

INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO DEL DEPURATORE DI
ALESSANDRIA ORTI - LINEA ACQUE E LINEA FANGHI
CUP E36G14000260008 - CIG 6185013231 - CIG 61863555 A4

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTISTA:



TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

ELABORATO N°:

II052P-PE-RG003

ELABORATO				CONTROLLATO		APPROVATO	
SIGLA				F. CARNEVALE		S. VENTURINI	
REVISIONE	N.		DESCRIZIONE				
	1						
	2						
	3						


NOME FILE:

II052P-PE-RG003.doc

DATA: Settembre 2016

SCALA:


-

 PRESENTAZIONE	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 2
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

**INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO
 DEL DEPURATORE DI ALESSANDRIA ORTI
 LINEA ACQUE – LINEA FANGHI
 CUP E36G14000260008
 CIG 6185013231 - CIG 61863555 A4**


PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

 TECENITAL	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 3
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

I N D I C E

1.	PREMESSA	5
2.	OGGETTO E SCOPO	6
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
4.	INFORMAZIONI DISPONIBILI PER IL PROGETTO PRELIMINARE	8
5.	CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA INTEGRATIVA SVOLTA A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO	9
6.	RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA	11
6.1.	Sondaggi geognostici	11
6.1.1.	Stratigrafia	11
6.1.2.	Prove SPT	15
6.2.	Indagine MASW	17
6.3.	Prova Lefranc	20
6.4.	Considerazioni finali	20
7.	INTERPRETAZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA: METODOLOGIA IMPIEGATA	21
8.	INTERPRETAZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA: RISULTATI DELL'INTERPRETAZIONE	24
8.1.	Stima della densità relativa dei terreni	24
8.2.	Stima dell'angolo di resistenza al taglio	26
8.3.	Stima del modulo elastico	27
9.	STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO PER L'AREA DI PROGETTO	28
10.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	29
11.	CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE CIRCA LE OPERE PREVISTE IN PROGETTO	30
11.1.	Vasca di decantazione finale	30
11.2.	Comparto biologico	30
11.3.	Comparto di grigliatura e sollevamento iniziale	31
12.	SISMICITÀ DEL SITO	33
13.	CONCLUSIONI	35


 TECENITAL	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 4
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 5.1 - Campagna di indagine integrativa – Planimetria con ubicazione indagini	9
Fig. 6.1 - Sondaggio S1 – Descrizione della stratigrafia riscontrata nel sondaggio	12
Fig. 6.2 - Sondaggio S2 – Descrizione della stratigrafia riscontrata nel sondaggio	13
Fig. 6.3 - Sondaggio S3 – Descrizione della stratigrafia riscontrata nel sondaggio	14
Fig. 6.4 - Risultati MASW – Stendimento n. 1	18
Fig. 6.5 - Risultati MASW – Stendimento n. 2	19
Fig. 7.1 - Relazione fra deformabilità, resistenza alla penetrazione e gradi applicazione del carico (qnet/qult) per sabbie (da Stroud, 1989)	23
Fig. 8.1 - Interpretazione delle prove SPT – stima densità relativa	25
Fig. 8.2 - Interpretazione delle prove SPT – stima angolo di resistenza al taglio	26
Fig. 8.3 - Interpretazione delle prove SPT – stima modulo elastico	27
Fig. 12.1 - Mappa interattiva di pericolosità sismica ricavata dal sito dell'INGV e riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni	33

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 6.1: Successione stratigrafica dei terreni di fondazione	15
Tab. 6.2: Sondaggio S1 – Prove SPT eseguite in foro	15
Tab. 6.3: Sondaggio S2 – Prove SPT eseguite in foro	16
Tab. 6.4: Sondaggio S3 – Prove SPT eseguite in foro	16
Tab. 10.1: Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione	29
Tab. 13.1: Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione	35

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 5
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	


1. PREMESSA

La presente relazione fornisce tutte le informazioni circa la natura litologica e la successione stratigrafica dei terreni di fondazione nell'area del depuratore di Alessandria.

Partendo dalle informazioni disponibili in fase di progettazione preliminare è stata condotta una campagna di indagine geognostica integrativa che ha consentito di individuare la stratigrafia e le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione che interagiscono con le opere.

In particolare la relazione è strutturata nel seguente modo:


- il capitolo 4 riassume tutta le informazioni pregresse sulla base delle quali è stata condotta la progettazione preliminare delle opere,
- il capitolo 0 descrive l'indagine integrativa condotta per il Progetto Definitivo;
- il capitolo 0 riporta tutti i risultati ottenuti con le indagini integrative;
- il capitolo 7 sintetizza quali correlazioni di letteratura sono state utilizzate per interpretare le prove penetrometriche svolte ed il successivo capitolo 8 ne riporta i risultati in termini di stima delle principali caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione;
- il capitolo 9 presenta la stratigrafia dei terreni di fondazione nell'area di progetto, il livello di falda misurato e fornisce la classificazione dei terreni di fondazione secondo quanto previsto dalle NTC 2008;
- il capitolo 10 presenta la caratterizzazione geotecnica di ciascun livello stratigrafico individuato e descritto nell'area di progetto;
- il capitolo 11, infine presenta le considerazioni di carattere geotecnico inerenti le singole opere previste in progetto.

 GRUPPO AMAG Alessandria ITALIA	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 6
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

2. OGGETTO E SCOPO

Oggetto della presente relazione sono i terreni di fondazione presenti nell'area del depuratore di Alessandria.


Scopo è individuare la successione stratigrafica dei terreni di fondazione, fornirne la caratterizzazione meccanica ai fini del progetto delle opere e dare delle indicazioni circa le principali problematiche di carattere geotecnico relative le opere da realizzare.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 7
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Sono di riferimento a questo rapporto i seguenti documenti:

1. Relazione geotecnica redatta a supporto del Progetto Definitivo dell' Ampliamento ed adeguamento dell'impianto di depurazione di Alessandria in data 4/12/2003 a cura del Geologo Paolo Ricci;
2. Relazione illustrativa relativa l'esecuzione di indagini geognostiche presso l'impianto di depurazione della città di Alessandria redatta in data 30/10/2003 da Geotek;
3. Relazione geologico-geotecnica e sismica II052P-PP-RG001 redatta da Technital per il Progetto Preliminare;
4. Relazione geotecnica e sismica II052P-PD-RG003 redatta da Technital per il Progetto Definitivo;
5. Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. del 14 gennaio 2008.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 8
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

4. INFORMAZIONI DISPONIBILI PER IL PROGETTO PRELIMINARE

L'area in cui si colloca l'intervento in progetto comprende un settore prettamente collinare a Nord, determinato dai rilievi del Monferrato, e di pianura nella restante parte.

L'area oggetto del previsto intervento presenta una morfologia sostanzialmente pianeggiante con altimetria di circa 90 m s.l.m.m., caratterizzata dalla presenza degli alvei attivi dei fiumi Bormida e Tanaro che confluiscono a circa 3 km a valle del sito e dai terrazzi determinati alla dinamica fluviale.

L'area direttamente interessata dalla progettazione appare caratterizzata da un elevato grado di stabilità, dovuta alla morfologia sostanzialmente pianeggiante della superficie topografica.

L'area in esame risulta cartografata sul Foglio n. 70 "Alessandria" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

La provincia di Alessandria è situata nel settore sud-orientale della regione Piemonte, che geologicamente appartiene al complesso di sedimenti marini e continentali (a partire dall'Oligocene), denominato Bacino Terziario Ligure Piemontese (BTLP) i cui termini più antichi affiorano sui rilievi collinari del Monferrato che delimitano a Nord la pianura di Alessandria.

Sulla base dei documenti di riferimento 1 e 2, risulta che dal punto di vista stratigrafico, si possono individuare 3 livelli principali:

- 1) strato di riporto antropico a granulometria prevalentemente fine avente potenza 2.5 m;
- 2) tra 2.5 m e 8.5 m da p.c. si rinviene un livello di sabbia limosa argillosa di bassa consistenza;
- 3) al di sotto di 8.5 m si trova ghiaia con sabbia da fine a leggermente limosa.


Da punto di vista idrogeologico, le indagini pregresse eseguite nell'area, posizionano la falda ad una profondità mediamente pari a 10.5 m dal p.c.. Tale soggiacenza risulta superiore alle profondità di scavo richieste per l'esecuzione delle opere, fatto salvo per la stazione di grigliatura e sollevamento iniziale per la quale potrebbe verificarsi un'interazione degli scavi con la falda.

Per il corretto dimensionamento delle opere in progetto è necessario individuare l'effettiva potenza dei livelli 1) e 2) del precedente elenco ed è necessario avere informazioni circa la loro resistenza e deformabilità utile sia per il dimensionamento delle scarpate di scavo provvisorie che per il calcolo dei cedimenti delle vasche.

Per la stazione di grigliatura e sollevamento la situazione si complica ulteriormente in quanto le profondità di scavo risultano notevoli, dell'ordine dei 6-7 metri, e non è esclusa la possibilità di un'interazione dello scavo stesso con la falda.

Al fine di ottenere gli approfondimenti di cui sopra si è prevista l'esecuzione di una campagna di indagine geognostica integrativa.

La campagna prevista è descritta nel dettaglio nel capitolo che segue, ma sinteticamente si tratta di realizzare dei sondaggi geognostici da accoppiare a prove sismiche tipo MASW atte a definire la completa caratterizzazione geomeccanica dei terreni di fondazione (anche dal punto di vista sismico) oltre che, ovviamente, l'effettiva successione stratigrafica dei singoli livelli deposizionali.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 9
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

5. CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA INTEGRATIVA SVOLTA A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO

La campagna di indagine integrativa è stata condotta da Sondeco S.r.l. di Torino.

Si sono eseguiti n. 3 sondaggi spinti ad una profondità di 15 m, all'interno dei quali sono state realizzate prove SPT nella misura di 1 ogni metro.

Per il sondaggio S3 in corrispondenza della nuova stazione di grigliatura e sollevamento iniziale, in aggiunta, si è prevista l'esecuzione di una prova Lefranc all'interno dell'orizzonte ghiaioso al fine di stimarne la permeabilità e contestualmente si è proceduto ad installare un piezometro a tubo aperto per la misura corretta del livello di falda nell'area.

La caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione è basata sui risultati di prove tipo MASW eseguite nell'area oggetto di intervento.

L'ubicazione dei sondaggi eseguiti è riportata nella figura che segue.

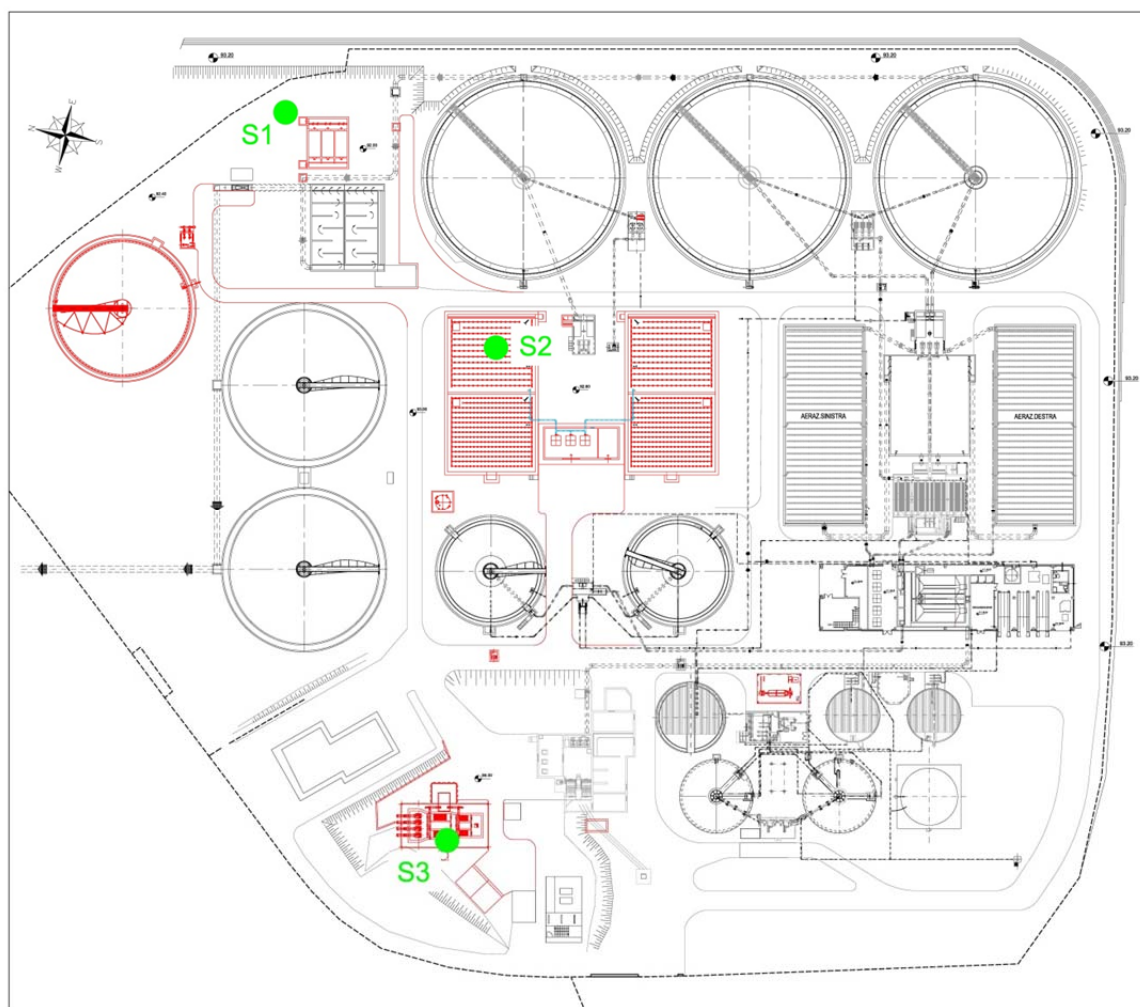



FIG. 5.1 - CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA – PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 10
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	


Dalle carote estratte durante i sondaggi, si sono ottenuti campioni di terreno da sottoporre a prove di laboratorio finalizzate alla sua caratterizzazione ambientale e quindi alla definizione del suo eventuale riutilizzo nell'ambito del cantiere o dalla necessità di portare il materiale scavato a discarica.

In particolare, il prelievo dei campioni è stato fatto, in corrispondenza di ciascuno dei 3 sondaggi, seguendo il seguente approccio:

- 1 campione tra 0 e 1 metro di profondità prelevato in 3 aliquote: la prima nella parte alta, la seconda nella zona centrale e la terza nella zona inferiore del metro;
- 1 campione tra 1 e 4 metri di profondità prelevato in 3 aliquote: la prima tra 1 e 2 metri, la seconda tra 2 e 3 metri e la terza tra 3 e 4 metri;
- 1 campione tra 4 e 5 metri di profondità prelevato in 3 aliquote: la prima nella parte alta, la seconda nella zona centrale e la terza nella zona inferiore del metro;

Le prove eseguite sono state le seguenti:

1. Set di analisi di qualità ambientale ai sensi della Legge 93/13;
2. Set di analisi per l'ammissibilità in discarica ai sensi del DM 27/09/2010;
3. Set di analisi per il recupero di cui al DM 186/2006.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 11
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

6. RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA

Nel seguito vengono sintetizzati i risultati ottenuti con la campagna geognostica integrativa che è stata descritta al capitolo precedente.

La metodologia ed i criteri di interpretazione delle prove penetrometriche eseguite viene presentata al capitolo successivo.

6.1. Sondaggi geognostici


Le informazioni ricavate dal sondaggio geognostico sono sostanzialmente di due tipologie:

- a) Definizione della stratigrafia dei terreni di fondazione;
- b) Stima dei parametri di resistenza e deformabilità dei terreni interpretando le prove penetrometriche dinamiche eseguite in foro.

Nei paragrafi che seguono si riporta, quindi, la successione e descrizione dei terreni così come riportato nelle schede dei sondaggi eseguiti ed i risultati grezzi delle prove SPT in relazione alla profondità di prova ed alla stratigrafia ricavata.

6.1.1. Stratigrafia

Si riportano di seguito i log stratigrafici redatti dall'Impresa esecutrice che descrivono i livelli stratigrafici incontrati.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 12
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

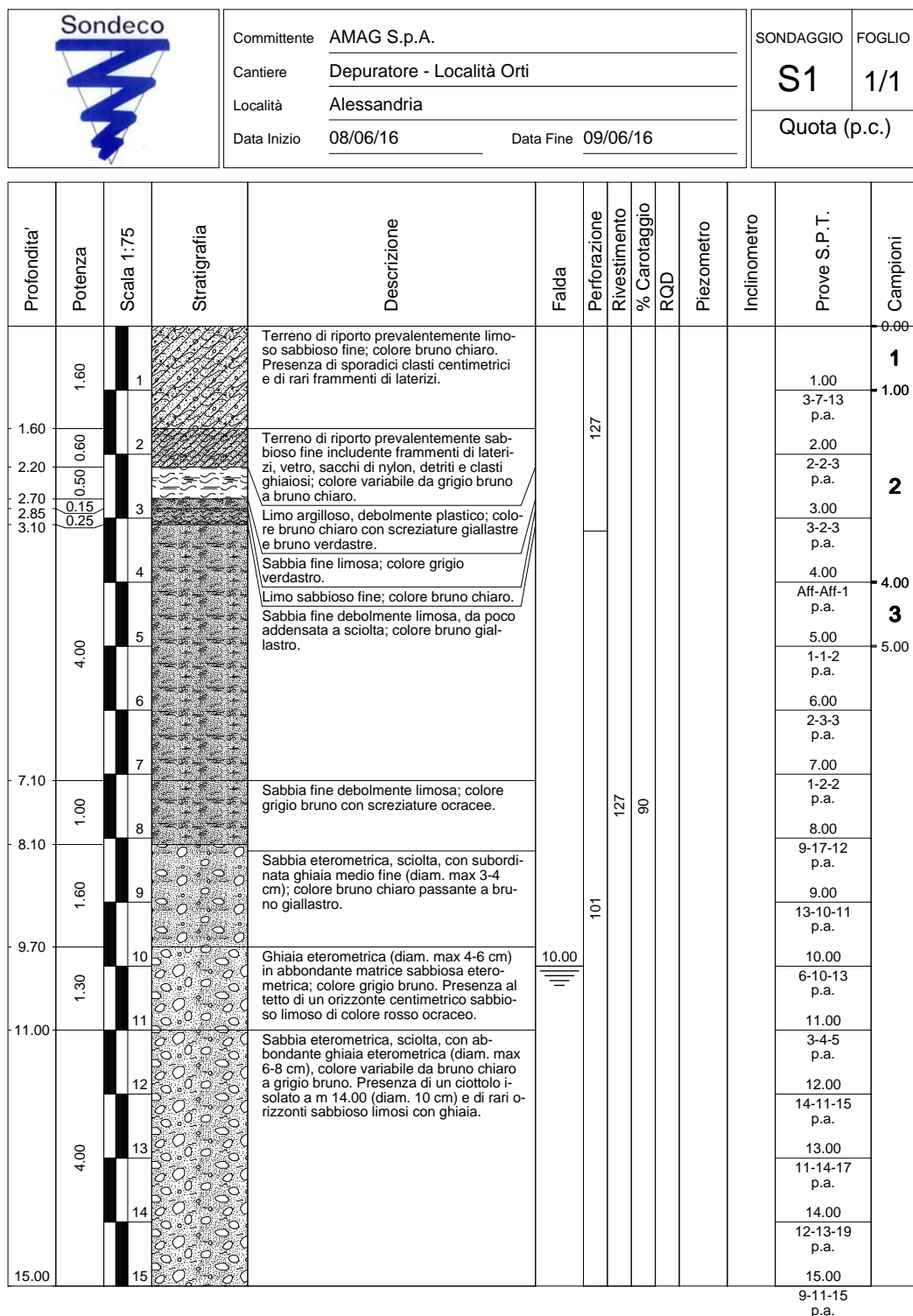



FIG. 6.1 - SONDAGGIO S1 – DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA RISCONTRATA NEL SONDAGGIO

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 13
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

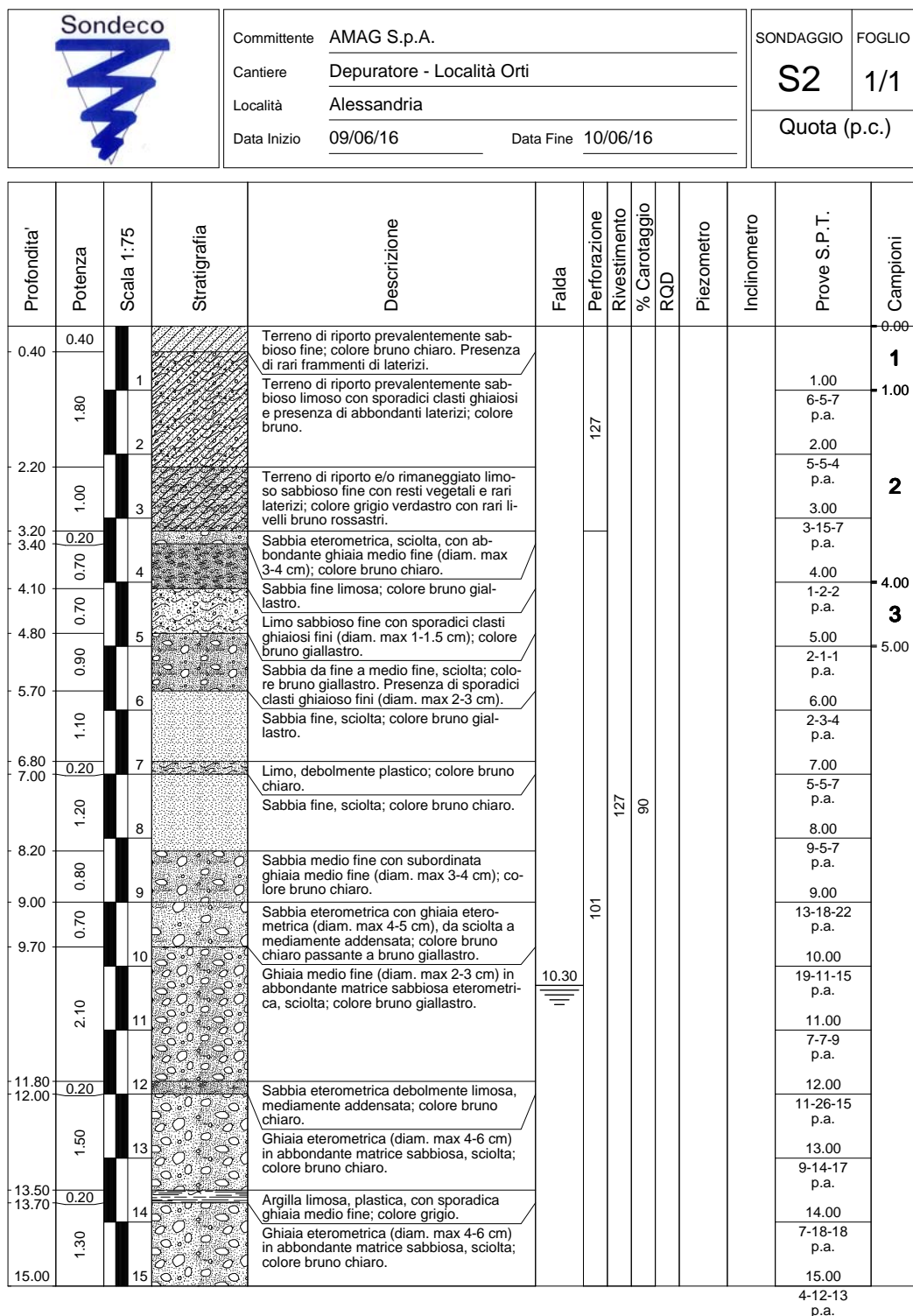



FIG. 6.2 - SONDAGGIO S2 – DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA RISCONTRATA NEL SONDAGGIO

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 14
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

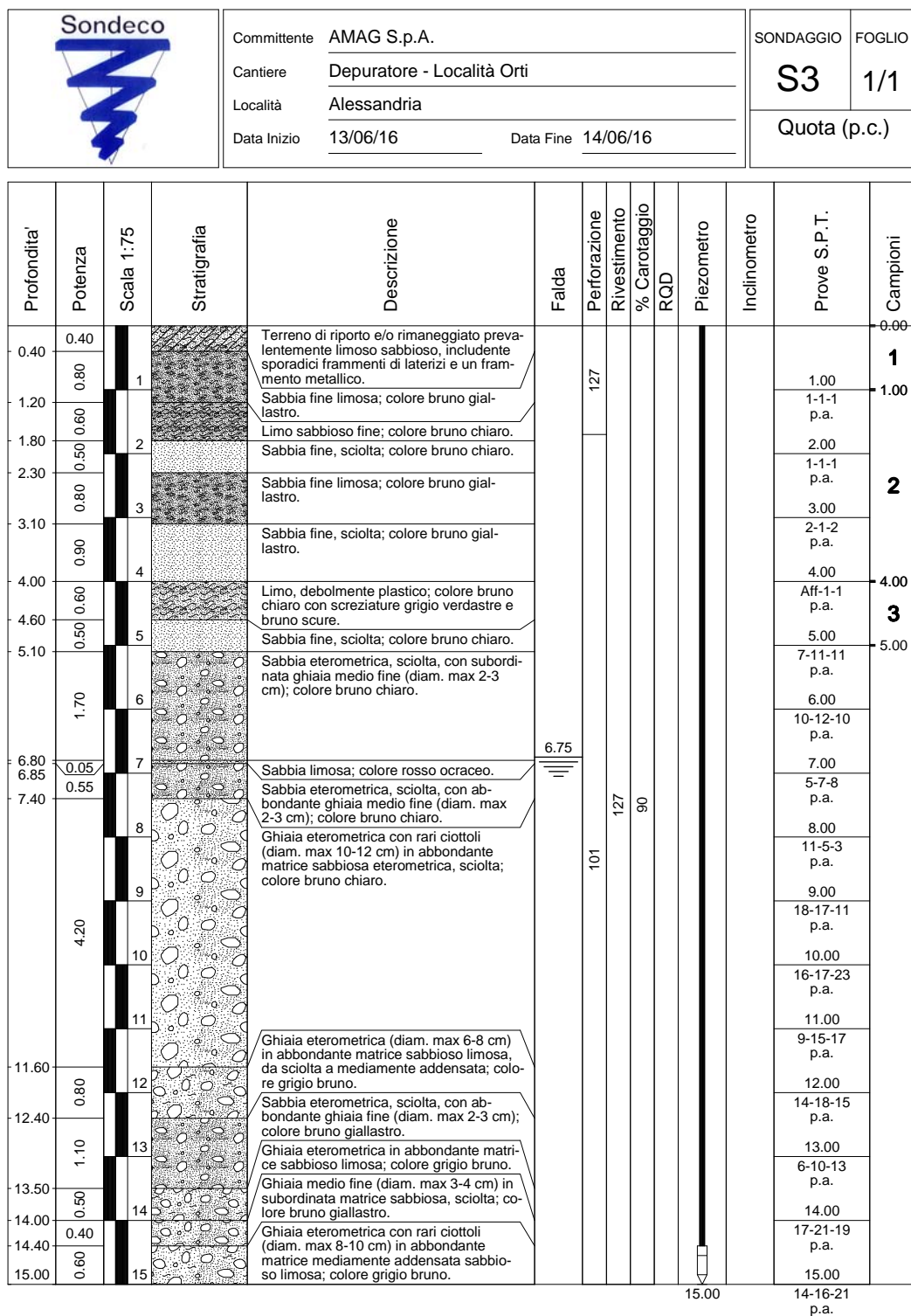



FIG. 6.3 - SONDAGGIO S3 – DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA RISCONTRATA NEL SONDAGGIO

 GRUPPO AMAG Alessandria ITALIA	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 15
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

La tabella seguente riassume la stratigrafia media ricavata.

TAB. 6.1: SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Profondità dal piano campagna (m)	Descrizione stratigrafica
0 ÷ 2.00	Terreno di riporto antropico
2.00 ÷ 8.00	Sabbia fine limosa / Limo sabbioso
8.00 ÷ 15.00 (fine sondaggio)	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa e limosa da sciolta a mediamente addensata

Il livello di falda misurato varia nei vari fori di sondaggio tra i -6.75 metri dal p.c. (misurato nel sondaggio S3) e i -10.30 metri dal p.c. (misurato nel sondaggio S2).


6.1.2. Prove SPT

Le successive tabelle presentano l'andamento del numero di colpi misurato con la prova SPT al variare della profondità ed in relazione alla stratigrafia di cui al punto precedente.

In generale il riporto presenta un numero di SPT mediamente pari a 10, il livello di sabbia fine limosa ha un numero di colpi mediamente pari a 6 mentre le ghiaie sono tra i 30 e 40 colpi.

TAB. 6.2: SONDAGGIO S1 – PROVE SPT ESEGUITE IN FORO

Profondità (m p.c.)	Livello stratigrafico	N SPT
1.00	Terreno di riporto	20
2.00	Terreno di riporto	5
3.00	Limo argilloso	5
4.00	Sabbia fine debolmente limosa	1
5.00	Sabbia fine debolmente limosa	3
6.00	Sabbia fine debolmente limosa	6
7.00	Sabbia fine debolmente limosa	4
8.00	Sabbia fine debolmente limosa	29
9.00	Sabbia sciolta con subordinata ghiaia medio fine	22
10.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	23

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 16
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

Profondità (m p.c.)	Livello stratigrafico	N SPT
11.00	Sabbia sciolta con abbondante ghiaia	9
12.00	Sabbia sciolta con abbondante ghiaia	26
13.00	Sabbia sciolta con abbondante ghiaia	31
14.00	Sabbia sciolta con abbondante ghiaia	32
15.00	Sabbia sciolta con abbondante ghiaia	26

TAB. 6.3: SONDAGGIO S2 – PROVE SPT ESEGUITE IN FORO

Profondità (m p.c.)	Livello stratigrafico	N SPT
1.00	Terreno di riporto	12
2.00	Terreno di riporto	9
3.00	Terreno di riporto	22
4.00	Sabbia fine limosa	4
5.00	Sabbia fine	2
6.00	Sabbia fine	7
7.00	Sabbia fine	12
8.00	Sabbia fine	12
9.00	Sabbia sciolta con ghiaia medio fine	40
10.00	Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa	26
11.00	Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa	16
12.00	Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa	41
13.00	Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa	31
14.00	Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa	36
15.00	Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa	25

TAB. 6.4: SONDAGGIO S3 – PROVE SPT ESEGUITE IN FORO

Profondità (m p.c.)	Livello stratigrafico	N SPT
1.00	Sabbia fine limosa	2

Profondità (m p.c.)	Livello stratigrafico	N SPT
2.00	Sabbia fine	2
3.00	Sabbia fine	3
4.00	Limo	2
5.00	Sabbia sciolta con ghiaia medio fine	22
6.00	Sabbia sciolta con ghiaia medio fine	22
7.00	Sabbia sciolta con ghiaia medio fine	15
8.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	8
9.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	28
10.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	40
11.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	32
12.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	33
13.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	23
14.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	30
15.00	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa	37

6.2. Indagine MASW

Sono riportati di seguito i risultati dei due stendimenti eseguiti.

I valori di Vs30 sono risultati essere:

- Stendimento 1: Vs30 = 248 m/s;
- Stendimento 2: Vs30 = 247 m/s.

I certificati di prova sono riportati nelle figure che seguono.

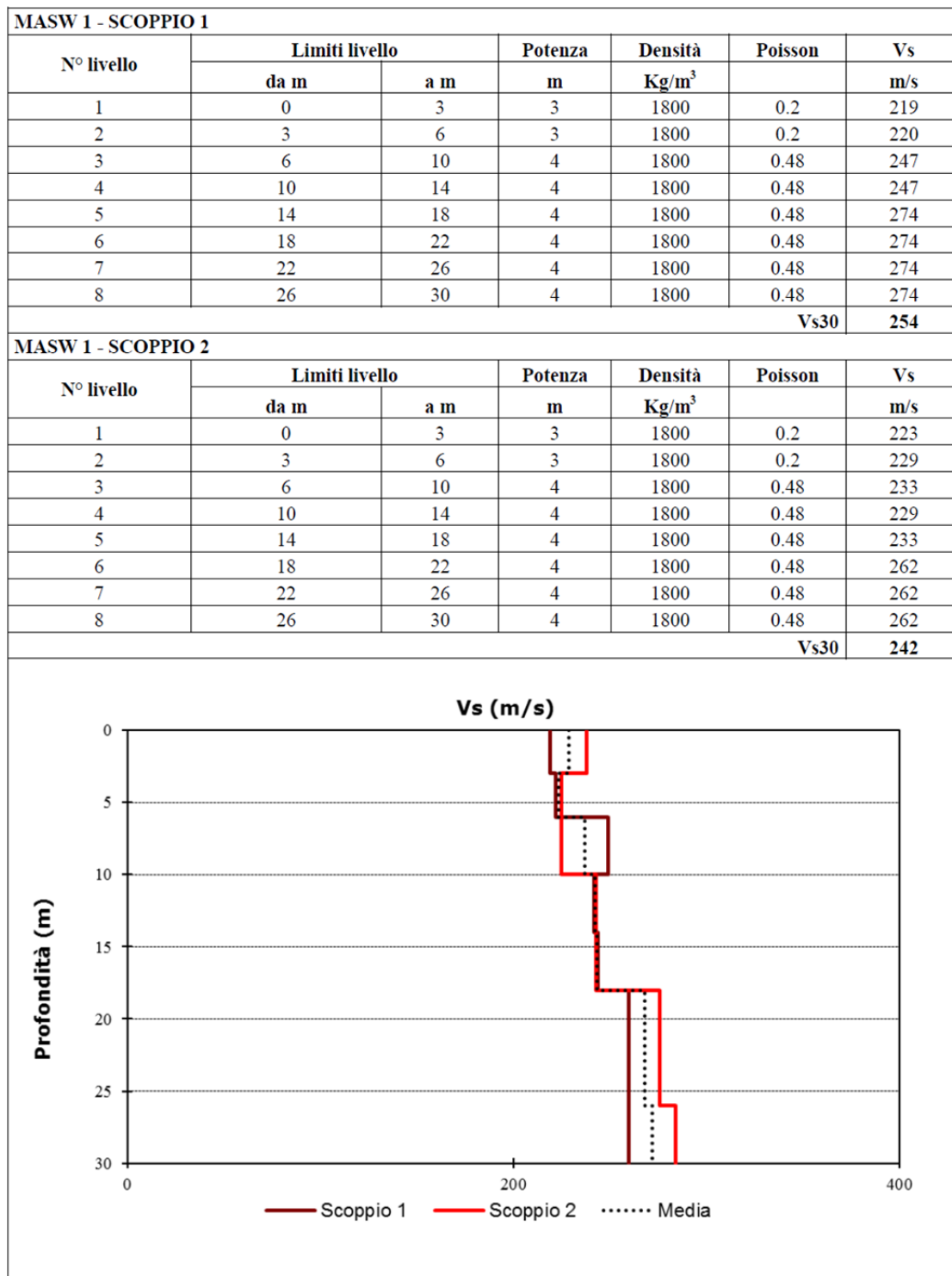


FIG. 6.4 - RISULTATI MASW – STENDIMENTO N. 1

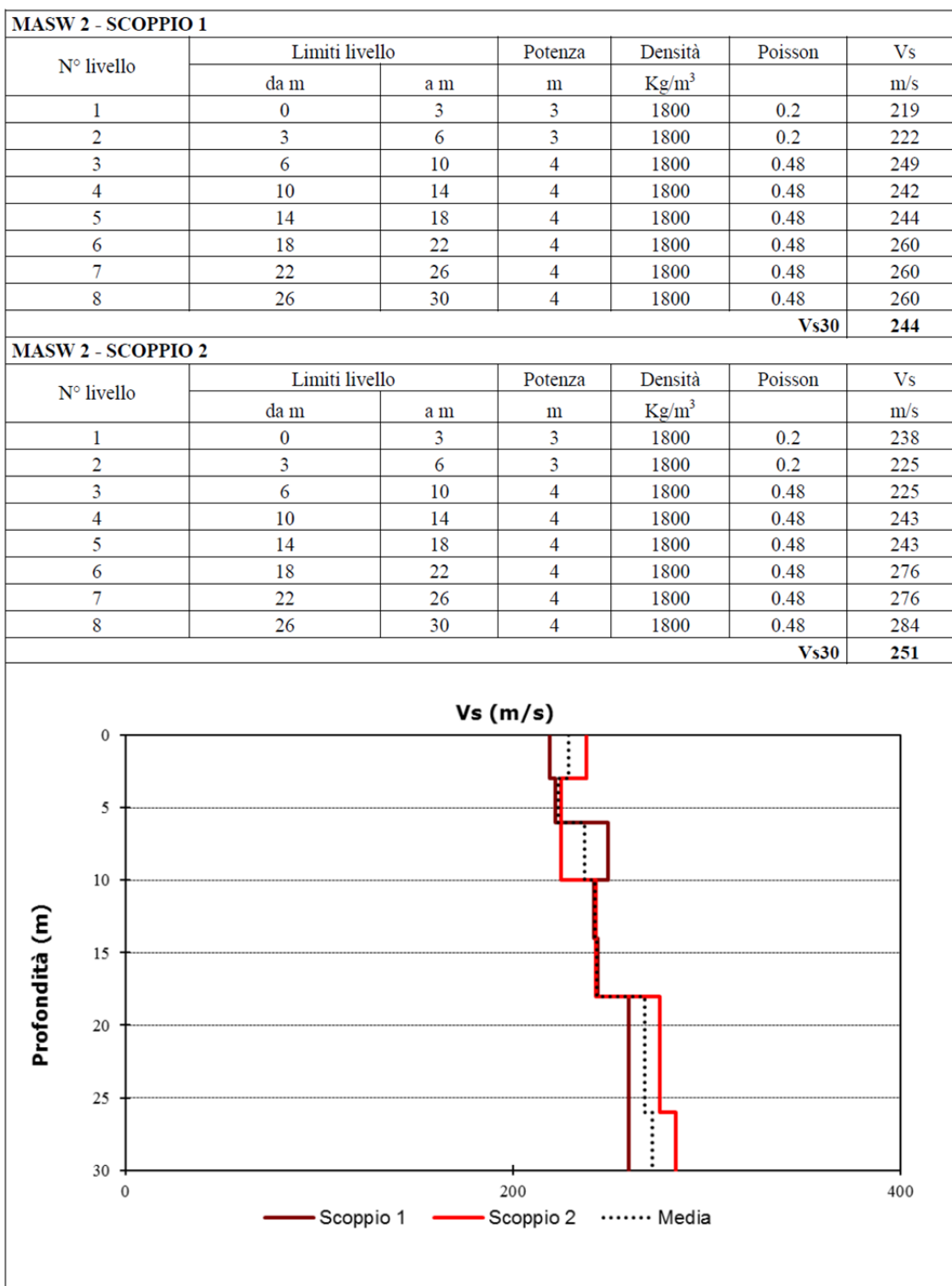



FIG. 6.5 - RISULTATI MASW – STENDIMENTO N. 2

 GRUPPO AMAG Alessandria ITALIA	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 20
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

Con riferimento alle categorie di suolo di fondazione definite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni il terreno si trova ad essere di categoria C.

6.3. Prova Lefranc

La prova tipo Lefranc è stata eseguita nel sondaggio S3 interessando un tratto di prova compreso tra i 8.25 e – 8.65 metri dal piano campagna.

La permeabilità del livello III, indagato dalla prova, è risultata essere di 10^{-5} m/s.

6.4. Considerazioni finali


Le indagini svolte risultano tra loro congruenti e restituiscono un panorama stratigrafico sufficientemente chiaro e dettagliato da consentire la progettazione geotecnica delle opere.

Le informazioni raccolte integrano e confermano anche il panorama fornito dalle indagini a base del progetto preliminare risultando con esse congruenti e coerenti.

Nel capitolo 7 che segue si descrivono le modalità con cui vengono interpretate le prove penetrometriche dinamiche SPT.

Nel capitolo 8 si fornisce la descrizione della stratigrafia dei terreni di fondazione così come ricavata dalle indagini eseguite e dalle informazioni pregresse.

Nel capitolo 10, infine, si forniranno le caratteristiche di resistenza e deformabilità dei vari strati da utilizzare nei calcoli.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 21
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

7. INTERPRETAZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA: METODOLOGIA IMPIEGATA

Dalle indagini eseguite risulta chiaro che i terreni di fondazione presenti nell'area del depuratore sono i seguenti:

1. Riporto;
2. Sabbia fine limosa / Limo sabbioso
3. Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa e limosa da sciolta a mediamente addensata.

Ai fini dell'interpretazione delle prove penetrometriche tutti i terreni vengono considerati terreni granulari.

L'interpretazione viene condotta secondo i criteri sotto riportati.

Correzione del valore di SPT per la profondità/tensione di confinamento

A parità di caratteristiche geotecniche dei terreni indagati la resistenza alla penetrazione è funzione della tensione efficace di confinamento agente, cioè della profondità.

Alcune delle correlazioni che si utilizzano introducono la normalizzazione del numero di colpi NSPT riferendoli ad una tensione di riferimento di 1 atmosfera=101.3kPa.

Il fattore di normalizzazione utilizzato è il seguente:

$$C_N = \left[\frac{Pa}{\sigma_{v0}} \right]^m$$

Con $m = 0.5$ Liao-Whitman (1986).

Si ricava, quindi, a partire dal valore di NSPT riferito ad valore di energia trasmessa pari al 60% e chiamato N_{60} , il valore di NSPT normalizzato identificato dal pedice 1, $N_{1(60)}$:

$$N_{1(60)} = C_N \cdot N_{60}$$

Densità relativa (Terzaghi-Peck)

La relazione vale per sabbie normal consolidate aventi densità relativa superiore al 35%. Si considera:


$$Dr = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_d}}$$

dove:

$C_d = 55$ per sabbie fini;

$C_d = 65$ per sabbie grosse.

Nel caso in esame si tratta o di depositi limoso-sabbiosi o di ghiaie, quindi la relazione non è valida in senso stretto per nessuno dei due casi.

 TECERRE	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 22
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

Volendo comunque avere una stima della densità relativa dei terreni, si sceglie di adottare per livello di limo sabbioso $C_d = 40$ e per le ghiaie $C_d = 75$.

Angolo di resistenza al taglio (Schmertmann, 1975)

La correlazione è un'equazione diretta tra il valore di N_{60} e l'angolo di resistenza al taglio ϕ' :


$$\phi' = \tan^{-1} \left[\frac{N_{60}}{\left(12.2 + 20.3 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{Pa} \right)} \right]^{0.34}$$

Modulo elastico dei terreni (Stroud, 1989)

La correlazione proposta da Stroud (1989) ha derivato da back-analysis di fondazioni superficiali, pali e prove di carico la variazione del rapporto E/N_{60} in funzione del livello di mobilitazione della resistenza al taglio q_{NET}/q_{ULT} , ovvero in funzione del reciproco del fattore di sicurezza.

Il grafico seguente, Fig. 7.1, mostra come la relazione dipenda dal grado di sovraconsolidazione, ma in maggior modo dal grado di mobilitazione della resistenza.

Nel caso in esame, trattandosi di vasche che hanno fattori di sicurezza elevati e quindi gradi di mobilitazione bassi, per i cedimenti in esercizio si valuta il modulo elastico adottando un rapporto $E/N_{60} = 2$.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 23
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

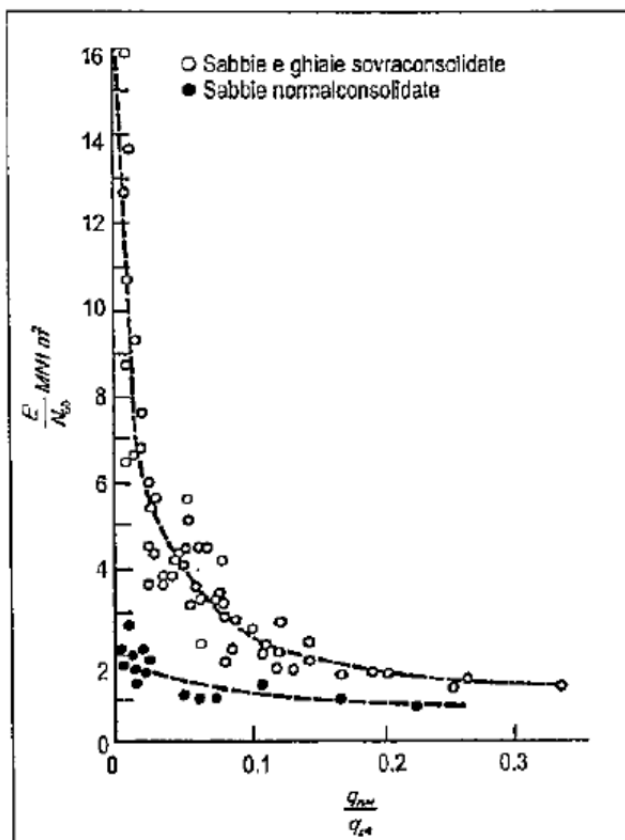



FIG. 7.1 - RELAZIONE FRA DEFORMABILITÀ, RESISTENZA ALLA PENETRAZIONE E GRADI APPLICAZIONE DEL CARICO (q_{net}/q_{ult}) PER SABBIE (DA STROUD, 1989)

 TECENITAL	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 24
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

8. INTERPRETAZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA: RISULTATI DELL'INTERPRETAZIONE

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle interpretazioni delle prove SPT presentate al capitolo 6 utilizzando le correlazioni riportate al capitolo 7.


I risultati vengono presentati con riferimento alle singole caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni presentate per ogni singola verticale di indagine.

8.1. Stima della densità relativa dei terreni

La Fig. 8.1 riporta i risultati dell'interpretazione delle prove finalizzate alla stima della densità relativa.

La tabella che segue sintetizza i risultati ottenuti ed i valori finali assunti nella caratterizzazione meccanica:

Livello stratigrafico	S1	S2	S3	Valore assunto
Riporto	45%	60%	35%	40%
Sabbia fine limosa / Limo sabbioso	30%	30%	40%	30%
Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa-limosa	64%	56%	52%	60%

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 25
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

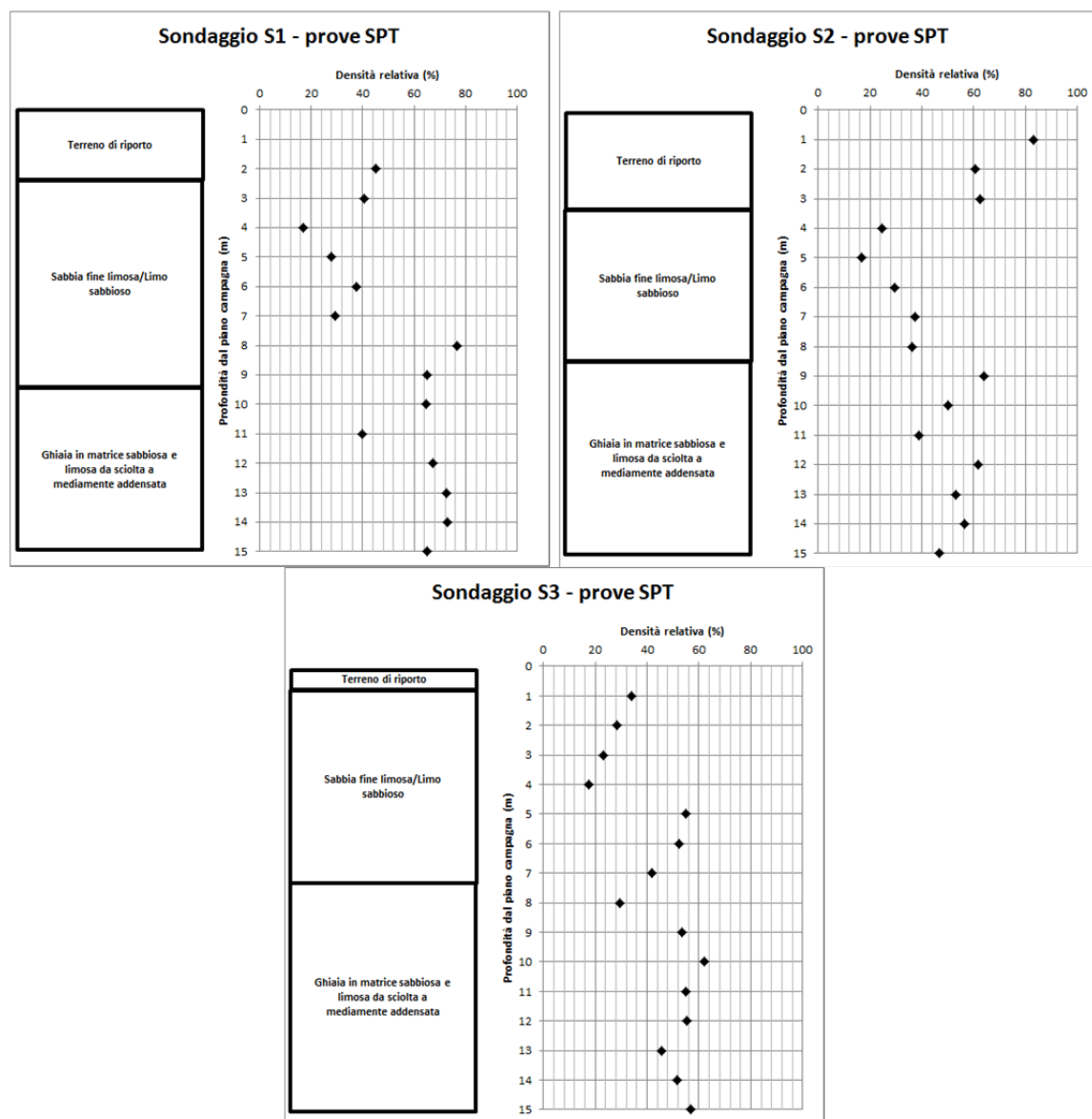


FIG. 8.1 - INTERPRETAZIONE DELLE PROVE SPT – STIMA DENSITÀ RELATIVA

8.2. Stima dell'angolo di resistenza al taglio

La Fig. 8.2 riportano i risultati dell'interpretazione delle prove finalizzate alla stima dell'angolo di resistenza al taglio. La tabella che segue sintetizza i risultati ottenuti:

Livello stratigrafico	S1	S2	S3	Valore assunto
Riporto	32°	40°	-	30°
Sabbia fine limosa / Limo sabbioso	30°	32°	26°	32°
Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa- limosa	38°	38°	40°	38°

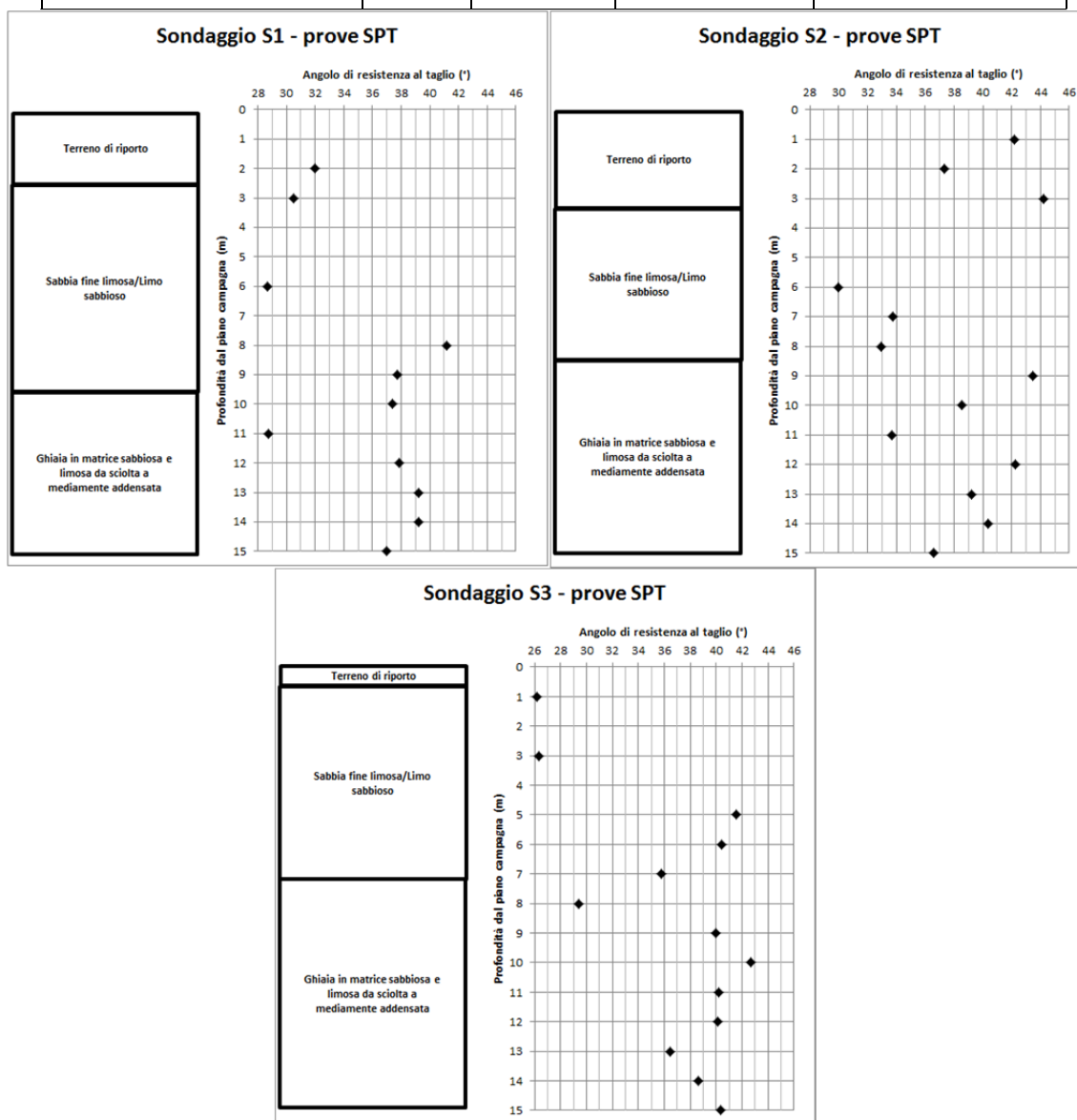


FIG. 8.2 - INTERPRETAZIONE DELLE PROVE SPT – STIMA ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO

8.3. Stima del modulo elastico

La Fig. 8.3 riporta i risultati dell'interpretazione delle prove finalizzate alla stima del modulo elastico. La tabella che segue sintetizza i risultati ottenuti:

Livello stratigrafico	S1	S2	S3	Valore assunto
Riporto	40 MPa	20 MPa	-	20 MPa
Sabbia fine limosa / Limo sabbioso	5 MPa	15 MPa	4 MPa	5 MPa
Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa- limosa	50 MPa	60 MPa	60 MPa	60

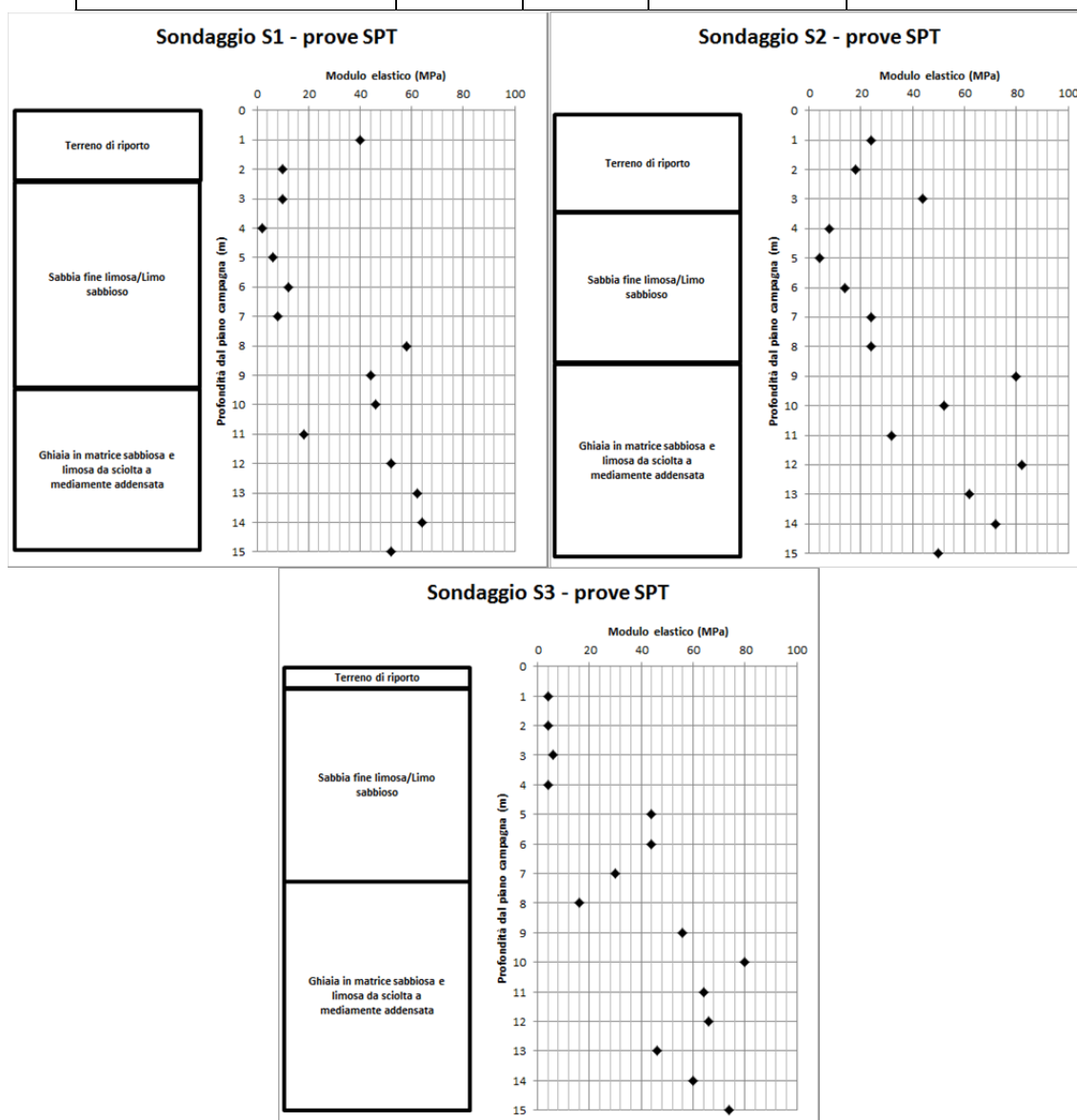



FIG. 8.3 - INTERPRETAZIONE DELLE PROVE SPT – STIMA MODULO ELASTICO

 GRUPPO AMAG Alessandria ITALIA	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 28
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

9. STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO PER L'AREA DI PROGETTO

Le indagini integrative svolte hanno permesso da un lato di confermare le informazioni che erano a disposizione per il Progetto Preliminare e dall'altra hanno consentito di integrarle andando a completare lo scenario esistente.

In particolare le indagini hanno consentito di caratterizzare i terreni di fondazione presenti all'interno del volume significativo di terreno che interagisce con le opere stesse.

La stratigrafia dei terreni nell'area di progetto è sostanzialmente costituita da 3 livelli stratigrafici:


1. Livello I: Terreno di riporto. Presente da 0 a 2.5 metri dal p.c.;
2. Livello II: Sabbia fine limosa/limo sabbioso. Presente da 2.5 a 8.5 metri dal p.c.;
3. Livello III: Ghiaia in matrice sabbiosa e limosa. Presente da 8.5 metri a fine sondaggio.

La superficie freatica è stata individuata attorno ai 10 metri di profondità dal piano campagna.

Le indagini MASW hanno consentito di classificare il terreno di fondazione, ai sensi delle NTC 2008, come di categoria C. Le velocità $V_{s,30}$ misurate infatti sono infatti di 248 m/s.

Vista la tipologia delle opere le quote di imposta del piano di fondazione sono tali da far sì che le vasche interagiscano, dal punto di vista geotecnico, con il solo livello II, ovvero le sabbie limose e limi sabbiosi. Anche la profondità della falda è, in generale, tale da non interagire con gli scavi. Fa eccezione la stazione di sollevamento per la quale il livello di falda misurato risulta essere 50 cm al di sopra del fondo scavo.

Nel capitolo 11 si forniranno ulteriori dettagli per le varie opere da realizzare.

 TECENITAL	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 29
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

10. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

In questo capitolo si forniscono le caratteristiche fisiche meccaniche dei livelli stratigrafici descritti al capitolo precedente.

La caratterizzazione è ottenuta in funzione delle informazioni pregresse disponibili e di quelle ricavate con l'indagine integrativa svolta per il Progetto Definitivo.

Come discusso al capitolo precedente le opere si trovano ad interagire principalmente con il livello II.

Vista la natura dei terreni si forniscono i parametri di resistenza in tensioni efficaci.


La tabella che segue riporta le caratteristiche meccaniche non solo del livello II, ma anche degli altri livelli stratigrafici individuati.

TAB. 10.1: CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Livello	γ KN/m ³	DR %	c' KPa	ϕ' °	E MPa	E _{UR} MPa
I	18	40	–	30	20	100
II	18.5	30	–	32	5	50
III	18	60	–	38	60	180

L'ultima colonna della tabella precedente fornisce i valori dei moduli elastici in condizioni di scarico-ricarico: essi saranno di riferimento nel calcolo dei cedimenti per tutte le situazioni nelle quali il peso del terreno scavato sia superiore alle tensioni scaricate dalle opere in fondazione.

Per il riporto, considerata la sua granulometria, il modulo di ricarico è stato valutato come 5 volte quello di primo carico, per il livello II, più fine, si è considerato 10 volte e infine per la ghiaia che lavora sostanzialmente in campo elastico si è optato per un modulo di ricarico 3 volte il modulo di primo carico.

 TECENITAL	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 30
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

11. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE CIRCA LE OPERE PREVISTE IN PROGETTO

Le opere previste in progetto sulle quali ci si concentra in questo capitolo sono le seguenti:

1. Vasca di decantazione finale;
2. Vasca per comparto biologico;
3. Comparto di grigliatura e sollevamento iniziale.

11.1. Vasca di decantazione finale

Si tratta di una vasca circolare in calcestruzzo armato aventi diametro 30 m. Per la loro realizzazione è previsto un scavo generale a 3.5 metri dal piano campagna.

La stratigrafia dei terreni di fondazione è quella ricavata in corrispondenza del sondaggio S1, ovvero:

- Da 0 a 2.2 m dal p.c.: Livello I - Riporto ;
- Da 2.2 a 8.1 m dal p.c.: Livello II – Sabbia fine limosa/limoso sabbioso;
- Da 8.1 a 15 m dal p.c.: Livello III - Ghiaia in matrice sabbiosa e limosa.

Lo scavo di 3.5 metri interessa interamente il livello I e parzialmente il livello II, mentre il bulbo di pressioni trasferito dalla vasca al terreno interessa i livelli II e III.

Considerando il livello di falda lo scavo avverrà totalmente all'asciutto.

Dal punto di vista dei cedimenti, lo scarico tensionale prodotto dallo scavo di 3.5 metri di terreno è pari a circa:

$$\Delta\sigma = 3.5 \text{ m} \times 19 \text{ KN/m}^3 = 66.5 \text{ kPa.}$$

La tensione efficace trasmessa in fondazione, data dal peso della vasca e dei liquami in essa contenuta, è pari a circa 50 KPa, pertanto esso si trova ad agire in totale ricomprensione.

Segue quindi che non vi sono problemi di capacità portante in fondazione in quanto il peso della vasca recupera (solo in parte peraltro) il peso del terreno rimosso.


Per quanto concerne i cedimenti considerando che tutti i terreni si trovano in condizioni di ricarico, ovvero reagiscono secondo il modulo elastico di scarico-ricarico riportato in Tab. 10.1, si ottiene un cedimento pari a: $w = 60 \text{ kPa} / 50 \text{ MPa} \times 4.6 \text{ m} = 5.5 \text{ mm}$ per il solo livello II e altri 8 mm per la restante stratigrafia che interagisce con l'opera. Il cedimento finale è dunque dell'ordine dei 14 mm, valore pienamente compatibile con le opere.

11.2. Comparto biologico

Si tratta di vasche rettangolari in calcestruzzo armato aventi le seguenti dimensioni:

- Base = 19.2 metri,
- Lunghezza = 33.6 metri.

Il piano di imposta della fondazione è previsto a circa 6 metri dal piano campagna.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 31
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

La stratigrafia dei terreni di fondazione è quella ricavata in corrispondenza del sondaggio S2, ovvero:

- Da 0 a 3.2 m dal p.c.: Livello I - Riporto ;
- Da 3.2 a 8.2 m dal p.c.: Livello II – Sabbia fine limosa/limoso sabbioso;
- Da 8.2 a 15 m dal p.c.: Livello III - Ghiaia in matrice sabbiosa e limosa.

Lo scavo di 6 metri interessa interamente il livello I e parte del livello II, mentre il bulbo di pressioni trasferito dalla vasca al terreno interessa sia il livello II che il III.

Il fondo scavo risulta essere superiore al livello di falda, pertanto lo scavo avverrà all'asciutto.

Lo scarico tensionale prodotto dallo scavo di 6 metri di terreno è pari a circa:

$$\Delta\sigma = 6 \text{ m} \times 19 \text{ KN/m}^3 = 114 \text{ kPa.}$$

La tensione efficace trasmessa in fondazione, data dal peso della vasca e dei liquami in essa contenuta, è pari a circa 95 KPa, pertanto esso si trova ad agire praticamente in ricomprensione.

Segue quindi che non vi sono problemi di capacità portante in fondazione in quanto il peso della vasca recupera il peso del terreno rimosso.

Per quanto concerne i cedimenti considerando che tutti i terreni si trovano in condizioni di ricarico, ovvero reagiscono secondo il modulo elastico di scarico-ricarico riportato in Tab. 10.1, si ottiene un cedimento pari a: $w = 95 \text{ kPa} / 50 \text{ MPa} \times 2.2 \text{ m} = 4 \text{ mm}$ per il solo livello II e altri 9 mm per la restante stratigrafia che interagisce con l'opera. Il cedimento finale è dunque dell'ordine dei 13 mm, valore pienamente compatibile con le opere.

11.3. Comparto di grigliatura e sollevamento iniziale

Si tratta di una struttura scatolare in calcestruzzo armato avente le seguenti dimensioni:

- Base = 9 metri,
- Lunghezza = 18 metri.


Il piano di imposta della fondazione è previsto a circa 6 metri dal piano campagna.

La stratigrafia dei terreni di fondazione è quella ricavata in corrispondenza del sondaggio S3, ovvero:

- Da 0 a 0.4 m dal p.c.: Livello I - Riporto ;
- Da 0.4 a 5.10 m dal p.c.: Livello II – Sabbia fine limosa/limoso sabbioso;
- Da 5.10 a 15 m dal p.c.: Livello III - Ghiaia in matrice sabbiosa e limosa.

Lo scavo di 6 metri interessa interamente il livello I e il livello II, mentre il bulbo di pressioni trasferito dalla vasca al terreno interessa solo il livello III.

Il fondo scavo risulta essere inferiore al livello di falda di circa 50 cm. Visto l'esiguo battente non si ritiene di dover mettere in opera particolari accorgimenti per gestire la falda. Si potrà gettare uno strato di magrone con spessore opportunamente maggiorato per gestire le eventuali sottospinte durante le fasi costruttive. Per le aree di scavo localmente più profonde si potrà utilizzare una pompa sommersa la cui portata di lavoro stimata è tra 1 e 5 l/s.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 32
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	


Lo scarico tensionale prodotto dallo scavo di 6 metri di terreno è pari a circa:

$$\Delta\sigma = 6 \text{ m} \times 19 \text{ KN/m}^3 = 114 \text{ kPa.}$$

La tensione efficace trasmessa in fondazione, data dal peso dell'opera è inferiore a tale limite, pertanto essa si trova ad agire praticamente in ricomprensione.

Segue quindi che non vi sono problemi di capacità portante in fondazione in quanto il peso della vasca recupera il peso del terreno rimosso.

Per quanto concerne i cedimenti considerando che tutti i terreni si trovano in condizioni di ricarico, ovvero reagiscono secondo il modulo elastico di scarico-ricarico riportato, si ottiene un cedimento massimo dell'ordine del centimetro, valore pienamente compatibile con le opere.

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 33
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

12. SISMICITÀ DEL SITO

Il comune di Alessandria è classificato, dal punto di vista sismico ai sensi dell'OPCM 3274/2003, come zona 3.

Dal sito dell'istituto nazionale di geofisica e vulcanologia è possibile ricavare l'accelerazione massima attesa su suolo rigido riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni così come mostrato nella figura che segue.

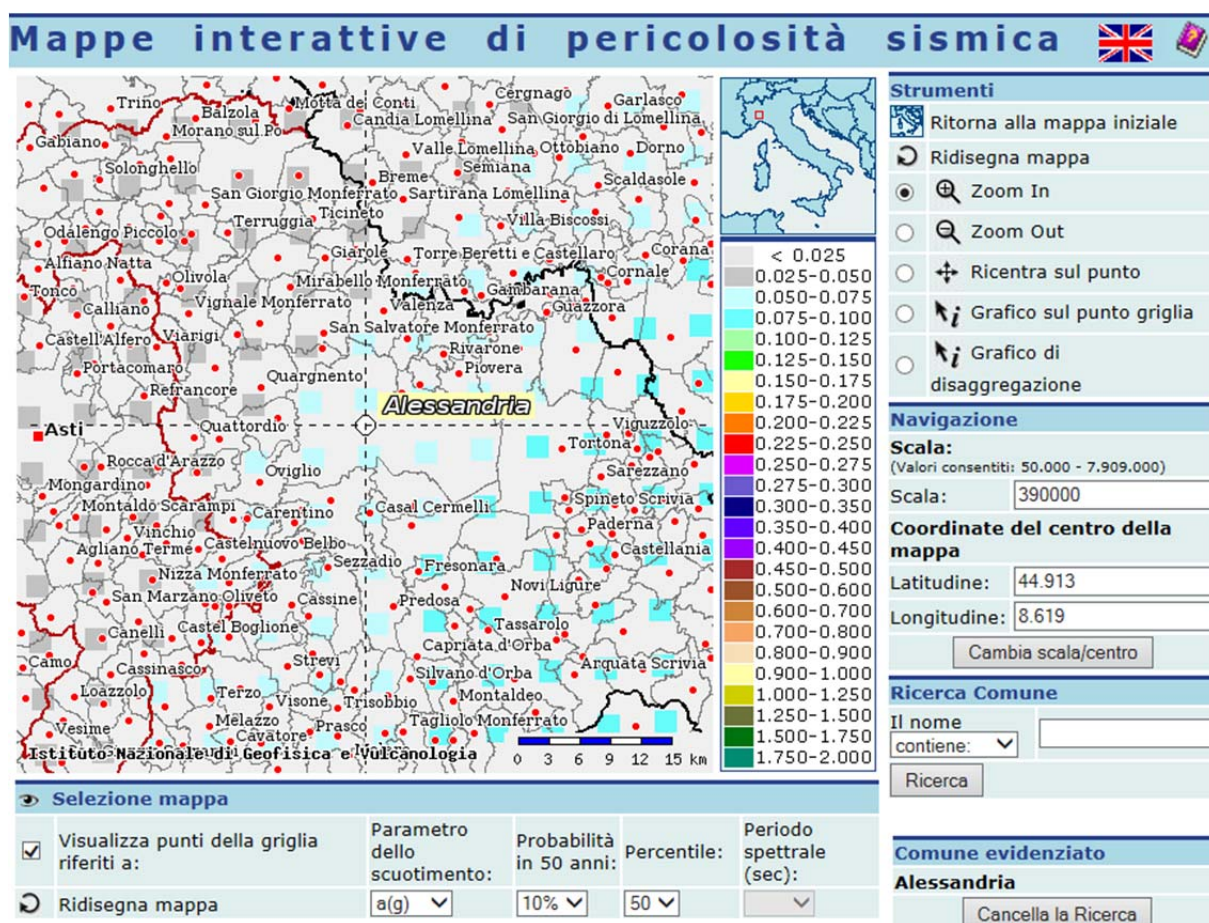



FIG. 12.1 - MAPPA INTERATTIVA DI PERICOLOSITÀ SISMICA RICAVATA DAL SITO DELL'INGV E RIFERITA AD UNA PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DEL 10% IN 50 ANNI

Si ottiene un'accelerazione su suolo rigido di 0.058 g che va poi amplificata del fatto stratigrafico opportuno.

Come accennato in precedenza, ad oggi, non vi sono informazioni circa la classificazione sismica dei terreni di fondazione e cautelativamente si sceglie di adottare una categoria C da confermare successivamente a seguito dell'indagine MASW prevista in questo report.

In tali condizioni l'accelerazione da utilizzare per il dimensionamento strutturale delle opere, con riferimento ad un tempo di ritorno di 475 anni, risulta essere:

	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 34
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

$$a_{g,max} = a_g \times S_S \times S_T$$

dove S_T è il fattore di amplificazione topografica assunto pari a 1 e S_S è il fattore di stratigrafia.

Il fattore S_S , per suolo di categoria C, è assunto pari a:

$$S_S = 1.7 - 0.6 \times F_0 \times a_g/g = 1.7 - 0.6 \times 2.561 \times 0.058 = 1.6.$$

In virtù di quanto indicato nella tabella 3.2.V delle NTC2008 il valore di S_S è limitato a 1.5.

Risulta quindi:


$$a_{g,max} = a_g \times S_S \times S_T = 0.058 \text{ g} \times 1.5 \times 1 = \mathbf{0.087 \text{ g}}$$

A chiusura di quanto riportato in questo capitolo si spendono due parole circa la suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione.

Il capitolo 7.11.3.4.2 delle Norme tecniche per le costruzioni individua i casi per i quali non è prevista la verifica a liquefazione.

Nel caso in esame si ricade al punto 2 della norma, ovvero l'accelerazione attesa è inferiore a 0.1 g.

In ottemperanza alla Norma, quindi, la verifica a liquefazione viene omessa.

 TECENITAL	Rev. 0	Data: Settembre 2016	El. II052P-PE-RG003	Pag. n. 35
	Rev.		RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	

13. CONCLUSIONI

Le informazioni pregresse a base del Progetto Preliminare e quelle raccolte con la campagna di indagine integrativa svolta per la progettazione definitiva delle opere hanno consentito di individuare la stratigrafia dei terreni di fondazione e di fornirne la caratterizzazione geotecnica.

In particolare, la stratigrafia dei terreni nell'area di progetto è sostanzialmente costituita da 3 livelli stratigrafici:

1. Livello I: Terreno di riporto. Presente da 0 a 2.5 metri dal p.c.;
2. Livello II: Sabbia fine limosa/limo sabbioso. Presente da 2.5 a 8.5 metri dal p.c.;
3. Livello III: Ghiaia in matrice sabbiosa e limosa. Presente da 8.5 metri a fine sondaggio.

La superficie freatica è stata individuata a 10 metri di profondità dal piano campagna.

Le indagini MASW hanno consentito di classificare il terreno di fondazione, ai sensi delle NTC 2008, come di categoria C.

Per quanto concerne i parametri geomeccanici dei terreni essi sono riassunti nella seguente tabella.

TAB. 13.1: CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Livello	γ KN/m ³	DR %	c' KPa	ϕ' °	E MPa	E_{UR} MPa
I	18	40	–	30	20	100
II	18.5	30	–	32	5	50
III	18	60	–	38	60	180

Dal punto di vista delle opere tutti gli scavi risultano essere all'asciutto tranne quelli per la stazione di sollevamento iniziale per i quali però il battente della falda risulta essere limitato e quindi facilmente gestibile. Per ogni vasca si ha che il peso di terreno rimosso per raggiungere il piano di imposta della fondazione è superiore allo scarico finale delle vasche stesse.

Questo elimina sia i problemi di capacità portante che di cedimento i quali risulteranno essere contenuti e nell'ordine del centimetro.