

COMUNE DI SANT'AGOSTINO (FE)

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI
EDIFICIO PUBBLICO TEMPORANEO
DESTINATO A CASERMA DEI CARABINIERI

PROGETTO PRELIMINARE



IL R.U.P.

Ing. Manuela Manenti

IL PROGETTISTA

Arch. Alfiero Moretti

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. Mauro Monti
Ing. Dario Benedetto
Ing. Rudy Bertaccini
Arch. Filippo Giacomini
Ing. Graziella Moro
Ing. Susanna Orsi
Ing. Andrea Parenti
Ing. Romano Russo
Ing. Anna Schito
Ing. Silvia Valenti

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

Bologna, Luglio 2015

SCALA:

B2

PREMESSA ALLA RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

Si sottolinea che la Relazione geologica-geotecnica-sismica, per la determinazione della capacità portante del sito e degli eventuali cedimenti, prende come riferimento ipotesi progettuali relative a fondazioni superficiali.

STUDIO GEOLOGICO – TECNICO
Dott. Geol. Andrea Diegoli

PROVINCIA DI FERRARA
COMUNE DI SANT'AGOSTINO

NUOVA EDIFICAZIONE CASERMA DEI CARABINIERI

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA
E CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

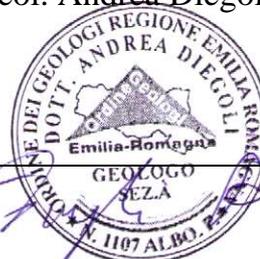
- *CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA, GEOLOGICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.*
- *STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO AI SENSI DEL D.M. 14.01.2008*

COMMITTENTE: COMUNE DI SANT'AGOSTINO

CANTIERE: Viale Europa – Via Donatori del Sangue
Sant'Agostino (FE)

Cento, 18 Luglio 2013

Dott. Geol. Andrea Diegoli



INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO.....	6
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	6
3.2	INQUADRAMENTO LITO-STRATIGRAFICO	10
3.2.1	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO	10
3.2.2	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI DEPOSITI SUPERFICIALI.....	13
3.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	14
3.4	TOPOGRAFIA DEL TERRITORIO	16
3.5	LA SUBSIDENZA.....	18
3.6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	19
4	INDAGINE ESEGUITE IN SITO	22
4.1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT).....	22
4.1.1	MODALITA' DI ESECUZIONE DELLE CPT	23
4.1.2	ELABORAZIONE DEI DATI.....	24
4.1.3	RISULTATI OTTENUTI DALLE PROVE CPT	25
4.2	INDAGINE SISMICA (MASW).....	26
4.2.1	RISULTATI DELLA PROVA MASW	27
4.3	ESECUZIONE SONDAGGIO E PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI	29
4.3.1	INSTALLAZIONE DEL PIEZOMETRO	31
4.3.2	PRELIEVO DEL CAMPIONE RIMANEGGIATO	32
4.3.3	PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI	32
4.4	ANALISI GEOTECNICHE ESEGUITE SUI CAMPIONI PRELEVATI.....	32
4.4.1	ANALISI GEOTECNICHE ESEGUITE SUL CAMPIONE RIMANEGGIATO.....	33
4.4.2	ANALISI GEOTECNICHE ESEGUITE SUL CAMPIONE INDISTURBATO	33
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI.....	35
5.1	PREMESSA.....	35
5.2	SISMICITA' DEL TERRITORIO	36
5.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO	37
5.4	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	38
5.5	ANALISI DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE.....	46
6	MODELLO GEOLOGICO ED ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO	49
7	CAPACITA' PORTANTE PER FONDAZIONI SUPERFICIALE.....	51
8	VERIFICA AGLI STATI LIMITE	53
9	CALCOLO DEI CEDIMENTI	56
10	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	57

ELENCO ALLEGATI

STRALCIO P.R.G. ED UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

Tav.1

- | | |
|-------------------|---|
| Allegato 1 | Tavole dati CPT 1, CPT2 |
| Allegato 2 | Rapporto tecnico: indagine geofisica con la metodologia MASW e REMI, redatta dal Dott. Simone Bozzolan |
| Allegato 3 | Scheda stratigrafica relativa al sondaggio eseguito |
| Allegato 4 | Certificato analisi geotecniche di laboratorio |

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Comune di Sant'Agostino, é stata eseguita una campagna di indagine geognostica, al fine di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dall'edificazione della futura Caserma dei Carabinieri in via Donatori di Sangue/viale Europa in località Sant'Agostino (FE).

A seguito delle lesioni subite dall'edificio esistente a causa dell'evento tellurico del 20/05/2012, il Comune, in qualità di proprietario dell'area, ha richiesto l'esecuzione di una campagna di indagine geologico-geotecnica, ai sensi del D.M. 14/01/2008 (N.T.C.) e del "Decreto Legge 6 giugno 2012 - n. 74", per la localizzazione delle nuove strutture.

A tal scopo si è proceduto all'esecuzione di:

- un'indagine sismica tramite tecnica MASW (attiva e passiva);
- n. 2 prove penetrometriche statiche (CPT) spinte alla profondità di -20,00 metri da p.c;
- un sondaggio a carotaggio continuo spinto alla profondità di -20,00 metri da p.c., con prelievo di n°2 campioni indisturbati ed n°1 campione rimaneggiato;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni di terreno prelevati;
- installazione di n. 1 piezometro alla profondità di -12,00 metri da p.c.

Lo studio prevede la creazione di un modello geologico del terreno sede dell'opera e la classificazione del sito per la progettazione sismica come prescritto dal D.M. 14 Gennaio 2008.

Tale studio fa riferimento alla seguente normativa vigente:

- **EUROCODICE 7.1 (1997)**
- **EUROCODICE 8 (1998)**
- **L.R. 20/2000, art. 16, c.1** "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"
- **EUROCODICE 7.2 (2002)**
- **EUROCODICE 7.3 (2002)**
- **O.P.C.M. 3274 del 23.03.03**
- **Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3316** "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza n. 3274 del 20/3/03"

- **Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale.** “Nota esplicativa dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/03. Data: 4 giugno 2003”
- **LINEE GUIDA AGI (2005)**
- **Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3/5/05**
- **C.S.L.P.** “Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007”
- **ATTO DI INDIRIZZO REGIONALE n. 112/2007**
- **D.M. 14.01.2008** “Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni”
- **C.S.L.P.** “Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 Gennaio 2008. Circolare 2 Febbraio 2009”
- **Ordinanza del Commissario Delegato per la ricostruzione n. 70 del 13/11/2012**

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L’area in esame è situata in via Donatori di Sangue/viale Europa a Sant’Agostino (FE), come illustrato in Figura 2.1.



Figura 2.1 – Ubicazione area di indagine (fonte: <http://maps.google.it/>)

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO

Nel seguente capitolo viene fornito un inquadramento geologico, listrostratigrafico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area in esame.

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

La Pianura Padana è un ampio bacino sedimentario la cui genesi ha avuto inizio nel Terziario (65 milioni di anni fa) e rappresenta un'avanfossa per entrambe le catene montuose dalle quali essa è delimitata: le Alpi Meridionali a Nord ed il margine settentrionale degli Appennini a Sud. La sua evoluzione strutturale è connessa con la dinamica degli eventi che hanno interessato la placca litosferica Africana ed Eurasiatica, che hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione.

L'evoluzione geologica della Pianura Padana ha lasciato le sue tracce nella struttura tettonica ancor oggi riconoscibile in profondità, sotto la coltre dei sedimenti alluvionali. In particolare si possono distinguere:

- gruppi di pieghe ad andamento NW-SE, interessati da frequenti ondulazioni assiali asimmetriche, con vergenza verso N e con un'immersione generale verso SE;
- un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE, WNW-ESE e N-S, con la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione (Figura 3.1).

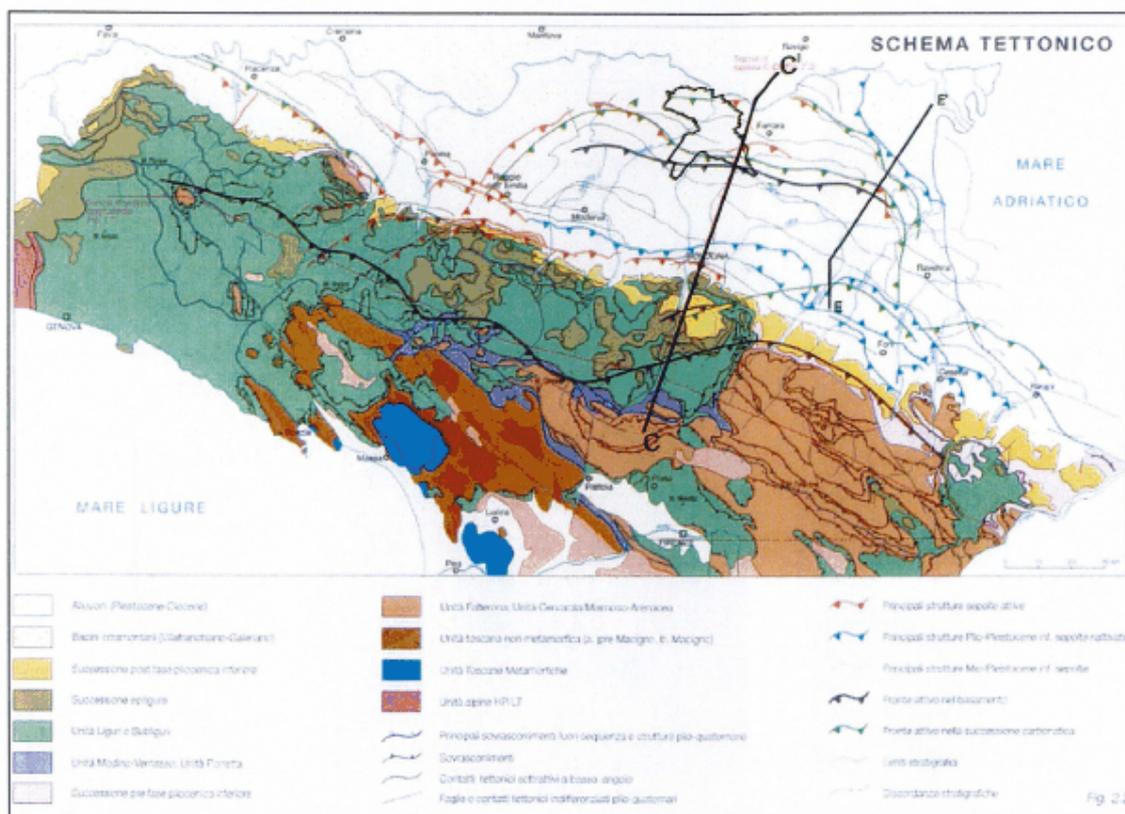


Figura 3.1 – Schema tettonico tratto dalla “Carta Geologico-Strutturale dell’Appennino Emiliano-Romagnolo

Si osserva quindi una contrapposizione tra la grande monoclinale pedalpina e le pieghe appenniniche sepolte riconducibili ai tre archi principali: "Arco del Monferrato" che si estende da Torino a Tortona, "Arco delle pieghe emiliane" che si estende dall'Appennino Vogherese a San Colombano e a Sud sino alla linea del Sillaro e "Arco delle pieghe ferraresi e romagnole" ubicate nella parte Nord-Est dell'Appennino emiliano orientale.

"Arco delle pieghe ferraresi e romagnole"

Nell'ambito dell'arco ferrarese-romagnolo si possono distinguere tre gruppi minori di pieghe: ferraresi, romagnole, adriatiche.

Le *pieghe ferraresi* sono le più esterne, con nucleo mesozoico molto sollevato e tettonizzato; ad esse si affianca, nella parte a mare, l'arco delle *pieghe adriatiche* che si accavallano sulla monoclinale adriatica e sono caratterizzate da forte disarmonia tra clastici e carbonati sottostanti. Nella parte interna (a Sud), l'arco delle pieghe ferraresi ed adriatiche è a contatto con le pieghe romagnole che presentano una forte disarmonia strutturale fra le formazioni terziarie piegate e i sottostanti calcari mesozoici relativamente meno tettonizzati.

Tutte le strutture sopraindicate sono delimitate esternamente da fasci di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; al contrario, nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo (Figura 3.2). Gran parte delle

strutture compressive descritte si sono determinate già prima del Pliocene, come conseguenza di spinte tangenziali, mentre in seguito sono stati prevalenti i movimenti verticali, soprattutto di subsidenza.

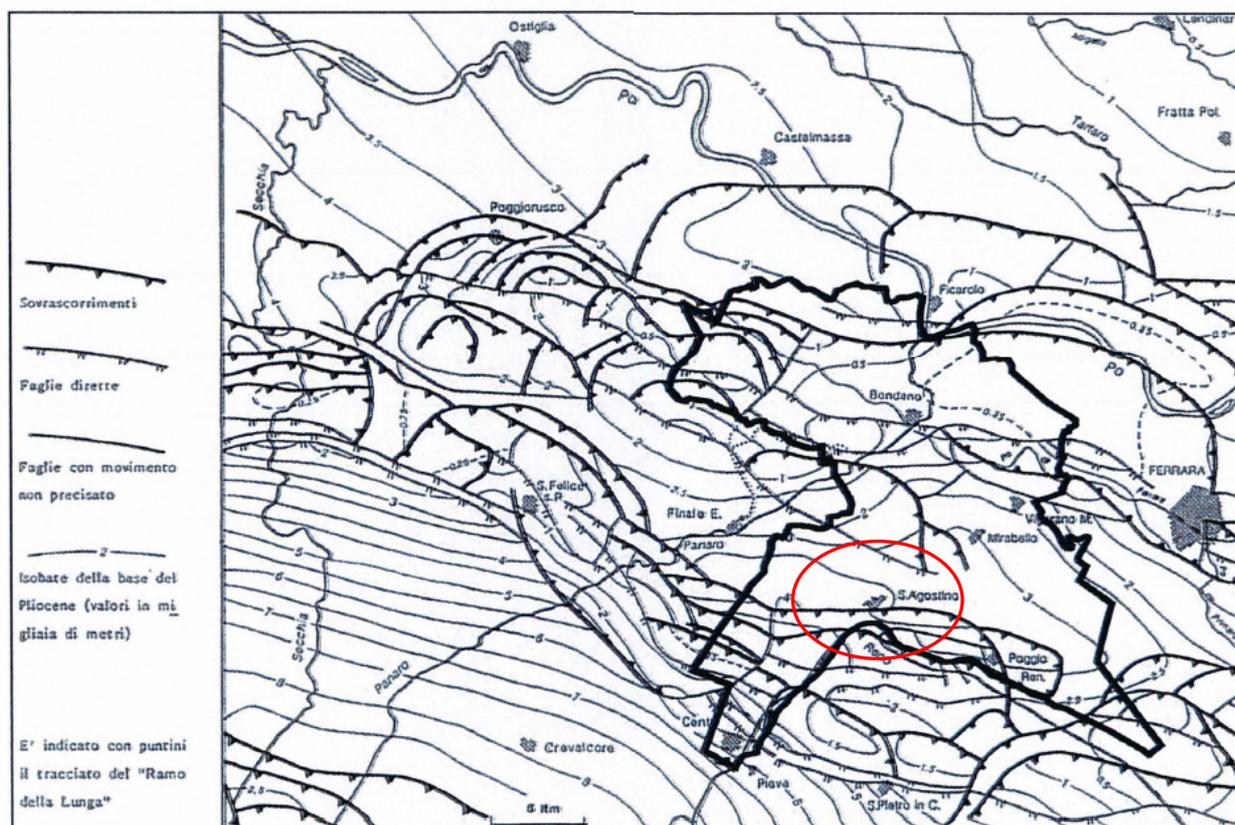


Figura 3.2 – Dettaglio della “Carta Strutturale della base del Pliocene”.
In rosso un’ubicazione di massima del territorio comunale di indagine.

“La Dorsale Ferrarese”

L'unità dominante delle pieghe ferraresi (C.N.R., 1986) è senza dubbio la *“Dorsale Ferrarese”*, costituita da pieghe, pieghe-faglie e faglie molto inclinate ad orientamento WNW-ESE, vergenti verso NNE, la quale già nel Pliocene aveva funzione di alto strutturale (Figura 3.3). La Dorsale Ferrarese è localizzata nell'area centro-occidentale della provincia ferrarese tra Ferrara e le Valli di Comacchio; le sue culminazioni principali sono costituite dalle anticlinali di Ficarolo, di Poggio Rusco, di Mirandola e di Novi-Correggio.

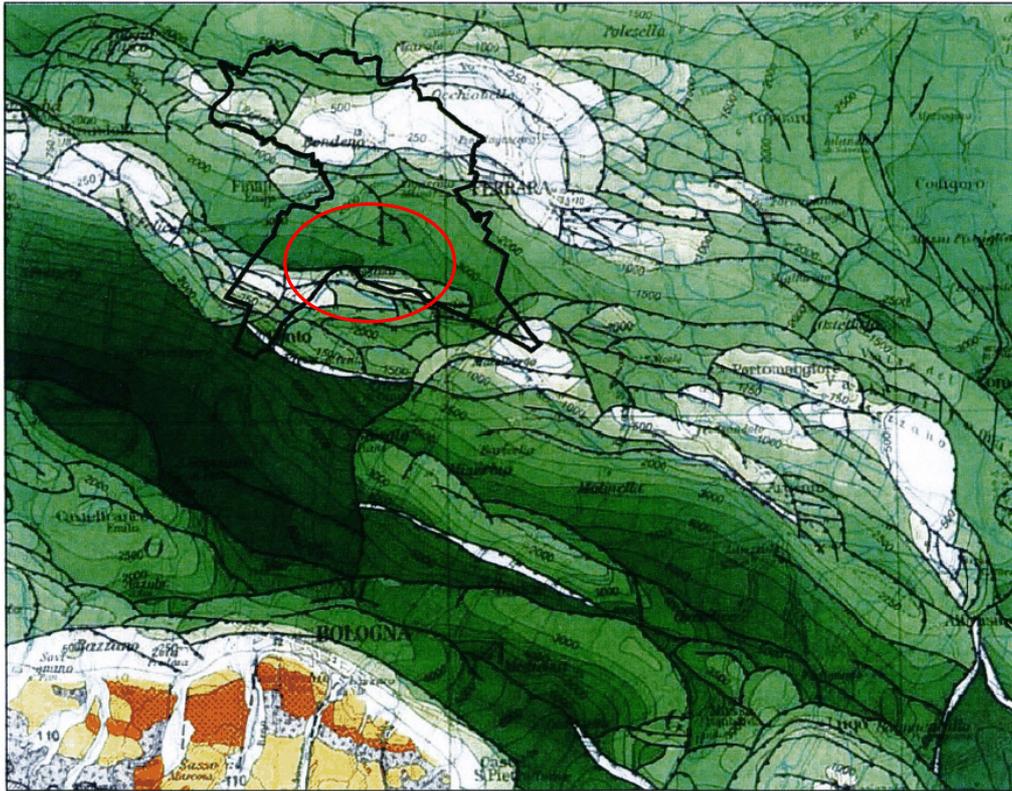


Figura 3.3 – Stralcio della “Carta Strutturale del Nord Italia” - le isobate rappresentano la base del Pliocene (espresse in metri). In rosso un’ubicazione di massima del territorio comunale di indagine.

La peculiarità di questo sistema di pieghe è che costituiscono un alto strutturale del substrato calcareo Mesozoico, con riduzione o assenza dei sovrastanti sedimenti terziari, asportati dall'azione dei processi erosivi legati all'emersione dell'area durante il Pleistocene medio. Ai lati della Dorsale si sono impostate, invece, due zone a forte subsidenza: nella regione del delta a Nord e nel Ravennate a Sud; in particolare, a Sud della Dorsale s'individua il bacino Emiliano-Romagnolo dove la base del Pliocene si approfondisce rapidamente, così come a Nord verso la fossa Padano-Adriatica (Masè, 1983).

La struttura è disposta secondo la direzione WNW-ESE lungo una linea passante fra Bondeno e Poggio Rusco dove la profondità della base del Pliocene varia tra i 400 e i 600 m. Gli assi delle pieghe, facenti parte di questo complesso, hanno andamento circa W-E e si individuano faglie inverse con andamento preferenziale vergente verso Nord e perpendicolare agli assi delle pieghe stesse.

3.2 INQUADRAMENTO LITO-STRATIGRAFICO

3.2.1 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

La complessa storia geologica della Pianura Padana, affiancata all'azione della rete idrografica, di trasporto e sedimentazione dei materiali provenienti dall'erosione delle terre emerse, hanno portato ad avere spessori di sedimenti che variano da circa 200 m in corrispondenza dell'alto strutturale della Dorsale Ferrarese, a oltre 3000 m nella zona corrispondente al litorale attuale.

Si possono distinguere due unità strutturali principali: *Unità Profonda* antecedente a -3,55 milioni di anni fa e costituita da sedimenti del Messiniano e Pliocene inferiore e *Unità Superiore* posteriore a -3,55 milioni di anni fa e costituita da sedimenti del Pliocene medio-superiore e del Quaternario in concomitanza tra loro (Figura 3.4).

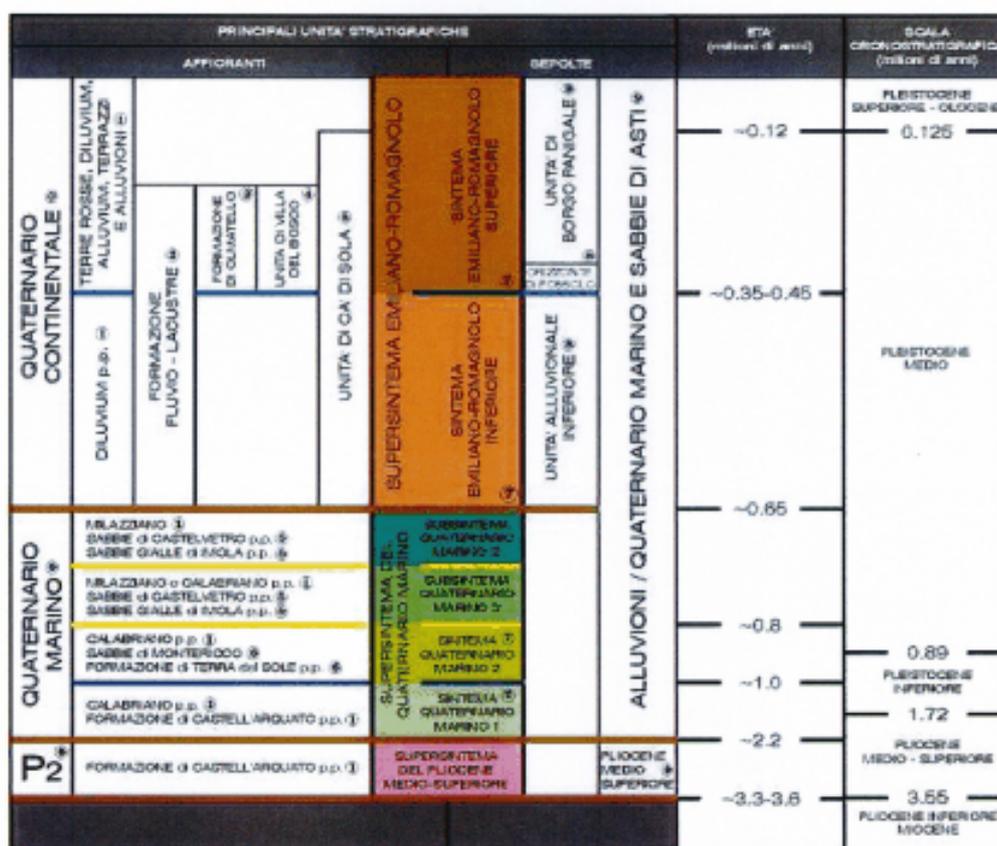


Figura 3.4 – Inquadramento geologico-stratigrafico

L'Unità Profonda

I terreni di tale unità sono concordanti tra loro e deformati secondo pieghe e faglie orientate NW-SE. In dettaglio, l'evoluzione sedimentaria si è svolta secondo quanto di seguito riportato (dal più antico, e quindi più profondo, al più recente). I terreni del Cretaceo, per lo più formati da scaglia rossa, sono stati trovati a 697 m di profondità a Casaglia, in corrispondenza della Dorsale Ferrarese. L'Eocene, litologicamente dall'alto verso il basso, è formato da conglomerati ed arenarie, marne arenacee, calcari marnosi bianchi, scaglia cinerea, scaglia rossa. L'Oligocene è costituito da marne

arenacee, marne calcaree e calcari marnosi. Il Miocene Inferiore è costituito da marne, marne arenacee ed arenarie; con la fine del Miocene inferiore, durante il Langhiano si registra una pausa nell'apporto di materiale clastico grossolano e prevalente deposizione di marne e argille. Nel Miocene medio, rappresentato litologicamente da marne calcaree ed arenacee, argille marnose e sabbie, il fenomeno subsidente riprende e con lui anche il ripiegamento del fondo della fossa: si vengono così a creare zone di alto strutturale. Fra queste strutture si comincia ad individuare una fascia di pieghe molto rilevate descrivente un arco tra Comacchio e l'Appennino Modenese, la *Dorsale Ferrarese*. Nel Miocene superiore si ha un arresto della subsidenza e si instaura un ambiente lagunare ipersalino con sedimentazione di depositi evaporitici (banchi di marne, arenarie e gessi) rappresentanti facies lagunari e salmastra. Nel periodo di transizione tra Miocene e Pliocene, si ha un'ulteriore fase tettonica con evidenti fenomeni di piegamento e conseguente emersione dal mare di vaste aree del settore sud orientale della pianura.

Nel Pliocene inferiore la subsidenza riprende con deposizione di sedimenti clastici grossolani nelle depressioni e di sedimenti a granulometria minore sulle dorsali sommerse. Le pieghe ferraresi continuano a rimanere emerse. Alla fine del Pliocene inferiore, si verifica una nuova fase di emersione e piegamento, senza segni evidenti di variazione dell'orientamento delle direttrici tettoniche. All'inizio del Pliocene medio le anticlinali emersero dal mare con conseguente erosione del loro apice. Litologicamente, il Pliocene nelle due facies Astiano e Piacenziano è costituito da argille azzurre molto fini, con porosità bassissima; si notano inoltre minime intercalazioni sabbiose alla base.

L'Unità Superiore

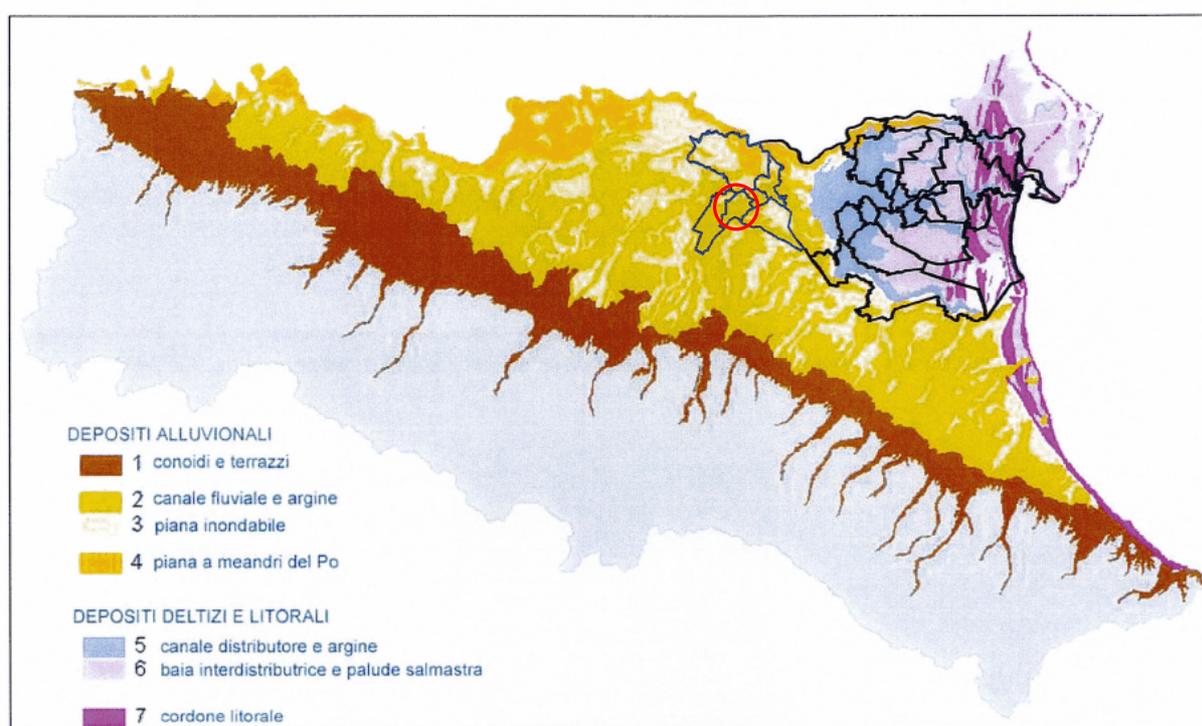
Tale successione poggia in trasgressione e discordanza sul Pliocene inferiore all'apice delle anticlinali, mentre nelle sinclinali è ancora concordante e continua con i sedimenti sottostanti.

Il Pleistocene Inferiore è caratterizzato litologicamente da sabbie argillose e argille sabbiose. Il Pleistocene Superiore presenta depositi con un'alternanza di episodi a facies litorale, lagunare e palustre-continentale. L'Olocene è litologicamente costituito da sabbie a varia granulometria, con argille più o meno sabbiose e localmente lenti di torba. Infine, nel Quaternario recente prevale la sedimentazione in connessione con le variazioni eustatiche del livello marino provocate dalle glaciazioni, cosicché sostanziosi depositi continentali si sovrappongono ai sedimenti marini con completo ricoprimento delle strutture geologiche precedenti.

Successione sedimentaria superficiale

La gran parte dei sedimenti che affiorano sulla superficie della pianura emiliano-romagnola fanno parte della successione post-evaporitica del margine padano-adriatico e derivano dalla complessa relazione fra il fiume Po a Nord, i fiumi appenninici a Sud ed il Mare Adriatico ad Est.

Nelle seguenti immagini si riporta la “Carta della Geologia di Superficie dell'Emilia-Romagna” (Figura 3.5), che descrive la distribuzione e le caratteristiche litologiche e di facies delle unità stratigrafiche contenute nel Supersistema Emiliano-Romagnolo, che rappresenta l'unità stratigrafica comprendente l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale che affiorano in corrispondenza del margine appenninico padano (Ricci Lucchi et alii, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola.

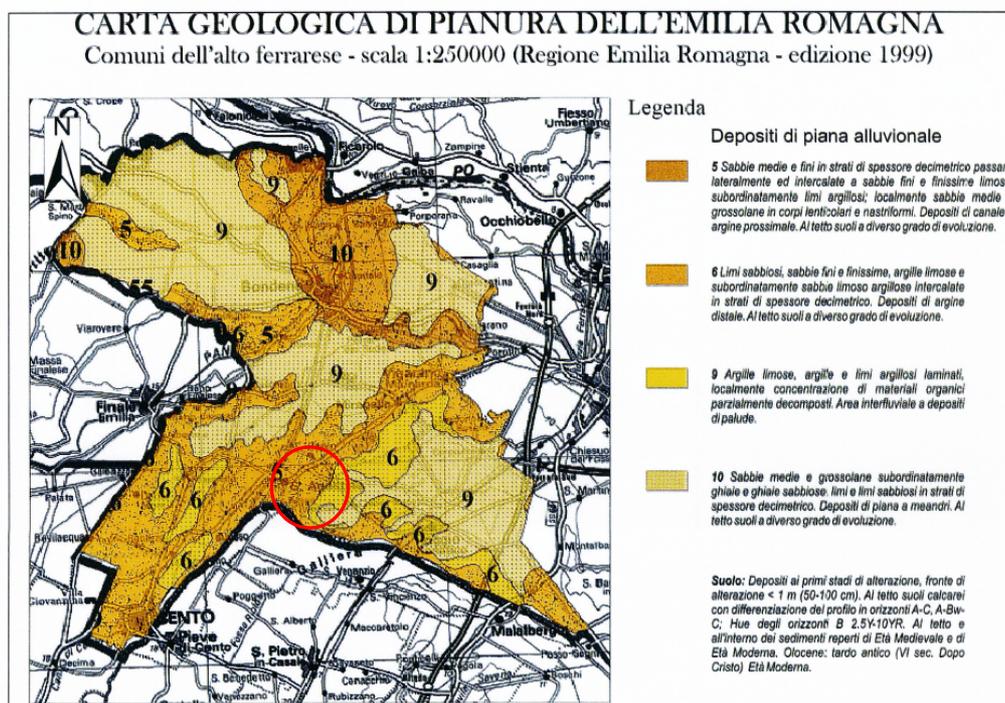


*Figura 3.5 – Sintesi dei sistemi deposizionali estratta dalla Carta geologica di Pianura.
In rosso un'ubicazione di massima del territorio comunale di indagine.*

Si può affermare che i terreni sabbiosi sono localizzati principalmente in corrispondenza di antichi alvei fluviali o di loro cono di esondazione, i materiali più fini si sono invece depositati principalmente nelle piane alluvionali in seguito a straripamento dei fiumi o rotta degli argini naturali.

Dall'analisi della Carta, si può notare un'area abbastanza ampia che partendo da Cento, prosegue verso Nord per Sant'Agostino, Mirabello, Vigarano Mainarda e da qui ripiega verso Sud (Figura 3.6) caratterizzata dalle alluvioni ascrivibili ai diversi alvei, sia natura contatti graduali. Si

estendono su un'area abbastanza ampia che partendo da Cento, prosegue verso Nord per Sant'Agostino, Mirabello, Vigarano Mainarda e da qui ripiega verso Sud.



*Figura 3.6 – Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna.
In rosso un'ubicazione di massima del territorio comunale di indagine.*

3.2.2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI DEPOSITI SUPERFICIALI

La distribuzione dei vari tipi litologici è chiaramente legata al reticolo idrografico dei rami del Po e del Reno, che anticamente divagavano in questo settore della pianura. In corrispondenza dei paleoalvei sono presenti sedimenti sabbiosi (principalmente sabbie limose e sabbie argillose), alternati a terreni equilibrati (miscela ternarie argilla-limo-sabbia).

In particolare, la quasi totalità del territorio comunale di Sant'Agostino è interessato da miscela ternarie di argilla-limo-sabbia che nella porzione Nord occidentale passano a termini argilloso-sabbiosi; un esteso corpo da sabbioso-argilloso a sabbioso è cartografato presso l'abitato di Dosso mentre uno sabbioso-limoso si trova a Sud dell'abitato di Sant'Agostino.

Nella zona di studio, come risulta dallo stralcio Carta B2.2 “Carta delle litologie di superficie” (Figura 3.7) del PSC dell’Alto Ferrarese, la litologia dominante è rappresentata da una miscela ternaria di argilla, sabbia e limo.

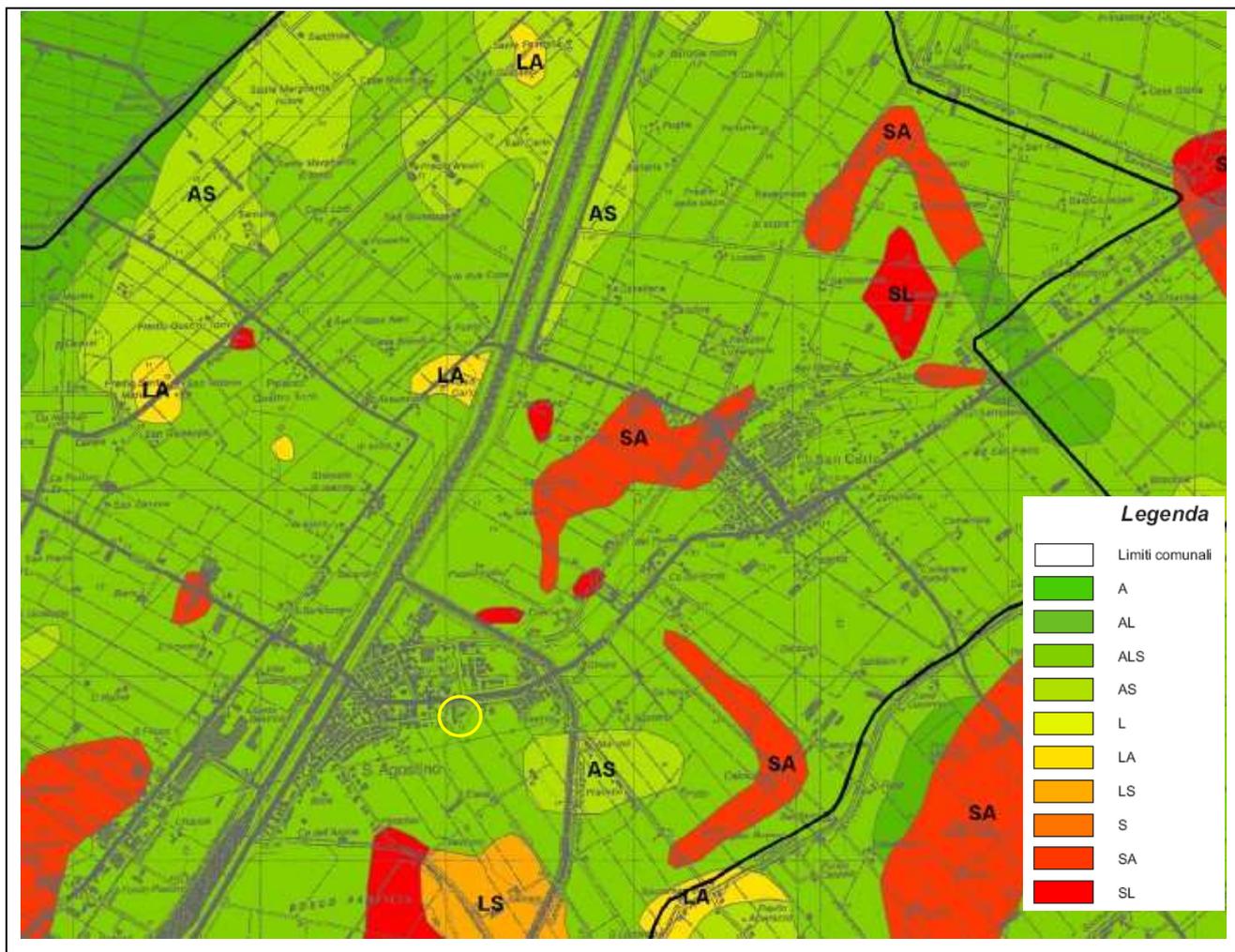


Figura 3.7 - Stralcio Tavola B2.2 "Carta delle litologie di superficie" PSC Alto Ferrarese
In giallo un'indicazione di massima dell'area indagata

3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

In pianura le caratteristiche morfologiche principali sono senza dubbio legate all'evoluzione del sistema idrografico, che a sua volta viene condizionato dai caratteri climatici e dalle strutture geologiche del sottosuolo. In particolare, per quanto riguarda la Pianura Padana si può dire che la sua genesi non è stata un fenomeno regolare in quanto si sono alternati nel tempo numerosi episodi di sommersione ed emersione provocati dalle fluttuazioni eustatiche del livello del mare, connesse alle variazioni climatiche. Ad ogni glaciazione, infatti, il livello del mare si abbassava (regressione) ed emergevano vaste pianure costiere destinate a venire nuovamente sommerse durante le fasi interglaciali, quando il livello del mare tornava ad alzarsi (trasgressione) e le grandi quantità di sedimenti trasportati dai fiumi colmavano le fasce marine litoranee, determinando un progressivo avanzamento della linea di costa (Ferrari, 1996). L'evoluzione della rete idrografica padana è ovviamente collegata alle suddette variazioni climatiche in quanto dal clima dipendono i processi geomorfologici di erosione, trasporto e sedimentazione dei fiumi.

L'ultima glaciazione wurmiana ha praticamente cancellato tutte le tracce morfologiche o idrografiche preesistenti, rimodellando completamente la superficie della pianura. Possiamo dunque porre come data di nascita della configurazione attuale della Pianura Padana l'ultimo periodo postglaciale, durante il quale i corsi d'acqua, originati dallo scioglimento dei ghiacciai, scendevano verso valle con forte capacità erosiva e sedimentavano imponenti quantità di materiali.

Lo studio e l'interpretazione della "Carta geomorfologica" (in Figura 3.8 si riporta uno stralcio relativamente al territorio comunale in esame) risultano piuttosto complessi in quanto essa è costituita da un intreccio di tracce di paleoalvei che si sono intersecati e sovrapposti nel tempo.

Da una prima osservazione emerge che il territorio risulta dominato da un lato da fasce di terreno particolarmente elevate (12/14 m s.l.m. per i paleo alvei dossivi del PaleoPo e del PaleoReno; 9/11 ms.l.m per i paleoalvei dossivi di corsi d'acqua secondari) ben riconoscibili in corrispondenza dei corsi fluviali attuali ed estinti, e dall'altro da varie zone depresse e bacini interfluviali (3/6 ms.l.m.). In particolare, la zona dell'Alto Ferrarese è attraversata da Sud fino alla zona centrale da una complessa rete di dossi, spesso molto pronunciati, legati in prevalenza alle continue diversioni dell'alveo del Reno succedutesi nei secoli, ed intervallati da aree di depressione relativa; mentre, la parte Nord ed Est è caratterizzata da zone di altitudine media con una depressione pronunciata (fino a 3 m s.l.m nella Diamantina).

Inoltre, tutta la rete fluviale attuale ed antica e specie gli elementi morfologici dossivi hanno un andamento sinuoso ed un orientamento generale WNW-ESE, cioè subparallelo alle strutture tettoniche profonde della Dorsale Ferrarese, soprattutto nella parte più occidentale, mentre nella parte centro-orientale hanno una direzione prevalentemente N-S, a testimonianza del condizionamento della tettonica profonda sull'evoluzione dei corsi d'acqua.

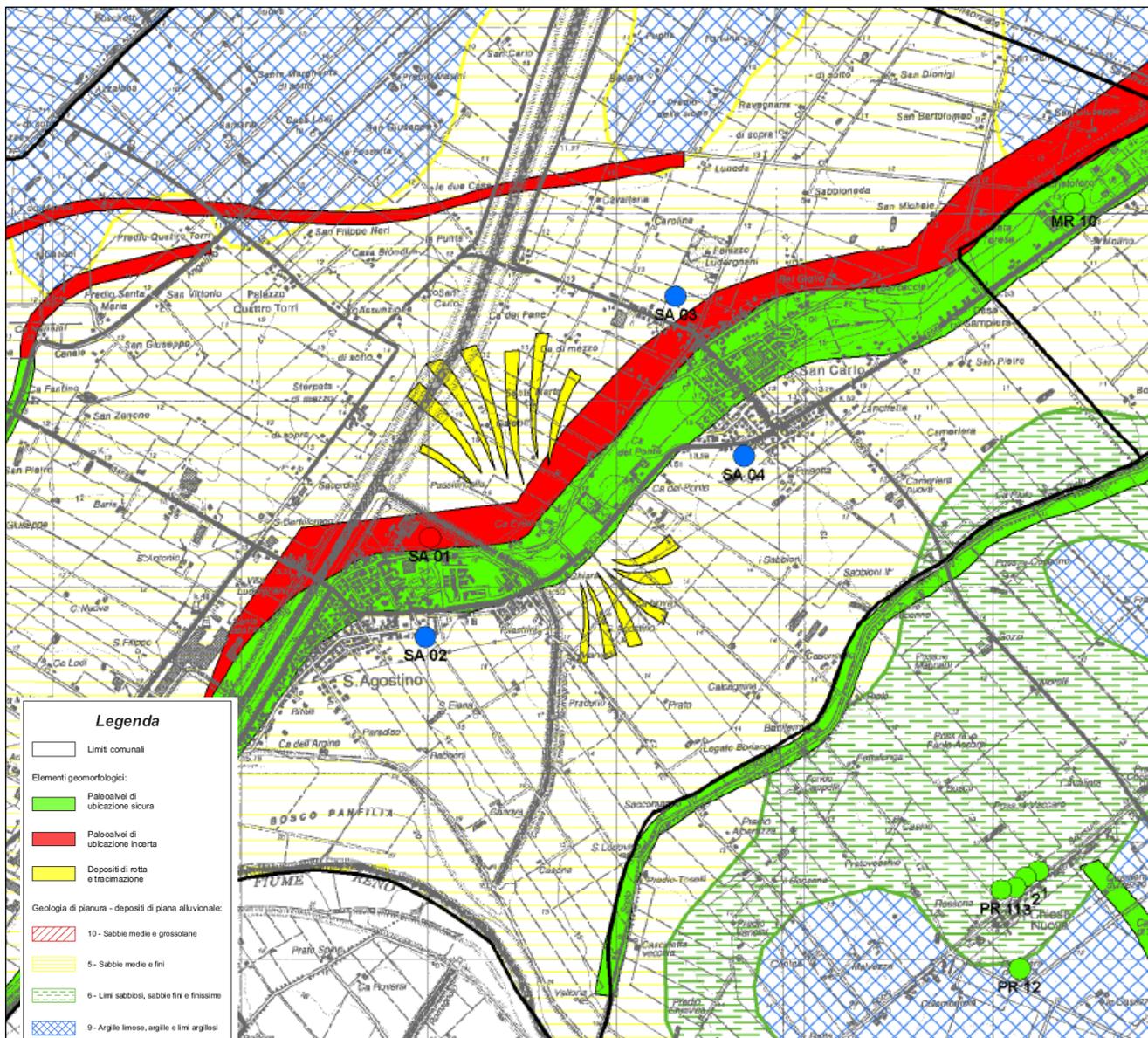


Figura 3.8 - Stralcio Tavola B2.1 “Carta geomorfologica” PSC Alto Ferrarese

3.4 TOPOGRAFIA DEL TERRITORIO

La carta altimetrica costituisce uno strumento fondamentale per la pianificazione territoriale, la difesa del suolo e la gestione idraulica. Il Modello altimetrico della Provincia di Ferrara (DTM, Digital Terrain Model) è stato ricostruito grazie ai punti quotati della Carta Tecnica Regionale a scala 1:5.000 e sintetizza, mediante isoipse di equidistanza 1 metro, il quadro derivante dall’analisi delle quote puntuali. Per il territorio in oggetto le informazioni altimetriche disponibili sono sostanzialmente di due tipi:

- 1) Punti appartenenti a linee/reti di livellazione geometrica tecnica, di precisione e di alta precisione con un errore medio di 1mm/km; i caposaldi di livellazione appartengono a :
 - linee di livellazione di precisione dell’IGM;

- linee di livellazione di alta precisione dell'ARPA Emilia-Romagna;
 - linee di livellazione di precisione di altri Enti (Consorzio di Bonifica, AGIP, reti locali comunali e provinciali, ...);
- 2) Punti quotati riportati sulla Carta Tecnica Regionale, CTR in scala 1:5.000, realizzata tramite volo aerofotogrammetrico negli anni 1977/1979 con quota di volo di circa 2.000 metri, con inquadramento altimetrico derivato dai caposaldi delle linee di livellazione dell'IGMI. Nelle aree di pianura le informazioni altimetriche sono riportate tramite punti quotati isolati, con una tolleranza altimetrica di ± 1.20 m ed in numero medio di 15 punti ogni 25 ettari.

Dalla carta altimetrica (Figura 3.9) è inoltre possibile localizzare con una certa facilità gli antichi corsi dei principali fiumi che hanno solcato queste terre, ora espressi come paleoalvei dossivi e ben riconoscibili sulla carta. In particolare sono evidenti il corso dal paleo-Reno (colorazione arancio-rosso) che dal territorio centese si dirigeva verso il paleoalveo del Po di Ferrara, l'area di divagazione del paleo-Reno presente in prossimità dell'abitato di Sant'Agostino ed infine i dossi imputabili ai paleo-Po di diverse epoche (Poazzo e Po di Ferrara) che si sviluppano nell'area in cui oggi scorre il Fiume Panaro.

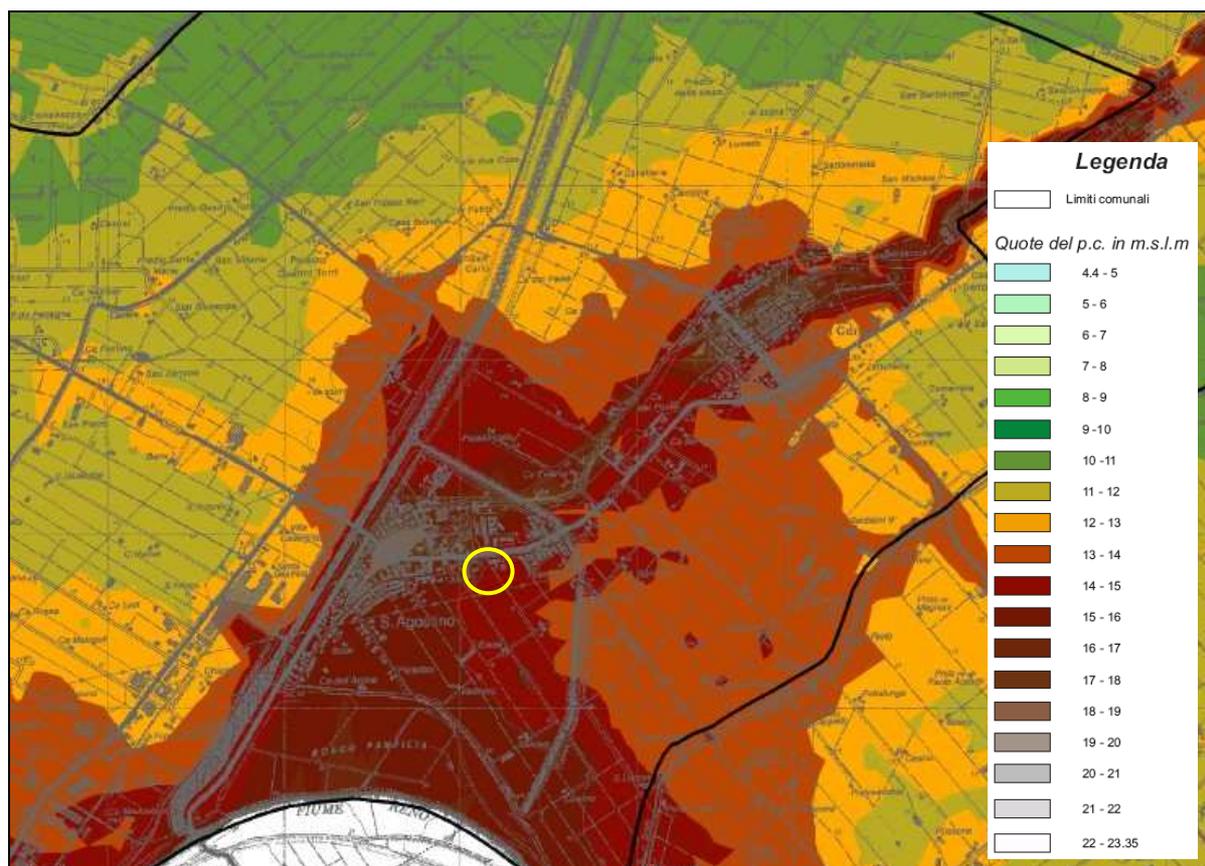


Figura 3.9 - Stralcio Tavola B2.3 "Carta altimetrica" PSC Alto Ferrarese. In giallo un'indicazione di massima dell'area indagata

3.5 LA SUBSIDENZA

La subsidenza è un fenomeno di abbassamento della superficie terrestre causato da cambiamenti che avvengono nel sottosuolo. La Pianura Padana ed, in particolare, quella emiliano-romagnola, è soggetta a fenomeni estesi di subsidenza (Carminati et al., 2006) che hanno prodotto e, in certi casi, continuano a produrre notevoli danni. Questo processo può derivare da:

- *cause naturali*, dovute al costipamento di sedimenti recenti non litificati e alla risposta isostatica della crosta terrestre al variare dei carichi verticali;
- *cause artificiali*, legate all'azione dell'uomo sul territorio (abbassamenti dei livelli piezometrici di falde di bassa e media profondità derivanti da emungimenti, prosciugamenti di zone umide e abbassamenti del livello delle falde freatiche per opere di bonifica, variazione del chimismo delle acque delle acque sotterranee – in particolare il grado di salinità).

Il fenomeno di subsidenza diviene un fattore di rischio quando l'abbassamento del terreno è particolarmente forte o quando la topografia è già depressa e prossima al livello del mare. A causa delle basse pendenze, infatti, il mare ostacola il deflusso delle acque superficiali, alterando il profilo longitudinale degli alvei fluviali e soprattutto dei canali di scolo e dei collettori fognari; modifica inoltre i dislivelli che gli impianti idrovori devono vincere per avviare le acque verso il mare.

Per lo studio della subsidenza la metodologia utilizzata è costituita dalle livellazioni geometriche ottenute dalla rete geodetica nazionale IGMI e dalla rete dell'ARPA Emilia Romagna (Figura 3.10).

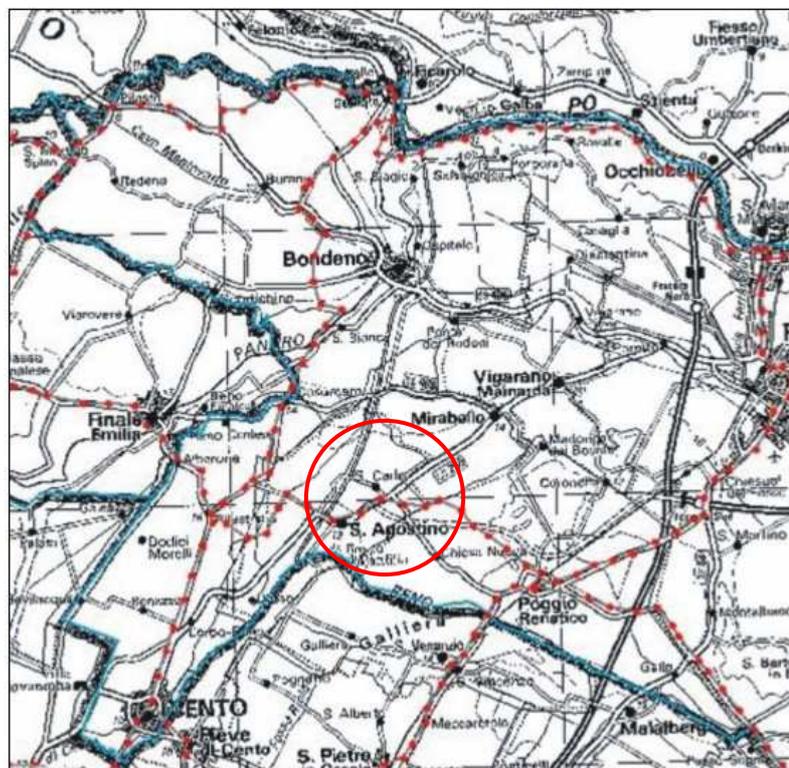


Figura 3.10 – Rete geodetica nazionale.
In rosso un'ubicazione di massima del territorio comunale di indagine

Per una pianura alluvionale come quella dell'Emilia Romagna i valori di subsidenza naturali sono di 0,1-0,3 cm/anno, mentre i valori effettivamente misurati negli ultimi decenni sono spesso maggiori di 0,4 cm/anno, con punte di 4-5 cm/anno, a conferma che sul territorio agiscono anche fenomeni di subsidenza artificiale, talvolta di notevole entità.

Nel particolare, l'alto ferrarese è interessato da fenomeni di subsidenza di scarsa entità (ad eccezione dell'area della Sammartina e di Cento); nel Comune di Sant'Agostino gli abbassamenti hanno valori inferiori a 0,4 cm/anno nella metà settentrionale del territorio e aumentano spostandosi verso Sud, fino a raggiungere valori prossimi a 1 cm/anno al confine con il Comune di Cento (Figura 3.11).

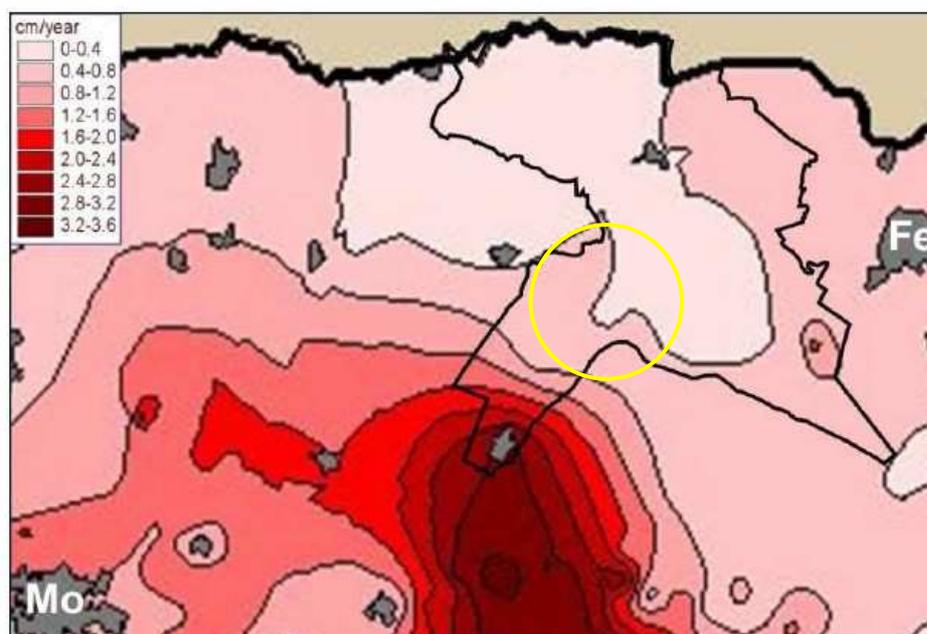


Figura 3.11 – Particolare per la zona dell'Alto Ferrarese della Carta delle curve di uguale velocità di abbassamento del suolo (cm/anno) nel periodo 1970/1999 (da ARPA Emilia-Romagna)
In giallo un'ubicazione di massima del territorio comunale di indagine.

3.6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Relativamente all'acquifero emiliano-romagnolo, si riconoscono tre gruppi acquiferi (denominati dall'alto al basso A, B e C), separati fra loro da barriere di permeabilità di estensione regionale, che isolano perfettamente i diversi sistemi di circolazione e quindi le risorse allocate nei diversi Gruppi Acquiferi, cosicché ciascuno di essi è caratterizzato da un differente stato qualitativo/quantitativo.

Ciascun gruppo acquifero è stato suddiviso a sua volta in tredici unità idrostratigrafiche gerarchicamente inferiori, denominate complessi acquiferi, secondo un modello di suddivisione gerarchico (ENI-AGIP, 1988), basato sul volume complessivo di acquiferi utili in ciascuna unità e su spessore, continuità ed estensione areale del livello acquifero di ciascuna unità (Figura 3.12).

UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE				ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONO- STRATIGRAFICA (milioni di anni)
GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO	SISTEMA ACQUITARDO		
A	A1			- 0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE 0.125
	A2				
	A3				
	A4				
B	B1			- 0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO
	B2				
	B3				
	B4				
C	C1			- 0.65	0.89 PLEISTOCENE INFERIORE 1.72 PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE 3.55 PLIOCENE INF. MIocene
	C2			- 0.8	
	C3			- 1.0	
	C4			- 2.2	
	C5			- 3.9	
ACQUITARDO BASALE					

Figura 3.12 – Schema idrostratigrafico

Dal punto di vista genetico, gli acquiferi individuati sono essenzialmente di due tipi (Figura 3.13): a Sud vi sono le ghiaie che i fiumi appenninici depositano ed hanno depositato appena usciti dalle valli, allo sbocco in pianura che formano dei grossi corpi ghiaiosi sovrapposti gli uni agli altri per alcune centinaia di metri di spessore (conoidi); a Nord vi sono le sabbie che il Po ha sedimentato lungo il suo percorso e nel suo apparato deltizio (pianura alluvionale).

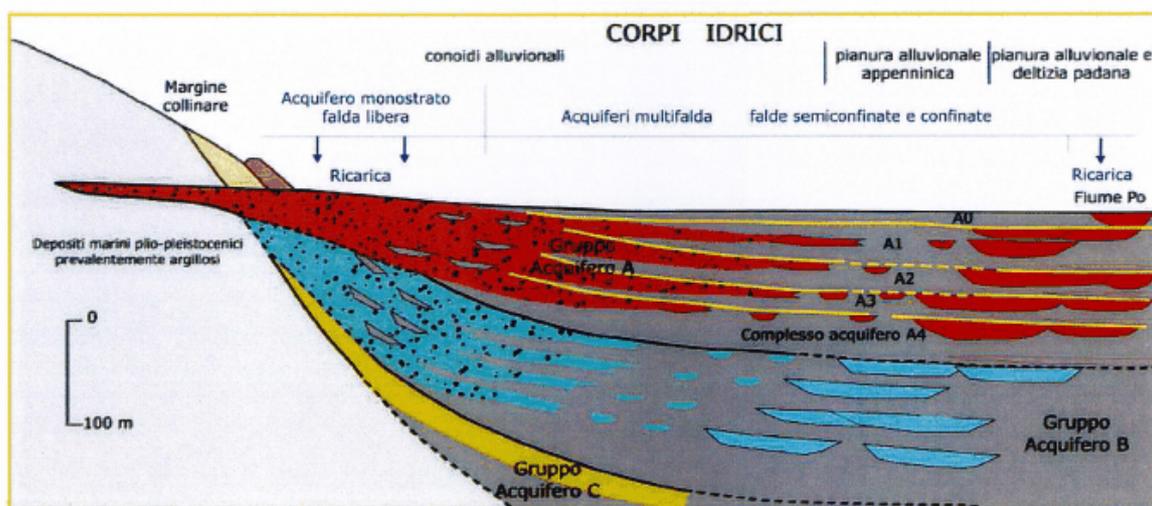


Figura 3.13 – Distribuzione schematica dei corpi idrici e delle unità idrostratigrafiche del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola

Gli acquiferi costituiti dalle ghiaie appenniniche si congiungono lateralmente a quelli formati dalle sabbie padane tra Piacenza e Parma, mentre a partire dal reggiano sino al mare vi è un ampio e

spesso corpo di depositi della pianura alluvionale formati prevalentemente da limi ed argille che si interpongono tra essi mantenendoli fisicamente separati ed impedendone il contatto idraulico (*acquitardi*). La distinzione dei sistemi padani rispetto a quelli appenninici si basa sul fatto che i corpi sabbiosi di origine padana sono molto più abbondanti e più spessi di quelli appenninici ed hanno una maggiore continuità laterale, a scala delle decine di chilometri.

L'area dell'Alto Ferrarese è interessata solo dal secondo tipo di acquifero ed in particolare dal complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana, costituito quasi esclusivamente da sabbie grossolane e medie.

All'interno di questa unità sono comunque riconoscibili alternanze cicliche lungo la verticale, organizzate all'interno nel modo seguente:

- la base, spessa mediamente una decina di metri, è per lo più costituita da limi-argillosi;
- la porzione intermedia, di spessore decametrico con continuità laterale di decine di chilometri, è composta da depositi limoso-sabbiosi spesso alternati a depositi sabbiosi;
- la parte sommitale, di spessore decametrico con continuità laterale di decine di chilometri, è caratterizzata dalla presenza di depositi sabbiosi.

Localmente, in particolare nelle zone di alto strutturale interne al bacino, lo spessore di depositi grossolani può arrivare a costituire la quasi totalità dello spessore dell'unità.

Nonostante, complessivamente, vi sia una elevata percentuale di depositi sabbioso-grossolani, la circolazione idrica all'interno di questi depositi è complessivamente ridotta. Gli scambi fiume-falda sono possibili solamente con gli acquiferi meno profondi (A1), mentre nei sottostanti il flusso avviene in modo francamente compartimentato in condizioni confinate. I valori medi di gradiente idraulico sono quindi pari a circa 0.2-0.3 ‰.

4 INDAGINE ESEGUITE IN SITO

Nel seguente capitolo vengono riportate le indagini eseguite nel sito in esame nel Giugno 2013, atte alla caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni di fondazione interessati dall'opera in progetto.

In particolare verranno descritte:

- in **paragrafo 4.1** le n° 2 prove penetrometriche statiche (CTP) mirate al riconoscimento stratigrafico dei terreni indagati e alla determinazione indiretta di alcuni parametri geotecnici;
- in **paragrafo 4.2** l'indagine sismica eseguita mediante tecnica MASW per la determinazione del parametro Vs30;
- in **paragrafo 4.3** le modalità di esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo e dell'installazione del piezometro oltre ai i campioni prelevati nel corso della perforazione e le analisi geotecniche eseguite.

4.1 *PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)*

Al fine di determinare con adeguato dettaglio le caratteristiche lito-stratigrafiche del sito interessato dal futuro intervento in oggetto, in data 26/06/2013 sono state eseguite dalla Società INFOMAP S.r.l. di Ferrara, n°2 prove penetrometriche statiche, spinte alla profondità di -20,00 metri da p.c., attraverso le quali è stato possibile investigare il volume di terreno, attinente alle condizioni di stabilità dei sistemi geotecnici, che sarà interessato dalla variazione degli stati tensionali indotti dalla realizzazione del manufatto in progetto.

L'ubicazione dell'indagine eseguita è riportata su stralcio P.R.G. del Comune di Sant'Agostino (v. Tav. 1).



Figura 4.1 – Localizzazione prova CPT 1



Figura 4.2 – Localizzazione prova CPT 2

4.1.1 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLE CPT

La prova penetrometrica statica CPT (Cone Penetration Test) è stata eseguita mediante penetrometro meccanico da 20 tonnellate di spinta auto-ancorante, con punta standard tipo Begemann in accordo con la procedura di riferimento ISSMFE (codice RM).

Questa prova geognostica consiste nell'infiggere, con velocità costante di 2 cm/sec, a pressione nel terreno una punta meccanica, misurando ogni 20 cm lo sforzo necessario alla penetrazione della stessa e l'adesione acciaio – terreno di un manicotto posto al di sopra della punta.

Le caratteristiche tecniche standardizzate della punta *Begemann* sono le seguenti:

- diametro di base del cono $\phi = 35,7$ mm;
- angolo di apertura del cono (α) = 60°
- superficie laterale del manicotto (A_m) = 150 cm²
- area della punta (A_p) = 10 cm²
- diametro esterno delle aste cave = 36 mm
- costante di trasformazione (C_t) = 10

I vari parametri di prova sono ottenuti mediante le seguenti relazioni:

- resistenza alla punta
- resistenza unitaria di attrito laterale locale
- rapporto della resistenza (Friction Ratio)
- $R_p = (LP * C_t)/A_p$
- $R_f = R_l = (LL - LP) * C_t/A_m$
- $FR (\%) = R_l/R_p$

Dove LP = lettura alla punta e LL = lettura laterale misurate alla stessa profondità.

La prova CPT, in generale, trova applicazione per:

- rilevare l'andamento stratigrafico lungo la verticale indagata;
- individuare i tipi di terreno attraversati;
- interpolare l'andamento degli strati tra verticali di sondaggio.

I parametri determinati dalle prove CPT sono solitamente utilizzati per valutare:

- l'angolo di attrito e la compressibilità drenata dei terreni granulari;
- la resistenza al taglio non drenata dei terreni coesivi.

4.1.2 ELABORAZIONE DEI DATI

Nelle tabelle e nei diagrammi di Allegato 1 sono riportati tutti i parametri geotecnici elaborati dai dati ottenuti dalle prove penetrometriche eseguite in sito.

In particolare, sono riportati i valori di resistenza alla punta R_p e resistenza laterale locale R_f , rilevati ad ogni 20 cm. Questi valori si ottengono moltiplicando la lettura alla punta o laterale per la costante di trasformazione C_t caratteristica del penetrometro utilizzato.

La diretta correlazione tra il rapporto $F = R_p/R_f$ e la granulometria dei terreni attraversati (secondo Begemann, 1965 e secondo Schmertmann; Raccomandazioni A.G.I. 1977), rende possibile caratterizzare la natura dei terreni differenziandoli rispettivamente in torbe e argille organiche, limi e argille, limi sabbiosi e sabbie limose e sabbie e sabbie con ghiaia.

Negli allegati vengono riportati i seguenti parametri:

- valutazione litologica secondo *Schmertmann* ottenuta in base all'analisi dei valori di R_p e del rapporto R_f/R_p %;
- la natura dei terreni classificati come granulari o coesivi, ricavata dal diagramma di *Schmertmann*;
- il peso per unità di volume γ' (t/m^3), ottenuto dalla relazione esistente tra la densità del terreno e la sua resistenza all'infissione della punta;
- la tensione verticale geostatica efficace σ'_{vo} , espressa come

$$\sigma'_{vo} = 1,85 \times Z_1 + 0,20 \times \sum \gamma' i$$

dove Z_1 è uguale alla profondità della falda (CPT1: - 2,10 m dal p.c.; CPT2: -1,90 m dal p.c.)

- la coesione non drenata C_u (Kg/cm^2) (per i terreni di natura coesiva) ottenuto dal rapporto “ $C_u = R_p/a$ ” (da *Sanglerat*, 1972) dove “ a ” è un coefficiente dipendente dalla natura del terreno, e quindi da R_p ;
- l'angolo di attrito interno efficace F (per i terreni di natura granulare), anch'esso correlato alla R_p (*Robertson & Campanella*, 1983);
- il modulo edometrico (M_o), reciproco del coefficiente di compressibilità di volume M_v , definito come:

$$M_v = 1/R_p \times a$$

dove il coefficiente “ a ” è direttamente dipendente da R_p ;

- l'angolo di attrito interno efficace F (per i terreni di natura granulare), anch'esso correlato alla R_p (*Robertson & Campanella*, 1983).

4.1.3 RISULTATI OTTENUTI DALLE PROVE CPT

Di seguito i parametri geotecnici elaborati a seguito delle prove penetrometriche eseguite, necessari, in accordo col progettista strutturale, alla definizione degli impianti fondali ed alla loro verifica agli stati limite come previsto dal D.M. 14 Gennaio 2008.

Presupponendo di analizzare il terreno in condizioni non drenate sono stati determinati, per ciascun orizzonte stratigrafico, i seguenti parametri geotecnici:

γ = peso nell'unità di volume

γ_{sat} = peso nell'unità di volume saturo

C_u = coesione non drenata media

C_{uk} = coesione non drenata caratteristica

M_O = modulo edometrico

STRATO IDENTIFICATO	PROFONDITA' STRATO da p.c. [m]	γ [KN/m ³]	γ_{sat} [KN/m ³]	C_u [kPa]	C_{uk} [kPa]	M_O [kPa]
CPT1						
1° STRATO	0,00 – 4,00	18,53	19,32	66,68	41,03	4620,89
2° STRATO	4,00 - 8,00	17,45	18,24	41,03	33,59	3617,67
3° STRATO	8,00 – 15,00	18,53	19,32	80,53	57,49	4742,49
4° STRATO	15,00 – 20,00	20,00	20,79	135,58	105,74	6629,29
CPT2						
1° STRATO	0,00 – 3,00	18,53	19,32	61,11	38,75	4666,98
2° STRATO	3,00 - 8,00	16,96	17,75	36,99	30,93	3015,54
3° STRATO	8,00 – 14,40	18,83	19,61	89,82	63,47	4682,67
4° STRATO	14,40 – 20,00	19,81	20,59	126,90	89,68	5687,86

Tabella 4.1 – Parametri geotecnici elaborati dalle prove CPT

4.2 INDAGINE SISMICA (MASW)

In data 22/06/2013 è stata eseguita, dal Dott. Simone Bozzolan di Ariano nel Polesine (RO), un'indagine sismica con metodologia MASW attiva e passiva per la determinazione del parametro V_{s30} (valutato fino alla profondità di -30,00 metri da p.c.).

Tale indagine permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità, attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in:

- *Attivo*: i geofoni rilevano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva (massa battente) disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica); le frequenze che interessano l'analisi sono generalmente comprese tra 5 e 70 Hz;
- *Passivo*: i geofoni rilevano il rumore naturale (o di fondo); analizza generalmente le frequenze tra 0 e 10 Hz.

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo a 24 canali mod. DoReMi della Sara Electronics Instruments.

L'acquisizione dei dati sismici è così avvenuta:

- *metodo attivo*: è stata effettuata 1 stesa sismica di 16 geofoni con passo intergeofonico di 3 metri con successiva acquisizione dei vari shot; la frequenza propria dei sensori è di 4,5 Hz;
- *metodo passivo*: sulla stessa stesa utilizzata per il metodo attivo sono state realizzate 3 acquisizioni di sismica passiva, della durata di un minuto ciascuna, concatenate, in fase di pre-processing, in un unico file di 3 minuti, in modo da colmare il "vuoto" alle basse frequenze della sismica attiva.

4.2.1 RISULTATI DELLA PROVA MASW

Gli elaborati relativi alla prova effettuata (Allegato 2) sono di seguito riportati.

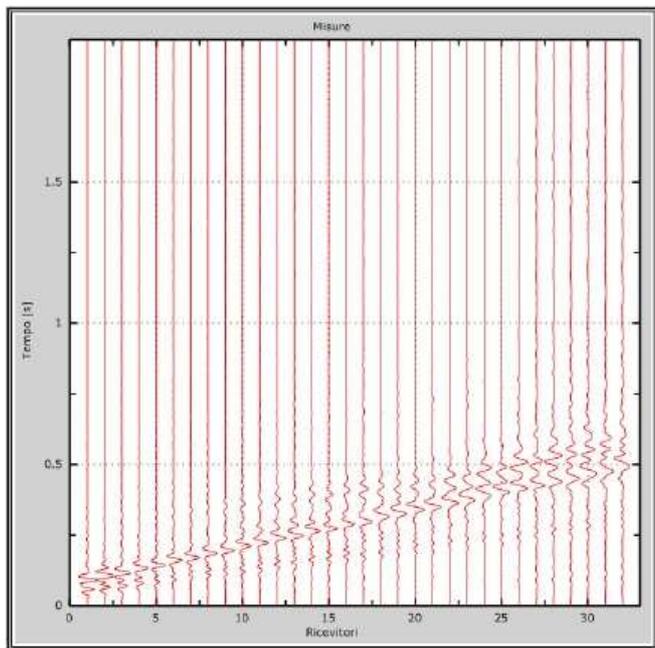


Figura 4.3 – Tracce sperimentali indagine attiva

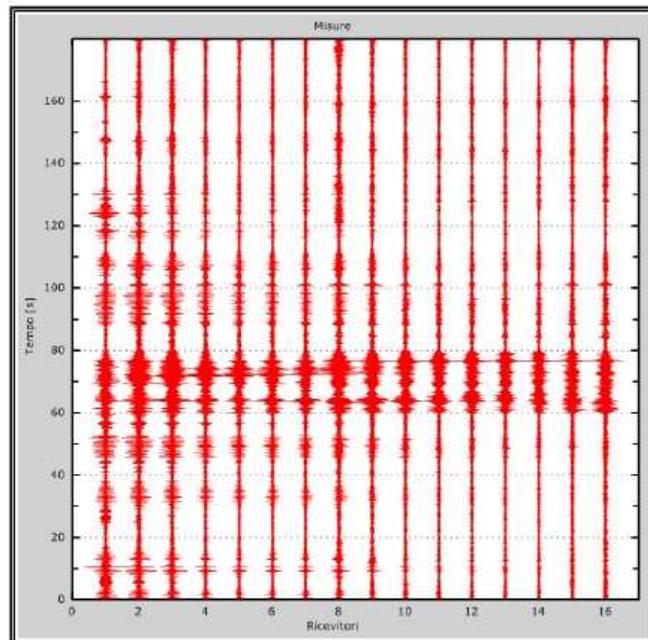


Figura 4.4 – Tracce sperimentali indagine passiva

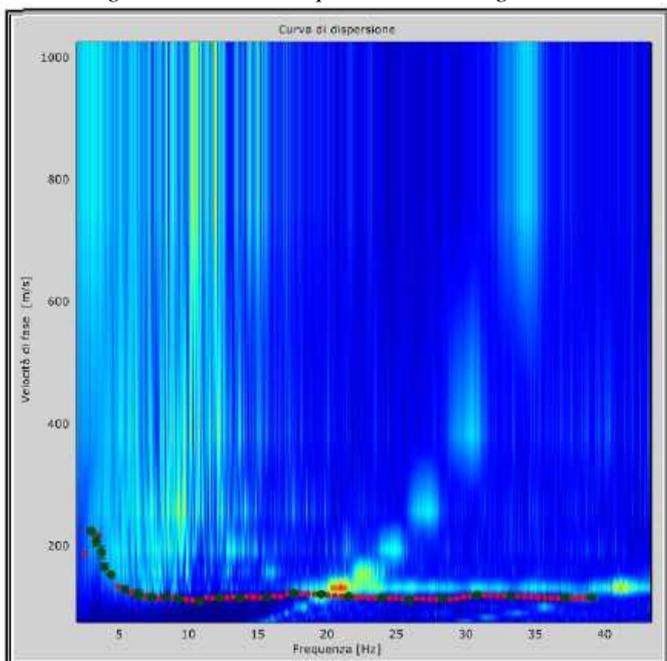


Figura 4.5 – Curva di dispersione sperimentale

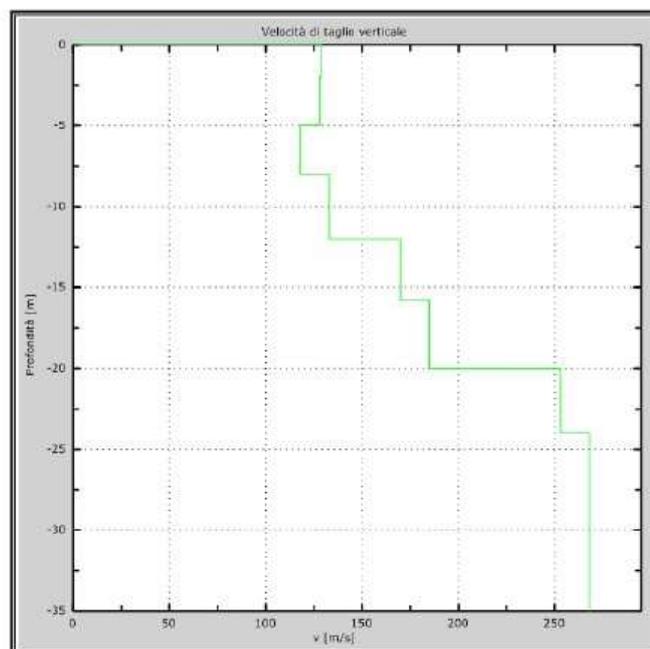


Figura 4.6 – Profilo verticale di velocità delle Vs

Dall'esecuzione dell'indagine sismica è infine emersa la seguente successione litostratigrafica.

Strato	h [m]	z [m]	Vs fin[m/s]	Vp [m/s]	Presenza della falda
Strato 1	2,0	-2,0	129	211	assente
Strato 2	3,0	-5,0	128	653	presente
Strato 3	3,0	-8,0	118	602	
Strato 4	4,0	-12,0	133	678	
Strato 5	3,8	-15,8	170	867	

Strato	h [m]	z [m]	Vs fin[m/s]	Vp [m/s]	Presenza della falda
Strato 6	4,2	-20,0	185	943	
Strato 7	4,0	-24,0	253	1290	
Strato 8	/	-∞	268	1367	

Tabella 4.2 – Successione litostratigrafica dedotta dall'indagine sismica

Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

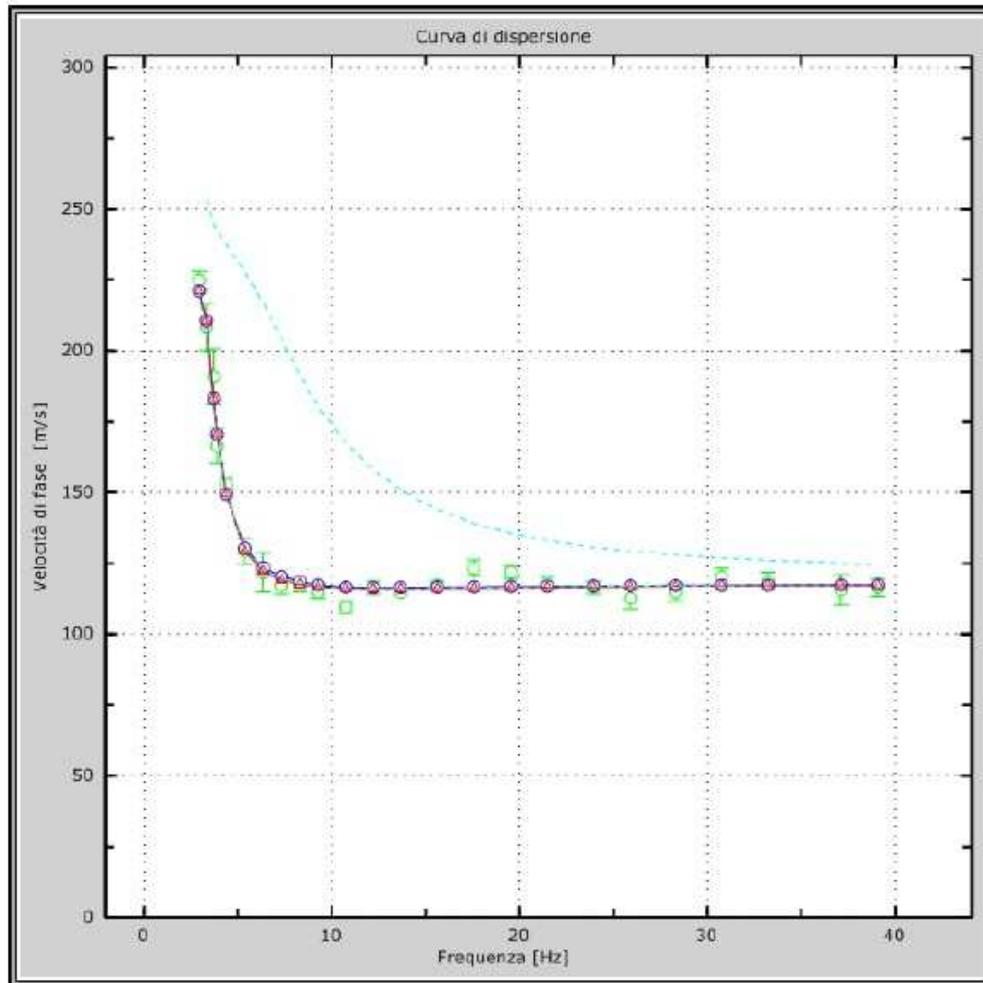


Figura 4.7 – Curva di dispersione delle onde di Rayleigh

(Punti sperimentali - verde, modi di Rayleigh - ciano, curva apparente - blu, curva numerica – rosso)

Come si legge nel documento riportato in Allegato 2:

“L'indagine sismica, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di -30,00 metri da p.c., ha permesso la determinazione della velocità delle Vs30, ricavata dalla formula riportata nel D.M. del 14 Gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” che risulta essere pari a

$$Vs30 = 168 \text{ m/s}$$

I terreni di fondazione interessati dalla progettazione sismica, come prescritto al paragrafo 3.2.2 dal D.M. 14 Gennaio 2008, appartengono a: **suolo di fondazione di tipo D.**

4.3 ESECUZIONE SONDAGGIO E PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI

In data 26/06/2013 è stato eseguito n° 1 sondaggio a carotaggio continuo (denominato S1), spinto alla profondità di -20,00 metri da p.c., dalla Società INFOMAP S.r.l. di Ferrara.

L'indagine diretta ha permesso il riconoscimento stratigrafico dei terreni indagati (utilizzato come raffronto con l'interpretazione stratigrafica ottenuta dalle prove CPT), il prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati di terreno da sottoporre ad analisi geotecniche e la messa in opera di n. 1 piezometro per il monitoraggio della falda freatica.

La sonda utilizzata, modello COMACCHIO MC 450 P, presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

SONDA PERFORATRICE IDRAULICA
Modello: COMACCHIO – MC450-P
sottocarro cingolato di larghezza massima 1600 mm
drifter idraulico Hd 4011-6 meccanismo di percussione, energia di battuta 440 Nm, frequenza 2.400 colpi/min con retrobattuta
testa di rotazione EURODRILL HD 4011 a sei velocità; coppia max 1205 kgm; velocità max 740 giri/min
movimento verticale rotary mediante cilindro idraulico e catene
spinta massima 5000 kg tiro massimo 7800 kg
organo idraulico 2000 Kg.
pompa fango mod. TR 200 con portata massima 200 l/min pressione max. 45 bar
mast (con sistema di avanzamento di martinetto), forza di spinta 4500 daN, forza di tiro 6500 daN
motore diesel Deutz BF4M2012 con quattro cilindri potenza 95 cv
cofanatura di insonorizzazione (78 dbA a 5 metri)
gruppo morsa svitatore diametri di presa min/max 45/300 mm
gruppo saldatrice/generatore
penetrometro idraulico con contacolpi digitale per SPT
kit per penetrometro dinamico DPSH

Tabella 4.3 –Caratteristiche sonda di perforazione utilizzata

Le perforazioni sono state condotte a carotaggio continuo con l'utilizzo di carotieri semplici aventi diametro 101 mm, tali da rendere minimo il disturbo dei materiali attraversati e da consentire il prelievo di campioni rappresentativi (carote), tutte le operazioni sono state eseguite compatibilmente con la natura dei terreni attraversati, senza l'utilizzo di fluidi di circolazione (carotaggio a secco).

Per il sostegno delle pareti dei fori, dove necessario, sono stati impiegati rivestimenti provvisori consistenti in tubi di acciaio speciale filettati della lunghezza di 1,5 m e del diametro di 127 mm.

Durante le operazioni di posa del rivestimento provvisorio si è reso necessario l'impiego di fluidi di perforazione per il raffreddamento del tagliente (scarpa) e l'asportazione del detrito: a tale scopo è stata impiegata circolazione diretta di acqua chiara.

I materiali estratti dai carotieri sono stati sistemati in apposite cassette catalogatrici in polietilene, opportunamente classificate con gli estremi identificativi del sondaggio e successivamente fotografati.

Al termine dell'estrazione di ciascuna carota è stata eseguita:

- una classificazione granulometrica dei litotipi, riportata in allegato 3;
- una prima caratterizzazione geotecnica dei litotipi coesivi con rilevazione dei valori di *pocket penetrometer*, per la determinazione della consistenza del terreno (resistenza alla penetrazione), e *torvane*, per una prima valutazione della resistenza al taglio dei terreni coesivi.

I valori, espressi in kg/cm^2 , vengono riportati in Allegato 3.

Nelle seguenti figure la documentazione fotografica relativa alle carote estruse nel corso della perforazione ed il posizionamento della macchina perforatrice.



Figura 4.8 – Posizionamento della macchina perforatrice



Figura 4.9 – Cassa catalogatrice S1 da 0,00 a 5,00 metri da p.c.



Figura 4.10 – Cassa catalogatrice S1 da 5,00 a 10,00 metri da p.c.



Figura 4.11 – Cassa catalogatrice S1 da 10,00 a 15,00 metri da p.c.



Figura 4.12 – Cassa catalogatrice S1 da 15,00 a 20,00 metri da p.c.

4.3.1 INSTALLAZIONE DEL PIEZOMETRO

Al termine della perforazione, il foro di sondaggio è stato attrezzato a piezometro fino alla profondità di -12,00 metri da p.c. per il monitoraggio del livello della falda (così come indicati dall'Allegato A3 dell'Atto di Indirizzo Regionale n. 112/2007).

Il piezometro, di diametro 2'' in PVC, presenta il tratto cieco tra 0,00/ -1,00 metri da p.c. e il tratto fessurato tra -1,00/-12,00 metri da p.c.

Ad oggi sono state eseguite le seguenti letture freatiche:

<i>Data lettura</i>	<i>Livello falda (m da b.p.)</i>
26/06/2013	-2,00 metri
20/07/2013	-2,50 metri

Tabella 4.4 – Letture freatiche

4.3.2 PRELIEVO DEL CAMPIONE RIMANEGGIATO

Nel corso della prova è stato prelevato n. 1 campione rimaneggiato di terreno, denominato *CI* nell'intervallo di prelievo 3,00-3,50 metri da p.c.

Il campione è stato selezionato dalle carote nella fase di sistemazione delle stesse nelle cassette catalogatrici, sigillato in sacchetti di plastica trasparenti, etichettato e consegnato al laboratorio autorizzato (Decreto 5684 del 01/06/2010) del Dr. Geol. Mucchi con sede in Via Ascari 8 a Gualdo di Voghiera (FE), ai fini delle analisi geotecniche.

4.3.3 PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Durante la perforazione sono stati prelevati n. 2 campioni tramite l'infissione a pressione, di un campionatore a pareti sottili in acciaio inox del tipo Shelby; per evitare al minimo il disturbo al campione, è stata utilizzata una velocità di infissione pari a 15-20 cm/s.

Subito dopo il prelievo, ogni campionatore è stato ripulito delle parti detritiche, le due estremità del campione sono state sigillate con paraffina liquida e tappo di protezione per poi essere etichettato, indicando la denominazione del cantiere, la denominazione del sondaggio, la profondità di prelievo, l'orientamento (alto/basso) e la data di prelievo.

I campioni sono stati prelevati in corrispondenza dei diversi orizzonti di natura coesiva che interessano il volume significativo del terreno che verrà influenzato dalla realizzazione dell'opera:

- S1/C2 – intervallo di prelievo 7,40-8,00 metri da p.c.
- S1/C3– intervallo di prelievo 11,40-12,00 metri da p.c. (non sottoposto ad analisi)

I campioni sono stati consegnati al laboratorio autorizzato (Decreto 5684 del 01/06/2010) del Dr. Geol. Mucchi con sede in Via Ascari 8 a Gualdo di Voghiera (FE), ai fini delle analisi geotecniche.

4.4 ANALISI GEOTECNICHE ESEGUITE SUI CAMPIONI PRELEVATI

Sui campioni di terreno prelevati dal sondaggio sono state eseguite le seguenti analisi geotecniche:

Nome campione	Analisi geotecniche eseguite
S1/C1 (3,00-3,50 m)	Analisi granulometrica
	Coefficiente di uniformità
S1/C2 (7,40-8,00 m)	Limiti di Atterberg
	Prova di consolidazione edometrica

I certificati redatti dal laboratorio sono riportati in Allegato 4.

4.4.1 ANALISI GEOTECNICHE ESEGUITE SUL CAMPIONE RIMANEGGIATO

Sul campione rimaneggiato S1/C1 sono state eseguite le seguenti prove per la verifica di quanto riportato nel D.M. 14.01.2008 paragrafo 7.11.3.4.2. (v. par. 5.5):

- **analisi granulometrica** per la classificazione dei materiali, secondo norma ASTM D2488-84:

Nome campione	S1 C1
Intervallo di prelievo (m)	3,00-3,50
Ghiaia	0%
Sabbia	89%
Limo e Argille	11%

È stato inoltre definito il seguente coefficiente di uniformità (U_C):

$$D_{60} = 0,2 \quad D_{10} = 0,068 \quad \text{da cui} \quad U_C = 2,9412$$

- **prova di taglio diretto** per la determinazione dei seguenti parametri geotecnici:

CAMPIONE	S1 C1 (3,00-3,50 m)
Coesione drenata (kPa)	28,64
Angolo d'attrito ($^\circ$ sess)	31

4.4.2 ANALISI GEOTECNICHE ESEGUITE SUL CAMPIONE INDISTURBATO

Ai fini dell'acquisizione dei dati geotecnici caratteristici dell'area indagata, in base a quanto riportato nel D.M. 14.01.2008 paragrafo 6.2.2., nel quale si legge “i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito”, sul campione indisturbato prelevato è stata eseguita una **prova edometrica**.

I principali dati ottenuti dalle prove effettuate vengono riportate nelle seguenti tabelle.

CAMPIONE	S1 C2 (7,40-8,00 m)
LIMITI DI ATTERBERG	
Limite liquido (%)	73
Limite plastico (%)	29
Umidità naturale (%)	54,1
Indice plastico (%)	44
Indice di consistenza	0,44
Carta di plasticità di Casagrande	Il campione viene classificato come “Argilla poco compatta a tratti organica”

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA						
PARAMETRI INIZIO PROVA						
Natura del campione			Argilla poco consistente			
Peso dell'unità di volume (kN/m ³)			15,85			
Peso dell'unità di volume del terreno secco (kN/m ³)			10,29			
Contenuto d'acqua naturale (%)			54,1			
Peso specifico dei granuli (kN/m ³)			26,06			
Indice dei vuoti inizio prova			1,532			
PARAMETRI DETERMINATI						
Nome campione	Profondità di prelievo (m)	Tensione verticale efficace (kPa)	Modulo edometrico (kPa)	Coefficiente di consolidazione primaria (C _v) (cmq/sec)	Coefficiente di consolidazione secondaria (C _α)	Permeabilità (cm/sec)
S1 C1	7,40-8,00	24,518	2318	/	/	/
		49,035	1961	1,32E-03	1,26E-05	4,11E-08
		98,070	1850	8,22E-04	1,85E-05	4,44E-08
		196,140	1582	3,21E-04	7,68E-05	1,97E-08
		392,280	2615	3,30E-04	9,44E-05	1,16E-08
		784,560	5564	3,48E-04	6,33E-05	6,14E-09
		1569,120	12259	3,70E-04	5,16E-05	2,96E-09

Tabella 4.5 – Risultati analisi geotecniche

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

5.1 *PREMESSA*

Le onde di propagazione di un evento sismico, subiscono riflessioni e rifrazioni a causa delle eterogeneità crostali.

Negli strati più superficiali del terreno, dal punto di vista geotecnico, questo può causare variazioni di carico limite e capacità portante, incrementi delle spinte sulle opere di sostegno o addirittura, nei terreni liquefacibili, fenomeni di instabilità e dissesto.

Le onde meccaniche generate da un sisma, producono effetti diversi a seconda del tipo di terreno in cui esse si propagano.

In particolare un terreno può avere un comportamento stabile quando le sollecitazioni del terremoto sono inferiori alla resistenza al taglio del terreno (ghiaie e sabbie addensate e argille compatte), oppure può definirsi instabile quando queste sollecitazioni superano la resistenza al taglio del terreno (argille molli e terreni saturi, con effetti di degradazione connessi alla pressione interstiziale).

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Ai sensi dell'**Ordinanza del Commissario Delegato per la ricostruzione n. 70 del 13/11/2012** l'area indagata ricade in "*zona potenzialmente suscettibile di liquefazione*", tuttavia il terreno di sedime non presenta le condizioni predisponenti al fenomeno della liquefazione (v. par. 5.5), pertanto si procederà alla definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato come descritto al par. 3.2.2 delle NTC08. Di seguito uno stralcio della "Carta delle microzone omogenee in prospettive sismica "Sant'Agostino", allegata all'Ordinanza sopracitata.

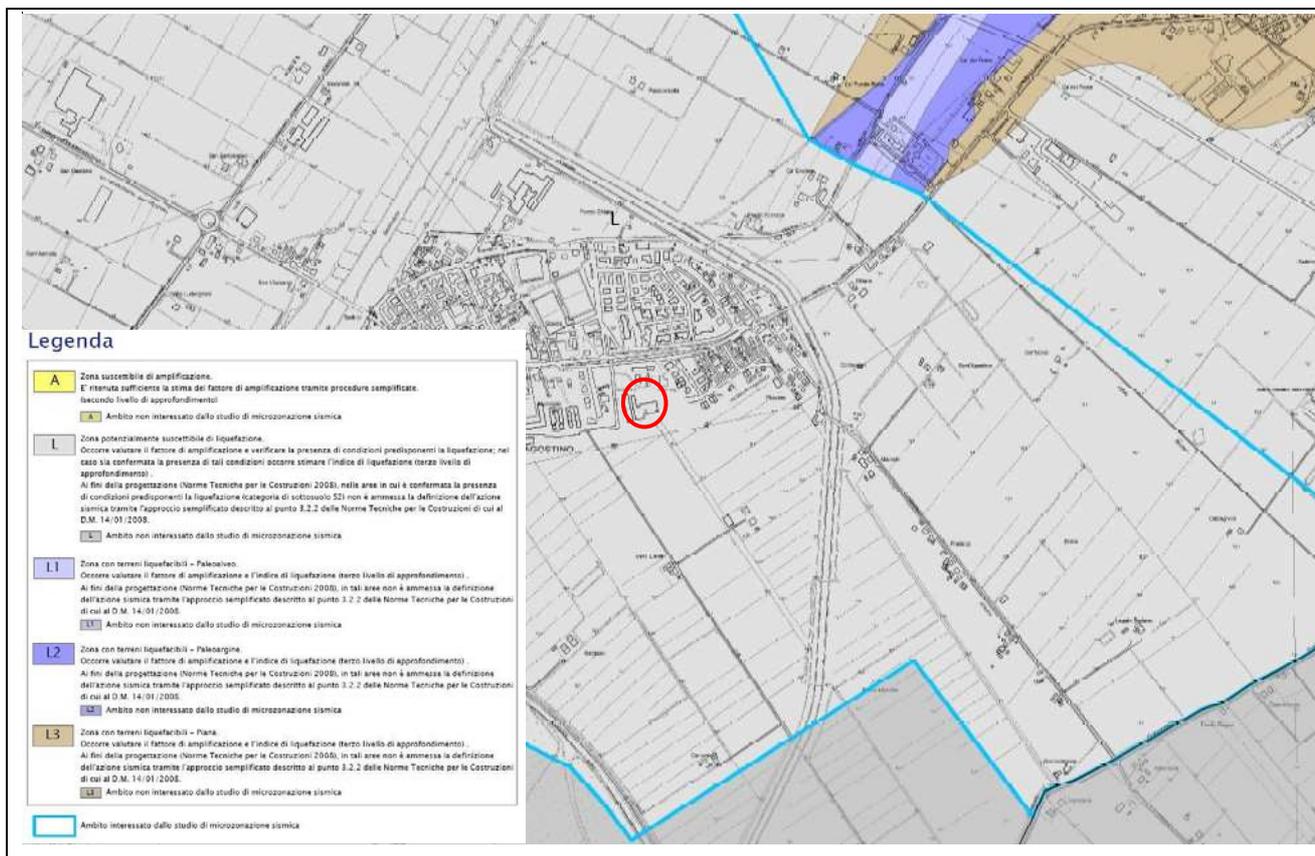
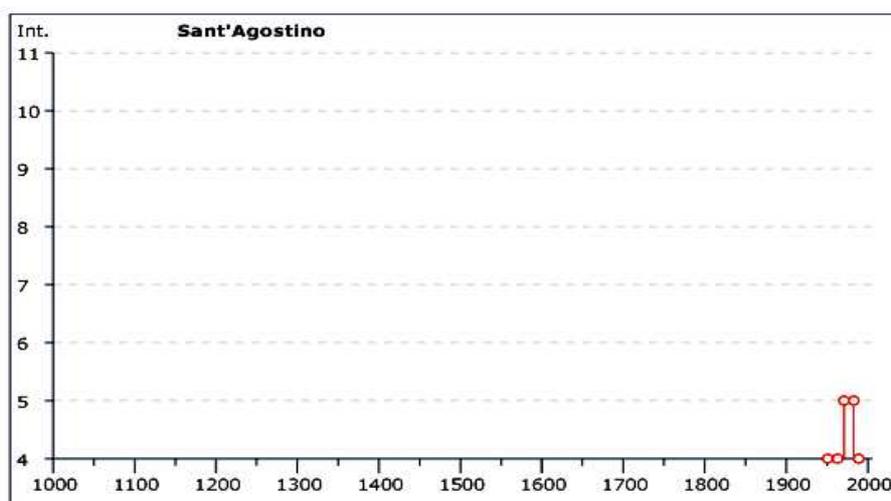


Figura 5.1 – “Carta delle microzone omogenee in prospettive sismica” Comune di Sant’Agostino (Ordinanza del Commissario Delegato per la ricostruzione n. 70 del 13/11/2012). In rosso l’area di indagine

5.2 SISMICITA' DEL TERRITORIO

La storia sismica del territorio del Comune di Sant’Agostino è stata dedotta tramite il data-base delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI11), realizzato dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Nel grafico sottostante sono rappresentati gli eventi sismici con intensità al sito $I_s > IV$ grado della scala MCS.



Nella tabella n. 5.1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità al sito ($I_s > IV$ grado della scala MCS) con indicazione della data esatta in cui si è verificato tale evento, il luogo in cui si sono

riscontrati i maggiori effetti (AE), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale (AE)	nMDP	Io	Mw
4	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7	5.39 ±0.14
4	1963 04 05 13:49:42	Finale Emilia	6	4-5	4.09 ±0.34
3	1963 08 09 06:05:30	Faentino	16		4.99 ±0.18
5	1971 07 15 01:33:23	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
5	1983 11 09 16:29:52	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
4	1989 09 13 21:54:01	PASUBIO	779	6-7	4.88 ±0.09
NF	2000 06 18 07:42:08	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09

Tabella 5.1 - Storia sismica del territorio comunale di Sant'Agostino (FE)

5.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

L'area oggetto d'intervento, situata nel comune di Sant'Agostino, ai sensi dell'OPCM 3274 del 23.03.03 è classificata in zona 3.

Al fine della progettazione sismica la normativa vigente (D.M. 14.01.2008) prevede la classificazione del profilo stratigrafico del sottosuolo nei primi 30 metri al di sotto del piano di posa delle fondazioni.

Parametro fondamentale per la suddetta classificazione risulta la "V_{S30}", ossia la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri, che viene definita dall'espressione:

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

Dove h_i e V_{S,i} rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio attraverso lo strato i-esimo entro 30 metri di profondità.

La V_{S30} ricavata dall'indagine MASW eseguita (v. par. 4.2) risulta pari a:

$$V_{S30} = 168 \text{ m/s}$$

Dal valore di V_{S30} ottenuto si determina la categoria di sismica del sito di intervento; nel caso in oggetto l'area di studio è caratterizzata da terreni appartenenti alla categoria D, ossia: *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT₃₀ < 15 nei terreni a grana grossa e Cu₃₀ < 70 kPa nei terreni a grana fina).*

<i>CATEGORIA</i>	<i>DESCRIZIONE</i>
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 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).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT ₃₀ < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < Cu ₃₀ < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT ₃₀ < 15 nei terreni a grana grossa e Cu ₃₀ < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs30 > 800 m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < Cu 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. Servono studi speciali.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti. Servono studi speciali.

Tabella 5.2 - Categorie sismiche dei terreni

5.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

La normativa vigente (D.M. 14 Gennaio 2008) prevede l'individuazione del sito di studio all'interno di un reticolo formato da 4 punti distanti tra loro non più di 4 Km.

L'individuazione del reticolo di riferimento risulta indispensabile per la determinazione dei valori di accelerazione sismica (a_g) attesa sul sito e per l'individuazione di tutti gli altri parametri necessari alla verifica degli stati limite in azione sismica.

Si individuano quindi i parametri intrinseci del sito:

- Coordinate Geografiche del sito (Latitudine, Longitudine)
- Coefficiente Topografico (T)
- Categoria del Suolo

Secondo le prescrizioni del D.M. 14.01.2008 si identifica il parametro (S) di amplificazione dell'azione sismica di progetto, dipendente dalla categoria del suolo di fondazione e dalla situazione topografica del sito.

$$S = S_S \times S_T$$

Dove:

S_S = Coefficiente di amplificazione stratigrafica determinato per ogni categoria di suolo tramite la seguente tabella:

CATEGORIA SOTTOSUOLO	S_S	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 * F_0 * \text{ag/g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 * F_0 * \text{ag/g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 * F_0 * \text{ag/g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 * F_0 * \text{ag/g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

S_T = Coefficiente di amplificazione topografica desunta dalla seguente tabella:

CATEGORIA TOPOGRAFICA		S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ (valore alla sommità del pendio)	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ (valore della cresta del rilievo)	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ (valore della cresta del rilievo)	1,4

Le sovresposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per l'identificazione dei parametri di progetto di seguito riportati, si rimanda all'elaborazione della relazione geotecnica ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008.

- Vita Nominale (V_n)
- Classe d'Uso dell'opera
- Coefficiente d'Uso (C_u)
- Vita di Riferimento (V_r)
- Smorzamento e fattore di struttura

5.4.1.1 Riferimenti normativi

Vita nominale (§ 2.4.1 NTC-08)

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella **Tab. 2.4.I** delle NTC-08 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Classi d'uso (§ 2.4.2 NTC-08)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in <i>Classe d'uso III</i> o in <i>Classe d'uso IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in <i>Classe d'uso IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Vita di riferimento (§ 2.4.3 NTC-08)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (\text{NTC-08 Eq. 2.4.1})$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella **Tab. 2.4.II** delle NTC-08.

Tabella 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1	1,5	2

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni superficiali

Sito in esame.

Latitudine: 44,7924000 [°]

Longitudine: 11,3924400 [°]

le coordinate geografiche sono espresse in ED50

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $C_U = 2$.

Siti di riferimento

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	15399	44,816160	11,377000	2909,02
Sito 2	15400	44,817380	11,447420	5150,17
Sito 3	15622	44,767400	11,449150	5268,94
Sito 4	15621	44,766170	11,378810	3109,28

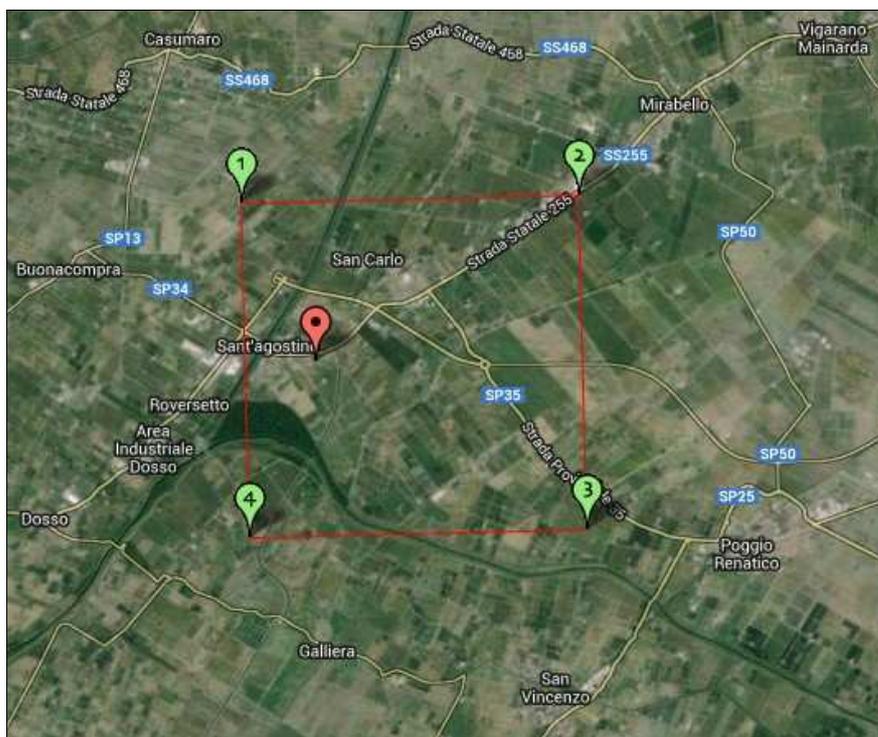


Figura 5.2 – Localizzazione della maglia di appartenenza dell'area di indagine con indicazione dei vertici di riferimento

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: D

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente c_u : 2

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	Ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	120	0,082	2,570	0,265
Danno (SLD)	63	201	0,105	2,584	0,269
Salvaguardia della vita (SLV)	10	1898	0,264	2,465	0,288
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,293	2,437	0,292

Tabella 5.3 – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato (Tabella 3.2.1 NTC-08)

Coefficienti Sismici

	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	0,030	0,015	1,451	0,200
SLD	0,045	0,023	1,856	0,240
SLV	0,105	0,053	3,683	0,280
SLC	0,109	0,055	3,820	0,280

Tabella 5.4 – Parametri sismici determinati per gli stati limiti considerati

Il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito, dalle NTC:

- ✓ Nei confronti di tutti gli stati limite ultimi (SLU) quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo “stato limite vita” (SLV):

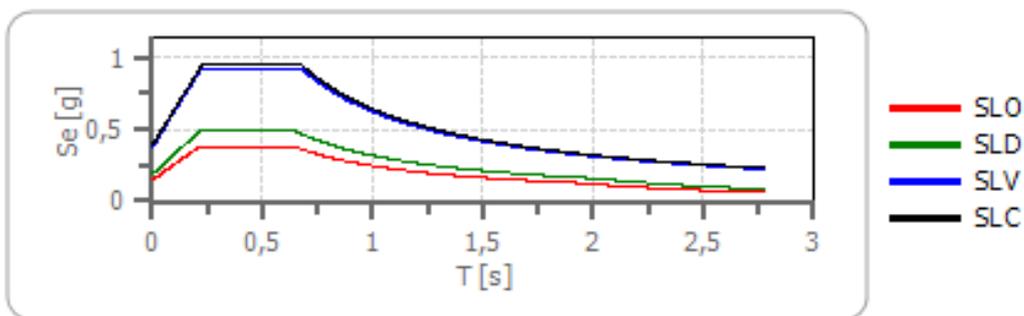
$$SLU=SLV$$

- ✓ Nei confronti di tutti gli stati limite d’esercizio (SLE) quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo “stato limite danno” (SLD):

$$SLE=SLD$$

Di seguito vengono riportati gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontali e verticali rappresentativi del sito ed i parametri sismici di ciascun stato limite.

➤ Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	η	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	2,0	0,082	2,570	0,265	1,800	2,430	1,000	1,800	1,000	0,215	0,644	1,929
SLD	2,0	0,105	2,584	0,269	1,800	2,410	1,000	1,800	1,000	0,216	0,648	2,021
SLV	2,0	0,264	2,465	0,288	1,420	2,330	1,000	1,420	1,000	0,224	0,671	2,658
SLC	2,0	0,293	2,437	0,292	1,330	2,310	1,000	1,330	1,000	0,225	0,676	2,771

Tabella 5.6 – Parametri sismici relativi allo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

➤ Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

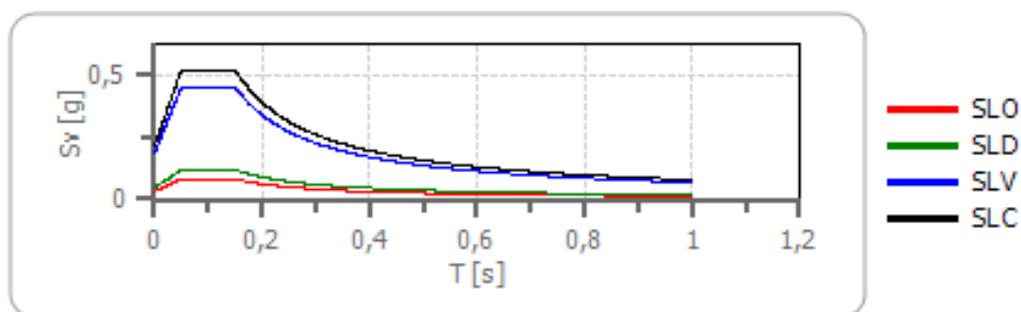


Tabella 5.7 – Parametri sismici relativi allo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	η	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	2,0	0,082	2,570	0,265	1	2,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	2,0	0,105	2,584	0,269	1	2,410	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	2,0	0,264	2,465	0,288	1	2,330	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	2,0	0,293	2,437	0,292	1	2,310	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

– VERIFICA ALLO STATO LIMITE VITA (SLU=SLV)

Per la tipologia di opera in esame, il valore di a_g rappresentativo dell'area è pari a $0,264g$, da cui $a_g=2,590 \text{ m/s}^2$ con probabilità di superamento in 200 anni del 10% (SLV).

Inoltre per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si ricava:

- Un accelerazione massima data dall'espressione:

$$A_{max} = S * a_g = 3,678 \text{ m/s}^2$$

- Il coefficiente sismico orizzontale K_h con l'espressione:

$$K_h = \beta * A_{max} / g$$

- Il coefficiente sismico verticale K_v con l'espressione:

$$K_v = 0,5 * K_h$$

Con $\beta = 0,280$

$$K_h = 0,105 \quad ; \quad K_v = 0,052$$

– SPETTRO DI RISPOSTA – SLU – PER STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA VITA : SLV

Un altro importante parametro introdotto dall' NTC-08 è rappresentato dal periodo fondamentale della struttura T. In questo studio il valore T, fornito dal progettista, è pari a $0,459 \text{ s}$.

Dal valore di T si ricava il fattore d'inerzia della struttura K_{hi} leggendo in ordinata dello spettro di progetto SLU il valore di $S_e [g]$, in corrispondenza del periodo fondamentale T.

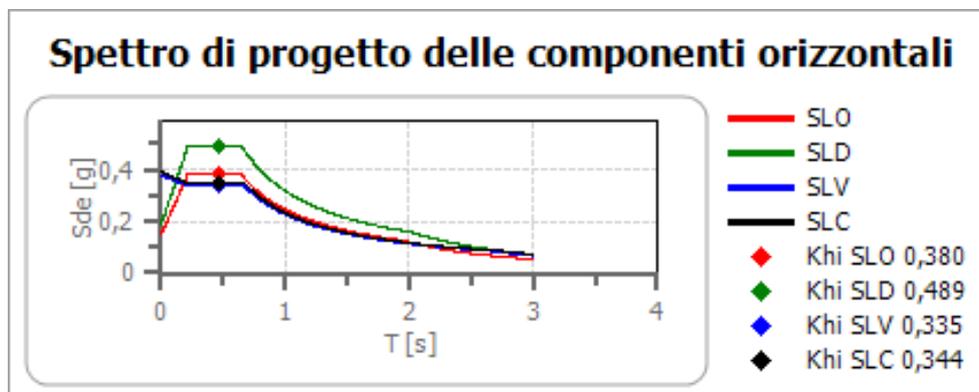
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 2,760

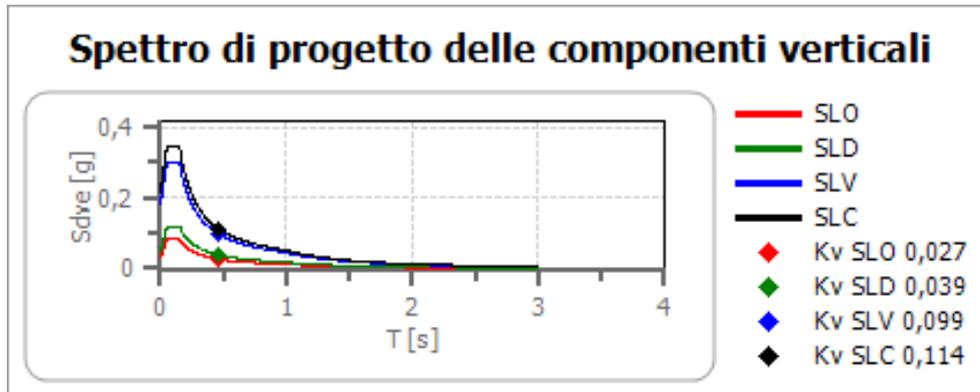
η per lo spettro orizzontale = 0,362

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1,500

η per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLV





$$K_{hi} = 0,335 \text{ [g]}$$

$$K_v = 0,099 \text{ [g]}$$

Infine il fattore di inerzia K_{hk} , dipendente dall' A_{max} attesa al sito, viene identificata dal parametro K_h precedentemente calcolato.

Da cui:

$$K_{hk} = 0,105$$

— VERIFICA ALLO STATO LIMITE DANNO (SLE=SLD)

Per la tipologia di opera in esame, il valore di a_g rappresentativo dell'area è pari a 0,105g, da cui $a_g = 1,030 \text{ m/s}^2$ con probabilità di superamento in 200 anni del 63% (SLD).

Inoltre per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLD) si ricava:

- Un accelerazione massima data dall'espressione:

$$A_{max} = S * a_g = 1,854 \text{ m/s}^2$$

- Il coefficiente sismico orizzontale K_h con l'espressione:

$$K_h = \beta * A_{max} / g$$

- Il coefficiente sismico verticale K_v con l'espressione:

$$K_v = 0,5 * K_h$$

Con $\beta = 0,240$ si ottiene quindi:

$$K_h = 0,045 \quad ; \quad K_v = 0,023$$

5.5 ANALISI DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Tra i tipi di terreno presenti in Pianura Padana, certamente quelli *non coesivi e poco addensati sono quelli più suscettibili ad alterazioni di rilievo.*

In particolare con il termine *liquefazione del terreno* si intende la diminuzione della resistenza del terreno stesso a seguito del raggiungimento del limite di fluidità.

Questo fenomeno si produce a causa dei movimenti ciclici che avvengono durante un sisma che producono un accumulo della pressione interstiziale di un terreno granulare saturo (ghiaia, sabbia e limo non coesivo), provocandone una diminuzione della resistenza al taglio.

Per comprendere tale fenomeno è necessario considerare il principio degli sforzi efficaci in cui, in un terreno saturo agisce nello scheletro solido una *Tensione efficace* così definita:

$$\sigma' = \sigma - p$$

Dove σ è la tensione totale agente perpendicolarmente a qualsiasi piano passante per un generico punto e p la pressione dell'acqua nello stesso punto. Esprimendo il criterio di *Resistenza di Mohr-Coulomb* in termini di tensioni efficaci, la resistenza al taglio che può essere mobilitata su un piano normale n soggetto a una tensione normale totale σ_n , è data da:

$$T_n = (\sigma_n - p) \operatorname{tg} \phi + c$$

La liquefazione si attua quando il valore limite della tensione tangenziale T_n tende a zero, inoltre la liquefazione aumenta al diminuire della coesione c , dell'angolo d'attrito ϕ e della tensione totale σ_n ed all'aumentare della pressione interstiziale p .

La presenza di argilla nei sedimenti granulari riduce considerevolmente il rischio della liquefazione.

La verifica alla suscettibilità alla liquefazione dei terreni, secondo il D.M. 14.01.2008, viene valutata in base ad un fattore di sicurezza identificato dal seguente rapporto:

$$\text{➤ } FS = CRR / CSR > 1,25 \quad (\text{terreni non liquefacibili})$$

Dove, *CSR (Cyclic Stress Ratio)* è il rapporto tensionale ciclico che esprime lo sforzo di taglio generato dal sisma, e *CRR (Cyclic Resistance Ratio)* è il rapporto di resistenza ciclica che esprime la capacità del terreno di resistere alla liquefazione.

Qualora si usi, come nel caso in oggetto, il metodo delle correlazioni di campagna, un terreno viene considerato suscettibile alla liquefazione quando lo sforzo di taglio, generato dal terremoto ad una determinata profondità, supera l' 80% ($FS > 1,25$) dello sforzo critico che ha provocato la liquefazione alla medesima profondità durante terremoti.

Nel D.M. 14.01.2008 paragrafo 7.11.3.4.2., nel quale si legge: “la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

...5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ ”.

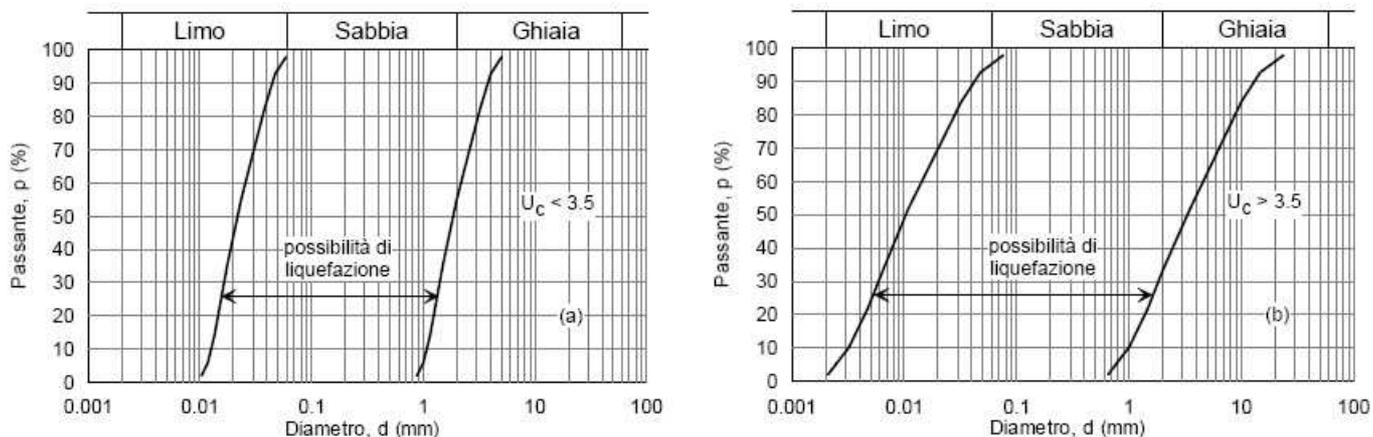


Figura 7.11.1 del D.M. 14/01/2008 – Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

A tal fine, sul campione S1/C1 è stata eseguita un’analisi granulometrica (v. par. 4.4.2) mirata alla verifica di quanto sopra riportato. Dalla prova emerge che il Coefficiente di Uniformità (U_c) è inferiore di 3,5 e la distribuzione granulometrica ricade nella zona con “elevata possibilità di liquefazione”, così come definito dalla Figura 7.11.1(a) del D.M. 14/01/2008 (v. Allegato 4).

Si segnala, tuttavia, che la successione litostratigrafica dedotta dal sondaggio eseguito ha rilevato la predominanza di litotipi a carattere coesivo e l’assenza di “strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda” (par. 7.11.3.4.3 NTC-08), pertanto in prima approssimazione è possibile escludere fenomeni di liquefazione.

Ai fini cautelativi è stato sottoposto a verifica a liquefazione anche il livello rilevato nella CPT 2 tra -2,60/-3,00 metri, mediante la correlazione di *Robertson e Wride (1997)*, che utilizza l’indice di comportamento per il tipo di suolo (I_c) che viene calcolato mediante l’utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3.47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1.22)^2 \right]^{0.5}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} 100$$

Dove:

q_c = è la resistenza alla punta misurata.

P_a = è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di s'vo.

f_s = è l'attrito del manicotto.

n = è un'esponente che dipende dal tipo di suolo

N. CPT	Prof. livello indagato (m)	q_c (kg/cm ²)	f_s (kg/cm ²)	Fattore di sicurezza a liquefazione
2	-2,60/-3,00	22,5	0,54	<u>1,457</u>

Tabella 5.8 – Stima del fattore di sicurezza alla liquefazione

La verifica effettuata ha **escluso la possibilità di liquefazione dello strato indagato.**

6 MODELLO GEOLOGICO ED ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

Dai dati emersi dalle prove penetrometriche effettuate e dall'esecuzione del sondaggio è stato possibile determinare il seguente modello geologico, relativo al terreno di fondazione dell'opera in progetto, nel quale vengono riportati i valori medi (f_m) determinati per ciascun orizzonte identificato, secondo le prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC-08).

Le stratigrafie desunte dalle prove penetrometriche CPT sono state interpretate contestualmente ai dati emersi dall'esecuzione del sondaggio per correlare le informazioni stratigrafiche di quest'ultimo con i risultati di resistenza meccanica della prova.

Si rimanda al progettista, in fase in fase di elaborazione della relazione geotecnica, la determinazione dei valori caratteristici (f_k), come previsto dalla normativa vigente.

— ORIZZONTE 1: Da 0,00 m. a - 3,00/- 4,00 m. da p.c.:

Il sondaggio evidenzia un banco di argilla limosa nocciola compatta fino a -1,50 metri e di limo argilloso nocciola fino al letto dello strato, avente mediocri capacità portante:

- Peso nell'unità di volume (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{medio}} = 18,53 \text{ kN/m}^3$
- Peso nell'unità di volume saturo (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{sat}} = 19,32 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata (valore medio da CPT): $Cu_{\text{medio}} = 63,89 \text{ kPa}$
- Coesione non drenata caratteristica (valore medio da CPT): $Cu_k = 39,89 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico (valore medio da CPT): $Mo = 4643,93 \text{ kPa}$

Nel settore centrale dell'area è presumibilmente presente una lente di terreno incoerente di spessore minimo, rilevato in corrispondenza del sondaggio alla profondità di -3,00/-3,80 metri da p.c. (costituito da limo sabbioso/sabbia fine nocciola-ocra) ed in corrispondenza della CPT2 alla profondità di -2,60/-3,00 metri (sabbie e limi argillosi).

— ORIZZONTE 2: Da - 3,00/- 4,00 m. a - 7,00/8,00 m. da p.c.:

Il sondaggio evidenzia un banco di argilla limosa grigio chiara a tratti debolmente sabbiosa, avente scarse capacità portanti:

- Peso nell'unità di volume (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{medio}} = 17,21 \text{ kN/m}^3$
- Peso nell'unità di volume saturo (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{sat}} = 17,99 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata (valore medio da CPT): $Cu_{\text{medio}} = 39,01 \text{ kPa}$
- Coesione non drenata caratteristica (valore medio da CPT): $Cu_k = 32,26 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico (valore medio da CPT): $Mo = 3316,60 \text{ kPa}$

— **ORIZZONTE 3: Da – 7,00/8,00 m. a – 14,40/15,00 m. da p.c.:**

Il sondaggio evidenzia un banco di argilla plastica grigio chiara con intercalazioni decimetriche di materiale organico e livelli torbosi, avente buona capacità portante:

- Peso nell'unità di volume (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{medio}} = 18,68 \text{ kN/m}^3$
- Peso nell'unità di volume saturo (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{sat}} = 19,46 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata (valore medio da CPT): $Cu_{\text{medio}} = 85,17 \text{ kPa}$
- Coesione non drenata caratteristica (valore medio da CPT): $Cu_k = 60,48 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico (valore medio da CPT): $Mo = 4712,58 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico (valori da laboratorio): per i valori relativi a ciascun ciclo di carico si rimanda a tabella 4.5

— **ORIZZONTE 4: Da – 14,40/15,00 m. a – 20,00 m. da p.c.:**

Il sondaggio evidenzia un banco di argilla grigia compatta avente buona capacità portante:

- Peso nell'unità di volume (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{medio}} = 19,90 \text{ kN/m}^3$
- Peso nell'unità di volume saturo (valore medio da CPT): $\gamma_{\text{sat}} = 20,69 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata (valore medio da CPT): $Cu_{\text{medio}} = 131,24 \text{ kPa}$
- Coesione non drenata caratteristica (valore medio da CPT): $Cu_k = 97,71 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico (valore medio da CPT): $Mo = 6158,57 \text{ kPa}$

Al termine di ciascuna perforazione è stato misurato il livello della falda freatica all'interno del foro, rilevato alla profondità di circa -2,00 metri dal piano campagna.

7 CAPACITA' PORTANTE PER FONDAZIONI SUPERFICIALE

Il progetto in esame è costituito dall'edificazione di un fabbricato adibito a caserma dei Carabinieri. Per il suddetto manufatto è stata proposta dal progettista strutturale, una soluzione fondale rigida a platea con piano di posa a circa - 1,00 m. da p.c., larghezza B = 25,28 m e lunghezza L = 34,60 m. Secondo la teoria delle "Tensioni Ammissibili", utile a valutare un quadro qualitativo del terreno investigato, si utilizza la formula di Hansen per ottenere un valore orientativo di capacità portante:

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q} + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot B' \cdot s_\gamma \cdot r_\gamma$$

Carico limite	q_{lim}	262,49 kPa
----------------------	------------------------	-------------------

Carico ammissibile	q_{amm}	87,50 kPa
---------------------------	------------------------	------------------

Modulo di reazione	K	10499,42 kN/m³
	K	1,07 Kg/cm³

La verifica della soluzione fondale è realizzata "agli Stati limite" seguendo le prescrizioni della nuova normativa sulle costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).

In particolare la suddetta norma prevede che sia soddisfatta, a seconda dell'approccio di verifica adottato, la seguente disuguaglianza *agli stati limite ultimi* (S.L.U.):

$$E_d \leq R_d$$

Dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione ed R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (terreno).

La verifica di detta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti:

- per le azioni (A1 e A2)
- per i parametri geotecnica (M1 e M2)
- per le resistenze (R1, R2 e R3).

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite: *SLU di tipo geotecnico (GEO)*:

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa
- stabilità globale

Il presente studio volge al calcolo del valore di progetto della resistenza del terreno R_d , utilizzato poi dal Progettista per verifica della disuguaglianza suddetta con le azioni di progetto intrinseche dell'opera.

La resistenza del terreno R_d per la verifica al collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno, è stata determinata tramite la formula di *Brinch-Hansen* (EC 7- EC 8) in condizioni non drenate:

Il carico limite di progetto in *condizioni non drenate* si calcola come:

$$R_d / A' = (2 + H) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

- A' = area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.
- c_u = Coesione non drenata.
- q = pressione litostatica totale sul piano di posa.
- s_c = Fattore di forma
 $s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$ per fondazioni rettangolari
 $s_c = 1,2$ per fondazioni quadrate o circolari.
- i_c = Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H .
 $i_c = 0,5(1 + \sqrt{1 - H/A'c_u})$

La resistenza del terreno R_d per la verifica al collasso per scorrimento sul piano di posa è calcolata tramite la formula seguente:

$$R_d = c_u \cdot A'(\%A') + (D \cdot q \cdot 1/2 + 2 \cdot c_u \cdot D) \cdot (\%E_{pd}) \cdot \min(B', L') \cdot F_{graticcio}$$

Dove:

- c_u = Coesione non drenata.
- A' = area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.
- $\%A'$ = percentuale di copertura graticcio.
- D = profondità del piano di posa della fondazione.
- q = pressione litostatica totale sul piano di posa.
- $\%E_{pd}$ = frazione di spinta passiva.
- B' = larghezza equivalente fondazione.
- L' = lunghezza equivalente fondazione.
- $F_{graticcio}$ = fattore moltiplicativo slittamento graticcio.

8 VERIFICA AGLI STATI LIMITE

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono la verifica agli stati limite secondo i due seguenti approcci:

APPROCCIO 1:

- *Combinazione 1: (A1+ M1+R1).*
- *Combinazione 2: (A2+ M2+R2).*

APPROCCIO 2:

- *Combinazione unica: (A1+ M1+R3).*

Dove con A (Tab.6.2.I. N.T.C.08) si intendono i coefficienti parziali relativi alle azioni, con M (Tab.6.2.II. N.T.C.08) i coefficienti parziali per i parametri geotecnica del terreno e con R (Tab.6.4.I. N.T.C.08) i coefficienti parziali di riduzione della resistenza del terreno.

Va inoltre sottolineato che la verifica di stabilità globale è effettuata secondo l'APPROCCIO 1: *Combinazione 2: (A2+ M2+R2)*, tenendo conto dei coefficienti parziali per le azioni A, i parametri geotecnici M, per le resistenze globali R.

Le rimanenti verifiche sono effettuate, tenendo conto dei coefficienti parziali, almeno uno dei due approcci sopraelencati.

Le nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni, prevedono due combinazioni di carico utilizzando i relativi coefficienti parziali:

- A1-M1: maggiorazione dei carichi (le azioni di progetto vengono aumentate, i parametri di progetto del terreno rimangono quelli caratteristici).
- A2-M2: fattorizzazione delle resistenze (le azioni di progetto rimangono perlopiù invariate, i parametri di progetto del terreno vengono diminuiti).

In particolare per la maggiorazione dei carichi (A) sono stati applicati i coefficienti parziali riportati nella seguente tabella (Tab.6.2.I. N.T.C.08):

Carichi	Effetto	Coefficiente γ	A1 (STR)	A2 (GEO)
Permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,3	1,0
Permanenati non strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,3
Variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,3

Invece ai parametri geotecnici caratteristici del terreno (M) sono stati applicati i seguenti coefficienti (Tab.6.2.II. N.T.C.08):

Parametro		M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	1,0	1,0

Infine in funzione della combinazione di verifica effettuata si sono applicati i seguenti coefficienti di riduzione parziale per le resistenze del terreno (R) (Tab.6.4.I. N.T.C.08):

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante	1,0	1,8	2,3
Scorrimento	1,0	1,1	1,1

I parametri geotecnici fattorizzati applicando i relativi coefficienti riduttivi sono elencati nella tabella sottostante:

Parametro		Valore di progetto	
		M1	M2
Resistenza non drenata (kPa)	c_{uk}	32,26	23,04
Peso dell'unità di volume (kN/m ³)	γ	18,53	18,53

La verifica agli stati limite ultimi, sia in condizioni statiche che dinamiche (Azione => Sisma), deve essere effettuata secondo:

- Approccio 1 / Combinazione 2 (GEO): (A2+M2+R2)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle seguenti tabelle vengono elencati i valori di resistenza del terreno (R_d), ridotti con gli appositi coefficienti in funzione del tipo di verifica di collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno ed al collasso per scorrimento sul piano di posa fondale in *condizioni non drenate*.

Nelle tabelle è visualizzata anche la verifica allo SLU per l'azione del sisma sulle fondazioni, utilizzando il metodo pseudostatico indicato nel punto 7.11.6.2.1 del D.M. 14/01/08.

Nell'analisi pseudostatica l'azione del sisma è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. L'introduzione di una forza orizzontale determina un'inclinazione della forza risultante agente in fondazione, e l'incidenza sul carico ultimo si esplica tramite un fattore di inclinazione del carico.

Il valore della forza orizzontale, che tiene conto delle inerzie dei carichi gravanti sulla fondazione, può essere determinato tramite la formula:

$$F_h = Kh_i \cdot Nd$$

dove:

- Kh_i = coefficiente sismico orizzontale;
- Nd = valore di calcolo della forza verticale (peso dei carichi verticali).

VERIFICA AL COLLASSO PER CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE-TERRENO ALLO S.L.U. PER UNA FONDAZIONE A PLATEA CON B = 25,28 m ed L = 34,60 m.

CONDIZIONI NON DRENATE			Resistenza di progetto	Azioni di progetto	Verifica carico limite
			Rd (kN)	Ed (kN)	
	Approccio 1				
Combinazione 2 (GEO)	A2+M2+R2		52042,35	35343,20	Rd>Ed (VERIFICATO)
Sismica (M2+R2)	Sismica		45541,64	29154,00	Rd>Ed (VERIFICATO)

VERIFICA AL COLLASSO PER SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA ALLO S.L.U. PER UNA FONDAZIONE A PLATEA CON B = 25,28 m ed L = 34,60 m.

CONDIZIONI NON DRENATE			Resistenza di progetto	Azioni di progetto	Verifica carico limite
			Rd (kN)	Ed (kN)	
	Approccio 1				
Combinazione 2 (GEO)	A2+M2+R2		12066,08	3558,80	Rd>Ed (VERIFICATO)
Sismica (M2+R2)	Sismica		12066,08	10774,20	Rd>Ed (VERIFICATO)

9 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Il metodo di calcolo dei cedimenti è rivolto unicamente ad una stima preliminare da proporre al progettista come elemento teorico orientativo nelle fasi di progettazione di una struttura di fondazione.

Per terreni coesivi di spessore limitato, si può utilizzare il metodo di *Terzaghi* basato sull'ipotesi che sia possibile utilizzare la componente elastica dell'equazione generale dei cedimenti.

Prefissato lo spessore H_c del banco comprimibile (entro il quale si esauriscono le tensioni verticali indotte dall'opera), viene condotta la verifica allo schiacciamento dei diversi strati del sottosuolo (ogni 20 cm) nei confronti delle tensioni verticali indotte sul piano di fondazione dall'edificio e valutate, in profondità, secondo la teoria dell'elasticità di *Boussinesq* (1931)

Il metodo di calcolo utilizzato applica la formula edometrica, partendo dal presupposto che la pressione verticale effettiva $p + \Delta p$ si eserciti sul terreno senza che possa avvenire alcuna espansione laterale, e ciò può essere ritenuto valido per la maggioranza dei casi.

$$S = H_c \times \Delta p / M_o \text{ [cm]}$$

H_c indica lo spessore del banco comprimibile, Δp è il sovraccarico trasmesso dalla fondazione al terreno, M_o è il modulo edometrico (ricavato dalla prova penetrometrica).

Il cedimento totale è dato dalla sommatoria dei singoli cedimenti S_i calcolati ogni 20 cm di spessore all'interno del banco comprimibile.

Elaborazione dati

Nell'ipotesi di una serie di fondazioni rigide a platea con $B = 25,28$ m ed $L = 34,60$ m e con profondità piano di posa $D = -1,00$ da p.c., si è applicato un incremento netto di pressione sul piano di fondazione pari al carico di progetto fornito dal progettista strutturale:

$$\Delta p = 0,50 \text{ Kg/cm}^2 \text{ [49,03 kPa]}$$

Si prevede un valore di cedimento pari a:

$$S = 7,31 \text{ cm}$$

I cedimenti totali e differenziali massimi risultano importanti ma sono da considerare accettabili in relazione al quadro stratigrafico presente nell'area ed alle caratteristiche costruttive dell'edificio in progetto.

Considerando la natura dei terreni di fondazione è tuttavia, consigliabile prevedere un complesso fondale piuttosto rigido.

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dall'elaborazione dei dati della prova penetrometrica, e dal presente studio geotecnico si evince che:

- In base alle disposizioni della vigente normativa sulle costruzioni, i terreni che interessano il sito in esame appartengono alla **categoria D** della nuova classificazione sismica, ossia trattasi di *“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)”*.
- Per la tipologia di opera in esame, il valore di a_g rappresentativo dell'area è pari a 0,264g, da cui $a_g = 2,590 \text{ m/s}^2$ con probabilità di superamento in 200 anni del 10% (SLV), ed il valore del coefficiente di amplificazione sismica $S = 1,42$ da cui si ottiene un'accelerazione massima attesa al sito pari a $A_{max} = 3,678 \text{ m/s}^2$.
- La successione litostratigrafica dedotta dall'indagine geognostica eseguita ha rilevato la predominanza di terreni a carattere coesivo e l'assenza di strati granulari di spessore significativo (>1 metro); vengono pertanto esclusi fenomeni della liquefazione in caso di sollecitazioni sismiche di magnitudo di riferimento.
- Il volume significativo investigato dalla campagna di indagine geognostica soddisfa le prescrizioni del D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche sulle Costruzioni) per l'entità dell'opera in progetto.
- Il complesso fondale poggerà sui terreni dell'orizzonte 1 con le caratteristiche elencate nel *modello geologico*.
- *I terreni di fondazione garantiscono sicurezza in condizioni statiche* al collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno ed al collasso per scorrimento sul piano di posa fondale.
- *I terreni di fondazione garantiscono sicurezza in condizioni dinamiche* al collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno ed al collasso per scorrimento sul piano di posa fondale, per azioni sismiche.
- Per fondazione rigida a platea con piano di posa $D = 1,00$ m. di profondità da p.c., lunghezza $L = 34,60$ m e larghezza $B = 25,28$ m. e tensioni trasmesse pari a 49,03 KPa, si prevedono cedimenti massimi dell'ordine di 7,31 cm.

Alla luce dei dati acquisiti, ed in base alle condizioni geologiche e tecniche prescritte dalle normative vigenti, si dà parere favorevole all'edificazione con le precisazioni sopra esposte.

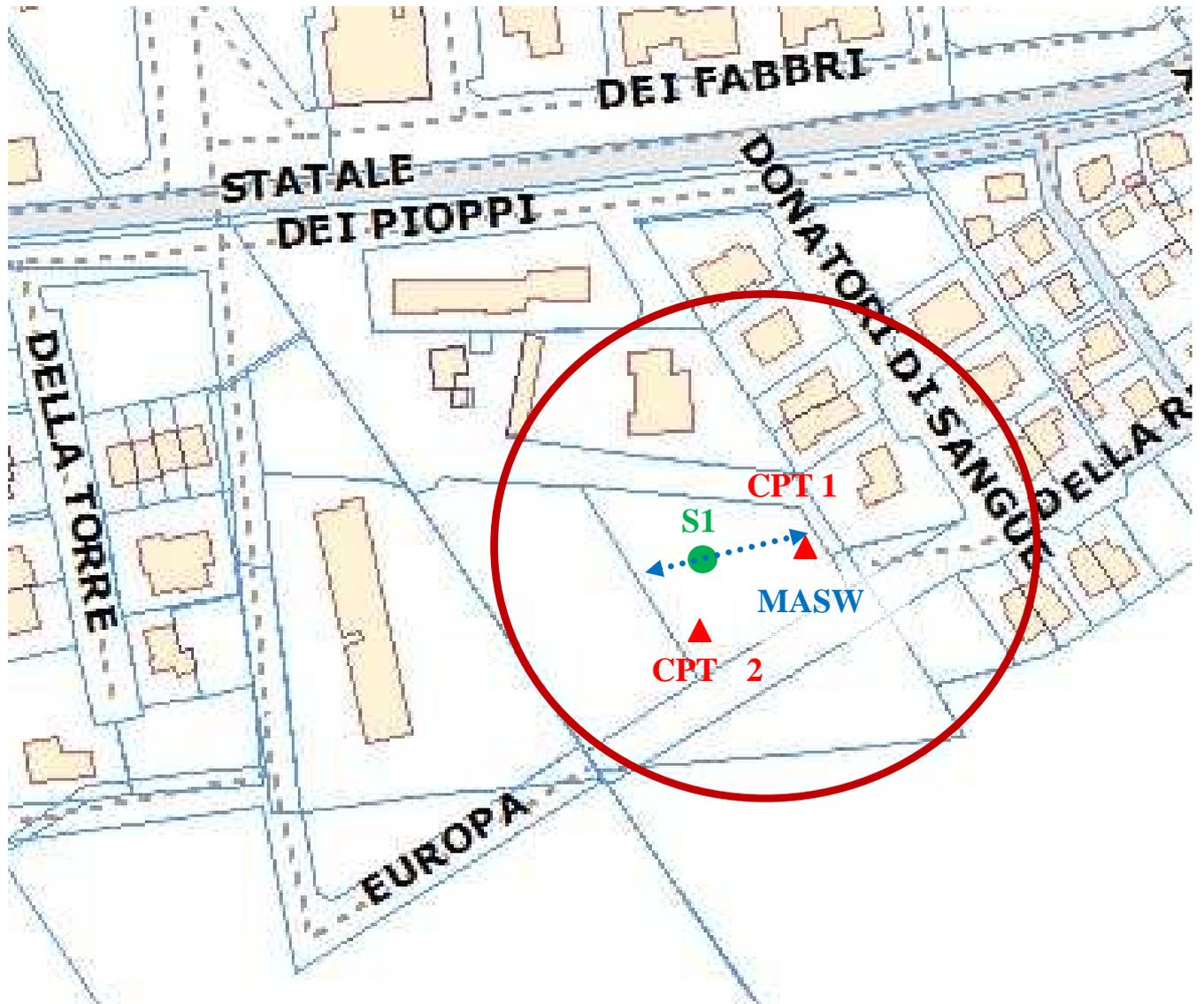
Ferrara, 20 Luglio 2012

Il tecnico

Dott. Geol. Andrea Diegoli



TAVOLA 1
STRALCIO P.R.G. ED UBICAZIONE DELLE PROVE ESEGUITE



ALLEGATO 1
Tavole dati CPT 1 e 2

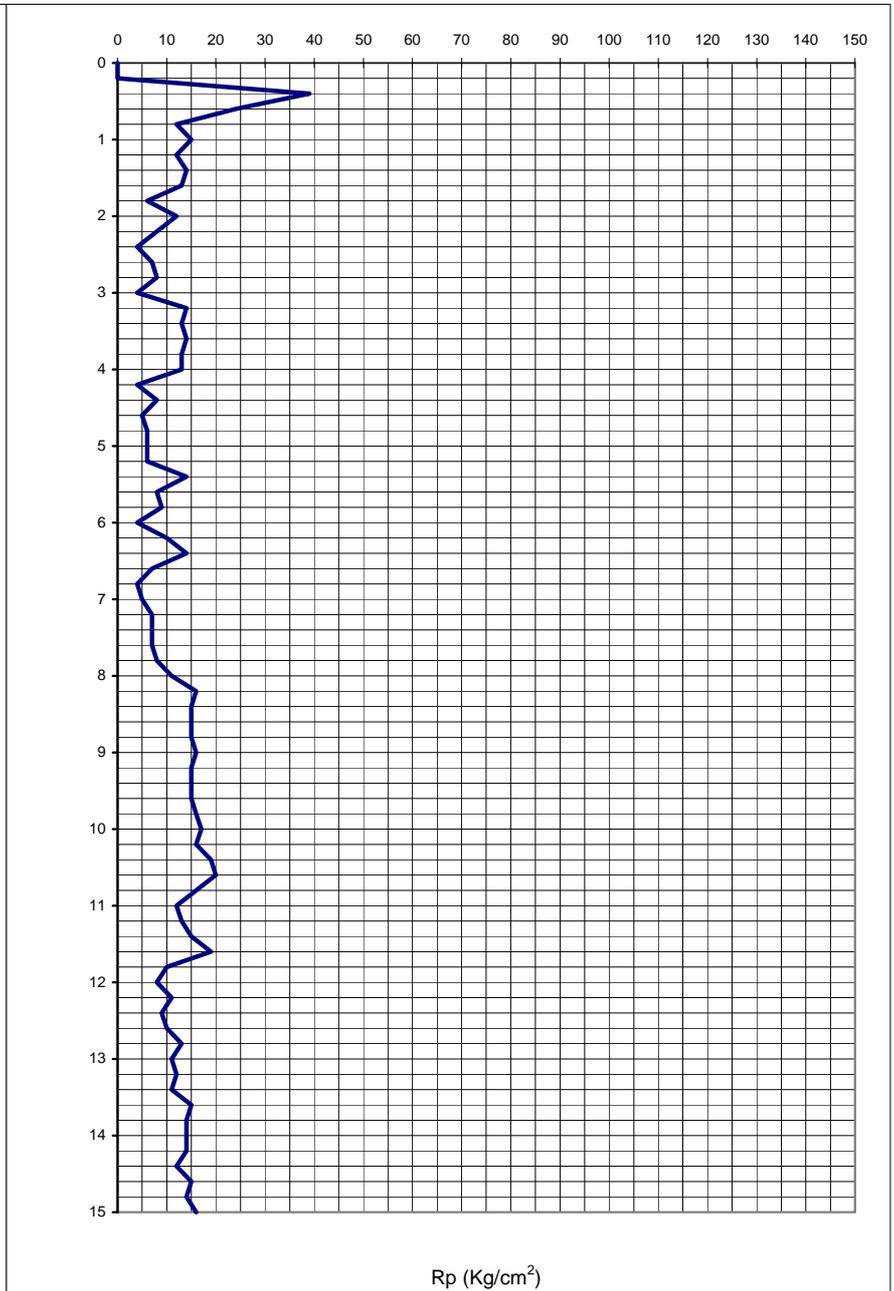
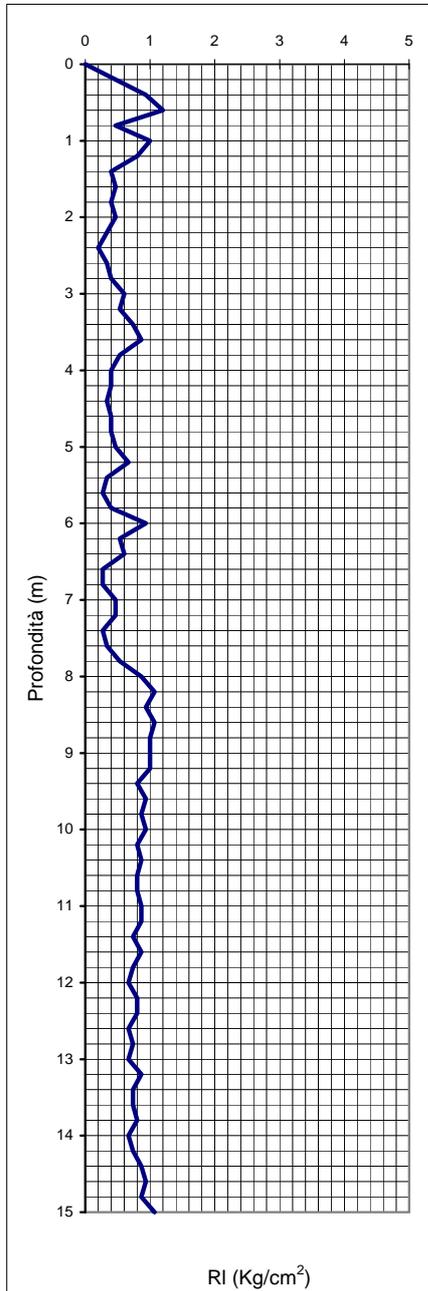
VALORI DI RESISTENZA Rp, RI. CPT 1

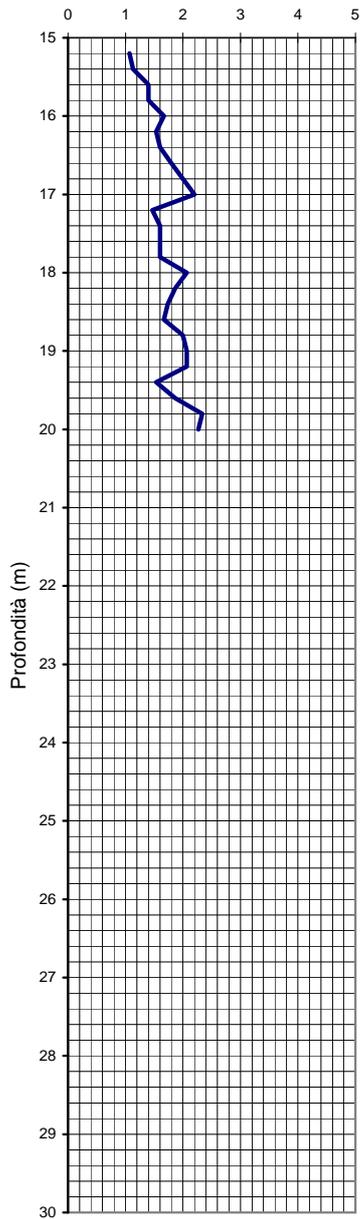
Committente: Comune di Sant'Agostino (FE) _ Caserma dei Carabinieri

Località : Viale Europa - Sant'Agostino (FE)

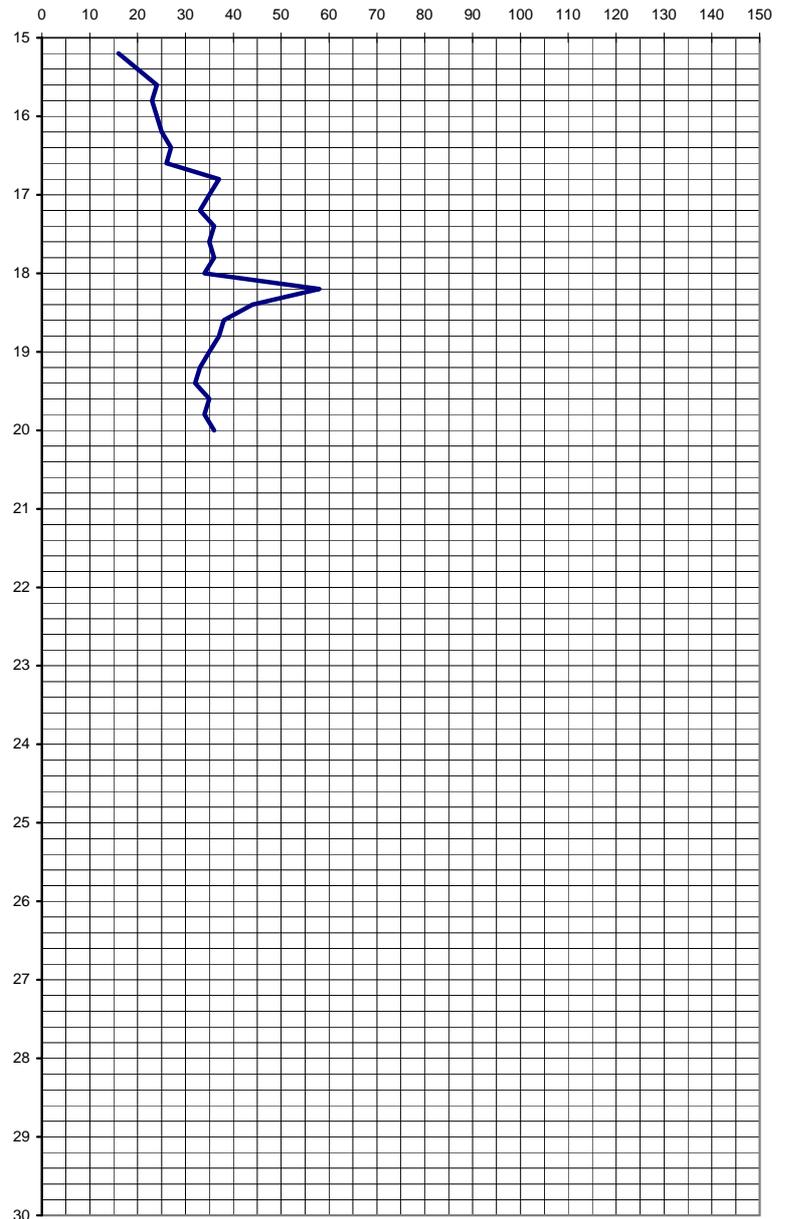
Data: 21/06/2013

Profondità falda (m): 2,1 Quota inizio: p.c.





RI (Kg/cm²)



Rp (Kg/cm²)

DIAGRAMMA Rp / RI - Profondità.

CPT 1

Committente: Comune di Sant'Agostino (FE) _ Caserma dei Carabinieri

Località : Viale Europa - Sant'Agostino (FE)

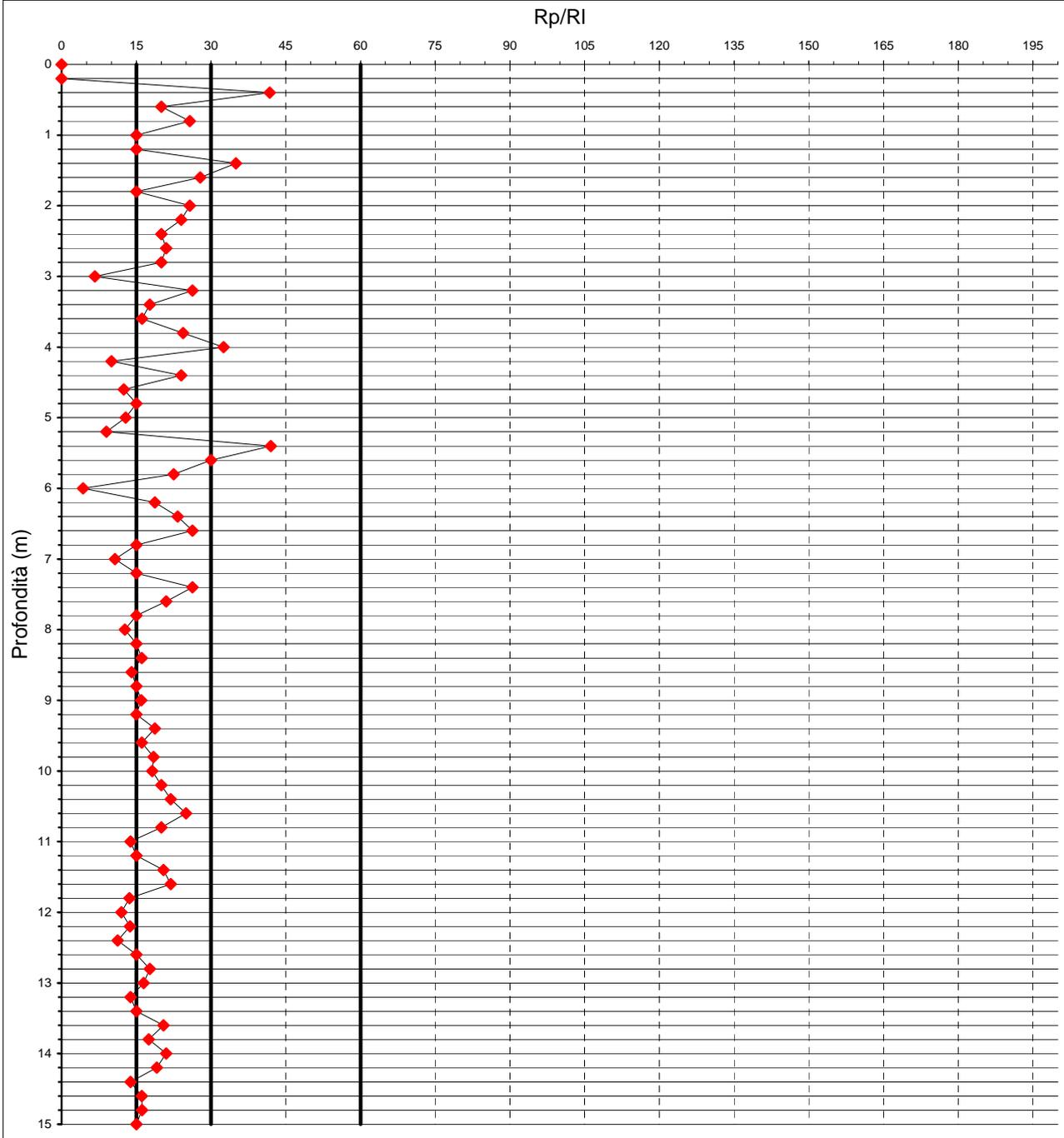
Data: 21/06/2013

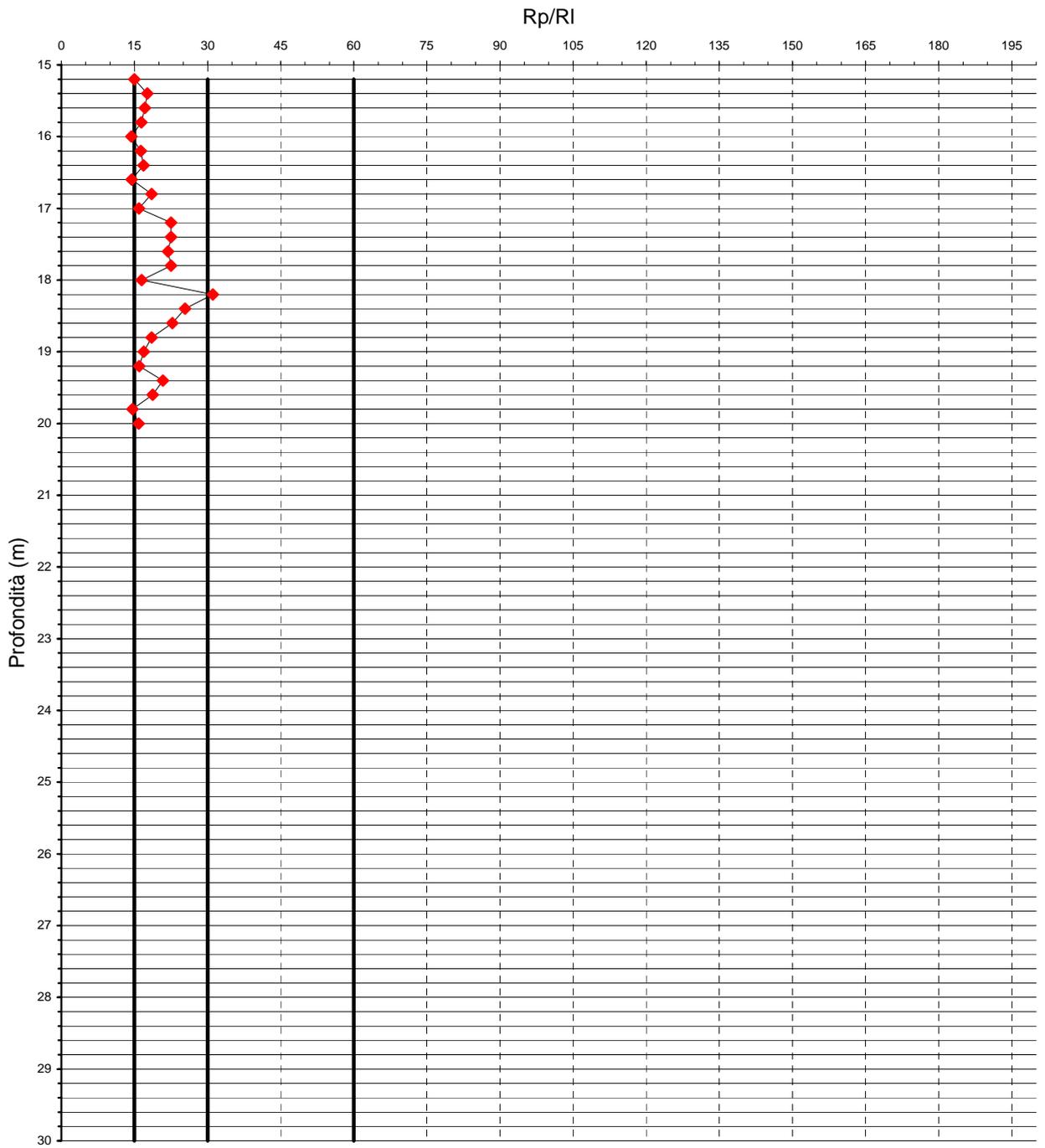
Profondità falda (m): 2,1

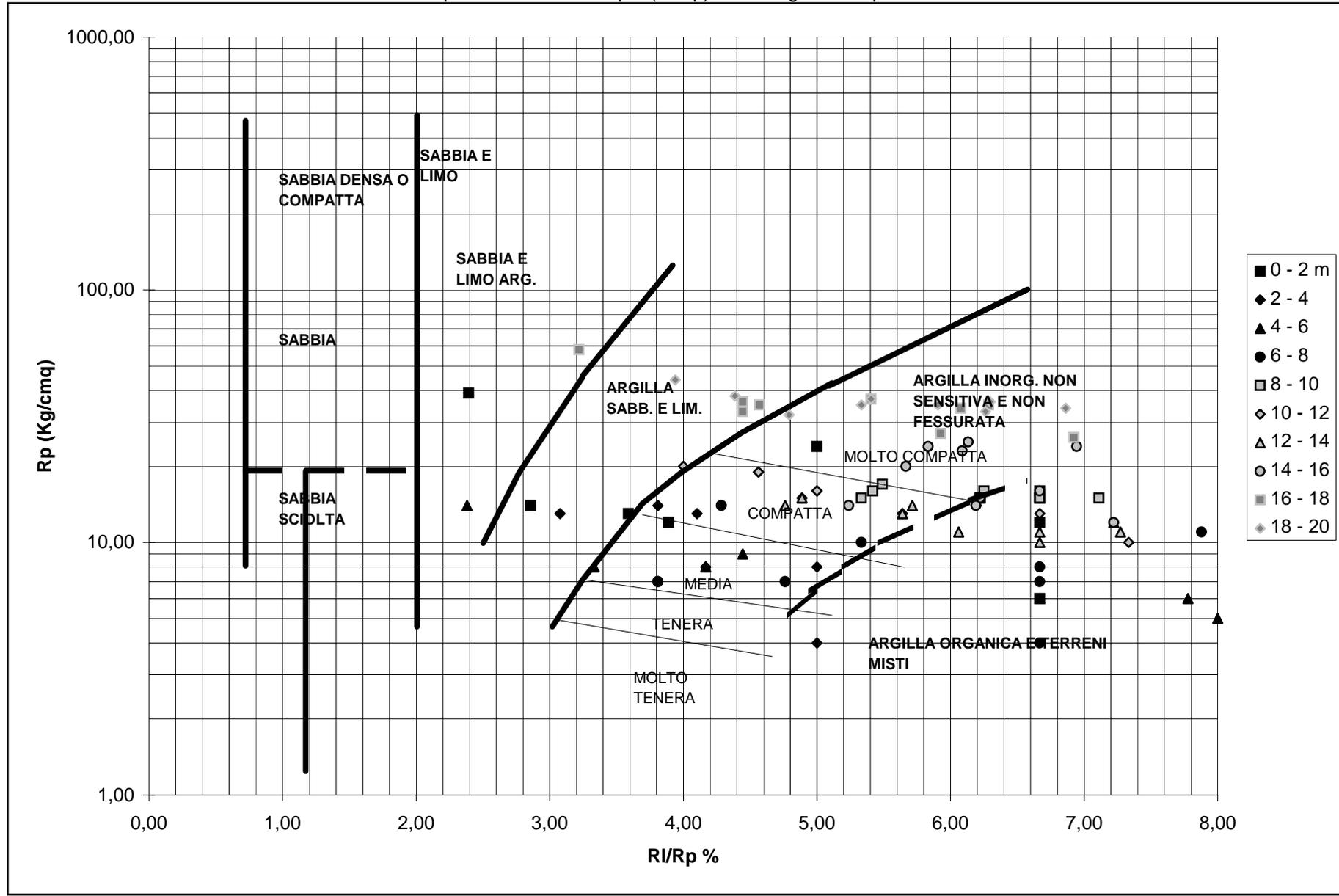
Quota inizio: p.c.

Rp/RI Litologia (Raccomandazioni AGI '77)

0 - 15	torbe ed argille organiche
15 - 30	limi ed argille
30 - 60	limi sabbiosi e sabbie limose
> 60	sabbie e sabbie con ghiaia







PARAMETRI GEOTECNICI . CPT 1

Committente: Comune di Sant'Agostino (FE) _ Caserma dei Carabinieri

Località: Viale Europa - Sant'Agostino (FE)

Data: 21/06/2013

Profondità falda (m): 2,1 **Quota inizio:** p.c.

Penetrometro statico tipo GOUDA
da 20 t (con anello allungatore);
Punta meccanica tipo "Begemann";
Diametro = 35,7 mm;
Angolo di apertura = 60°;
Ap=10 cm²; At=20 cm²; Am=150 cm²;

Prof. (m)	Rp Kg/cm ²	Rf Kg/cm ²	Rp/Rf	Litologia secondo Schmertmann	Natura	γ (t/m ³)	tens. eff. (Kg/cm ²)	C u (Kg/cm ²)	φ	Mo (Kg/cm ²)	OCR
0,20	0,00	0,47	0,00	non rilevato							
0,40	39,00	0,93	41,79	sabbia e limo argilloso	granulare	1,85	0,04	-	31	117	-
0,60	24,00	1,20	20,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,85	0,07	1,13	-	72	155,5
0,80	12,00	0,47	25,71	argilla inorg. media	coesiva	1,85	0,11	0,71	-	45	52,7
1,00	15,00	1,00	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	1,85	0,15	0,87	-	50	47,0
1,20	12,00	0,80	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	1,85	0,19	0,71	-	45	27,8
1,40	14,00	0,40	35,00	sabbia e limo argilloso	granulare	1,85	0,22	-	26	42	-
1,60	13,00	0,47	27,86	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,85	0,26	0,77	-	47	20,0
1,80	6,00	0,40	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	1,85	0,30	0,38	-	9	7,0
2,00	12,00	0,47	25,71	argilla inorg. media	coesiva	1,85	0,33	0,71	-	45	13,3
2,20	8,00	0,33	24,00	argilla inorg. media	coesiva	0,86	0,35	0,49	-	37	7,9
2,40	4,00	0,20	20,00	argilla inorg. tenera	coesiva	0,78	0,37	0,26	-	20	3,3
2,60	7,00	0,33	21,00	argilla inorg. media	coesiva	0,84	0,38	0,44	-	35	6,1
2,80	8,00	0,40	20,00	argilla inorg. media	coesiva	0,86	0,40	0,49	-	37	6,7
3,00	4,00	0,60	6,67	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,40	0,26	-	6	2,9
3,20	14,00	0,53	26,25	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,91	0,42	0,82	-	48	11,7
3,40	13,00	0,73	17,73	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,44	0,77	-	47	10,3
3,60	14,00	0,87	16,15	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,46	0,82	-	48	10,6
3,80	13,00	0,53	24,38	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,48	0,77	-	47	9,3
4,00	13,00	0,40	32,50	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,91	0,50	0,77	-	47	8,9
4,20	4,00	0,40	10,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,50	0,26	-	6	2,2
4,40	8,00	0,33	24,00	argilla inorg. media	coesiva	0,86	0,52	0,49	-	37	4,8
4,60	5,00	0,40	12,50	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,52	0,26	-	8	2,8
4,80	6,00	0,40	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,53	0,38	-	9	3,4
5,00	6,00	0,47	12,86	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,53	0,38	-	9	3,3
5,20	6,00	0,67	9,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,54	0,38	-	9	3,3
5,40	14,00	0,33	42,00	sabbia e limo argilloso	granulare	0,85	0,55	-	26	42	-
5,60	8,00	0,27	30,00	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,86	0,57	0,49	-	37	4,3
5,80	9,00	0,40	22,50	argilla inorg. media	coesiva	0,88	0,59	0,55	-	39	4,7
6,00	4,00	0,93	4,29	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,59	0,26	-	6	1,8
6,20	10,00	0,53	18,75	argilla inorg. compatta	coesiva	0,90	0,61	0,61	-	40	5,1
6,40	14,00	0,60	23,33	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,63	0,82	-	48	7,1
6,60	7,00	0,27	26,25	argilla inorg. media	coesiva	0,84	0,65	0,44	-	35	3,1
6,80	4,00	0,27	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,65	0,26	-	6	1,6
7,00	5,00	0,47	10,71	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,66	0,32	-	8	2,1
7,20	7,00	0,47	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,66	0,44	-	11	3,0
7,40	7,00	0,27	26,25	argilla inorg. media	coesiva	0,84	0,68	0,44	-	35	3,0
7,60	7,00	0,33	21,00	argilla inorg. media	coesiva	0,84	0,70	0,44	-	35	2,9
7,80	8,00	0,53	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,86	0,71	0,49	-	37	3,2
8,00	11,00	0,87	12,69	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	0,73	0,66	-	42	4,5
8,20	16,00	1,07	15,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,91	0,75	0,92	-	52	6,6
8,40	15,00	0,93	16,07	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,91	0,77	0,87	-	50	6,0
8,60	15,00	1,07	14,06	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,91	0,79	0,87	-	50	5,8
8,80	15,00	1,00	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,91	0,80	0,87	-	50	5,7
9,00	16,00	1,00	16,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,91	0,82	0,92	-	52	5,9
9,20	15,00	1,00	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,91	0,84	0,87	-	50	5,4
9,40	15,00	0,80	18,75	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,86	0,87	-	50	5,2
9,60	15,00	0,93	16,07	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,91	0,88	0,87	-	50	5,1
9,80	16,00	0,87	18,46	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,90	0,92	-	52	5,3
10,00	17,00	0,93	18,21	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,91	0,97	-	54	5,5
10,20	16,00	0,80	20,00	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,93	0,92	-	52	5,1
10,40	19,00	0,87	21,92	argilla inorg. compatta	coesiva	0,92	0,95	1,06	-	58	5,9
10,60	20,00	0,80	25,00	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,92	0,97	1,11	-	60	6,1
10,80	16,00	0,80	20,00	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,99	0,92	-	52	4,7
11,00	12,00	0,87	13,85	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,00	0,71	-	45	3,4
11,20	13,00	0,87	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,91	1,02	0,77	-	47	3,6
11,40	15,00	0,73	20,45	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,04	0,87	-	50	4,1
11,60	19,00	0,87	21,92	argilla inorg. compatta	coesiva	0,92	1,06	1,06	-	58	5,2
11,80	10,00	0,73	13,64	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,08	0,61	-	40	2,5
12,00	8,00	0,67	12,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,86	1,09	0,49	-	37	1,9
12,20	11,00	0,80	13,75	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,11	0,66	-	42	2,7
12,40	9,00	0,80	11,25	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,88	1,13	0,55	-	39	2,1
12,60	10,00	0,67	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,15	0,61	-	40	2,3
12,80	13,00	0,73	17,73	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,17	0,77	-	47	3,0
13,00	11,00	0,67	16,50	argilla inorg. compatta	coesiva	0,90	1,18	0,66	-	42	2,5
13,20	12,00	0,87	13,85	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,20	0,71	-	45	2,7
13,40	11,00	0,73	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,22	0,66	-	42	2,4
13,60	15,00	0,73	20,45	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,24	0,87	-	50	3,3
13,80	14,00	0,80	17,50	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,26	0,82	-	48	3,0
14,00	14,00	0,67	21,00	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,28	0,82	-	48	3,0
14,20	14,00	0,73	19,09	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,29	0,82	-	48	2,9
14,40	12,00	0,87	13,85	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,31	0,71	-	45	2,4
14,60	15,00	0,93	16,07	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,91	1,33	0,87	-	50	3,0
14,80	14,00	0,87	16,15	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,35	0,82	-	48	2,8
15,00	16,00	1,07	15,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,91	1,37	0,92	-	52	3,1
15,20	20,00	1,13	17,65	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,92	1,38	1,11	-	60	3,9
15,40	24,00	1,40	17,14	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,94	1,40	1,13	-	72	3,9
15,60	23,00	1,40	16,43	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,94	1,42	1,13	-	69	3,8
15,80	24,00	1,67	14,40	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,94	1,44	1,13	-	72	3,8
16,00	25,00	1,53	16,30	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,95	1,46	1,14	-	75	3,8
16,20	27,00	1,60	16,88	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,96	1,48	1,23	-	81	4,1
16,40	26,00	1,80	14,44	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,96	1,50	1,18	-	78	3,8
16,60	37,00	2,00	18,50	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,02	1,52	1,54	-	111	5,2
16,80	35,00	2,20	15,91	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,01	1,54	1,46	-	105	4,8
17,00	33,00	1,47	22,50	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,00	1,56	1,38	-	99	4,4
17,20	36,00	1,60	22,50	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,02	1,58	1,50	-	108	4,8
17,40	35,00	1,60	21,88	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,01	1,60	1,46	-	105	4,6
17,60	36,00	1,60	22,50	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,02	1,62	1,50	-	108	4,7
17,80	34,00	2,07	16,45	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,00	1,64	1,42	-	102	4,3
18,00	58,00	1,87	31,07	sabbia e limo argilloso	granulare	0,93	1,66	-	31	174	-
18,20	44,00	1,73	25,38	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,04	1,68	1,83	-	132	5,7
18,40	38,00	1,67	22,80	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,03	1,70	1,58	-	114	4,7
18,60	37,00	2,00	18,50	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,02	1,72	1,54	-	111	4,5
18,80	35,00	2,07	16,94	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,01	1,74	1,46	-	105	4,1
19,00	33,00	2,07	15,97	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,00	1,76	1,38	-	99	3,8
19,20	32,00	1,53	20,87	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,99	1,78	1,33	-	96	3,6
19,40	35,00	1,87	18,75	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,01	1,80	1,46	-	105	3,9
19,60	34,00	2,33	14,57	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,00	1,82	1,42	-	102	3,8
19,80	36,00	2,27	15,88	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,02	1,84	1,50	-	108	4,0
20,00	-	-	-	non rilevato	-	1,85	-	-	-	-	-
Prof. (m)	Rp Kg/cm ²	Rf Kg/cm ²	Rp/Rf	Litologia secondo Schmertmann	Natura	γ (t/m ³)	tens. eff. (Kg/cm ²)	C u (Kg/cm ²)	φ	Mo (Kg/cm ²)	OCR

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

1

Committente: Comune di Sant'Agostino (FE) _ Caserma dei Carabinieri

Località: Viale Europa - Sant'Agostino (FE)

Data: 21/06/2013

Profondità falda (m): 2,10 **Quota inizio:** p.c.

Penetrometro statico tipo GOUDA da 20 t (con anello allargatore);
Punta meccanica tipo "Begemann";
Diametro = 35,7 mm;
Angolo di apertura = 60°;
Ap=10 cm²;At=20 cm²;Am=150 cm²;
Velocità di avanzamento = 2 cm/s.

Prof. (m)	lettura di punta	lettura lat.	Rp (Kg/cm ²)	Rf (Kg/cm ²)	Rp/Rf	Litologia secondo Begemann, (Raccomandazioni AGI, 1977)	Prof. falda	Interpretazione stratigrafica
0,20			0,00	0,47	0,00	torbe ed argille organiche		
0,40	39,00	46,00	39,00	0,93	41,79	limi sabbiosi e sabbie limose		
0,60	24,00	38,00	24,00	1,20	20,00	limi ed argille		
0,80	12,00	30,00	12,00	0,47	25,71	limi ed argille		
1,00	15,00	22,00	15,00	1,00	15,00	torbe ed argille organiche		
1,20	12,00	27,00	12,00	0,80	15,00	torbe ed argille organiche		
1,40	14,00	26,00	14,00	0,40	35,00	limi sabbiosi e sabbie limose		
1,60	13,00	19,00	13,00	0,47	27,86	limi ed argille		
1,80	6,00	13,00	6,00	0,40	15,00	torbe ed argille organiche		
2,00	12,00	18,00	12,00	0,47	25,71	limi ed argille		
2,20	8,00	15,00	8,00	0,33	24,00	limi ed argille		
2,40	4,00	9,00	4,00	0,20	20,00	limi ed argille		
2,60	7,00	10,00	7,00	0,33	21,00	limi ed argille		
2,80	8,00	13,00	8,00	0,40	20,00	limi ed argille		
3,00	4,00	10,00	4,00	0,60	6,67	torbe ed argille organiche		
3,20	14,00	23,00	14,00	0,53	26,25	limi ed argille		
3,40	13,00	21,00	13,00	0,73	17,73	limi ed argille		
3,60	14,00	25,00	14,00	0,87	16,15	limi ed argille		
3,80	13,00	26,00	13,00	0,53	24,38	limi ed argille		
4,00	13,00	21,00	13,00	0,40	32,50	limi sabbiosi e sabbie limose		
4,20	4,00	10,00	4,00	0,40	10,00	torbe ed argille organiche		
4,40	8,00	14,00	8,00	0,33	24,00	limi ed argille		
4,60	5,00	10,00	5,00	0,40	12,50	torbe ed argille organiche		
4,80	6,00	12,00	6,00	0,40	15,00	torbe ed argille organiche		
5,00	6,00	12,00	6,00	0,47	12,86	torbe ed argille organiche		
5,20	6,00	13,00	6,00	0,67	9,00	torbe ed argille organiche		
5,40	14,00	24,00	14,00	0,33	42,00	limi sabbiosi e sabbie limose		
5,60	8,00	13,00	8,00	0,27	30,00	limi ed argille		
5,80	9,00	13,00	9,00	0,40	22,50	limi ed argille		
6,00	4,00	10,00	4,00	0,93	4,29	torbe ed argille organiche		
6,20	10,00	24,00	10,00	0,53	18,75	limi ed argille		
6,40	14,00	22,00	14,00	0,60	23,33	limi ed argille		
6,60	7,00	16,00	7,00	0,27	26,25	limi ed argille		
6,80	4,00	8,00	4,00	0,27	15,00	torbe ed argille organiche		
7,00	5,00	9,00	5,00	0,47	10,71	torbe ed argille organiche		
7,20	7,00	14,00	7,00	0,47	15,00	torbe ed argille organiche		
7,40	7,00	14,00	7,00	0,27	26,25	limi ed argille		
7,60	7,00	11,00	7,00	0,33	21,00	limi ed argille		
7,80	8,00	13,00	8,00	0,53	15,00	torbe ed argille organiche		
8,00	11,00	19,00	11,00	0,87	12,69	torbe ed argille organiche		
8,20	16,00	29,00	16,00	1,07	15,00	torbe ed argille organiche		
8,40	15,00	31,00	15,00	0,93	16,07	limi ed argille		
8,60	15,00	29,00	15,00	1,07	14,06	torbe ed argille organiche		
8,80	15,00	31,00	15,00	1,00	15,00	torbe ed argille organiche		
9,00	16,00	31,00	16,00	1,00	16,00	limi ed argille		
9,20	15,00	30,00	15,00	1,00	15,00	torbe ed argille organiche		
9,40	15,00	30,00	15,00	0,80	18,75	limi ed argille		
9,60	15,00	27,00	15,00	0,93	16,07	limi ed argille		
9,80	16,00	30,00	16,00	0,87	18,46	limi ed argille		
10,00	17,00	30,00	17,00	0,93	18,21	limi ed argille		
10,20	16,00	30,00	16,00	0,80	20,00	limi ed argille		
10,40	19,00	31,00	19,00	0,87	21,92	limi ed argille		
10,60	20,00	33,00	20,00	0,80	25,00	limi ed argille		
10,80	16,00	28,00	16,00	0,80	20,00	limi ed argille		
11,00	12,00	24,00	12,00	0,87	13,85	torbe ed argille organiche		
11,20	13,00	26,00	13,00	0,87	15,00	torbe ed argille organiche		
11,40	15,00	28,00	15,00	0,73	20,45	limi ed argille		
11,60	19,00	30,00	19,00	0,87	21,92	limi ed argille		
11,80	10,00	23,00	10,00	0,73	13,64	torbe ed argille organiche		
12,00	8,00	19,00	8,00	0,67	12,00	torbe ed argille organiche		
12,20	11,00	21,00	11,00	0,80	13,75	torbe ed argille organiche		
12,40	9,00	21,00	9,00	0,80	11,25	torbe ed argille organiche		
12,60	10,00	22,00	10,00	0,67	15,00	torbe ed argille organiche		
12,80	13,00	23,00	13,00	0,73	17,73	limi ed argille		
13,00	11,00	22,00	11,00	0,67	16,50	limi ed argille		
13,20	12,00	22,00	12,00	0,87	13,85	torbe ed argille organiche		
13,40	11,00	24,00	11,00	0,73	15,00	torbe ed argille organiche		
13,60	15,00	26,00	15,00	0,73	20,45	limi ed argille		
13,80	14,00	25,00	14,00	0,80	17,50	limi ed argille		
14,00	14,00	26,00	14,00	0,67	21,00	limi ed argille		
14,20	14,00	24,00	14,00	0,73	19,09	limi ed argille		
14,40	12,00	23,00	12,00	0,87	13,85	torbe ed argille organiche		
14,60	15,00	28,00	15,00	0,93	16,07	limi ed argille		
14,80	14,00	28,00	14,00	0,87	16,15	limi ed argille		
15,00	16,00	29,00	16,00	1,07	15,00	torbe ed argille organiche		
15,20	20,00	36,00	20,00	1,13	17,65	limi ed argille		
15,40	24,00	41,00	24,00	1,40	17,14	limi ed argille		
15,60	23,00	44,00	23,00	1,40	16,43	limi ed argille		
15,80	24,00	45,00	24,00	1,67	14,40	torbe ed argille organiche		
16,00	25,00	50,00	25,00	1,53	16,30	limi ed argille		
16,20	27,00	50,00	27,00	1,60	16,88	limi ed argille		
16,40	26,00	50,00	26,00	1,80	14,44	torbe ed argille organiche		
16,60	37,00	64,00	37,00	2,00	18,50	limi ed argille		
16,80	35,00	65,00	35,00	2,20	15,91	limi ed argille		
17,00	33,00	66,00	33,00	1,47	22,50	limi ed argille		
17,20	36,00	58,00	36,00	1,60	22,50	limi ed argille		
17,40	35,00	58,00	35,00	1,60	21,88	limi ed argille		
17,60	36,00	60,00	36,00	1,60	22,50	limi ed argille		
17,80	34,00	58,00	34,00	2,07	16,45	limi ed argille		
18,00	58,00	89,00	58,00	1,87	31,07	limi sabbiosi e sabbie limose		
18,20	44,00	72,00	44,00	1,73	25,38	limi ed argille		
18,40	38,00	64,00	38,00	1,67	22,80	limi ed argille		
18,60	37,00	62,00	37,00	2,00	18,50	limi ed argille		
18,80	35,00	65,00	35,00	2,07	16,94	limi ed argille		
19,00	33,00	64,00	33,00	2,07	15,97	limi ed argille		
19,20	32,00	63,00	32,00	1,53	20,87	limi ed argille		
19,40	35,00	58,00	35,00	1,87	18,75	limi ed argille		
19,60	34,00	62,00	34,00	2,33	14,57	torbe ed argille organiche		
19,80	36,00	71,00	36,00	2,27	15,88	limi ed argille		
20,00	48,00	82,00	-	-	-	non rilevato		
Prof. (m)	lettura di punta	lettura lat.	Rp (Kg/cm ²)	Rf (Kg/cm ²)	Rp/Rf	Litologia secondo Begemann, (Raccomandazioni AGI, 1977)		

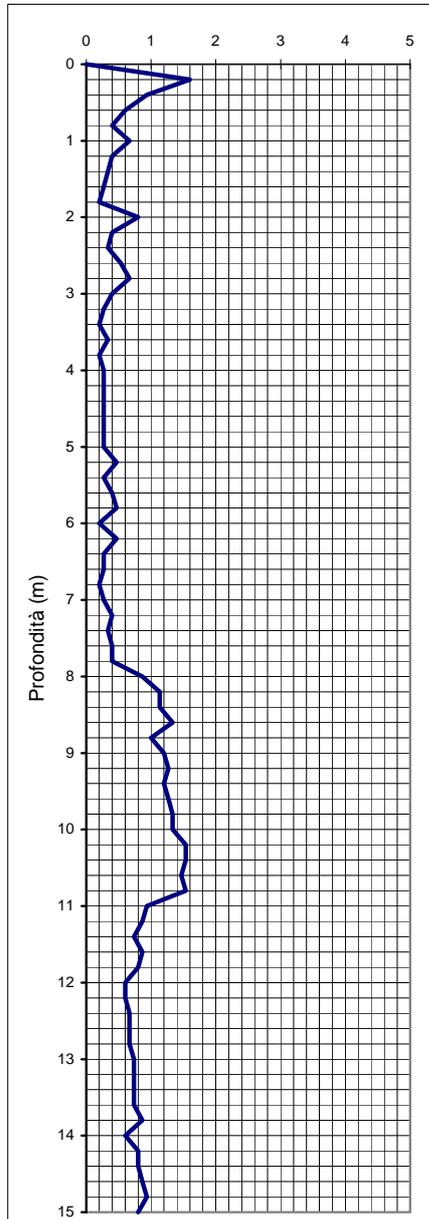
VALORI DI RESISTENZA Rp, RI. CPT 2

Committente: Comune di Sant'Agostino (FE) _ Caserma dei Carabinieri

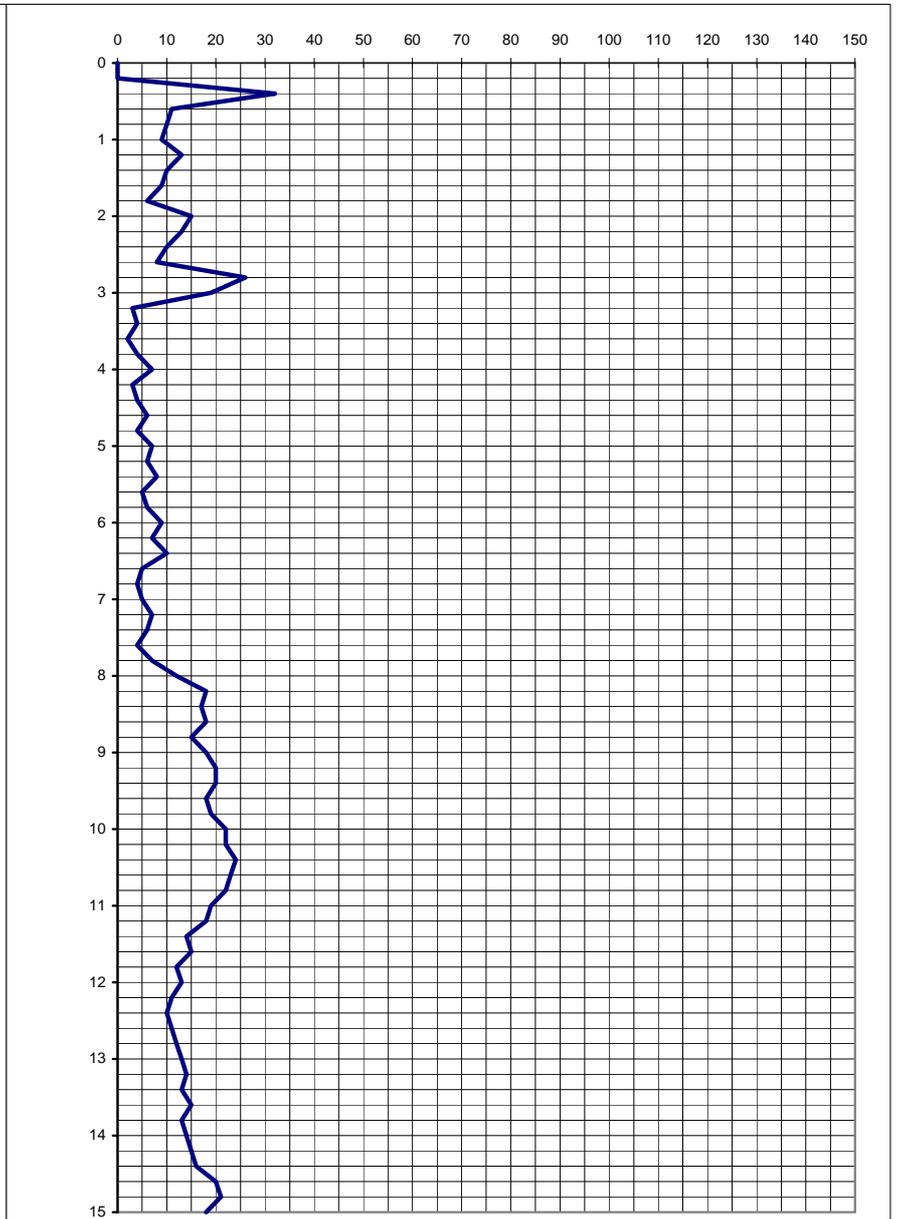
Località : Viale Europa - Sant'Agostino (FE)

Data: 21/06/2013

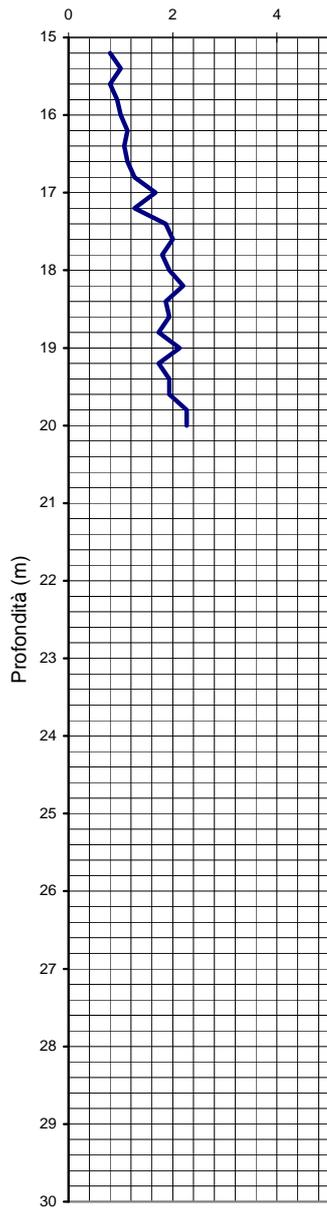
Profondità falda (m): 1,9 Quota inizio: p.c.



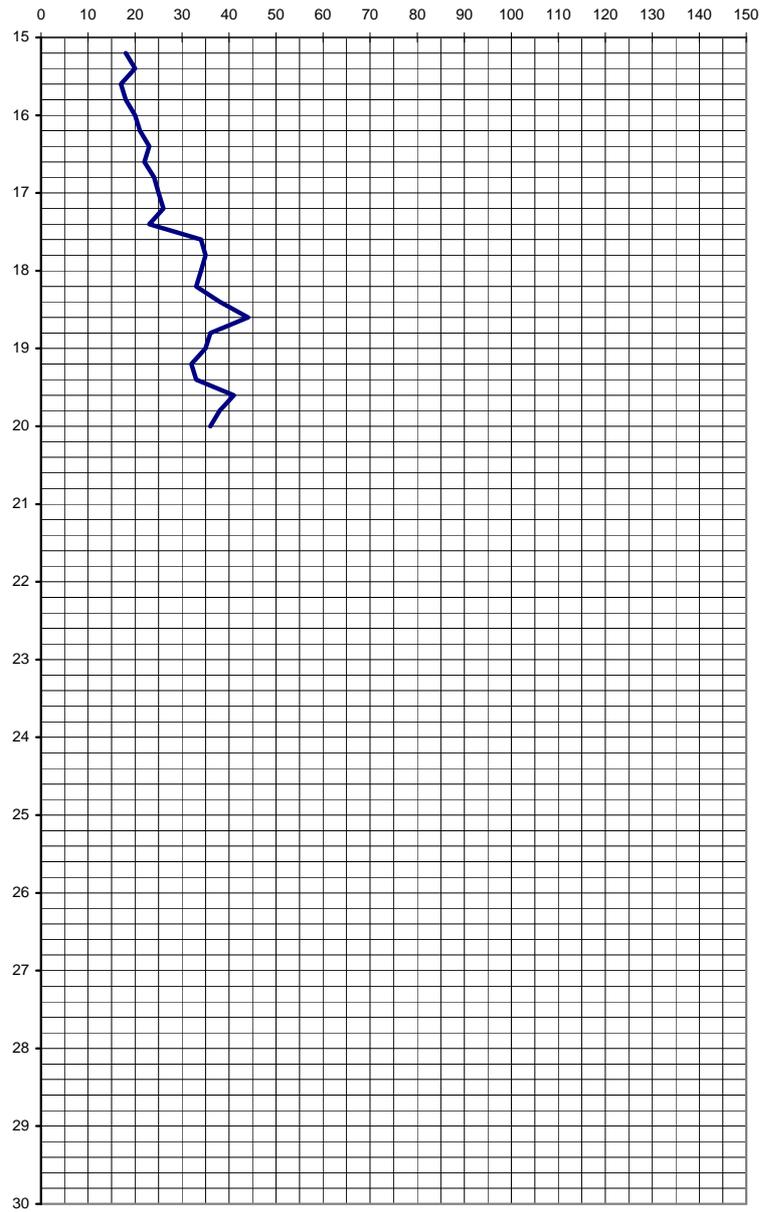
RI (Kg/cm²)



Rp (Kg/cm²)



RI (Kg/cm²)



Rp (Kg/cm²)

DIAGRAMMA Rp / RI - Profondità.

CPT 2

Committente: Comune di Sant'Agostino (FE) _ Caserma dei Carabinieri

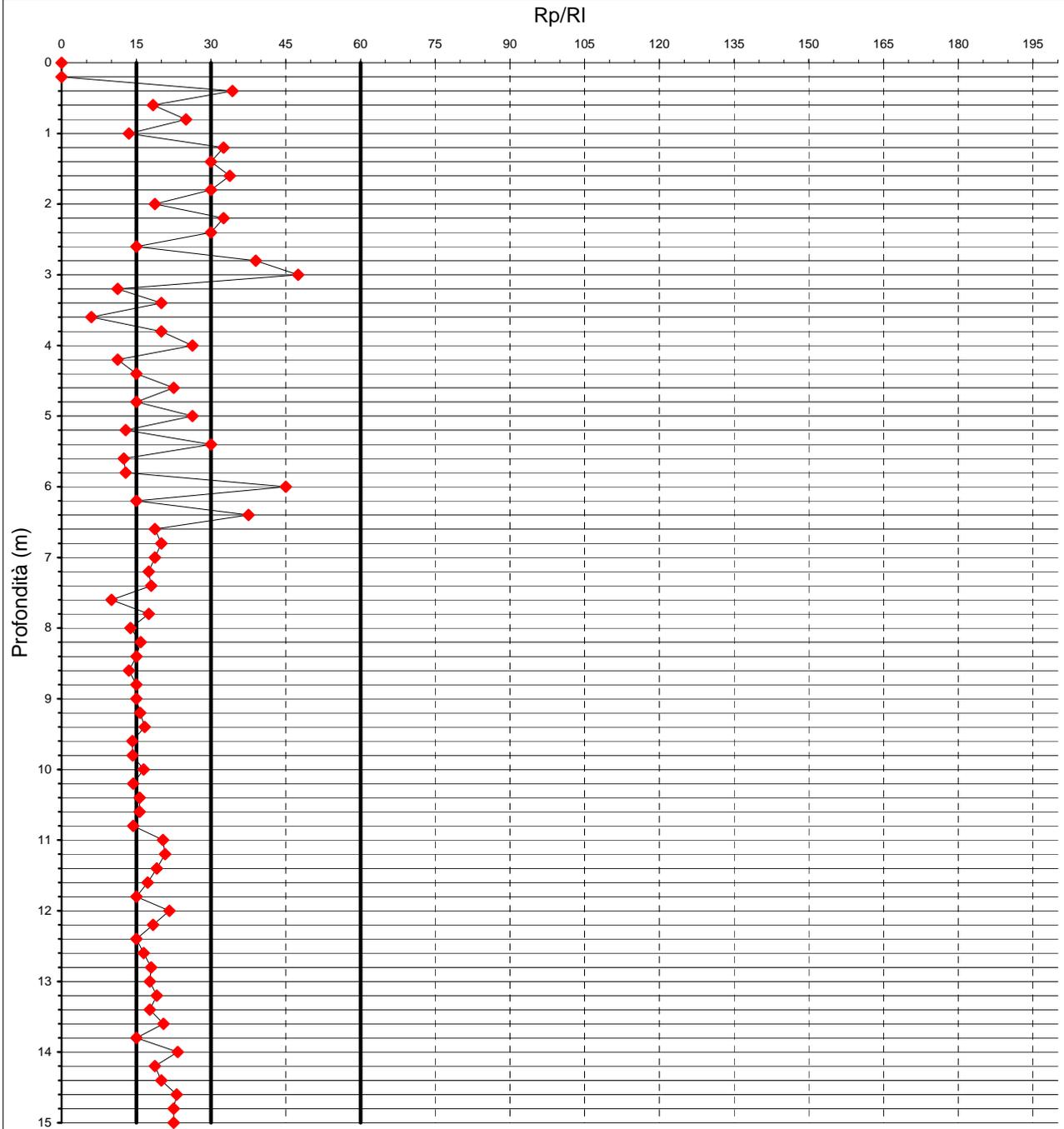
Località : Viale Europa - Sant'Agostino (FE)

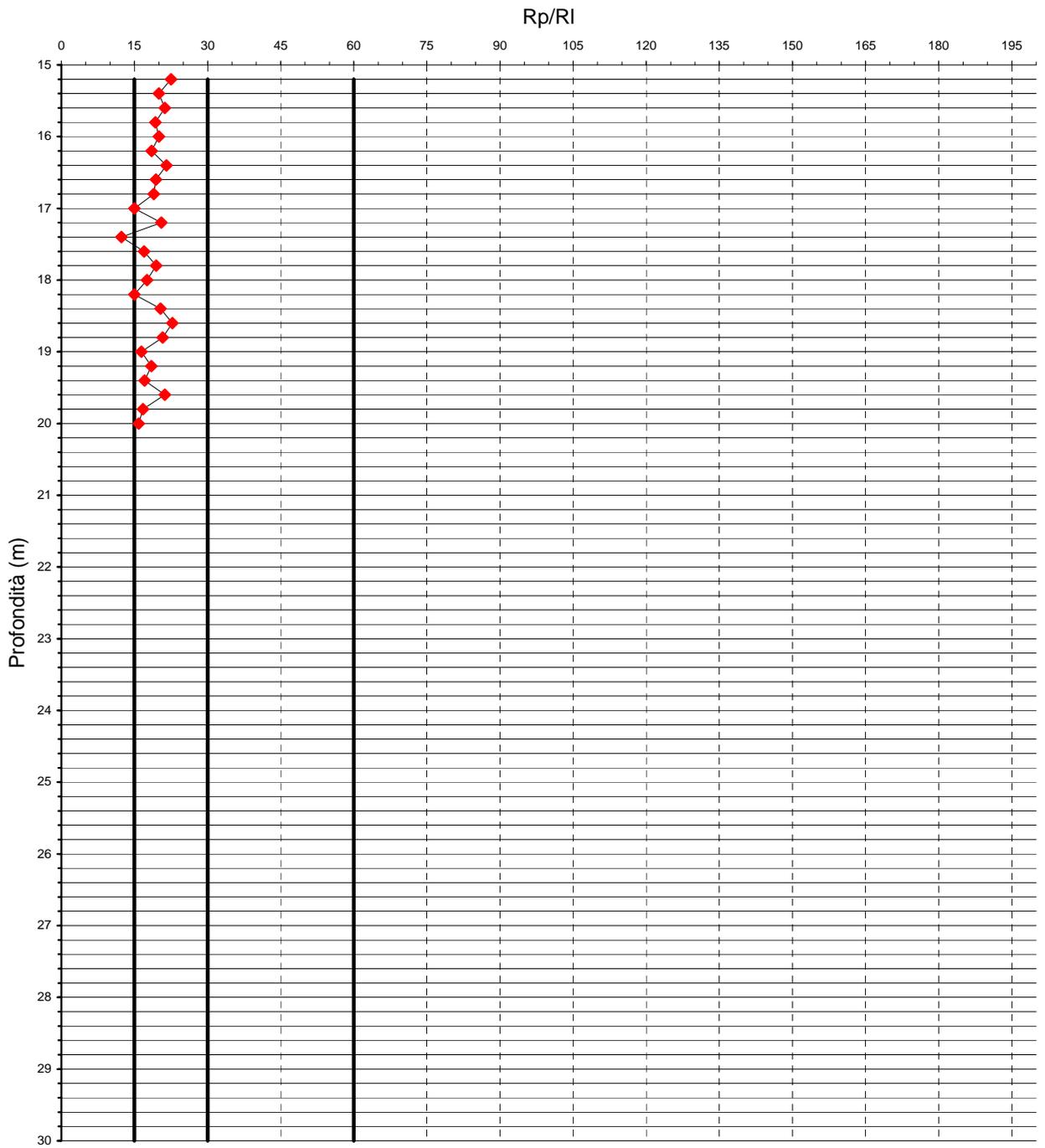
Data: 21/06/2013

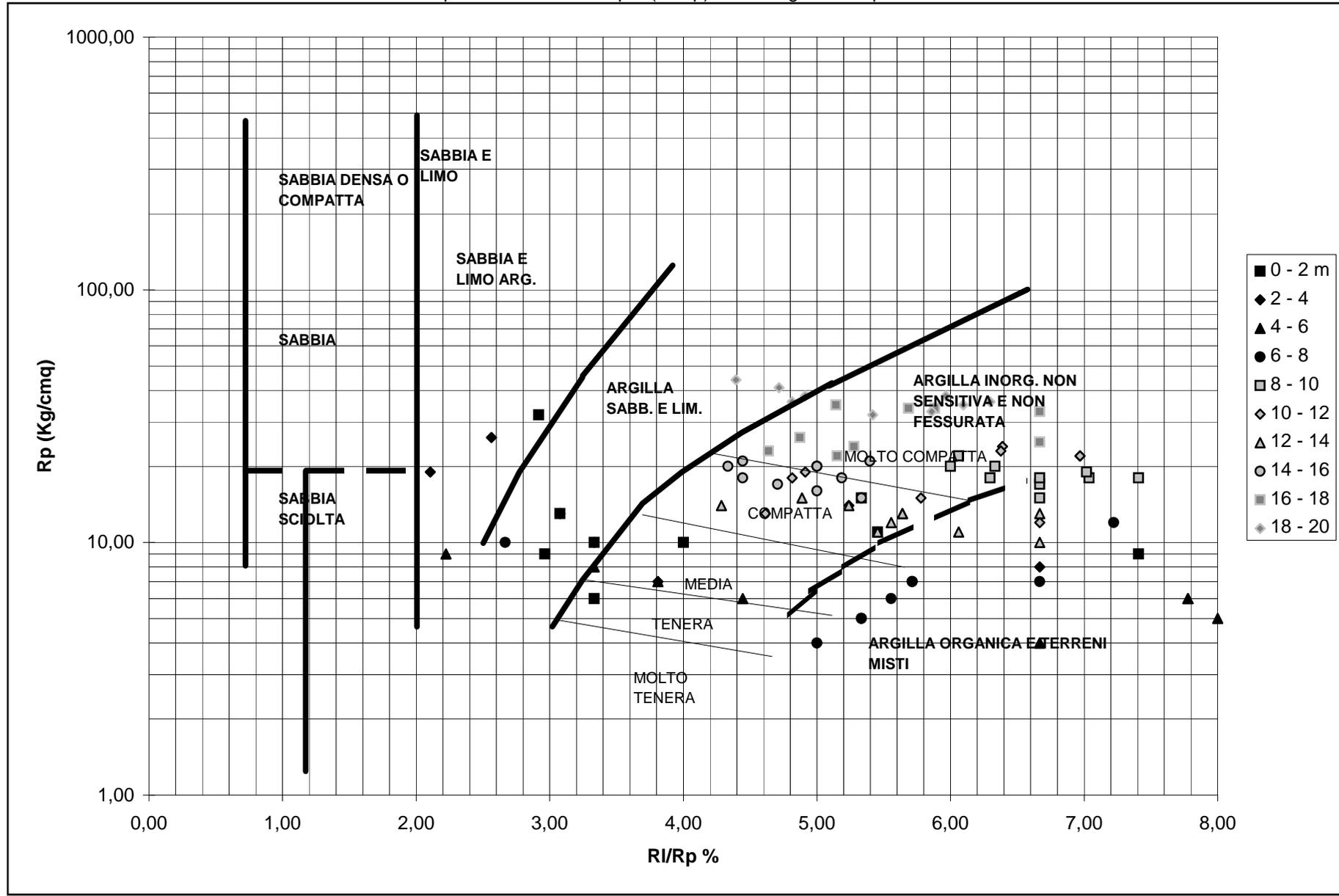
Profondità falda (m): 1,9 Quota inizio: p.c.

Rp/RI Litologia (Raccomandazioni AGI '77)

0 - 15	torbe ed argille organiche
15 - 30	limi ed argille
30 - 60	limi sabbiosi e sabbie limose
> 60	sabbie e sabbie con ghiaia







PARAMETRI GEOTECNICI . CPT 2

Committente: Comune di Sant'Agostino (FE) _ Caserma dei Carabinieri

Località: Viale Europa - Sant'Agostino (FE)

Data: 21/06/2013

Profondità falda (m): 1,9 Quota inizio: p.c.

Prof. (m)	Rp Kg/cm ²	Rf Kg/cm ²	Rp/Rf	Litologia secondo Schmertmann	Natura	γ' (t/m ³)	tens. eff. (Kg/cm ²)	C u (Kg/cm ²)	φ	Mo (Kg/cm ²)	OCR
0,20	0,00	1,60	0,00	non rilevato							
0,40	32,00	0,93	34,29	sabbia e limo argilloso	granulare	1,85	0,04	-	30	96	-
0,60	11,00	0,60	18,33	argilla inorg. compatta	coesiva	1,85	0,07	0,66	-	42	79,3
0,80	10,00	0,40	25,00	argilla inorg. media	coesiva	1,85	0,11	0,61	-	40	42,9
1,00	9,00	0,67	13,50	argilla organica e terreni misti	coesiva	1,85	0,15	0,55	-	39	26,5
1,20	13,00	0,40	32,50	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,85	0,19	0,77	-	47	30,4
1,40	10,00	0,33	30,00	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,85	0,22	0,61	-	40	18,0
1,60	9,00	0,27	33,75	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,85	0,26	0,55	-	39	13,2
1,80	6,00	0,20	30,00	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,85	0,30	0,38	-	9	7,0
2,00	15,00	0,80	18,75	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	0,31	0,87	-	50	18,3
2,20	13,00	0,40	32,50	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,91	0,33	0,77	-	47	14,6
2,40	10,00	0,33	30,00	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,90	0,35	0,61	-	40	10,2
2,60	8,00	0,53	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,86	0,37	0,49	-	37	7,4
2,80	26,00	0,67	39,00	sabbia e limo argilloso	granulare	0,87	0,38	-	30	78	-
3,00	19,00	0,40	47,50	sabbia e limo argilloso	granulare	0,86	0,40	-	26	57	-
3,20	3,00	0,27	11,25	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,41	0,19	-	5	2,0
3,40	4,00	0,20	20,00	argilla inorg. tenera	coesiva	0,78	0,42	0,26	-	20	2,8
3,60	2,00	0,33	6,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,43	0,13	-	3	1,2
3,80	4,00	0,20	20,00	argilla inorg. tenera	coesiva	0,78	0,44	0,26	-	20	2,6
4,00	7,00	0,27	26,25	argilla inorg. media	coesiva	0,84	0,46	0,44	-	35	4,8
4,20	3,00	0,27	11,25	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,47	0,19	-	5	1,7
4,40	4,00	0,27	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,47	0,26	-	6	2,4
4,60	6,00	0,27	22,50	argilla inorg. media	coesiva	0,82	0,49	0,38	-	30	3,7
4,80	4,00	0,27	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,49	0,26	-	6	2,3
5,00	7,00	0,27	26,25	argilla inorg. media	coesiva	0,84	0,51	0,44	-	35	4,2
5,20	6,00	0,47	12,86	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,51	0,38	-	9	3,5
5,40	8,00	0,27	30,00	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,86	0,53	0,49	-	37	4,7
5,60	5,00	0,40	12,50	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,54	0,32	-	8	2,7
5,80	6,00	0,47	12,86	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,54	0,38	-	9	3,3
6,00	9,00	0,20	45,00	sabbia e limo argilloso	granulare	0,84	0,56	-	26	27	-
6,20	7,00	0,47	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,56	0,44	-	11	3,7
6,40	10,00	0,27	37,50	sabbia e limo argilloso	granulare	0,84	0,58	-	26	30	-
6,60	5,00	0,27	18,75	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,80	0,60	0,32	-	25	2,3
6,80	4,00	0,20	20,00	argilla inorg. tenera	coesiva	0,78	0,61	0,26	-	20	1,7
7,00	5,00	0,27	18,75	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,80	0,63	0,32	-	25	2,2
7,20	7,00	0,40	17,50	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,84	0,64	0,44	-	35	3,2
7,40	6,00	0,33	18,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,82	0,66	0,38	-	30	2,6
7,60	4,00	0,40	10,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,25	0,66	0,26	-	6	1,6
7,80	7,00	0,40	17,50	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,84	0,68	0,44	-	35	2,9
8,00	12,00	0,87	13,85	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	0,70	0,71	-	45	5,3
8,20	18,00	1,13	15,88	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,92	0,72	1,02	-	56	7,9
8,40	17,00	1,13	15,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,91	0,74	0,97	-	54	7,2
8,60	18,00	1,33	13,50	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,92	0,75	1,02	-	56	7,5
8,80	15,00	1,00	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,91	0,77	0,87	-	50	6,0
9,00	18,00	1,20	15,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,92	0,79	1,02	-	56	7,0
9,20	20,00	1,27	15,79	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,92	0,81	1,11	-	60	7,6
9,40	20,00	1,20	16,67	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,92	0,83	1,11	-	60	7,4
9,60	18,00	1,27	14,21	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,92	0,85	1,02	-	56	6,5
9,80	19,00	1,33	14,25	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,92	0,86	1,06	-	58	6,7
10,00	22,00	1,33	16,50	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,93	0,88	1,12	-	66	6,9
10,20	22,00	1,53	14,35	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,93	0,90	1,12	-	66	6,8
10,40	24,00	1,53	15,65	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,94	0,92	1,13	-	72	6,7
10,60	23,00	1,47	15,68	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,94	0,94	1,13	-	69	6,5
10,80	22,00	1,53	14,35	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,93	0,96	1,12	-	66	6,3
11,00	19,00	0,93	20,36	argilla inorg. compatta	coesiva	0,92	0,98	1,06	-	58	5,7
11,20	18,00	0,87	20,77	argilla inorg. compatta	coesiva	0,92	0,99	1,02	-	56	5,3
11,40	14,00	0,73	19,09	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,01	0,82	-	48	3,9
11,60	15,00	0,87	17,31	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,03	0,87	-	50	4,2
11,80	12,00	0,80	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,05	0,71	-	45	3,2
12,00	13,00	0,60	21,67	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,07	0,77	-	47	3,4
12,20	11,00	0,60	18,33	argilla inorg. compatta	coesiva	0,90	1,09	0,66	-	42	2,8
12,40	10,00	0,67	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,90	1,10	0,61	-	40	2,4
12,60	11,00	0,67	16,50	argilla inorg. compatta	coesiva	0,90	1,12	0,66	-	42	2,7
12,80	12,00	0,67	18,00	argilla inorg. compatta	coesiva	0,90	1,14	0,71	-	45	2,9
13,00	13,00	0,73	17,73	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,16	0,77	-	47	3,1
13,20	14,00	0,73	19,09	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,18	0,82	-	48	3,3
13,40	13,00	0,73	17,73	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,19	0,77	-	47	3,0
13,60	15,00	0,73	20,45	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,21	0,87	-	50	3,4
13,80	13,00	0,87	15,00	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,91	1,23	0,77	-	47	2,8
14,00	14,00	0,60	23,33	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,25	0,82	-	48	3,0
14,20	15,00	0,80	18,75	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,27	0,87	-	50	3,2
14,40	16,00	0,80	20,00	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,28	0,92	-	52	3,4
14,60	20,00	0,87	23,08	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	0,92	1,30	1,11	-	60	4,2
14,80	21,00	0,93	22,50	argilla inorg. compatta	coesiva	0,93	1,32	1,12	-	63	4,2
15,00	18,00	0,80	22,50	argilla inorg. compatta	coesiva	0,92	1,34	1,02	-	56	3,6
15,20	20,00	1,00	20,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,92	1,36	1,11	-	60	4,0
15,40	17,00	0,80	21,25	argilla inorg. compatta	coesiva	0,91	1,38	0,97	-	54	3,3
15,60	18,00	0,93	19,29	argilla inorg. compatta	coesiva	0,92	1,40	1,02	-	56	3,5
15,80	20,00	1,00	20,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,92	1,41	1,11	-	60	3,8
16,00	21,00	1,13	18,53	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,93	1,43	1,12	-	63	3,8
16,20	23,00	1,07	21,56	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,94	1,45	1,13	-	69	3,7
16,40	22,00	1,13	19,41	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,93	1,47	1,12	-	66	3,7
16,60	24,00	1,27	18,95	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,94	1,49	1,13	-	72	3,6
16,80	25,00	1,67	15,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,95	1,51	1,14	-	75	3,6
17,00	26,00	1,27	20,53	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,96	1,53	1,18	-	78	3,7
17,20	23,00	1,87	12,32	argilla organica e terreni misti	coesiva	0,94	1,55	1,13	-	69	3,5
17,40	34,00	2,00	17,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,00	1,57	1,42	-	102	4,5
17,60	35,00	1,80	19,44	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,01	1,59	1,46	-	105	4,6
17,80	34,00	1,93	17,59	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,00	1,61	1,42	-	102	4,4
18,00	33,00	2,20	15,00	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,00	1,63	1,38	-	99	4,2
18,20	38,00	1,87	20,36	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,03	1,65	1,58	-	114	4,9
18,40	44,00	1,93	22,76	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,04	1,67	1,83	-	132	5,8
18,60	36,00	1,73	20,77	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,02	1,69	1,50	-	108	4,4
18,80	35,00	2,13	16,41	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,01	1,71	1,46	-	105	4,2
19,00	32,00	1,73	18,46	argilla inorg. molto compatta	coesiva	0,99	1,73	1,33	-	96	3,7
19,20	33,00	1,93	17,07	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,00	1,75	1,38	-	99	3,8
19,40	41,00	1,93	21,21	argilla sabbiosa e limosa	coesiva	1,04	1,77	1,71	-	123	4,9
19,60	38,00	2,27	16,76	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,03	1,79	1,58	-	114	4,4
19,80	36,00	2,27	15,88	argilla inorg. molto compatta	coesiva	1,02	1,81	1,50	-	108	4,1
20,00	-	-	-	non rilevato	-	1,85	-	-	-	-	-
Prof. (m)	Rp Kg/cm ²	Rf Kg/cm ²	Rp/Rf	Litologia secondo Schmertmann	Natura	γ' (t/m ³)	tens. eff. (Kg/cm ²)	C u (Kg/cm ²)	φ	Mo (Kg/cm ²)	OCR

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

2

Committente: Comune di Sant'Agostino (FE) _ Caserma dei Carabinieri

Località: Viale Europa - Sant'Agostino (FE)

Data: 21/06/2013

Profondità falda (m): 1,90 **Quota inizio:** p.c.

Penetrometro statico tipo GOUDA
da 20 t (con anello allargatore);
Punta meccanica tipo "Begemann";
Diametro = 35,7 mm;
Angolo di apertura = 60°;
Ap=10 cm²;At=20 cm²;Am=150 cm²;
Velocità di avanzamento = 2 cm/s.

Prof. (m)	lettura di punta	lettura lat.	Rp (Kg/cm ²)	Rf (Kg/cm ²)	Rp/Rf	Litologia secondo Begemann, (Raccomandazioni AGI, 1977)	Prof. falda	Interpretazione stratigrafica
0,20			0,00	1,60	0,00	torbe ed argille organiche		
0,40	32,00	56,00	32,00	0,93	34,29	limi sabbiosi e sabbie limose		
0,60	11,00	25,00	11,00	0,60	18,33	limi ed argille		
0,80	10,00	19,00	10,00	0,40	25,00	limi ed argille		
1,00	9,00	15,00	9,00	0,67	13,50	torbe ed argille organiche		
1,20	13,00	23,00	13,00	0,40	32,50	limi sabbiosi e sabbie limose		
1,40	10,00	16,00	10,00	0,33	30,00	limi ed argille		
1,60	9,00	14,00	9,00	0,27	33,75	limi sabbiosi e sabbie limose		
1,80	6,00	10,00	6,00	0,20	30,00	limi ed argille		
2,00	15,00	18,00	15,00	0,80	18,75	limi ed argille	H ₂ O	
2,20	13,00	25,00	13,00	0,40	32,50	limi sabbiosi e sabbie limose		
2,40	10,00	16,00	10,00	0,33	30,00	limi ed argille		
2,60	8,00	13,00	8,00	0,53	15,00	torbe ed argille organiche		
2,80	26,00	34,00	26,00	0,67	39,00	limi sabbiosi e sabbie limose		
3,00	19,00	29,00	19,00	0,40	47,50	limi sabbiosi e sabbie limose		
3,20	3,00	9,00	3,00	0,27	11,25	torbe ed argille organiche		
3,40	4,00	8,00	4,00	0,20	20,00	limi ed argille		
3,60	2,00	5,00	2,00	0,33	6,00	torbe ed argille organiche		
3,80	4,00	9,00	4,00	0,20	20,00	limi ed argille		
4,00	7,00	10,00	7,00	0,27	26,25	limi ed argille		
4,20	3,00	7,00	3,00	0,27	11,25	torbe ed argille organiche		
4,40	4,00	8,00	4,00	0,27	15,00	torbe ed argille organiche		
4,60	6,00	10,00	6,00	0,27	22,50	limi ed argille		
4,80	4,00	8,00	4,00	0,27	15,00	torbe ed argille organiche		
5,00	7,00	11,00	7,00	0,27	26,25	limi ed argille		
5,20	6,00	10,00	6,00	0,47	12,86	torbe ed argille organiche		
5,40	8,00	15,00	8,00	0,27	30,00	limi ed argille		
5,60	5,00	9,00	5,00	0,40	12,50	torbe ed argille organiche		
5,80	6,00	12,00	6,00	0,47	12,86	torbe ed argille organiche		
6,00	9,00	16,00	9,00	0,20	45,00	limi sabbiosi e sabbie limose		
6,20	7,00	10,00	7,00	0,47	15,00	torbe ed argille organiche		
6,40	10,00	17,00	10,00	0,27	37,50	limi sabbiosi e sabbie limose		
6,60	5,00	9,00	5,00	0,27	18,75	limi ed argille		
6,80	4,00	8,00	4,00	0,20	20,00	limi ed argille		
7,00	5,00	8,00	5,00	0,27	18,75	limi ed argille		
7,20	7,00	11,00	7,00	0,40	17,50	limi ed argille		
7,40	6,00	12,00	6,00	0,33	18,00	limi ed argille		
7,60	4,00	9,00	4,00	0,40	10,00	torbe ed argille organiche		
7,80	7,00	13,00	7,00	0,40	17,50	limi ed argille		
8,00	12,00	18,00	12,00	0,87	13,85	torbe ed argille organiche		
8,20	18,00	31,00	18,00	1,13	15,88	limi ed argille		
8,40	17,00	34,00	17,00	1,13	15,00	torbe ed argille organiche		
8,60	18,00	35,00	18,00	1,33	13,50	torbe ed argille organiche		
8,80	15,00	35,00	15,00	1,00	15,00	torbe ed argille organiche		
9,00	18,00	35,00	18,00	1,20	15,00	torbe ed argille organiche		
9,20	20,00	38,00	20,00	1,27	15,79	limi ed argille		
9,40	20,00	39,00	20,00	1,20	16,67	limi ed argille		
9,60	18,00	36,00	18,00	1,27	14,21	torbe ed argille organiche		
9,80	19,00	38,00	19,00	1,33	14,25	torbe ed argille organiche		
10,00	22,00	42,00	22,00	1,33	16,50	limi ed argille		
10,20	22,00	42,00	22,00	1,53	14,35	torbe ed argille organiche		
10,40	24,00	47,00	24,00	1,53	15,65	limi ed argille		
10,60	23,00	46,00	23,00	1,47	15,68	limi ed argille		
10,80	22,00	44,00	22,00	1,53	14,35	torbe ed argille organiche		
11,00	19,00	42,00	19,00	0,93	20,36	limi ed argille		
11,20	18,00	32,00	18,00	0,87	20,77	limi ed argille		
11,40	14,00	27,00	14,00	0,73	19,09	limi ed argille		
11,60	15,00	26,00	15,00	0,87	17,31	limi ed argille		
11,80	12,00	25,00	12,00	0,80	15,00	torbe ed argille organiche		
12,00	13,00	25,00	13,00	0,60	21,67	limi ed argille		
12,20	11,00	20,00	11,00	0,60	18,33	limi ed argille		
12,40	10,00	19,00	10,00	0,67	15,00	torbe ed argille organiche		
12,60	11,00	21,00	11,00	0,67	16,50	limi ed argille		
12,80	12,00	22,00	12,00	0,67	18,00	limi ed argille		
13,00	13,00	23,00	13,00	0,73	17,73	limi ed argille		
13,20	14,00	25,00	14,00	0,73	19,09	limi ed argille		
13,40	13,00	24,00	13,00	0,73	17,73	limi ed argille		
13,60	15,00	26,00	15,00	0,73	20,45	limi ed argille		
13,80	13,00	24,00	13,00	0,87	15,00	torbe ed argille organiche		
14,00	14,00	27,00	14,00	0,60	23,33	limi ed argille		
14,20	15,00	24,00	15,00	0,80	18,75	limi ed argille		
14,40	16,00	28,00	16,00	0,80	20,00	limi ed argille		
14,60	20,00	32,00	20,00	0,87	23,08	limi ed argille		
14,80	21,00	34,00	21,00	0,93	22,50	limi ed argille		
15,00	18,00	32,00	18,00	0,80	22,50	limi ed argille		
15,20	20,00	32,00	20,00	1,00	20,00	limi ed argille		
15,40	17,00	32,00	17,00	0,80	21,25	limi ed argille		
15,60	18,00	30,00	18,00	0,93	19,29	limi ed argille		
15,80	20,00	34,00	20,00	1,00	20,00	limi ed argille		
16,00	21,00	36,00	21,00	1,13	18,53	limi ed argille		
16,20	23,00	40,00	23,00	1,07	21,56	limi ed argille		
16,40	22,00	38,00	22,00	1,13	19,41	limi ed argille		
16,60	24,00	41,00	24,00	1,27	18,95	limi ed argille		
16,80	25,00	44,00	25,00	1,67	15,00	torbe ed argille organiche		
17,00	26,00	51,00	26,00	1,27	20,53	limi ed argille		
17,20	23,00	42,00	23,00	1,87	12,32	torbe ed argille organiche		
17,40	34,00	62,00	34,00	2,00	17,00	limi ed argille		
17,60	35,00	65,00	35,00	1,80	19,44	limi ed argille		
17,80	34,00	61,00	34,00	1,93	17,59	limi ed argille		
18,00	33,00	62,00	33,00	2,20	15,00	torbe ed argille organiche		
18,20	38,00	71,00	38,00	1,87	20,36	limi ed argille		
18,40	44,00	72,00	44,00	1,93	22,76	limi ed argille		
18,60	36,00	65,00	36,00	1,73	20,77	limi ed argille		
18,80	35,00	61,00	35,00	2,13	16,41	limi ed argille		
19,00	32,00	64,00	32,00	1,73	18,46	limi ed argille		
19,20	33,00	59,00	33,00	1,93	17,07	limi ed argille		
19,40	41,00	70,00	41,00	1,93	21,21	limi ed argille		
19,60	38,00	67,00	38,00	2,27	16,76	limi ed argille		
19,80	36,00	70,00	36,00	2,27	15,88	limi ed argille		
20,00	45,00	79,00	-	-	-	non rilevato		
Prof. (m)	lettura di punta	lettura lat.	Rp (Kg/cm ²)	Rf (Kg/cm ²)	Rp/Rf	Litologia secondo Begemann, (Raccomandazioni AGI, 1977)		

ALLEGATO 2

Rapporto tecnico: Indagine MASW

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

Committente: Studio Geologico Tecnico Dott. Geol Andrea Diegoli

Località: Via Donatori di Sangue – Sant' Agostino (FE)

Indagine: indagine geofisica con la metodologia MASW e REMI

RAPPORTO TECNICO

Codice Documento: 70_2013			Numero Pagine: 13		
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
A	29_06_13	Emissione	SB	MA	SB

STUDIO BOZZOLAN

Via Matteotti, 8 – 45012 Ariano nel Polesine (RO)

Mobile: +39 333 58 63 494

email: geosimone75@hotmail.com

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

INDICE GENERALE

1.PREMESSA.....	3
2.DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW.....	4
2.1ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI.....	4
2.2STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE.....	6
3.RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA	8
3.1RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE ATTIVA	8
3.2RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE PASSIVA	9
3.3RAPPRESENTAZIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE.....	10
.....	10
3.4ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'.....	10
3.5DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO.....	12
4.CONCLUSIONI.....	13

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

1. PREMESSA

Lo scrivente, su incarico dello Studio Geologico Tecnico del Dott. Geol. Andrea Diegoli ha eseguito in data 22 Giugno 2013 un'indagine sismica mediante il metodo MASW attivo e passivo presso lotto di terreno edificabile sito in Via Donatori di Sangue – Sant' Agostino (FE).

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 stendimenti sismici con metodologia MASW per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore Vs30, necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.M. 14/01/2008" e dall'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 pianificazione territoriale e urbanistica" (Proposta della Giunta Regionale in data 10 gennaio 2007, n.1) della Regione Emilia Romagna.

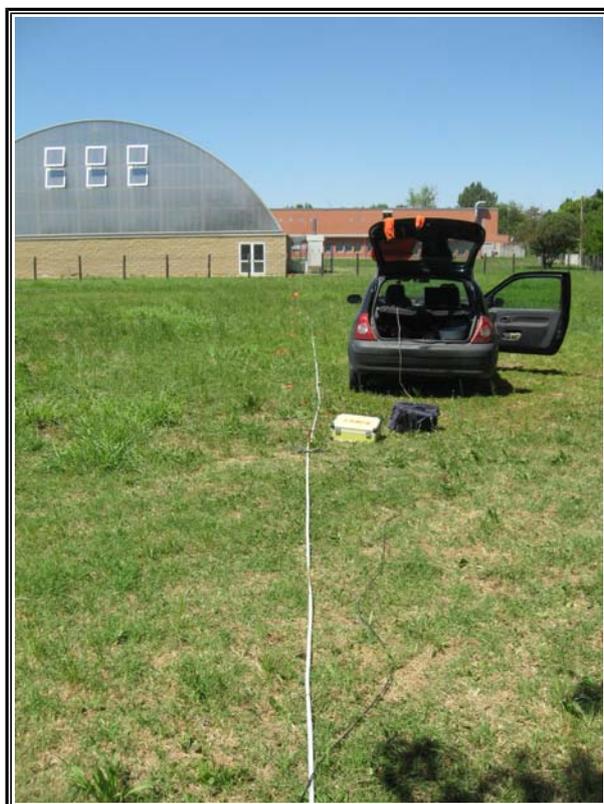


Figura 1 – Dettaglio profilo sismico

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

2. DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW

2.1 ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra le onde di pressione e le onde di taglio verticali ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Alla superficie libera hanno un moto ellittico retrogrado (antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, le onde di Rayleigh non presentano dispersione e la velocità di propagazione è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente, sino ad estinguersi ad una profondità pari circa ad una lunghezza d'onda. Da questo deriva che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è stata descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

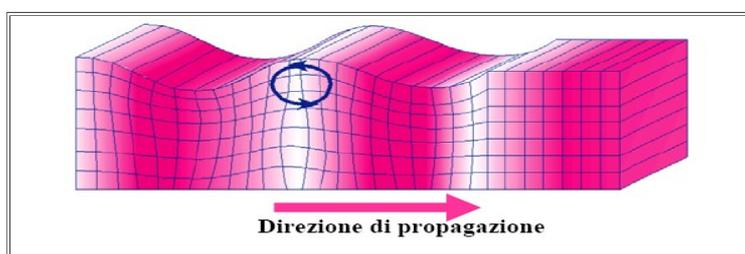


Figura 2 – Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali mostrano un carattere fortemente dispersivo,

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

cioè onde con diverse lunghezze viaggiano con diverse velocità di fase e di gruppo (Achenbah, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980). Ciò significa che lunghezze d'onda diverse interessano strati differenti ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione; onde ad alta frequenza (con lunghezza d'onda corta) si propagano negli strati più superficiali mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Per ottenere un profilo delle Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti successivamente ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione (curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione) caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

Esistono diverse tecniche per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito.

La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_r(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori V_r -f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere preceduta da una

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura.

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

2.2 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE

Il metodo di indagine MASW adottato si distingue in:

- Attivo (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves): i geofoni rilevano le onde superficiali, prodotte da una sorgente impulsiva (massa battente) disposta a piano campagna, che vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza; le frequenze che interessano l'analisi sono generalmente comprese tra 5 e 70 Hz;
- Passivo (REMI - Refractor Microtremor): i geofoni rilevano il rumore naturale (o di fondo); analizza generalmente le frequenze tra 0 e 10 Hz.

La campagna di acquisizione sismica è stata svolta utilizzando un acquisitore sismico della Sara Electronics Instruments, denominato DoReMi, composto da:

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

- due serie di cavi da 12 canali ciascuno, per un totale di 24 canali (frequenze variabili di acquisizione di ciascun canale da 200 a 20000 Hz);
- registratore sismico, posizionato in corrispondenza di ogni geofono, per la memorizzazione del dato ricevuto dal sensore e l'invio in modalità digitale al PC;
- convertitore analogico digitale di tipo SAR a 16 bit con una dinamica di 88dB a 10000Hz,;
- interfaccia RS232 sismografo – PC

L'acquisizione dei dati sismici è così avvenuta:

- metodo attivo: è stata effettuata 1 stesa sismica con passo intergeofonico di 3 metri e 16 geofoni utilizzando la tecnica dell'interlaccio, ottenendo un profilo sismico equivalente ad una stesa di 32 geofoni e passo 1,5 metri ubicata come dalla planimetria riportata di seguito. Si sono acquisiti vari shot in modo da avere un maggior set di dati e poter scegliere quelli più adatti alla successiva elaborazione. La frequenza propria dei sensori è la classica e raccomandata per tale tipologia di indagini (4,5 Hz).
- metodo passivo: sulla stessa stesa utilizzata per il metodo attivo si sono realizzate 3 acquisizioni di sismica passiva, di un minuto ciascuna, concatenate, in fase di pre - processing, in un unico file di 3 minuti, in modo da colmare il "vuoto" alle basse frequenze della sismica attiva.



Figura 3 – Ubicazione profilo sismico (linea rossa)

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

3. RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA

3.1 RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE ATTIVA

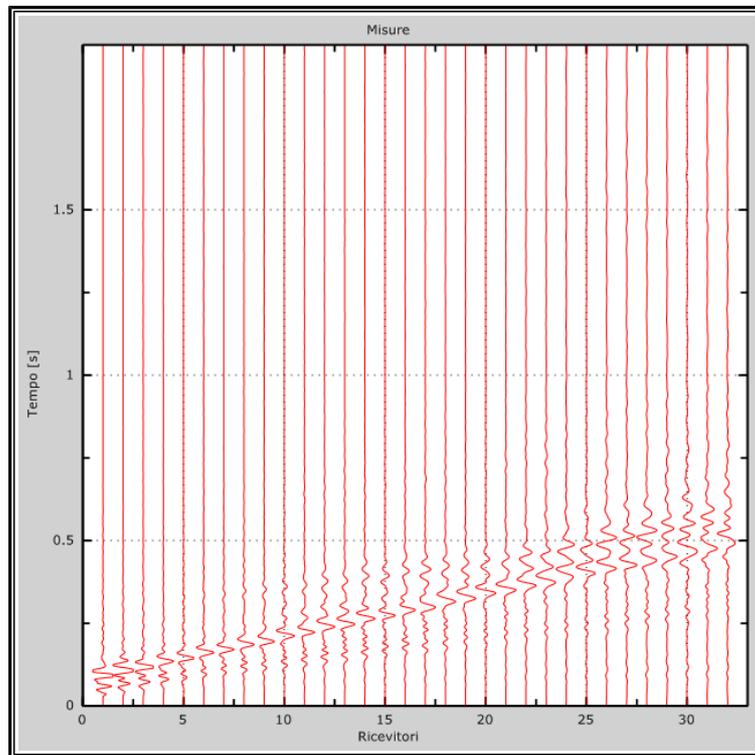


Figura 4 – Tracce sperimentali indagine attiva

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

3.2 RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE PASSIVA

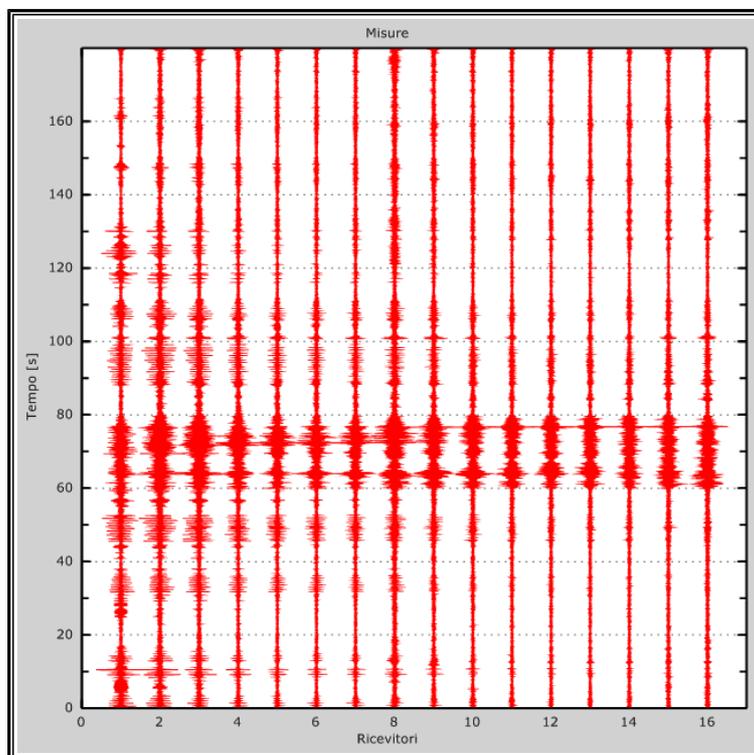


Figura 5 - tracce sperimentali indagine passiva

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

3.3 RAPPRESENTAZIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE

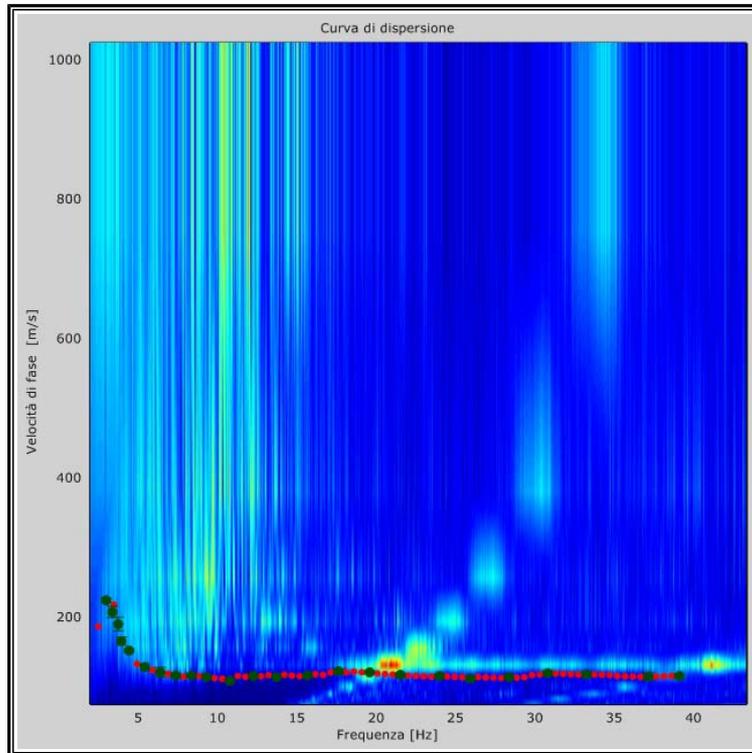


Figura 6 - Curva di dispersione sperimentale

3.4 ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'

Dall'esecuzione dell'indagine sismica è emersa la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

Strato	h [m]	z [m]	Vs fin. [m/s]	Vp [m/s]	Falda (S/N)
Strato 1	2,0	-2,0	129	211	N
Strato 2	3,0	-5,0	128	653	S
Strato 3	3,0	-8,0	118	602	S
Strato 4	4,0	-12,0	133	678	S
Strato 5	3,8	-15,8	170	867	S
Strato 6	4,2	-20,0	185	943	S
Strato 7	4,0	-24,0	253	1290	S
Strato 8	/	-∞	268	1367	S

Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

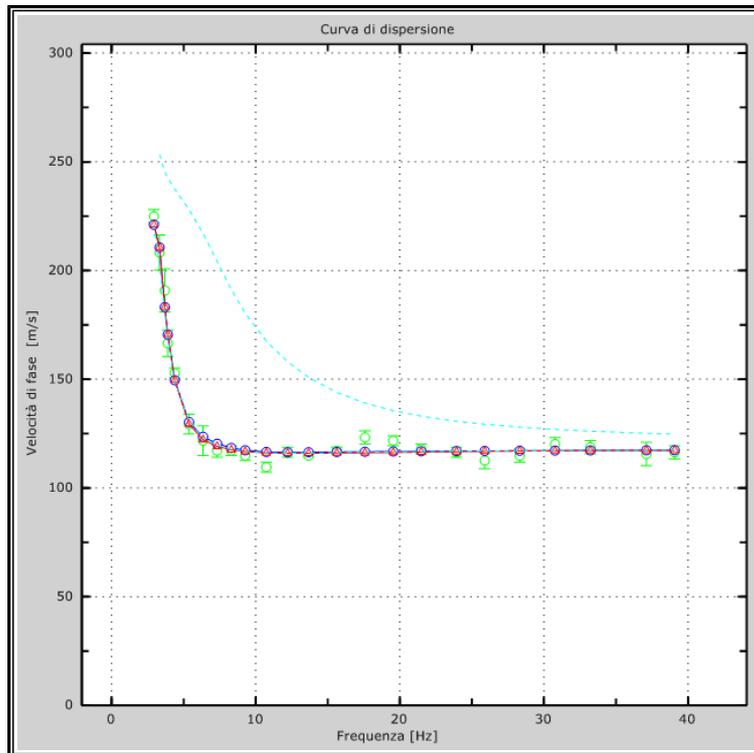


Figura 7 - Velocità numeriche

(Punti sperimentali - verde, modi di Rayleigh - ciano, curva apparente - blu, curva numerica - rosso)

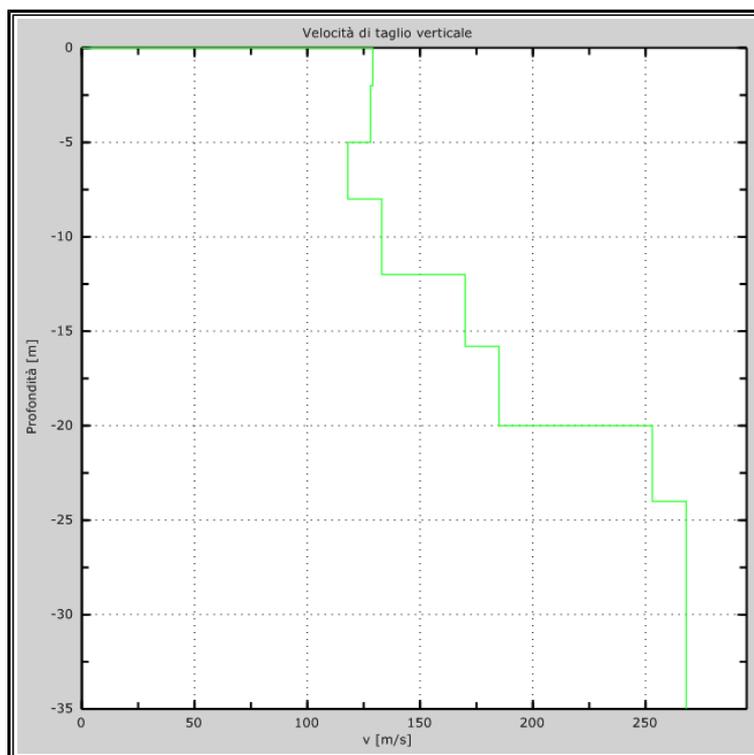


Figura 8 - Profilo verticale di velocità delle Vs

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

3.5 DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO

L'indagine sismica, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di -30,00 metri da p.c., ha permesso la determinazione della velocità delle V_{s30} , ricavata dalla formula riportata nel D.M. del 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni":

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

dove h_i e $V_{s,i}$ rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio attraverso lo strato i -esimo entro 30 metri di profondità.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore:

$$\underline{V_{s30} = 168 \text{ m/s}}$$

I terreni di fondazione interessati dalla progettazione sismica, come prescritto al paragrafo 3.2.2 dal D.M. 14 Gennaio 2008, appartengono a:

suolo di fondazione di tipo D

ovvero, come definito in Tabella 3.2.II (Categorie di sottosuolo): Tipo D: Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

4. CONCLUSIONI

L'investigazione sismica ha permesso di individuare la velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità nel sito indagato. Dall'analisi ed elaborazione dei dati è emerso che la Vs 30 in corrispondenza del profilo sismico analizzato è tipica di suoli di tipo D.

Si sottolinea che il suolo, se alla verifica alla liquefazione o per notizie storiche, dovesse risultare liquefacibile, passerebbe dalla categoria D alla categoria S2. L'indicazione della categoria di suolo si riferisce al solo valore di Vs 30 misurata e la classificazione è valida una volta che si sia esclusa l'appartenenza a suoli di tipo S2.

ALLEGATO 3

Scheda stratigrafica sondaggio S1

Dott. Geol. ANDREA DIEGOLI

STUDIO GEOLOGICO - TECNICO

Via Reno Vecchio, 43 - 44042 - Cento (FE)

Mob.: 348-6614603 - Tel./Fax. 051-904612

Committente Comune di Sant'Agostino	Profondità raggiunta -20,00 metri da p.c.	Fessurazione piezometro -1,00/-12,00 metri da p.c.	Pagina
Operatore Dott. Geol. Andrea Diegoli	Indagine Viale Europa - Via Donatori di Sangue, Sant'Agostino (FE)		Inizio/Fine Esecuzione 26/06/2013
Responsabile Dott. Geol. Andrea Diegoli	Sondaggio S1	Tipo Carotaggio Sondaggio a carotaggio continuo	Tipo Sonda Comacchio MC450P
			Coordinate X Y

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda	Altre prove	Altre prove	Piezometro (P)
1		argilla limosa nocciola compatta	1.50			2,10	2,5								
2		limo argilloso nocciola	3.00									2.00			
3		sabbia fine limosa nocciola con maculazioni ocracee	3.80					3.00							
4		limo argilloso nocciola-grigio	4.00												
5		argilla limosa grigio chiara, a tratti debolmente sabbiosa	7.00			1,1	4,5								
6															
7								7.40							
8								8.00							
9															
10		argilla plastica grigio chiara con intercalazioni decimetriche di materiale organico e livelli torbosi				1,2	2,5								
11															
12								11.40							
13								12.00							
14			14.50												
15															
16						2,8	6,5								
17		argilla grigia compatta													
18															
19															
20			20.00												

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: Sondaggio a carotaggio continuo

Sonda: Comacchio MC450P



P - (1)

ALLEGATO 4
Certificati analisi geotecniche

LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it <i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i>	Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=
--	--

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma A.S.T.M. D 2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: Dr. Geol. Andrea Diegoli **Verbale accettazione n°:** 15
CANTIERE: Nuova caserma Carabinieri - Sant'Agostino (FE) **del :** 27/06/2013
DATA APERTURA : 03/07/2013

SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROF. 3.0 - 3.5 m.
----------------------	---------------------	---------------------------

TIPO DI CONTENITORE: fustella sacchetto cassetta



(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		Prove di laboratorio eseguite (*)									
Livello	Descrizione litologica	P.P.	V.T.	Y	W	G	LA	Ed	PT	Ptrs	Trcu
A	sabbia fine deb. limosa nocciola	n.p.	n.p.	*	*	*			*		
B											

QUALITA' DEL CAMPIONE : SCADENTE DISCRETA BUONA ECCELLENTE

LEGENDA PROVE:

Pocket penetrometrico	P.P. (kPa)	Peso di volume	Y	Limiti di Atterberg	L A
Vane test	V.T. (kPa)	Peso specifico	G.S	Edometria	Ed
Contenuto d'acqua	W	Granulometria	G	Prova di taglio	PT
Compressione E.L.L.	C	Permeabilità	K	Triassiale	TR

Sperimentatore
Dr. M. Maguti-D.

Il Direttore
Dr. Geol. Antonio Mucchi



Certificato n°
Data emissione

201
15/07/13

LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con
sistema di gestione
per la qualità
certificato da KIWA
=UNI EN ISO
9001=**ANALISI GRANULOMETRICA per SETACCIATURA
norma ASTM D 422**

Committente : Dr. Andrea diegoli

Cantiere : Nuova Caserma Carabinieri - S. Agostino (FE)

Verbale di accettazione n° : 15

Sondaggio : S1

del : 27/06/2013

Campione n° : C1

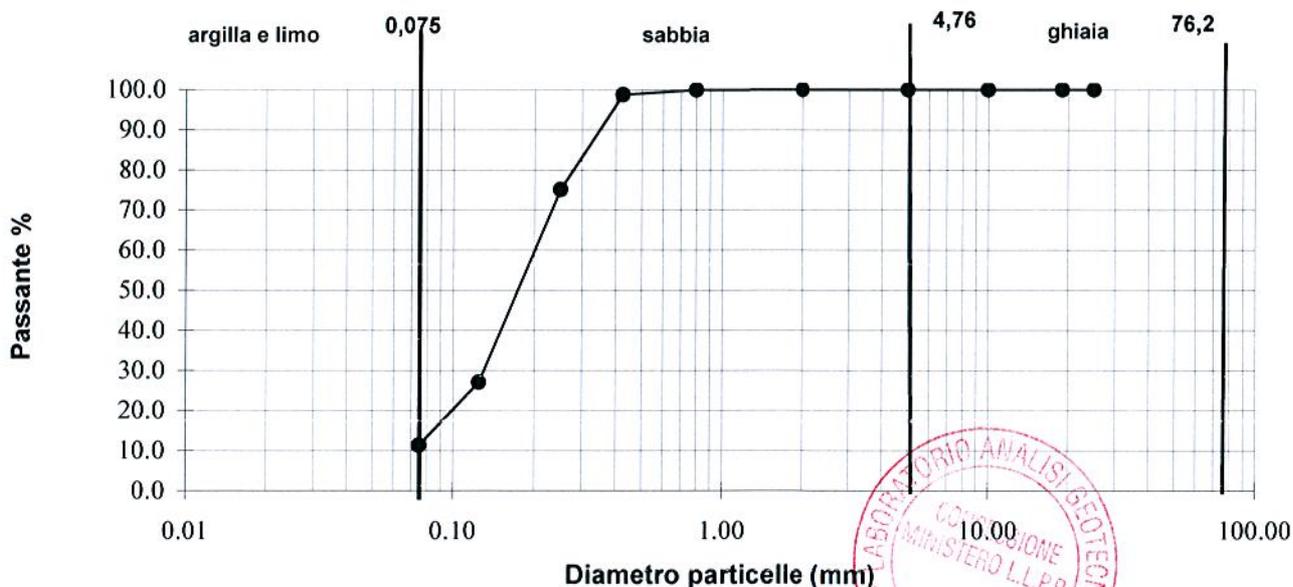
Data inizio prova: 09/07/2013

Profondità (mt): 3.0-3.5

Diametro (mm)	Passante (%)
25	100.0
19	100.0
10	100.0
5	100.0
2	100.0
0.8	99.89
0.425	98.73
0.250	75.07
0.125	26.97
0.075	11.32

Classificazione secondo norma ASTM D 2488 - 84

Ghiaia	(>4.75mm)	: 0%
Sabbia	(4.76-0.075mm)	: 89%
Limo e Argilla	(< 0.075mm)	: 11%



Sperimentatore Dr. Malaguti	Il Direttore Dr. Geol. Antonio Mucchi	Certificato : 202
		Data emissione : 15/07/13

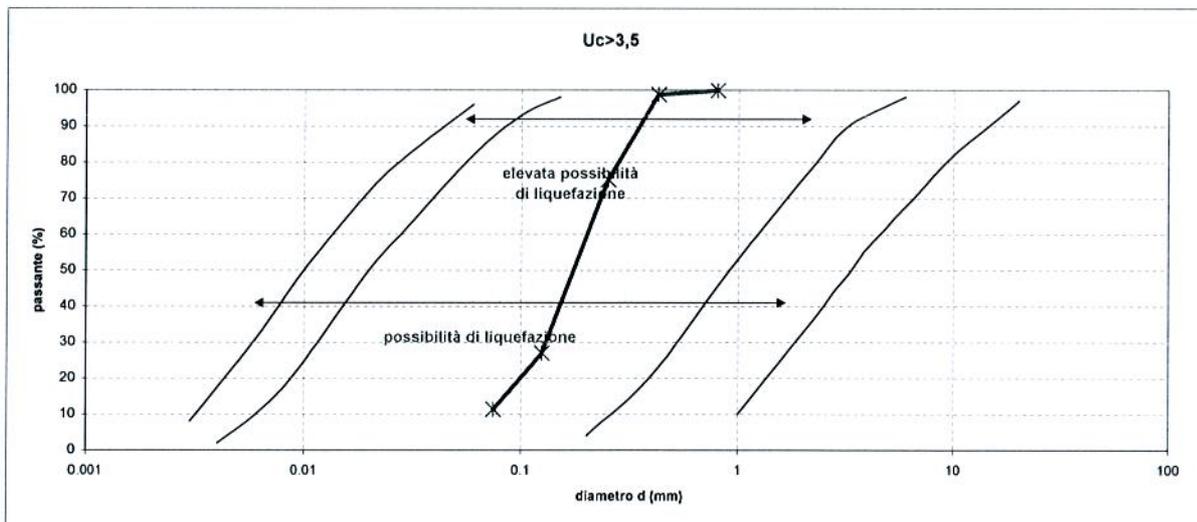
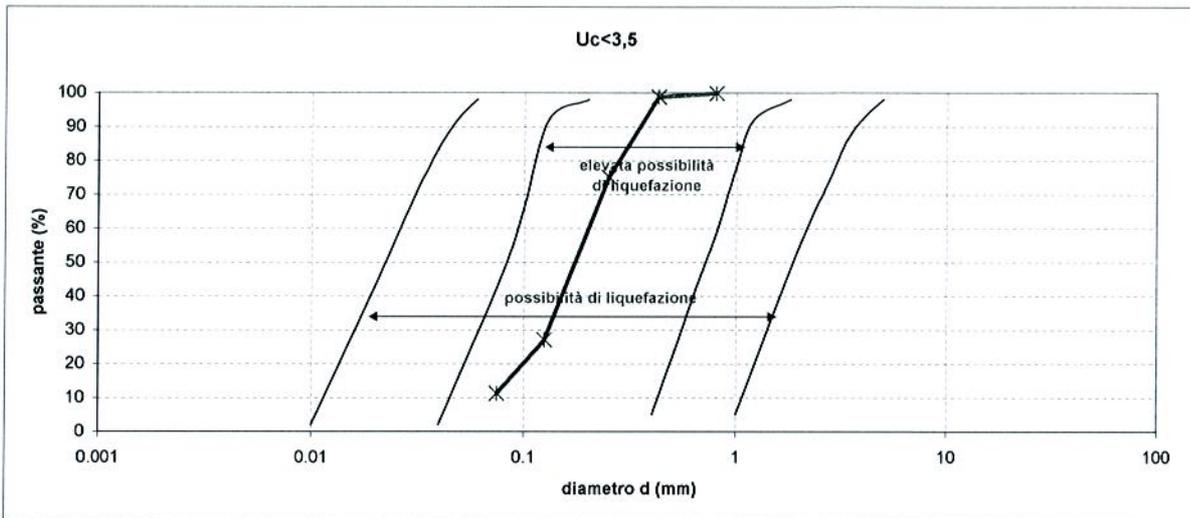
FUSI LIQUEFACIBILI
A.G.I. 2005

campione n°	dimensione granuli (mm)	0.075	0.075	0.075	0.075	0.125	0.25	0.425	0.8
	% passante	11.32	11.32	11.32	11.32	26.97	75.07	98.73	99.89

$$U_c = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

D60= D10= U_c=

Indice di plasticità eseguito su pass. 0.075 mm : non plastico



Committente : Dr. Andrea Diegoli
Campione : S1C1 mt. 3.0-3.5
Località: Nuova Caserma dei Carabinieri - Sant'Agostino (FE)



LABORATORIO GEOTECNICO Dr Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascani, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchiab.it Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01	Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=
--	--

LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=

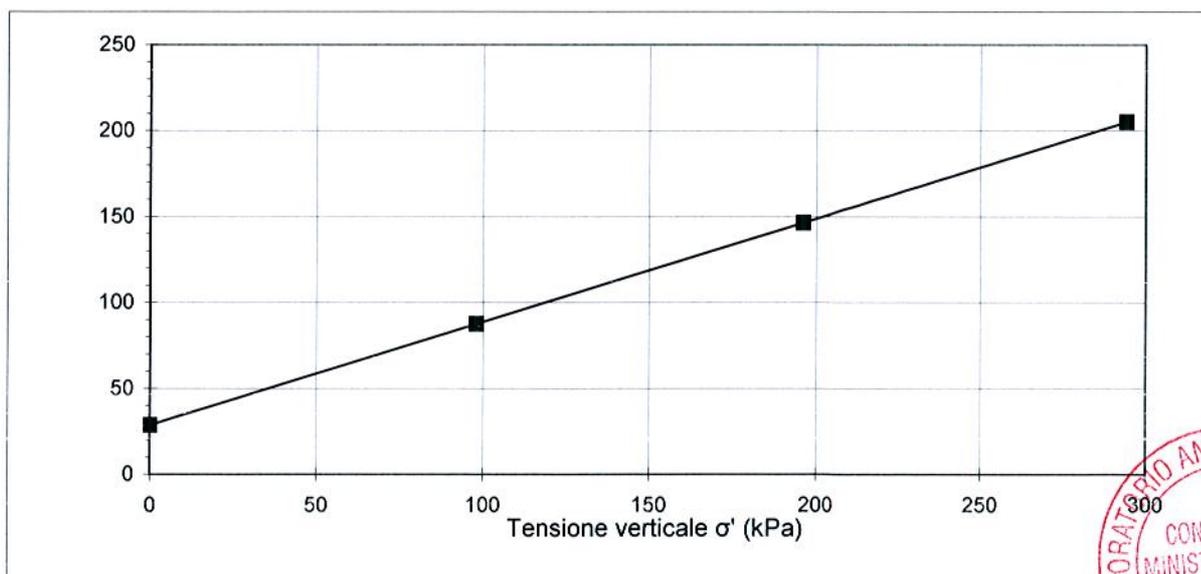
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente: Dr. Geol. Andrea Diegoli
Cantiere : Nuova Caserma Carabinieri - S. Agostino
Campione: S1C1
Prof. (mt) : 3-3.5

Data inizio prova : 08/07/2013

MISURE ALLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO		
Provino (n°)	Tensione verticale σ' (kPa)	Tensione tangenziale τ (kPa)
1	100	87.478
2	200	146.320
3	300	205.162

COESIONE DRENATA (kPa):	28.64
ANGOLO D'ATTRITO (° sess):	31



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994

Committente:	Dr. Geol. Andrea Diegoli	Verbale accettazione n°:	15
Cantiere:	Nuova Caserma Carabinieri - S. Agostino	Data verbale accettazione:	07/06/2013
Campione:	S1C1		
Prof. (mt):	3-3.5	Data inizio prova:	08/07/2013

Descrizione litologica del provino:	sabbia medio fine nocciola
-------------------------------------	----------------------------

Caratteristiche dei provini

Provino:	1	2	3
Provino indisturbato:			
Provino ricostruito su passante ai 2 mm:	*	*	*
Altezza del provino (cm)	2.3	2.3	2.3
Sezione del provino (cm ²)	36	36	36
Peso dell'unità di volume allo stato naturale (kN/m ³)	18.833	18.956	18.954
Peso dell'unità di volume allo stato secco (kN/m ³)	14.937	15.092	15.026
Contenuto d'acqua: (W%)	26.08	25.60	26.14

Modalità di consolidazione e rottura			
Tensione verticale (kPa)	100	200	300
Velocità di deformazione (mm/min)	0.0156	0.0156	0.0156

Sperimentatore Dr. Malaguti D.	Il Direttore Dr. Geol. Mucchi Antonio	Certificato n°: 223 Data emissione: 15/07/13	pagina 1 di 2
-----------------------------------	--	---	---------------



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it
 Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e
 certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di
 gestione per la qualità
 certificato da KIWA
 =UNI EN ISO 9001=

Committente: Dr. Geol. Andrea Diegoli

Verbale accettazione n°: 15

Cantiere: Nuova Caserma Carabinieri - S. Agostino

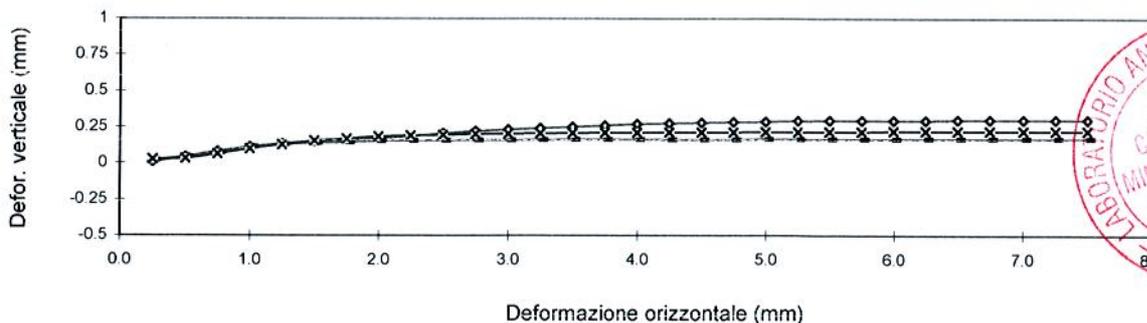
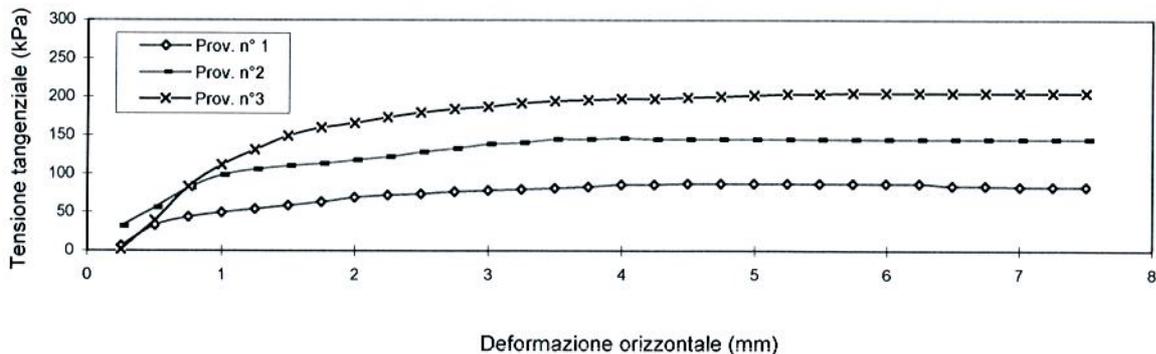
Data verbale accettazione: 07/06/2013

Campione S1C1

Prof. (mt) : 3-3.5

Data inizio prova: 08/07/2013

def. Orizzontale (mm)	PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994					
	Tensione Tangenziale (kPa)			Deformazione verticale (mm)		
	Prov. n° 1	Prov. n°2	Prov. n°3	Prov. n° 1	Prov. n°2	Prov. n°3
0.25	6.08	31.68	1.47	0.01	0.02	0.027
0.50	33.15	55.80	39.23	0.042	0.046	0.032
0.75	43.74	81.50	82.97	0.081	0.071	0.063
1.00	49.82	98.07	111.60	0.112	0.115	0.098
1.25	54.33	105.62	131.22	0.134	0.129	0.127
1.50	58.84	110.13	149.36	0.149	0.139	0.154
1.75	63.35	113.17	159.95	0.164	0.144	0.168
2.00	69.43	117.68	165.93	0.173	0.151	0.183
2.25	72.38	122.20	173.49	0.186	0.154	0.19
2.50	73.94	128.28	179.57	0.205	0.156	0.195
2.75	76.98	132.79	184.08	0.222	0.159	0.2
3.00	78.46	138.77	187.12	0.232	0.159	0.203
3.24	79.93	140.34	191.63	0.242	0.161	0.205
3.49	81.50	144.85	194.67	0.249	0.164	0.208
3.74	82.97	144.85	196.14	0.259	0.164	0.21
3.99	86.01	146.32	197.61	0.269	0.164	0.21
4.24	86.01	144.85	197.61	0.274	0.161	0.212
4.49	87.48	144.85	199.18	0.278	0.161	0.212
4.74	87.48	144.85	200.65	0.283	0.161	0.212
4.99	87.48	144.85	202.22	0.286	0.166	0.215
5.24	87.48	144.85	203.69	0.293	0.166	0.215
5.49	87.48	144.85	203.69	0.295	0.166	0.217
5.74	87.48	144.85	205.16	0.295	0.166	0.217
5.99	87.48	144.85	205.16	0.295	0.166	0.222
6.24	87.48	144.85	205.16	0.295	0.168	0.222
6.49	84.54	144.85	205.16	0.298	0.168	0.222
6.74	84.54	144.85	205.16	0.3	0.168	0.222
7.00	82.97	144.85	205.16	0.3	0.168	0.222
7.25	82.97	144.85	205.16	0.3	0.168	0.222
7.50	82.97	144.85	205.16	0.3	0.168	0.222



Sperimentatore Dr. Malaguti D.	Il Direttore Dr. Geol. Mucchi Antonio	Certificato n°: 203 Data emissione: 15/07/13
-----------------------------------	--	---

pagina 2 di 2

LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it <i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i>	Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=
--	--

SCHEMA APERTURA CAMPIONE (Norma A.S.T.M. D 2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: Dr. Geol. Andrea Diegoli **Verbale accettazione n°:** 15
CANTIERE: Nuova caserma Carabinieri - Sant'Agostino (FE) **del :** 27/06/2013
DATA APERTURA : 03/07/2013

SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROF. 7.4-8.0	m.
----------------------	---------------------	----------------------	-----------

TIPO DI CONTENITORE: fustella sacchetto cassetta

ALTO A BASSO
 0 60 cm.

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		Prove di laboratorio eseguite (*)									
Livello	Descrizione litologica	P.P.	V.T.	Y	W	G	LA	Ed	PT	Ptres	Trcu
A	argilla poco compatta a tratti organica	50	20	*	*		*	*			
B											

QUALITA' DEL CAMPIONE : SCADENTE DISCRETA BUONA ECCELLENTE

LEGENDA PROVE:

Pocket penetrometrico	P.P. (kPa)	Peso di volume	Y	Limits of Atterberg	LA
Vane test	V.T. (kPa)	Peso specifico	G.S	Edometria	Ed
Contenuto d'acqua	W	Granulometria	G	Prova di taglio	PT
Compressione E.L.L.	C	Permeabilità	K	Triassiale	TR

pagina 1 di 1

Sperimentatore
Dr. Malagutti D.

Il Direttore
Dr. Geol. Antonio Mucchi

Certificato n° :
Data emissione :

204
15/07/13



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it <i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i>	<i>Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=</i>
--	---

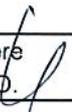
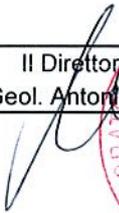
Committente :	Dr. Andrea Diegoli	Sondaggio N°:	S1
Cantiere :	Caserma Carabinieri - S. Agostino	Campione:	C2
Data inizio prova :	03/07/2013	Prof. mt:	7.4-8.0
		Verbale accettazione n° :	15
		del :	27/06/2013

CONTENUTO D'ACQUA (CNR - UNI 10008)

Massa terreno umido + tara (g)	272.86
Massa terreno secco + Tara (g)	179.23
Massa tara (g)	6.04
Contenuto d'acqua - W (%)	54.1

PESO DELL' UNITA' DI VOLUME (BS 1377 Part. 15)

Volume (cm³)	86.83
Massa terreno umido + Tara (g)	217.5
Massa tara (g)	73.72
Peso dell' unità di volume (γ)	1.656
	(g/cm³)
	(kN/m³)
	16.239

Sperimentatore Dr. Malaguti D. 	Il Direttore Dr. Geol. Antonio Mucchi 	Certificato n° : 206 Data emissione : 15/08/13
---	--	---



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione
per la qualità certificato da
KIWA
=UNI EN ISO 9001=**PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)**

Committente : Dr. Andrea Diegoli
 Cantierte : Nuova Caserma Carabinieri - s.Agostino Sondaggio: S1
 Data inizio prova : 03/07/2013 Campione: C2
 Verbale accettazione: 15 del 27/06/2013 Prof.(m): 7.4-8.0

Natura del campione :

Peso dell'unità di volume : (kN/m³)
 Peso dell'unità di volume del terreno secco : (kN/m³)
 Contenuto d'acqua naturale : (%)
 Peso specifico dei granuli : (kN/m³)
 Indice dei vuoti inizio prova : (e°)

Argilla poco consistente

15.85

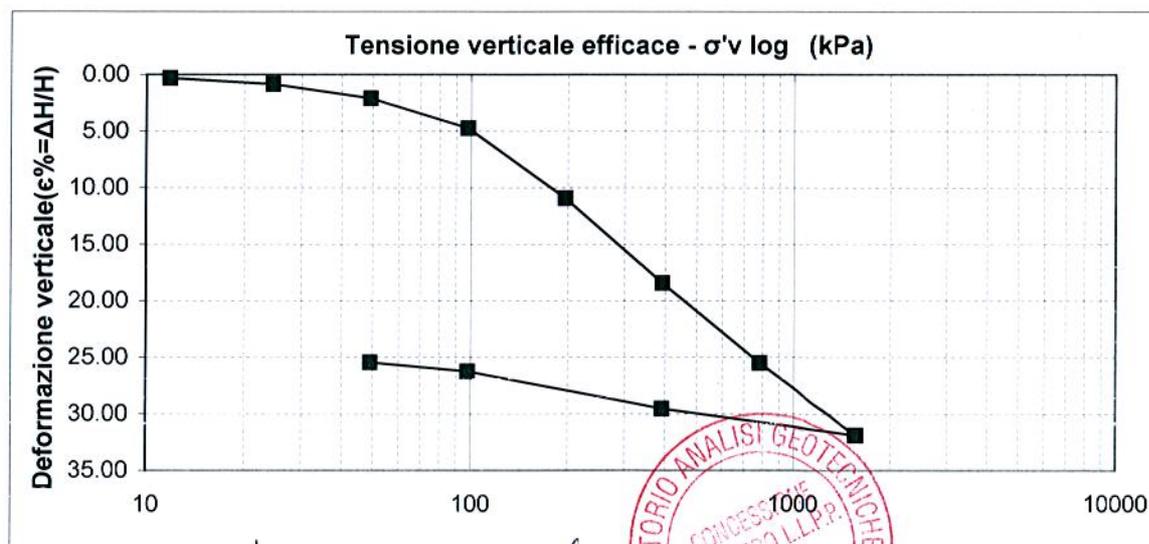
10.29

54.1

26.06

1.532

σ'_v (kPa)	ΔH (mm)	ϵ %	e°	M_o (kPa)
11.768	.06	.30	1.524	
24.518	.17	.85	1.511	2318
49.035	.42	2.10	1.479	1961
98.070	.95	4.75	1.412	1850
196.140	2.19	10.95	1.255	1582
392.280	3.69	18.45	1.065	2615
784.560	5.10	25.50	.886	5564
1569.120	6.38	31.90	.724	12259
392.280	5.91	29.55	.784	
98.070	5.25	26.25	.867	
49.035	5.09	25.45	.888	

 ΔH = cedimento $\epsilon = \Delta H/H$ = def. verticale e° = indice dei vuoti M_o = modulo edometrico σ'_v = tensione verticale efficace

Sperimentatore Dr. Malaguti D.	Il Direttore Dr. Geol. Antonio Mucchi	Certificato n° : 227 Data emissione : 15/27/13
-----------------------------------	--	---

LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it
 Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e
 certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema
 di gestione per la
 qualità certificato da
 KIWA
 =UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: Dr. Andrea Diegoli
 CANTIERE: Nuova Caserma Carabinieri - s.Agostino
 DATA: 03/07/2013
 Verbale accettazione n°: 15 del : 27/06/2013

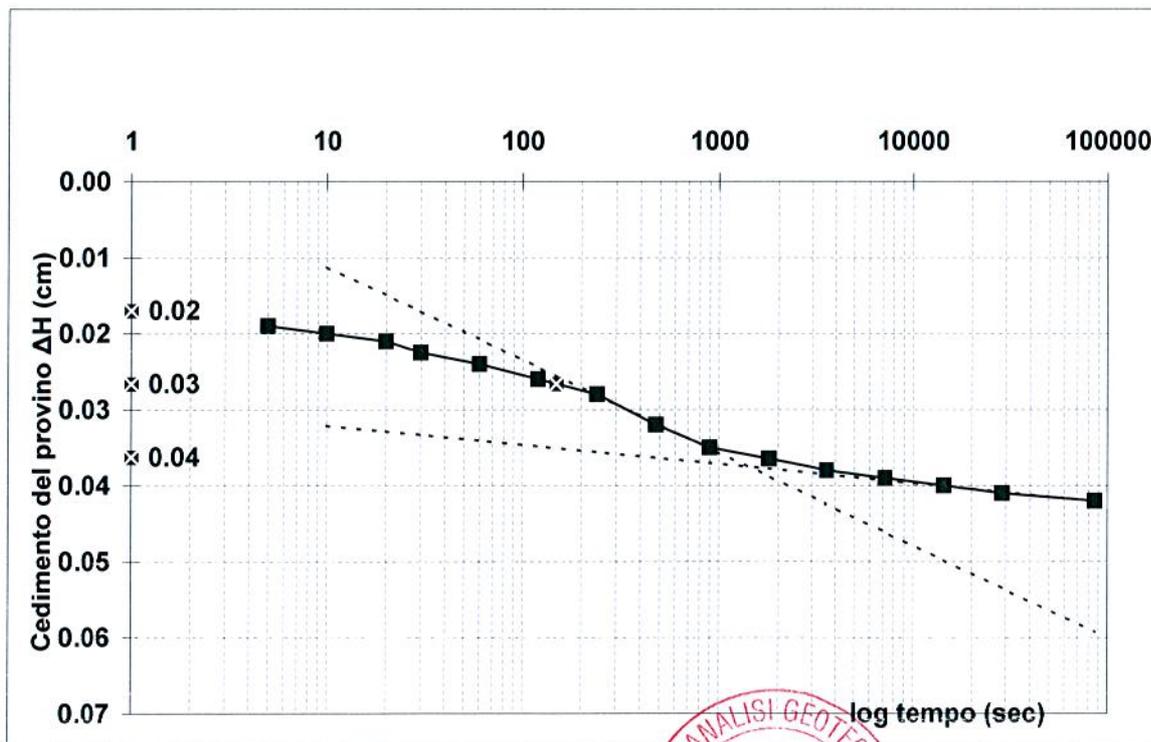
Sondaggio: S1
 Campione: C2
 Prof(m): 7.4-8.0

NATURA DEL CAMPIONE: Argilla poco consistente

Tensione verticale efficace (kPa) : 49.035
 Cv (cmq/sec): 1.32E-03
 C alfa 1.26E-05
 t50 (sec) 149
 Permeabilità (cm/sec) 4.11E-08

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.020
5	0.020
10	0.019
20	0.020
30	0.021
60	0.023
120	0.024
240	0.026
480	0.028
900	0.032
1800	0.035
3600	0.037
7200	0.038
14400	0.039
28800	0.040
86400	0.041

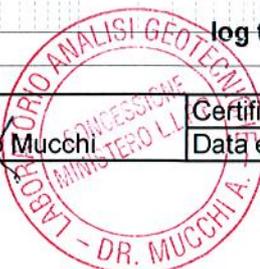
DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPO (Metodo Casagrande)



Sperimentatore
 Dr. Malaguti D.

Il Direttore
 Dr. Geol. Antonio Mucchi

Certificato n° : 229
 Data emissione : 15/07/13



PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: Dr. Andrea Diegoli
 CANTIERE: Nuova Caserma Carabinieri - s. Agostino
 DATA: 03/07/2013
 Verbale accettazione n°: 15 del: 27/06

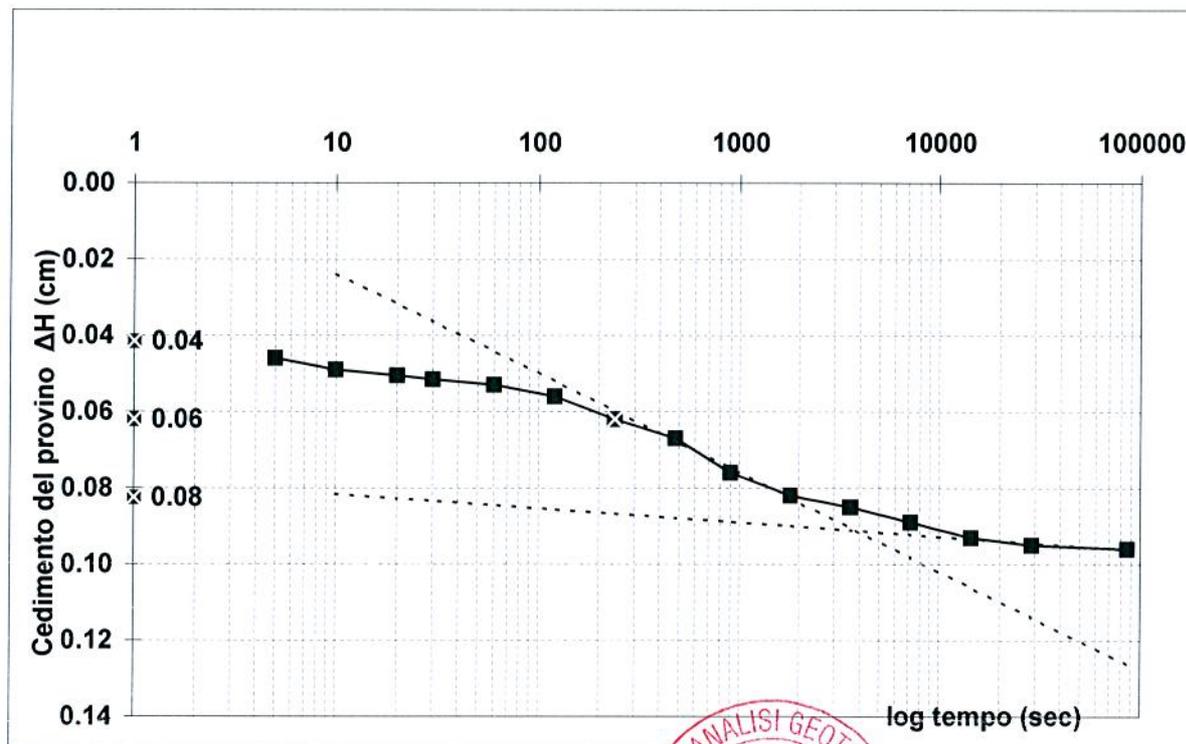
Sondaggio: S1
 Campione: C2
 Prof(m): 7.4-8.0

NATURA DEL CAMPIONE: Argilla poco consistente

Tensione verticale efficace (kPa) : 98.07
 Cv (cmq/sec): 8.22E-04
 C alfa 1.85E-05
 t50 (sec) 240
 Permeabilità (cm/sec) 4.43642E-08

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.046
5	0.046
10	0.049
20	0.051
30	0.052
60	0.053
120	0.056
240	0.062
480	0.067
900	0.076
1800	0.082
3600	0.085
7200	0.089
14400	0.093
28800	0.095
86400	0.096

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPO (Metodo Casagrande)



Sperimentatore Dr. Malaguti D.	Il Direttore Dr. Geol. Antonio Mucchi	Certificato n°: 207
		Data emissione: 15/07/13



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it
 Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e
 certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema
 di gestione per la
 qualità certificato da
 KIWA
 =UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: Dr. Andrea Diegoli
 CANTIERE: Nuova Caserma Carabinieri - s.Agostino
 DATA: 03/07/2013
 Verbale accettazione n°: 15 del : 7/06/2013

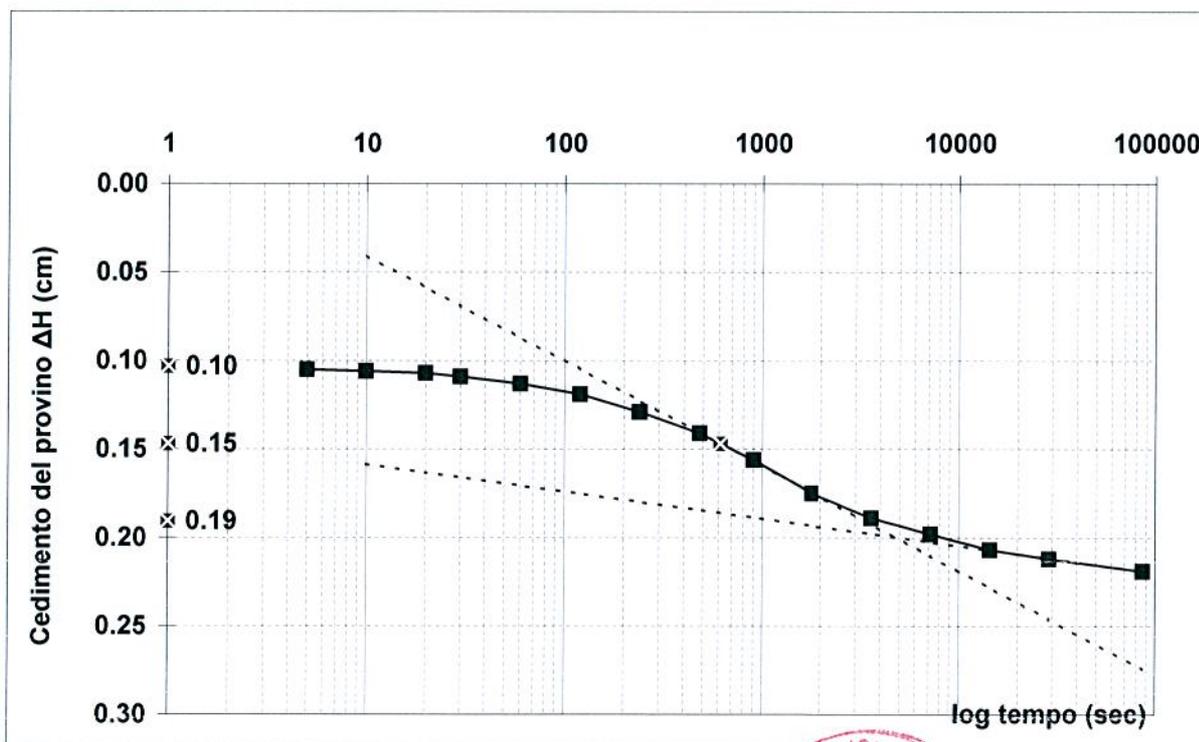
Sondaggio: S1
 Campione: C2
 Prof(m): 7.4-8.0

NATURA DEL CAMPIONE: Argilla poco consistente

Tensione verticale efficace (kPa) : 196.14
 Cv (cmq/sec): 3.21E-04
 C alfa 7.68E-05
 t50 (sec) 612
 Permeabilità (cm/sec) 1.97563E-08

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.101
5	0.105
10	0.106
20	0.107
30	0.109
60	0.113
120	0.119
240	0.129
480	0.141
900	0.156
1800	0.175
3600	0.189
7200	0.198
14400	0.207
28800	0.212
86400	0.219

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPO (Metodo Casagrande)



Sperimentatore
 Dr. Malaguti D.

Il Direttore
 Dr. Geol. Antonio Mucchi

Certificato n° : 207
 Data emissione : 15/07/13



PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: Dr. Andrea Diegoli
CANTIERE: Nuova Caserma Carabinieri - s.Agostino
DATA: 03/07/2013
Verbale accettazione n°: 15 **del :** 27/06/2013

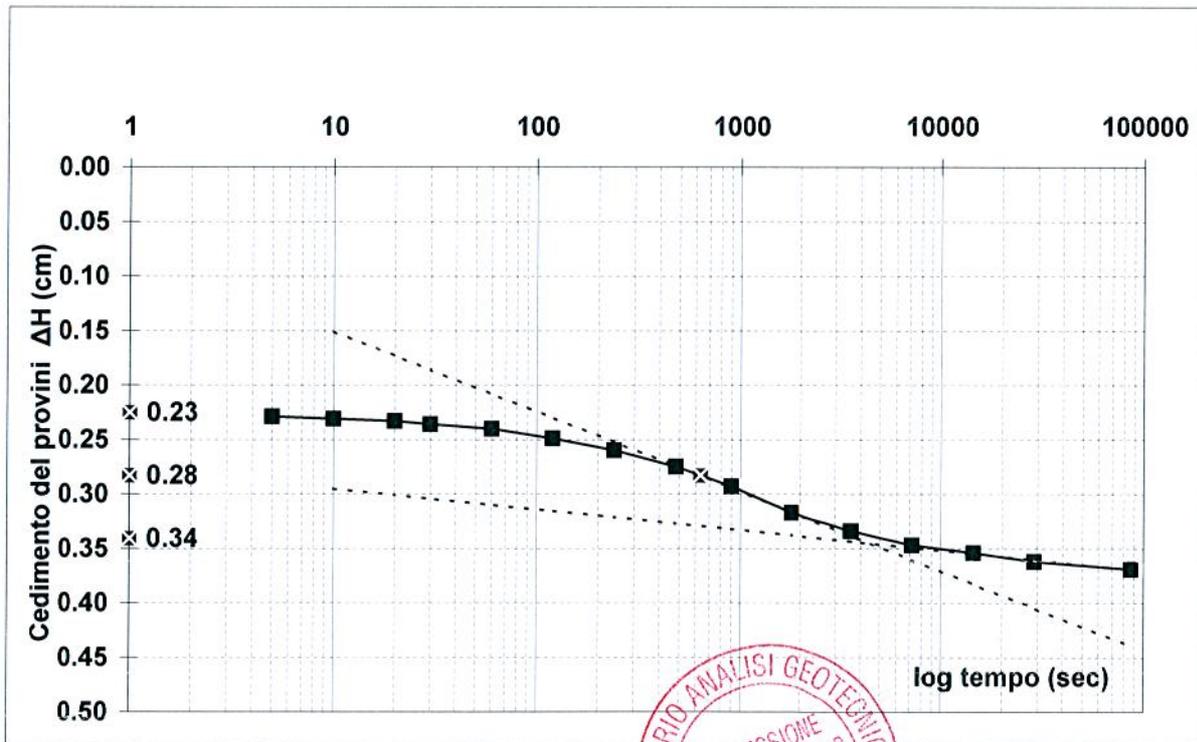
Sondaggio: S1
Campione: C2
Prof(m): 7.4-8.0

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.226
5	0.229
10	0.231
20	0.233
30	0.236
60	0.240
120	0.249
240	0.260
480	0.275
900	0.293
1800	0.317
3600	0.334
7200	0.347
14400	0.354
28800	0.362
86400	0.369

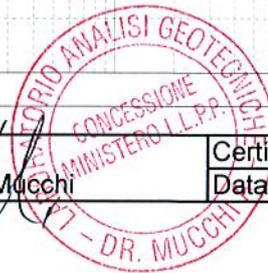
NATURA DEL CAMPIONE: Argilla poco consistente

Tensione verticale efficace (kPa) : 392.28
 Cv (cmq/sec): 3.10E-04
 C alfa 9.44E-05
 t50 (sec) 632
 Permeabilità (cm/sec) 1.16277E-08

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPO (Metodo Casagrande)



Sperimentatore Dr. Malaguti D.	Il Direttore Dr. Geol. Antonio Mucchi	Certificato n° : 207 Data emissione : 15/07/13
-----------------------------------	--	---



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it
 Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare
 prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di
 gestione per la qualità
 certificato da KIWA
 =UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: Dr. Andrea Diegoli
 CANTIERE: Nuova Caserma Carabinieri - s.Agostino
 DATA: 03/07/2013
 Verbale accettazione n°: 15 del : 27/06/2013

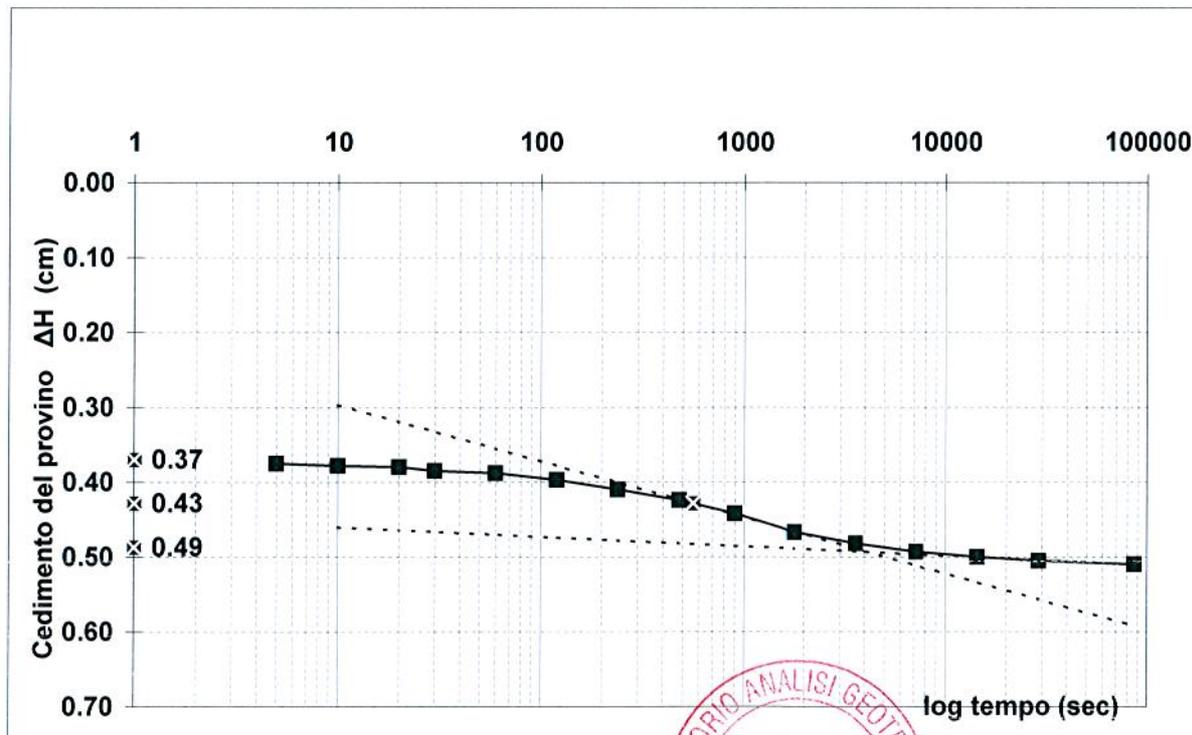
Sondaggio: S1
 Campione: C2
 Prof(m): 7.4-8.0

NATURA DEL CAMPIONE: Argilla poco consistente

Tensione verticale efficace (kPa) : 784.56
 Cv (cmq/sec): 3.48E-04
 C alfa 6.33E-05
 t50 (sec) 561
 Permeabilità (cm/sec) 6.136E-09

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.375
5	0.375
10	0.378
20	0.380
30	0.385
60	0.388
120	0.397
240	0.410
480	0.424
900	0.442
1800	0.467
3600	0.482
7200	0.493
14400	0.500
28800	0.505
86400	0.510

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPO (Metodo Casagrande)



Sperimentatore Dr. Malaguti D.	Il Direttore Dr. Geol. Antonio Mucchi	Certificato n° : 202
		Data emissione : 15/07/13



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol.Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 - www.mucchilab.it
 Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e
 certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di
 gestione per la qualità
 certificato da KIWA
 =UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: Dr. Andrea Diegoli
 CANTIERE: Nuova Caserma Carabinieri - s.Agostino
 DATA: 03/07/2013
 Verbale accettazione n°: 15 del : 27/06/2013

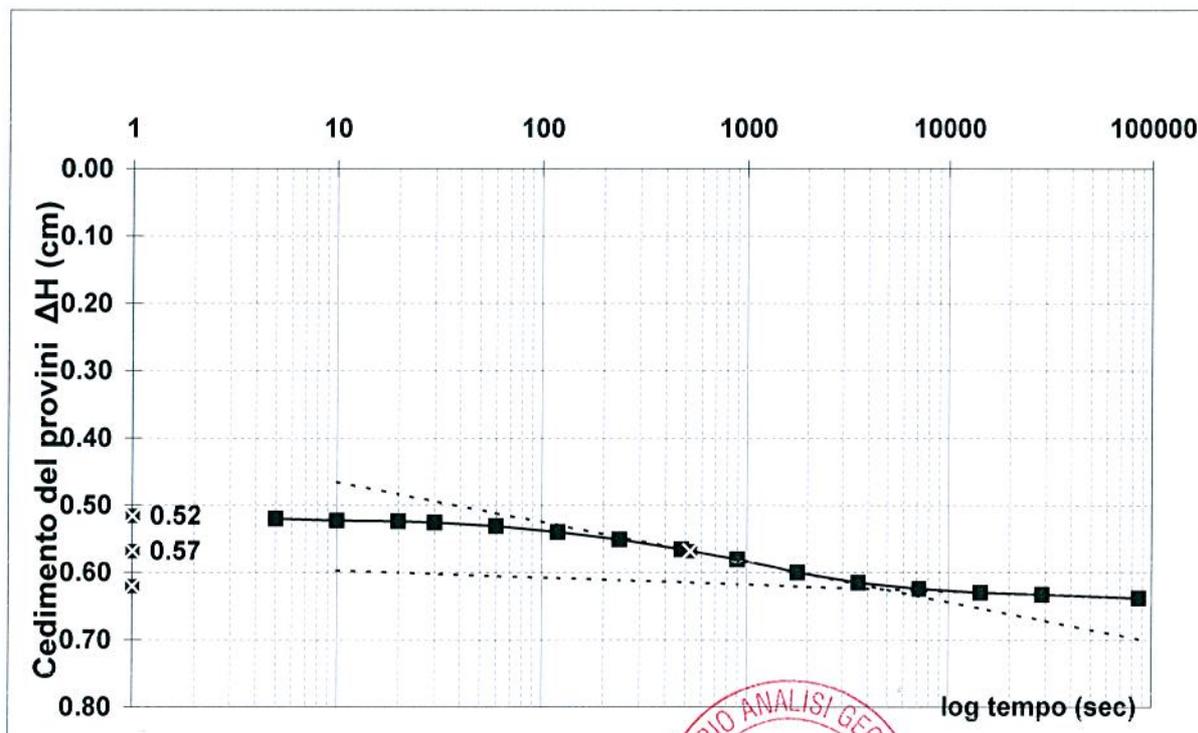
Sondaggio: S1
 Campione: C2
 Prof(m): 7.4-8.0

NATURA DEL CAMPIONE: Argilla poco consistente

Tensione verticale efficace (kPa) : 1569.12
 Cv (cmq/sec): 3.70E-04
 C alfa 5.16E-05
 t50 (sec) 527
 Permeabilità (cm/sec) 2.958E-09

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.518
5	0.520
10	0.523
20	0.524
30	0.526
60	0.531
120	0.540
240	0.551
480	0.566
900	0.581
1800	0.600
3600	0.615
7200	0.624
14400	0.630
28800	0.633
86400	0.638

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPO (Metodo Casagrande)



Sperimentatore
 Dr. Malaguti D.

Il Direttore
 Dr. Geol. Antonio Mucchi

Certificato n° : 207
 Data emissione : 15/07/13

