

COMUNE DI GRAVELLONA TOCE

Progetto:
ACQUANOVARAVCO spa
Via Triggiani 9
28100 NOVARA

AMPLIAMENTO DEPURATORE DI GRAVELLONA TOCE

Progetto Definitivo



STUDIO DI INGEGNERIA ISOLA BOASSO & ASSOCIATI S.r.l.
DOTT. ING. RENZO ISOLA, DOTT. ING. RICCARDO ISOLA,
DOTT. ING. PAOLO BOASSO, DOTT. ING. FABRIZIO RABAGLIO
Corso ~~Prestina~~ 86, 13100 VERCELLI (VC)
isolaboasso@email.it, isolaboassoassociati@legalmail.it, www.isolaboasso.it
Tel. 0039 0161 215214 - Fax 0039 0161 1895045

RELAZIONE GEOLOGICA – INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Rev.0 30/08/2019
Rev. 1 14/04/2020



Studio di Geologia
dott. geol. Anna Maria Ferrari
Idrogeologia - Geologia applicata
Geologia ambientale
Via Pietro Azario 3 - 28100 NOVARA



Novara, 20 aprile 2020

INDICE

| | | |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----|
| Premessa | pag. | 2 |
| 1 RELAZIONE GEOLOGICA | | |
| 1.1 Inquadramento geologico | | 3 |
| 1.2 Inquadramento idrogeologico | | 3 |
| 1.3 Fattibilità geologica | | 3 |
| 1.4 Modello geologico | | 4 |
| 2 INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | | |
| 2.1 Indagini geotecniche | | 5 |
| 2.1.1 Sondaggio geognostico | | |
| 2.1.2 Allestimento a piezometro | | |
| 2.1.3 Caratteristiche stratigrafiche | | 6 |
| 2.1.4 Prove SPT in foro di sondaggio | | 6 |
| 2.1.5 Prove penetrometriche dinamiche | | 8 |
| 2.1.6 Correlazione Nspt - SPT | | |
| 2.1.7 Situazione stratigrafica locale da SCPT | | |
| 2.1.8 Analisi granulometriche | | 9 |
| 2.2 Parametri geotecnici disaggregati da SPT in foro di sondaggio | | 10 |
| 2.2.1 Peso di volume | | |
| 2.2.2 Angolo di resistenza al taglio di picco | | |
| 2.2.3 Densità relativa | | |
| 2.2.4 Modulo di Young | | |
| 2.2.5 Modulo edometrico | | |
| 2.3 Parametri geotecnici disaggregati da prove SCPT | | 14 |
| 2.4 Parametri caratteristici | | 15 |
| 3 INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE SISMICA | | |
| 3.1 Indagine MASW | | 20 |
| 3.1.1 Note metodologiche | | |
| 3.1.2 Geometria della stesa | | |
| 3.1.3 Calcolo Vs30 | | |
| 3.1.4 Risultato indagine | | 24 |
| 3.2 Caratterizzazione sismica | | 25 |
| 3.2.1 Premessa | | |
| 3.2.2 Cenni sulla sismicità del territorio | | |
| 3.3 Caratterizzazione sismica di base e di sito | | 26 |
| 3.3.1 Premessa | | |
| 3.3.2 Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento | | |
| 3.3.3 Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno | | |
| 3.3.4 Azioni sismiche | | |
| 3.3.5 Pericolosità sismica di base | | 31 |
| 3.3.6 Pericolosità sismica di sito | | 39 |
| 3.3.7 Verifica a liquefazione | | 43 |
| ALLEGATI: | | |
| TAVOLA 1 | Corografia | |
| TAVOLA 2 | Elaborati geologici- Inquadramento | |
| TAVOLA 3 | Elaborati geologici - Fattibilità geologica | |
| TAVOLA 4 | Ubicazione indagini | |
| CERTIFICATO SONDECO srl | | |
| TABULATI PROGRAMGEO | | |

PREMESSA

La presente relazione è stata redatta su incarico di ISOLABOASSO &Associati srl a corredo del progetto definitivo relativo ad alcuni interventi di ampliamento del depuratore di Gravelona Toce. Il presente elaborato rappresenta la caratterizzazione e modellazione geologica, e la relazione illustrativa delle indagini e caratterizzazione geotecnica (art. 6.2.2 NTC 2018).

I dati geologici ed idrogeologici riportati nel presente documento sono stati acquisiti da dati di letteratura disponibili, dalla caratterizzazione del PRGC vigente, oltre che sulla base di rilievi e indagini in sito.

L'impianto di depurazione si trova in via Trattati di Roma in Comune di Gravelona Toce.

RELAZIONE GEOLOGICA

1.1 Inquadramento geologico

L'area di intervento è caratterizzata da depositi alluvionali recenti legati alla dinamica evolutiva del Fiume Toce – Torrente Strona, costituiti da sabbie, sabbie ghiaiose, limi, limi sabbiosi. Tutta la piana alluvionale è costituita da alternanze di depositi sabbiosi e ghiaiosi e di depositi fini di tipo limoso-argilloso. La formazione dell'ampia piana alluvionale è stata condizionata dalla presenza del Montorfano e della soglia rocciosa su cui si trova Mergozzo. Questo ha impedito che il fiume Toce potesse sfociare direttamente nel Lago Maggiore, determinando l'avanzamento e l'accrescimento della piana alluvionale che ha portato alla separazione tra Lago Maggiore e Lago di Mergozzo. Tutta la zona alluvionale risulta caratterizzata da associazione di sedimenti di ambiente fluviale, di conoide e di piana alluvionale, con elevata variabilità granulometrica.

L'assetto locale è rappresentato alla Tavola 2, che riporta uno stralcio della "Carta geologica, dei dissesti, della dinamica fluviale e del reticolato idrografico minore" EL: 4 dello studio geologico redatto per il PRGC da GeoArborStudio (Vaprio d'Adda – MI).

E' riportato anche l'areale di esondazione relativo all'evento alluvionale 13-16 ottobre 2000, da cui si deduce che l'impianto non è stato interessato dall'evento. Da notizie raccolte l'area dell'impianto sarebbe stata tuttavia soggetta ad allagamenti nell'ultimo decennio.

L'area dell'impianto è stata interessata dalla messa in posto di un riporto artificiale costituito da materiale a granulometria molto grossolana che ha determinato l'innalzamento del piano campagna di 1.5-2.0 metri

3

L'impianto di depurazione si posiziona in fascia C prevista dal PAI sul fiume Toce. La fascia C rappresenta il limite esterno delle aree interessate da eventi di piena catastofici con Tr= 500 anni.

1.2 Inquadramento idrogeologico

La zona è caratterizzata da una falda superficiale a connotazione freatica, alimentata prevalentemente dal fiume Toce. Da dati bibliografici (caratterizzazione geologica di PRGC) la soggiacenza risulta limitata e mediamente pari a -1,5 /-2,0 m da piano campagna, risultando soggetta ad oscillazioni stagionali. A livello locale occorre considerare il riporto messo in posto di spessore valutabile in 1.5-2.0 m che porta localmente ad un pari incremento delle quote di soggiacenza.

1.3 Dissesto - Fattibilità geologica

La Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione

urbanistica (elaborato prescrittivo di PRGC) classifica l'area ospitante l'impianto di depurazione, in **Classe IIIb3-2 (TAVOLA 3)**

Classe IIIb3-2, "aree limitrofe alla Classe IIIa1 - Pericolosità geomorfologica legata a possibili laminazioni di media energia. A seguito della realizzazione delle opere di riassetto sarà possibile solo un modesto aumento del carico antropico. Sono escluse nuove unità abitative. Sono ammesse opere pubbliche ai sensi dell'art. 31 LR 56/77."

1.4 Modello geologico

L'area di studio è caratterizzata da una morfologia subpianeggiante

Per quanto riguarda l'inquadramento idrogeologico la quota della falda in fase di indagine è stata individuata a circa -4,80 m (29 luglio 2019). Risulta pertanto direttamente interferente con la realizzazione delle strutture ed è comunque soggetta ad oscillazioni nel corso dell'anno.

L'area è caratterizzata dalla presenza di "depositi alluvionali"

La ricostruzione del modello geologico del terreno è stata realizzata mediante l'esecuzione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, protratto fino alla profondità di 18 m e successivamente allestito a piezometro e sulla base di 3 prove penetrometriche dinamiche. Sono state inoltre eseguite 12 SPT in foro di sondaggio, a partire dalla quota di -3,70 m, per la parametrizzazione geotecnica. Sono stati inoltre raccolti due campioni di sabbie sciolte: C1 (9.00-9.30 m) e C2 (14.00-14.30 m) inviate a laboratorio specializzato per determinazione delle curve granulometriche.

Il modello geologico risultante è il seguente:

| MODELLO GEOLOGICO | |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 0,00 – 2,00 m | Riporto ad elevata granulometria (grossi ciottoli/ blocchi) |
| 2,00 – 3,20 m | Sabbia con ghiaia |
| 3,20 – 7,60 m | Ghiaia e sabbia con ciottoli |
| 7,60 – 13,60 m | Sabbia, sabbia limosa, limi sabbiosi |
| 13,60-18,00 m | Sabbie fini, limi sabbiosi |

2 INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

2.1 Indagini geotecniche

Le indagini di caratterizzazione geotecnica realizzate su incarico di Acqua NovaraVCO spa da Sondeco srl sono:

- 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo alla profondità di 18 m allestito successivamente a piezometro
- 3 prove penetrometriche dinamiche (SCPT) realizzate con penetrometro superpesante (Pagani 63/100)

2.1.1 Sondaggio geognostico

Il sondaggio è stato eseguito da SONDECO srl nei giorni 26 e 29 luglio 2019. Le attività di perforazione sono state eseguite a rotazione con carotaggio continuo, utilizzando una sonda idraulica montata su carro cingolato, secondo le raccomandazioni A.G.I. (1977). Sono stati utilizzati carotieri semplici, di diametro pari a 131 e 101 mm; Il foro di sondaggio è stato rivestito con rivestimenti metallici provvisori aventi diametro pari a 127 mm ed utilizzando acqua per le operazioni di rivestimento,

Il sondaggio S1 è stato spinto fino alla profondità di m 18.00 dal piano campagna ed in corso d'opera sono state eseguite n° 12 prove SPT (Standard Penetration Test); le risultanze e le quote di esecuzione sono riportate nella stratigrafia allegata.

I testimoni del carotaggio sono stati riposti in n° 4 cassette catalogatrici, opportunamente classificate e ricoverate in cantiere.

Nella mattinata del 26 luglio è stato allestito il cantiere temporaneo con il posizionamento della sonda sulla verticale di indagine.

I lavori di perforazione sono continuati nelle giornate del 26 e 29 luglio con la conclusione delle attività di perforazione e delle relative prove in foro, con smontaggio definitivo del cantiere in data 29 luglio 2019.

La Tavola 4 ne riporta l'ubicazione.

2.1.2 Allestimento a piezometro

Al termine della perforazione, la verticale di indagine è stata strumentata mediante la posa in opera di un piezometro a tubo aperto (diametro 2") in PVC, fenestrato da m 3.00 a m 18.00, al fine di poter verificare il livello di falda. Il livello statico rilevato alla fine delle operazioni di cantiere è riportato nelle schede stratigrafiche. La soggiacenza rilevata sul piezometro in configurazione definitiva alla data della lettura:

Quota falda -4,80 m da pc. il 29/07/2019

2.1.3 Caratteristiche stratigrafiche

La ricostruzione stratigrafica evidenzia la presenza di un deposito superficiale costituito da uno strato di riporto grossolano (blocchi in matrice sabbiosa), seguito da deposito sabbioso - ghiaioso fino a circa 7.60 m. Da tale quota sino a fondo foro i depositi sono prevalentemente sabbiosi e limoso-sabbiosi

| | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,00 – 2.10 m | terreno di riporto vegetale seguito da riporto costituito da blocchi abbondanti in matrice sabbiosa |
| 2.10 – 3.20 m | Sabbia con ghiaia |
| 3.20 – 7.60 m | Ghiaia eterometrica con ciottoli in abbondante matrice sabbiosa, a tratti limosa |
| 7.60 – 13.60 m | Alternanze di livelli sabbiosi, sabbioso-limosi e limi sabbiosi |
| 13.60 - 18.00 m | Sabbia fine prevalente con passate di limo sabbioso fine |

La falda è stata intercettata in fase di perforazione in corrispondenza del livello ghiaioso compreso tra 3.20 e 7.60 m, con un livello statico che si è stabilizzato a -4.80 m circa durante la perforazione.

2.1.4 Prove SPT in foro di sondaggio

Le prove SPT sono state eseguite secondo le prescrizioni stabilite dalle specifiche AGI 1977 e approfondite dalla norma UNI EN ISO 22476-3:2012. Di seguito sono riportate le caratteristiche del dispositivo di battuta con maglio a sganciamento automatico (tipo "Nenzi") utilizzato per l'esecuzione delle prove in foro di tipo SPT:

CARATTERISTICHE TECNICHE DEL MARTINO A SGANCIO AUTOMATICO (PROVE "SPT")

Peso totale dispositivo di battitura 115,00 kg

Massa maglio 63,50 kg

Altezza di caduta libera 760,00 mm

Diametro esterno aste di infissione 50,00 mm

Peso aste di infissione (tipo B) 7,00 kg/m

Lunghezza campionatore Raymond (comprendente scarpa e raccordo per le aste)
813,00 mm

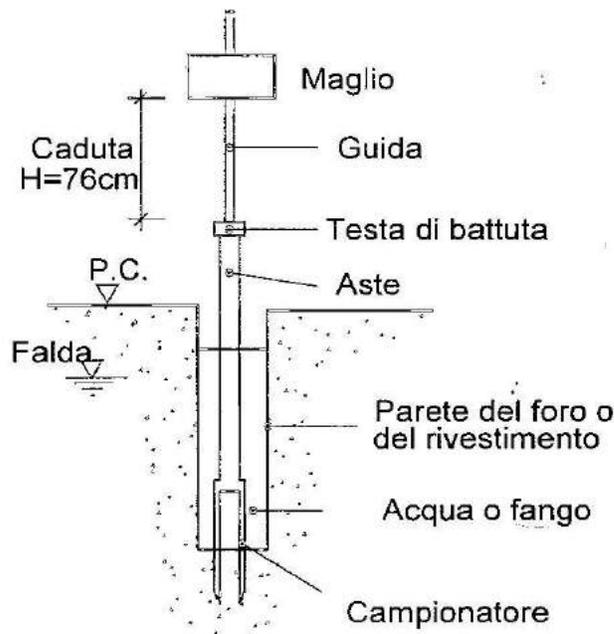
Diametro esterno campionatore Raymond 51,00 mm

Diametro interno campionatore Raymond 35,00 mm

Angolo di spoglia della punta aperta 20°

Angolo di apertura della punta conica 60°

La prova penetrometrica standard, o Standard Penetration Test, consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore o di una punta conica standard (Raymond) e rappresenta una prova di resistenza al taglio in condizioni essenzialmente non drenate. La prova si svolge misurando il numero di colpi necessario all'infissione del campionatore o della punta conica standard (nel caso di terreni ghiaioso-sabbiosi) per la profondità di 30 cm, battendo con un maglio del peso di 63.5 kg e da un'altezza di caduta pari a 76.2 cm.



Nella prova si compie una infissione per 3 tratte distinte da 15 cm per un totale di 45 cm e per ciascuna di esse si misura il numero di colpi necessario, definendo resistenza dinamica il numero di colpi relativo agli ultimi 30 cm:

$$N_{SPT} = N^{\circ} \text{ colpi} / 30 \text{ cm}$$

La prova ha termine prima della completa penetrazione, cioè va "a rifiuto", se si verifica una delle seguenti condizioni:

- $N_{SPT} = 50$ colpi/30 cm per un singolo tratto (15 cm)
- $N_{SPT} = 100$ colpi/30 cm
- Assenza totale di penetrazione

La prova SPT è molto utilizzata, con ampi riferimenti bibliografici per la correlazione dei risultati con le caratteristiche dei terreni e con il carico ammissibile.

Le prove SPT realizzate nel corso dei sondaggi sono state eseguite secondo le Raccomandazioni A.G.I. (1977) alle quote seguenti:

| PROVA | QUOTA (m da p.c.) | N _{SPT} |
|--------|-------------------|------------------|
| SPT 1 | 3,70 | 13/39/46 |
| SPT 2 | 5,00 | 21/13/13 |
| SPT 3 | 6,00 | 33/35/42 |
| SPT 4 | 7,00 | 11/7/9 |
| SPT 5 | 8,00 | 4/4/3 |
| SPT 6 | 9,00 | 3/5/5 |
| SPT 7 | 10,50 | 3/4/5 |
| SPT 8 | 12,00 | 4/4/6 |
| SPT 9 | 13,50 | 5/5/7 |
| SPT 10 | 15,00 | 6/6/7 |
| SPT 11 | 16,50 | 4/6/6 |
| SPT 12 | 18,00 | 7/8/9 |

2.1.5 Prove penetrometriche dinamiche

Sono state realizzate anche tre prove penetrometriche dinamiche in corrispondenza delle vasche in progetto, la cui ubicazione è riportata alla Tavola 4.

La prova penetrometrica dinamica continua DPSH-ISSMFE consiste nella infissione, mediante una massa battente, di una batteria di aste munita all'estremità di una punta conica e nella registrazione del numero di colpi (N30) necessari all'approfondimento di tratti consecutivi di 30 cm della prova. Le DPSH si utilizzano principalmente per terreni granulari sciolti a frazione ghiaiosa. Sono state realizzate utilizzando un penetrometro modello Pagani 63/100 allestito a superpesante (Meardi-AGI), semovente, avente le seguenti caratteristiche strumentali.

| CARATTERISTICHE STRUMENTALI |
|------------------------------------------------|
| PESO DEL MAGLIO 73 kg |
| VOLATA DEL MAGLIO 75 cm |
| DIAMETRO DELLA PUNTA CONICA 5,1 cm |
| AREA DI BASE DELLA PUNTA 20,43 cm ² |
| ANGOLO DI APERTURA DELLA PUNTA 60° |
| LUNGHEZZA ASTE 1 m |
| PESO ASTE 6,31 kg/m |
| AVANZAMENTO PUNTA 0,30 m |
| PASSO LETTURA 30 cm |

| |
|--------------------------------|
| NUMERO COLPI N30 |
| NORMA DI RIFERIMENTO AGI, 1977 |

Per quanto riguarda la parametrizzazione geotecnica sono stati determinati: angolo di resistenza al taglio di picco, densità relativa, peso di volume, modulo edometrico e modulo di Young utilizzando il pacchetto di calcolo SPT (ver. 4.4 ProgramGeo – BS).

I diagrammi stratigrafici e le elaborazioni del programma sono riportati di seguito (ALLEGATI).

L'ubicazione è riportata alla Tavola 3 allegata.

2.1.6 Correlazione N_{spt} con SPT.

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT, occorre applicare una correzione ai risultati delle prove DPSH, per tenere conto delle diverse modalità esecutive.

Ciò può essere fatto secondo due criteri differenti:

- correzione sulla base delle differenti modalità esecutive: penetrometri con caratteristiche differenti rispetto all' SPT (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) comportano energie di infissione ovviamente differenti; per rapportare il numero di colpi dell' SPT con quelli del dinamico continuo
- correzione sulla base delle litologie incontrate: si è dimostrato, nelle correlazioni SPT-SCPT, che generalmente il rapporto fra il numero dei colpi misurato con i due strumenti (N_{spt}/N_{scpt}) tende a 1 per granulometrie grossolane, mentre tende a crescere per granulometrie più fini;

Nel caso in esame è stata utilizzata la correlazione pari a 1.15.

2.1.7 Situazione stratigrafica locale da DPSH

Non esiste attualmente in letteratura una correlazione fra il numero di colpi misurato con il penetrometro dinamico e la litologia degli strati attraversati. Tuttavia sulla base della conoscenza dell'assetto stratigrafico del contesto è possibile ipotizzare l'assetto stratigrafico locale.

Le prove DPSH (SCPT) 1 e 2 hanno indagato unicamente il riporto grossolano superficiale, andando a rifiuto anche nel secondo tentativo su nuova verticale di indagine rispettivamente alle quote di 1,50 e 0,90 m.

La terza postazione ha raggiunto la profondità di 5.10 m registrando "rifiuto" in corrispondenza del livello ghiaioso sabbioso, con ogni probabilità localmente addensato.

2.1.8 Analisi granulometriche

In corrispondenza del sondaggio sono stati inoltre prelevati due campioni rimaneggiati da sottoporre ad analisi granulometrica:

C1 9.00-9.30 m

C2 14.00-14.30 m

I risultati delle analisi granulometriche sono presenti in allegato.

Il campione **C1** corrisponde a: “sabbia limoso-argillosa debolmente ghiaiosa”

Il campione **C2** corrisponde a: “sabbia debolmente limoso-argillosa”

2.2 Parametri geotecnici disaggregati da SPT in foro di sondaggio

Nel caso in oggetto le prove sono state eseguite in corrispondenza del foro di sondaggio, a varie quote, infiggendo il campionatore per 45 cm e contando i colpi relativi agli ultimi 30 cm di infissione.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni incoerenti è basata sulla interpretazione delle SPT, utilizzando correlazioni di carattere empirico che legano i valori del numero di colpi per "piede di avanzamento", N_{SPT} , ai parametri geotecnici

I parametri geotecnici calcolabili per terreni incoerenti (componente sabbiosa o ghiaiosa dominante) attraverso le correlazioni dirette con i valori di N_{SPT} maggiormente significativi ai fini della presente indagine sono i seguenti:

- angolo di resistenza al taglio ϕ (di picco);
- densità relativa D_r ;
- peso di volume

Per quanto riguarda la parametrizzazione geotecnica sono stati determinati i valori nominali o disaggregati di angolo di attrito e peso di volume, densità relativa, utilizzando un pacchetto di calcolo automatizzato (*SCPT 4.4 ProgramGeo*).

I parametri disaggregati determinati con il programma di calcolo, utilizzando metodi di letteratura accreditati per la determinazione dei parametri geotecnici da prove SPT, sono stati analizzati su ciascuna prova

Si allegano le tabelle con i valori disaggregati, derivanti dalla successione definita dalle prove.

2.2.1 Peso di volume (γ)

Il peso di volume è definito dal rapporto tra il peso dell'unità composta dai granuli e il volume totale.

I valori determinati in corrispondenza delle prove sono riassunti alla tabella seguente, da cui si evidenzia una buona omogeneità dei valori determinati

| SPT | Quota (m da p.c.) | DESCRIZIONE LITOLOGICA | PESO DI VOLUME t/m ³ |
|-----|----------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 3.70 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 2.27 |
| 2 | 5.00 | Sabbia compatta | 2.07 |
| 3 | 6.00 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 2.19 |
| 4 | 7.00 | Sabbia sciolta | 1.88 |
| 5 | 8.00 | Sabbia sciolta | 1.88 |

| | | | |
|----|-------|----------------------------|------|
| 6 | 9.00 | Sabbia fine sciolta | 1.80 |
| 7 | 10.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 1.74 |
| 8 | 12.00 | Sabbia sciolta fine | 1.84 |
| 9 | 13.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 1.84 |
| 10 | 15.00 | Sabbia sciolta fine | 1.85 |
| 11 | 16.50 | Sabbia sciolta fine | 1.86 |
| 12 | 18.00 | Sabbia sciolta | 1.86 |

2.2.2 Angolo di resistenza al taglio ϕ' .

L'angolo di resistenza al taglio di picco del materiale indagato può essere valutato correlando direttamente i numeri di colpi N_{spt} con l'angolo ϕ' . Nel caso in esame si è utilizzato il *metodo Road Bridge Specification*

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = \sqrt{15N_{spt}} + 15$$

dove N_{spt} è il numero di colpi medio misurato nello strato. I valori determinati in corrispondenza delle prove sono riassunti alla tabella seguente.

SONDAGGIO S1

| SPT | Quota (m da p.c.) | DESCRIZIONE LITOLOGICA | ANGOLO RESISTENZA AL TAGLIO di picco ϕ' |
|-----|----------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | 3.70 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 38° |
| 2 | 5.00 | Sabbia compatta | 29° |
| 3 | 6.00 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 37° |
| 4 | 7.00 | Sabbia sciolta | 24° |
| 5 | 8.00 | Sabbia sciolta | 24° |
| 6 | 9.00 | Sabbia fine sciolta | 23° |
| 7 | 10.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 23° |
| 8 | 12.00 | Sabbia sciolta fine | 22° |
| 9 | 13.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 23° |
| 10 | 15.00 | Sabbia sciolta fine | 24° |
| 11 | 16.50 | Sabbia sciolta fine | 24° |
| 12 | 18.00 | Sabbia sciolta | 25° |

2.2.3 Densità relativa

La *densità relativa* esprime il grado di addensamento di un dato terreno e viene definita come il rapporto esistente tra la differenza tra massimo indice dei vuoti possibile e indice dei vuoti posseduto dal terreno in oggetto e differenza tra massimo e minimo indice dei vuoti possibile:

$$D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min}),$$

L'indice dei vuoti posseduto da un dato terreno esprime lo stato attuale del terreno in dipendenza della sua storia geologica o delle modalità di messa in opera.

In base al suo valore il terreno viene definito:

- *sciolto*, se D_r è minore di 20%;
- *poco addensato*, se D_r è compreso tra 20 e 40%;
- *mediamente addensato*, se D_r è compreso fra 40 e 60%;
- *addensato*, se D_r è compreso fra 60 e 80%;
- *molto addensato*, se D_r è maggiore di 80%.

La densità relativa (D_r %) si calcola attraverso correlazioni dirette con i valori di N_{spt} (Skempton, 1986; Skempton, Gibbs & Holtz, Schultze & Mezenbach)

I valori di D_r determinati individuano terreni da POCO ADDENSATI a MOLTO ADDENSATI.

| SPT | Quota (m da p.c.) | DESCRIZIONE LITOLOGICA | Dr % |
|-----|----------------------|-----------------------------------------|------|
| 1 | 3.70 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 85 |
| 2 | 5.00 | Sabbia compatta | 56 |
| 3 | 6.00 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 82 |
| 4 | 7.00 | Sabbia sciolta | 35 |
| 5 | 8.00 | Sabbia sciolta | 30 |
| 6 | 9.00 | Sabbia fine sciolta | 30 |
| 7 | 10.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 23 |
| 8 | 12.00 | Sabbia sciolta fine | 22 |
| 9 | 13.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 25 |
| 10 | 15.00 | Sabbia sciolta fine | 28 |
| 11 | 16.50 | Sabbia sciolta fine | 30 |
| 12 | 18.00 | Sabbia sciolta | 32 |

2.2.4 E modulo di deformazione – modulo di Young

E' dato dal rapporto tra componente assiale del carico e deformazione lungo lo stesso asse, con espansione laterale libera. E' stato determinato con il *metodo di Stroud*, che si basa sulla relazione seguente:

$$E = \alpha N_{spt}$$

con : $\alpha = -0,00107 N_{spt}^2 + 0,136 N_{spt} + 1,503$ e N_{spt} = numero di colpi medio nello strato

Nel caso in esame, nell'intervallo stratigrafico considerato, vengono definiti valori compresi tra 56 e 1700 kg/cm²

| SPT | Quota (m da p.c.) | DESCRIZIONE LITOLOGICA | E Young (kg/cm ²) |
|-----|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 3.70 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 1700 |
| 2 | 5.00 | Sabbia compatta | 394 |
| 3 | 6.00 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 1426 |
| 4 | 7.00 | Sabbia sciolta | 134 |
| 5 | 8.00 | Sabbia sciolta | 106 |
| 6 | 9.00 | Sabbia fine sciolta | 106 |
| 7 | 10.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 56 |
| 8 | 12.00 | Sabbia sciolta fine | 56 |
| 9 | 13.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 80 |
| 10 | 15.00 | Sabbia sciolta fine | 106 |
| 11 | 16.50 | Sabbia sciolta fine | 134 |
| 12 | 18.00 | Sabbia sciolta | 165 |

2.2.5 E modulo edometrico

Rappresenta una misura del grado di compressibilità dello scheletro solido di un terreno in condizioni di dilatazione laterale impedita. E' stato determinato con il *metodo di Farrent*, valido in genere per depositi sabbiosi. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta, a parità di N_{spt} ad una diminuzione dei valori con la profondità

$$E \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 7.1 N_{spt}$$

Nel caso in esame, nell'intervallo stratigrafico considerato, vengono definiti valori compresi tra 21 e 249 Kg/cm².

| SPT | Quota (m da p.c.) | DESCRIZIONE LITOLOGICA | E edometrico (kg/cm ²) |
|-----|----------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 3.70 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 249 |
| 2 | 5.00 | Sabbia compatta | 92 |
| 3 | 6.00 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 220 |
| 4 | 7.00 | Sabbia sciolta | 43 |
| 5 | 8.00 | Sabbia sciolta | 36 |
| 6 | 9.00 | Sabbia fine sciolta | 36 |
| 7 | 10.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 21 |
| 8 | 12.00 | Sabbia sciolta fine | 21 |
| 9 | 13.50 | Sabbia sciolta fine limosa | 28 |
| 10 | 15.00 | Sabbia sciolta fine | 36 |
| 11 | 16.50 | Sabbia sciolta fine | 43 |
| 12 | 18.00 | Sabbia sciolta | 50 |

2.3 Parametri geotecnici disaggregati da SCPT

Le prove DPSH (SCPT) 1 e 2 hanno indagato unicamente il riporto grossolano superficiale, andando a rifiuto anche nel secondo tentativo su nuova verticale di indagine rispettivamente alle quote di 1,50 e 0,90 m.

La terza postazione ha raggiunto la profondità di 5.10 m registrando “rifiuto” in corrispondenza del livello ghiaioso sabbioso, con ogni probabilità localmente addensato

Anche in questo caso i parametri geotecnici disaggregati o valori nominali di angolo di attrito, peso di volume e densità relativa sono stati determinati utilizzando il pacchetto di calcolo automatizzato *SCPT 4.4 ProgramGeo*.

I parametri disaggregati sono stati determinati con il programma di calcolo citato, utilizzando metodi di letteratura accreditati.

Si allegano le tabelle con i valori disaggregati, determinati sulle tre verticali di indagine.

| Committente | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | | | | | |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|----------|----------------|-------------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Località | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | | | | Quota (m) | | |
| Data inizio | 26/07/2019 | | | Data fine | 26/07/2019 | | Sigla | Prova 1 | |
| Penetrometro | Pagani 63/100 | | | | | | | | |
| Coordinate | | | | | | | | | |
| PARAMETRI GEOTECNICI: RIASSUNTO DATI | | | | | | | | | |
| N. | Prof.(m) | Nspt eq. | Phi piccolo(°) | Phi c.v.(°) | Gamma(kg/mc) | Dr % | Cu(kg/cm ²) | EY(kg/cm ²) | Eed.(kg/cm ²) |
| 1 | 0,3 | 14 | 29,5 | 26,4 | 1920,0 | 41,0 | 0,0 | 438,98 | 99,4 |
| 2 | 0,6 | 61 | 45,0 | 35,3 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3480,2 | 433,1 |
| 3 | 0,9 | 44 | 40,7 | 31,9 | 2125,0 | 79,0 | 0,0 | 2336,82 | 312,4 |
| 4 | 1,2 | 62 | 45,0 | 35,3 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3539,93 | 440,2 |
| 5 | 1,5 | 69 | 45,0 | 35,3 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3919,84 | 489,9 |

| Committente | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | | | | | |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|----------|----------------|-------------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Località | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | | | | Quota (m) | | |
| Data inizio | 26/07/2019 | | | Data fine | 26/07/2019 | | Sigla | Prova 2 | |
| Penetrometro | Pagani 63/100 | | | | | | | | |
| Coordinate | | | | | | | | | |
| PARAMETRI GEOTECNICI: RIASSUNTO DATI | | | | | | | | | |
| N. | Prof.(m) | Nspt eq. | Phi piccolo(°) | Phi c.v.(°) | Gamma(kg/mc) | Dr % | Cu(kg/cm ²) | EY(kg/cm ²) | Eed.(kg/cm ²) |
| 1 | 0,3 | 34 | 37,6 | 30,2 | 2000,0 | 69,0 | 0,0 | 1630,54 | 241,4 |
| 2 | 0,6 | 53 | 43,2 | 33,5 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 2965,49 | 376,3 |
| 3 | 0,9 | 69 | 45,0 | 35,3 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3919,84 | 489,9 |

15

| Committente | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | | | | | |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|----------|----------------|-------------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Località | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | | | | Quota (m) | | |
| Data inizio | 26/07/2019 | | | Data fine | 26/07/2019 | | Sigla | Prova 3 | |
| Penetrometro | Pagani 63/100 | | | | | | | | |
| Coordinate | | | | | | | | | |
| PARAMETRI GEOTECNICI: RIASSUNTO DATI | | | | | | | | | |
| N. | Prof.(m) | Nspt eq. | Phi piccolo(°) | Phi c.v.(°) | Gamma(kg/mc) | Dr % | Cu(kg/cm ²) | EY(kg/cm ²) | Eed.(kg/cm ²) |
| 1 | 0,9 | 19 | 31,9 | 27,5 | 1945,0 | 49,0 | 0,0 | 889,57 | 134,9 |
| 2 | 1,8 | 10 | 27,2 | 25,0 | 1900,0 | 35,0 | 0,0 | 270,28 | 71,0 |
| 3 | 3,6 | 3 | 21,7 | 21,7 | 1800,0 | 15,0 | 0,0 | 55,94 | 21,3 |
| 4 | 4,8 | 24 | 34,0 | 29,3 | 1970,0 | 56,0 | 0,0 | 976,94 | 170,4 |
| 5 | 5,1 | 69 | 45,0 | 36,4 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3919,84 | 489,9 |

2.4 Parametri caratteristici

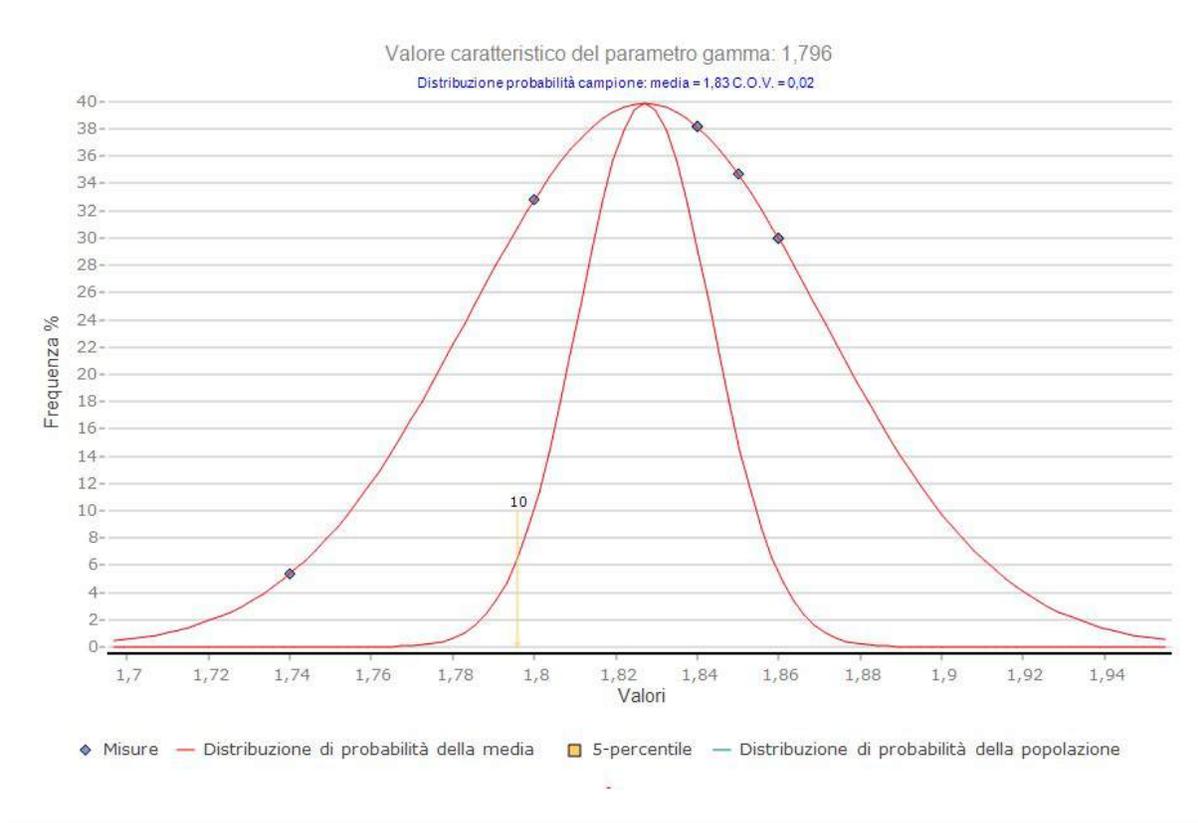
Per determinare i valori caratteristici sono stati elaborati i parametri disaggregati, ottenuti tramite correlazioni dai risultati delle prove SPT in foro di sondaggio, ed elaborati con distribuzione

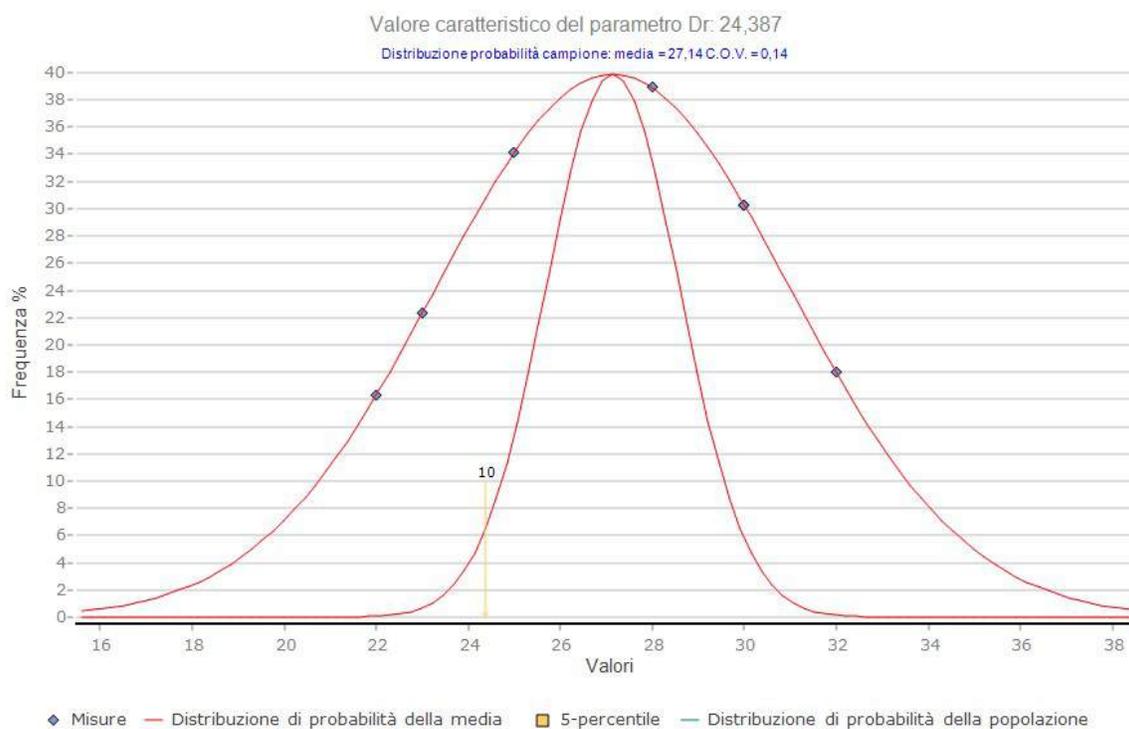
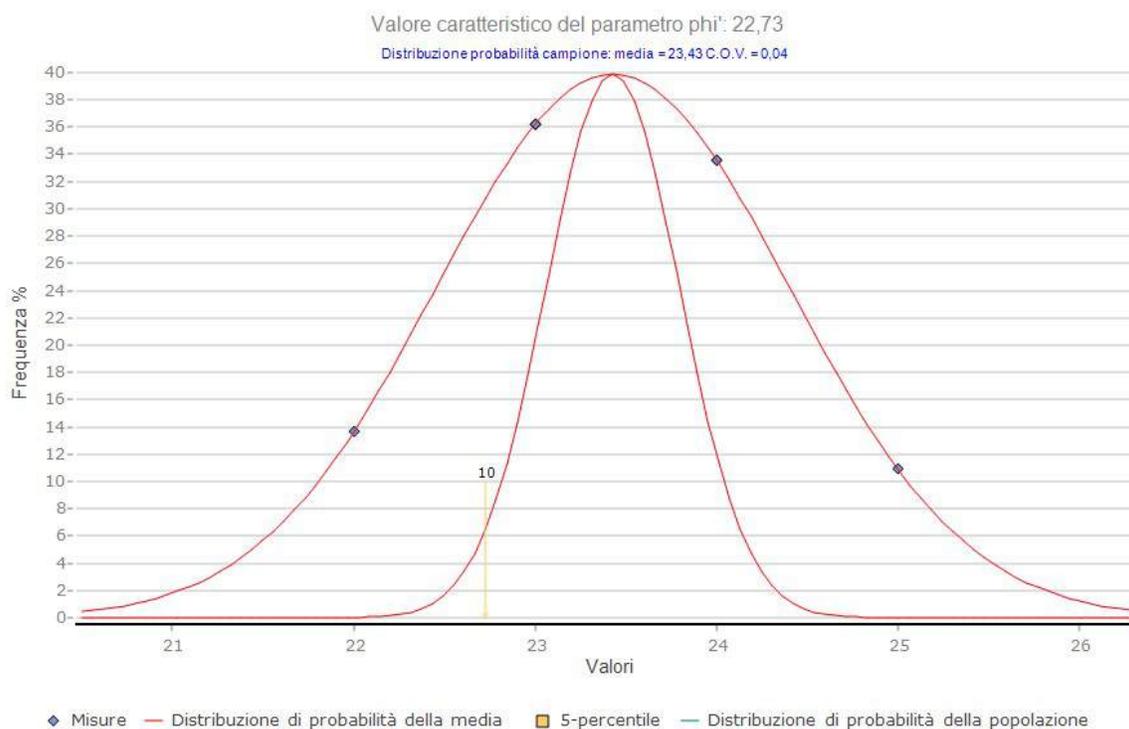
statistiche utilizzando il metodo di Student valido per popolazioni di dati < 30 (programma KAPPA GEO – ProgramGeo).

E' stato determinato il 5° percentile della distribuzione normale della media entro il volume significativo, distinguendo due casi:

1. **manufatto di sollevamento**, in corrispondenza del quale è stato ubicato il sondaggio allestito a piezometro. In questo caso il piano di imposta del manufatto è a circa -9,00 m dall'attuale piano campagna . A questo proposito sulla base delle indicazioni disponibili non sono stati considerati i primi 9 m di indagine, considerando tutta la lunghezza della verticale di indagine (18 m). Si riportano di seguito i grafici corrispondenti.

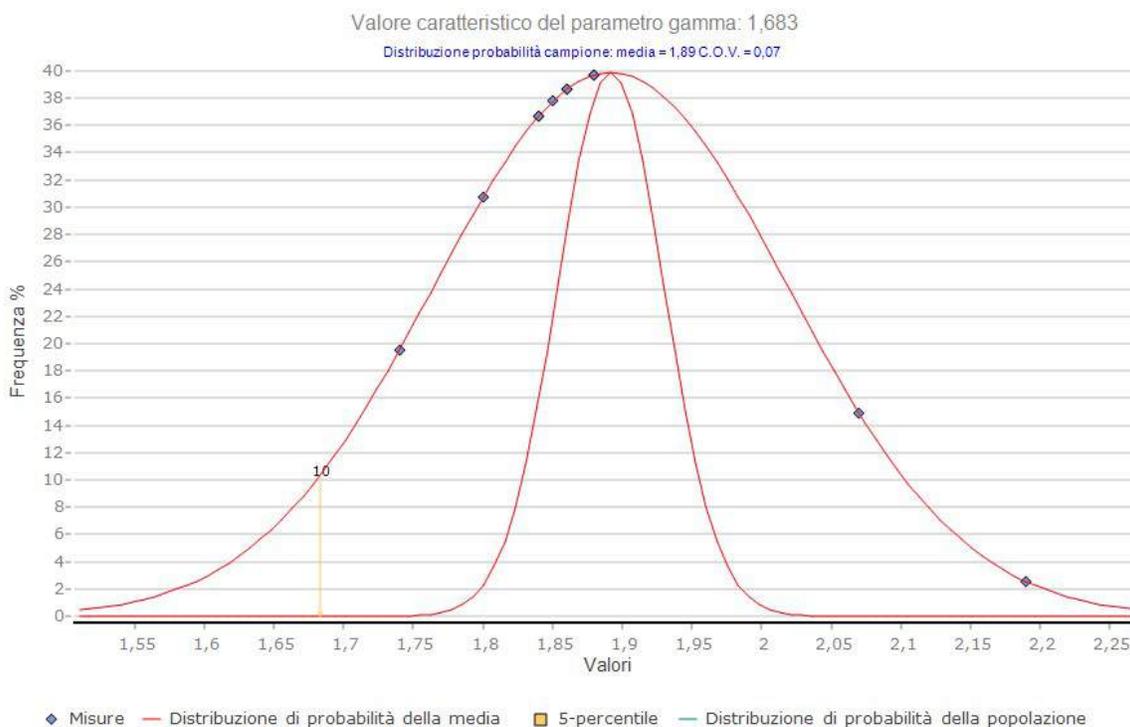
$\gamma_k = 1,8 \text{ kg/m}^3$ $\phi'_k = 22,8^\circ$ $D_r k = 24,3\%$

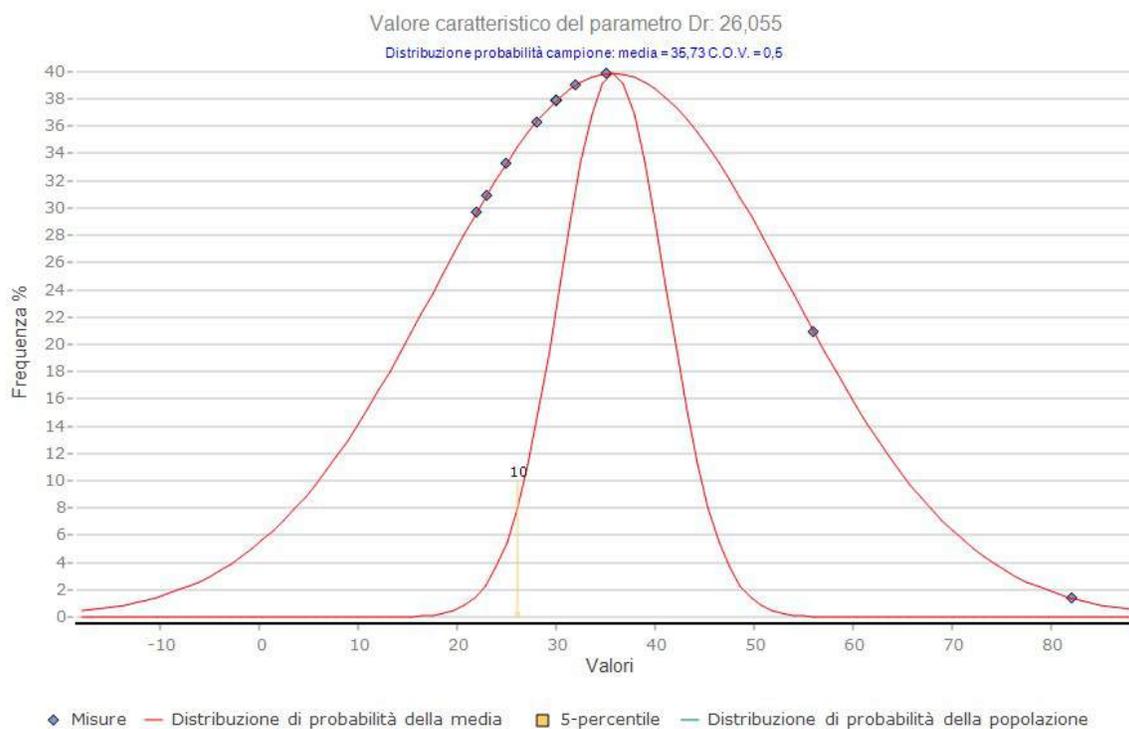
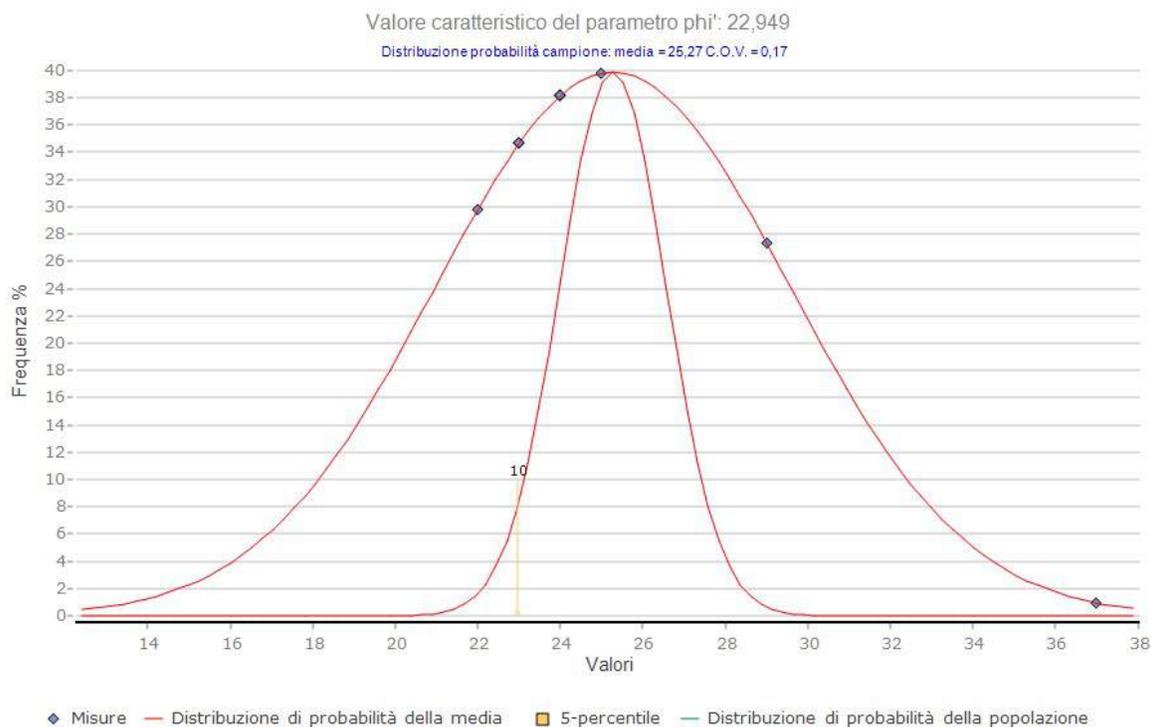




2. vasche in progetto. In questo caso il piano di imposta è posizionato a circa -5,00 m dall'attuale piano campagna . A questo proposito non sono stati considerati i primi 5 m di indagine, considerando tutta la lunghezza della verticale di indagine (18 m). Si riportano di seguito i grafici corrispondenti.

$\gamma_k = 1,7 \text{ kg/m}^3$ $\phi'_k = 23^\circ$ $D_r = 26,0\%$





3 INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE SISMICA

3.1 Indagine MASW

Per definire le azioni sismiche di progetto deve essere valutato l'effetto dell'azione sismica locale (RSL-risposta sismica locale) attraverso la determinazione della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30. A tale valore infatti corrisponde la propensione dei terreni a esaltare/contenere le sollecitazioni provocate dalle onde sismiche superficiali, le più pericolose nei confronti dei manufatti.

Per lo studio delle V_s si è adottato il metodo MASW (acronimo di Multichannel Analysis Surface Waves), con indagine realizzata in data 29 luglio 2019. Lo stendimento è rappresentato alla figura 1 sottostante e in Tavola 4. E' stata effettuata anche sismica a rifrazione, per consentire una migliore interpretazione dell'indagine MASW.

Sebbene le onde superficiali siano considerate "rumore" per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

I terreni su cui è stata effettuata l'indagine sono costituiti da depositi rappresentati da una alternanza di livelli ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi con strati sabbioso-limosi, di deposizione fluvio-glaciale - fluviale.

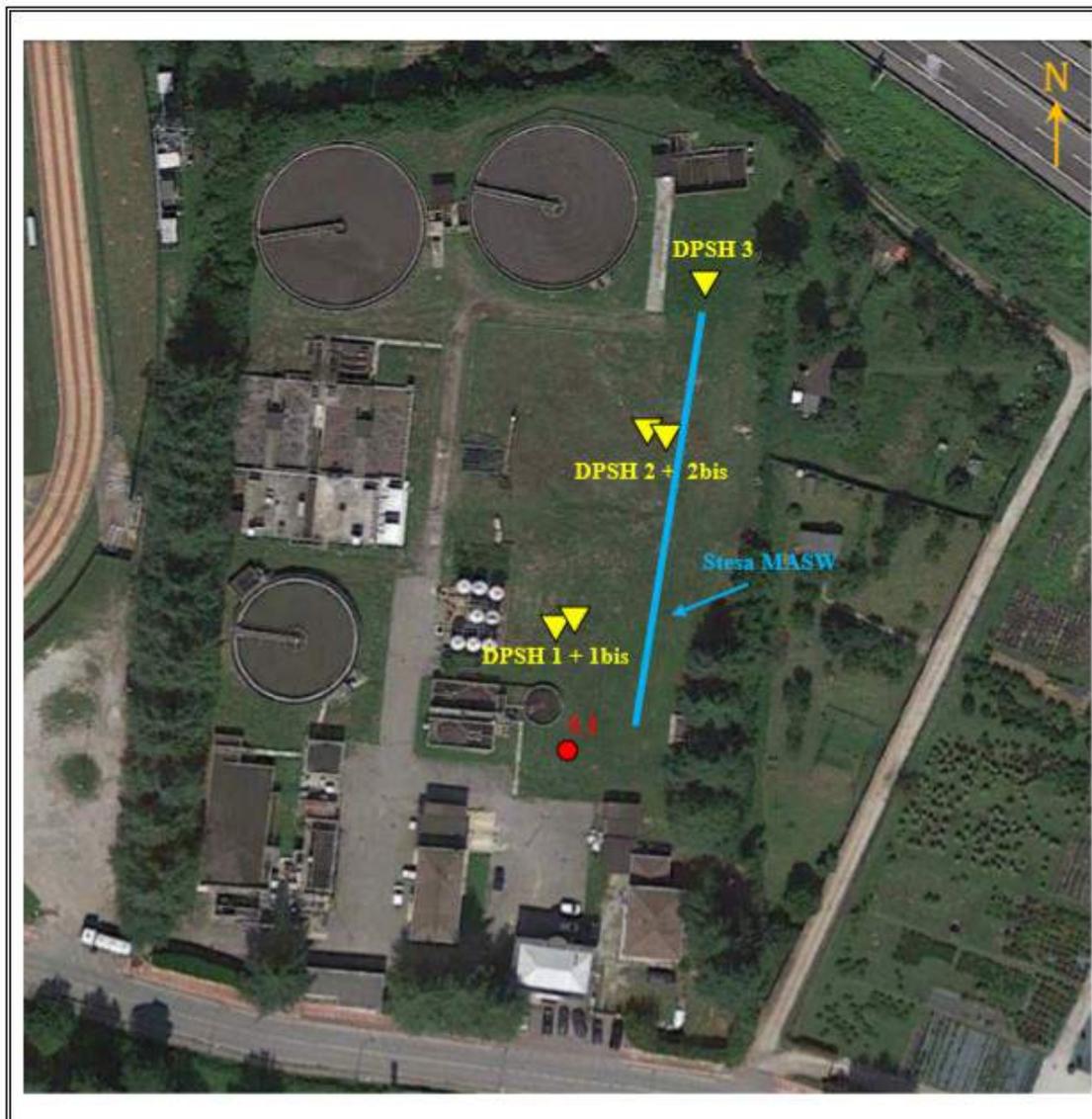


Figura 1 - Ubicazione stendimento MASW (da Google Maps)

Per la realizzazione di uno stendimento per indagine MASW è necessaria la seguente strumentazione:

1. Sismografo acquirente;
2. Geofoni;
3. Sorgente;
4. Cavi sismici
5. Trigger e cavo del trigger.

Le indagini sono state eseguite mediante sistema di acquisizione a 24 canali, costituito da sismografo digitale AMBROGEO modello ECHO 24/2002, collegato ad una catena di 24 geofoni con una frequenza di 4.5Hz. Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza battente di 10 kg

In fase di elaborazione è stato utilizzato il Programma MASW2007.

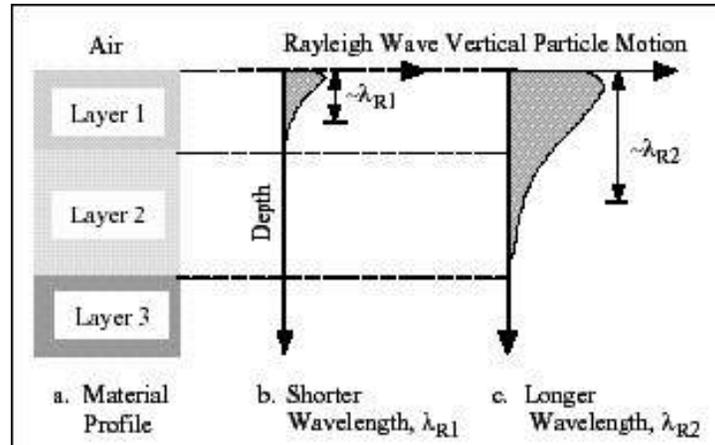


Figura 2 Strumentazione utilizzata

3.1.1 Note metodologiche

La prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagini non invasiva utile al calcolo del parametro Vs30 basata sulla misura delle onde superficiali fatta 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 rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo



Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

1. la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
3. la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

3.1.2 Geometria stesa

Nello stendimento di sismica MASW sono state utilizzate le posizioni degli scoppi 1 e 9 della sismica a rifrazione. Per ogni postazione sono stati effettuati e registrati 3 scoppi.

3.1.3 Calcolo $V_{s,eq}$

Secondo le NTC 2018 la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

N numero di strati;

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

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II delle NTC 2018

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

24

La prova realizzata non ha evidenziato la presenza di un substrato a profondità inferiori a 30 m, la $V_{S,eq}$ corrisponde a $V_{S,30}$

$V_{S,eq} = V_{S,30} = 307$ m/s

corrispondente a una categoria del sottosuolo **C**:

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

3.1.4 Risultato indagine

Nella Tavola A3 relativa alla prova MASW sono riportati i seguenti elaborati

- Tracce acquisizione;

- Curva di dispersione sperimentale;
- Curva di dispersione non elaborata;
- Curva di dispersione elaborata;
- Spettro;
- V_{s30} e $V_{s,eq}$.

3.2 Caratterizzazione sismica

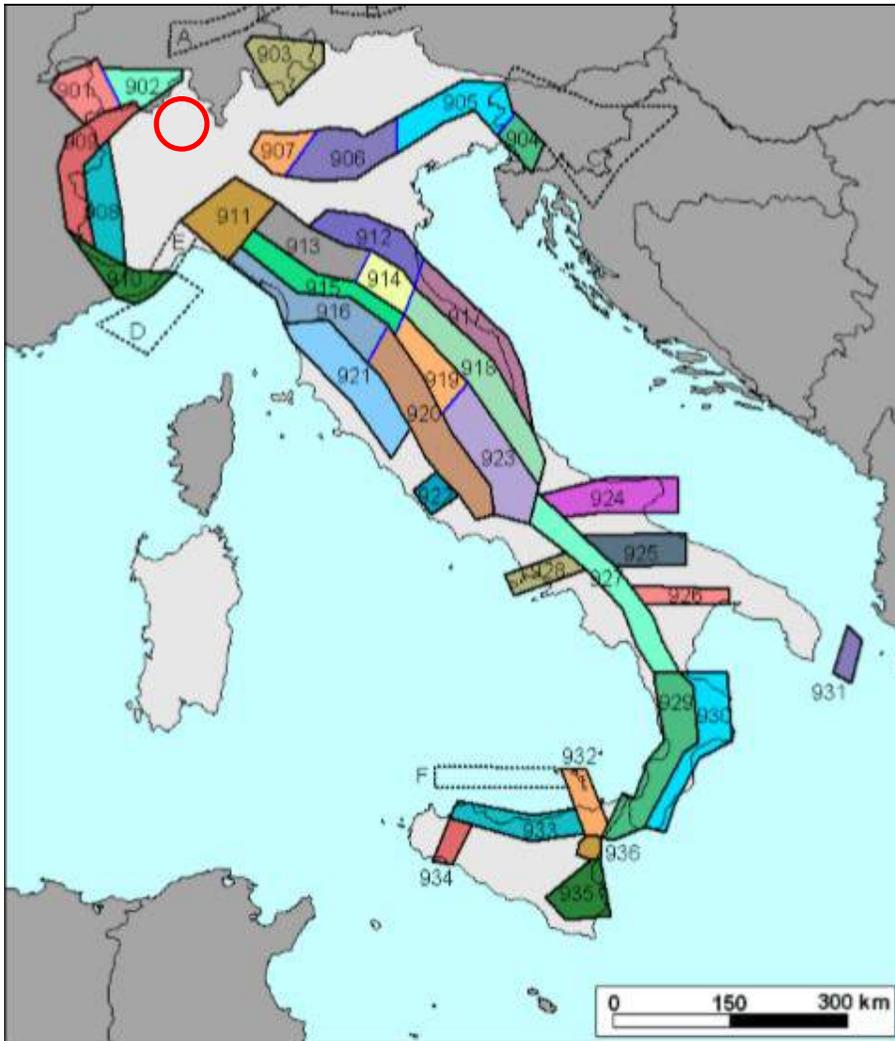
3.2.1 Premessa

Il livello di pericolosità è espresso attraverso il massimo scuotimento (e di conseguenza il livello di danni) prevedibile in ciascuna parte del territorio nazionale. Il territorio del comune di Gravelona Toce è uniformemente inserito nella quarta categoria di pericolosità sismica ovvero “Zone relativamente tranquille con basso rischio di terremoti di norma inferiori al 5° grado Richter” sulla base dell’OPCM 3519/2006. La DGR 21/05/2014 n. 65-7656, (che modifica la DGR 12/12/2011 n. 4-3084) ha definito le procedure attuative in ambito urbanistico-edilizio per la prevenzione del rischio sismico sul territorio piemontese.

3.2.2 Cenni sulla sismicità del territorio

Sulla base di studi condotti sul territorio nazionale dal gruppo di lavoro istituito in seguito all’OPCM 3274/2003 sono state individuate le zone sismogenetiche.

Il territorio di Gravelona Toce non rientra in alcuna zona sismogenetica (zonazione ZS9), di cui si riporta cartografia.



Zonazione ZS9 tratto da: INGV – Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica OPCM 3274/2003 “Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo” (Meletti e Valensise, marzo 2004)

Inoltre dalla consultazione del catalogo DBMI15 redatto da INGV risulta che:

- l’area comunale è caratterizzata da eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità bassa
- le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori effetti (osservazioni macrosismiche) provengono da zone vicine, corrispondenti al margine alpino

3.3.3 Caratterizzazione sismica di base e di sito

3.3.3.1 Premessa

Per la caratterizzazione sismica di base e di sito (spettri elastici – spettri di progetto) è stato utilizzato il programma Geostru Ps-Advanced

Per valutare se un’opera è sicura occorre far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare

l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, occorre stabilire:

- la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

3.3.3.2 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

Il periodo di riferimento è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

- $V_N \leq 10$ anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto ≥ 2 anni.
- $V_N \geq 50$ anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

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. Le NTC prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_U = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;

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, 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. $C_U = 2.0$.

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso III** a cui è associato il coefficiente d'uso $C_U = 1.5$.

Una volta ottenuti V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1.5 = 75 \text{ anni.}$$

3.3.3.3 **Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno**

Le NTC prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC08, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV (NTC08, punto 7.1). Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione (NTC08, punto 7.10).

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

| | | |
|--------------------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| Stato limite di esercizio: operatività | SLO | $P_{VR} = 81\%$ |
| Stato limite di esercizio: danno | SLD | $P_{VR} = 63\%$ |
| Stati limite ultimo: salvaguardia della vita | SLV | $P_{VR} = 10\%$ |
| Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso | SLC | $P_{VR} = 5\%$ |

Tabella 1 - Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'**Allegato A** delle NTC08:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Poiché è $V_R = 200$ anni, il tempo di ritorno T_R sarà:

| | | |
|--------------------------------------------------|-----|--------------|
| Stato limite di esercizio: operatività | SLO | $T_R = 120$ |
| Stato limite di esercizio: danno | SLD | $T_R = 201$ |
| Stati limite ultimo: salvaguardia della vita | SLV | $T_R = 1898$ |
| Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso | SLC | $T_R = 2475$ |

Tabella 2- Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

3.3.3.4 Azioni sismiche

L'azione sismica in base alla quale si eseguono le verifiche prestazionali nei diversi Stati Limite viene valutata partendo dalla pericolosità di base del sito in esame e rappresenta la probabilità che in un fissato lasso di tempo si verifichi un evento sismico di entità almeno pari a un valore prefissato (Periodo di riferimento V_R).

Una volta definite le coordinate geografiche dell'area in esame si ricavano i valori di a_g (accelerazione massima al sito); F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale) e T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) riferiti al sito in campo libero. Per la definizione delle azioni sismiche bisogna valutare l'effetto della risposta sismica locale.

30

3.3.3.5 Definizione della pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC08, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC08 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC08 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

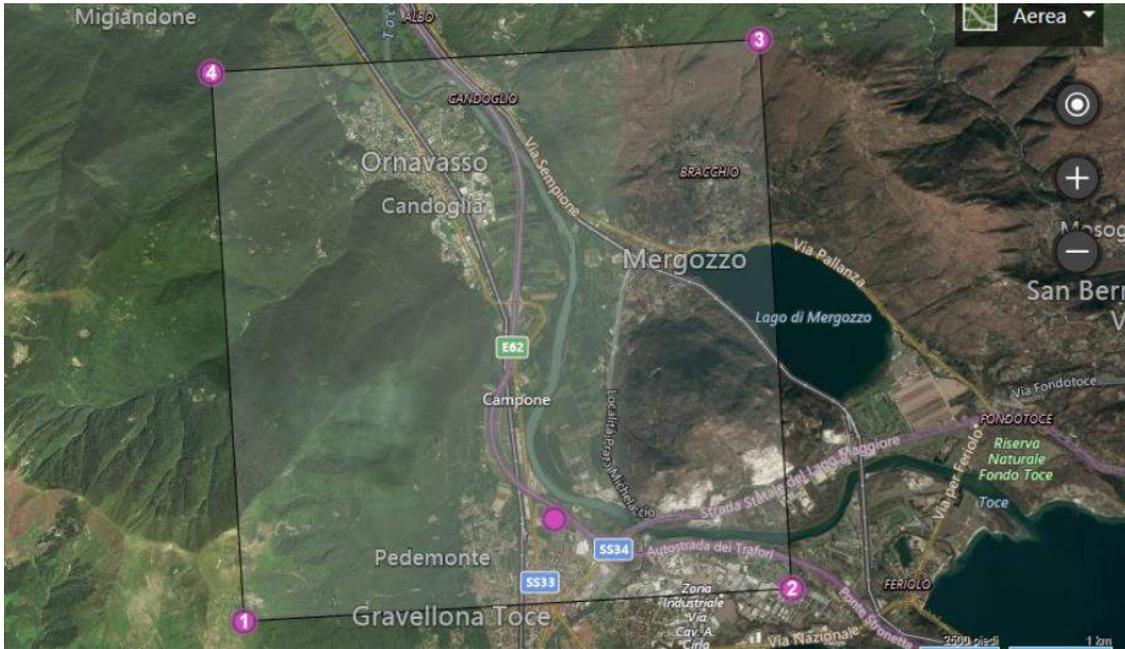
I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e **T_C^*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (Geostru Ps-Advanced)

Data: 12/08/2019



32

| | |
|------------------------------|-------------|
| Vita nominale (Vn): | 50 [anni] |
| Classe d'uso: | III |
| Coefficiente d'uso (Cu): | 1,5 |
| Periodo di riferimento (Vr): | 75 [anni] |
| Periodo di ritorno (Tr) SLO: | 45 [anni] |
| Periodo di ritorno (Tr) SLD: | 75 [anni] |
| Periodo di ritorno (Tr) SLV: | 712 [anni] |
| Periodo di ritorno (Tr) SLC: | 1462 [anni] |

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 45,9366455 [°]

Longitudine (WGS84): 8,4324827 [°]

Latitudine (ED50): 45,9375763 [°]

Longitudine (ED50): 8,4335680 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

| Punto | ID | Latitudine (ED50) [°] | Longitudine (ED50) [°] | Distanza [m] |
|-------|-------|--------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1 | 10030 | 45,928230 | 8,393064 | 3300,28 |
| 2 | 10031 | 45,931210 | 8,464614 | 2503,03 |
| 3 | 9809 | 45,981120 | 8,460414 | 5267,96 |
| 4 | 9808 | 45,978140 | 8,388735 | 5688,31 |

33

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| | 30 | 0,018 | 2,568 | 0,154 |

| | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|
| SLO | 45 | 0,022 | 2,534 | 0,178 |
| | 50 | 0,023 | 2,526 | 0,185 |
| | 72 | 0,027 | 2,541 | 0,203 |
| SLD | 75 | 0,027 | 2,542 | 0,205 |
| | 101 | 0,031 | 2,551 | 0,220 |
| | 140 | 0,035 | 2,576 | 0,231 |
| | 201 | 0,039 | 2,593 | 0,254 |
| | 475 | 0,050 | 2,639 | 0,283 |
| SLV | 712 | 0,056 | 2,685 | 0,296 |
| | 975 | 0,060 | 2,722 | 0,307 |
| SLC | 1462 | 0,066 | 2,775 | 0,315 |
| | 2475 | 0,075 | 2,845 | 0,327 |

Punto 2

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| | 30 | 0,017 | 2,570 | 0,155 |
| SLO | 45 | 0,021 | 2,530 | 0,179 |
| | 50 | 0,022 | 2,520 | 0,186 |
| | 72 | 0,026 | 2,553 | 0,199 |
| SLD | 75 | 0,026 | 2,554 | 0,201 |
| | 101 | 0,029 | 2,565 | 0,215 |
| | 140 | 0,033 | 2,586 | 0,228 |
| | 201 | 0,037 | 2,610 | 0,240 |
| | 475 | 0,047 | 2,650 | 0,280 |

| | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|
| SLV | 712 | 0,053 | 2,694 | 0,293 |
| | 975 | 0,057 | 2,728 | 0,304 |
| SLC | 1462 | 0,063 | 2,778 | 0,312 |
| | 2475 | 0,071 | 2,844 | 0,324 |

Punto 3

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| | 30 | 0,017 | 2,566 | 0,154 |
| SLO | 45 | 0,021 | 2,550 | 0,177 |
| | 50 | 0,022 | 2,545 | 0,184 |
| | 72 | 0,027 | 2,539 | 0,202 |
| SLD | 75 | 0,027 | 2,539 | 0,204 |
| | 101 | 0,031 | 2,544 | 0,220 |
| | 140 | 0,034 | 2,571 | 0,231 |
| | 201 | 0,038 | 2,585 | 0,253 |
| | 475 | 0,050 | 2,631 | 0,282 |
| SLV | 712 | 0,056 | 2,676 | 0,295 |
| | 975 | 0,060 | 2,712 | 0,306 |
| SLC | 1462 | 0,066 | 2,766 | 0,314 |
| | 2475 | 0,076 | 2,837 | 0,326 |

35

Punto 4

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|

| | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|
| | 30 | 0,018 | 2,563 | 0,153 |
| SLO | 45 | 0,023 | 2,545 | 0,176 |
| | 50 | 0,024 | 2,540 | 0,183 |
| | 72 | 0,028 | 2,517 | 0,208 |
| SLD | 75 | 0,029 | 2,520 | 0,210 |
| | 101 | 0,032 | 2,539 | 0,224 |
| | 140 | 0,036 | 2,565 | 0,235 |
| | 201 | 0,041 | 2,573 | 0,257 |
| | 475 | 0,053 | 2,623 | 0,286 |
| SLV | 712 | 0,059 | 2,665 | 0,298 |
| | 975 | 0,065 | 2,698 | 0,307 |
| SLC | 1462 | 0,071 | 2,755 | 0,317 |
| | 2475 | 0,081 | 2,832 | 0,330 |

Punto d'indagine

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO | 45 | 0,021 | 2,537 | 0,178 |
| SLD | 75 | 0,027 | 2,543 | 0,204 |
| SLV | 712 | 0,055 | 2,683 | 0,295 |
| SLC | 1462 | 0,066 | 2,771 | 0,314 |

3.3.3.6 Pericolosità sismica di sito

Per la definizione delle azioni sismiche bisogna valutare l'effetto della risposta sismica locale.

I coefficienti sismici orizzontale K_h e verticale K_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione

Nel caso di stabilità dei pendii e fondazioni i coefficienti K_h e K_v sono così determinati:

$$K_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h \quad (5.3)$$

Con

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

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 3

| | Categoria di sottosuolo | |
|-------------------------|-------------------------|------------|
| | A | B, C, D, E |
| | β_s | β_s |
| $0.2 < a_g(g) \leq 0.4$ | 0.30 | 0.28 |
| $0.1 < a_g(g) \leq 0.2$ | 0.27 | 0.24 |
| $a_g(g) \leq 0.1$ | 0.20 | 0.20 |

Tabella 3- Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: $S_T = 1.0$; **T2:** $S_T = 1.20$; **T3:** $S_T = 1.2$; **T4:** $S_T = 1.40$.

Nel caso in oggetto si sono considerate :

Categoria di sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s .

La v_{s30} equivalente definita tramite indagine MASW (29/07/2019) è pari a 306 m/s

Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO (Geostru Ps-Advanced)

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Categoria sottosuolo:

C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa c_{u30} compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica:

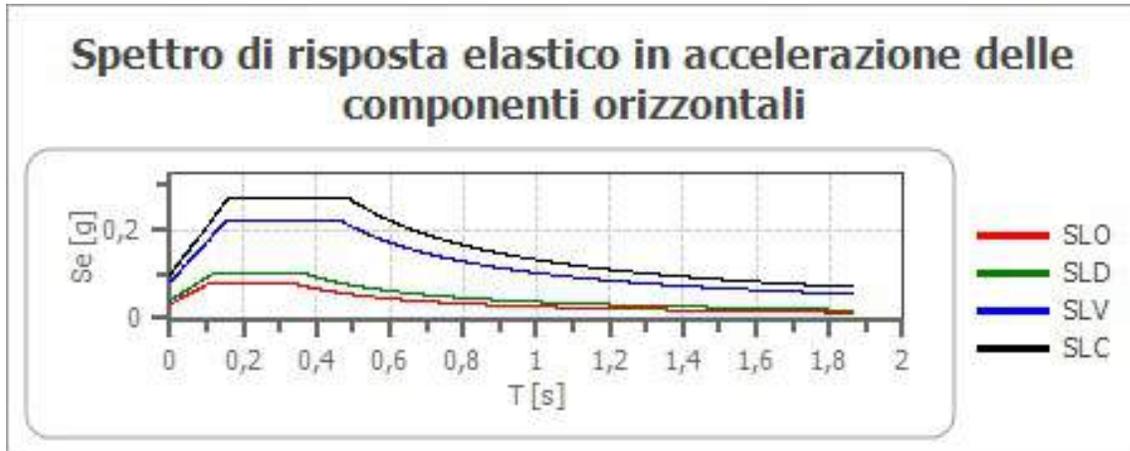
T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

39

| Coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh | 0,006 | 0,008 | 0,017 | 0,020 |
| 0,003 | 0,004 | 0,008 | 0,010 | |
| amax [m/s ²] | 0,314 | 0,398 | 0,810 | 0,968 |
| Beta | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 |

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

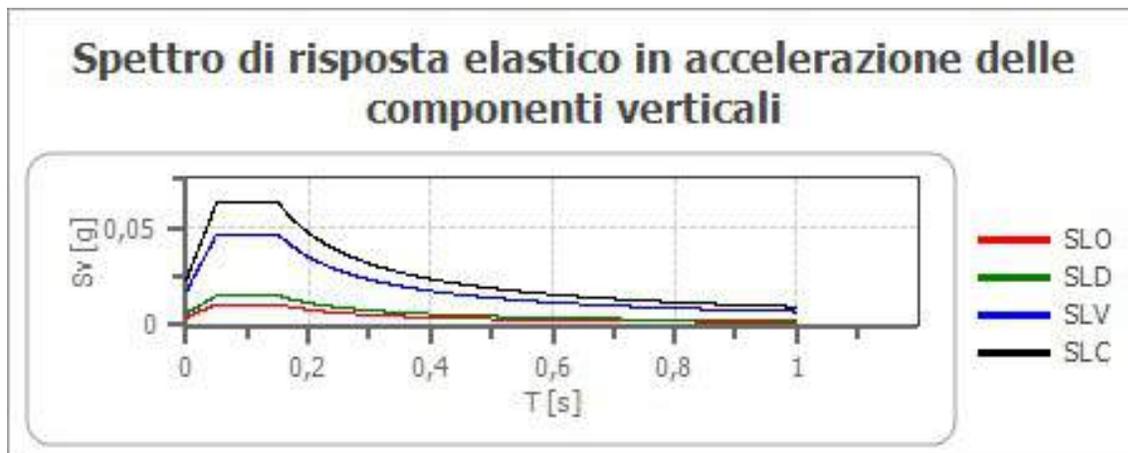


| | cu | ag | F0 | Tc* | Ss | Cc | St | S | η | TB | TC | TD | Se(0) | Se(T B) |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | [g] | [-] | [s] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [s] | [s] | [s] | [g] | [g] |
| SLO | 1,5 | 0,021 | 2,537 | 0,178 | 1,500 | 1,860 | 1,000 | 1,500 | 1,000 | 0,110 | 0,331 | 1,685 | 0,032 | 0,081 |
| SLD | 1,5 | 0,027 | 2,543 | 0,204 | 1,500 | 1,770 | 1,000 | 1,500 | 1,000 | 0,120 | 0,361 | 1,708 | 0,041 | 0,103 |
| SLV | 1,5 | 0,055 | 2,683 | 0,295 | 1,500 | 1,570 | 1,000 | 1,500 | 1,000 | 0,155 | 0,464 | 1,820 | 0,083 | 0,222 |
| SLC | 1,5 | 0,066 | 2,771 | 0,314 | 1,500 | 1,540 | 1,000 | 1,500 | 1,000 | 0,161 | 0,484 | 1,863 | 0,099 | 0,274 |

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{1/2}$: 1,000



| | cu | ag | F0 | Tc* | Ss | Cc | St | S | η | TB | TC | TD | Se(0) | Se(T B) |
|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | [g] | [-] | [s] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [s] | [s] | [s] | [g] | [g] |
| SLO | 1,5 | 0,021 | 2,537 | 0,178 | 1 | 1,860 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,004 | 0,011 |
| SLD | 1,5 | 0,027 | 2,543 | 0,204 | 1 | 1,770 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,006 | 0,015 |
| SLV | 1,5 | 0,055 | 2,683 | 0,295 | 1 | 1,570 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,017 | 0,047 |
| SLC | 1,5 | 0,066 | 2,771 | 0,314 | 1 | 1,540 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,023 | 0,063 |

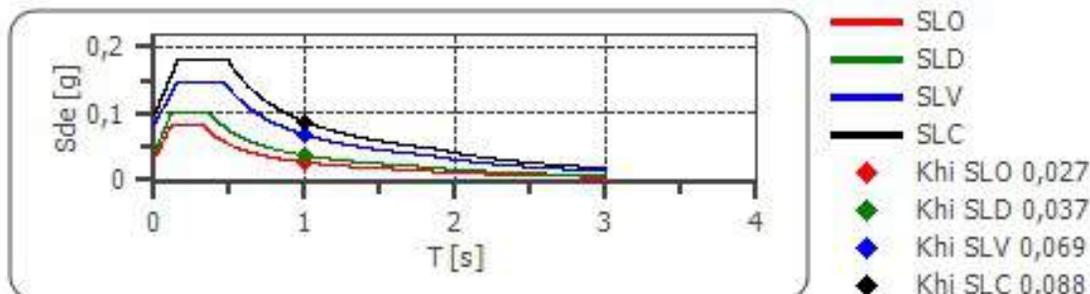
Spettro di progetto

| | |
|---------------------------------------------|----------|
| Fattore di struttura spettro orizzontale q: | 1,50 |
| Fattore di struttura spettro verticale q: | 1,50 |
| Periodo fondamentale T: | 1,00 [s] |

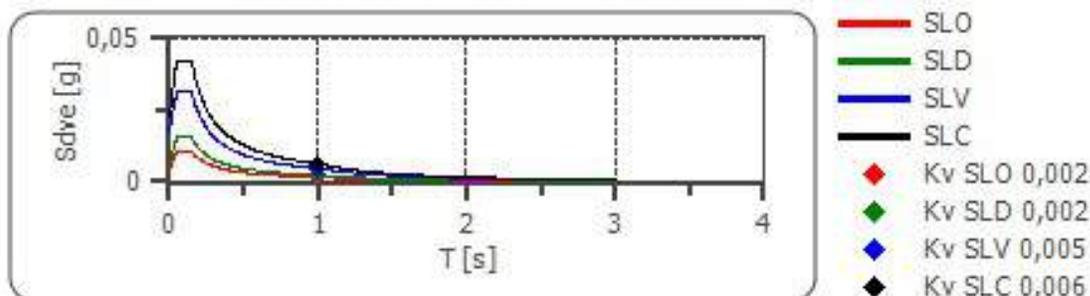
| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| khi = Sde(T) Orizzontale [g] | 0,027 | 0,037 | 0,069 | 0,088 |

| | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $k_v = S_{dve}(T)$ Verticale [g] | 0,002 | 0,002 | 0,005 | 0,006 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



42

| | cu | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] | Ss [-] | Cc [-] | St [-] | S [-] | q [-] | TB [s] | TC [s] | TD [s] | Sd(0) [g] | Sd(TB) [g] |
|---------------|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| SLO orizz. | 1,5 | 0,021 | 2,537 | 0,178 | 1,500 | 1,860 | 1,000 | 1,500 | 1,000 | 0,110 | 0,331 | 1,685 | 0,032 | 0,081 |
| SLO vert. | 1,5 | 0,021 | 2,537 | 0,178 | 1,500 | 1,860 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,004 | 0,011 |
| SLD orizz. | 1,5 | 0,027 | 2,543 | 0,204 | 1,500 | 1,770 | 1,000 | 1,500 | 1,000 | 0,120 | 0,361 | 1,708 | 0,041 | 0,103 |
| SLD vert. | 1,5 | 0,027 | 2,543 | 0,204 | 1,500 | 1,770 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,006 | 0,015 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SLV orizz. | 1,5 | 0,055 | 2,683 | 0,295 | 1,500 | 1,570 | 1,000 | 1,500 | 1,500 | 0,155 | 0,464 | 1,820 | 0,083 | 0,148 |
| SLV vert. | 1,5 | 0,055 | 2,683 | 0,295 | 1,500 | 1,570 | 1,000 | 1,000 | 1,500 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,017 | 0,031 |
| SLC orizz. | 1,5 | 0,066 | 2,771 | 0,314 | 1,500 | 1,540 | 1,000 | 1,500 | 1,500 | 0,161 | 0,484 | 1,863 | 0,099 | 0,182 |
| SLC vert. | 1,5 | 0,066 | 2,771 | 0,314 | 1,500 | 1,540 | 1,000 | 1,000 | 1,500 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,023 | 0,042 |

3.3.3.7 Verifica a liquefazione

Si definisce liquefazione dei terreni di fondazione una perdita di resistenza al taglio e/o di rigidezza dovuta all'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante uno scuotimento sismico che possa produrre deformazioni permanenti significative, o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Secondo quanto definito dalle NTC 2018, nel caso in esame la verifica a liquefazione può essere omessa quando risulta verificata almeno una delle seguenti condizioni:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 1 seguente nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Figura 2 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$. (U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).

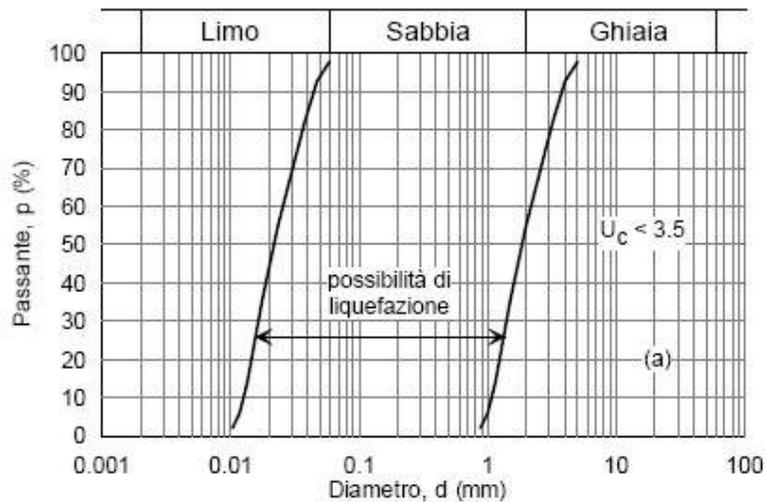


Fig. 1

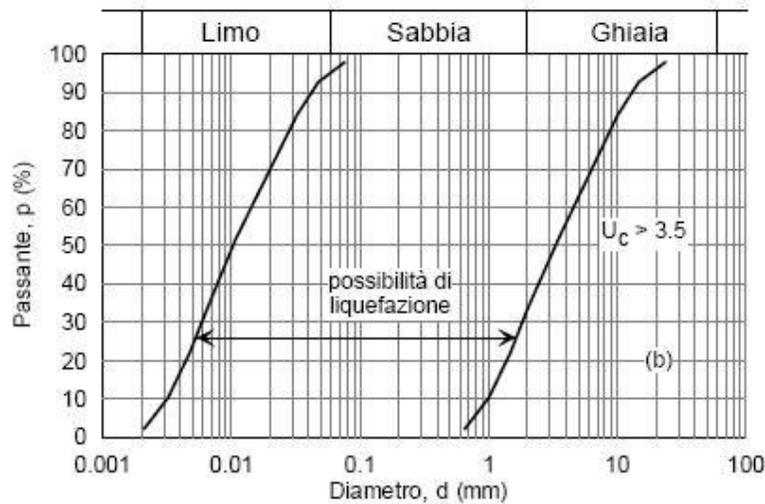


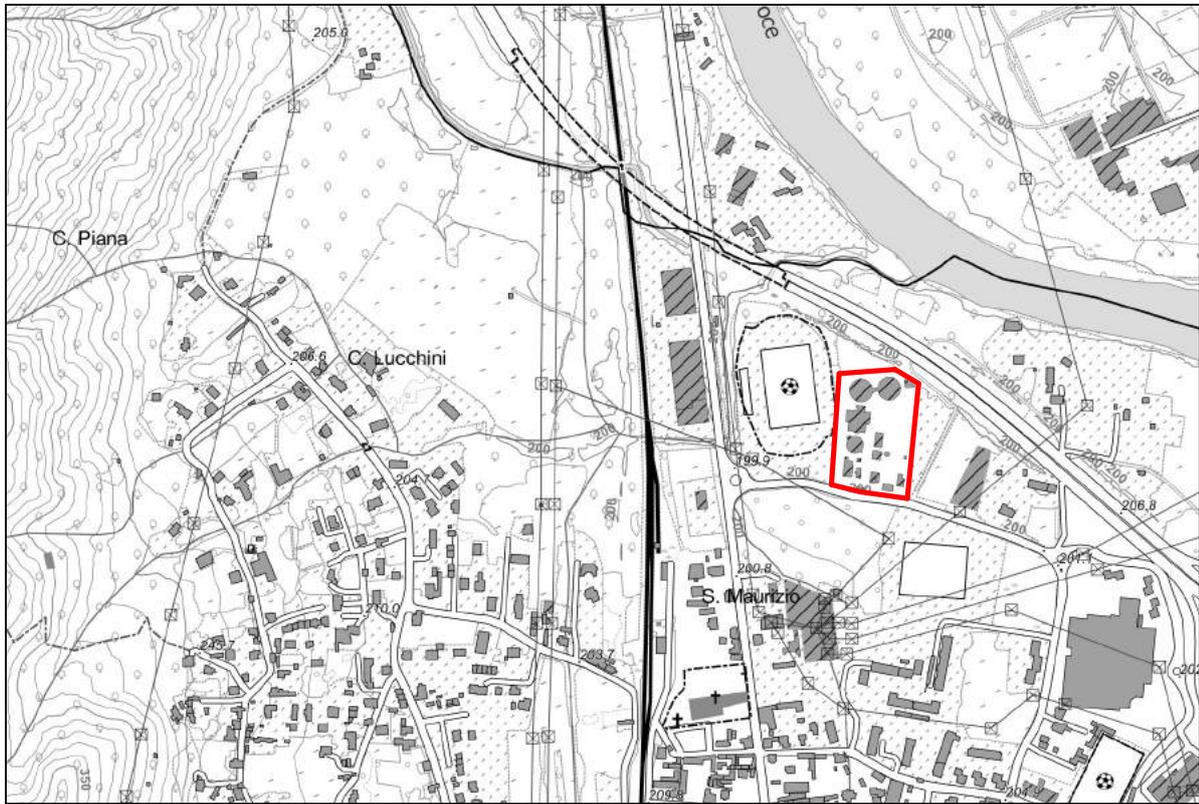
Fig. 2

Nel caso in esame dalle analisi granulometriche effettuate sulle sabbie presenti da -9,00 m emerge che le stesse rientrano tra quelle potenzialmente liquefacibili.

Tuttavia, dalla determinazione della pericolosità sismica di sito (in seguito alla determinazione sperimentale della categoria di sottosuolo), risulta che a_{max} (in SLV) è pari a **0.081 g** (0.81 m/sec²) **quindi risulta comunque verificata la prima condizione di esclusione a verifica di liquefazione**, in quanto l'intensità del sisma atteso (sisma di progetto) non è tale da poter innescare il fenomeno di liquefazione.

ALLEGATI:

TAVOLA 1 Corografia
TAVOLA 2 Inquadramento geologico
TAVOLA 3 Fattibilità geologica
TAVOLA 4 Ubicazione indagini
CERTIFICATO SONDECO srl
TABULATI PROGRAMGEO



Estratto BDTRE 2018 n. 073060 scala 1: 10.000



Estratto Google Maps



PROGETTO
**Ampliamento depuratore di Gravellona Toce
 via Trattati di Roma - Gravellona Toce (VB)**
PROGETTO DEFINITIVO

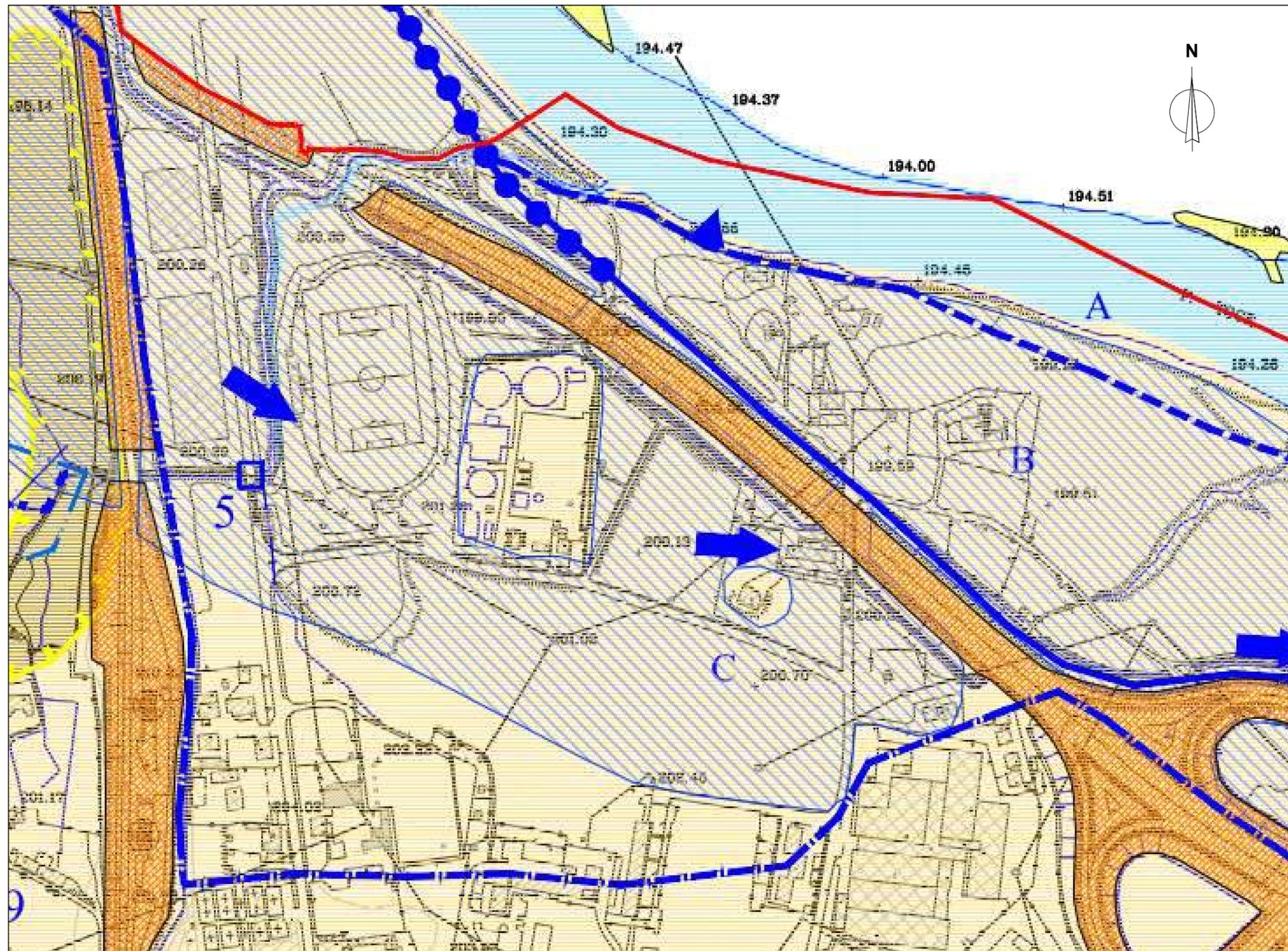
Corografia

| | | | |
|--------|---|------|-------------|
| TAVOLA | 1 | DATA | Agosto 2019 |
|--------|---|------|-------------|

| | | | |
|----------|--------------------------|-------|---------|
| ESTRATTI | BDTRE 2018 - Google maps | SCALA | grafica |
|----------|--------------------------|-------|---------|



dott. Anna Maria Ferrari
STUDIO DI GEOLOGIA
 via Azario 3 - 28100 Novara
 tel e fax 0321/398909



LITOLOGIA

- Alluvioni attuali
- Alluvioni recenti
- Depositi alluvionali torrentizi
- Zone con elevato spessore di riporto

DINAMICA TORRENTIZIA

- Conoide alluvionale attiva
- Conoide alluvionale stabilizzata
- Possibili direzione di laminazione
- Canalone in roccia con scariche di detrito
- Caduta massi
- Ruscellamento
- Erosione spondale
- Accumulo di materiale detritico in alveo
- Accumulo di materiale detritico grossolano in conoide.

| LIMITI FASCE PAI | |
|------------------|--------------------------------------------------|
| | Limite tra la fascia A e la fascia B |
| | Limite tra la fascia B e la fascia C |
| | Limite di progetto tra la fascia B e la fascia C |
| | Limite esterno della fascia C |

Area esondata lungo il Fiume Toce nell'evento del 2000 e area esondabile lungo il Torrente Strona

Tratto da: PRGC COMUNE DI GRAVELLONA TOCE - ELABORATO 4 "Carta geologica, dei dissesti, della dinamica fluviale e del reticolato idrografico minore" (Stesura aprile 2015) redatta da GeoArborStudio (Vaprio d'Adda - MI)



PROGETTO
**Ampliamento depuratore di Gravellona Toce
 via Trattati di Roma - Gravellona Toce (VB)**
PROGETTO DEFINITIVO

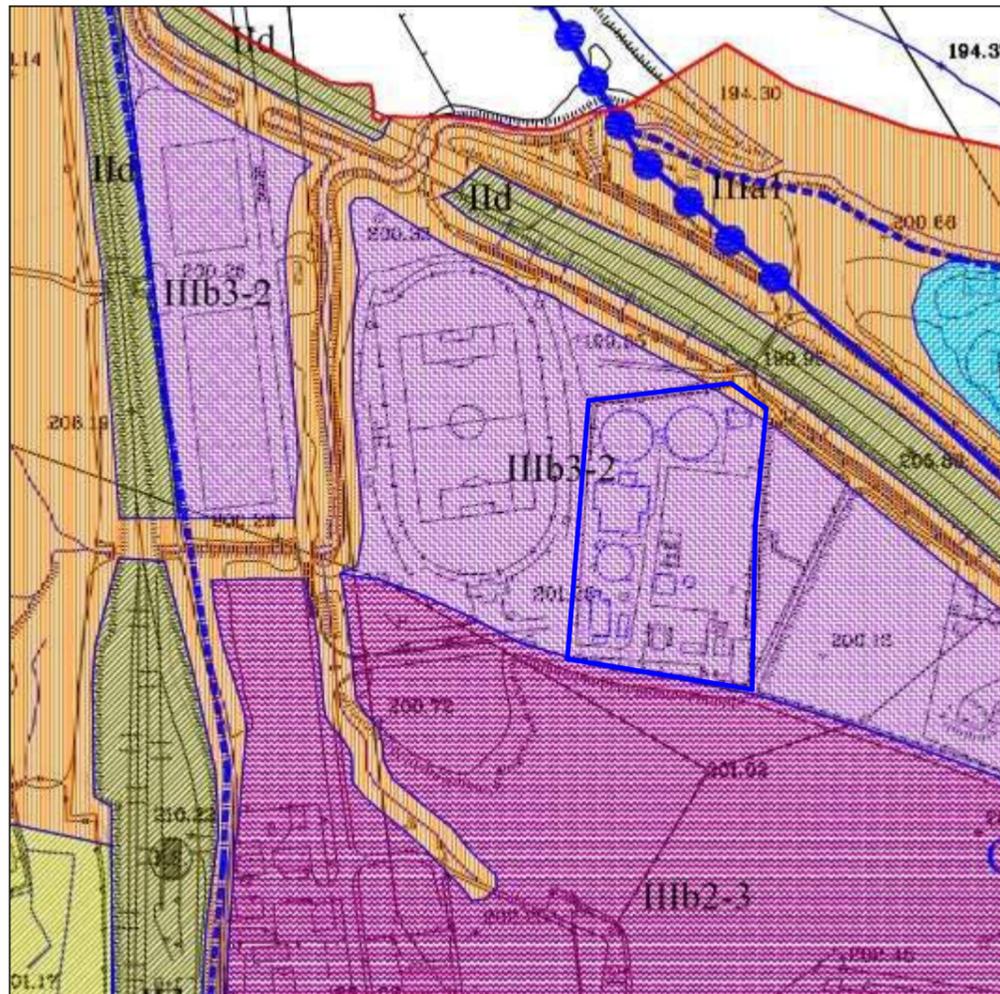
Elaborati geologici

TAVOLA **2** DATA **Agosto 2019**

ESTRATTI PRGC vigente SCALA **grafica**



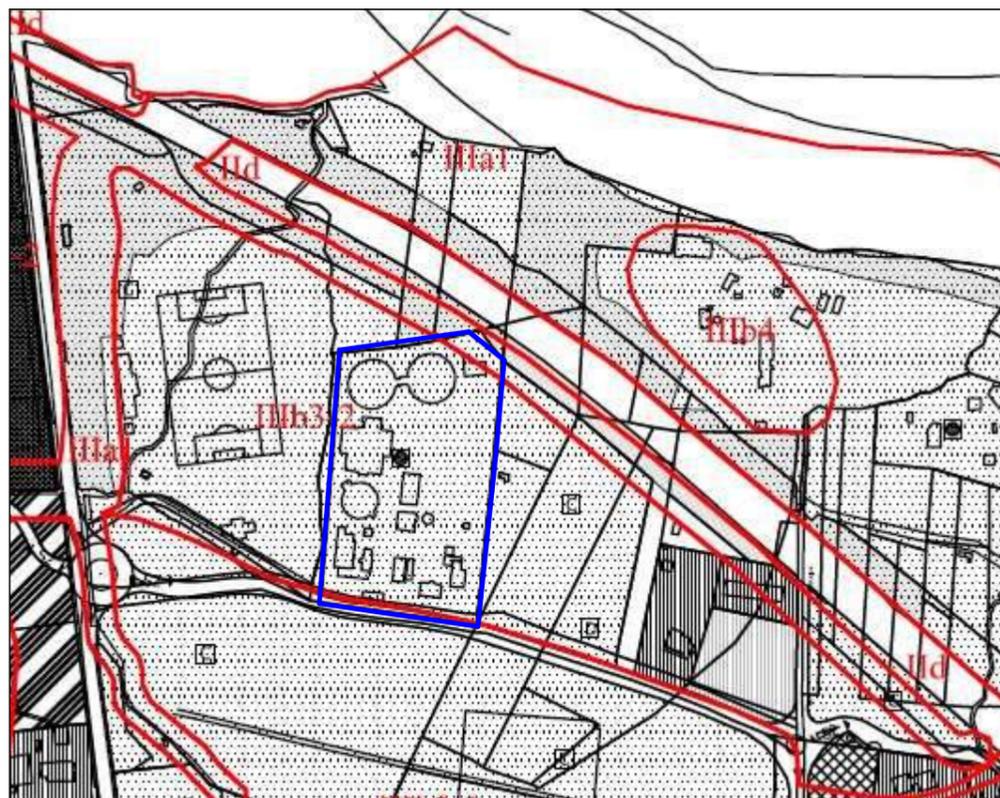
dott. Anna Maria Ferrari
STUDIO DI GEOLOGIA
 via Azario 3 - 28100 Novara
 tel e fax 0321/398909



| CLASSE III | IIIa1 - (Art. 4.1.8.) | IIIb3-2 - (Art. 4.1.14.) |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrizione generale della pericolosità geologica | Zone di alveo e fasce spondali soggette a dinamica attiva attuale con fasce spondali acclivi con importanti effetti per la laminazione delle piene e fasce da riservare a sistemazioni idrogeologiche successive | Aree limitrofe alla classe IIIa1 Pericolosità geologica legata a possibili laminazioni di media energia. |
| Presenza di edifici ed eventuale vulnerabilità | Aree inedificate facilmente vulnerabili dalla dinamica idraulica attuale e ricadenti in zone destinate eventualmente a sistemazioni idrogeologiche | Aree edificate. Condizioni geotecniche difficili, per la presenza di terreni limoso-argillosi |
| Eliminazione del rischio geologico | | |
| Interventi globali | Interventi non convenienti o impossibili | Possibili in modo completo |
| Interventi locali | Interventi non convenienti o impossibili | Possibile |
| Rispetto sole norme tecniche | No | No |
| Valutazione di idoneità all'urbanizzazione | Nulla Solo opere pubbliche non altrimenti localizzabili ai sensi della L.R. 56/77 art.31 | A seguito della realizzazione delle opere di risetto sarà possibile solo un modesto incremento del carico antropico. Da escludersi nuove unità abitative. Solo opere pubbliche ai sensi della L.R. 56/77 art.31 |



Tratto da: PRGC COMUNE DI GRAVELLONA TOCE "EL.10 Carta di Sintesi della Pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazio urbanistica Stesura 2010 redatta da GeoArborStudio (Vaprio d'Adda - MI)



AREA OGGETTO DI INTERVENTO

Tratto da: PRGC COMUNE DI GRAVELLONA TOCE "PROGETTO DEFINITIVO con le modifiche ex officio introdotte con DGR n. 28-2948 del 2/2/2016 - EL. P6 fg. 1 - Carta di sintesi dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica - scala 1: 5000 (giugno 2016). Redatto da Georborstudio e Studio Ripamonti



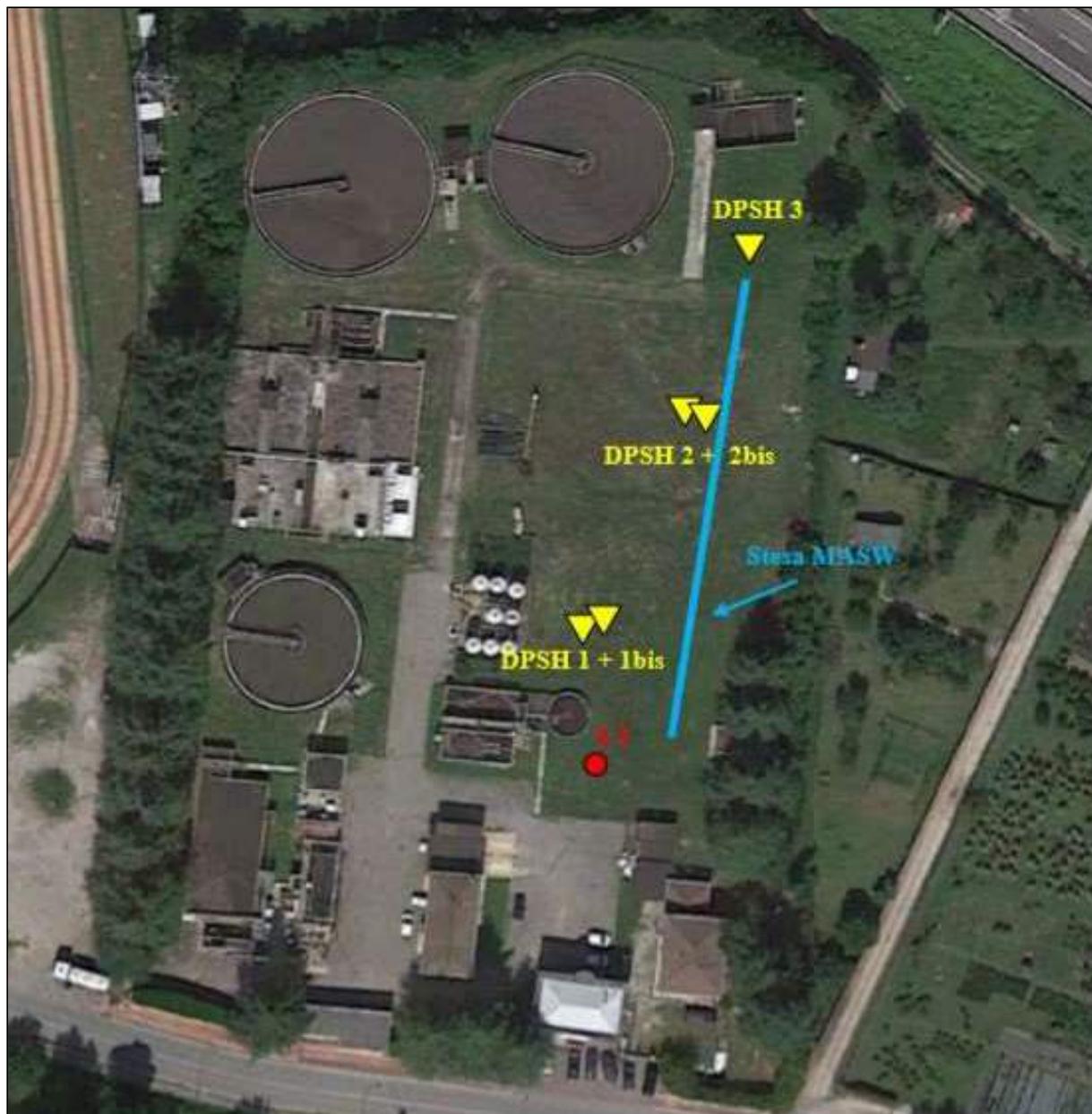
PROGETTO
Ampliamento depuratore di Gravelloa Toce via Trattati di Roma - Gravelloa Toce (VB)
PROGETTO DEFINITIVO

Elaborati geologici

| | | | |
|----------|--------------|-------|-------------|
| TAVOLA | 3 | DATA | Agosto 2019 |
| ESTRATTI | PRGC vigente | SCALA | grafica |



dott. Anna Maria Ferrari
STUDIO DI GEOLOGIA
via Azario 3 - 28100 Novara
tel e fax 0321/398909



▼ **PROVE DPSH del
25/07/19**

● **SONDAGGIO del 26 e
29/07/19**

▬ **MASW del 29/07/19**



PROGETTO
Ampliamento depuratore di Gravellona Toce
via Trattati di Roma - Gravellona Toce (VB)
PROGETTO DEFINITIVO

Ubicazione indagini

TAVOLA **4** DATA **Agosto 2019**

ESTRATTI **Google Maps** SCALA **grafica**



dott. Anna Maria Ferrari
STUDIO DI GEOLOGIA
via Azario 3 - 28100 Novara
tel e fax 0321/398909



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 03/08/2018 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c. Sigla: \P1

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 4,15 | 35 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 155 | 0,55 | 38 | 2,27 | 85 | 1700 | 249 | | | | 697 | 0,47 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 03/08/2018 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P2

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 5,45 | 13 | Sabbia compatta | 138 | 0,19 | 29 | 2,07 | 56 | 394 | 92 | | | | 381 | 0,56 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 03/08/2018 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P3

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------|------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 6,45 | 31 | Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa | 166 | 0,41 | 37 | 2,19 | 82 | 1426 | 220 | | | | 647 | 0,71 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 03/08/2018 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P4

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 7,45 | 6 | Sabbia sciolta | 129 | 0,08 | 24 | 1,88 | 35 | 134 | 43 | | | | 237 | 0,7 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 02/08/2019 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P6

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 9,45 | 5 | Sabbia fine sciolta | 131 | 0,06 | 24 | 1,8 | 30 | 106 | 36 | | | | 212 | 0,85 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 02/08/2019 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P7

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 10,95 | 3 | Sabbia sciolta fine limosa | 124 | 0,04 | 22 | 1,74 | 23 | 56 | 21 | | | | 155 | 0,9 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 02/08/2019 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P8

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 12,45 | 3 | Sabbia sciolta fine | 127 | 0,03 | 22 | 1,84 | 22 | 56 | 21 | | | | 155 | 1,02 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 02/08/2019 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P9

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 13,95 | 4 | Sabbia sciolta fine limosa | 136 | 0,04 | 23 | 1,84 | 25 | 80 | 28 | | | | 185 | 1,1 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 02/08/2019 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P10

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 15,45 | 5 | Sabbia sciolta fine | 145 | 0,05 | 24 | 1,85 | 28 | 106 | 36 | | | | 212 | 1,18 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 02/08/2019 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c. Sigla: \P11

Parametri geotecnici

| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 16,95 | 6 | Sabbia sciolta fine | 152 | 0,06 | 24 | 1,86 | 30 | 134 | 43 | | | | 237 | 1,26 |

Profondità della falda (m): 4,8



Studio di Geologia dott. Ferrari Anna Maria

Via Azario 3 - 28100 NOVARA

Via Azario 3 - 28100 NOVARA Tel - Fax 0321398909

Committente: Isola Boasso e associati srl

Località: Gravellona Toce - Impianto di depurazione Via Trattati di Roma

Data: 02/08/2019 Attrezzatura: Prove SPT in foro di sondaggio

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: \P12

Parametri geotecnici

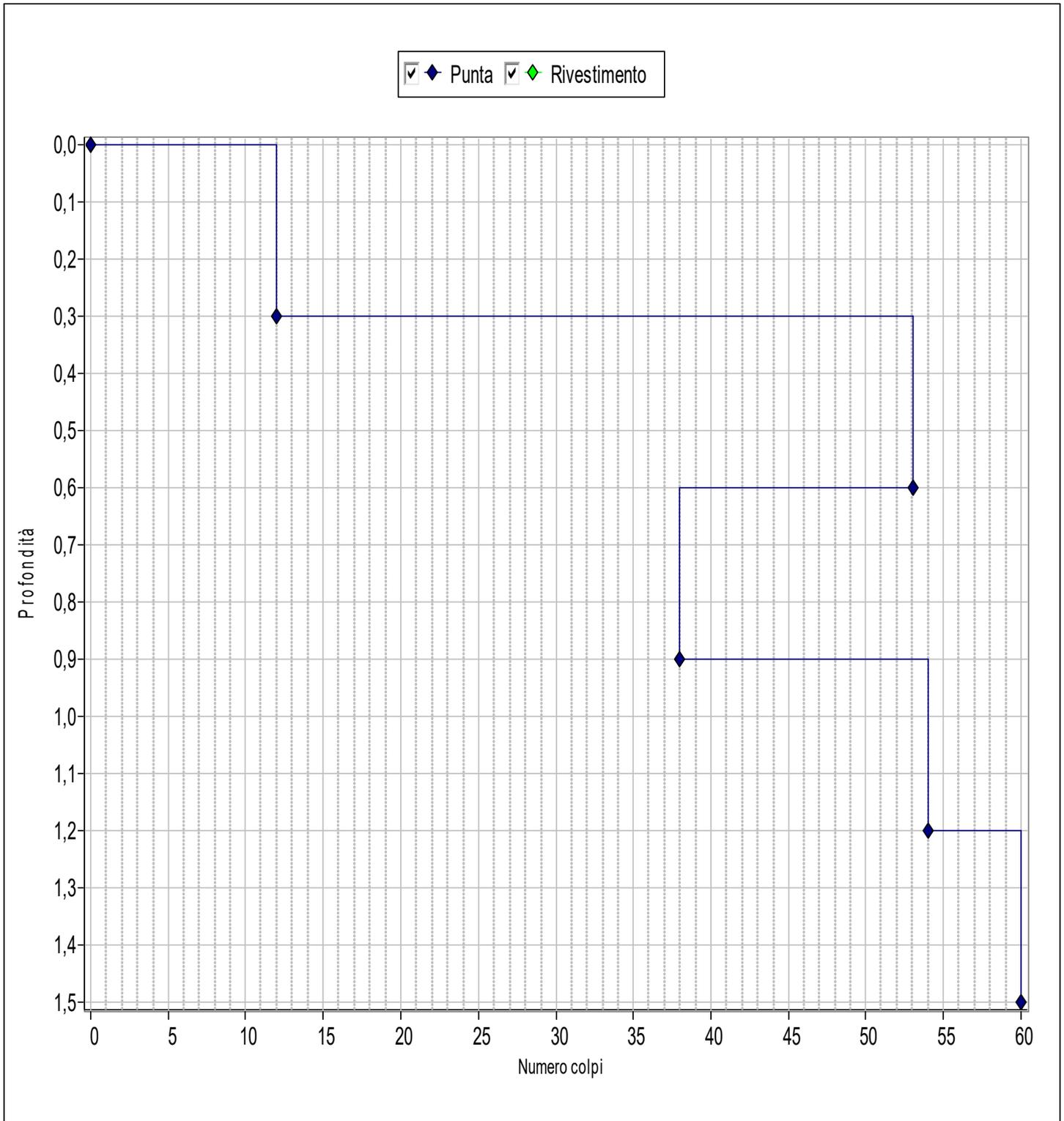
| Profondità base strato(m) | Nspt medio equivalente | Descrizione litologica dello strato | Velocità onde S (m/s) | Rapporto Tau/Sigma | Angolo d'attrito(°) | Peso di volume naturale (t/mc) | Densità relativa % | Modulo di Young (kg/cmq) | Mod.edo incoerenti (kg/cmq) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Mod.edom. coesivi (kg/cmq) | O. C. R. | Mod. dinamico di taglio (kg/cmq) | Pres.eff. a metà strato (kg/cmq) |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 18,45 | 7 | Sabbia sciolta | 159 | 0,07 | 25 | 1,86 | 32 | 165 | 50 | | | | 261 | 1,34 |

Profondità della falda (m): 4,8



Via Pietro Azario 3
28100 NOVARA
studiodigeologia.ferrari@outlook.it

| | | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|------------|------------------|---------|
| Committente: | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | |
| Località: | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | Quota s.l.m.(m): | |
| Data inizio cantiere: | 26/07/2019 | Data fine cantiere: | 26/07/2019 | Sigla: | Prova 1 |
| Attrezzatura: | Pagani 63/100 | | | | |
| Coordinate geografiche: | | | | | |
| GRAFICO RIASSUNTIVO DELLA PROVA | | | | | |





Via Pietro Azario 3
28100 NOVARA
studiodigeologia.ferrari@outlook.it

| | | | | | |
|--------------|----------------------------------------|-----------|------------|-----------|---------|
| Committente | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | |
| Località | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | Quota (m) | |
| Data inizio | 26/07/2019 | Data fine | 26/07/2019 | Sigla | Prova 1 |
| Penetrometro | Pagani 63/100 | | | | |
| Coordinate | | | | | |

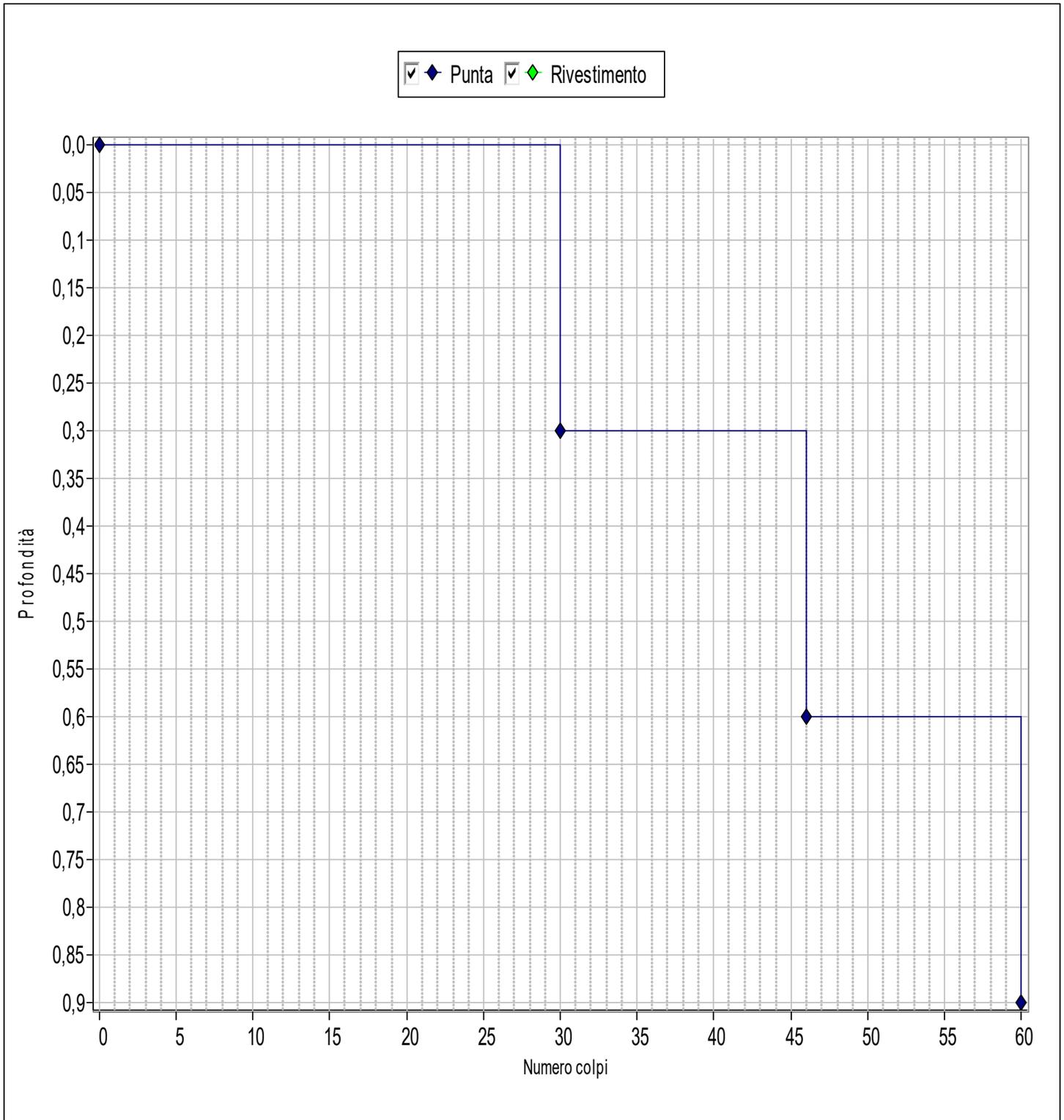
PARAMETRI GEOTECNICI: RIASSUNTO DATI

| N. | Prof.(m) | Nspt eq. | Phi picco(°) | Phi c.v.(°) | Gamma(kg/mc) | Dr % | Cu(kg/cm ^q) | EY(kg/cm ^q) | Eed.(kg/cm ^q) |
|----|----------|----------|--------------|-------------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 0,3 | 14 | 29,5 | 26,4 | 1920,0 | 41,0 | 0,0 | 438,98 | 99,4 |
| 2 | 0,6 | 61 | 45,0 | 35,3 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3480,2 | 433,1 |
| 3 | 0,9 | 44 | 40,7 | 31,9 | 2125,0 | 79,0 | 0,0 | 2336,82 | 312,4 |
| 4 | 1,2 | 62 | 45,0 | 35,3 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3539,93 | 440,2 |
| 5 | 1,5 | 69 | 45,0 | 35,3 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3919,84 | 489,9 |



Via Pietro Azario 3
28100 NOVARA
studiodigeologia.ferrari@outlook.it

| | | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|------------|------------------|---------|
| Committente: | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | |
| Località: | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | Quota s.l.m.(m): | |
| Data inizio cantiere: | 26/07/2019 | Data fine cantiere: | 26/07/2019 | Sigla: | Prova 2 |
| Attrezzatura: | Pagani 63/100 | | | | |
| Coordinate geografiche: | | | | | |
| GRAFICO RIASSUNTIVO DELLA PROVA | | | | | |





| | | | | | |
|--------------|----------------------------------------|-----------|------------|-----------|---------|
| Committente | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | |
| Località | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | Quota (m) | |
| Data inizio | 26/07/2019 | Data fine | 26/07/2019 | Sigla | Prova 2 |
| Penetrometro | Pagani 63/100 | | | | |
| Coordinate | | | | | |

PARAMETRI GEOTECNICI: RIASSUNTO DATI

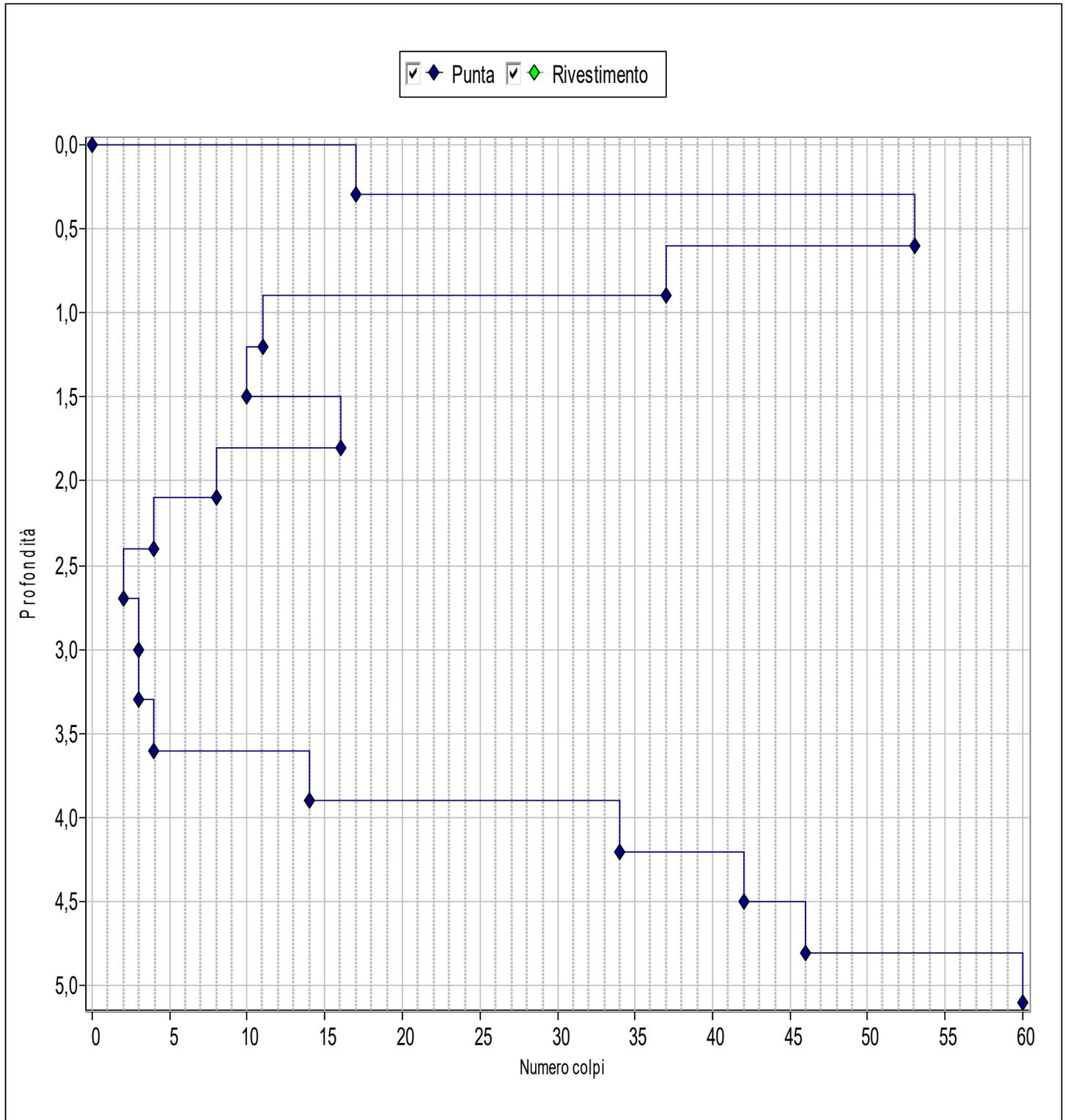
| N. | Prof.(m) | Nspt eq. | Phi picco(°) | Phi c.v.(°) | Gamma(kg/mc) | Dr % | Cu(kg/cm ^q) | EY(kg/cm ^q) | Eed.(kg/cm ^q) |
|----|----------|----------|--------------|-------------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 0,3 | 34 | 37,6 | 30,2 | 2000,0 | 69,0 | 0,0 | 1630,54 | 241,4 |
| 2 | 0,6 | 53 | 43,2 | 33,5 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 2965,49 | 376,3 |
| 3 | 0,9 | 69 | 45,0 | 35,3 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3919,84 | 489,9 |



Via Pietro Azario 3
28100 NOVARA
studiodigeologia.ferrari@outlook.it

| | | | | | |
|-------------------------|----------------------------------------|---------------------|------------|------------------|---------|
| Committente: | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | |
| Località: | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | Quota s.l.m.(m): | |
| Data inizio cantiere: | 26/07/2019 | Data fine cantiere: | 26/07/2019 | Sigla: | Prova 3 |
| Attrezzatura: | Pagani 63/100 | | | | |
| Coordinate geografiche: | | | | | |

GRAFICO RIASSUNTIVO DELLA PROVA





| | | | | | |
|--------------|----------------------------------------|-----------|------------|-----------|---------|
| Committente | ISOLA BOASSO & ASSOCIATI srl | | | | |
| Località | Gravellona Toce - Via Trattati di Roma | | | Quota (m) | |
| Data inizio | 26/07/2019 | Data fine | 26/07/2019 | Sigla | Prova 3 |
| Penetrometro | Pagani 63/100 | | | | |
| Coordinate | | | | | |

PARAMETRI GEOTECNICI: RIASSUNTO DATI

| N. | Prof.(m) | Nspt eq. | Phi picco(°) | Phi c.v.(°) | Gamma(kg/mc) | Dr % | Cu(kg/cm ^q) | EY(kg/cm ^q) | Eed.(kg/cm ^q) |
|----|----------|----------|--------------|-------------|--------------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 0,9 | 19 | 31,9 | 27,5 | 1945,0 | 49,0 | 0,0 | 689,57 | 134,9 |
| 2 | 1,8 | 10 | 27,2 | 25,0 | 1900,0 | 35,0 | 0,0 | 270,28 | 71,0 |
| 3 | 3,6 | 3 | 21,7 | 21,7 | 1800,0 | 15,0 | 0,0 | 55,94 | 21,3 |
| 4 | 4,8 | 24 | 34,0 | 29,3 | 1970,0 | 56,0 | 0,0 | 976,94 | 170,4 |
| 5 | 5,1 | 69 | 45,0 | 36,4 | 2000,0 | 85,0 | 0,0 | 3919,84 | 489,9 |

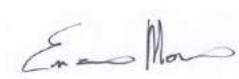


ACQUA NOVARA VCO S.p.A.

CANTIERE: AMPLIAMENTO DEPURATORE
VIA TRATTATI DI ROMA - GRAVELLONA TOCE (VB)

INDAGINE GEOGNOSTICA

Note tecnico – esecutive

| Rev. | Data | Redazione | Verifica | Approvazione | Descrizione |
|------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Ø | 30/07/2019 | dott. Stellato S.  | dott. geol. Mosso E.  | dott. geol. Chiesa G.  | Prima Emissione |

Acqua Novara VCO S.p.A.

INDAGINE GEOGNOSTICA

Ampliamento Depuratore - Via Trattati di Roma - Gravellona Toce (VB)

Su incarico della Società “*Acqua Novara VCO S.p.A.*” è stata eseguita, nel periodo compreso tra il 24 ed il 29 luglio 2019, una indagine geognostica costituita da n° 1 sondaggio e n° 3 prove penetrometriche dinamiche (SCPT), ubicata nell’ambito dell’area del depuratore di Gravellona Toce (VB), sito in Via Trattati di Roma (Fig. 1 e 2); tale indagine aveva lo scopo di valutare l’assetto litostratigrafico e di acquisire i parametri geotecnici necessari alla progettazione di alcuni interventi di ampliamento dell’impianto.

SONDAGGIO

Il sondaggio è stato eseguito a rotazione con carotaggio continuo utilizzando una sonda idraulica tipo CMV “MK 600 D” montata su carro cingolato; per tutta la lunghezza si sono utilizzati carotieri semplici aventi \varnothing 131 e 101 mm. Per stabilizzare in corso d’opera le pareti del foro sono stati impiegati rivestimenti metallici provvisori \varnothing 127 mm.

Il sondaggio, denominato S1 è stato spinto fino alla profondità di m 18.00 dal piano campagna ed in corso d’opera sono state eseguite n° 12 prove SPT (Standard Penetration Test) e si è provveduto a prelevare n° 2 campioni rimaneggiati; le risultanze e le quote di esecuzione delle prove nonché le quote di prelievo sono riportate nella stratigrafia allegata.

Il livello statico della falda rilevato alla fine delle operazioni di perforazione è anch’esso riportato sulla scheda stratigrafica.

I testimoni del carotaggio sono stati riposti in n° 4 cassette catalogatrici, opportunamente classificate e ricoverate in cantiere, a disposizione della Committenza.

Certificato n° 929 del 30/07/2019**PROVE IN FORO - SPT**

Le prove SPT sono state eseguite secondo le prescrizioni stabilite dalle specifiche AGI 1977 e approfondite dalla norma UNI EN ISO 22476-3:2012.

La sottostante **Tabella 1** riporta le caratteristiche del dispositivo di battuta con maglio a sganciamento automatico (tipo “Nenzi”) utilizzato per l’esecuzione delle prove in foro di tipo SPT:

| CARATTERISTICHE TECNICHE DEL MARTINO A SGANCIO AUTOMATICO (PROVE “SPT”) | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Peso totale dispositivo di battitura | 115,00 kg |
| Massa maglio | 63,50 kg |
| Altezza di caduta libera | 760,00 mm |
| Diametro esterno aste di infissione | 50,00 mm |
| Peso aste di infissione (tipo B) | 7,00 kg/m |
| Lunghezza campionatore Raymond (comprendente scarpa e raccordo per le aste) | 813,00 mm |
| Diametro esterno campionatore Raymond | 51,00 mm |
| Diametro interno campionatore Raymond | 35,00 mm |
| Angolo di spoglia della punta aperta | 20° |
| Angolo di apertura della punta conica | 60° |

Tabella 1

Le risultanze e le quote di esecuzione delle prove SPT eseguite sono riportate in stratigrafia.

STRUMENTAZIONE – PIEZOMETRO

Al termine della perforazione, la verticale di indagine è stata strumentata mediante la posa in opera di un piezometro a tubo aperto (\varnothing 2”) in PVC, fenestrato da m 3.00 a m 18.00, al fine di poter monitorare nel tempo le eventuali escursioni del livello di falda.

Certificato n° 929 del 30/07/2019

RIEPILOGO SONDAGGIO

Le coordinate, la profondità di perforazione del sondaggio, il numero di prove SPT eseguite, di campioni prelevati ed il tipo di strumentazione installata sono riepilogati nella **Tabella 2** seguente:

| Sondaggio n° | Coordinate del punto di indagine (GPS – gradi decimali) | Metodologia di perforazione | Profondità (m) | N° prove SPT | Campioni prelevati | Tipo di strumentazione |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| S1 | 45.936330, 8.432442 | Carotaggio continuo | 18.00 | 12 | C1 – C2 | Piezometro a tubo aperto |

Tabella 2

ANALISI DI LABORATORIO

Le analisi di laboratorio sui campioni rimaneggiati prelevati durante la perforazione del sondaggio sono state affidate ad un laboratorio esterno di comprovata esperienza nel settore (GDTest S.r.l. - Torino).

La seguente **Tabella 3** riassume a quali tipologie di prove geotecniche sono stati sottoposti i campioni prelevati:

| Sondaggio n° | Campione rimaneggiato | Granulometria | Prova di taglio diretto | Prova edometrica |
|---------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------|
| S1 | C 1 | X | - | - |
| S1 | C 2 | X | - | - |

Tabella 2

I risultati delle analisi sono riportati in allegato separato.

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Per l'esecuzione dell'indagine penetrometrica si è utilizzato un penetrometro dinamico superpesante (DPSH - "Meardi - AGI") tipo Pagani modello TG 63/100, semovente, avente le seguenti caratteristiche standard:

Certificato n° 929 del 30/07/2019

| CARATTERISTICHE TECNICHE PENETROMETRO DINAMICO "PAGANI 63/100" | |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Peso massa battente | 73 kg |
| Altezza di caduta libera | 0,75 m |
| Diametro punta conica | 51,00 mm |
| Area di base della punta | 20,43 cm ² |
| Angolo di apertura della punta | 60° |
| Lunghezza delle aste | 1,00 m |
| Peso di 1 asta | 6.31 Kg/m |
| Avanzamento punta | 0,30 m |
| Numero colpi | N ₍₃₀₎ |
| Lavoro specifico per colpo | 265 KJ/m ² |
| Norma di riferimento | A.G.I. 1977 |

Tabella 4

Le verticali penetrometriche, denominate *DPSH1*, *DPSH 1 bis*, *DPSH 2*, *DPSH 2 bis* e *DPSH 3*, hanno raggiunto le profondità riportate nella seguente **Tabella 5**:

| Prova n° | Coordinate del punto di indagine (GPS – gradi decimali) | Profondità da p.c. (m) |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| DPSH 1 | 45.936605, 8.432454 | 1.50 (Rifiuto) |
| DPSH 1 bis | 45.936612, 8.432496 | 1.50 (Rifiuto) |
| DPSH 2 | 45.936829, 8.432653 | 0.90 (Rifiuto) |
| DPSH 2 bis | 45.936851, 8.432697 | 0.60 (Rifiuto) |
| DPSH 3 | 45.937141, 8.432770 | 5.10 (Rifiuto) |

Tabella 5

Le prove *DPSH1*, *DPSH1 bis*, *DPSH2* e *DPSH2 bis* hanno raggiunto velocemente la profondità di rifiuto alla penetrazione non essendo riuscite ad oltrepassare il riporto a grossi blocchi presente in superficie.

INDAGINE GEOFISICA

L'indagine geofisica è stata eseguita nella giornata del 29 luglio 2019 ed è consistita nella realizzazione di una prova sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

I segnali sono stati registrati con un sismografo digitale a 16 bit modello AMBROGEO modello ECHO 24/2002 con alimentazione esterna costituita da batteria 12V, collegato a 24 geofoni con una frequenza di 4.5 Hz, verticali per lo studio delle onde P, orizzontali per le S; per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza battente di 10 kg.

L'elaborazione dei dati di velocità di propagazione delle onde di taglio ha condotto a determinare un valore medio di $V_{S30} = V_{SEq}$ pari a **306 m/s** che portano ad inserire il sito nella **categoria C** ai sensi della classificazione prevista dalle N.T.C. 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018) come riportato nella sottostante **Tabella 3**:

A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

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

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E – Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II delle N.T.C. 2018)

Si trasmette in allegato la documentazione tecnica relativa all'indagine eseguita.

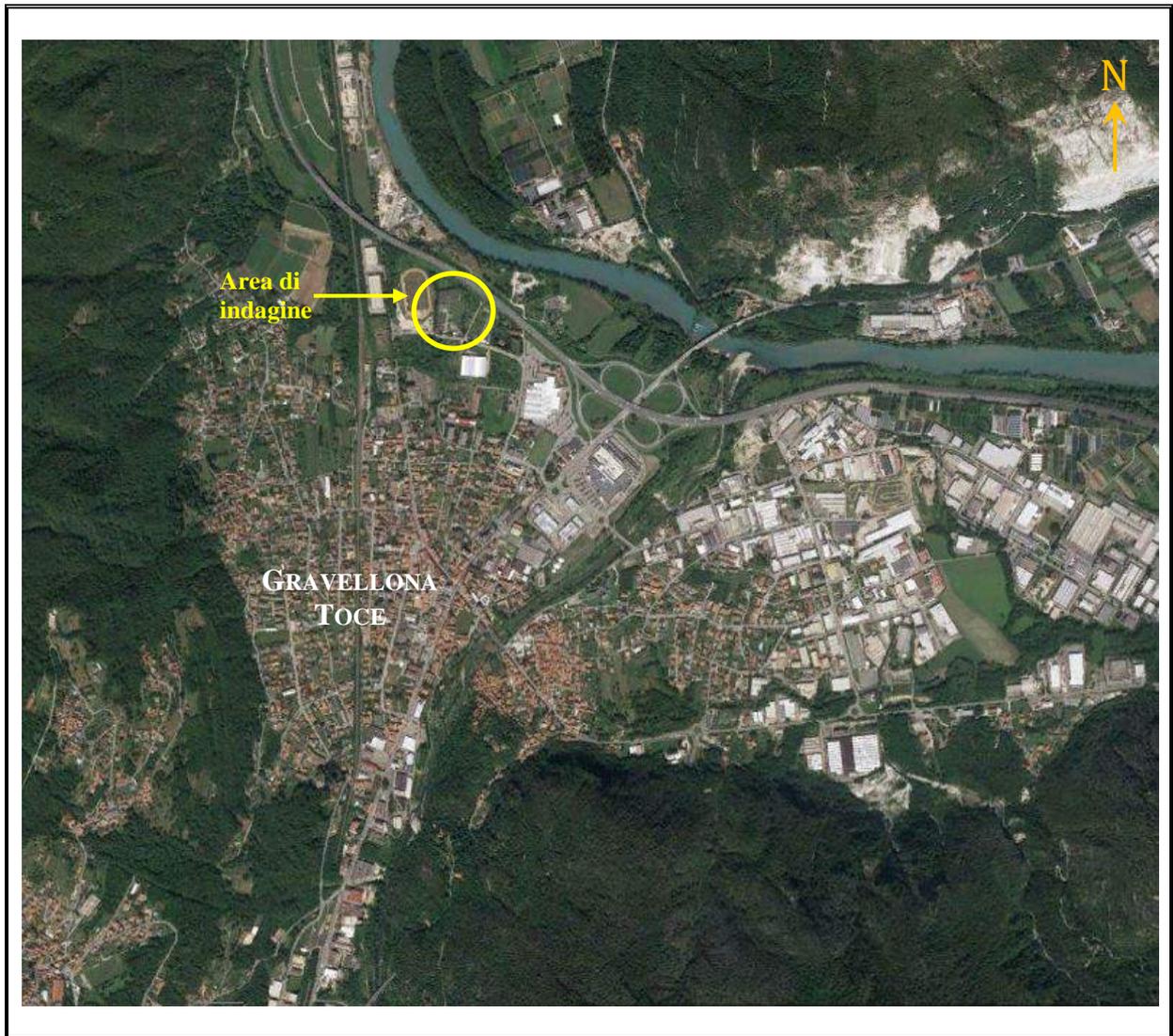


Fig. 1: Inquadramento area di indagine.

(immagine satellitare estratta da Google Earth Pro)

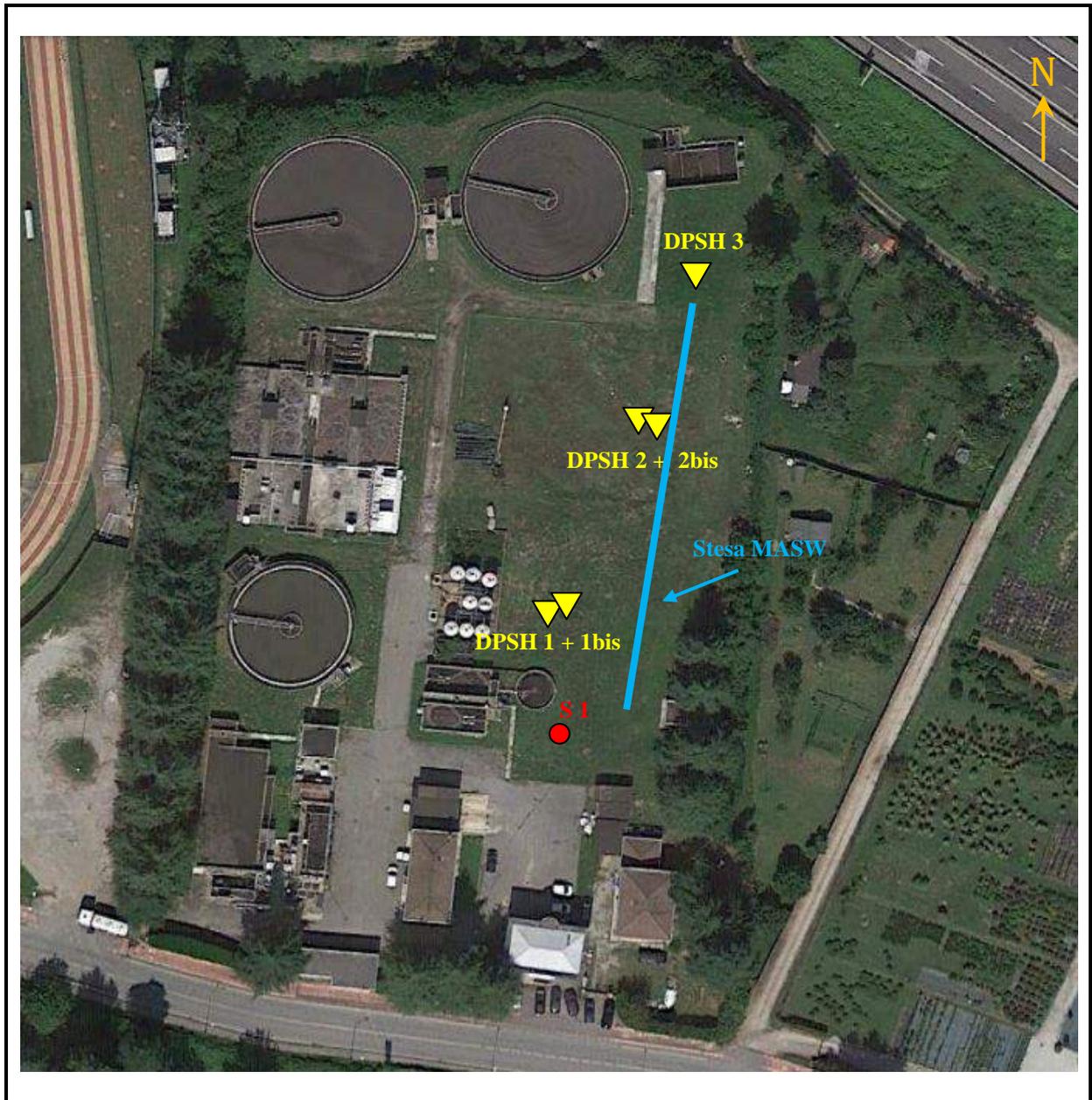


Fig. 2: Ubicazione delle indagini eseguite.

(immagine satellitare estratta da Google Earth Pro)

**Allegato
stratigrafico**

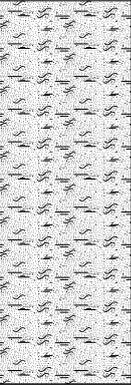
Certificato n° 929 del 30/07/2019

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------|--------------|------------|
|  | Committente | Acqua Novara VCO S.p.A. | SONDAGGIO | FOGLIO |
| | Cantiere | Ampliamento Depuratore - Via Trattati di Roma | S1 | 1/2 |
| | Località | Gravellona Toce (VB) | Quota (p.c.) | |
| | Data Inizio | 26/07/19 | Data Fine | 29/07/19 |

| Profondita' | Potenza | Scala 1:75 | Stratigrafia | Descrizione | Falda | Perforazione | Rivestimento | % Carotaggio | RQD | Piezometro | Inclinometro | Prove S.P.T. | Campioni |
|-------------|---------|------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|-----|------------|--------------|---------------|----------|
| 0.10 | 0.10 | | | Ripporto di terreno vegetale. | | | | | | | | | |
| 0.70 | 0.60 | 1 | | Terreno di riporto ghiaioso sabbioso con blocchi (diam. max 10-15 cm). | | 131 | | | | | | | |
| | 1.40 | 2 | | Terreno di riporto costituito da ghiaia e abbondanti blocchi (diam. max 25-30 cm) in subordinata matrice sabbiosa. | | | | | | | | | |
| 2.10 | | 3 | | Sabbia medio fine, poco addensata; colore bruno. Presenza di subordinata ghiaia medio fine (diam. max 2-3 cm) a partire da m 2.70. | | | | | | | | | |
| 3.20 | 1.10 | 4 | | Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in abbondante matrice sabbiosa, a tratti debolmente limosa; colore grigio bruno. | | | | | | | | 3.70 | |
| | 4.40 | 5 | | | | | | | | | | 13-39-46 p.c. | |
| | | 6 | | | 4.80 | | | | | | | 5.00 | |
| | | 7 | | | | | | | | | | 21-13-13 p.c. | |
| | | 8 | | | | | | | | | | 6.00 | |
| 7.60 | 0.60 | 9 | | Sabbia eterometrica debolmente limosa con subordinata ghiaia medio fine; colore grigio bruno. | | | | | | | | 33-35-42 p.c. | |
| 8.20 | 0.30 | 10 | | Sabbia fine e medio fine, sciolta; colore grigio bruno. | | | | | | | | 7.00 | |
| 8.50 | 0.35 | 11 | | Sabbia fine torbosa; colore grigio nerastro. | | | | | | | | 11-7-9 p.c. | |
| 8.85 | | 12 | | Sabbia medio fine, sciolta; colore grigio bruno. | | 101 | 127 | 90 | | | | 8.00 | |
| | 1.75 | 13 | | Sabbia da fine a medio fine, sciolta; colore grigio chiaro. | | | | | | | | 4-4-3 p.c. | |
| 10.60 | 0.50 | | | Limo sabbioso fine, a tratti debolmente torboso; colore grigio chiaro con passate bruno scure. Presenza di livelli centimetrici sabbiosi sciolti. | | | | | | | | 9.00 | 9.00 |
| 11.10 | 0.90 | | | Sabbia da fine a medio fine, sciolta; colore grigio chiaro. | | | | | | | | 3-5-5 p.c. | C1 |
| 12.00 | 1.10 | | | Limo sabbioso con passate debolmente torbose; colore grigio con livelli bruno scuri. | | | | | | | | 10.50 | 9.30 |
| 13.10 | 0.50 | | | | | | | | | | | 3-4-5 p.a. | |
| 13.60 | | | | | | | | | | | | 12.00 | |
| | | | | | | | | | | | | 4-4-6 p.a. | |
| | | | | | | | | | | | | 13.50 | |
| | | | | | | | | | | | | 5-5-7 p.a. | |

Certificato n° 929 del 30/07/2019

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------|--------------------|------------|
|  | Committente | Acqua Novara VCO S.p.A. | SONDAGGIO | FOGLIO |
| | Cantiere | Ampliamento Depuratore - Via Trattati di Roma | S1 | 2/2 |
| | Località | Gravellona Toce (VB) | Quota (p.c.) | |
| | Data Inizio | 26/07/19 | Data Fine 29/07/19 | |

| Profondita' | Potenza | Scala 1:75 | Stratigrafia | Descrizione | Falda | Perforazione | Rivestimento | % Carotaggio | RQD | Piezometro | Inclinometro | Prove S.P.T. | Campioni |
|-------------|---------|------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| 13.60 | 4.40 | 14 |  | Sabbia fine e medio fine con passate centimetriche di limo sabbioso fine; colore grigio chiaro. | | 101 | 127 | 90 | |  | | 15.00 | 14.00 14.30 |
| | | 6-6-7 p.a. | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | | | | | | | | | | 16.50 | 4-6-6 p.a. |
| 18.00 | | 18 | | | | | | | | | | 18.00 | 7-8-9 p.a. |

**Allegato
penetrometrico**

Certificato n° 929 del 30/07/2019



Committente: Acqua Novara VCO S.p.A.
Località: Gravellona Tove (VCO)
Cantiere: Depuratore - Via Trattati di Roma
Data: 24/07/19

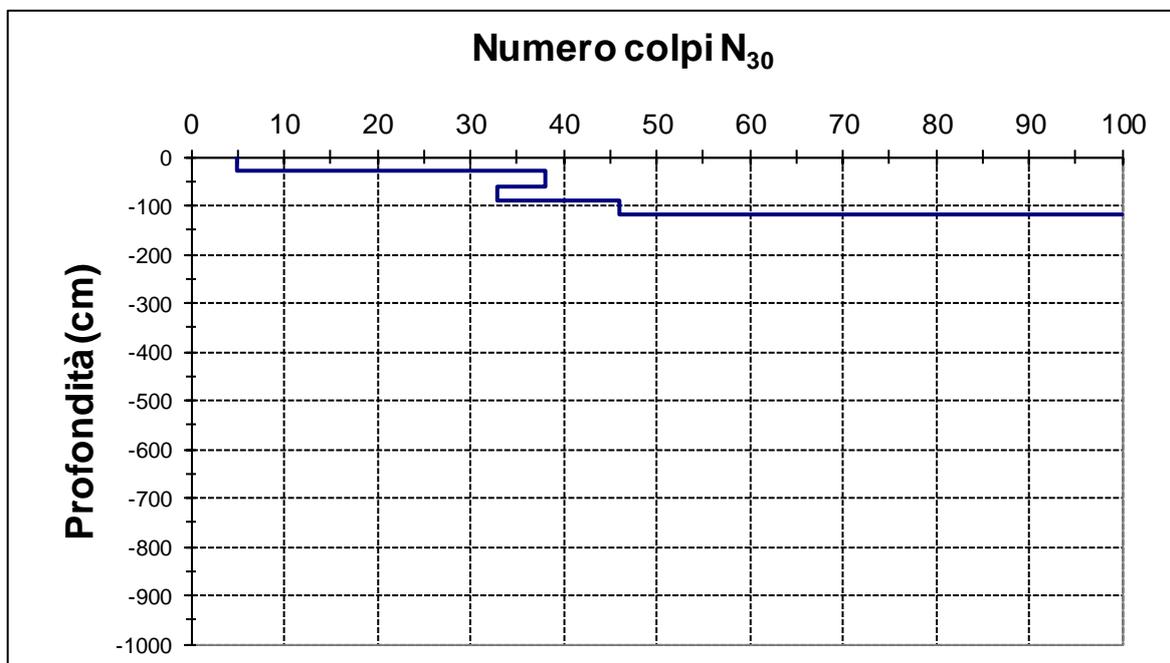
Prova n° DPSH 1

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: non rilevata

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | | 510 | | 1020 | | 1530 | |
| 30 | 5 | 540 | | 1050 | | 1560 | |
| 60 | 38 | 570 | | 1080 | | 1590 | |
| 90 | 33 | 600 | | 1110 | | 1620 | |
| 120 | 46 | 630 | | 1140 | | 1650 | |
| 150 | R | 660 | | 1170 | | 1680 | |
| 180 | | 690 | | 1200 | | 1710 | |
| 210 | | 720 | | 1230 | | 1740 | |
| 240 | | 750 | | 1260 | | 1770 | |
| 270 | | 780 | | 1290 | | 1800 | |
| 300 | | 810 | | 1320 | | 1830 | |
| 330 | | 840 | | 1350 | | 1860 | |
| 360 | | 870 | | 1380 | | 1890 | |
| 390 | | 900 | | 1410 | | 1920 | |
| 420 | | 930 | | 1440 | | 1950 | |
| 450 | | 960 | | 1470 | | 1980 | |
| 480 | | 990 | | 1500 | | 2010 | |



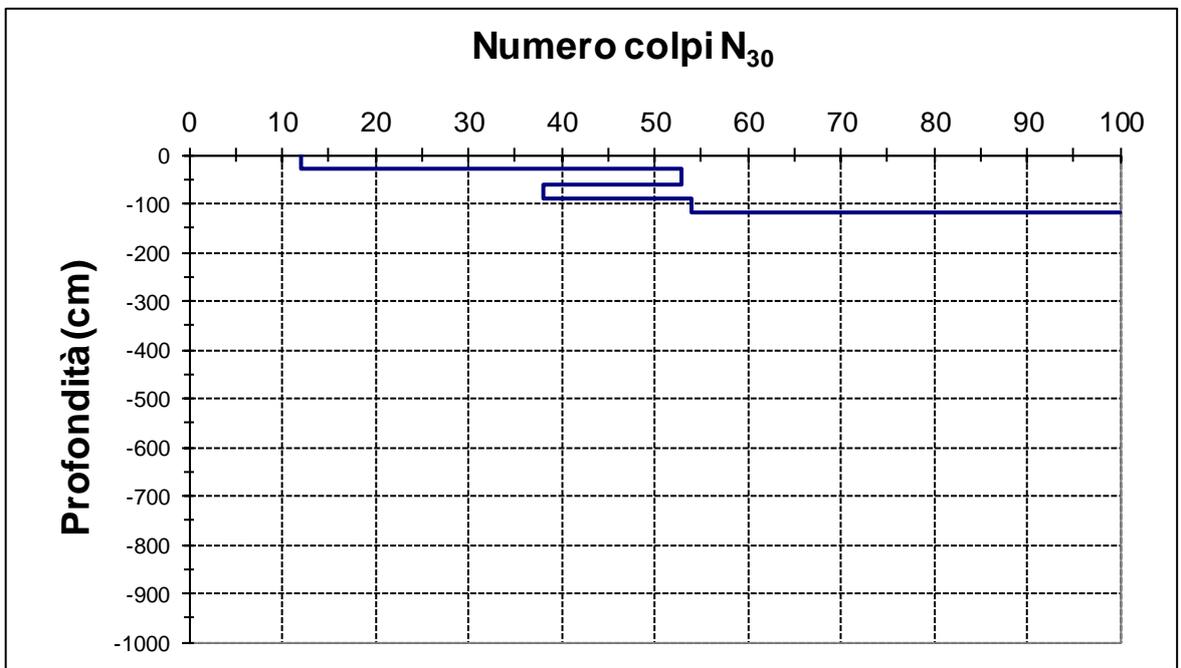


Committente: Acqua Novara VCO S.p.A.
Località: Gravellona Tove (VCO)
Cantiere: Depuratore - Via Trattati di Roma
Data: 24/07/19

Prova n° DPSH 1 bis
 Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: non rilevata
 Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | | 510 | | 1020 | | 1530 | |
| 30 | 12 | 540 | | 1050 | | 1560 | |
| 60 | 53 | 570 | | 1080 | | 1590 | |
| 90 | 38 | 600 | | 1110 | | 1620 | |
| 120 | 54 | 630 | | 1140 | | 1650 | |
| 150 | R | 660 | | 1170 | | 1680 | |
| 180 | | 690 | | 1200 | | 1710 | |
| 210 | | 720 | | 1230 | | 1740 | |
| 240 | | 750 | | 1260 | | 1770 | |
| 270 | | 780 | | 1290 | | 1800 | |
| 300 | | 810 | | 1320 | | 1830 | |
| 330 | | 840 | | 1350 | | 1860 | |
| 360 | | 870 | | 1380 | | 1890 | |
| 390 | | 900 | | 1410 | | 1920 | |
| 420 | | 930 | | 1440 | | 1950 | |
| 450 | | 960 | | 1470 | | 1980 | |
| 480 | | 990 | | 1500 | | 2010 | |





Committente: Acqua Novara VCO S.p.A.
Località: Gravellona Tove (VCO)
Cantiere: Depuratore - Via Trattati di Roma
Data: 24/07/19

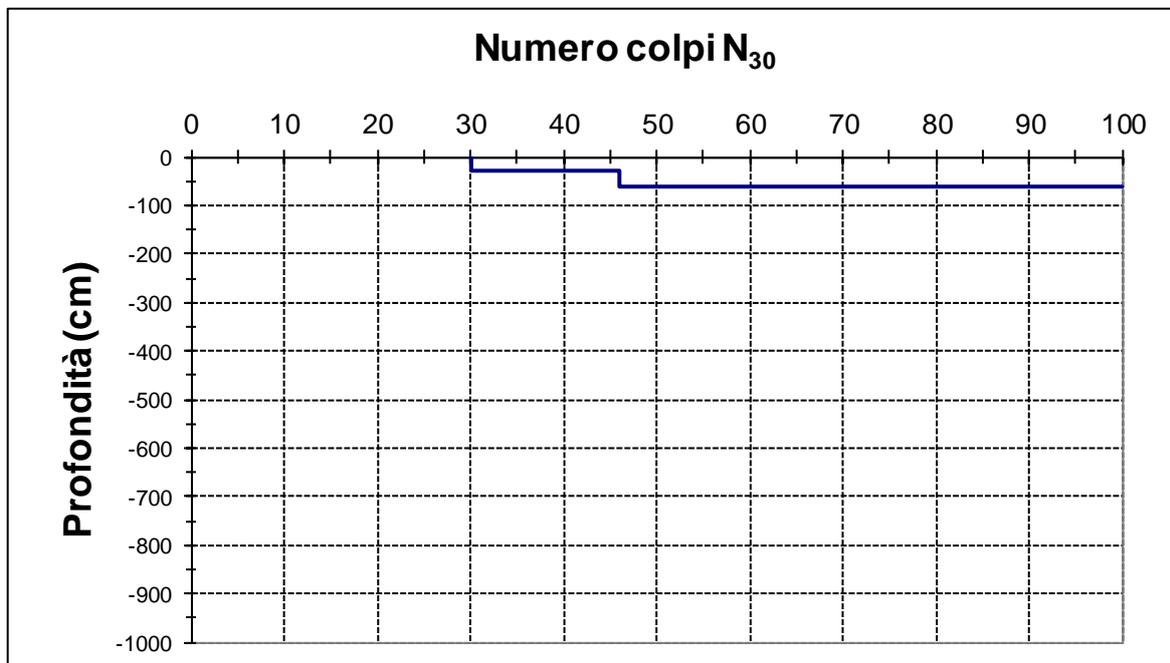
Prova n° DPSH 2

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: non rilevata

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | | 510 | | 1020 | | 1530 | |
| 30 | 30 | 540 | | 1050 | | 1560 | |
| 60 | 46 | 570 | | 1080 | | 1590 | |
| 90 | R | 600 | | 1110 | | 1620 | |
| 120 | | 630 | | 1140 | | 1650 | |
| 150 | | 660 | | 1170 | | 1680 | |
| 180 | | 690 | | 1200 | | 1710 | |
| 210 | | 720 | | 1230 | | 1740 | |
| 240 | | 750 | | 1260 | | 1770 | |
| 270 | | 780 | | 1290 | | 1800 | |
| 300 | | 810 | | 1320 | | 1830 | |
| 330 | | 840 | | 1350 | | 1860 | |
| 360 | | 870 | | 1380 | | 1890 | |
| 390 | | 900 | | 1410 | | 1920 | |
| 420 | | 930 | | 1440 | | 1950 | |
| 450 | | 960 | | 1470 | | 1980 | |
| 480 | | 990 | | 1500 | | 2010 | |



Certificato n° 929 del 30/07/2019



Committente: Acqua Novara VCO S.p.A.
Località: Gravellona Tove (VCO)
Cantiere: Depuratore - Via Trattati di Roma
Data: 24/07/19

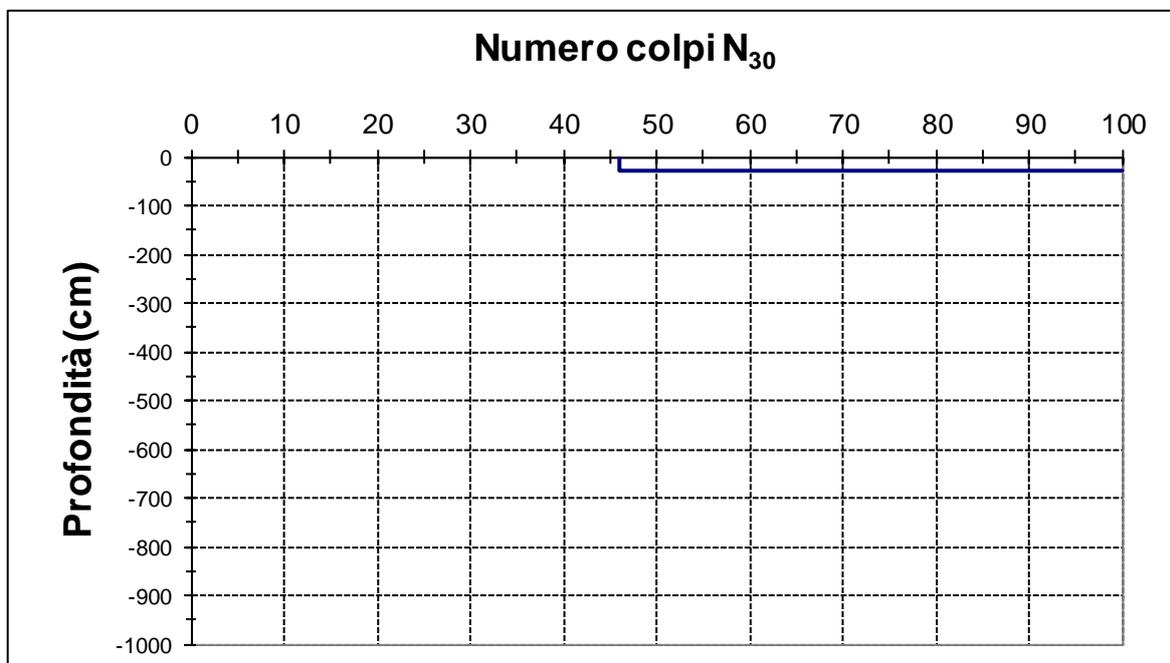
Prova n° DPSH 2 bis

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: non rilevata

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | | 510 | | 1020 | | 1530 | |
| 30 | 46 | 540 | | 1050 | | 1560 | |
| 60 | R | 570 | | 1080 | | 1590 | |
| 90 | | 600 | | 1110 | | 1620 | |
| 120 | | 630 | | 1140 | | 1650 | |
| 150 | | 660 | | 1170 | | 1680 | |
| 180 | | 690 | | 1200 | | 1710 | |
| 210 | | 720 | | 1230 | | 1740 | |
| 240 | | 750 | | 1260 | | 1770 | |
| 270 | | 780 | | 1290 | | 1800 | |
| 300 | | 810 | | 1320 | | 1830 | |
| 330 | | 840 | | 1350 | | 1860 | |
| 360 | | 870 | | 1380 | | 1890 | |
| 390 | | 900 | | 1410 | | 1920 | |
| 420 | | 930 | | 1440 | | 1950 | |
| 450 | | 960 | | 1470 | | 1980 | |
| 480 | | 990 | | 1500 | | 2010 | |



Certificato n° 929 del 30/07/2019



Committente: Acqua Novara VCO S.p.A.
Località: Gravellona Tove (VCO)
Cantiere: Depuratore - Via Trattati di Roma
Data: 24/07/19

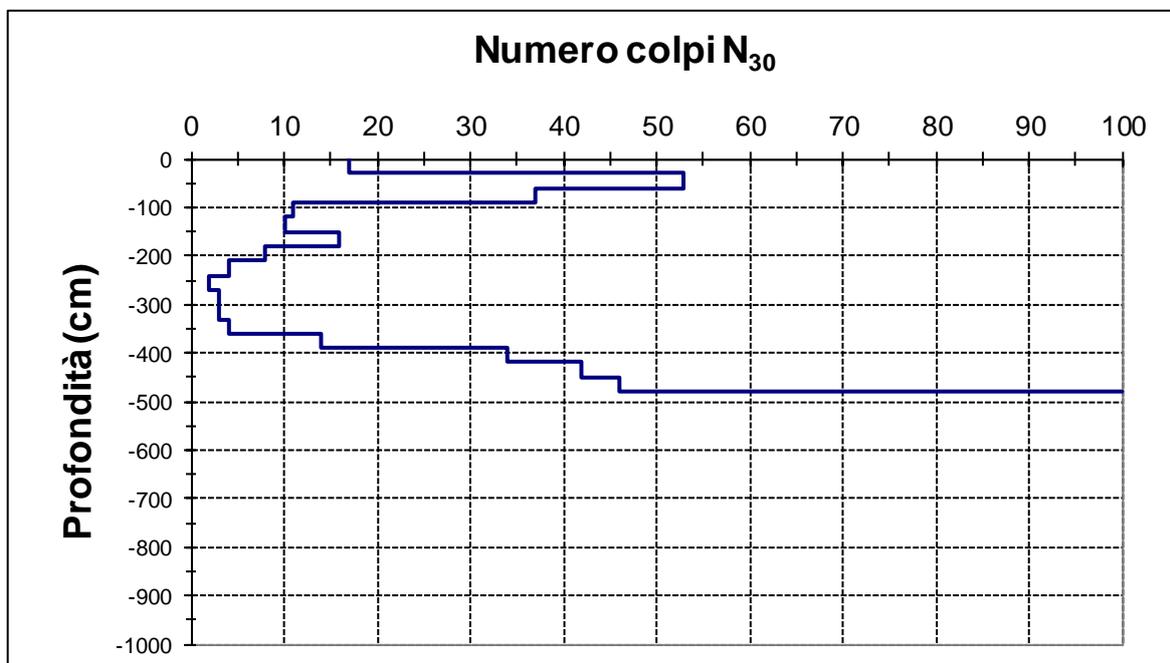
Prova n° DPSH 3

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: non rilevata

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | | 510 | R | 1020 | | 1530 | |
| 30 | 17 | 540 | | 1050 | | 1560 | |
| 60 | 53 | 570 | | 1080 | | 1590 | |
| 90 | 37 | 600 | | 1110 | | 1620 | |
| 120 | 11 | 630 | | 1140 | | 1650 | |
| 150 | 10 | 660 | | 1170 | | 1680 | |
| 180 | 16 | 690 | | 1200 | | 1710 | |
| 210 | 8 | 720 | | 1230 | | 1740 | |
| 240 | 4 | 750 | | 1260 | | 1770 | |
| 270 | 2 | 780 | | 1290 | | 1800 | |
| 300 | 3 | 810 | | 1320 | | 1830 | |
| 330 | 3 | 840 | | 1350 | | 1860 | |
| 360 | 4 | 870 | | 1380 | | 1890 | |
| 390 | 14 | 900 | | 1410 | | 1920 | |
| 420 | 34 | 930 | | 1440 | | 1950 | |
| 450 | 42 | 960 | | 1470 | | 1980 | |
| 480 | 46 | 990 | | 1500 | | 2010 | |



Indagine sismica MASW



SONDECO Srl
Strada della Commenda 11
10149 TORINO
Tel 011.7393610

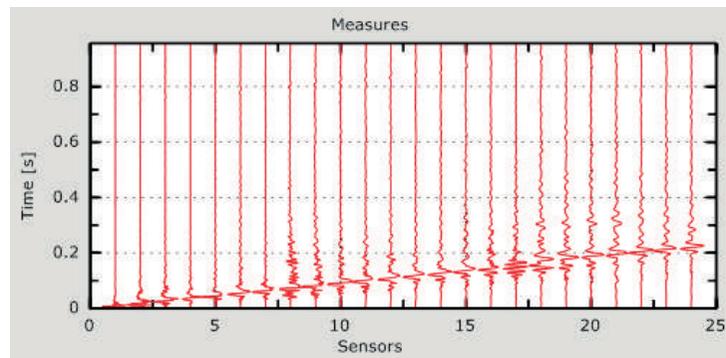
ELABORAZIONE PROVA MASW

COMMITTENTE: Acqua Novara VCO S.p.A.
CANTIERE: Depuratore - Via Trattati di Roma
LOCALITA': Gravellona Toce (VCO)
DATA: 29/07/2019

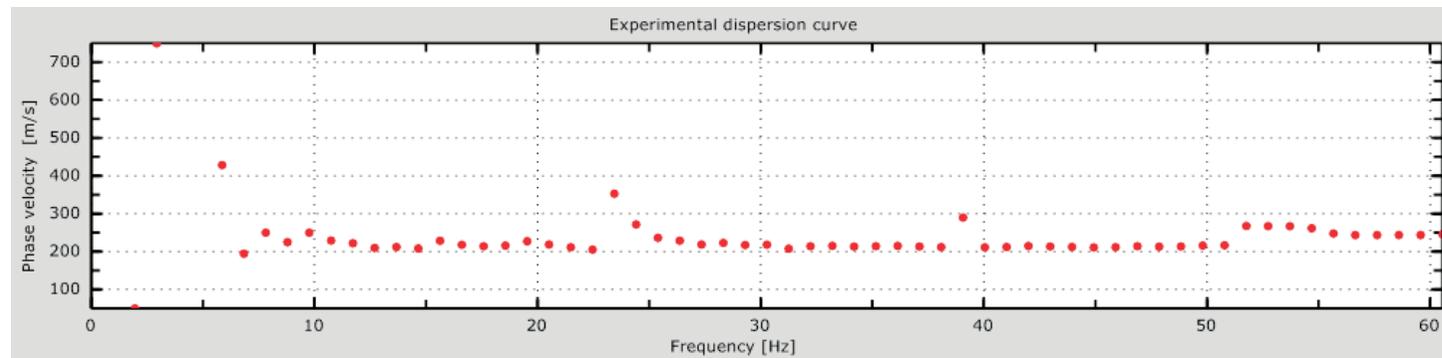
Lunghezza stesa: 48 m
Distanza intergeofonica: 2 m
N° geofoni: 24 a 4.5 Hz
Energizzazione: Mazza 10 Kg

STESA
A

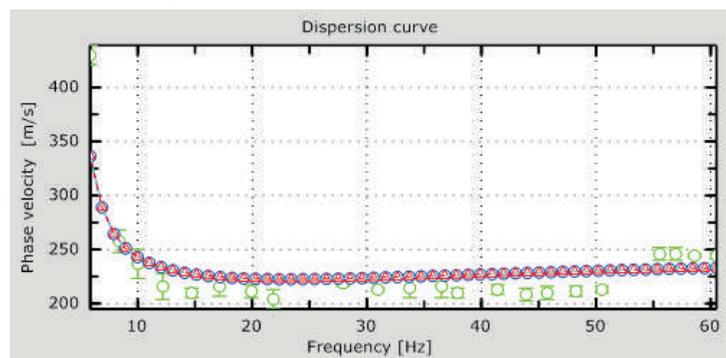
Tracce acquisizioni



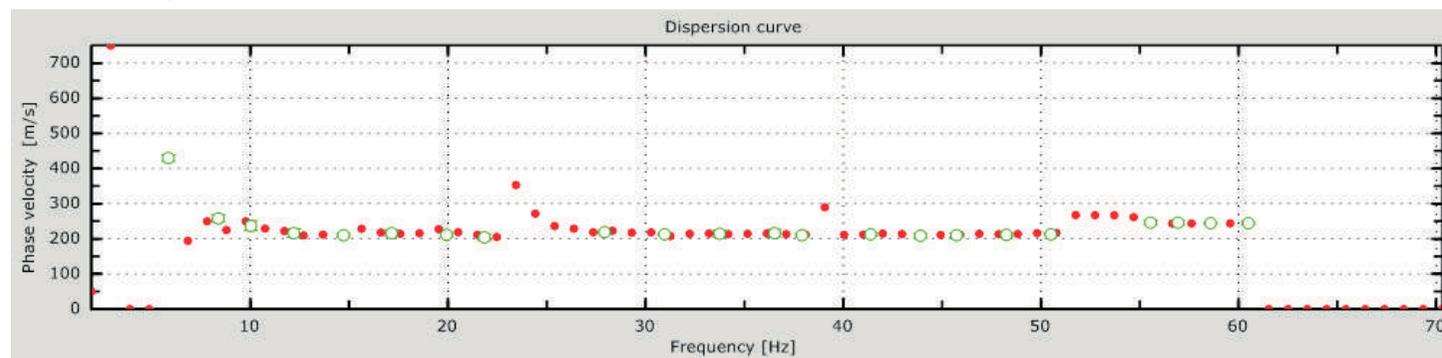
Curva di dispersione sperimentale



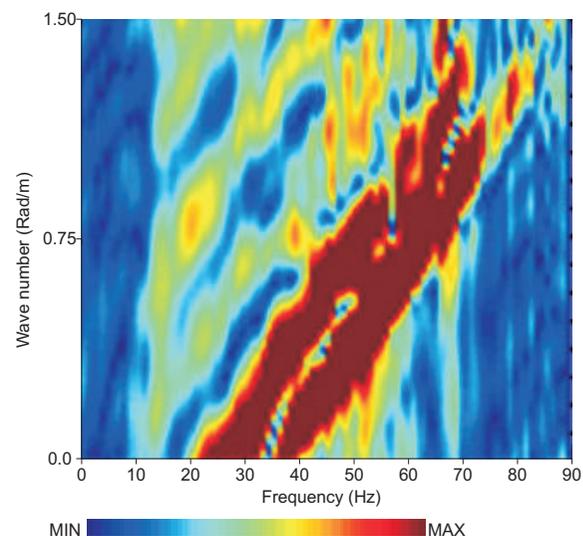
Curve di dispersione elaborate



Curva di dispersione

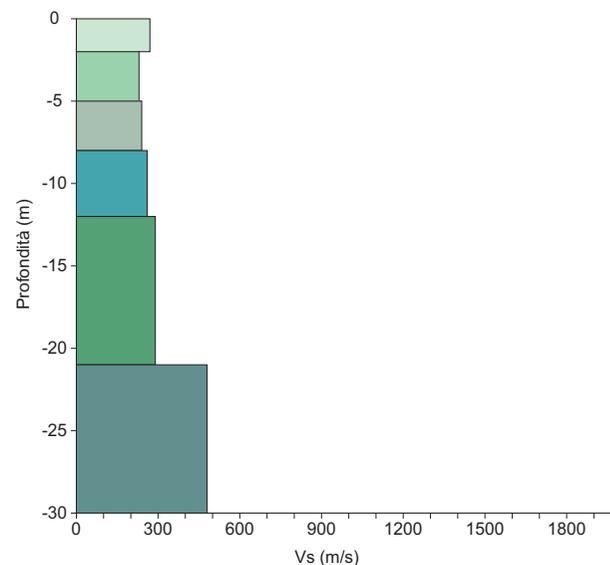


Spettro f/k



CLASSIFICAZIONE SISMICA

| Strato | Profondità (m) | | Vs (m/s) |
|--------|----------------|-------|----------|
| | da | a | |
| 1 | 0.0 | -2.0 | 270 |
| 2 | -2.0 | -5.0 | 230 |
| 3 | -5.0 | -8.0 | 240 |
| 4 | -8.0 | -12.0 | 260 |
| 5 | -12.0 | -21.0 | 290 |
| 6 | -21.0 | -30.0 | 480 |



Vs30 = 306 m/s
Vs,eq = 306 m/s
Categoria di sottosuolo C
D.M. 17/01/2018

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

**Allegato
fotografico**



Foto 1: Sondaggio S1 - cassa 1 - da 0.00 m a 5.00 m.



Foto 2: Sondaggio S1 - cassa 2 - da 5.00 m a 10.00 m.



Foto 3: Sondaggio S1 - cassa 3 - da 10.00 m a 15.00 m.



Foto 4: Sondaggio S1 - cassa 4 - da 15.00 m a 20.00 m.



Foto 5: Postazione sondaggio S1.



Foto 6: Postazione prova penetrometrica DPSH 1.



Foto 7: Postazione prova penetrometrica DPSH 1 bis.



Foto 8: Postazione prova penetrometrica DPSH 2.



Foto 9: Postazione prova penetrometrica DPSH 2 bis.

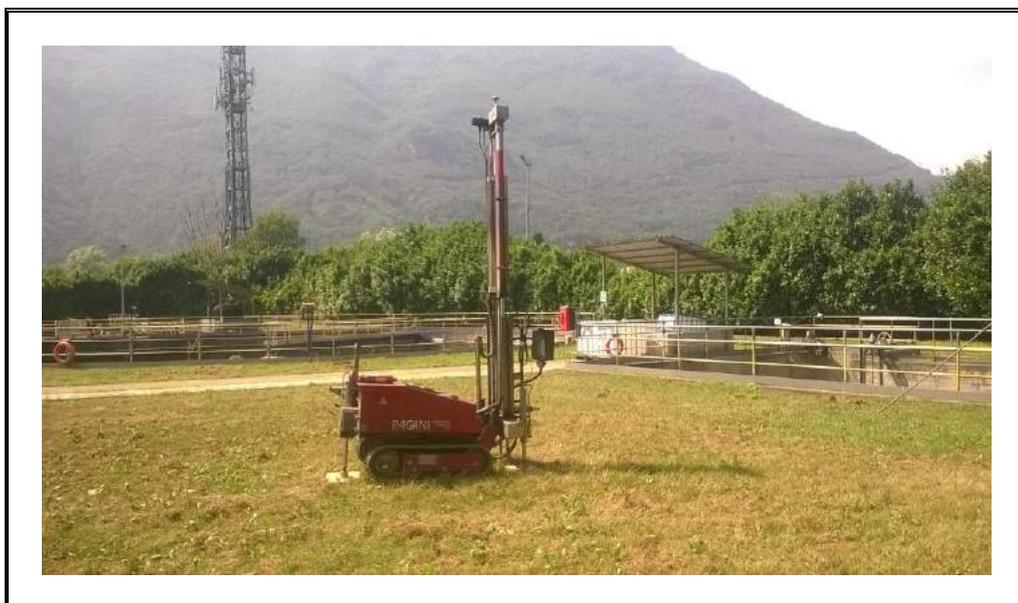


Foto 10: Postazione prova penetrometrica DPSH 3.

Certificato n° 929 del 30/07/2019



Foto 11: Particolare dello stendimento per la prova geofisica di tipo MASW.

Sondeco s.r.l.

Cantiere ampliamento depuratore Gravellona Toce

Prove geotecniche di laboratorio

2390_r01

| | | | | | |
|-----|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| B | | | | | |
| A | | | | | |
| Ø | 08/08/2019 | Dott. M. Mussa  | Dott. R. Tomai  | Ing. A. Morino  | Emissione |
| REV | DATA | REDAZIONE | VERIFICA | APPROVAZIONE | DESCRIZIONE |

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

Rapporto di prova n. **R4321/2390** Data emissione: **08/08/19** Archivio n.: **2390**
 Committente: **Sondeco**
 Lavoro: **Cantiere ampliamento depuratore Gravelona Toce**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Apparecchiatura e strumentazione utilizzata

Sondaggio: **S1** Codice provino: ****
 Campione: **C1** Ricevuto il: **30/07/19**
 Profondità (m): **9,00-9,30** Aperto il: **30/07/19**
 Tipo di terreno (AGI): **SABBIA LIMOSO-ARGILLOSA DEBOLMENTE GHIAIOSA**
 Data esecuzione prova: **05/08/19**

Serie unificata di setacci ISO 3310
 Forno elettrico
 Bilancia digitale

Riferimenti normativi: **UNI CEN ISO/TS 17892-4 (2017); RACCOMANDAZIONI AGI 1994**

TABELLE DATI DI PROVA

ANALISI CON I SETACCI:

Peso secco terreno analizzato (g): 597,0

PERCENTUALI FRAZIONI GRANULOMETRICHE:

| Apertura maglie (mm) | Peso inerte trattenuto (g) | Parziali Trattenuti (%) | Totale Trattenuti (%) | Totale Passante (%) |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 90,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 75,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 63,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 50,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 37,50 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 25,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12,50 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 9,50 | 3,2 | 0,53 | 0,53 | 99,47 |
| 4,75 | 6,2 | 1,03 | 1,56 | 98,44 |
| 2,00 | 37,6 | 6,30 | 7,86 | 92,14 |
| 1,00 | 88,9 | 14,90 | 22,75 | 77,25 |
| 0,425 | 163,3 | 27,36 | 50,11 | 49,89 |
| 0,180 | 145,4 | 24,35 | 74,47 | 25,53 |
| 0,063 | 71,9 | 12,04 | 86,50 | 13,50 |
| fondo | 80,6 | 13,50 | 100,00 | - |

Ciottoli (%): **0,0**
 Ghiaia (%): **7,9**
 Sabbia (%): **78,6**
 Limo+Argilla (%): **13,5**

NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

Lo sperimentatore (Dr. Mussa Massimo):

Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai):

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

Rapporto di prova n. **R4321/2390** Data emissione: **08/08/19** Archivio n.: **2390**
 Committente: **Sondecò**
 Lavoro: **Cantiere ampliamento depuratore Gravelona Toce**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

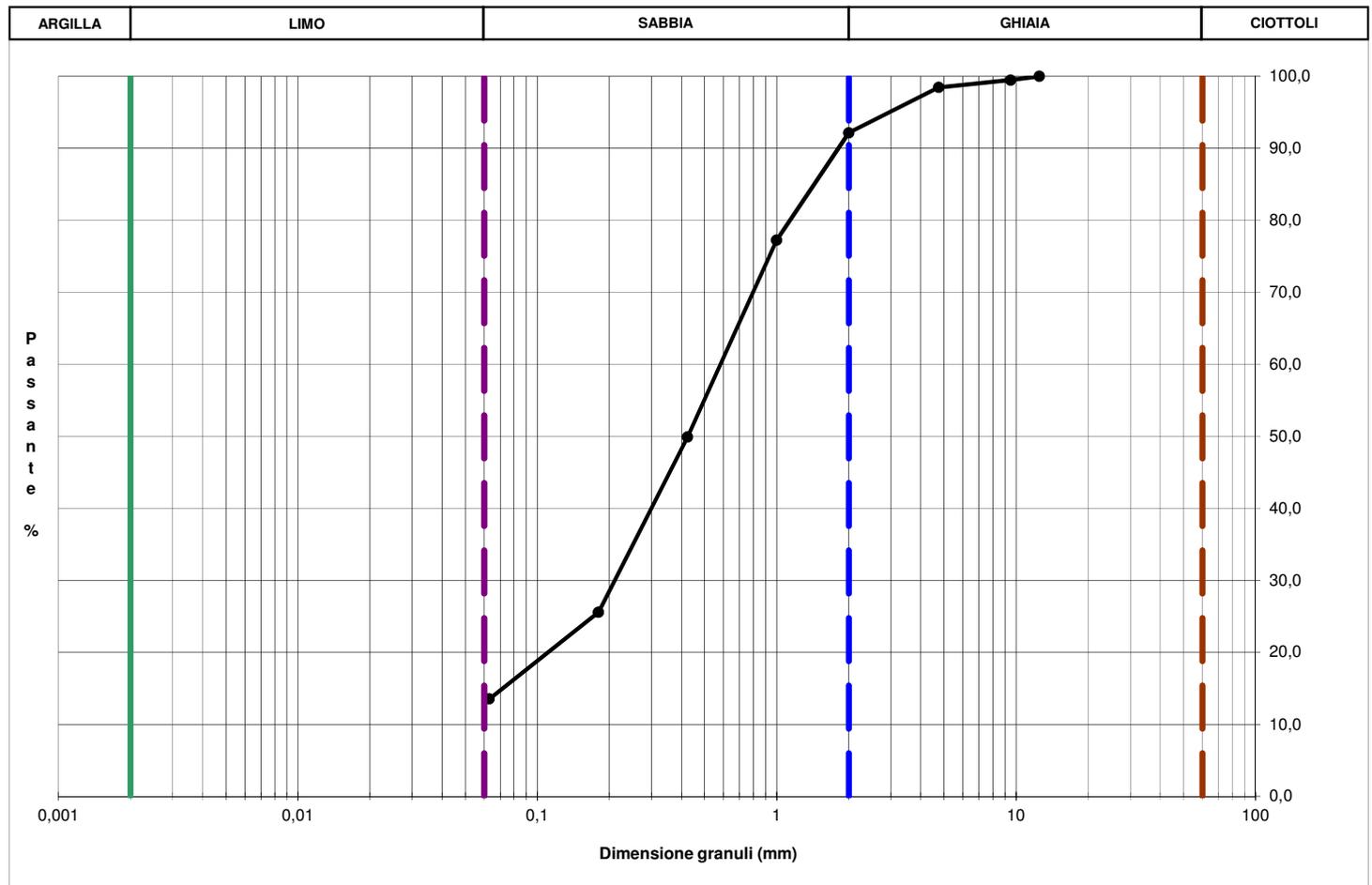
Sondaggio: **S1** Codice provino: ****
 Campione: **C1** Ricevuto il: **30/07/19**
 Profondità (m): **9,00-9,30** Aperto il: **30/07/19**
 Tipo di terreno (AGI): **SABBIA LIMOSO-ARGILLOSA DEBOLMENTE GHIAIOSA**
 Data esecuzione prova: **05/08/19**

Apparecchiatura e strumentazione utilizzata

Serie unificata di setacci ISO 3310
 Forno elettrico
 Bilancia digitale

Riferimenti normativi: **UNI CEN ISO/TS 17892-4 (2017); RACCOMANDAZIONI AGI 1994**

CURVA GRANULOMETRICA



NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

Lo sperimentatore (Dr. Mussa Massimo):

Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai):

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

Rapporto di prova n. **R4322/2390** Data emissione: **08/08/19** Archivio n.: **2390**
 Committente: **Sondeco**
 Lavoro: **Cantiere ampliamento depuratore Gravellona Toce**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Apparecchiatura e strumentazione utilizzata

Sondaggio: **S1** Codice provino: ****
 Campione: **C2** Ricevuto il: **30/07/19**
 Profondità (m): **14,00-14,30** Aperto il: **30/07/19**
 Tipo di terreno (AGI): **SABBIA DEBOLMENTE LIMOSO-ARGILLOSA**
 Data esecuzione prova: **05/08/19**

Serie unificata di setacci ISO 3310
 Forno elettrico
 Bilancia digitale

Riferimenti normativi: **UNI CEN ISO/TS 17892-4 (2017); RACCOMANDAZIONI AGI 1994**

TABELLE DATI DI PROVA

ANALISI CON I SETACCI:

Peso secco terreno analizzato (g): 492,0

PERCENTUALI FRAZIONI GRANULOMETRICHE:

| Apertura maglie (mm) | Peso inerte trattenuto (g) | Parziali Trattenuti (%) | Totale Trattenuti (%) | Totale Passante (%) |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 90,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 75,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 63,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 50,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 37,50 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 25,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12,50 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 9,50 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 4,75 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1,00 | 0,2 | 0,03 | 0,03 | 99,97 |
| 0,425 | 85,6 | 17,40 | 17,43 | 82,57 |
| 0,180 | 274,2 | 55,73 | 73,16 | 26,84 |
| 0,063 | 100,9 | 20,52 | 93,68 | 6,32 |
| fondo | 31,1 | 6,32 | 100,00 | - |

Ciottoli (%): **0,0**
 Ghiaia (%): **0,0**
 Sabbia (%): **93,7**
 Limo+Argilla (%): **6,3**

NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

Lo sperimentatore (Dr. Mussa Massimo): _____ Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai): _____

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

Rapporto di prova n. **R4322/2390** Data emissione: **08/08/19** Archivio n.: **2390**
 Committente: **Sondeco**
 Lavoro: **Cantiere ampliamento depuratore Gravelona Toce**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

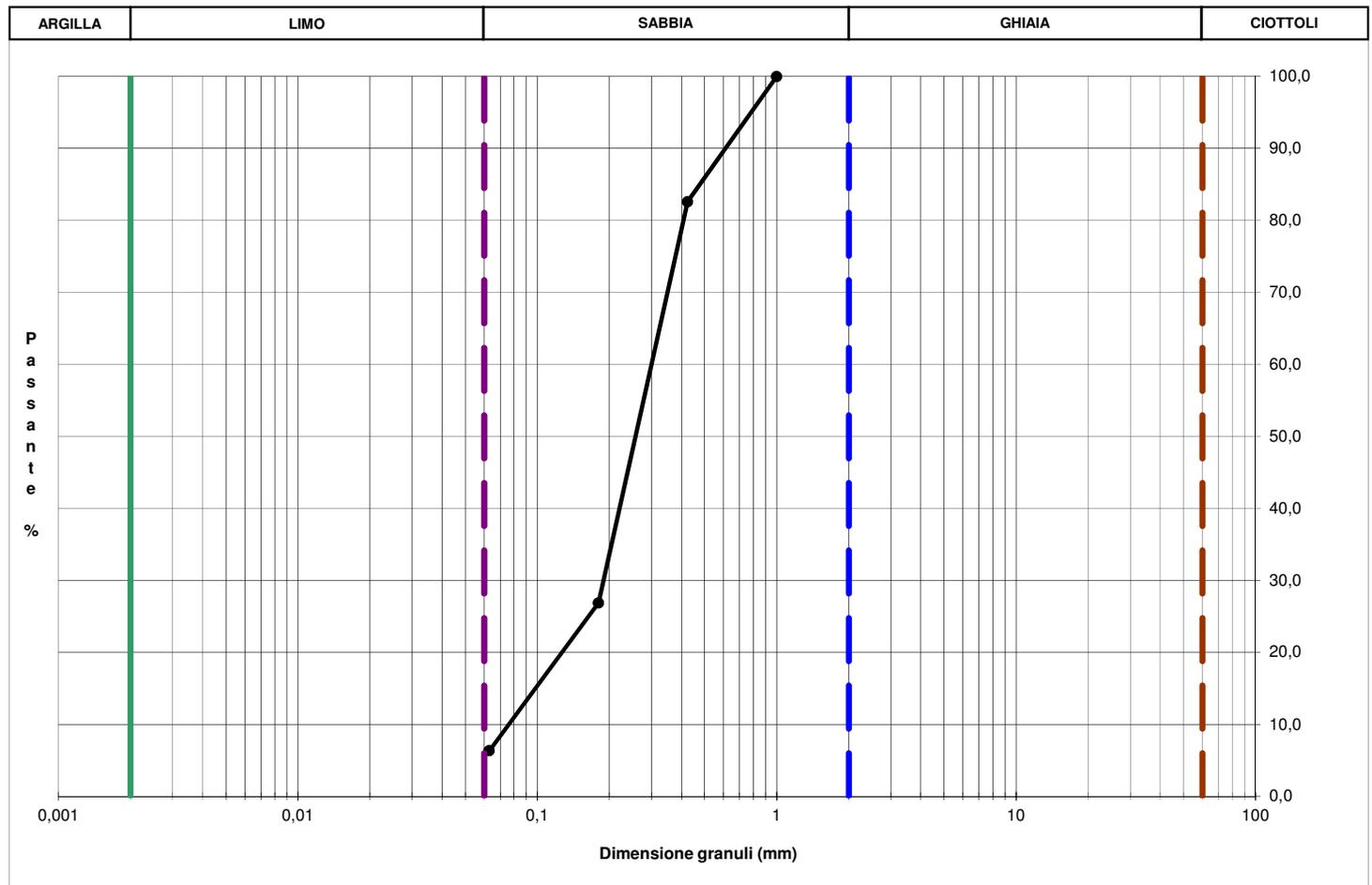
Sondaggio: **S1** Codice provino: ****
 Campione: **C2** Ricevuto il: **30/07/19**
 Profondità (m): **14,00-14,30** Aperto il: **30/07/19**
 Tipo di terreno (AGI): **SABBIA DEBOLMENTE LIMOSO-ARGILLOSA**
 Data esecuzione prova: **05/08/19**

Apparecchiatura e strumentazione utilizzata

Serie unificata di setacci ISO 3310
 Forno elettrico
 Bilancia digitale

Riferimenti normativi: **UNI CEN ISO/TS 17892-4 (2017); RACCOMANDAZIONI AGI 1994**

CURVA GRANULOMETRICA



NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

Lo sperimentatore (Dr. Mussa Massimo):

Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai):