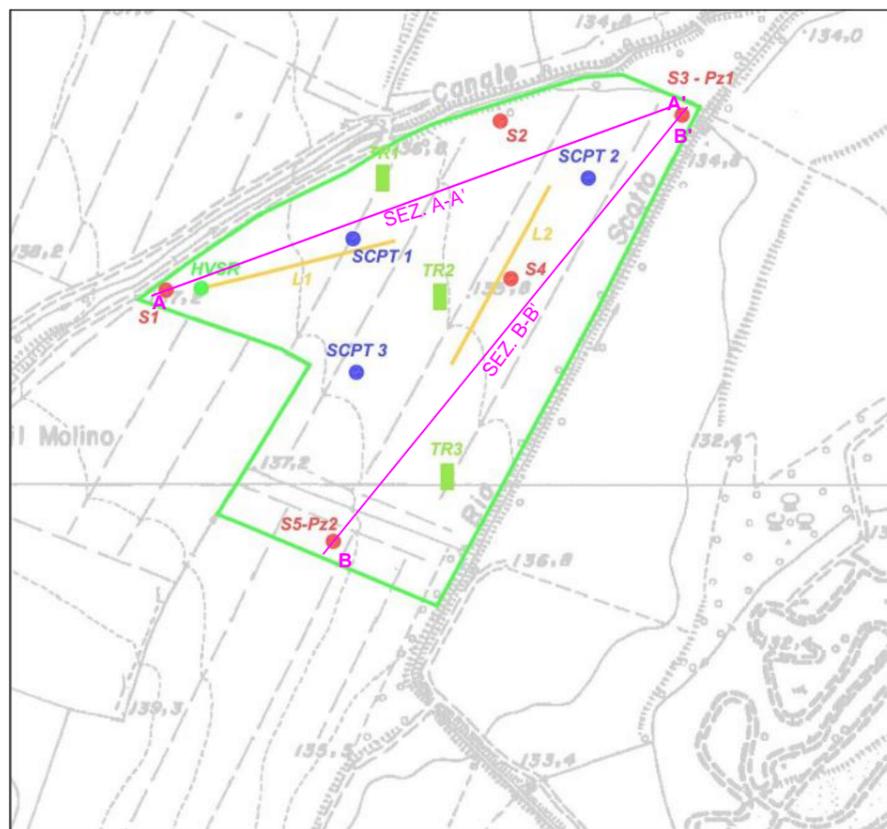
Dott. Geol. Fabio F. Picinotti
Via S. Pellico, 4
43125 Parma (PR)

SEZIONE LITO-GEOMECCANICA INTERPRETATIVA B - B'

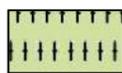
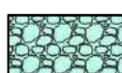


Scala orizz. 1:1000
Scala vert. 1: 200

CTR 179024



Scala 1:2000

-  **LIVELLO O**
Coltre superficiale, terreno vegetale
-  **LIVELLO A**
Limo e limo-argilloso sovraconsolidato, molto consistente
-  **LIVELLO B**
Ghiaie e ghiaie sabbiose mediamente addensate
-  **LIVELLO C**
Argille e argille limose molto consistenti

 **CONSORZIO DI BONIFICA DI PIACENZA**

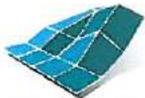
Relazione geologica relativa a supporto della realizzazione di un invaso irriguo denominato "Fabbiano 2"

SEZIONE LITO-GEOMECCANICA INTERPRETATIVA B-B'



Dott. Geol. Fabio F. Picinotti
Via S. Pellico, 4
43125 Parma (PR)

Allegato C: Rapporti di laboratorio



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 -Fax 0523/574091

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina

LOCALITÀ: Fabbiano

CANTIERE: Fabbiano

Data di accettazione: 09/01/2017

SONDAGGIO: PZ

CAMPIONE: C1

PROFONDITÀ (m): 4.00-6.00

DATA PRELIEVO: Rimaneggiato

ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 16-17/02/2017

massa terreno setacciato (g): 458,24

Ø / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
38,1	0,00	458,24	100,00
25,4	0,00	458,24	100,00
19,05	0,00	458,24	100,00
12,7	0,00	458,24	100,00
9,5	30,00	428,24	93,45
4,75	55,50	402,74	87,89
2	84,50	373,74	81,56
1	100,00	358,24	78,18
0,425	116,50	341,74	74,58
0,25	133,50	324,74	70,87
0,125	142,00	316,24	69,01
0,075	146,00	312,24	68,14

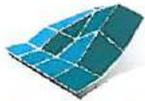
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
PZ

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 - Fax 0523/574091

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 16-17/02/2017
temperatura di prova (°C): 24,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H
massa terreno alla sedimentazione (g): 45,00

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,064	23,5	67,85
60	0,045	23	66,21
120	0,032	22,5	64,57
300	0,020	22	62,93
600	0,014	21	59,64
1200	0,010	20	56,36
2400	0,007	19	53,08
4800	0,005	18,5	51,43
14400	0,003	18	49,79
86400	0,001	17	46,51

*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 2,7$

composizione granulometrica	
% ghiaia	12,1
% sabbia	19,7
% limo	16,8
% argilla	51,3

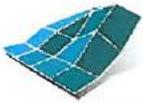
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
PZ

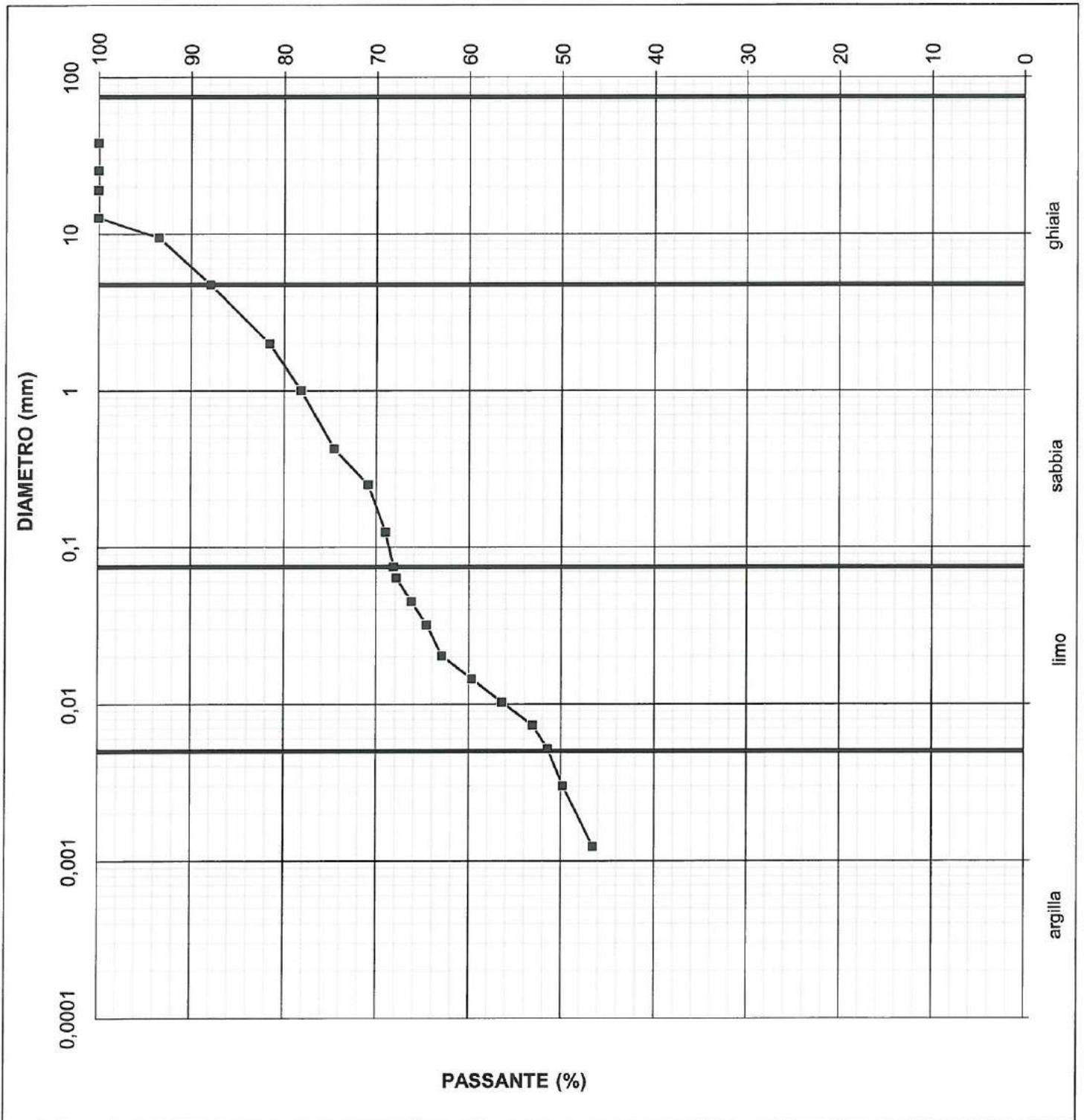
lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 -Fax 0523/574091



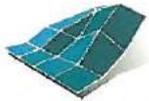
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
PZ

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G. s.r.l.

certificato di prova n° 1074/17 20/12/2017
pag. 1 di 2

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 -Fax 0523/574091

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina
LOCALITÀ: Fabbiano
CANTIERE: Fabbiano

Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: PZ
CAMPIONE: C1
PROFONDITÀ (m): 4.00-6.00
DATA PRELIEVO: Rimaneggiato

LIMITI DI ATTERBERG (ASTM D 4318-84)

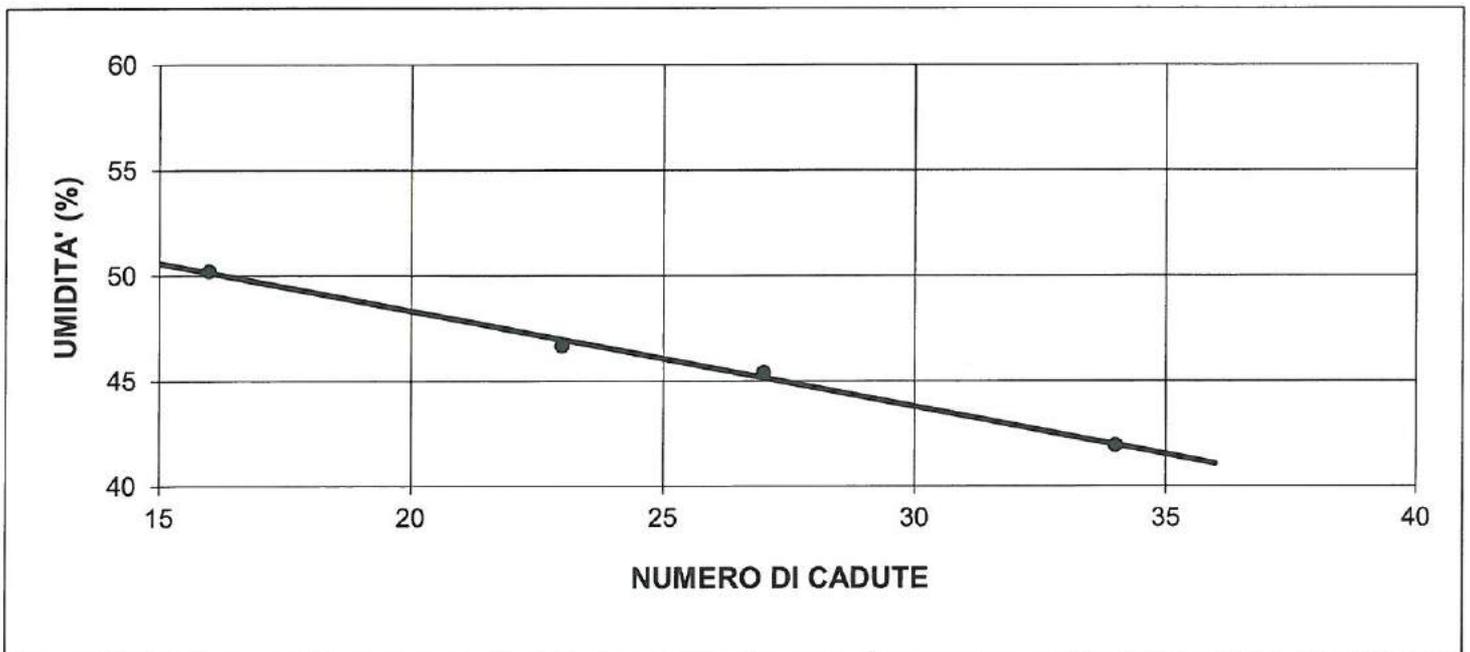
DATI DI PROVA

data di esecuzione: 16-17/12/2017

n° di cadute	limite di liquidità			limite di plasticità		
	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)
34	10,73	7,56	41,93	1,62	1,28	26,56
27	9,77	6,72	45,39	1,21	0,96	26,04
23	10,12	6,90	46,67			
16	10,50	6,99	50,21			

limite di ritiro			
volume umido (cm ³)	peso umido (g)	volume secco (cm ³)	peso secco (g)

LIMITE DI LIQUIDITA'	W _l	46	
LIMITE DI PLASTICITA'	W _p	26	
LIMITE DI RITIRO	W _r		
INDICE DI PLASTICITA'	IP	20	

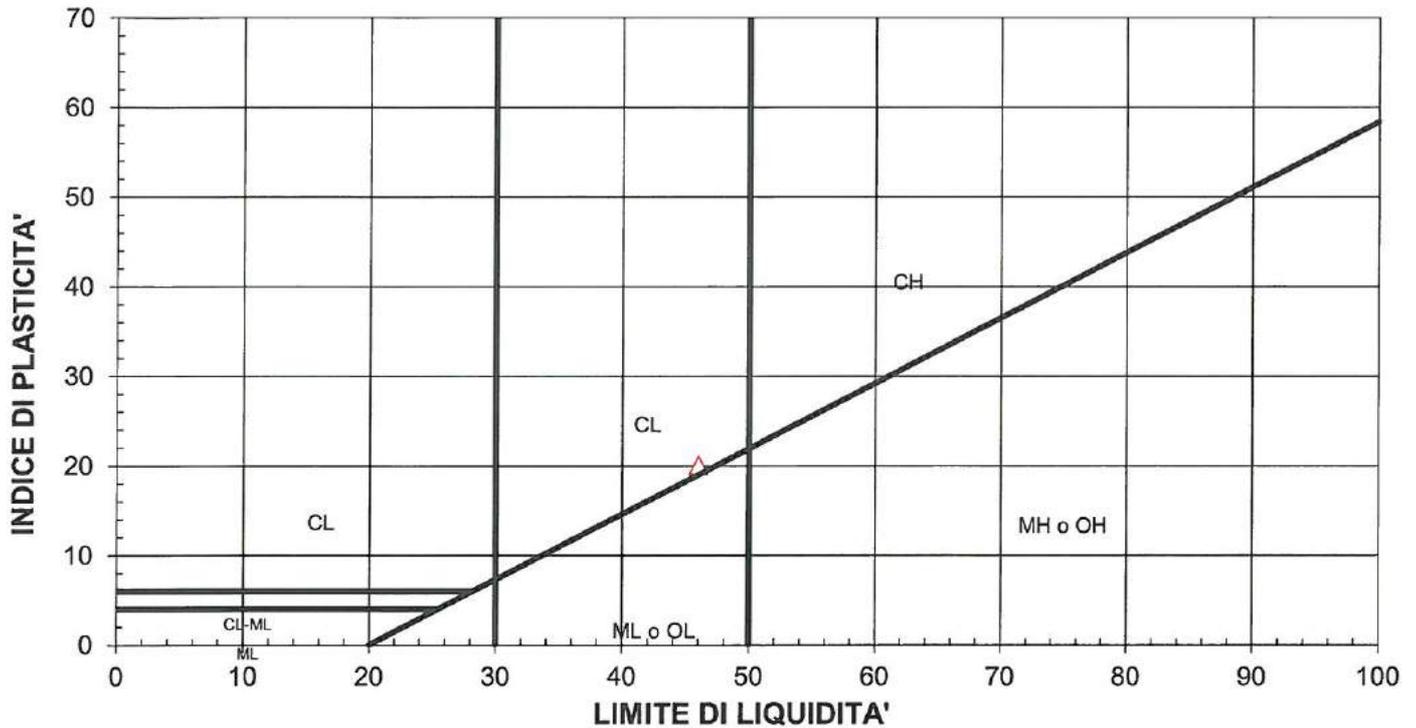


commessa: 116/17
settore: 04
id. campione: PZ

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli

CARTA DI PLASTICITA'



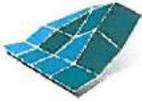
M = limi inorganici
C = argille inorganiche
O = limi e argille organiche

L = basso limite di liquidità
H = alto limite di liquidità

commessa: 116/17 settore: 04 id. campione: PZ

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certificata



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 - Fax 0523/574091

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina

LOCALITÀ: Fabbiano

CANTIERE: Fabbiano

Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: adiacenze TR2

CAMPIONE: C1

PROFONDITÀ (m): 3.50-4.50

DATA PRELIEVO: Rimaneggiato

ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 16-17/02/2017

massa terreno setacciato (g): 458,24

ϕ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
38,1	0,00	458,24	100,00
25,4	0,00	458,24	100,00
19,05	17,00	441,24	96,29
12,7	20,00	438,24	95,64
9,5	32,50	425,74	92,91
4,75	61,00	397,24	86,69
2	95,00	363,24	79,27
1	111,50	346,74	75,67
0,425	127,50	330,74	72,18
0,25	143,00	315,24	68,79
0,125	151,50	306,74	66,94
0,075	159,00	299,24	65,30

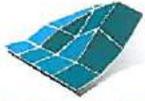
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
adiacenze TR2

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 - Fax 0523/574091

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 16-17/02/2017
temperatura di prova (°C): 24,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H
massa terreno alla sedimentazione (g): 44,27

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,064	22	64,80
60	0,046	21	61,42
120	0,032	20,5	59,73
300	0,021	20	58,04
600	0,015	19	54,65
1200	0,010	18	51,27
2400	0,007	16,5	46,20
4800	0,005	16	44,51
14400	0,003	15	41,13
86400	0,001	13	34,37

*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 2,7$

composizione granulometrica	
% ghiaia	13,3
% sabbia	21,4
% limo	21,1
% argilla	44,2

commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
adiacenze TR2

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

Il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G. s.r.l.

certificato di prova n° 1075/17 20/12/2017
pag. 1 di 2

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 -Fax 0523/574091

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina
LOCALITÀ: Fabbiano
CANTIERE: Fabbiano

Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: adiacenze TR2
CAMPIONE: C1
PROFONDITÀ (m): 3.50-4.50
DATA PRELIEVO: Rimaneggiato

LIMITI DI ATTERBERG (ASTM D 4318-84)

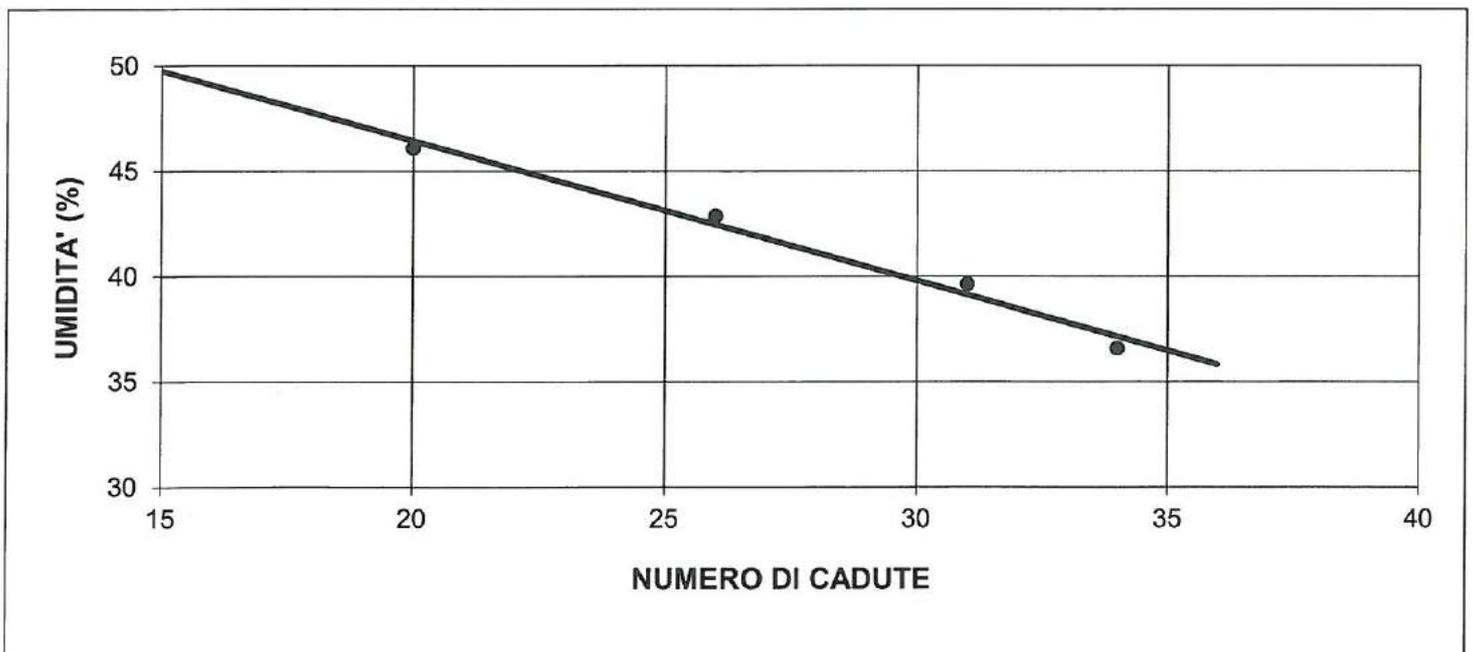
DATI DI PROVA

data di esecuzione: 16-17/12/2017

n° di cadute	limite di liquidità			limite di plasticità		
	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)
34	15,20	11,13	36,57	7,82	6,26	24,92
31	12,26	8,78	39,64	7,48	5,96	25,50
26	10,50	7,35	42,86			
20	9,89	6,77	46,09			

limite di ritiro			
volume umido (cm ³)	peso umido (g)	volume secco (cm ³)	peso secco (g)

LIMITE DI LIQUIDITA'	WI	44
LIMITE DI PLASTICITA'	Wp	25
LIMITE DI RITIRO	Wr	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	19



commessa:
116/17

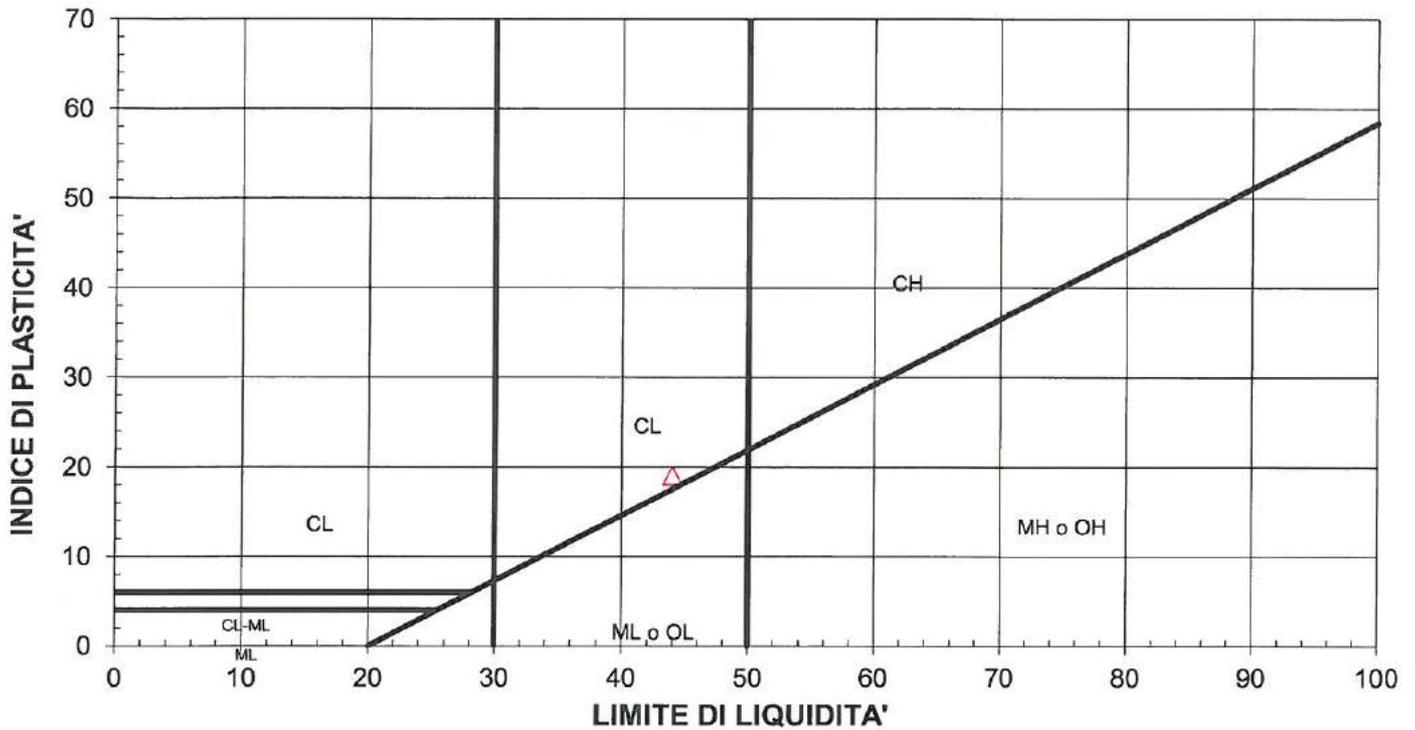
settore:
04

id. campione:
adiacenze TR2

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli

CARTA DI PLASTICITA'



M = limi inorganici
C = argille inorganiche
O = limi e argille organiche

L = basso limite di liquidità
H = alto limite di liquidità

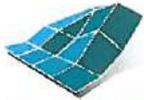
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
adiacenze TR2

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 -Fax 0523/574091

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina

LOCALITÀ: Fabbiano

CANTIERE: Fabbiano

Data di accettazione: 09/01/2017

SONDAGGIO: TR2

CAMPIONE: C1

PROFONDITÀ (m): 1.00-3.00

DATA PRELIEVO: Rimaneggiato

ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 16-17/02/2017

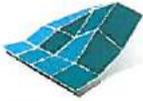
massa terreno setacciato (g): 3145,50

Ø / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
38,1	282,50	2863,00	91,02
25,4	1182,00	1963,50	62,42
19,05	1400,00	1745,50	55,49
12,7	1838,00	1307,50	41,57
9,5	2011,50	1134,00	36,05
4,75	2260,00	885,50	28,15
2	2382,50	763,00	24,26
1	2490,50	655,00	20,82
0,425	2727,50	418,00	13,29
0,25	2848,50	297,00	9,44
0,125	2875,00	270,50	8,60
0,075	2893,00	252,50	8,03

commessa: 116/17 settore: 04 id. campione: TR2

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli

**C.G.G.**Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 - Fax 0523/574091

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 16-17/02/2017
temperatura di prova (°C): 24,0densimetro utilizzato: ASTM 151 H
massa terreno alla sedimentazione (g): 50,00

tempo (s)	ϕ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,065	20	7,87
60	0,046	19	7,41
120	0,033	18	6,95
300	0,021	17,5	6,72
600	0,015	17	6,49
1200	0,010	16,5	6,26
2400	0,007	16	6,03
4800	0,005	15,5	5,80
14400	0,003	15	5,57
86400	0,001	14	5,12

*correzioni applicate:

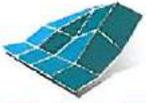
$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 2,7$

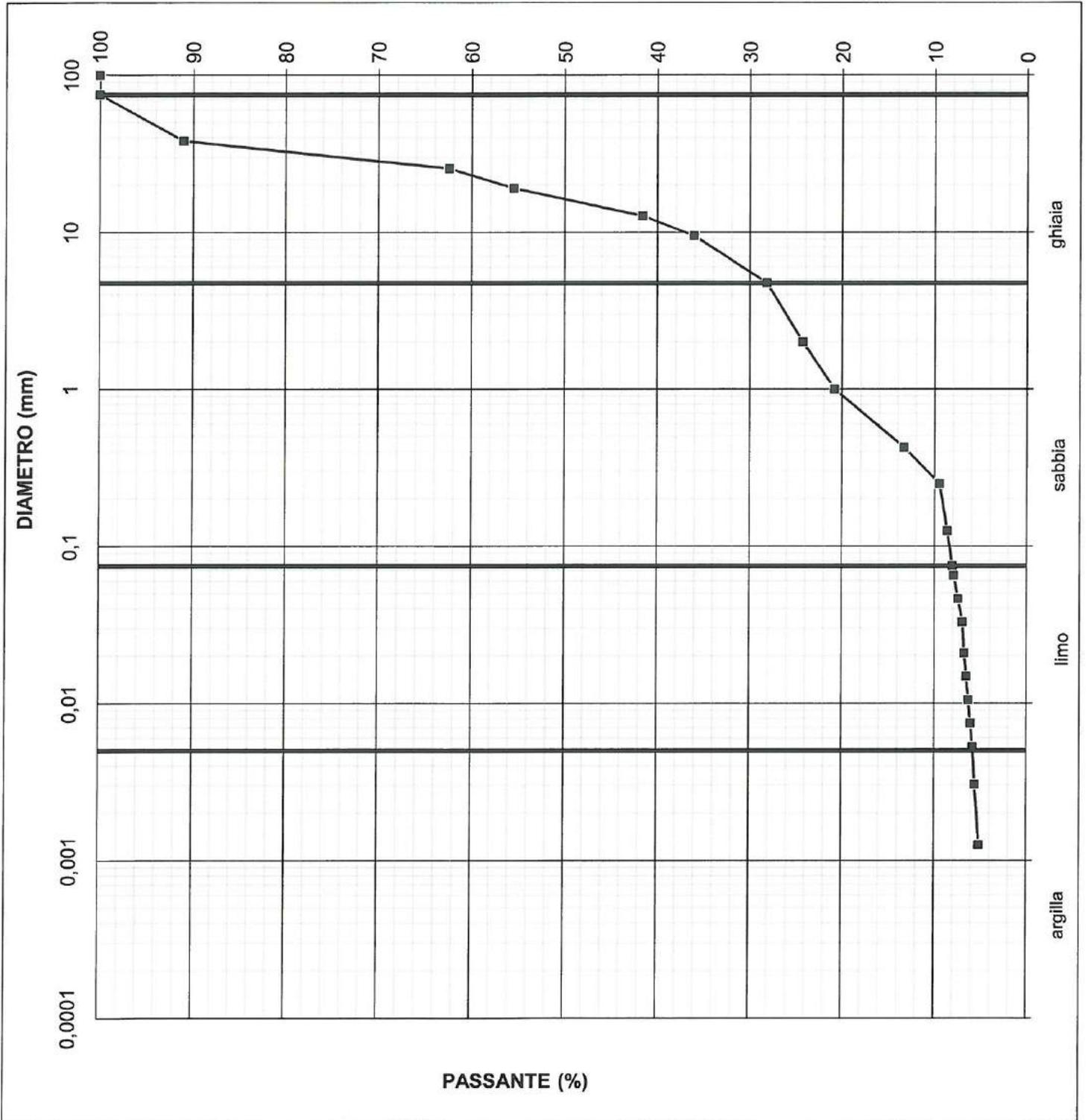
composizione granulometrica	
% ghiaia	71,8
% sabbia	20,1
% limo	2,2
% argilla	5,8

commessa:
116/17settore:
04id. campione:
TR2lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeriil direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 - Fax 0523/574091



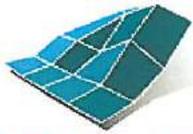
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
TR2

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.



certificato di prova n° 1060/17
20/12/2017

pag. 1 di 3

Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
terre e rocce, in sito ed in laboratorio

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina
LOCALITÀ: Fabbiano
CANTIERE: Fabbiano
Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: TR2
IDENTIFICATIVO CAMPIONE: C1
PROFONDITÀ (m): 1.00-3.00
TIPO CAMPIONE: Rimaneggiato

LIMITI DI ATTERBERG (CNR-UNI 10014)

DATI DI PROVA

data di esecuzione: 02-03/06/2017

n° di cadute	limite di liquidità			limite di plasticità		
	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)

limite di ritiro			
volume umido (cm ³)	peso umido (g)	volume secco (cm ³)	peso secco (g)

LIMITE DI LIQUIDITA'	WI	N.D.
LIMITE DI PLASTICITA'	Wp	N.P.
LIMITE DI RITIRO	Wr	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	

N.D.= non determinabile

N.P.= non plastico

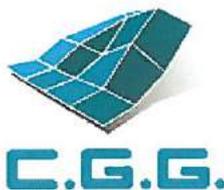
commessa: 116/17
settore: 04
id. campione: TR2

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

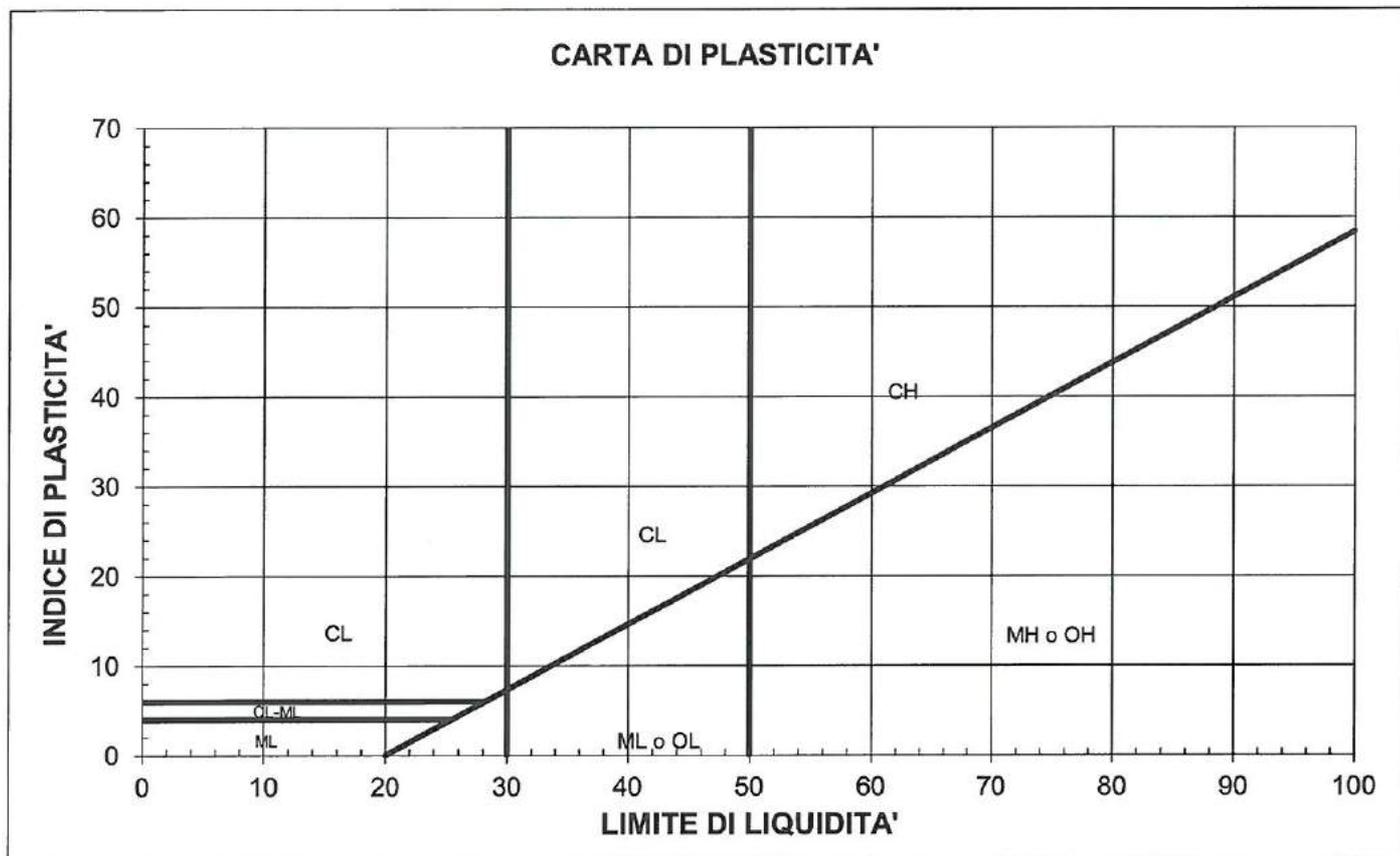
il direttore del laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli

C.G.G. S.r.l. _ Capitale sociale € 10.000 _ C.F./P.IVA: 01675240335 _ REA: 182556 _ www.cgg.it _ info@cgg.it

Sede legale e laboratorio materiali e geotecnico: via G.Cherchi n.15/17 _ 29122 Piacenza _ tel.: +39.0523.648231 _ fax: +39.0523.574091



Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
terre e rocce, in sito ed in laboratorio



M = limi inorganici
C = argille inorganiche
O = limi e argille organiche
L = basso limite di liquidità
H = alto limite di liquidità

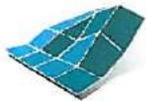
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
TR2

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 -Fax 0523/574091

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina

LOCALITÀ: Fabbiano

CANTIERE: Fabbiano

Data di accettazione: 09/01/2017

SONDAGGIO: TR3

CAMPIONE: C1

PROFONDITÀ (m): 1.00-2,00

DATA PRELIEVO: Rimaneggiato

ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 16-17/02/2017

massa terreno setacciato (g): 624,71

ϕ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
38,1	0,00	624,71	100,00
25,4	0,00	624,71	100,00
19,05	0,00	624,71	100,00
12,7	0,00	624,71	100,00
9,5	0,00	624,71	100,00
4,75	0,00	624,71	100,00
2	1,50	623,21	99,76
1	8,00	616,71	98,72
0,425	25,50	599,21	95,92
0,25	45,50	579,21	92,72
0,125	106,00	518,71	83,03
0,075	162,50	462,21	73,99

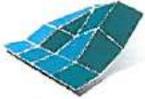
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
TR3

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 - Fax 0523/574091

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 16-17/02/2017
temperatura di prova (°C): 24,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H
massa terreno alla sedimentazione (g): 48,15

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,064	22	71,21
60	0,046	21,5	69,35
120	0,032	21	67,49
300	0,021	20	63,78
600	0,015	19,5	61,92
1200	0,010	19	60,06
2400	0,007	18	56,34
4800	0,005	16,5	50,77
14400	0,003	16	48,91
86400	0,001	15	45,20

*correzioni applicate:

$$C_m = 0,5$$

$$C_d = 5$$

$$C_t = 2,7$$

composizione granulometrica	
% ghiaia	0,0
% sabbia	26,0
% limo	23,4
% argilla	50,6

commessa: 116/17
settore: 04
id. campione: TR3

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
terre e rocce, in sito ed in laboratorio

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina
LOCALITÀ: Fabbiano
CANTIERE: Fabbiano
Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: TR3
IDENTIFICATIVO CAMPIONE: C1
PROFONDITÀ (m): 1.00-2,00
TIPO CAMPIONE: Rimaneggiato

LIMITI DI ATTERBERG (CNR-UNI 10014)

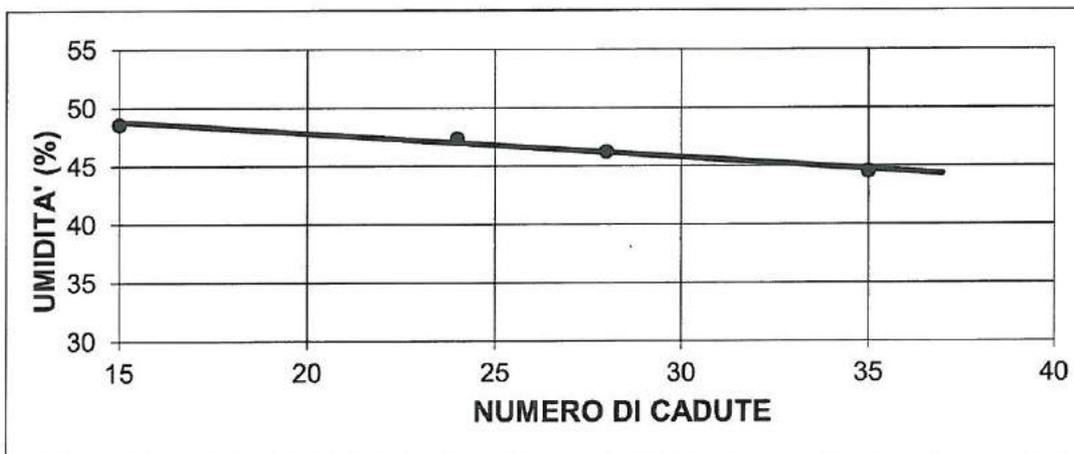
DATI DI PROVA

data di esecuzione: 02-03/06/2017

n° di cadute	limite di liquidità			limite di plasticità		
	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)
35	7,01	4,85	44,54	0,99	0,79	25,32
28	12,02	8,22	46,23	1,40	1,11	26,13
24	11,20	7,60	47,37			
15	6,27	4,22	48,58			

limite di ritiro			
volume umido (cm ³)	peso umido (g)	volume secco (cm ³)	peso secco (g)

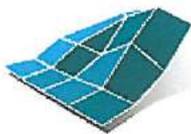
LIMITE DI LIQUIDITA'	WI	47
LIMITE DI PLASTICITA'	Wp	26
LIMITE DI RITIRO	Wr	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	21



commessa: 116/17 settore: 04 id. campione: TR3

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



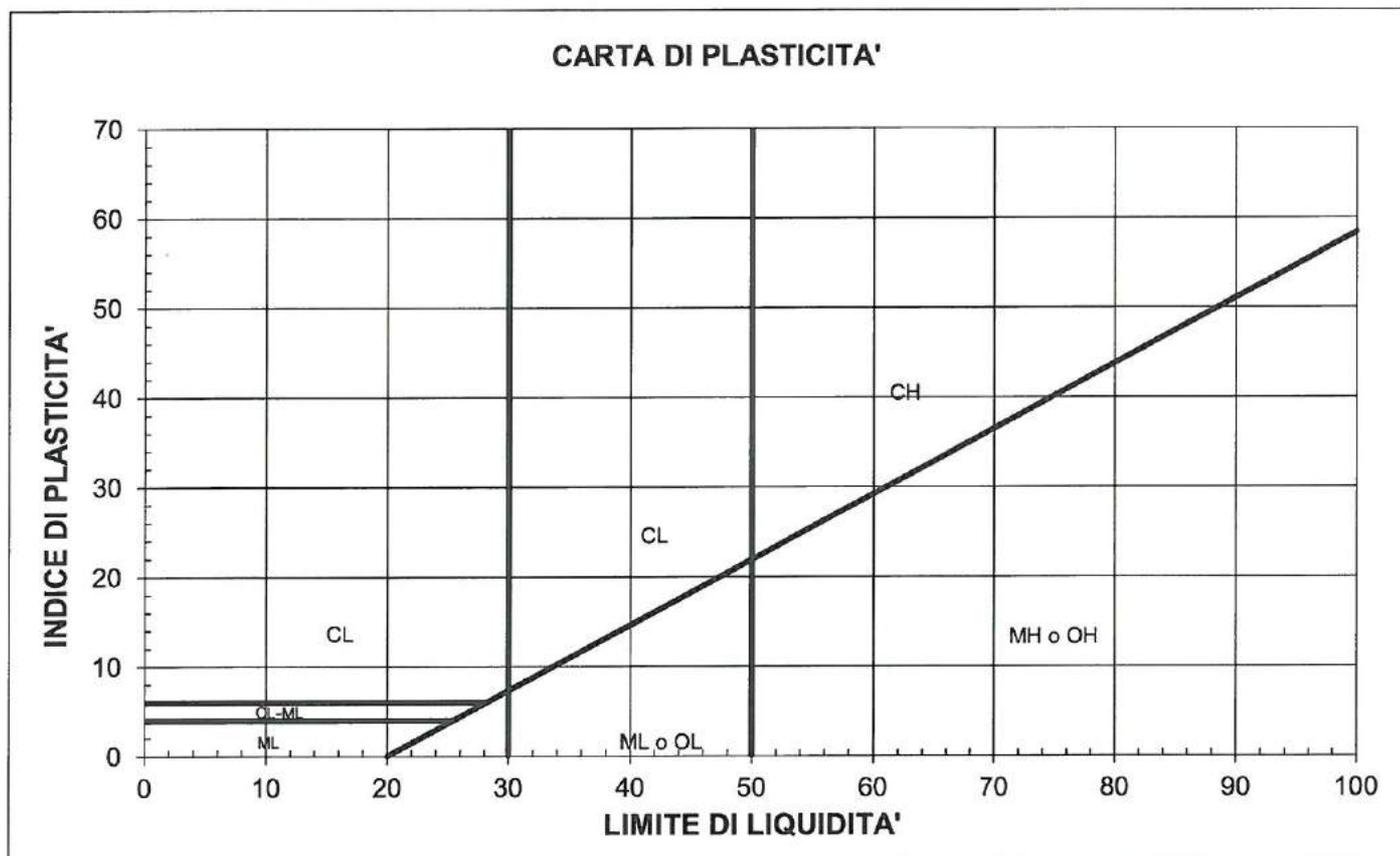
C.G.G.



certificato di prova n° 1059/17
20/12/2017

pag. 2 di 2

Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
terre e rocce, in sito ed in laboratorio



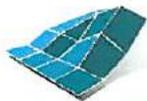
M = limi inorganici
C = argille inorganiche
O = limi e argille organiche

L = basso limite di liquidità
H = alto limite di liquidità

commessa: 116/17 settore: 04 id. campione: TR3

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 -Fax 0523/574091

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina

LOCALITÀ: Fabbiano

CANTIERE: Fabbiano

Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: TR3

CAMPIONE: C1

PROFONDITÀ (m): 0.00-1.00

DATA PRELIEVO: Rimaneggiato

ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 16-17/02/2017

massa terreno setacciato (g): 585,20

ϕ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
38,1	0,00	585,20	100,00
25,4	0,00	585,20	100,00
19,05	0,00	585,20	100,00
12,7	0,00	585,20	100,00
9,5	0,00	585,20	100,00
4,75	0,00	585,20	100,00
2	3,15	582,05	99,46
1	10,48	574,72	98,21
0,425	29,22	555,98	95,01
0,25	55,32	529,88	90,55
0,125	78,82	506,38	86,53
0,075	97,42	487,78	83,35

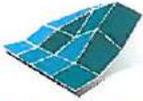
commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
TR3

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



certificato di prova n° 1061A99-20A123/2017

C.G.G.

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 - Fax 0523/574091

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 16-17/02/2017

densimetro utilizzato: ASTM 151 H

temperatura di prova (°C): 24,0

massa terreno alla sedimentazione (g): 48,50

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,065	21	82,42
60	0,046	20,5	80,15
120	0,032	20	77,88
300	0,021	19,5	75,61
600	0,015	19	73,34
1200	0,010	18	68,80
2400	0,007	17,5	66,53
4800	0,005	17	64,26
14400	0,003	16	59,73
86400	0,001	14,5	52,92

*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 2,7$

composizione granulometrica	
% ghiaia	0,0
% sabbia	16,6
% limo	19,5
% argilla	63,9

commessa:
116/17

settore:
04

id. campione:
TR3

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G. s.r.l.

certificato di prova n° 1073/17 22/12/2017
pag. 1 di 2

Sede legale laboratorio materiali e geotecnico: via Grazia Cherchi 15/17 Loc. Montale - 29122 Piacenza
Tel 0523/648231 - Fax 0523/574091

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina
LOCALITÀ: Fabbiano
CANTIERE: Fabbiano

Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: TR3
CAMPIONE: C1
PROFONDITÀ (m): 0.00-1.00
DATA PRELIEVO: Rimaneggiato

LIMITI DI ATTERBERG (ASTM D4318-84)

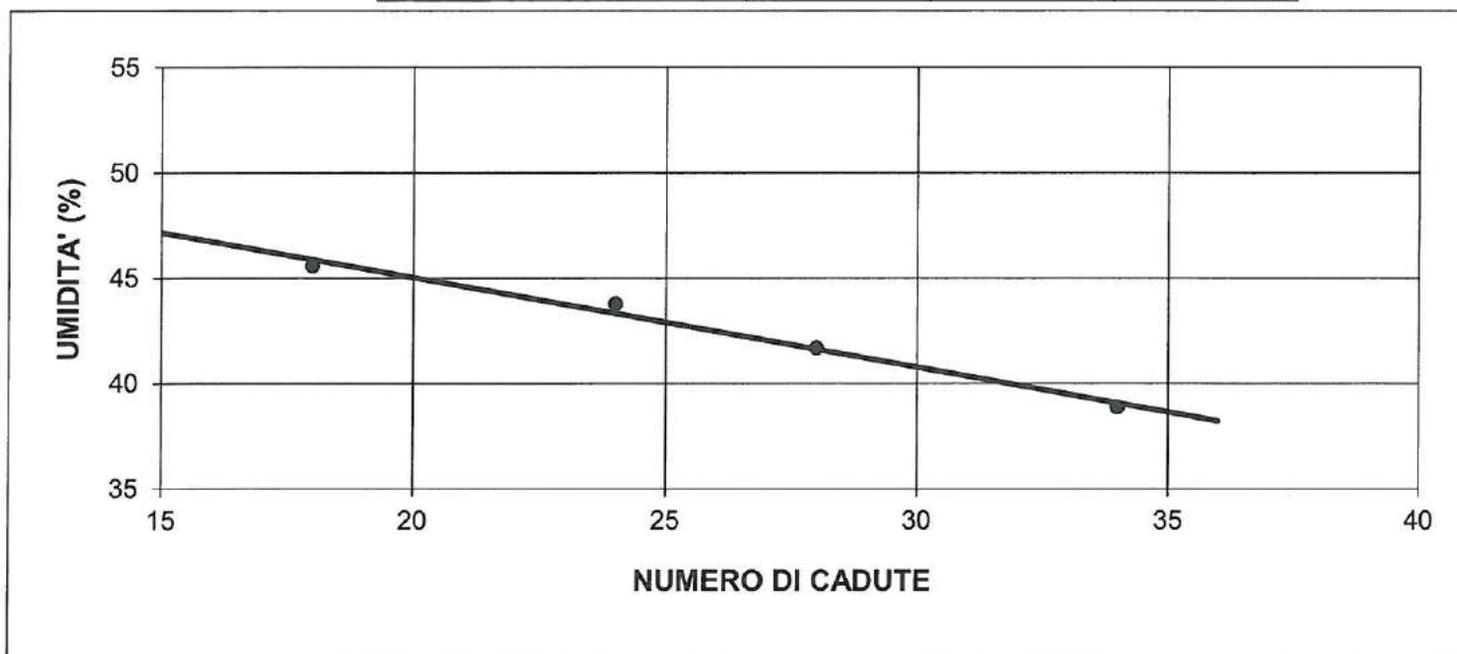
DATI DI PROVA

data di esecuzione: 16-17/12/2017

n° di cadute	limite di liquidità			limite di plasticità		
	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)
34	25,01	18,01	38,87	6,00	4,77	25,79
28	23,93	16,89	41,68	4,34	3,45	25,80
24	20,89	14,53	43,77			
18	17,25	11,85	45,57			

limite di ritiro			
volume umido (cm ³)	peso umido (g)	volume secco (cm ³)	peso secco (g)

LIMITE DI LIQUIDITA'	WI		43
LIMITE DI PLASTICITA'	Wp		26
LIMITE DI RITIRO	Wr		
INDICE DI PLASTICITA'	IP		17

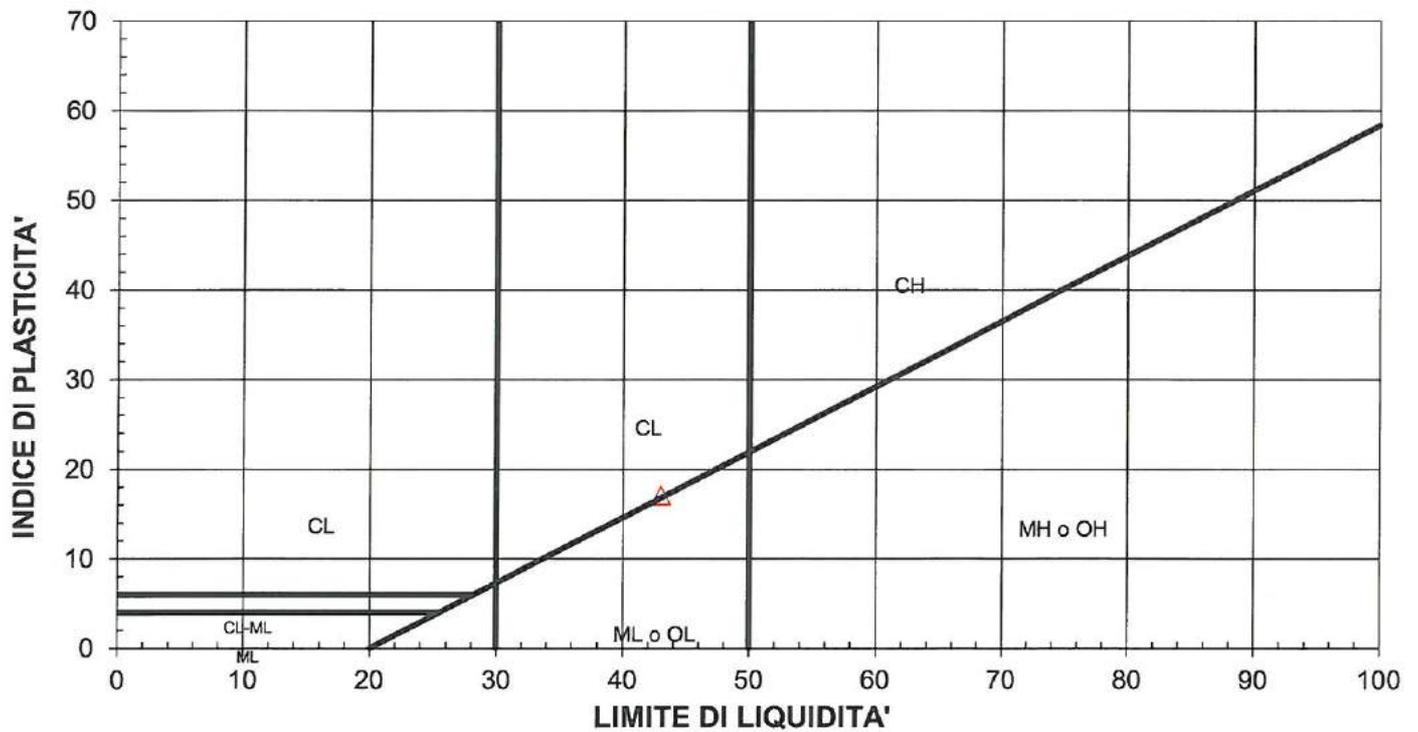


commessa: 116/17
settore: 04
id. campione: TR3

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli

CARTA DI PLASTICITA'



M = limi inorganici
C = argille inorganiche
O = limi e argille organiche

L = basso limite di liquidità
H = alto limite di liquidità

commessa: 116/17
settore: 04
id. campione: TR3

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli



Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
 Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
 terre e rocce, in sito ed in laboratorio

certificato di prova n° 0001/18
 data: 08/01/2018

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina
LOCALITÀ: Fabbiano
CANTIERE: Fabbiano
Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: TR3
CAMPIONE: C1
UBICAZIONE: 0.00-1.00
Tipo campione: Rimaneggiato

PROVA DI COSTIPAMENTO DI UNA TERRA (C.N.R. - B.U. n. 69)

PREPARAZIONE DEI PROVINI

altezza dello stampo: 11,64 cm *sezione dello stampo:* 182,41 cm²
modalità di compattazione: A.A.S.H.T.O. modificata

DATI DI PROVA

Data prova: 03-04/01/2018

	massa umida (g)	umidità (%)	densità secca (g/cm ³)
provino I	4.028	4,56	1,8143
provino II	4.284	9,38	1,8444
provino III	4.410	12,39	1,8481
provino IV	4.503	15,84	1,8308
provino V	4.528	17,95	1,8081

Verbale di accettazione:
116/17

Data di accettazione
07/12/2017

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli

C.G.G. S.r.l. _ Capitale sociale € 10.000 _ C.F./P.IVA: 01675240335 _ REA: 182556 _ www.cgg.it _ info@cgg.it

Sede legale e laboratorio materiali e geotecnico: via G. Cherchi n. 15/17 _ 29122 Piacenza _ tel.: +39.0523.648231 _ fax: +39.0523.574091

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti con D.M. n° 390 per l'esecuzione di prove geotecniche sui terreni

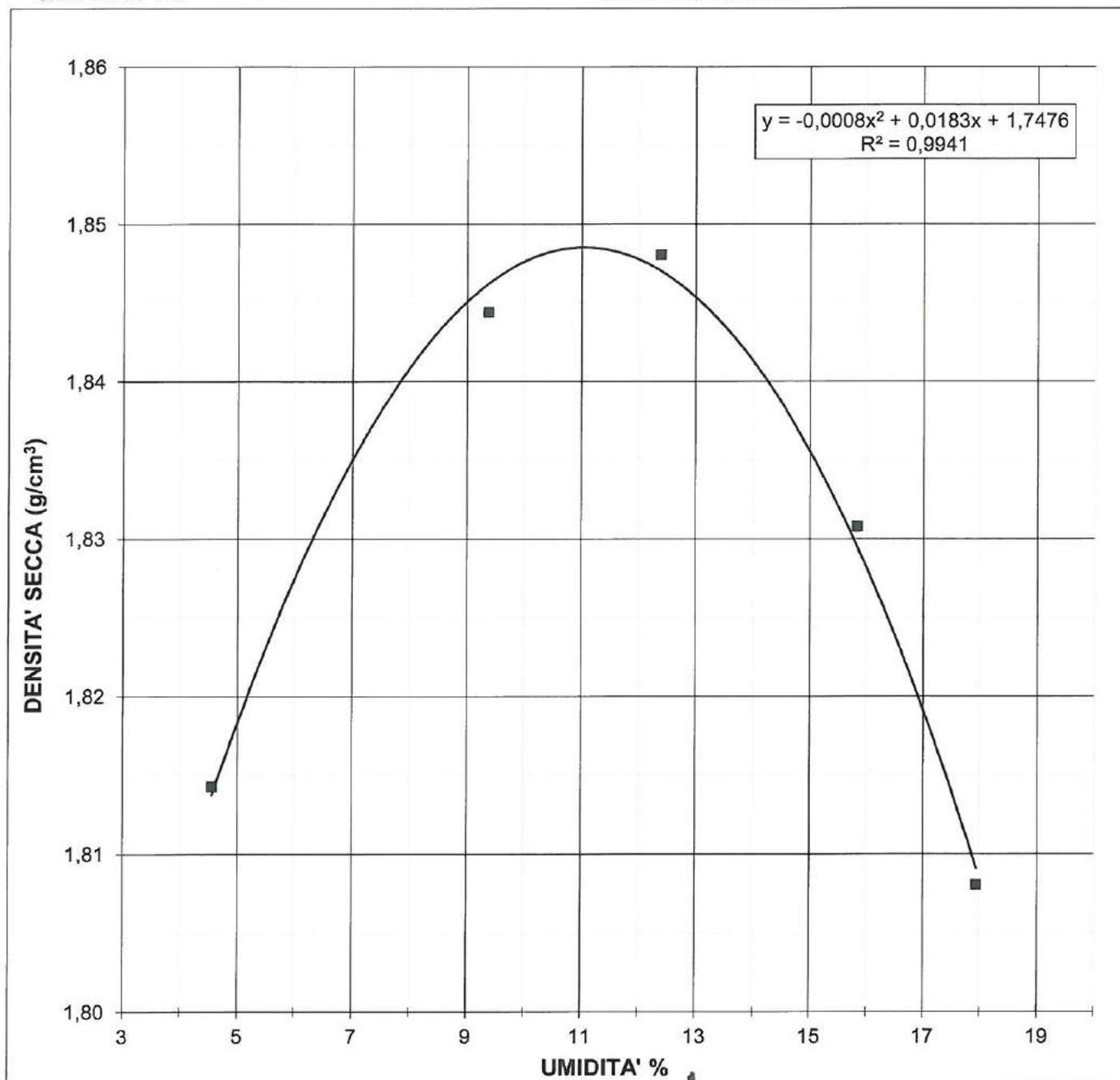
certificato di prova n° 0001/18
 data: 08/01/2018



Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
 Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
 terre e rocce, in sito ed in laboratorio

CAMPIONE: TR3

UBICAZIONE: 0.00-1.00



Verbale di accettazione
116/17

Data di accettazione
07/12/2017

lo sperimentatore:
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli

C.G.G. S.r.l. _ Capitale sociale € 10.000 _ C.F./P.IVA: 01675240335 _ REA: 182556 _ www.cgg.it _ info@cgg.it

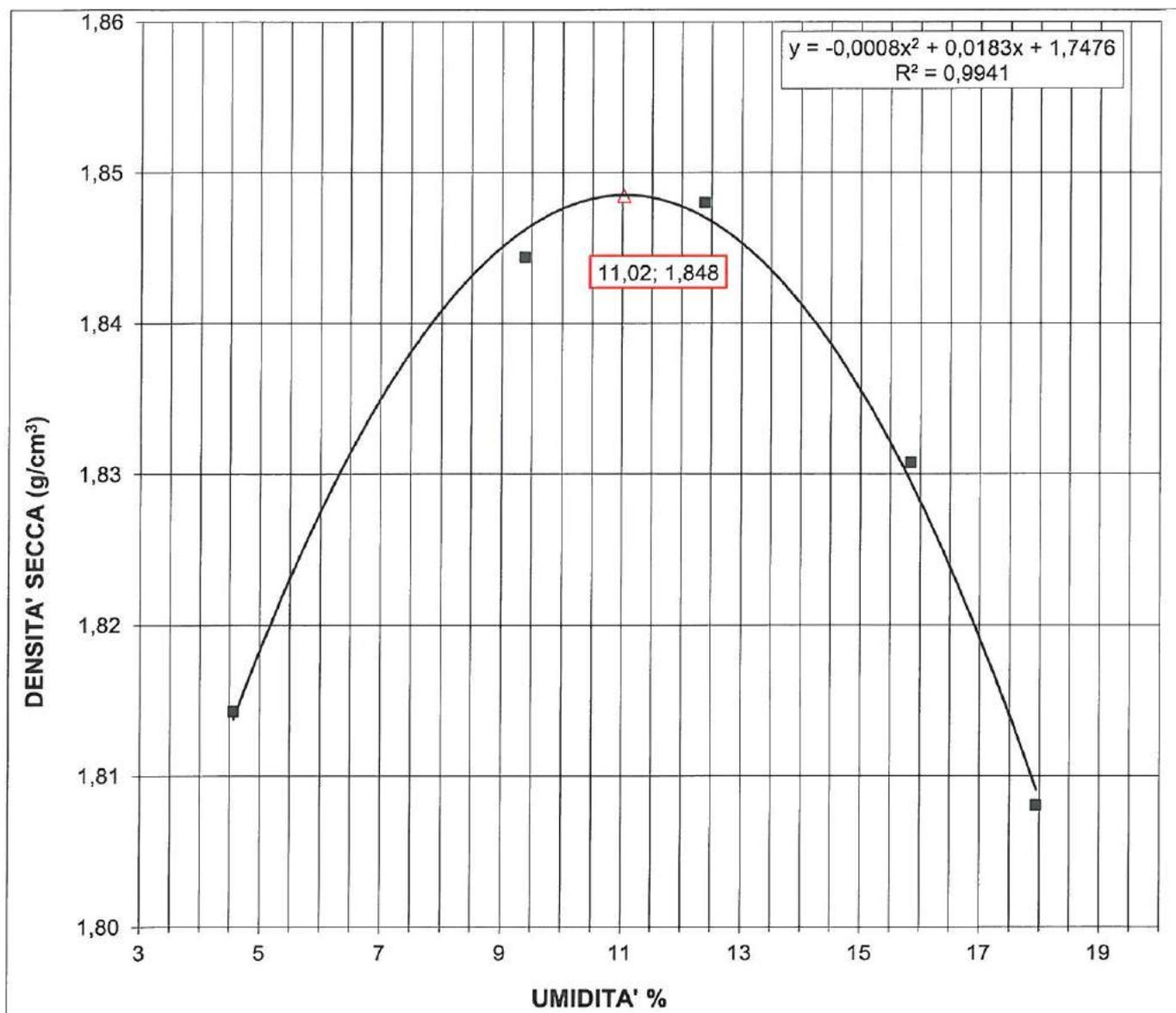
Sede legale e laboratorio materiali e geotecnico: via G.Cherchi n.15/17 _ 29122 Piacenza _ tel.: +39.0523.648231 _ fax: +39.0523.574091

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti con D.M. n° 52490 per l'esecuzione di prove geotecniche sui terreni

certificato di prova n° 0001/18
 data: 08/01/2018



Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
 Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
 terre e rocce, in sito ed in laboratorio



W_{opt}	densità secca	densità umida
11,02	1,85	2,05

Verbale di accettazione
116/17

Data di accettazione
07/12/2017

lo sperimentatore:
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli

C.G.G. S.r.l. _ Capitale sociale € 10.000 _ C.F./P.IVA: 01675240335 _ REA: 182556 _ www.cgg.it _ info@cgg.it

Sede legale e laboratorio materiali e geotecnico: via G.Cherchi n.15/17 _ 29122 Piacenza _ tel.: +39.0523.648231 _ fax: +39.0523.574091

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti con D.M. n° 390 per l'esecuzione di prove geotecniche sui terreni

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Piacentina
LOCALITÀ: Fabbiano
CANTIERE: Fabbiano
Data di accettazione: 07/12/2017

SONDAGGIO: TR3
CAMPIONE: C1
UBICAZIONE: 0.00-1.00
Tipo campione: Rimaneggiato

DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI PORTANZA CBR(CNR-UNI 10009)

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

tipologia: compattato in modalità A.A.S.H.T.O. mod.

<i>tempo di maturazione:</i>	-	giorni	<i>densità umida:</i>	2,05	g/cm ³
<i>sezione:</i>	176,71	cm ²	<i>umidità iniziale:</i>	11,08	%
<i>altezza:</i>	12,00	cm	<i>densità secca:</i>	1,84	g/cm ³
<i>massa:</i>	4345	g	<i>umid. finale (sotto il punzone)</i>	11,20	%

DATI DI PROVA

data di esecuzione:

<i>tempo trascorso (h)</i>	<i>rigonfiamento (mm)</i>
24	
48	
72	
96	

rigonfiamento: 0,00 %

DATI DI PROVA: FASE DI PENETRAZIONE

data inizio prova: 05/01/2018
data fine prova: 05/01/2018

velocità di penetrazione: 0,021 mm/s

<i>profondità di penetrazione (mm)</i>	<i>forza assiale (kN)</i>	<i>profondità di penetrazione (mm)</i>	<i>forza assiale (kN)</i>
0,50	1,12	3,00	4,86
1,00	2,37	4,00	5,54
1,50	3,12	5,00	6,12
2,00	3,87	7,00	6,51
2,50	4,32	9,00	6,75

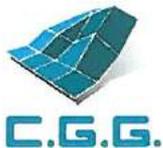
indice di portanza CBR: 32,40 %
 alla profondità di penetrazione di 2,5 mm

Verbale di accettazione:
 116/17

Data di accettazione
 07/12/2017

lo sperimentatore:
 dott. Massimo Maugeri

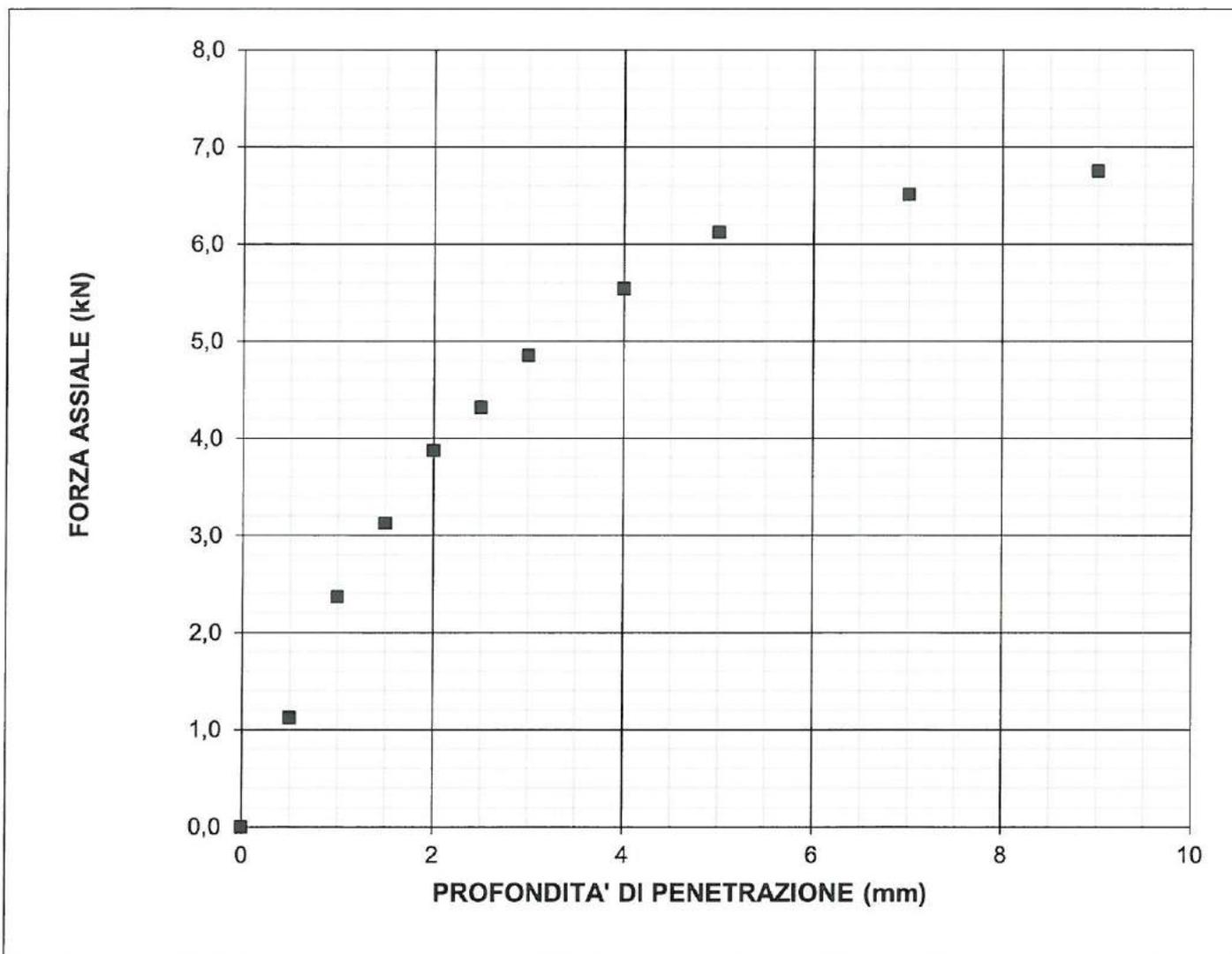
il direttore del Laboratorio:
 Dott. Massimiliano Galli



Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,
terre e rocce, in sito ed in laboratorio

IDENTIFICATIVO CAMPIONE TR3

UBICAZIONE: 0.00-1.00



Verbale di accettazione:
116/17

Data di accettazione
07/12/2017

lo sperimentatore:
dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:
Dott. Massimiliano Galli