

S.G.C. E78 GROSSETO–FANO

Tratto Siena Bettolle (A1)

Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena–Ruffolo (Lotto 0)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI-81

R.T.I. di PROGETTAZIONE: Mandataria Mandante



PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzananza – Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Enrico Moretti – Erre.vi.a. srl
Ordine Ing. di Milano n. 16237

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Francesco Pisani



PROTOCOLLO

DATA

02 - Geologia e geotecnica

02.01 - Geologia

Relazione geologica

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GE01GEORE08C .pdf		
DPFI0081	D	20	CODICE ELAB. T00GE01GEORE08	C	-
D					
C	Revisione per riscontro al Mase in ambito di procedura VIA	Dicembre 2022	Vitiello	Mezzananza	Formichi
B	Revisione per istruttoria ANAS	Luglio 2021	Vitiello	Mezzananza	Formichi
A	Emissione	Ottobre 2020	Vitiello	Mezzananza	Formichi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	1
2	NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO	2
2.1	Normative e raccomandazioni tecniche	2
2.2	Elaborati di progetto definitivo	2
2.3	Documenti bibliografici	4
3	VINCOLI URBANISTICI VIGENTI	5
3.1	Vincoli comunali: Piano Strutturale Comunale di Siena	5
3.2	Vincoli di Bacino: Bacini Regionali Toscani e P.G.R.A.	6
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE	8
5	GEOLOGIA	10
5.1	Inquadramento geologico regionale	10
5.2	Caratterizzazione geologica di Progetto Preliminare	12
5.3	Litostratigrafia dei terreni in asse al tracciato	12
5.3.1	Depositi neogenici del versante tirrenico	15
5.3.2	Depositi olocenici.....	16
6	GEMORFOLOGIA	20
6.1	Inquadramento geomorfologico generale.....	20
6.2	Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).....	20
6.2.1	P.A.I. "Bacini Regionali Toscani"	20
6.2.2	P.A.I. "dissesti geomorfologici"	22
6.3	Geoportale Regione Toscana – Database geomorfologico	24
6.4	Inventario Fenomeni Franosi Italiani (I.F.F.I.) e piattaforma "IdroGEO"	25
6.5	Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) - Comune di Siena (2020)	26
6.6	Osservazione di foto aeree storiche e di immagini da drone	28
6.7	Cartografia dei fenomeni geomorfologici	32
6.7.1	Forme, processi e depositi gravitativi di versante	32
6.7.2	Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali	33
6.7.3	Forme, processi e depositi antropici	33
7	IDROGEOLOGIA	34
7.1	Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.): Units of Management "Ombrone"	34
7.2	Idrogeologia	35
7.2.1	Permeabilità dei terreni	35
7.2.2	Pozzi per acqua	37
7.2.3	Prove in sito: piezometri e livello piezometrico della falda	39
7.2.4	Modello idrogeologico di riferimento	41
7.3	Analisi chimiche sui campioni di acque sotterranee.....	42
7.3.1	Banca dati MAT Regione Toscana	44
8	SISMICITÀ	45
8.1	Sismicità dell'area	45
8.1.1	Zonazione sismogenetica	45
8.1.2	Sismicità storica.....	46
8.1.3	Classificazione sismica del territorio comunale.....	50
8.1.4	Strutture sismogenetiche	50
8.1.5	Faglie capaci.....	50
8.2	Caratterizzazione sismica per la progettazione	51
8.2.1	Stati limite nei confronti delle azioni sismiche	51
8.2.2	Periodo di riferimento per l'azione sismica	52
8.2.3	Parametri sismici	52
8.2.4	Categoria sismica dei suoli di fondazione.....	55
8.2.5	Verifica della suscettibilità a liquefazione.....	57
9	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO PER LA PROGETTAZIONE	65
9.1	Descrizione geologica del tracciato	68
9.1.1	Viadotto Tressa – carreggiata Est (L=236 m), viadotto Tressa – carreggiata Ovest (L=237 m) e Svincolo Cerchiaia	68
9.1.2	Galleria S. Lazzero - carreggiata Est (L=144 m, da p.k. 1+245 a p.k. 1+389), Galleria S. Lazzero - carreggiata Ovest (L=146 m, da p.k. 1+250 a p.k. 1+396)	69

9.1.3	Tratto compreso tra la Galleria San Lazzerò e il Viadotto Luglie	70
9.1.4	Viadotto Luglie – carreggiata Est (L=120 m), Viadotto Luglie – carreggiata Ovest (L=120 m)	70
9.1.5	Tratto compreso tra il Viadotto Luglie e il Viadotto Valli	70
9.1.6	Viadotto Valli – carreggiata Est (L=107 m), Viadotto Valli – carreggiata Ovest (L=107 m)	71
9.1.7	Area di servizio Esso tra il Viadotto Valli e il Viadotto Casone.....	71
9.1.8	Viadotto Casone - carreggiata Est (L=250 m), Viadotto Casone – carreggiata Ovest (L=254 m).....	71
9.1.9	Tratto compreso tra il Viadotto Casone e il Viadotto Ribucciano	73
9.1.10	Viadotto Ribucciano - carreggiata Est (L=256 m), Viadotto Ribucciano – carreggiata Ovest (L=253 m).....	73
9.1.11	Galleria Bucciano - carreggiata Est (L=177 m, da p.k. 3+677 a p.k. 3+854) - Galleria Bucciano – carreggiata Ovest (L=186 m, da p.k. 3+679 a p.k. 3+866)	73
9.1.12	Tratto compreso tra la galleria Bucciano e il Viadotto Riluogo.....	74
9.1.13	Viadotto Riluogo - carreggiata Est (L=440 m), Viadotto Riluogo – carreggiata Ovest (L=359 m) e Svincolo Ruffolo	74

10 ALLEGATI..... 76

10.1	Allegato 1 – Indagini geognostiche fornite dal Comune di Siena	76
10.2	Allegato 2 - Stratigrafie di pozzi fornite dal Comune di Siena.....	77

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la caratterizzazione geologica dei terreni interessati dalle opere previste nell'ambito dei lavori di realizzazione dell'infrastruttura denominata "S.G.C. E78 Grosseto-Fano – Tratto Siena Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena-Ruffolo (Lotto 0)", ubicata in comune di Siena (SI).

La relazione definisce i lineamenti geologici, geomorfologici e idrogeologici dell'area e delinea il modello geologico di riferimento per la progettazione definitiva degli interventi in progetto. La stesura di tale elaborato è stata supportata da tutta la documentazione bibliografica disponibile nonché dagli elaborati realizzati in fase di progettazione preliminare dal Comune di Siena (Direzione Territorio – Ufficio P.R.U.S.S.T.) per conto di ANAS S.p.A. nel 2012.

La presente progettazione definitiva ha per oggetto l'adeguamento da due a quattro corsie dell'infrastruttura denominata "S.G.C. E78 Grosseto-Fano, per una lunghezza di circa 5.4 km, nel tratto compreso tra la S.S. 223 di Paganico (svincolo di Cerchiaia) e la S.S.73 Senese-Aretina (svincolo di Ruffolo). La realizzazione dell'intervento, assimilabile ad una strada tipo extraurbano principale (tipo B, a carreggiate separate), prevede la realizzazione di due gallerie (Galleria S. Lazzerò, L=144 m e Galleria Bucciano, L=177 m) e di diversi viadotti: viadotto Tressa (L=236 m), viadotto Luglie (L=120 m), viadotto Valli (L=107 m), viadotto Casone (L=250 m), viadotto Ribucciano (L=256 m) e viadotto Rilugo (L=440 m).

L'infrastruttura in oggetto, indicata nella **Figura 1** sottostante, risulta ubicata nella zona centrale della Toscana, ricadendo in territorio comunale di Siena e a sud-est del centro abitato. Il suo tracciato si sviluppa in direzione circa E-W, con la nuova carreggiata Ovest (direzione Fano-Grosseto), a due corsie, che sostituisce l'attuale piattaforma stradale della E78 a unica carreggiata e doppio senso di marcia e la nuova carreggiata Est (direzione Grosseto-Fano) che affianca, pochi metri più a sud, il tracciato esistente.

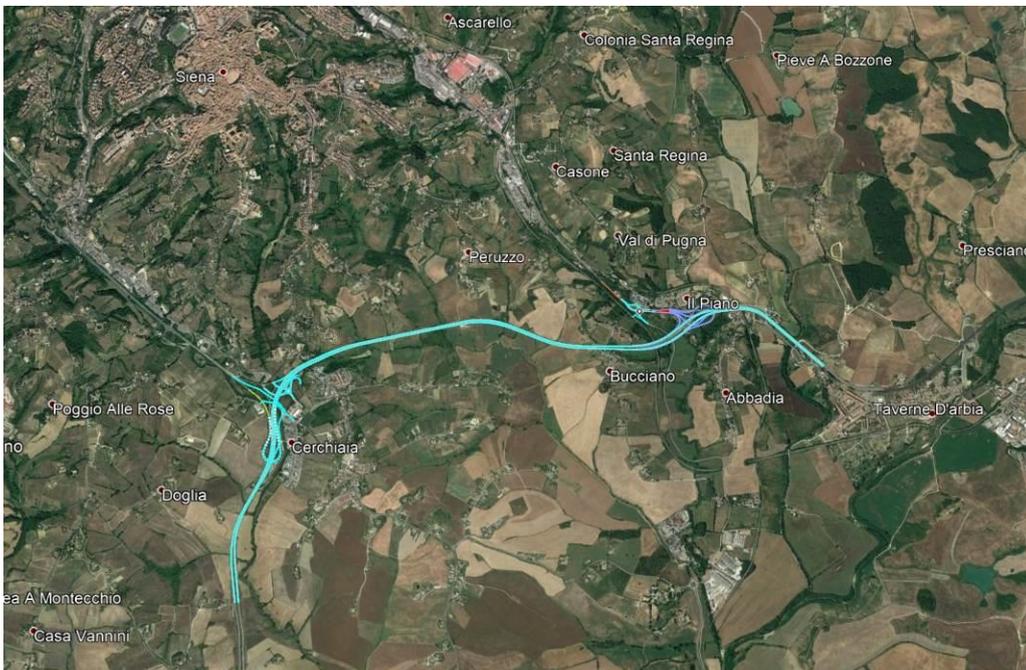


Figura 1 – Inquadramento dell'area di progetto: in celeste il tracciato in esame

2 NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni tecniche

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito sono eseguite in conformità alla normativa vigente (**D.M. 17.01.2018** "Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni") che definisce i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle loro prestazioni richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e portanza.

Nello specifico si fa esplicito riferimento a quanto riportato al paragrafo 6.1.2 delle N.T.C. 2018 secondo il quale *"le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese dalle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, devono essere esposti in una specifica relazione geologica."*

Il modello geologico definito è inoltre elemento di riferimento in ambito di progettazione per l'inquadramento delle problematiche geotecniche e per la definizione del programma di indagini, per i quali si rimanda all'elaborato **T00_GE04_GET_RE01_B** - "Relazione geotecnica generale" per maggiori dettagli.

2.2 Elaborati di progetto definitivo

Geologia

- **T00_GE01_GEO_RE01_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Indagini in sito"
- **T00_GE01_GEO_RE02_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Indagini geofisiche"
- **T00_GE01_GEO_RE03_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Prove geotecniche di laboratorio"
- **T00_GE01_GEO_RE04_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Indagini in sito"
- **T00_GE01_GEO_RE05_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Indagini geofisiche"
- **T00_GE01_GEO_RE06_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Prove geotecniche di laboratorio"
- **T00_GE01_GEO_RE07_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Analisi chimiche di laboratorio"
- **T00_GE01_GEO_PU01_C** - "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 1/3"
- **T00_GE01_GEO_PU02_C** - "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 2/3"
- **T00_GE01_GEO_PU03_C** - "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 3/3"
- **T00_GE01_GEO_CG01_B** - "Carta geologica generale"
- **T00_GE01_GEO_CG02_B** - "Carta geologica di dettaglio – Tav. 1/3"
- **T00_GE01_GEO_CG03_B** - "Carta geologica di dettaglio - Tav. 2/3"
- **T00_GE01_GEO_CG04_B** - "Carta geologica di dettaglio - Tav. 3/3"
- **T00_GE01_GEO_CG05_B** - "Carta geomorfologica - Tav. 1/3"
- **T00_GE01_GEO_CG06_B** - "Carta geomorfologica – Tav. 2/3"

- T00_GE01_GEO_CG07_B - "Carta geomorfologica – Tav. 3/3"
- T00_GE01_GEO_CI01_B - "Carta idrogeologica – Tav. 1/3"
- T00_GE01_GEO_CI02_B - "Carta idrogeologica – Tav. 2/3"
- T00_GE01_GEO_CI03_B - "Carta idrogeologica – Tav. 3/3"
- T00_GE01_GEO_FG01_C - "Profilo geologico Asse Principale – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG02_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Tressa – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG03_C - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Cerchiaia – Tav.1/2"
- T00_GE01_GEO_FG12_B - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Cerchiaia – Tav.2/2"
- T00_GE01_GEO_FG04_C - "Planimetria e profilo geologico Galleria San Lazzero – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG05_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Luglie – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG06_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Valli – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG07_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Casone – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG08_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Ribucciano – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG09_C - "Planimetria e profilo geologico Galleria Bucciano – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG10_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Riluogo – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG11_C - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Ruffolo – Tav.1/2"
- T00_GE01_GEO_FG13_B - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Ruffolo – Tav.2/2"
- T00_GE01_GEO_SG01_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 1/4"
- T00_GE01_GEO_SG02_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 2/4"
- T00_GE01_GEO_SG03_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 3/4"
- T00_GE01_GEO_SG04_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 4/4"

Gestione materie

- T00_GE02_GEO_RE01_B - "Piano di Utilizzo terre e rocce da scavo – Relazione tecnica"

Geotecnica

- T00_GE03_GET_RE01_B - "Relazione geotecnica generale"
- T00_GE03_GET_FG01_B - "Profilo geotecnico asse principale – Carreggiata Est - Tav. 1/3"
- T00_GE03_GET_FG02_B - "Profilo geotecnico asse principale – Carreggiata Est - Tav. 2/3"
- T00_GE03_GEO_FG03_B - "Profilo geotecnico asse principale – Carreggiata Est - Tav. 3/3"
- T00_GE03_GEO_FG04_B - "Profilo geotecnico Viadotto Tressa – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG05_B - "Profilo geotecnico Rami Svincolo Cerchiaia"
- T00_GE03_GEO_FG06_B - "Profilo geotecnico Viadotto Luglie – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG07_B - "Profilo geotecnico Viadotto Valli – Carreggiata Est"

- T00_GE03_GEO_FG08_B - "Profilo geotecnico Viadotto Casone – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG09_B - "Profilo geotecnico Viadotto Ribucciano – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG10_B - "Profilo geotecnico Viadotto Riluogo – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG11_B - "Profilo geotecnico Rami Svincolo Ruffolo"

Sismica

- T00_GE04_GET_RE01_A - "Relazione sismica"
- T00_GE04_GET_PL01_B - "Planimetria con classificazione sismica del territorio"

2.3 Documenti bibliografici

Comune di Siena – Piano Operativo e Variante di aggiornamento del Piano Strutturale – Del. C.C. n.58 del 19.05.2020 – Studi geomorfologici, idraulici e sismici.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A.), Servizio Geologico d'Italia - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000* – Foglio CARG 297 Asciano e note illustrative.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A.), Inventario Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.) – IdroGEO: "Piattaforma italiana sul dissesto idrogeologico" – *Pericolosità e rischio; Inventario Frane IFFI*.

S.I.T. – Sistema Informativo Territoriale – Regione Toscana – Banca Dati Geomorfologica della Regione Toscana – *Specifiche tecniche per la strutturazione, la codifica e l'acquisizione digitale delle cartografie della banca dati geomorfologica della Regione Toscana*).

Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale - Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.): *Bacino Regionale Toscana* – Cartografia web-gis e Norme di Piano.

Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale - Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.): *"P.A.I. "dissesti geomorfologici"* – Cartografia web-gis, Relazione di Piano e Disciplina di Piano.

Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale - Piano Gestione Rischi Alluvioni (P.G.R.A.): *Units of Management "Ombrone"* – Cartografia web-gis e Relazione di Piano.

Sistema Informativo Territoriale – Provincia di Siena – *"Consorzio terre cablate"*; informazioni di pianificazione relativi alla gestione del territorio provinciale di Siena mediante cartografie web-gis.

ANAS S.p.A. – Comune di Siena: Direzione Territorio - *E78 Grosseto-Fano "Adeguamento a 4 corsie del tratto compreso tra lo svincolo con la Siena-Firenze (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle) – Lotto 0* – Progetto Preliminare (2012).

3 VINCOLI URBANISTICI VIGENTI

3.1 Vincoli comunali: Piano Strutturale Comunale di Siena

In ambito di progettazione preliminare, per ciò che concerne gli strumenti urbanistici, si è fatto riferimento al P.S.C. del comune di Siena 2007, che individuava nella Relazione Generale al Punto 1.4.4. il presente progetto come "necessità infrastrutturale" in quanto il "Lotto 0" raccorderà la sede stradale Siena-Grosseto con la sede stradale Siena-Bettolle.

Ad oggi, il P.S.C. di Siena è stato aggiornato con il **Piano Operativo e Variante di aggiornamento del Piano Strutturale**, adottato con Del. C.C. n.58 del 19/05/2020.

Il nuovo e vigente regolamento urbanistico (cfr. Progetto Urbanistico – Relazione illustrativa) individua, all'interno del progetto di piano operativo, l'opera del "Lotto 0" come intervento tra quelli "non marginali o non ricorrenti, insomma singolari e che possiedono una peculiare rilevanza [...] per il miglioramento delle prestazioni delle funzioni di interesse pubblico e/o collettivo", ovvero anche quegli interventi che consistono nella modifica di intersezioni viarie per il miglioramento della sicurezza stradale e adeguamenti stradali atti a risolvere alcuni nodi particolarmente critici dal punto di vista dei flussi di traffico, come nel caso del progetto in esame, dove è prevista una generale riconfigurazione della viabilità.

La Relazione Geologica di Fattibilità, disponibile nel Piano Operativo F.01 del nuovo P.S.C. di Siena (2020), assegna diversi livelli di fattibilità delle principali opere previste nel territorio comunale senese articolandole, in particolare, su diverse tavole cartografiche e secondo le seguenti classificazioni:

Fattibilità in relazione agli aspetti geologici

- *Classe G1: Fattibilità senza particolari limitazioni*
- *Classe G2: Fattibilità con normali vincoli*
- *Classe G3: Fattibilità condizionata*
- *Classe G4: Fattibilità limitata*

Fattibilità in relazione agli aspetti sismici

- *Classe FS1: Fattibilità senza particolari limitazioni*
- *Classe FS2: Fattibilità con normali vincoli*
- *Classe FS3: Fattibilità condizionata*
- *Classe FS4: Fattibilità limitata*

Fattibilità in relazione agli aspetti idraulici

- *Classe FI1: Fattibilità senza particolari limitazioni*
- *Classe FI2: Fattibilità con normali vincoli*
- *Classe FI3: Fattibilità condizionata*
- *Classe FI4: Fattibilità limitata*

Le fattibilità degli interventi previsti sul territorio comunale sono descritte in estratti in formato A3 in scala 1:2000 o 1:5000, in coerenza con le relative tavole urbanistiche, ai quali sono allegati le rispettive schede di fattibilità che riassumono le prescrizioni, i vincoli e i condizionamenti per l'attuazione dell'intervento in merito alle diverse classi di fattibilità delle aree attraversate. Tra gli interventi previsti è indicata anche l'infrastruttura in oggetto, denominata nel P.S.C. "Raddoppio della E78 Grosseto-Fano, tratto II Siena-Bettolle – Siena-Ruffolo, "Lotto zero" oggetto delle schede relative agli interventi n°54, n°56 e n°66.

L'adeguamento del tracciato stradale nonché le nuove opere, gallerie, viadotti e rilevati, ricadono in aree classificate con *fattibilità geologica FG2* (con normali vincoli) e *FG3* (condizionata), *fattibilità sismica FS2* (con normali vincoli) e, da un punto di vista idraulico, la fattibilità varia da *I1* (fattibilità senza particolari limitazioni) nei tratti collinari a *I3* (fattibilità condizionata) e *I4* (fattibilità limitata) nei tratti in viadotto che attraversano i corsi d'acqua.

Le prescrizioni relative al grado di fattibilità geologica e sismica (per le quali, per ulteriori dettagli, si fa riferimento alla Relazione Geologica di Fattibilità - Piano Operativo F.01 – PSC Siena 2020) assegnate all'opera sono tutte soddisfatte entro questa fase di progettazione attraverso l'esecuzione di indagini geognostiche in sito, indagini sismiche, prove di laboratorio e, da ultimo, verifiche idrauliche, in merito alle quali si rimanda all'elaborato **T00_ID01_IDR_RE01A** - "Relazione idrologica e idraulica" allegato al progetto.

3.2 Vincoli di Bacino: Bacini Regionali Toscani e P.G.R.A.

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), per il territorio dell'Appennino Settentrionale, è stato sviluppato nel tempo sulla base dei bacini idrografici definiti e modificati con l'attuale normativa D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.; pertanto, ad oggi, il P.A.I. è articolato in più strumenti distinti e vigenti per i diversi bacini che costituiscono il Distretto Appennino Settentrionale: *Bacino del fiume Arno*, *Bacino del fiume Serchio*, *Bacino del fiume Magra*, *Bacino Regionale Toscana*, *Bacino Regionale Liguria*.

Il territorio comunale di Siena rientra nell'area di pertinenza fluviale del fiume Ombrone il quale, a sua volta, individua il bacino imbrifero più meridionale del Distretto Appenninico Settentrionale.

Attualmente, il territorio su cui insiste l'opera in progetto appartiene al P.A.I. "Bacini Regionali Toscani": le Norme di Piano dei bacini regionali sono infatti omogenee per i tre piani relativi al Bacino Ombrone, Bacino Toscana Costa e Bacino Toscana Nord.

Queste norme sono state approvate dal Consiglio Regionale con la delibera n.12 del 25.01.2005 e pubblicate nel Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n.7 del 16.02.2005.

Nelle Norme di Piano del P.A.I. Bacini Regionali Toscani (Bollettino Ufficiale della Regione Toscana, n.7 del 16.02.2005), e in particolare al Titolo III - Pericolosità geomorfologica, Art.12 "Finalità specifiche", per esempio, vengono definite due tipologie di aree di pericolosità geomorfologica da dissesti: le *aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.F.M.E.)*, coincidenti alle aree interessate da fenomeni franosi attivi individuate e perimetrate ai sensi degli atti di indirizzo e coordinamento emanati a seguito della Legge 183/89 e del D.L. 180/1998, e le *aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.F.E.)*, ovvero le aree interessate da fenomeni franosi quiescenti individuate e perimetrate ai sensi degli atti di indirizzo e coordinamento emanati a seguito della Legge 183/89 e del D.L. 180/1998.

Per ciò che concerne l'identificazione delle diverse aree di pericolosità geomorfologica si rimanda al **Capitolo 6**, ove verrà discusso anche lo studio delle dinamiche geomorfologiche del territorio rivolto all'identificazione delle forme del rilievo e dei processi che le hanno generate, ovvero fattori climatici, morfologici e geologici.

Il territorio su cui insiste l'opera in progetto appartiene come detto al P.A.I. Bacini Regionali Toscani, le cui norme di piano sono omogenee per i tre piani relativi al Bacino Ombrone, Bacino Toscana Costa e Bacino Toscana Nord.

Nelle aree di tali bacini, però, e nel bacino dell'Arno, la parte relativa alla pericolosità idraulica e da alluvioni del P.A.I. è abolita e sostituita integralmente dal Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.). Nel bacino del fiume Serchio, negli ex bacini regionali liguri e nel bacino del fiume Magra il P.A.I. per la parte di pericolosità idraulica è ancora vigente e continua ad essere applicato, in forma integrata con il Piano di Gestione Rischio Alluvioni, sia come norme che come perimetrazioni.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) delle "Units of Management" (U.O.M.) Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone (quest'ultimo in cui ricade il territorio in oggetto), ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate, tenendo conto delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato e sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni di cui all'Art. 6, le misure di prevenzione, di protezione, di preparazione e di risposta e ripristino finalizzate alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio.

Gli scenari di pericolosità idraulica nonché i modelli di studio idraulici, come già accennato, sono disponibili all'elaborato **T00_ID01_IDR_RE01** - "Relazione idrologica e idraulica", a cui si rimanda per tutti i dettagli del caso.

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Gli elementi necessari per la progettazione definitiva delle opere previste in progetto sono stati ricavati principalmente dall'interpretazione dei dati geognostici disponibili dall'esecuzione di due campagne di indagini, congiuntamente all'esame dei dati bibliografici disponibili presso l'Area Tecnica e Gestione Territorio del Comune di Siena.

In merito a questi ultimi dati, nell'ottica di migliorare la definizione del modello geologico di riferimento, è stato richiesto alla *Direzione Area Tecnica e Gestione Territorio del Comune di Siena* un dataset bibliografico di un intorno significativo dell'area in esame e in particolare i dati inerenti alle stratigrafie di pozzi per acqua, sondaggi, prove penetrometriche statiche e dinamiche nonché prove sismiche, identificate tra quelle presenti nella *Carta delle Indagini (Tav.4)* dello "Studio di microzonazione sismica" del nuovo *Piano Operativo e Variante di aggiornamento del Piano Strutturale*, adottato con Del. C.C. n.58 del 19/05/2020. Tali dati sono risultati utili per un maggior dettaglio di definizione del modello geologico di riferimento e per l'elaborazione delle cartografie geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche allegare al progetto. In sintesi, risultano disponibili le stratigrafie di n° 9 pozzi per acqua, n° 11 sondaggi a carotaggio continuo (con relative prove geotecniche di laboratorio), n° 7 prove penetrometriche statiche CPT, n° 3 prospezioni sismiche in foro (down-hole), n° 6 stendimenti sismici a rifrazione ad onde P ed onde S con elaborazione tomografica dei risultati (cfr. **Allegato 1 - Indagini geognostiche fornite dal Comune di Siena e Allegato 2 – Stratigrafie di pozzi per acqua fornite dal Comune di Siena**).

Per la progettazione dell'infrastruttura in esame sono state eseguite due diverse campagne di indagine geognostica.

La prima campagna di indagine è stata eseguita nel 2009 dalla ditta Geotecnica Lavori S.r.l. di Perugia disponibile per la progettazione preliminare dell'infrastruttura, ed è consistita in:

- n° 18 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con esecuzione di n° 80 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT, n° 12 prove penetrometriche statiche CPT, n° 5 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPSH, di n° 22 prospezioni sismiche a rifrazione e n° 7 prospezioni sismiche in foro tipo down-hole da 30 m; sui n° 66 campioni indisturbati tipo Shelby, prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi, sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio, costituite da prove di identificazione (analisi granulometriche per setacciatura e sedimentazione, determinazioni dei limiti di consistenza, classificazioni CNR-UNI 10006), prove di compressione edometrica, prove di rigonfiamento, prove di taglio diretto, prove di compressione ad espansione laterale libera ELL, prove triassiali UU, prove triassiali CID.

Ad integrazione di tale campagna di indagini, ai fini della progettazione definitiva dell'infrastruttura, è stata eseguita una campagna di indagini integrativa nel 2019 dalla ditta "Tecno In S.p.A" di Napoli, consistita in:

- n° 15 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, distribuiti lungo tutto il tracciato con profondità variabile tra 20 e 35 m in funzione delle quote di progetto e delle caratteristiche strutturali delle opere (viadotti, gallerie naturali e artificiali, rilevati, trincee, ecc.), con prelievo di n° 87 campioni complessivi, di cui n° 48 rimaneggiati (CR) e n° 39 campioni indisturbati (CI, in numero di almeno 2 per ciascun sondaggio) per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio;

- esecuzione di n° 46 prove penetrometriche dinamiche in foro SPT (Standard Penetration Test), distribuite in modo omogeneo in ogni verticale di sondaggio (in numero variabile da 1 a 4 a seconda della sua lunghezza), per la determinazione indiretta dei parametri di resistenza a taglio drenata e di deformabilità nei terreni sabbiosi e di resistenza al taglio non drenata nei terreni argillosi;
- n° 11 prove pressiometriche, una per ogni sondaggio;
- n° 14 prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile;
- installazione in n° 6 fori di sondaggio di piezometri a tubo aperto per la misura del livello piezometrico della falda;
- n° 4 prospezioni sismiche in foro tipo down-hole, in modo da consentire il calcolo delle Vseq finalizzate a definire la categoria sismica di sottosuolo lungo il tracciato;
- n° 12 pozzetti esplorativi da 2 m, con prelievo di n°1 campione rimaneggiato tra 0,3 e 0,5 m (n° 11 campioni totali) ed esecuzione di prove di carico su piastra (a -0.5 m), ubicati in corrispondenza del tracciato principale o degli svincoli;
- n° 8 pozzetti ambientali da 2 m, con prelievo di campioni di terreno, finalizzati alla determinazione dello stato di qualità dei terreni in corrispondenza del tracciato, ai fini anche del possibile riutilizzo delle terre di scavo.

Si specifica che, nell'ambito di tale campagna integrativa, il prelievo di campioni di terreno finalizzato alla determinazione dello stato di qualità dei terreni è stato eseguito, oltre che nei pozzetti ambientali, anche in corrispondenza di n° 5 verticali d'indagine e di n° 7 pozzetti esplorativi.

Infine, il prelievo di campioni di acqua sotterranea finalizzato alla determinazione dello stato di qualità è stato eseguito in corrispondenza di n° 4 verticali d'indagine provviste di piezometro.

I risultati di tutte le analisi chimiche sono riportati nell'elaborato **T00_GE01_GEO_RE07_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Analisi chimiche di laboratorio" a cui si rimanda per i relativi certificati ufficiali, oltre che per le stratigrafie dei sondaggi e dei pozzetti e l'ubicazione dei campioni analizzati.

I risultati originali della campagna di indagine pregressa del 2009 sono riportati nei seguenti elaborati di progetto:

- **T00_GE01_GEO_RE01_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Indagini in sito"
- **T00_GE01_GEO_RE02_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Indagini geofisiche"
- **T00_GE01_GEO_RE03_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Prove geotecniche di laboratorio"

I risultati originali della campagna di indagine integrativa del 2019, sono riportati invece nei seguenti elaborati di progetto:

- **T00_GE01_GEO_RE04_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Indagini in sito"
- **T00_GE01_GEO_RE05_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Indagini geofisiche"
- **T00_GE01_GEO_RE06_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Prove geotecniche di laboratorio"
- **T00_GE01_GEO_RE07_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Analisi chimiche di laboratorio"

5 GEOLOGIA

5.1 Inquadramento geologico regionale

Nell'Appennino centro-settentrionale, Il segmento umbro-toscano rappresenta una zona di importante orogenesi tettonica, al cui interno si possono distinguere due elementi morfostrutturali ben precisi: un'area centrale, depressa, occupata dai segmenti pliocenici del Bacino di Siena e una fascia nord-orientale, morfologicamente e strutturalmente sollevata, facente parte della Dorsale Monti del Chianti-Rapolano-Monte Cetona.

La maggior parte delle formazioni plioceniche del Bacino di Siena poggiano in trasgressione e in discordanza sui depositi lacustri miocenici superiori e sulle formazioni dell'Unità Morello, le quali affiorano sulle colline del Chianti e sulle formazioni della successione toscana della Dorsale Monti del Chianti-Rapolano-Monte Cetona (cfr. **Figura 2**).

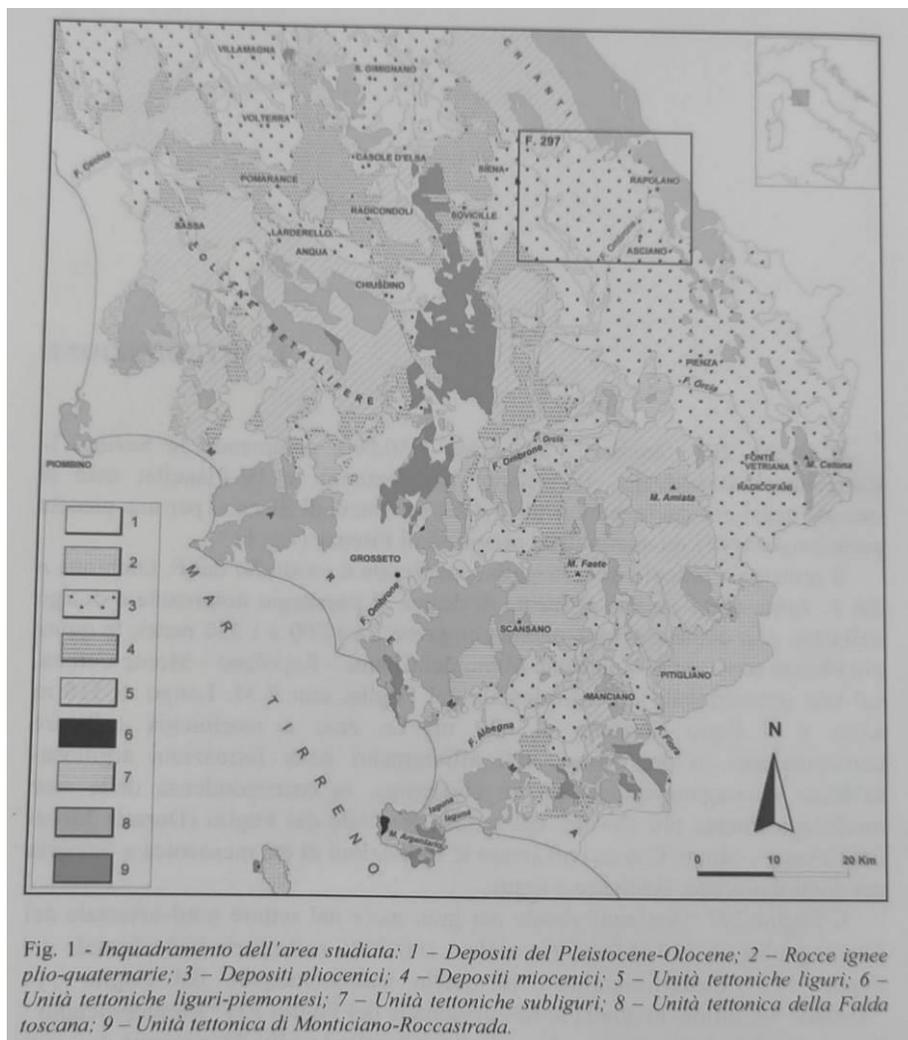


Figura 2 - Inquadramento dell'area nell'abito delle unità tettoniche di riferimento per l'appennino toscano (da Note illustrative Foglio CARG 297 "Asciano", ISPRA 2016)

In particolare, il *Bacino di Siena* (cfr. anche **Figura 3**), limitato a nord dalla Soglia di Monteriggioni e dalle Colline del Chianti, ad ovest dalla Montagnola Senese e dalla Dorsale Murlo-Montalcino, a sud dalla Soglia di Pienza ed infine ad est dalla Dorsale Rapolano-Trequanda-Piazza di Siena, appare tagliato in due parti dalla "Linea dell'Arbia", recentemente considerata come faglia trasforme (Liotta, 1991). Soltanto nel settore meridionale esso presenta caratteri tipici di fossa tettonica, con una potenza dei soli sedimenti pliocenici superiore ai 1000 m (Costantino et alii, 1982), in corrispondenza di un allineamento spostato ad est rispetto all'asse del bacino. Tali autori ritengono il Bacino di Siena asimmetrico, caratterizzato sul bordo orientale da una "master fault" dal rigetto variabile ma non inferiore a varie centinaia di metri, e sul bordo occidentale da dislocazioni con rigetti normalmente inferiori al centinaio di metri.

Per quel che concerne l'evoluzione sedimentaria nel corso del Neogene, l'area del Bacino di Siena ha conosciuto un dominio lacustre miocenico ed uno marino pliocenico: le espressioni sedimentarie del primo sono presenti unicamente lungo una fascia occidentale del bacino e costituiscono il prolungamento meridionale dei depositi lacustri del miocene superiore del Bacino del Casinò (Lazzarotto & Sandrelli, 1979; Bossio et alii, 2000); quelle del secondo si estendono invece ampiamente e senza soluzione di continuità a tutto il bacino, al bordo nord-orientale del quale trasgrediscono direttamente sulle unità pre-neogeniche della Dorsale Monti del Chianti-Monte Cetona (cfr. anche schema dei rapporti stratigrafici, **Figura 4**).

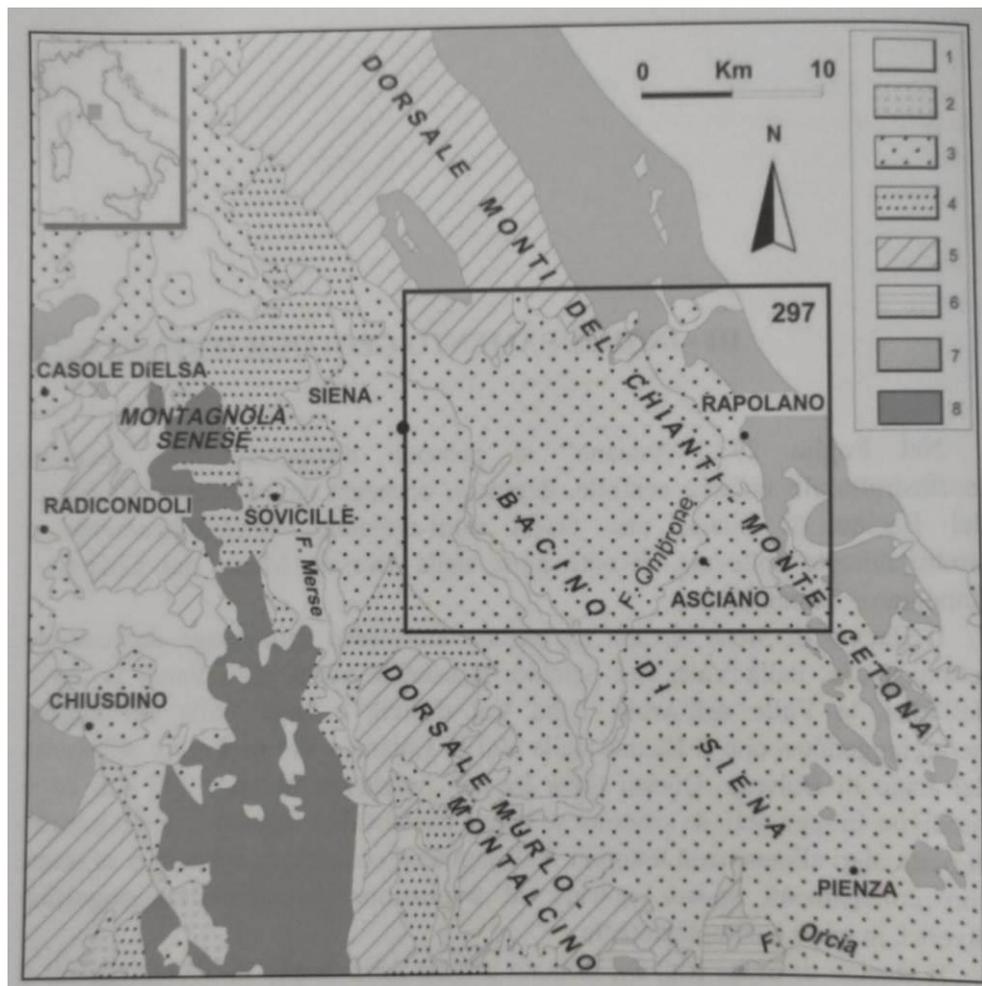


Figura 3 - Schema geologico dell'area comprendente il Foglio 297 "Asciano" (ISPRA, 2016)

A detta di ciò, l'area in esame è in sintesi parte integrante dell'ampio bacino intermontano senese originatosi durante la fase distensiva post-tortoniana e la cui successione sedimentaria è legata alla trasgressione marina mio-pliocenica.

Nei paragrafi successivi verranno definiti, in dettaglio, i terreni in asse al tracciato facenti parte di tale successione neogenica e i depositi quaternari che li hanno ricoperti in epoca più recente.

5.2 Caratterizzazione geologica di Progetto Preliminare

Nell'ambito della progettazione preliminare dell'infrastruttura, sviluppata dai tecnici del Comune di Siena, è stato previsto un rilevamento geologico e geolitologico a terra, di una fascia circostante al tracciato in progetto, per una larghezza media di 200 m a monte e 200 m a valle, integrato con uno studio aerofotogrammetrico di dettaglio e con l'acquisizione dei dati geologici della Regione Toscana nell'ambito del Progetto CARG - Carta geologica a scala 1:10000 che ha permesso di cartografare, per un intorno significativo rispetto al tracciato e agli svincoli, le formazioni geologiche affioranti e di realizzare le cartografie allegate al progetto preliminare (cfr. in particolare la *Carta geolitologica* in scala 1:5000).

L'area esaminata è risultata essere parte integrante dell'ampio bacino intermontano senese originatosi durante la fase distensiva post-tortoniana e legata alla trasgressione marina Mio-Pliocenica. Nell'area studiata, in particolare, sono stati rinvenuti terreni appartenenti alla serie pliocenica marina e alle alluvioni antiche e attuali oloceniche, la cui successione geologico-stratigrafica risulta costituita da *depositi antropici*, *depositi quaternari (alluvionali, eluvio-colluviali)*, *sedimenti neo-autoctoni toscani (argille azzurre – litofacies sabbiosa e argillosa)*.

La caratterizzazione litologica e stratigrafica di dettaglio lungo il tracciato dell'infrastruttura si è avvalsa inoltre dei risultati delle indagini geognostiche e sismiche appositamente eseguite (cfr. campagna di indagini 2009), consentendo ai tecnici di elaborare anche un *Profilo stratigrafico* in scala 1:2500/1:250 di riferimento per la progettazione preliminare dell'opera.

5.3 Litostratigrafia dei terreni in asse al tracciato

Nell'ambito della presente progettazione definitiva, per la definizione delle successioni geologiche e litostratigrafiche coinvolte nel tracciato in esame, si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

- cartografia CARG - Foglio 297 "Asciano" (ISPRA - Carta Geologica d'Italia - Scala 1:50000), con relative note illustrative;
- elaborati geologici di progetto preliminare;
- risultati della campagna di indagini geognostiche eseguita nel 2009;
- risultati della campagna di indagini geognostiche eseguita nel 2019;
- stratigrafie di pozzi e risultati di indagini geognostiche (geotecniche e sismiche) forniti dal Comune di Siena.

Le unità geologiche presenti in corrispondenza del tracciato dell'infrastruttura in progetto sono rappresentate negli elaborati di progetto definitivo **T00_GE01_GEO_CG01_B - Carta geologica generale** - Scala 1:5000 e **T00_GE01_GEO_CG02÷CG04_B - Carta geologica di dettaglio** - Scala 1:2000 (3 tavv.).

In particolare, come già accennato, il tracciato si sviluppa su unità sedimentarie neogenico-quaternarie del Bacino di Siena, le quali sono state coinvolte in fasi tettoniche recenti: tali sedimenti,

facenti parte della successione neogenica del versante tirrenico dell'appennino settentrionale, ricoprono le formazioni d'età Miocene Superiore di ambiente lacustre e lacustre-salmastro dei domini ligure e toscano e costituite da litotipi conglomeratico-brecciati (cfr. schema dei rapporti stratigrafici, **Figura 4**).

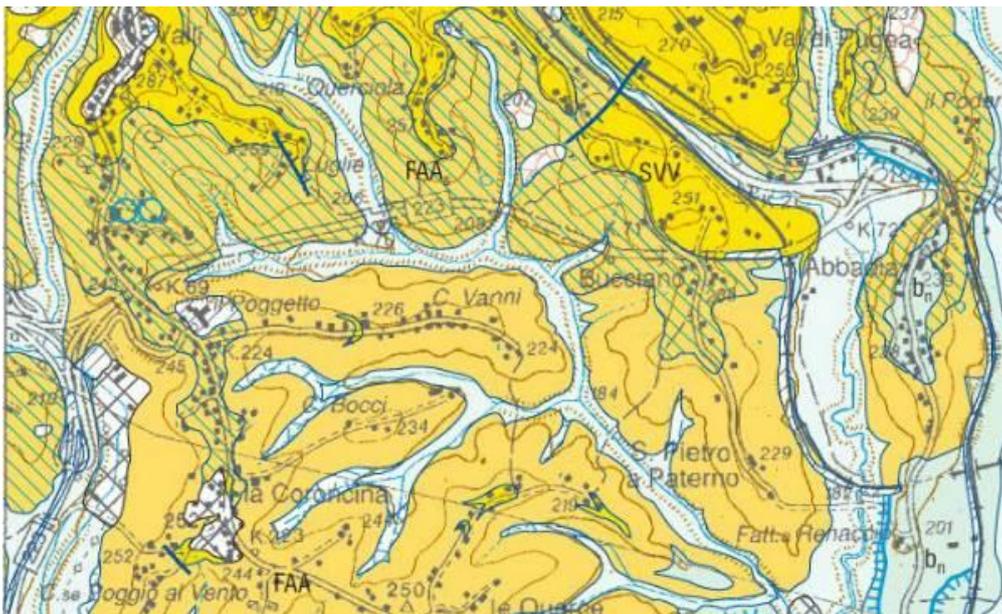
Con riferimento alle note illustrative del foglio 297 "Asciano" (ISPRA - Carta Geologica d'Italia - Scala 1:50.000) tali successioni sono definibili come segue (cfr. **Figura 5**, ISPRA, 2016):

SUCCESSIONE NEOGENICA DEL VERSANTE TIRRENICO DELL'APPENNINO SETTENTR.

- Argille azzurre (Pliocene inf.)
- Sabbie di San Vivaldo (Pliocene inf.)

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

- Depositi eluvio-colluviali (Pleistocene-Olocene)
- Depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene-Olocene)
- Depositi alluvionali (Olocene)
- Depositi antropici



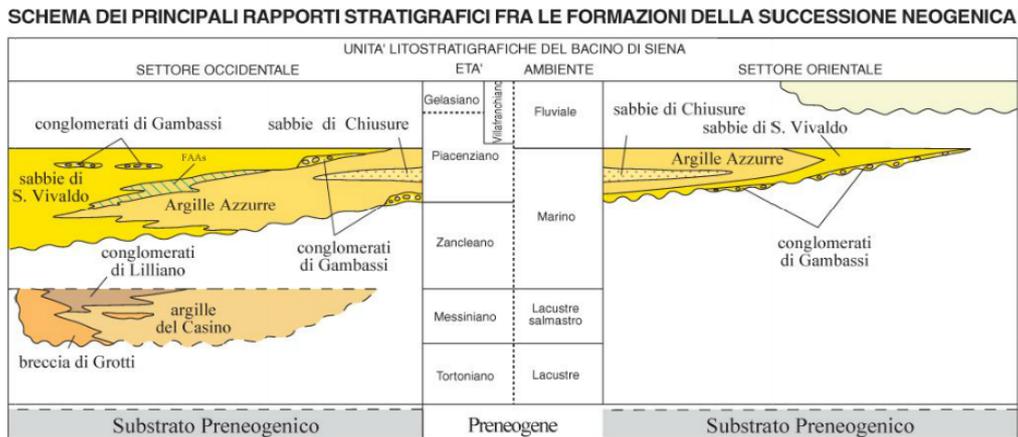
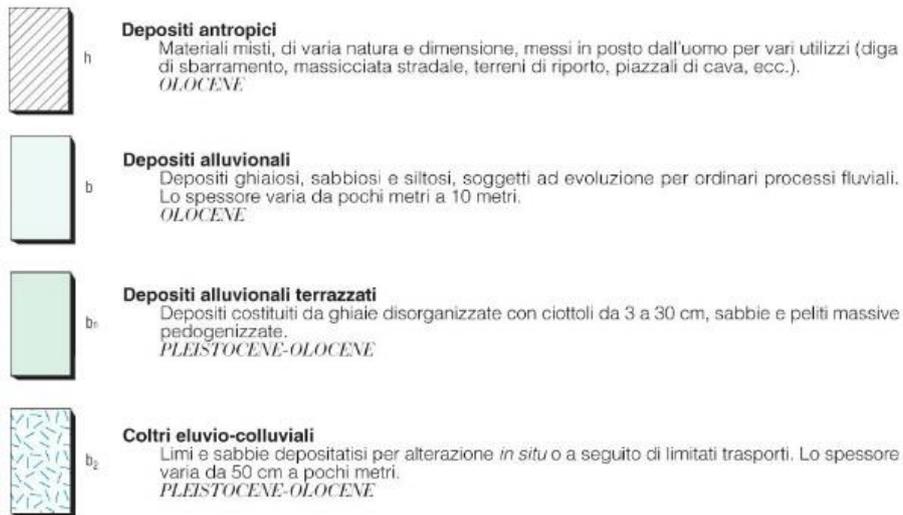


Figura 4 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia – Foglio 297 Asciano 1:50.000 e relativo schema dei rapporti stratigrafici (ISPRA, 2016)

DEPOSITI CONTINENTALI RECENTE E ATTUALI



SUCCESSIONE NEOGENICA DEL VERSANTE TIRRENICO DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE



Figura 5 - Estratto legenda Foglio 297 "Asciano" (ISPRA - Carta Geologica d'Italia - Scala 1:50.000)

In affioramento, oltre ai depositi superficiali olocenici (alluvionali ed eluvio-colluviali), il tracciato coinvolge per la quasi totalità della sua lunghezza le unità neogeniche marine e marino-costiere.

Vengono di seguito descritte le caratteristiche stratigrafiche delle unità presenti lungo il tracciato in esame.

5.3.1 Depositi neogenici del versante tirrenico

5.3.1.1 Argille azzurre [Pliocene inf.]

Si tratta di peliti marnose massive grigio-azzurre, spesso bioturbate, localmente fossilifere, talvolta intercalate a strati sabbiosi tabulari; all'interno e nella parte alta sono presenti argille sabbiose e limi color nocciola con Lamellibranchi e Gasteropodi.

L'unità è presente lungo tutto il tracciato, ricoperta da depositi olocenici di natura alluvionale ed eluvio-colluviale in corrispondenza delle piane alluvionali e degli impluvi attraversati dell'infrastruttura.

Superficialmente l'unità è caratterizzata da una fascia di alterazione in argille limose e limi argillosi da poco a mediamente consistenti, per uno spessore di alcuni metri.

Da un punto di vista granulometrico l'unità risulta costituita principalmente da una litofacies argilloso-limosa e una litofacies limoso-sabbiosa, gradualmente passanti tra di loro sia in senso verticale che orizzontale. La prima è costituita da argille limose e limi argillosi da poco a mediamente plastici (contenuto di materiale fine < 0.075 mm compreso tra 70 e 90%, Ip compreso tra 10 e 20%), in parte sabbiose, mentre la seconda è costituita da limi sabbioso-argillosi, poco plastici (contenuto di materiale fine < 0.075 mm compreso tra 70 e 80%, componente sabbiosa pari a 20÷30% circa, Ip generalmente inferiore a 10%). Secondo la classificazione USCS dei campioni disponibili, tali terreni sono classificabili nel complesso come CL, ML e CL-ML. Entrambe le litofacies si presentano da molto consistenti a dure, con una elevata resistenza in condizioni non drenate. La permeabilità di tali terreni infatti risulta generalmente da bassa a molto bassa per la litofacies argilloso-limosa (variabile tra 1E-7 e 1E-9 m/s) e generalmente medio-bassa per la litofacies limoso-sabbiosa (variabile tra 1E-5 e 1E-7 m/s). Il colore della formazione è generalmente grigio, ma nei campioni più sabbiosi e più prossimi alla superficie diventa talvolta oca-grigio scuro.

Le due litofacies risultano gradualmente passanti tra di loro sia verticalmente che orizzontalmente, tanto che non è possibile individuare una netta separazione tra le due lungo il tracciato. Risulta tuttavia possibile osservare la litofacies argilloso-limosa risulta prevalente in corrispondenza di tutto lo sviluppo della Galleria San Lazzerò e in corrispondenza dell'imbocco ovest della Galleria Bucciano, mentre tra l'imbocco est della Galleria Bucciano e la zona dello Svincolo Ruffolo prevale la litofacies limoso-sabbiosa, presumibilmente in ragione della vicinanza del contatto con la soprastante formazione delle *Sabbie di San Vivaldo*.

Localmente sono presenti livelli di sabbie limose e sabbie con limo, addensate e debolmente argillose, di spessore pari ad alcuni metri, che costituiscono i principali livelli permeabili ed acquiferi all'interno della formazione. Tali livelli, distribuiti lungo tutto il tracciato ma generalmente sporadici, risultano particolarmente frequenti in corrispondenza del Viadotto Luglie. E' opportuno osservare infine che talvolta i livelli di sabbie o sabbie limose descritti nelle stratigrafie dei sondaggi, in seguito alle analisi di laboratorio hanno mostrato una assoluta prevalenza della componente limosa con una

non trascurabile percentuale di componente argillosa, consentendo di classificare tali terreni generalmente come limi sabbioso-argillosi o tutt'al più come limi con sabbia argillosi.

5.3.1.2 Sabbie di San Vivaldo [Pliocene sup.]

Le argille azzurre, nella loro litofacies sabbiosa, passano gradualmente verso l'alto e/o in eteropia ad areniti poco cementate, sabbie a grana da fine a media, molto bioturbate, di colore giallo-ocra, localmente con resti di Ostreidi e Pectinidi. Questa formazione affiora esclusivamente e per poche centinaia di metri in prossimità del rilevato a monte della linea ferroviaria Chiusi-Empoli, subito oltre i rilievi della galleria Bucciano, e la sua distribuzione nell'area è stata desunta principalmente dalla cartografia CARG (foglio 297 "Asciano") in quanto non sono disponibili sondaggi geognostici all'interno di tale unità, ma solo la stratigrafia di un pozzo per acqua fornita dal Comune di Siena (codice P247, cfr. **Allegato 2**). Tale stratigrafia riporta, da q. 248 m s.l.m. (testa pozzo, sulla sommità della collina di Torre a Bucciano) a q. 205 s.l.m., la presenza di oltre 40 m di sabbie, inizialmente limose di colore giallo ocra (porzione superficiale alterata, spessore 10 m), poi di colore grigio con fossili, di granulometria variabile tra le sabbie limose e le sabbie a grana media o con ciottoli, al di sopra di argille grigie riferibili alla formazione delle *argille azzurre* plioceniche.

5.3.2 **Depositi olocenici**

5.3.2.1 Depositi eluvio-colluviali

Si tratta di terreni che rappresentano il prodotto di alterazione e di trasporto al piede del versante dei materiali appartenenti alle diverse unità affioranti in corrispondenza di tutti i rilievi collinari presenti nell'area del tracciato. Si tratta perlopiù di limi argillosi e limi sabbiosi che coinvolgono in particolare le fondazioni del viadotto Casone, Ribucciano e Riluogo.

5.3.2.2 Depositi alluvionali terrazzati

Si tratta di terreni di natura alluvionali di età quaternaria affioranti lungo le valli dei maggiori corsi d'acqua e dei loro principali affluenti. Si tratta sostanzialmente di ghiaie con ciottoli, sabbie e peliti massive pedogenizzate. Tali depositi non interferiscono con il tracciato, essendo presenti perlopiù ad est dello svincolo Ruffolo.

5.3.2.3 Depositi alluvionali

Sono terreni che occupano il fondo dei principali impluvi presenti nell'area del tracciato e che sono il prodotto del trasporto, da parte delle acque superficiali, di materiali eterogenei a formare dei depositi dello spessore da alcuni metri fino a 8-9 m circa. Si tratta, in particolare, di *sabbie con limo argillose debolmente ghiaiose, limi argillosi sabbiosi e ghiaie con sabbie limose*.

Queste tre tipologie di depositi coinvolgono rispettivamente la piana alluvionale di Cerchiaia, le fondazioni dei principali viadotti centrali al tracciato, la piana alluvionale di Ruffolo in corrispondenza del viadotto Riluogo. Nonostante una granulometria prevalente in ciascuna delle tre tipologie, nei campioni è stata sempre rinvenuta una buona percentuale di materiale fine in matrice limoso-argillosa.

5.3.2.4 Depositi antropici

Sono perlopiù costituiti dai materiali che sono stati utilizzati per la realizzazione dei rilevati stradali e ferroviari presenti nell'area del tracciato, terrapieni o discariche.

5.3.2.5 Rifiuti aree esterne SI68 e SI68bis (Area SI068 ter)

In particolare, nell'area dello Svincolo di Cerchiaia è stata indicata tra i depositi antropici un'area recentemente oggetto di un intervento di bonifica, corrispondente all'area in loc. Cerchiaia-Mattonaia identificata con codice Piano regionale SI068-068bis (cfr. mappali indicati in **Figura 6**), intervento concluso con *certificazione di avvenuta bonifica* della Provincia di Siena datata 25/10/2007.



Figura 6 – Area oggetto di bonifica in loc. Cerchiaia-Mattonaia (codice Piano regionale SI068-068bis)

Tuttavia, da tale documentazione emerge che al contorno di tale area sono ancora presenti rifiuti di varia natura, costituiti da *calcinacci*, *ceneri*, *RSU+tufo*, come mostrato nella planimetria schematica ricevuta dal Comune di Siena (cfr. **Figura 7**).

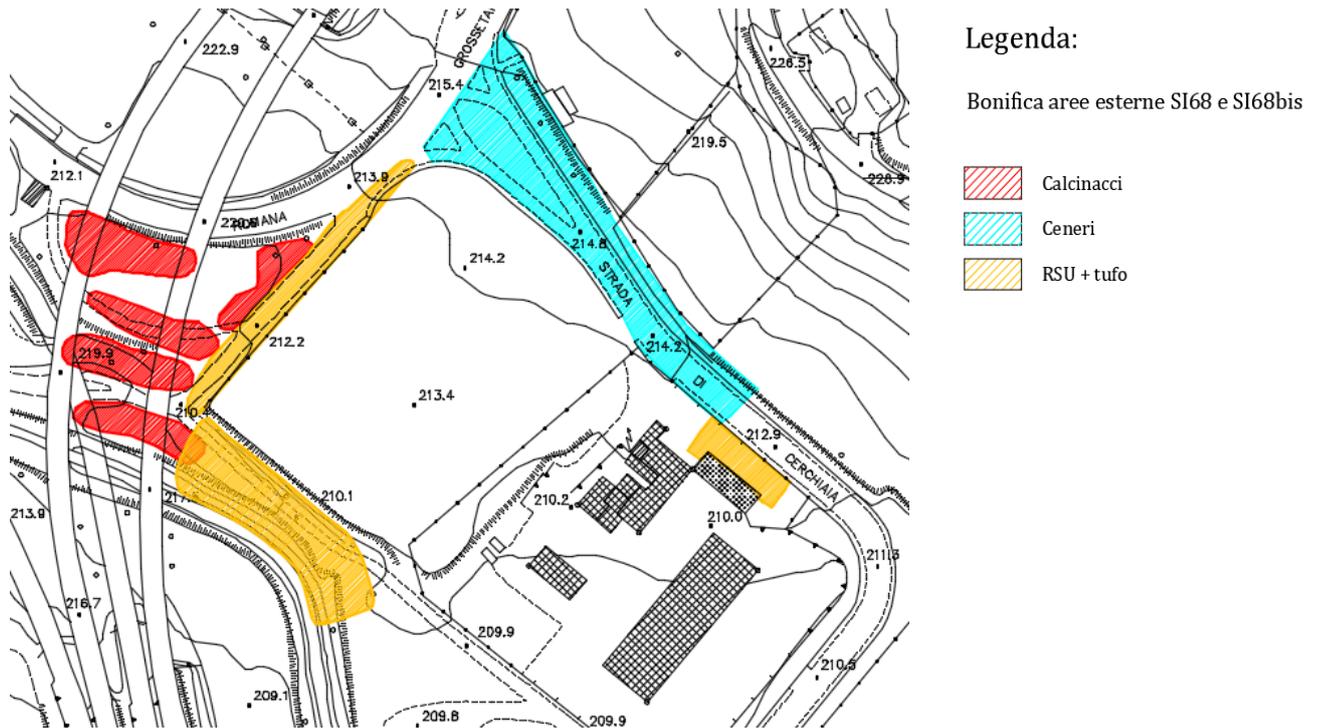


Figura 7 – Planimetria con ubicazione e tipologia dei rifiuti presenti nelle aree esterne al SI068-068bis

Per quanto riguarda tale l'area, esterna al sito bonificato, il Comune di Siena ha comunicato che è risultata oggetto di procedimento di bonifica **SI068ter "Area Esterna La Cerchiaia"**, con piano di caratterizzazione già eseguito ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006 e progetto di bonifica approvato. Il limite di tale area è mostrato nella planimetria schematica di seguito riportata.



Figura 8 – Planimetria con identificazione dell'area oggetto di bonifica SI068ter "Area Esterna La Cerchiaia"

Preso atto che per l'area SI068ter "Area Esterna La Cerchiaia" risulta già eseguito un piano di caratterizzazione ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006 e un progetto di bonifica approvato, non risulta necessaria l'esecuzione di uno specifico piano di indagini integrative finalizzato alla caratterizzazione di tale area.

In ogni caso, ai fini di caratterizzare nel dettaglio le aree dove sono previsti gli scavi delle fondazioni delle opere infrastrutturali e le aree di cantiere nonché gli scavi relativi alla deviazione "Strada di Cerchiaia" (accesso AdS gas) e gli scavi di preparazione del piano di posa del ramo di svincolo GR-FI, viene proposta, all'interno del Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo allegato al progetto (cfr. elaborato **T00GE02GEORE01**) e per la fase di progettazione esecutiva, una campagna integrativa che si focalizzerà dunque su tali zone.

6 GEOMORFOLOGIA

6.1 Inquadramento geomorfologico generale

Lo studio delle dinamiche geomorfologiche del territorio si rivolge alla identificazione delle forme del rilievo e dei processi che le hanno generate. Tali dinamiche sono dovute all'interazione tra i fattori climatici, morfologici e geologici.

Il nuovo tracciato in progetto, in adeguamento all'esistente tratto Siena-Ruffolo della E78 Grosseto-Fano, si sviluppa a partire dalla località Cerchiaia - Il Molino in direzione SW-NE, proseguendo fino al fondovalle del torrente Riluogo, in località Ruffolo. Dallo svincolo di Cerchiaia, ubicato nel fondovalle del torrente Tressa, il tracciato dell'infrastruttura attraversa in galleria un primo tratto collinare in località Mattonaia-Cerchiaia, poi attraversa i fondovalle dei torrenti Luglie, Valli, Casone e Ribucciano mediante viadotti di varia lunghezza, prosegue verso il rilievo collinare di Bucciano attraversandolo con una galleria e termina nel fondovalle del torrente Riluogo con un viadotto in raccordo con il tratto Siena-Bettolle direzione Fano e con il nuovo svincolo di Ruffolo.

La totalità del tracciato, lungo circa 5.4 km, è interessata dalla presenza di tre domini morfologici prevalenti: un dominio collinare, in corrispondenza dei principali rilievi argillosi pliocenici, un dominio pedecollinare in corrispondenza dei principali impluvi, sede di depositi eluvio-colluviali in raccordo con quelli alluvionali, e un dominio di pianura per le zone corrispondenti alle piane alluvionali degli svincoli di inizio e fine tracciato.

Nel complesso, nell'area in esame, non state evidenziati processi geomorfologici di particolare criticità per l'infrastruttura da adeguare. In ogni caso, la presenza nel dominio collinare delle *argille azzurre* plioceniche, per quanto generalmente molto consistenti, ma caratterizzate da un orizzonte di alterazione superficiale talvolta di spessore elevato, impone una certa cautela nell'affrontare la progettazione e la realizzazione delle opere di scavo, sia all'aperto che in galleria, al fine di non generare fenomeni di instabilità di tale orizzonte.

Nel seguito, dopo un'analisi della distribuzione e della natura dei dissesti, oltre che della loro classificazione in base alla pericolosità, presenti nelle cartografie PAI, Regione Toscana, IFFI e PSC Comune di Siena, sulla base dell'attività di fotointerpretazione eseguita sulle fotografie disponibili dal rilievo aerofotogrammetrico e sulla base dell'osservazione delle foto aeree storiche disponibili per l'area a partire dagli anni '50 e delle foto eseguite recentemente da drone, vengono descritti i principali dissesti interferenti con il tracciato e vengono descritte le forme e i processi geomorfologici riportati nell'elaborato grafico **T00_GE01_GEO_CG05+CG07_B** - "Carta geomorfologica" - scala 1:2000 (3 tavv.).

6.2 Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

6.2.1 P.A.I. "Bacini Regionali Toscani"

Come già anticipato al **punto 3.2**, il territorio comunale di Siena rientra nell'area di pertinenza fluviale del fiume Ombrone e dunque, attualmente, il territorio su cui insiste l'opera in progetto appartiene al P.A.I. "Bacini regionali Toscani": le Norme di Piano dei bacini regionali sono infatti omogenee per i tre piani relativi al Bacino Ombrone, Bacino Toscana Costa e Bacino Toscana Nord. Queste sono state approvate dal Consiglio Regionale con la delibera n.12 del 25.01.2005 e pubblicate nel Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n.7 del 16.02.2005.

In data 13.01.2020 l'Autorità di Bacino Distrettuale ha pubblicato il comunicato dell'adozione del "Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico (P.A.I.) per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica" relativo al territorio dei bacini del fiume Arno, del fiume Serchio e dei bacini della Toscana ed in data 17.01.2020 ha comunicato agli enti interessati l'avvio della fase di consultazione e adempimenti da parte dei Comuni in merito alla fase di osservazione. Successivamente, nel mese di febbraio, il Comune di Siena ha concordato insieme all'Autorità di Bacino Distrettuale l'osservazione alla nuova proposta di progetto di piano di bacino.

Pertanto, la nuova carta geomorfologica e la carta di pericolosità geologica depositate presso il Genio Civile per l'adozione dello Strumento Urbanistico Comunale risulteranno al termine del procedimento di approvazione del nuovo Piano Strutturale completamente condivise e adeguate agli Strumenti di Piano Sovraordinati. Tale proposta sarà recepita nel P.A.I. geomorfologico a seguito dell'approvazione tecnica nella conferenza operativa programmatica.

Il progetto di Piano, una volta approvato e vigente, sarà caratterizzato da omogeneità sia per i criteri metodologici sia per la parte normativa, in riferimento a tutti i dissesti di natura geomorfologica. Una volta completato l'iter di approvazione il nuovo P.A.I. (definito P.A.I. "dissesti geomorfologici") sostituirà interamente i singoli P.A.I. vigenti per il bacino del fiume Arno, bacino del fiume Serchio (pericolosità da frana) e bacini regionali toscani (questi ultimi come detto afferenti al progetto in esame).

Il Piano di Stralcio del P.A.I. "dissesti geomorfologici" è stato adottato in data 13.07.2020 ma è attualmente in approvazione per la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale. In attesa di tale approvazione, si è fatto inizialmente riferimento alle attuali normative di piano dei Bacini Regionali Toscani (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale).

La cartografia della pericolosità geomorfologica del P.A.I. "Bacini regionali Toscani" è esclusivamente disponibile come shapefile o come banca dati geografica in modalità interattiva di tipo web-GIS (<https://geodata.appenninosettentrionale.it/mapstore/#/viewer/openlayers/1051>), di cui sotto si riporta lo stralcio inerente al territorio interessato dall'infrastruttura (cfr. **Figura 9**).



Figura 9 – Stralcio della carta di pericolosità franosa del P.A.I. Bacini Regionali Toscani

Dall'esame della carta di pericolosità geomorfologica dei dissesti del P.A.I. Bacini Regionali Toscani è possibile segnalare la presenza, a monte del tracciato nella zona prossima all'area di servizio Esso ubicata tra il viadotto Valli e il viadotto Casone, di fenomeni classificati a pericolosità 3 (colore arancio) e 4 (colore giallo), che interferiscono con il progetto; nello stralcio di area analizzata, soprattutto nella porzione orientale, sono presenti nell'area altri dissesti di tali tipologie che tuttavia non interferiscono direttamente con il tracciato.

Nelle Norme di Piano del P.A.I. Bacini Regionali Toscani (Bollettino Ufficiale della Regione Toscana, n.7 del 16.02.2005), e in particolare al Titolo III - Pericolosità geomorfologica, Art.12 "Finalità specifiche", vengono definite due tipologie di aree di pericolosità geomorfologica da dissesti: le *aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.F.M.E.)*, coincidenti alle aree interessate da fenomeni franosi attivi individuate e perimetrare ai sensi degli atti di indirizzo e coordinamento emanati a seguito della Legge 183/89 e del D.L. 180/1998, e le *aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.F.E.)*, ovvero le aree interessate da fenomeni franosi quiescenti individuate e perimetrare ai sensi degli atti di indirizzo e coordinamento emanati a seguito della Legge 183/89 e del D.L. 180/1998. Per le due aree, agli Art. 13 e Art. 14 rispettivamente, vengono definiti gli interventi consentiti ma non risulta specificata, purtroppo, la correlazione delle stesse con le aree di tipo 3 e tipo 4 riportate nella cartografia di **Figura 9**.

Non essendo possibile effettuare una concreta identificazione delle aree di pericolosità tipo 3 e tipo 4, si è fatto ricorso al nuovo strumento P.A.I. "*dissesti geomorfologici*" che, seppur adottato ma non ancora vigente (attesa pubblicazione in G.U.), viene già messo a disposizione in termini di cartografia (formato web-gis) e norme (Relazione/Stralcio di Piano), queste ultime contenenti le informazioni relative all'identificazione delle varie aree di pericolosità dei dissesti rinvenuti.

6.2.2 P.A.I. "dissesti geomorfologici"

Una volta consultato il P.A.I. "Bacini regionali Toscani", poiché non è stato possibile effettuare una reale identificazione delle aree di pericolosità tipo 3 e tipo 4 riportate nello stralcio di **Figura 9**, si è fatto riferimento allo strumento di recente realizzazione P.A.I. "*dissesti geomorfologici*", caratterizzato da omogeneità sia per i criteri metodologici sia per la parte normativa in riferimento a tutti i dissesti di natura geomorfologica dei bacini toscani.

Tale strumento, adottato ma non ancora vigente a tutti gli effetti, viene già messo a disposizione con una cartografia web-gis all'interno del sito dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, in affiancamento allo stesso P.A.I. "Bacini regionali Toscani", mediante la sezione "*Mappa della pericolosità da dissesti di natura geomorfologica*".

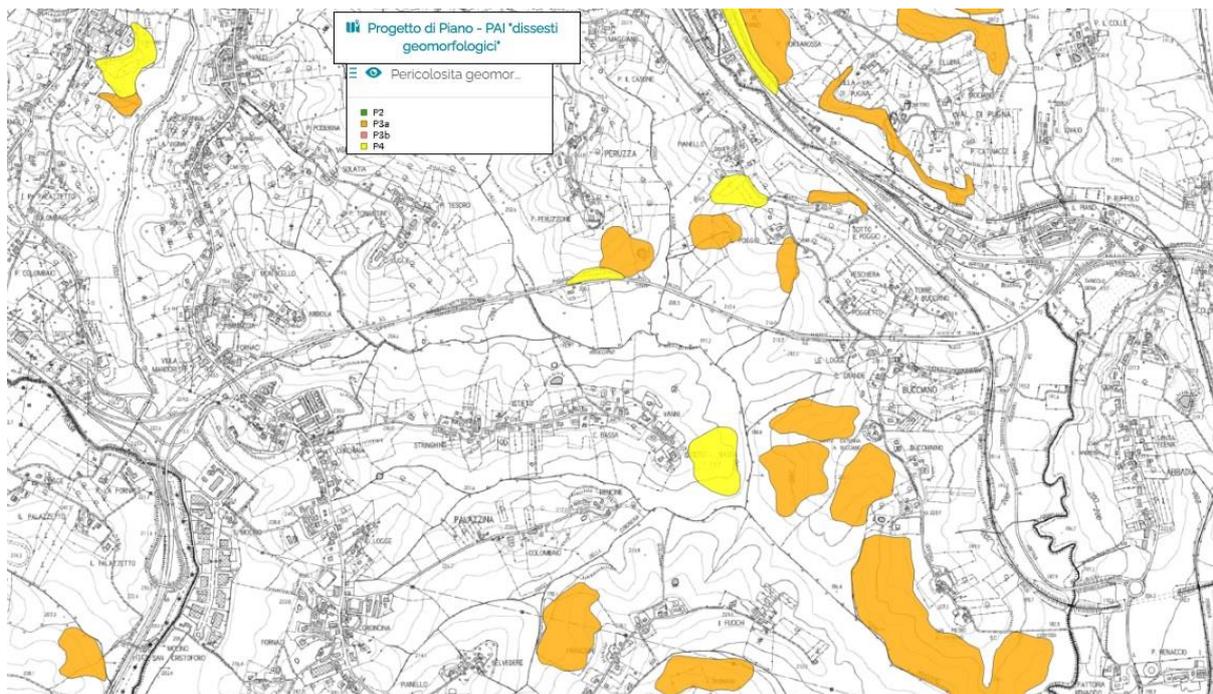


Figura 10 – Stralcio della mappa di pericolosità dissesti del P.A.I. “dissesti geomorfologici” (in pubblicazione)

Dall’analisi dello stralcio della mappa della pericolosità da dissesti di natura geomorfologica del P.A.I. “dissesti geomorfologici” (cfr. **Figura 10**) è possibile infatti verificare che tutte le perimetrazioni nonché le tipologie di aree a diversa pericolosità ricalcano, in maniera fedele, quelle riportate nella carta di pericolosità geomorfologica dei dissesti del P.A.I. Bacini Regionali Toscani (cfr. punto **6.2.1**) e, per tale motivazione, è stato possibile approfondirne i contenuti.

Ciò che emerge subito confrontando le due cartografie è che le aree a pericolosità tipo 3 (colore arancio) e tipo 4 (colore giallo) di **Figura 9** corrispondono alle aree di pericolosità dei medesimi colori di **Figura 10** del futuro Piano di Assetto Idrogeologico seppur identificate, in quest’ultimo strumento, rispettivamente con le sigle “P3a” e “P4”.

Dalle informazioni desunte dalla Disciplina di Piano del P.A.I. “dissesti geomorfologici”, le aree di pericolosità da dissesti della nuova mappa del P.A.I. vengono classificate, nell’Art.6 del documento secondo i criteri dell’Allegato 3 – “Modalità per le proposte di revisione ed aggiornamento delle mappa del P.A.I.”, come segue:

- **Pericolosità molto elevata (P4):** aree instabili interessate da fenomeni di dissesto attivi di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all’azione delle acque incanalate negli alvei naturali/artificiali o lungo le pendici;
- **Pericolosità elevata (P3):** aree potenzialmente instabili suddivise in due sottoclassi:
 - (P3a) Aree non interessate da fenomeni di dissesto attivi ma in cui sono presenti indicatori geomorfologici diretti, quali aree interessate da instabilità in passato e/o segni precursori o premonitori di movimenti gravitativi, sulla base dei quali non è possibile escludere la riattivazione dei dissesti;
 - (P3b) Aree interessate da possibili instabilità di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all’azione delle acque incanalate negli alvei naturali /artificiali o lungo le pendici, per effetto di

condizioni geomorfologiche e fisiche sfavorevoli che determinano elevata propensione al dissesto.

- **Pericolosità media (P2):** aree stabilizzate, aree stabili interessate tuttavia da litologie e condizioni strutturali e geomorfologiche che determinano propensione media al dissesto e che possono dar luogo a modifica della loro condizione di stabilità;
- **Pericolosità moderata (P1):** aree stabili con condizioni litologiche, strutturali e geomorfologiche aventi caratteri per lo più favorevoli alla stabilità con bassa propensione al dissesto.

Al Capo 2, Sezione 1, Art.7 e Art.8, a cui si rimanda per ulteriori dettagli, sono riportate le norme che definiscono gli interventi e le attività consentite in corrispondenza delle aree P3a e P4, interferenti con il tracciato e, in particolare, per l'area P4 a pericolosità molto elevata risultano comunque consentiti gli "interventi di ampliamento e ristrutturazione delle opere e infrastrutture pubbliche esistenti riferiti ai servizi essenziali, nonché inerenti la rete infrastrutturale primaria e la rete dei servizi lineari e puntuali".

6.3 Geoportale Regione Toscana – Database geomorfologico

Ad integrazione dei dati sopracitati, con l'obiettivo di caratterizzare i dissesti oltre che in termini di pericolosità anche in termini di tipologia, velocità nonché stato di attività, è stata fatta un'analisi del database geomorfologico del Geoportale della Regione Toscana.

La cartografia geomorfologica del database regionale è esclusivamente disponibile in formato shapefile oppure consultabile nell'apposita sezione "GEOscopio", ovvero lo strumento web-gis con cui è possibile visualizzare ed interrogare i dati geografici (e geomorfologici) della Regione Toscana.

Nella **Figura 12** sottostante si riporta lo stralcio delle forme geomorfologiche identificate dai dissesti nel territorio in esame riportati nel database regionale.



Figura 11 – Stralcio DB geomorfologico - Banca dati Geoportale Regione Toscana (2018): dissesti

In particolare, dall'esame della carta, è possibile verificare la presenza, nella medesima area vista prima (in corrispondenza dell'area di servizio Esso tra il viadotto Valli e il viadotto Casone), di due fenomeni classificati *colamenti*, che interferiscono con il tracciato in progetto. Sono presenti, inoltre, in tutta l'area attraversata dall'infrastruttura in progetto, numerosi altri dissesti classificati in parte come *colamenti* in parte come *scorrimenti* nessuno dei quali, in ogni caso, interferisce direttamente con il tracciato. Lo stato di attività dei fenomeni franosi è sempre classificato come *quiescente* e la velocità è classificata come *indeterminata*.

All'interno della stessa cartografia sono evidenziate anche *orli di scarpata di frana*, a monte di ciascun perimetro di dissesto, e alcune *frane non cartografabili* di tipo *attive continue*, *stagionali*, *con tempo di ritorno pluriennale o pluridecennale*, non interferenti con il tracciato, ubicate in prossimità della strada S.R.2 "Cassia", in un area discretamente antropizzata.

6.4 Inventario Fenomeni Franosi Italiani (I.F.F.I.) e piattaforma "IdroGEO"

Per completezza di informazione, è stato consultato anche il catalogo I.F.F.I. (Inventario Fenomeni Franosi Italiani) che, attualmente, è fruibile in formato web-gis mediante la nuova piattaforma "IdroGEO" messa a disposizione dall'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A.). Tale piattaforma permette di identificare, con aggiornamento continuo e dettagliato, la situazione dei fenomeni franosi nazionali.

Come si evince, nella figura sottostante (cfr. stralcio **Figura 13**), le informazioni sulle perimetrazioni e la classificazione dei fenomeni franosi definiti dall'I.F.F.I. coincidono perfettamente con quelle proposta dalla banca dati geomorfologica della Regione Toscana (database geomorfologico).



Figura 12 – Stralcio scenario dei dissesti I.F.F.I. da piattaforma IdroGEO (ISPRA, 2020)

In particolare, viene confermata la presenza, nell'area appena compresa tra il viadotto Valli e il viadotto Casone, lato monte al tracciato, in corrispondenza dell'area di servizio, di due fenomeni classificati come *colamenti rapidi*, che interferiscono con il tracciato in progetto e, nell'area vasta

attraversata dall'infrastruttura, sono presenti altri dissesti, non interferenti con il tracciato, classificati in parte come *colamenti rapidi* in parte come *scivolamenti rotazionali/traslativi*.

All'interno della nuova piattaforma "IdroGEO" messa a disposizione dall'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A.), è possibile anche identificare un indice di pericolosità franosa e idraulica: in **Figura 13** è riportato lo stralcio dei possibili scenari per la zona in esame e per la quale si evince una pericolosità di frana *elevata tipo P3* in corrispondenza dei principali rilievi più acclivi. Tali informazioni integrano e completano quanto mostrato nei punti **6.2.1** e **6.2.2**.

La piattaforma IdroGEO mostra anche diversi scenari di pericolosità idraulica, classificati di tipo P2 nei principali impluvi (P3 nelle zone di interferenza con la sede stradale) e di tipo P1 nelle zone di piana alluvionale (P2 e P3 nelle zone di ristagno di bassa quota), quest'ultime coincidenti con i principali svincoli Cerchiaia e Ruffolo di inizio e fine tracciato. Per ulteriori dettagli sulle classificazioni e le informazioni inerenti agli scenari di pericolosità di tipo idraulica/fluviale, si rimanda in ogni caso all'elaborato **T00_ID01_IDR_RE01 - "Relazione idrologica e idraulica"**.



Figura 13 - Stralcio scenari di pericolosità frane e pericolosità idraulica - Piattaforma IdroGEO (ISPRA, 2020)

6.5 Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) - Comune di Siena (2020)

Da ultimo, ma non per minor importanza, è stato consultato il **Piano Operativo e Variante di aggiornamento del Piano Strutturale** del Comune di Siena, adottato con Del. C.C. n.58 del 19/05/2020.

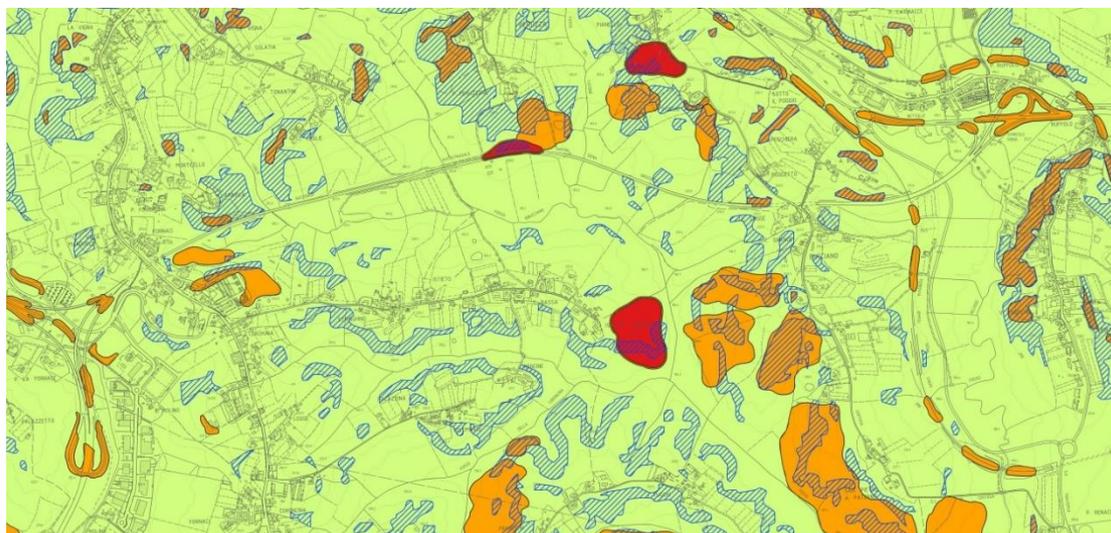
L'adozione del Piano Operativo e della Variante di aggiornamento del Piano Strutturale permette, all'interno del Sistema Informativo Territoriale presente sul sito comunale nella sezione "*Studi geologici, idraulici e sismici*", di consultare la Relazione geologica di fattibilità nonché tutti gli elaborati a carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico alla scala 1:10000 per il territorio comunale.

In particolare, dalla *Carta delle aree a pericolosità geologica C03/01* – Scala 1:10000 del Comune di Siena (cfr. **Figura 14**) è possibile identificare differenti aree a pericolosità geologica e, nel caso in

esame, aree di tipo G.4 e G.3, corrispondenti rispettivamente ad aree a *Pericolosità geologica molto elevata* e aree a *Pericolosità geologica elevata*. Tali aree, così definite:

- **G.4 – Pericolosità geologica molto elevata:** aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza; aree interessate da soliflussi;
- **G.3 – Pericolosità geologica elevata:** aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%; pendenze >35%.

coincidono solo in parte con le aree P4 e P3/P3a (cfr. punti **6.2.1** e **6.2.2**) presenti all'interno delle cartografie P.A.I. descritte in precedenza, dato che le aree **G.3 – Pericolosità geologica elevata**, oltre alle aree di dissesto legate a fenomeni di instabilità di versante, comprendono anche i volumi di terreno riconducibili ai *terreni di riporto* antropico, perlopiù distribuiti lungo le infrastrutture stradali e ferroviarie, oltre che in aree recentemente urbanizzate.



Legenda
 Aree a pericolosità geologica

G.4 - Pericolosità geologica molto elevata

■ Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi

G.3 - Pericolosità geologica elevata

■ Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti, aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%, pendenze > 35%

G.2 - Pericolosità geologica media

■ Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%

G.1 - Pericolosità geologica bassa

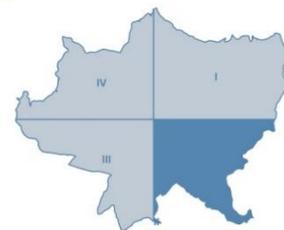
■ Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi

PAI - Piano di Assetto Idrogeologico ex Bacino Regionale Ombrone

■ PFE - Aree a pericolosità geomorfologica elevata

■ PFME - Aree a pericolosità geomorfologica molto elevata

Comune di Siena
Piano Strutturale C03/01
 Carta delle Aree a Pericolosità geologica
 scala 1:10.000



Progetto:

marzo 2020

Figura 14 - Carta delle aree a pericolosità geologica e aree P.A.I. a pericolosità geomorfologica (P.S.C. Comune di Siena, 2020)

La carta delle aree a pericolosità geologica del P.S.C. (cfr. **Figura 14**) riporta anche aree definite *PFE - aree a pericolosità geomorfologica elevata* (cfr. legenda nella sezione "PAI – Piano di Assetto Idrogeologico ex Bacino Regionale Ombrone", ovvero ex Bacini Regionali Toscani), corrispondenti alle aree di *pericolosità frane elevata P3* riportate nella piattaforma nazionale IdroGEO di ISPRA (cfr. **Figura 13**), già vista in precedenza.

6.6 Osservazione di foto aeree storiche e di immagini da drone

Ad integrazione del lavoro di ricerca bibliografico, sono state consultate le foto aeree storiche del territorio in esame mediante lo strumento cartografico web-GIS messo a disposizione dal Sistema Informativo Territoriale della Provincia di Siena in collaborazione con il consorzio "Terre Cablate". Tale strumento permette la consultazione interattiva di diverse foto aeree, realizzate nell'area provinciale dal 1954 al 2013 (cfr. <http://gis.sienaprovincia.consorzioterrecablate.it/?q=cartobase>).

Tale analisi ha consentito infatti di delineare un quadro geomorfologico più completo dell'area in esame permettendo di affinare il grado di dettaglio delle principali morfologie riportate negli elaborati grafici.

Il confronto tra le foto aeree, a diverse scale di dettaglio, riprese nella stessa area in diversi anni, ha consentito di definire, in alcune aree, le dinamiche di evoluzione, naturale o antropica, del territorio, dinamiche talvolta non evidenti nelle foto aeree più recenti, a causa della pesante sovrapposizione di interventi di natura antropica (scavi/riporti, opere di sistemazione idraulica, opere di consolidamento dei versanti, ecc.) sulle forme e i processi geomorfologici di evoluzione naturale del territorio.

In particolare, sono risultate molto utili le foto aeree disponibili tra il 1954 e i primi anni '80, che hanno permesso di definire l'evoluzione morfologica della zona a ridosso della Galleria S. Lazzero: dal confronto delle foto disponibili in diversi periodi è possibile osservare il forte rimaneggiamento antropico conseguente alla realizzazione della galleria, realizzata perlopiù in artificiale e sopra la quale è stato ripristinato l'originale tracciato della S.R.2 Cassia (cfr. **Figura 15**).

Per quanto riguarda invece la scarpata di scavo a monte del tracciato attuale, ubicata tra l'imbocco est della galleria San Lazzero ed il viadotto Luglie (cfr. **Figura 16**), realizzata durante i lavori dell'infrastruttura tra la fine degli anni '60' e i primi anni '70, l'evoluzione della stessa verso fenomeni di instabilità, costituiti verosimilmente da un'erosione diffusa su tutta la scarpata, è stata bloccata con la realizzazione, negli anni '90, di opportuni interventi di consolidamento, che hanno assicurato nel tempo la sua stabilizzazione, oltre che un adeguato inerbimento.

Tali foto forniscono in generale indizi che denotano la presenza periodica di fenomeni di erosione diffusa sui versanti dei rilievi collinari prospicienti le valli fluviali, da ricondurre principalmente alla scarsa regimazione delle acque di ruscellamento superficiale e/o a fenomeni di erosione selettiva.

Sono state analizzate anche i recenti rilievi fotografici effettuati mediante drone, in corrispondenza delle principali opere d'arte, gli svincoli e gli imbocchi delle gallerie.

Osservando la scarpata di monte (lato nord) in prossimità dell'imbocco ovest (lato Grosseto) dell'attuale Galleria S. Lazzero (cfr. foto da drone mostrata in **Figura 17**), è possibile verificare che, l'orlo di scarpata di origine antropica, originato dallo scavo (altezza massima circa 10 m) della trincea di approccio alla galleria, risulta parzialmente in evoluzione, essendo presente una superficie di denudazione di alcuni metri di estensione verso valle per una lunghezza di circa 30 m.

Infatti, va tenuto presente che le *argille azzurre*, specie nella loro componente alterata più superficiale, in corrispondenza di rilievi più o meno acclivi, possiedono una minore consistenza geotecnica rispetto alle loro porzioni più profonde, generalmente da molto consistenti a dure. In tali situazioni, specialmente su scarpate di origine antropica conseguenti a sbancamenti anche di notevole altezza, dove si somma anche una non corretta regimazione delle acque meteoriche provenienti da monte, a causa della mancanza di un fosso di guardia in testa alla scarpata, si determinano le condizioni per l'insacco di movimenti gravitativi, seppure di spessore modesto, perché limitato in ogni caso agli orizzonti superficiali più alterati.

Tale dissesto è stato già descritto nella fase di progettazione preliminare (cfr. *Relazione geologica*), dove si indica che il fenomeno è già stato segnalato dal Comune di Siena al Dipartimento ANAS di Firenze in data 08/04/2009 come "*frana che potenzialmente può arrivare ad interessare la sede stradale, tra l'altro in uscita da una galleria*", per la quale non sono stati ancora realizzati interventi di consolidamento.

Il dissesto, che non compare né nel *Database Geomorfologico della Regione Toscana*, né nel *database IFFI*, né nella *cartografia PAI della pericolosità da dissesti di natura geomorfologica*, viene in ogni caso indicato nella *Carta geomorfologica* del progetto preliminare come *frana attiva non cartografabile*.

Ai fini della sistemazione definitiva di tale dissesto, il progetto in esame prevede, per il nuovo imbocco della galleria in carreggiata ovest, la realizzazione di una paratia lato monte con una quota di testa tale da consentire una riprofilatura della scarpata su pendenze più basse, al fine di garantire le necessarie condizioni di stabilità a lungo termine.

In **Figura 18** viene mostrata un'immagine da drone della scarpata di origine antropica presente a monte dell'area di servizio Esso, ubicata tra il Viadotto Valli e il Viadotto Casone. La superficie di tale scarpata, di altezza massima pari a circa 13 m, risulta assimilata ad un'area di *pericolosità molto elevata - P4* nella cartografia PAI. Inoltre, insistono su tale area due diversi dissesti, identificati nel *Database Geomorfologico della Regione Toscana* e nel *database IFFI* come *colamenti quiescenti di velocità indeterminata*. Premesso che di tali dissesti non risulta alcuna evidenza morfologica (oltre tutto uno dei due risulterebbe ubicato a cavallo dell'area di servizio), è presumibile invece che l'attribuzione ad una classe di pericolosità molto elevata nella cartografia PAI derivi da una pregressa evoluzione della scarpata in dissesto superficiale (ad esempio a seguito di periodi di precipitazioni particolarmente intense e prolungate), testimoniata anche dalla presenza di *consolidamenti con pali e micropali*, indicati nella *Carta dei consolidamenti e criticità* allegata allo studio geologico di progetto preliminare, consolidamenti che risultano distribuiti lungo la berma di larghezza circa 3 m ubicata sulla scarpata a quota ca. 208 m s.l.m., ovvero circa 4 m più in alto della quota della carreggiata stradale, posta a ca. 204 m s.l.m. In tale area, il progetto all'esame prevede solo l'inserimento di una canale per il drenaggio delle acque superficiali al di sopra del muro di sostegno al piede della scarpata, senza necessità di demolizione e rifacimento dell'opera di sostegno.

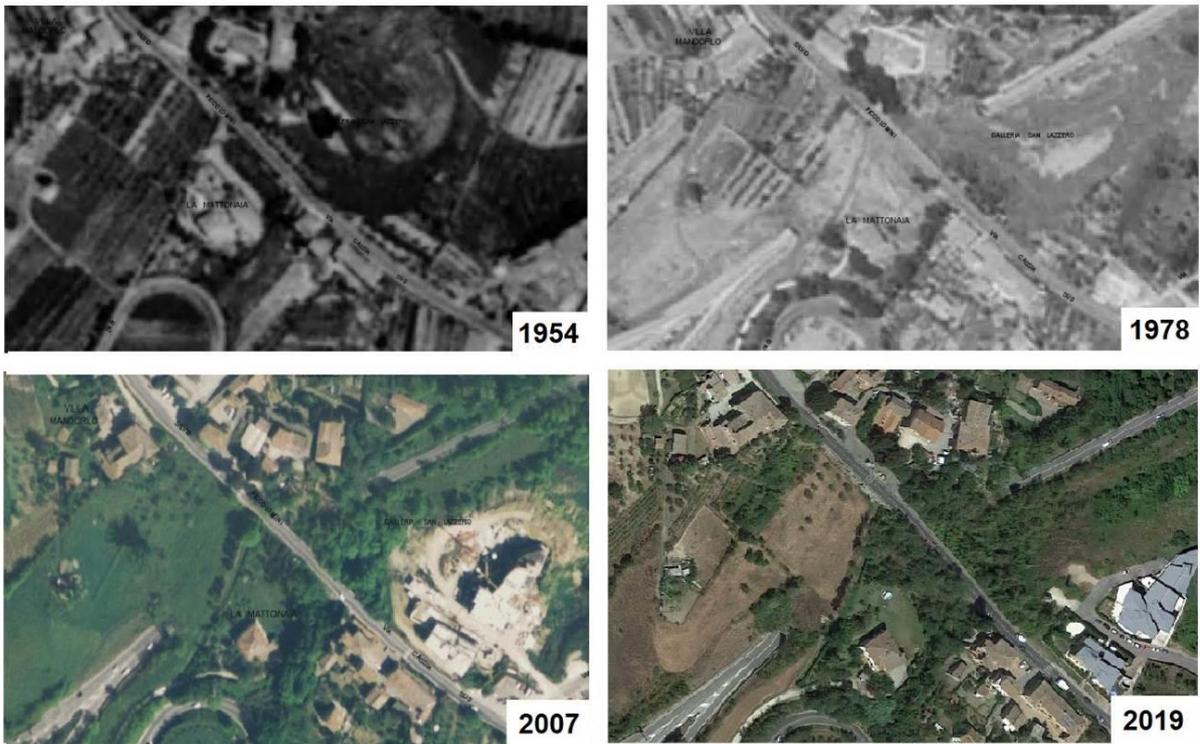


Figura 15 - Evoluzione temporale negli ultimi decenni dell'area in corrispondenza della galleria S. Lazzero



Figura 16 - Evoluzione temporale negli ultimi decenni della scarpata a monte del tracciato tra l'imbocco est della galleria San Lazzero e il Viadotto Luglie



Figura 17 – Orlo di scarpata antropica a ridosso dell'imbocco lato Grosseto della galleria S. Lazzerò, parzialmente in evoluzione (immagine da drone, 2020)



Figura 18 – Orlo di scarpata antropica a monte dell'area di servizio Esso

6.7 Cartografia dei fenomeni geomorfologici

Al fine di una caratterizzazione geomorfologica completa dell'area in esame, si è tenuto conto, della cartografia P.A.I., dei dati disponibili in formato web-gis a livello regionale e nazionale, delle ortofoto e dei rilievi disponibili, senza dimenticare gli elementi geomorfologici già riconosciuti e descritti nella fase di progettazione preliminare a cura del Comune di Siena, per definire le forme e i processi dei fenomeni geomorfologici del territorio in esame, distinguendo gli aspetti legati alla dinamica dei versanti, gli aspetti legati alla dinamica delle acque correnti superficiali e gli aspetti legati agli interventi antropici sul territorio.

Tutti gli elementi geomorfologici (comprese le perimetrazioni dei dissesti estratti dalle fonti bibliografiche citate nei paragrafi precedenti) nonché l'analisi della cartografia disponibile per la zona del tracciato in esame sono stati rappresentati nell'elaborato di progetto definitivo **T00_GE01_GEO_CG05+CG07_B** – “**Carta geomorfologica**” - scala 1:2000 (3 tavv.).

6.7.1 Forme, processi e depositi gravitativi di versante

Nell'ambito delle forme, processi e depositi gravitativi di versante sono stati cartografati gli elementi relativi a:

6.7.1.1 Database geomorfologico - Geoportale Regione Toscana e database IFFI nella piattaforma IdroGEO-ISPRA (cfr. punti 6.3 e 6.4)

Sono stati cartografati i seguenti elementi:

- Orli di scarpata di degradazione e/o di frana
- Corpi di frana per colamento, quiescenti, velocità indeterminata
- Corpi di frana per scorrimento, quiescenti, velocità indeterminata
- Corpi di frana indeterminati, quiescenti, velocità indeterminata
- Frane non cartografabili, attività continua, stagionale, con tempo di ritorno pluriennale o pluridecennale

6.7.1.2 PAI - Mappa di pericolosità da dissesti di natura geomorfologica (cfr. punto 6.2.2)

Sono stati cartografati i seguenti elementi:

- Pericolosità molto elevata (P4): aree instabili interessate da fenomeni di dissesto attivi di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali/artificiali o lungo le pendici
- Pericolosità elevata (P3a): Aree non interessate da fenomeni di dissesto attivi ma in cui sono presenti indicatori geomorfologici diretti, quali aree interessate da instabilità in passato e/o segni precursori o premonitori di movimenti gravitativi, sulla base dei quali non è possibile escludere la riattivazione dei dissesti

6.7.1.3 Progetto preliminare Comune di Siena

Sono stati cartografati gli elementi già presenti nella documentazione geologica allegata al progetto preliminare presentato dal Comune di Siena:

- Soliflusso
- Scarpata di frana non attiva
- Frana attiva non cartografabile
- Erosione superficiale localizzata
- Zona di ristagno

6.7.2 Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali

L'azione erosiva delle acque superficiali (fiumi, torrenti, ecc.), unitamente alle mediocri caratteristiche geotecniche di alcuni litotipi, generano le classiche morfologie a "V", con modesta pendenza dei versanti, determinando orli di scarpata di erosione fluviale e torrentizia oltre a formazioni di alcune aree di ristagno ai piedi dei versanti erosi.

L'analisi del rilievo e delle foto aeree disponibili ha permesso di riconoscere diversi *orli di scarpata di erosione fluviale e/o torrentizia* lungo il corso di tutti i numerosi corsi d'acqua presenti nell'area attraversata dall'infrastruttura in progetto.

6.7.3 Forme, processi e depositi antropici

L'analisi del rilievo e delle foto aeree disponibili ha permesso di definire anche le forme e i depositi di origine antropica, sovrainposti alle forme e ai depositi legati ai processi geomorfologici di origine naturale.

Le morfologie di questo tipo sono legate allo sviluppo antropico del territorio e sono costituiti principalmente da:

- Orli di scarpata di origine antropica
- Terrazzamenti agricoli
- Depositati antropici (rilevati stradali e ferroviari, terrapieni, discariche).

Tra i depositi antropici, si distinguono principalmente i corpi dei *rilevati stradali* (in gran parte corrispondenti all'attuale carreggiata dell'infrastruttura da adeguare, ma relativi anche ad altre infrastrutture stradali di minore importanza), i corpi dei *rilevati ferroviari* (corrispondenti alle linee ferroviarie Chiusi-Empoli e Siena-Buonconvento, in località Ruffolo), diversi *terrapieni* legati alla realizzazione di opere di urbanizzazione di complessi di carattere residenziale e/o industriale, presenti soprattutto nella zona di Cerchiaia, e alcuni piccoli rilevati in terra utilizzati in ambito agricolo quali opere di sbarramento di bacini per acque di irrigazione.

Le forme antropiche più diffuse sono gli *orli di scarpata di origine antropica*, legati alla realizzazione di scarpate di scavo definitive in corrispondenza delle infrastrutture stradali (di carattere statale, regionale, provinciale, comunale, fino a locale) e ferroviarie, oltre che alla realizzazione di scavi di sbancamento di vaste aree residenziali o industriali nelle zone di Cerchiaia e di Ruffolo.

Risultano diffusi anche i *terrazzamenti agricoli*, dovuti ai lavori di rimodellamento eseguiti in alcune aree collinari ai fini di un più agevole utilizzo territorio ai fini agricoli.

7 IDROGEOLOGIA

Da un punto di vista idrografico il tracciato stradale di progetto si inserisce all'interno del reticolo del fiume Arbia, suddiviso nei suoi tributari torrente Tressa, fosso Ribucciano e torrente Rilugo, tutti in destra idrografica. L'Arbia sfocia quindi nel fiume Ombrone, in località Buonconvento geograficamente a sud di Siena.

Il territorio su cui insiste l'opera in progetto appartiene come detto al P.A.I. Bacini Regionali Toscani, le cui norme di piano sono omogenee per i tre piani relativi al Bacino Ombrone, Bacino Toscana Costa e Bacino Toscana Nord, approvate dal Consiglio Regionale con la delibera n.12 del 25.01.2005 e pubblicate nel Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n.7 del 16.02.2005.

Come anticipato al **punto 3.2**, però, per le aree dei Bacini Regionali Toscani (interessati dall'infrastruttura in progetto) e del bacino dell'Arno, la parte relativa alla pericolosità idraulica e da alluvioni del P.A.I. è abolita e sostituita integralmente dal *Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.)*. Nel bacino del fiume Serchio, negli ex bacini regionali liguri e nel bacino del fiume Magra il P.A.I. per la parte di pericolosità idraulica è ancora vigente e continua ad essere applicato, in forma integrata con il Piano di Gestione Rischio Alluvioni, sia come norme che come perimetrazioni.

7.1 Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.): Units of Management "Ombrone"

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (di seguito denominato P.G.R.A.) delle "Units of Management" (U.O.M.) Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone, è redatto ai sensi della direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 ed è finalizzato alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone.

Il P.G.R.A. delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate, tenendo conto delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato e sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni di cui all'art. 6, le misure di prevenzione, di protezione, di preparazione e di risposta e ripristino finalizzate alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone.

Il P.G.R.A. delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone costituisce, ai sensi dell'art. 65 comma 8 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 uno stralcio territoriale e funzionale del Piano di bacino distrettuale del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale e vale attualmente, in attesa della futura approvazione del nuovo P.A.I. "dissesti geomorfologici", già citato precedentemente.

Nello stralcio di **Figura 19** dello scenario di pericolosità fluviale disponibile sul web-gis messo a disposizione dal P.G.R.A. dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (cfr. <https://geodata.appenninosettentrionale.it/mapstore/#/viewer/openlayers/988>), per ciò che riguarda l'Units of Management "Ombrone" si evince che, come anticipato in **Figura 13** dalla cartografia web-gis della piattaforma IdroGEO di I.S.P.R.A., lo scenario di pericolosità idraulica risulta di tipo P2 nei principali impluvi (P3 nelle zone di interferenza con la sede stradale) e di tipo P1 nelle zone di piana alluvionale (P2 e P3 nelle zone di ristagno di bassa quota), quest'ultime coincidenti con gli svincoli Cerchiaia e Ruffolo di inizio e fine tracciato.

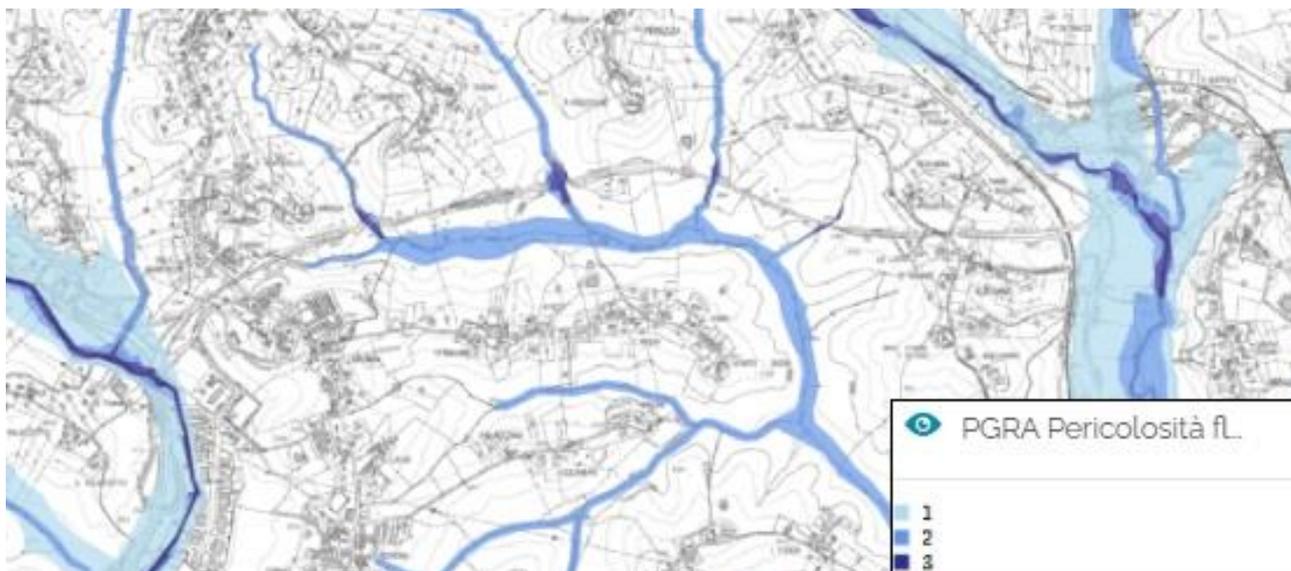


Figura 19 – Stralcio scenari di pericolosità idraulica/fluviale dal P.G.R.A. dell'U.O.M. "Ombrone"

La mosaicatura delle aree a pericolosità fluviale/idraulica redatte dalle Autorità di Bacino Distrettuali sui tre scenari definiti dal D.Lgs. 49/2011 (recepimento della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE) è così definita:

- Aree a pericolosità idraulica P1: scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi;
- Aree a pericolosità idraulica media P2: alluvioni poco frequenti, con tempi di ritorno fra 100 e 200 anni;
- Aree a pericolosità idraulica elevata P3: alluvioni frequenti, con tempi di ritorno fra 20 e 50 anni.

Come già accennato nei paragrafi precedenti, per maggiori dettagli sugli scenari di pericolosità idrologico-idraulica si rimanda all'elaborato **T00_ID01_IDR_RE01** - "Relazione idrologica e idraulica".

7.2 Idrogeologia

Il quadro idrogeologico del tracciato in esame, ubicato in Comune di Siena (SI), è stato desunto dai risultati delle indagini effettuate per la caratterizzazione geologica e idrogeologica del tracciato della "S.G.C. E78 Grosseto-Fano – Tratto Siena Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena-Ruffolo (Lotto 0)" condotte nelle campagne di indagini pregresse (2009) e nella recente campagna integrativa 2019, nonché mediante le informazioni desunte dai dati idrogeologici di pozzi e sondaggi richiesti al Comune di Siena nel corso della presente fase di progettazione definitiva.

7.2.1 Permeabilità dei terreni

L'area oggetto di studio è caratterizzata da tre domini ben distinti dal punto di vista idrogeologico e della permeabilità dei terreni. Si distinguono, infatti, le condizioni presenti nei rilievi collinari argillosi, quelle intermedie nei domini pedecollinari e di raccordo e quelle presenti nei fondovalle alluvionali.

Come rappresentato nell'elaborato **T00_GE01_GEO_CI01+03_B** - "Carta idrogeologica" – Scala 1.2000 (4 tavv.) il grado di permeabilità dei terreni è strettamente legato alla granulometria delle
Relazione Geologica

35

unità riconosciute. Trattandosi principalmente di depositi superficiali olocenici e di depositi pliocenici non cementati, la permeabilità è una permeabilità primaria per porosità, che risulta generalmente variabile da media a molto bassa a seconda della granulometria prevalente dei depositi.

Di seguito vengono distinte e raggruppate le formazioni affioranti nel bacino in base al tipo e al grado di permeabilità che possiedono:

- Terreni a permeabilità media: sono rappresentati, nell'area in esame, dai *depositi antropici* e dai *depositi alluvionali ghiaiosi*.
- Terreni a permeabilità medio-bassa: sono rappresentati, nell'area in esame, dai *depositi alluvionali sabbioso-limosi*, dai *depositi alluvionali terrazzati* e dai depositi sabbioso-limosi del Pliocene (*Sabbie di San Vivaldo*);
- Terreni a permeabilità bassa o molto bassa: sono rappresentati dalle litologie nelle quali si verifica una circolazione idrica quasi trascurabile e che per tali caratteristiche fungono da substrato alle falde acquifere. In questa categoria si identificano tutte le facies costituite da una frazione argillosa prevalente, mediamente o molto consistente, come le *argille azzurre* dei depositi marini del Pliocene, nella loro struttura non alterata superficialmente, nonché i prodotti della loro alterazione argilloso-limosa costituita dai *depositi eluvio-colluviali*; nel range di terreni a permeabilità bassa si possono collocare, inoltre, i *depositi alluvionali limoso-argillosi*, specie per la loro componente fine prevalente.

Per quanto riguarda in particolare l'unità della *argille azzurre* plioceniche, la bassa permeabilità di tali depositi, misurata attraverso prove di permeabilità Lefranc a carico variabile, è risultata generalmente variabile nell'ambito di un range piuttosto esteso: da bassa a molto bassa per la litofacies argilloso-limosa (variabile tra 1E-7 e 1E-9 m/s) e generalmente medio-bassa per la litofacies limoso-sabbiosa (variabile tra 1E-5 e 1E-7 m/s). Inoltre, come è stato possibile osservare nelle stratigrafie dei pozzi per acqua ubicati in ambito collinare (cfr. **Allegato 2**), per quanto la loro descrizione non sia del tutto precisa, nel complesso delle *argille azzurre* plioceniche sono presenti livelli di sabbie acquifere di spessore variabile generalmente tra 2÷3 m e 10 m circa, con una soggiacenza del livello piezometrico variabile tra 20 e 60 m circa (solo in un caso è pari a 3 m, ma in un ambito di transizione tra il piede della collina e la piana alluvionale) e una portata dei pozzi generalmente modesta, variabile tra un minimo di 0.01 l/s e un massimo di 2 l/s.

In generale, si deve considerare che la permeabilità dei depositi a componente più sabbiosa nel complesso risulta comunque sempre mediamente bassa, specie per l'elevato contenuto di materiale fine limoso-argilloso evidente dall'osservazione delle carote di sondaggio e dalle analisi granulometriche di laboratorio, con valori minimi stimati del tutto paragonabili a quelli dei terreni argillosi pliocenici, ma la cui componente sabbiosa in ogni caso li rende non del tutto impermeabili.

Negli elaborati **T00_GE01_GEO_CI01÷03_B – “Carta idrogeologica”** – Scala 1:2000 (3 tavv.) allegati al progetto, sono stati rappresentati i range di permeabilità delle unità litostratigrafiche riconosciute, riportati anche nella seguente **Figura 20**.

In generale, il sottosuolo del tracciato in esame è caratterizzato nel complesso da terreni a permeabilità **da media a molto bassa**, con valori che variano mediamente tra 10⁻⁴ m/s e 10⁻⁹ m/s.

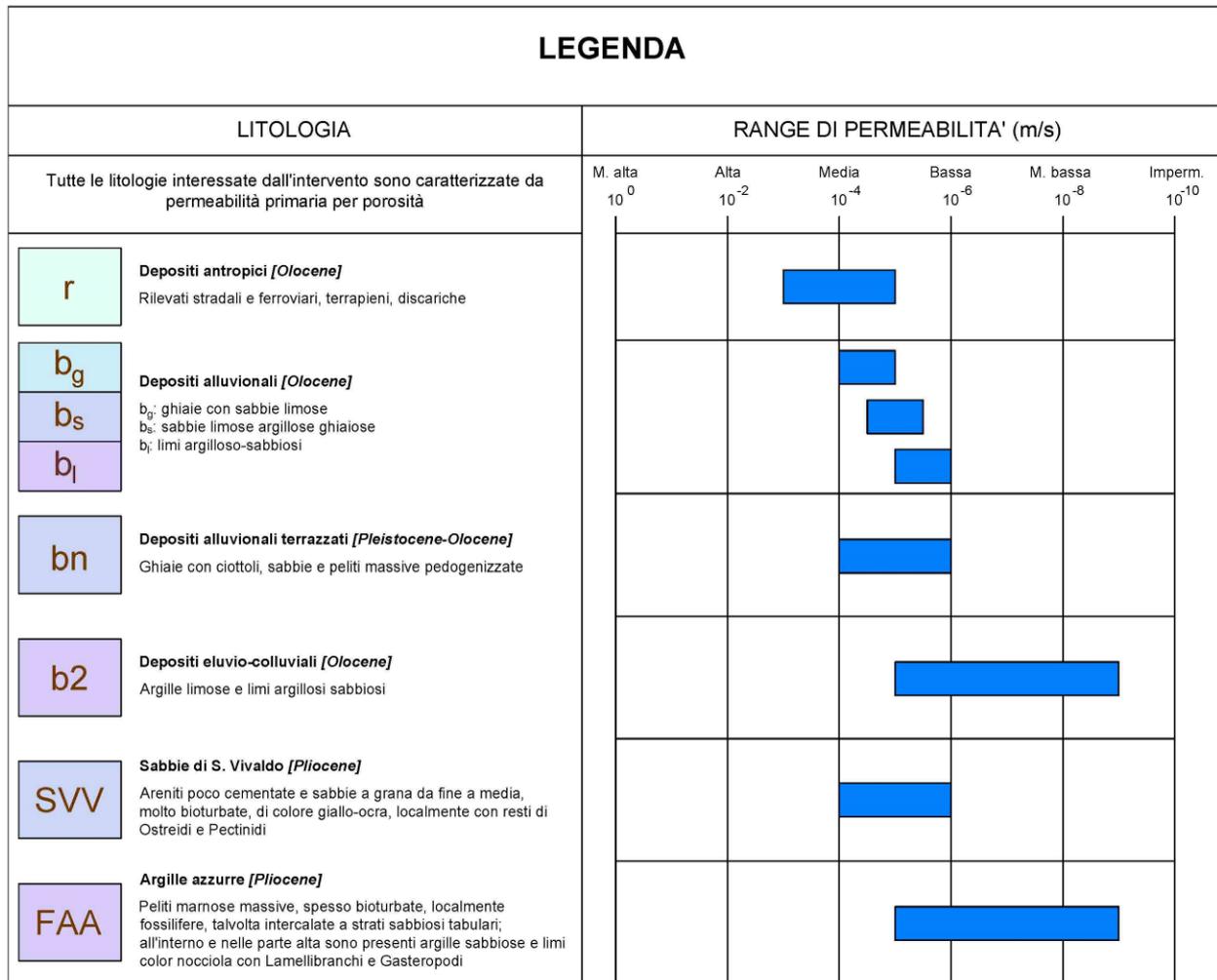


Figura 20 - Range di permeabilità delle unità litostratigrafiche

7.2.2 Pozzi per acqua

Le indagini effettuate nella zona inerente all'infrastruttura in fase di progetto preliminare, unitamente ad una ricognizione dei punti d'acqua esistenti e messi a disposizione dagli enti preposti (Comune di Siena in primis, Provincia e Regione) permettono di delineare una situazione idrogeologica, a livello generale, più completa per il sito in esame e di ricostruire con buona approssimazione il sistema di circolazione idrica sotterranea.

A livello regionale (Geoportale Regione Toscana) e provinciale (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale - Siena) nonché nei database di A.R.P.A.T. Toscana non risultano disponibili dati su pozzi o opere di captazione nelle immediate vicinanze dell'infrastruttura in esame.

A livello comunale, invece, con l'approvazione del nuovo **Piano Operativo e Variante di aggiornamento del Piano Strutturale**, adottato con Del. C.C. n.58 del 19/05/2020 per il Comune di Siena, è disponibile una documentazione cartografica aggiornata (cfr. Piano Strutturale - Carta idrogeologica B09/04) in cui viene indicata l'ubicazione dei pozzi di captazione a scopo industriale e/o agricolo e pozzi di captazione a scopo industriale e/o agricolo con prove di portata.

Nella **Figura 21** sottostante è riportato lo stralcio con legenda di tale documento e quindi l'ubicazione (seppur indicativa) dei pozzi a scopo industriale e/o agricolo presenti nei territori comunali dell'area in esame.

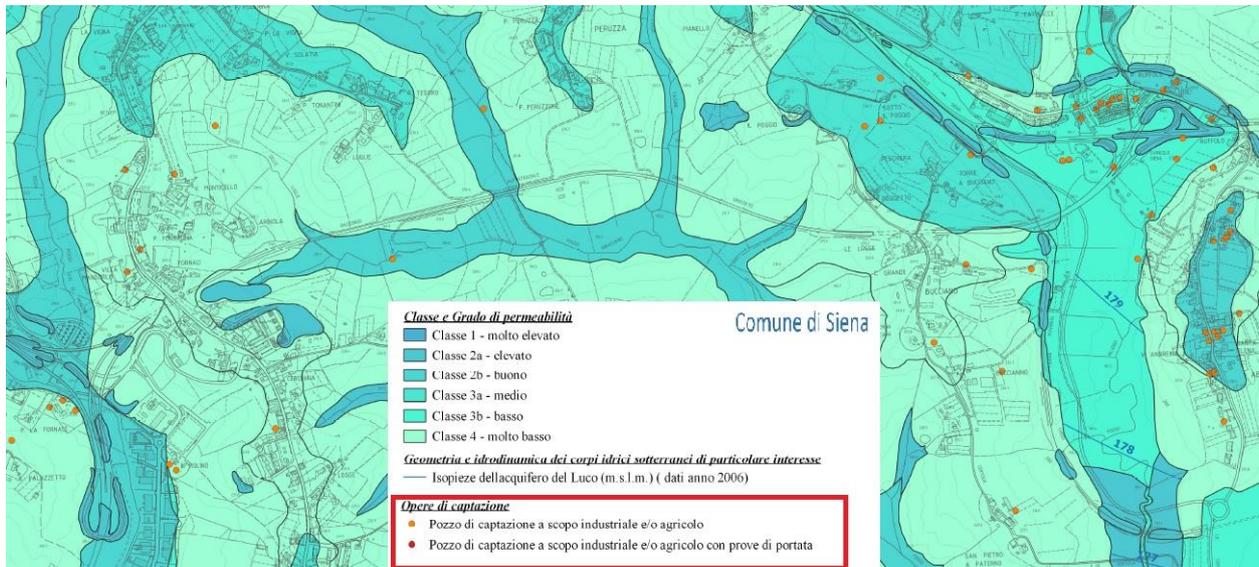


Figura 21 – Stralcio carta idrogeologica PSC Siena (2020) – Ubicazione opere di captazione (pozzi)

Purtroppo, non risulta disponibile una tabella con l'esatta georeferenziazione e codice del pozzo/denominazione con i relativi dati tecnici, per cui tali pozzi non sono riconducibili direttamente ad un determinato complesso idrogeologico.

Nonostante ciò, però, come già anticipato, in ambito di progettazione è stata fatta richiesta dei dati disponibili in bibliografia per l'area in esame e in particolare (oltre a sondaggi e prove statiche e dinamiche) anche delle stratigrafie dei pozzi per acqua identificati tra quelli presenti nella *Carta delle Indagini (Tav.4)* dello "Studio di microzonazione sismica" del **Piano Operativo e Variante di aggiornamento del Piano Strutturale**, adottato con Del. C.C. n.58 del 19/05/2020.

Tali dati stati consultati per un maggior dettaglio di definizione del modello idrogeologico di riferimento e le stratigrafie richieste sono riportate in **Allegato 2 - Stratigrafie di pozzi fornite dal Comune di Siena** del presente documento, mentre l'ubicazione di ciascun pozzo è riportata nell'elaborato di progetto **T00_GE01_GEO_CI01÷03_B – "Carta idrogeologica"** – Scala 1:2000 (3 tavv.).

Data l'ubicazione dei pozzi per acqua, che risultano in parte concentrati in corrispondenza delle due valli alluvionali principali nelle zone di svincolo di Cerchiaia e di Ruffolo e in parte distribuiti in tutta la zona collinare compresa tra i due svincoli, è verosimile riferire le due tipologie di pozzi a due diversi complessi idrogeologici, il primo legato ai *depositi alluvionali*, prevalentemente sabbiosi nella zona di Cerchiaia e prevalentemente ghiaiosi nella zona di Ruffolo, dove il livello piezometrico della falda è ad una profondità di pochi metri dal piano campagna, e il secondo legato al complesso delle *argille azzurre* plioceniche. Come è possibile osservare nelle stratigrafie dei pozzi per acqua ubicati in ambito collinare (cfr. **Allegato 2**), per quanto la loro descrizione non sia del tutto precisa, in tale complesso sono presenti livelli di sabbie acquifere di spessore variabile generalmente tra 2-3 m e 10 m circa, con una soggiacenza del livello piezometrico variabile tra 20 e 60 m circa (solo in un caso è pari a 3 m, ma in un ambito di transizione tra il piede della collina e la piana alluvionale) e

una portata dei pozzi generalmente modesta, variabile tra un minimo di 0.01 l/s e un massimo di 2 l/s.

7.2.3 Prove in sito: piezometri e livello piezometrico della falda

Tutti i pozzi per acqua citati precedentemente sono stati tutti riportati nell'elaborato di progetto definitivo **T00_GE01_GEO_CI01÷03_B – "Carta idrogeologica"** – Scala 1:2000 (3 tavv.).

Con il dataset richiesto al Comune di Siena, oltre a un discreto numero di pozzi, è stato fornito anche un discreto numero di sondaggi attrezzati con piezometri, utili per la ricostruzione più dettagliata del livello della falda in corrispondenza del territorio in esame.

In **Tabella 1** sono riportati i dati delle piezometrie ricavate dunque sia dai sondaggi sia dai pozzi messi a disposizione dal Comune di Siena e le cui stratigrafie sono riportate in **Allegato 1 - Indagini geognostiche fornite dal Comune di Siena** e in **Allegato 2 – Stratigrafie di pozzi per acqua**.

Pozzi e stratigrafie comunali			
sondaggio/pozzo [-]	Quota di riferimento [m s.l.m.]	prof. livello piezometrico [m da p.c.]	quota livello piezometrico [m s.l.m.]
P1068	211,5	3,00	208,5
P295	246,0	60,00	186,0
P880	251,4	35,00	216,4
P295	245,0	55,00	190,0
P297	265,0	50,00	215,0
P247	248,0	20,00	228,0
P869	225,0	56,00	169,0
P248	223,0	33,00	190,0
P249	237,0	40,00	197,0
P655	238,0	5,70	232,3
P563	237,7	4,90	232,8
P1267	191,8	3,77	188,0
P1268	191,1	3,68	187,4
P1271	191,4	4,00	187,4
P1269	191,4	3,62	187,8
P1270	190,8	3,90	186,9

Tabella 1 – Dati piezometrici stratigrafie e pozzi resi disponibili dal Comune di Siena

In **Tabella 2** vengono mostrate anche le misure eseguite per la campagna di indagine pregressa (2009) con l'indicazione delle misure della falda eseguite e della quota del livello piezometrico in relazione alla quota di riferimento da p.c. che, ove non rilevata e/o dichiarata nella documentazione di indagine, è stata desunta dai dati di rilievo disponibili. È stato riportato anche il livello piezometrico della falda rilevato in un sondaggio S2 eseguito nel 2003 per la realizzazione della passerella pedonale a fianco del ponte della linea ferroviaria Siena Buonconvento, a fine tracciato. Inoltre, tali dati sono stati integrati con i pozzi per acqua desunti dalla documentazione disponibile di progetto

preliminare, ovvero quanto riportato in elaborato "TAV. GEO 03 - Carta idrogeologica 1:5000" e nelle note sullo stato di progettazione (cfr. Allegato 5 - Nota sulle indagini geologiche).

Campagna di indagini 2009			
sondaggio [-]	Quota di riferimento [m s.l.m.]	prof. livello piezometrico [m da p.c.]	quota livello piezometrico [m s.l.m.]
S1	208,0	3,20	204,8
S3	230,0	0,00	230,0
S4	233,2	14,65	218,6
S6	232,3	3,20	229,1
S7	217,6	4,64	213,0
S12	231,2	1,40	229,8
S14	235,0	16,62	218,4
S15	192,2	4,19	188,0
S17	190,5	2,32	188,2
S18	192,6	2,90	189,7
P1	223,3	1,60	221,7
P6	206,6	asciutto	-
P8	199,2	1,70	197,5
P10	208,2	umido	-
P12	216,4	5,80	210,6
P15	193,1	4,20	188,9
P17	193,3	1,36	191,9

Campagna di indagine 2003			
S2	198,5	2,10	196,4

Pozzi per acqua da documentazione P.P.			
1	207,0	50,00	157,0
3	201,0	7,00	194,0
4	243,0	50,00	193,0
5	248,0	30,00	218,0
6	247,0	50,00	197,0
7	248,0	50,00	198,0
10	204,1	2,00	202,1
15	189,0	15,00	174,0
16	191,0	7,00	184,0
19	200,0	12,00	188,0

Tabella 2 – Progetto Preliminare: piezometri campagna di indagine 2009, 2003 e pozzi per acqua

Infine, nella campagna di indagine integrativa del 2019, sono stati installati n.6 piezometri a tubo aperto in altrettanti fori di sondaggi a carotaggio continuo. Come per le campagne precedenti, anche in **Tabella 3** si riportano le indicazioni relative alla ricostruzione della quota piezometrica di riferimento per la delineazione di un modello di circolazione idrica sotterranea completo.

Campagna di indagini 2019			
sondaggio [-]	Quota di riferimento [m s.l.m.]	prof. livello piezometrico [m da p.c.]	quota livello piezometrico [m s.l.m.]
S01D-PZ	210,0	6,50	203,5
S03D-PZ	206,0	0,00	206,0
S04D-PZ	198,4	0,00	198,4
S06D-PZ	196,1	2,20	193,9
S10D-PZ	227,1	6,00	221,1
S12D-PZ	192,0	4,30	187,7

Tabella 3 – Piezometri campagna di indagine 2019

7.2.4 Modello idrogeologico di riferimento

Il modello idrogeologico di riferimento per il tracciato in esame è stato dunque ottenuto dall'integrazione dei risultati delle indagini effettuate per la caratterizzazione geologica e idrogeologica del tracciato, condotte nelle campagne di indagini pregresse, nella recente campagna integrativa e dalle informazioni desunte dai dati idrogeologici di pozzi e sondaggi richiesti al Comune di Siena nella presente fase di progettazione definitiva.

È stato ricavato un modello idrogeologico di riferimento per la progettazione, basato principalmente sui range di permeabilità dei diversi complessi litostratigrafici presenti nel sottosuolo e arricchito con l'ubicazione delle preferenziali linee di deflusso della falda desunte dall'analisi delle quote piezometriche delle verticali disponibili.

Nonostante l'eterogeneità dei dati a disposizione e i differenti contesti idrogeologici, il livello piezometrico della falda freatica è stato definito considerando i dati di tutte le diverse campagne di indagine eseguite, con la finalità di dare una certa continuità all'informazione, anche al fine di privilegiare delle ipotesi cautelative per la progettazione geotecnica delle opere di fondazione e di sostegno distribuite lungo tutto il tracciato.

Il livello piezometrico di riferimento per la progettazione è stato riportato principalmente negli elaborati **T00_GE01_GEO_FG01_B** – “Profilo geologico asse principale – Carreggiata Est” e **T00_GE01_GET_FG01+03_B** – “Profilo geotecnico asse principale – Carreggiata Est” (3 tavv.), oltre che negli elaborati relativi ai profili geologici e geotecnici delle principali opere (viadotti e gallerie).

In sostanza, tale ricostruzione del livello piezometrico di progetto è stata eseguita attraverso l'interpolazione delle misure relative alle diverse campagne di indagini, dando maggiore importanza alle misure eseguite nella recente campagna di indagine (2019) e integrandole, dove necessario e possibile, con le misure eseguite nella campagna precedente e con i dati reperiti dagli elaborati bibliografici comunali (cfr. stratigrafie **Allegato 1** e **Allegato 2**).

Tranne alcuni casi, in cui la perforazione dei sondaggi è in posizione collinare senza contatti con terreni particolarmente filtranti quali riporti o alluvioni, è sempre presente una falda abbastanza superficiale, il cui livello risale fino a pochi metri dal piano campagna.

In particolare, la soggiacenza del livello piezometrico è risultata, con i dati dei piezometri a disposizione, variabile da un minimo di 0 m (in corrispondenza delle valleciole attraversate dai Viadotti Luglie e Valli, dove la falda risulta a p.c.) fino a non più di 7÷8 m da p.c. nelle zone prossime agli interventi in oggetto, a seconda del contesto idrogeologico. Nelle zone collinari dei principali rilievi non direttamente interferenti con il tracciato, i dati a disposizione mostrano anche soggiacenze anche maggiori.

Lungo il tracciato in progetto è stata identificata l'assoluta predominanza delle litologie di natura limoso-argillosa, a bassa o medio-bassa permeabilità, riferibili alle *argille azzurre* del Pliocene che, insieme ai *depositi eluvio-colluviali* limoso-argillosi e ai depositi alluvionali a componente fine predominante (*depositi alluvionali limosi*) determina una modesta circolazione delle acque sotterranee, perlopiù concentrata nelle stesse coltri eluvio-colluviali e negli orizzonti di alterazione superficiale delle argille, generalmente più permeabili.

Inoltre, come si è visto, le *argille azzurre* plioceniche possono presentare localmente intercalazioni sabbioso-limose sature che, se intercettate dagli scavi (gallerie, trincee, opere di fondazione) possono generare venute d'acqua più o meno cospicue in funzione del valore della permeabilità (mediamente pari a circa 1E-5 m/s negli strati dove prevale la componente sabbiosa su quella limosa e circa 1E-6 m/s negli strati in cui prevale la componente limosa su quella sabbiosa).

L'andamento della falda superficiale tende in sostanza a seguire l'andamento dei versanti, generalmente a debole pendenza, concentrandosi e diminuendo la soggiacenza in corrispondenza degli impluvi o comunque dei corsi d'acqua, mentre in corrispondenza dei modesti rilievi collinari la soggiacenza tende generalmente ad avere valori più elevati.

7.3 Analisi chimiche sui campioni di acque sotterranee

Nel corso della recente campagna di indagini geognostiche (Tecno In S.p.A., 2019), sono stati prelevati alcuni campioni di acqua di falda da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca dei seguenti analiti, ai fini di un confronto con le CSC di cui alla Tabella 2 Allegato 5 Parte IV Titolo V D. Lgs. 152/2006:

- Metalli (As, Cd, Co, Cr tot., Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn)
- Idrocarburi totali
- Composti organici aromatici
- IPA

La ricerca dei metalli è stata eseguita dopo filtrazione (0.45 µm) del campione in laboratorio. La **Tabella 4** mostra l'elenco degli analiti ricercati e le relative metodiche ed i limiti di rilevabilità.

I risultati delle analisi chimiche sui campioni di acque sotterranee sono riportati nella **Tabella 5** dove è possibile verificare che i campioni analizzati sono risultati *non conformi* ai limiti delle CSC della Tabella 2 Allegato 5 Parte IV Titolo V D. Lgs. 152/2006, nei campioni S6D-PZ e S12D-PZ per i parametri *Idrocarburi totali* ed alcuni *IPA* e nei campioni S1D-PZ e S3D-PZ per alcuni *IPA*.

A tale proposito, vista la persistenza della contaminazione in tutti i piezometri campionati, al fine di confermare o di escludere tali contaminazioni, si suggerisce, per la fase di progettazione esecutiva, di eseguire una nuova campagna di campionamento e analisi delle acque sotterranee, eventualmente estendendola ad altre verticali strumentate con piezometri, esistenti o di nuova realizzazione.

Parametro	U. M.	LR	DLgs 152/06 All 5 Tab 2	Metodo
METALLI				
Arsenico	µg/L	0.1	<u>10</u>	EPA 6020 A 2007
Cadmio	µg/L	0.1	<u>5</u>	EPA 6020 A 2007
Cobalto	µg/L	0.1	<u>50</u>	EPA 6020 A 2007
Cromo totale	µg/L	0.1	<u>50</u>	EPA 6020 A 2007
Cromo esavalente	µg/L	3	<u>5</u>	APAT CNR IRSA 3150 C Man 29 2003
Mercurio	µg/L	0.1	<u>1</u>	EPA 6020 A 2007
Nichel	µg/L	0.5	<u>20</u>	EPA 6020 A 2007
Piombo	µg/L	0.1	<u>10</u>	EPA 6020 A 2007
Rame	µg/L	0.1	<u>1000</u>	EPA 6020 A 2007
Zinco	µg/L	5	<u>3000</u>	EPA 6020 A 2007
IDROCARBURI				
Idrocarburi totali (n-esano)	µg/L	35	<u>350</u>	EPA 3535 1996+EPA8015D 2003
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI				
Indenopirene	µg/L	0.01	<u>0.1</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Pirene	µg/L	0.01	<u>50</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	0.005	<u>0.01</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Crisene	µg/L	0.01	<u>5</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Benzo(a)antracene	µg/L	0.01	<u>0.1</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Sommatoria IPA	µg/L	0.01	<u>0.1</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Benzo(a)pirene	µg/L	0.005	<u>0.01</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Benzo(b)fluorantene	µg/L	0.01	<u>0.1</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	0.005	<u>0.01</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
Benzo(k)fluorantene	µg/L	0.005	<u>0.05</u>	EPA 3510C 1996 + EPA 8270D 2007
COMPOSTI ORGANICI AROMATICI				
Benzene	µg/L	0.1	<u>1</u>	EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
Etilbenzene	µg/L	1	<u>50</u>	EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
Stirene	µg/L	1	<u>25</u>	EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
Toluene				
para-Xilene	µg/L	1	<u>15</u>	EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006
meta-Xilene	µg/L	1	<u>10</u>	EPA 5030C 2003 + EPA 8260C 2006

Tabella 4 – Analisi chimiche acque sotterranee: analiti ricercati, relative metodiche e i limiti di rilevabilità

PARAMETRO	U.M.	DLgs 152/06 All 5 parte IV Tab.2	Acque sotterranee			
			S1D-PZ	S3D-PZ	S6D-PZ	S12D-PZ
Arsenico	µg/L	≤10	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
Cadmio	µg/L	≤5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cobalto	µg/L	≤50	<1	<1	<1	1
Cromo totale	µg/L	≤50	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5
Cromo esavalente	µg/L	≤5	<5	<5	<5	<5
Mercurio	µg/L	≤1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Nichel	µg/L	≤20	1	1,2	<1,1	1,6
Piombo	µg/L	≤10	0,8	<0,5	<0,5	<0,5
Rame	µg/L	≤1000	<1	<1	<1	<1
Zinco	µg/L	≤3000	<5,7	5	<5,7	<5,7
Idrocarburi totali	µg/L	≤350	164	246	412	683
Benzo(a)antracene	µg/L	≤0,1	0,04	0,02	0,02	1,51
Benzo(a)pirene	µg/L	≤0,1	0,12	0,03	0,01	1,71
Benzo(b)fluorantene(A)	µg/L	≤0,1	0,06	0,04	0,04	1,67
Benzo(k)fluorantene (B)	µg/L	≤0,05	0,06	0,04	0,04	1,67
Benzo(ghi)perilene(C)	µg/L	≤0,01	0,04	0,03	0,03	0,88
Crisene	µg/L	≤5	0,04	0,02	0,02	1,51
Indenol(1,2,3-cd)pirene(D)	µg/L	≤0,1	0,04	0,06	0,04	1,41
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	≤0,01	0,04	0,06	0,04	1,41
Pirene	µg/L	≤50	0,02	0,02	0,01	1,79
Sommatoria IPA (A,B,C,D)	µg/L		0	0,18	0	6
Benzene	µg/L	≤1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Etilbenzene(A)	µg/L	≤50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Stirene(B)	µg/L	≤25	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Toluene	µg/L	≤15	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Xilene(D)	µg/L	≤10	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sommatoria (A,B,C,D)	µg/L		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

Tabella 5 – Risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di acqua sotterranea

7.3.1 Banca dati MAT Regione Toscana

Sul sito ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana), in collaborazione con S.N.P.A. (Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente) e con Regione Toscana, viene messa a disposizione una **banca dati di monitoraggio ambientale delle acque sotterranee (banca dati “MAT”)**, previsto dal D.Lgs 152/2006 e dal D. Lgs 30/2009. La regione Toscana ha avviato il programma di monitoraggio di durata sessennale, per il periodo 2010-2015, su 67 corpi idrici sotterranei classificati a rischio o non a rischio del raggiungimento dell’obiettivo di un “Buono Stato Ambientale” al 2015.

La banca dati (contenente le informazioni disponibili dal 2000 all'anno in corso) è consultabile online e contiene i dati risultanti dai monitoraggi effettuati da ARPAT sui corpi idrici sotterranei significativi ai fini della verifica degli obiettivi di qualità ambientale. In particolare, i dati sono reperibili al link <http://sira.arpato.toscana.it/sira/opedata/preview.php?dataset=mat> dove è possibile consultare i risultati ottenuti filtrando il comune di interesse o il corpo idrico, l'anno e i parametri analizzati.

Per quanto riguarda il territorio in esame, da un punto di vista idrografico il tracciato stradale di progetto si inserisce all'interno del reticolo del fiume Arbia, che sfocia nel fiume Ombrone ed è suddiviso nei suoi tributari torrente Tressa, fosso Ribucciano e torrente Rilugio. Per tali corpi idrici, nonché per il Comune di Siena in generale, ubicato in ambito prettamente collinare, nella *Banca Dati MAT* purtroppo non risultano disponibili dati di monitoraggio delle acque sotterranee.

8 SISMICITÀ

8.1 Sismicità dell'area

8.1.1 Zonazione sismogenetica

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004 – Meletti et al., <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html) con modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

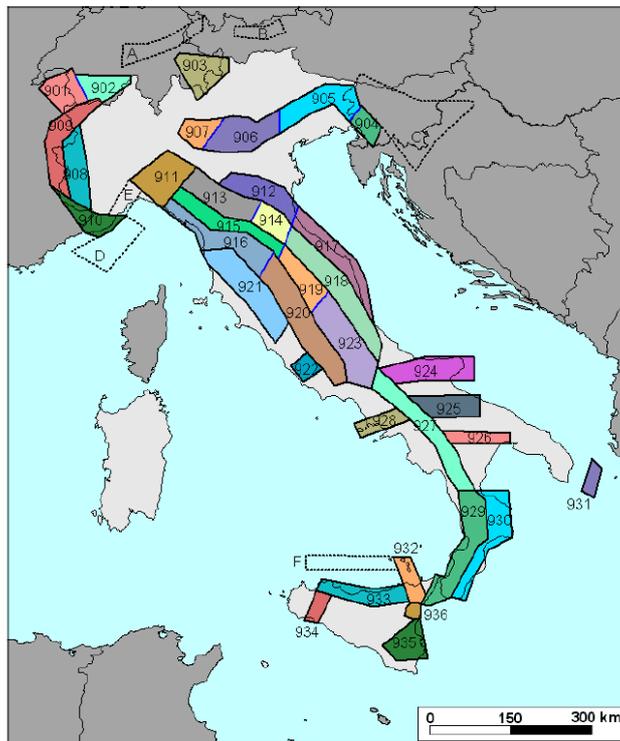


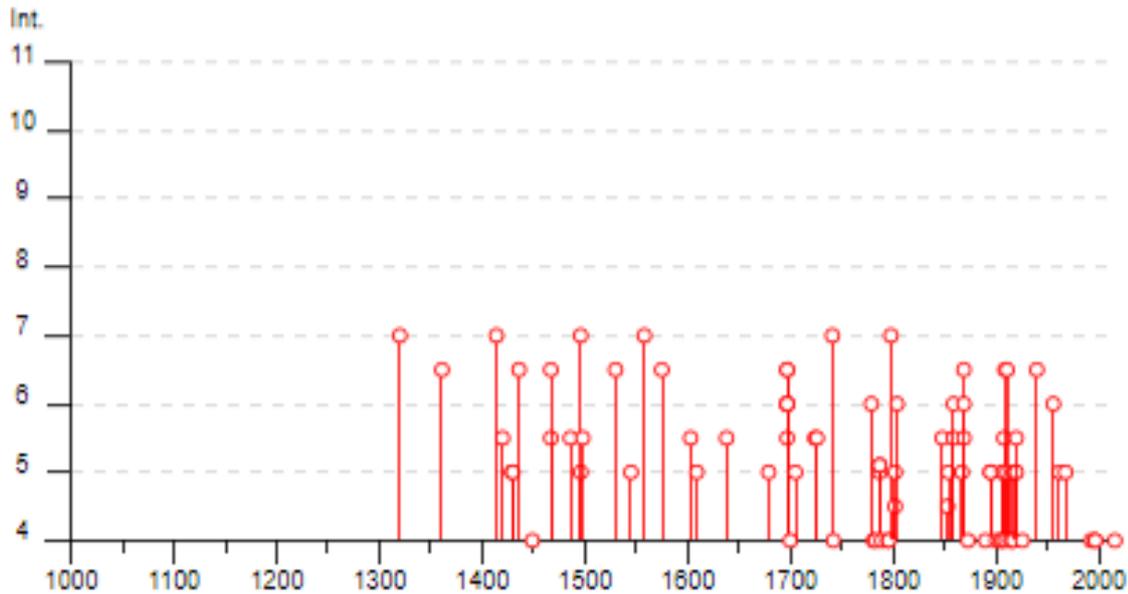
Figura 22 - Zonazione sismogenetica ZS9. Dal sito zonesismiche.mi.ingv.it (Gruppo di Lavoro, 2004)

Come è possibile verificare dalla **Figura 22**, la zona in esame, facente parte del complesso all'appennino settentrionale e centrale, risulta all'interno della zona 921, nella fascia tirrenica, ed è caratterizzata da eventi di magnitudo moderata.

L'intero settore tirrenico è caratterizzato da una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri (Bagnoregio 1695, Orciano Pisano 1846, Pancastagnaio 1919). A completare il dominio tirrenico, associata alla zona 921 vi è la zona 922: la separazione del settore tirrenico in queste due zone è dovuta alla presenza di un'area intermedia, coincidente con il vulcano sabatino e con l'Agro Romano, pressoché priva di sismicità.

8.1.2 Sismicità storica

Il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Rovida et al., 2016) è utile a fornire un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, contenendo tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti. In particolare, la **Figura 23** mostra storia sismica del Comune di Siena dal 1320 a oggi, con la presenza di sismi le cui intensità risentite nel territorio comunale non superano il valore di 7.



Siena



PlaceID IT_47956
 Coordinate (lat, lon) 43.318, 11.332
 Comune (ISTAT 2015) Siena
 Provincia Siena
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 147

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1320	12	16				Siena	1	7	5.10
6-7	1361	12	27				Siena	1	6-7	4.86
7	1414	08	07				Colline Metallifere	8	7-8	5.70
5-6	1420						Siena	1	5-6	4.40
5	1429	06	26				Siena	1	5	4.16
5	1430	08	13	00	40		Siena	1	5	4.16
6-7	1436	03					Siena	1	6-7	4.86
4	1449	10	15	20	45		Crete Senesi	2	6	4.63
5-6	1467	08	22	20	20		Siena	1	5-6	4.40
6-7	1467	09	03				Siena	1	6-7	4.86
5-6	1486	09	30				Siena	1	5-6	4.40
5	1496	06	04				Siena	1	5	4.16
7	1496	06	04	08	30		Siena	1	7	5.10
5-6	1498	04	11	08	50		Senese	2	5-6	4.40
6-7	1530	11	11	16	30		Senese	3	5-6	4.40
5	1545	11	27	02			Val d'Orcia	6	7-8	5.33
7	1558	04	13	09			Valdarno superiore	29	9	5.97
6-7	1575	06	14	16			Siena	1	6-7	4.86
5-6	1603	01	25				Siena	1	5-6	4.40
5	1609						Valdelsa	3	5-6	4.40
5-6	1638	04					Siena	1	5-6	4.40
5	1679	03	24	11	30		Val d'Orcia	4	6-7	4.86
5-6	1697	09	20	15	50		Siena	2	5-6	4.40
6-7	1697	09	20	16	50		Siena	2	6-7	4.86
6-7	1697	09	30	12	15		Siena	2	6-7	4.86
6	1697	10	01				Siena	2	6	4.63
6	1697	10	28	01			Siena	2	6	4.63
6	1697	12	20	19	45		Siena	2	6	4.63
4	1700	02	05				Val d'Orcia	4	6-7	4.86
5	1705	04	14	19	20		Senese	2	4	3.70
5-6	1724	12	11	20			Colline Metallifere	5	7	5.10
5-6	1726	04	19	22			Crete Senesi	5	7-8	5.33
F	1737	06	11	00	30		Val di Pesa	4	5	4.16
7	1741	10	01				Siena	1	7	5.10
4	1742	01	27	11	20		Livornese	16	6	4.87
F	1770	12	27	04			Valdarno superiore	5	6-7	4.86
6	1779	06	26	12			Siena	2	5	4.16
4	1781	01	03	02	30		Crete Senesi	22	7-8	5.19
4	1783	06	29				Casentino	4	5-6	4.40
F	1787	10	20	13	30		Siena	1	4	3.70
5	1787	10	21	12	30		Siena	1	5	4.16

HF	1787	10	21	23	Siena	1	5	4.16	
HF	1787	10	23	05	Siena	1	5	4.16	
2-3	1787	12	26		Casentino	6	5-6	4.40	
4	1789	09	30	10	Alta Valtiberina	73	9	5.89	
4	1795	02	14	19	15	Siena	2	4	3.70
4	1796	02	05	02	Aretino	9	7	4.96	
7	1798	05	26		Senese	15	6-7	4.85	
3	1798	09	08	16	45	Val d'Orcia	6	6-7	4.86
4-5	1802	08	10	01	45	Toscana centrale	4	5	4.16
5	1802	10	30	18	30	Val d'Orcia	17	7	5.15
F	1804	10	02	21	55	Valdelsa	7	4	4.18
F	1804	10	06	10	30	Valdelsa	2	4	3.70
F	1804	10	18	20		Valdelsa	4	7	5.10
6	1804	12	17		Valdelsa	4	6	4.84	
F	1812	09	11	12		Val di Pesa	13	7-8	5.24
2-3	1815	01	11	23	30	Monte Amiata	6	6-7	4.86
3	1828	04	11	22	25	Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4.93
2-3	1843	10	25	03	30	Mugello	17	6-7	5.03
F	1846	08	14	12		Colline Pisane	121	9	6.04
5-6	1848	05	12		Senese	6	6-7	5.05	
NF	1849	11	28	18		Val di Taro	7	6	4.63
4-5	1853	05	17	15	17	Siena	1	4-5	3.93
F	1853	08	02		Val di Cecina	6	5-6	4.72	
5	1854	12	04	01		Senese	3	4	3.70
3	1859	01	30		Crete Senesi	4	5-6	4.40	
5-6	1859	04	12	03	28	Senese	24	6	4.46
6	1859	04	12	13	03	Senese	16	6-7	4.83
5	1867	11	01	16	15	Siena	1	5	4.16
3-4	1868	06	17	01	50	Monte Amiata	3	5-6	4.40
6-7	1869	02	07		Senese	8	6-7	4.81	
5-6	1869	02	07	04	52	Senese	5	5-6	4.40
3	1869	06	25	13	58	Appennino bolognese	18	7-8	5.43
6	1869	09	26	20	45	Valdelsa	9	6-7	4.98
3	1870	10	30	18	34	Forlivese	41	8	5.61
3-4	1871	07	29	20	45	Val di Cecina	14	7-8	5.15
3	1871	10	22	13		Chianti	2	6	4.63
4	1873	03	12	20	04	Appennino marchigiano	196	8	5.85
NF	1874	10	07		Imolese	60	7	4.96	
2-3	1875	03	17	23	51	Costa romagnola	144	8	5.74
3	1881	09	28		Cesena	24	6-7	4.71	
3	1887	02	23	05	21	5 Liguria occidentale	1511	9	6.27
2	1887	11	14	05	48	0 Fiorentino	101	6	4.47
NF	1889	12	08		Gargano	122	7	5.47	
4	1890	02	15	02	35	0 Valdelsa	12	5	4.52
5	1895	05	18	19	55	1 Fiorentino	401	8	5.50
3	1895	06	06	00	35	0 Fiorentino	29	5-6	4.55
2	1895	08	09	17	38	2 Adriatico centrale	103	6	5.11
5	1895	10	25	00	24	5 Chianti	36	5-6	4.51
NF	1898	01	16	13	10	Romagna settentrionale	110	6	4.59

NC	1898	06	27	23	38	Reatino	186	8	5.50
4	1901	09	22	21	42	1 Valdelsa	35	6	4.68
NF	1901	10	30	14	49	5 Garda occidentale	289	7-8	5.44
3-4	1902	06	27	16	48	Casentino	13	6	4.46
2	1902	12	17	05	21	Monte Amiata	30	6-7	4.83
2	1904	06	10	11	15	2 Frignano	101	6	4.82
F	1904	11	17	05	02	Pistoiese	204	7	5.10
4	1905	02	12	08	28	Monte Amiata	61	6	4.55
3-4	1906	04	21	06	35	Valdelsa	45	5-6	4.30
4	1906	12	20	02	38	Valdelsa	28	4	3.96
5	1907	12	15	13	06	5 Chianti	20	5	4.19
5	1907	12	20	10	29	1 Chianti	35	6	4.44
5-6	1908	06	26	13	15	Senese	9	5	4.36
4	1909	01	13	00	45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
6-7	1909	08	25	00	22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
2	1911	02	19	07	18	3 Forlivese	181	7	5.26
6-7	1911	09	13	22	29	0 Chianti	115	7	5.08
5	1911	09	13	22	35	1 Chianti	13	4-5	4.35
2-3	1913	07	29	22	24	Casentino	16	5-6	4.54
NF	1914	01	15	03	27	2 Livornese	25	5	4.33
3	1914	05	15	13	06	Chianti	6	5	4.16
4	1914	10	27	09	22	Lucchesia	660	7	5.63
2	1915	01	13	06	52	4 Marsica	1041	11	7.08
5	1916	05	17	12	50	Riminese	132	8	5.82
4	1917	04	26	09	35	5 Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
4	1917	12	02	17	39	Appennino forlivese	32	6-7	5.09
3	1918	01	22	19	39	Corazzano	5	5	4.16
5	1918	11	10	15	12	2 Appennino forlivese	187	9	5.96
5	1919	06	29	15	06	1 Mugello	565	10	6.38
2-3	1919	09	10	16	57	Val di Paglia	67	7-8	5.36
2-3	1919	10	25	13	51	Alta Valtiberina	30	6	5.03
5	1920	09	07	05	55	4 Garfagnana	750	10	6.53
5-6	1920	11	24	04	20	Senese	15	4-5	4.07
2	1925	03	21	07	33	4 Colline Metallifere	17	5-6	4.29
4	1926	01	08	09	14	Monte Amiata	24	7	4.90
2	1929	07	18	21	02	Mugello	56	6-7	4.96
6-7	1940	01	31	11		Siena	30	5-6	4.23
3	1940	06	19	14	10	Monte Amiata	28	6	4.64
3	1940	10	16	13	17	Val di Paglia	106	7-8	5.29
6	1956	02	22	22	55	0 Senese	29	5	4.03
5	1962	09	16	14	49	4 Chianti	19	6	4.54
5	1968	06	26	03	15	Senese	7	5	4.19
NF	1972	10	25	21	56	1 Appennino settentrionale	198	5	4.87
NF	1976	05	06	20	00	1 Friuli	770	9-10	6.45
F	1979	09	19	21	35	3 Valnerina	694	8-9	5.83
3	1980	11	23	18	34	5 Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
2	1983	11	09	16	29	5 Parmense	850	6-7	5.04
NF	1984	04	29	05	02	5 Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1984	05	11	10	41	4 Monti della Meta	342	7	5.47
4	1993	08	06	07	51	4 Colline Metallifere	35	5-6	4.03
4	1997	09	26	00	33	1 Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4	1997	09	26	09	40	2 Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
NF	1998	03	26	16	26	1 Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
3-4	2001	11	26	00	56	5 Casentino	211	5-6	4.63
2-3	2003	09	14	21	42	5 Appennino bolognese	133	6	5.24
4	2016	10	30	06	40	1 Valnerina	379		6.61
F	2017	01	18	10	14	0 Aquilano	280		5.70

Figura 23 - Storia sismica del Comune di Siena

8.1.3 Classificazione sismica del territorio comunale

Secondo l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Toscana 2014 (cfr. Allegato 1 alla D.G.R. Toscana n. 421 del 26-05-2014 in attuazione dell'Ord. P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 e D.M. 14 gennaio 2008) il Comune di Siena risulta classificato in **Zona 3**.

Da quanto sopra riportato è ragionevolmente possibile classificare il sito in esame come avente **sismicità bassa**.

8.1.4 Strutture sismogenetiche

La consultazione dello studio pubblicato dall'INGV "Database of Individual Seismogenic Sources" - versione 3.2.0 - giugno 2015 - <http://diss.rm.ingv.it/diss/Downloads.html>, ha consentito di verificare che la principale struttura sismogenetica in prossimità dell'area di Siena è rappresentata dalla struttura codificata come *ITCS037 "Mugello Città di Castello-Leonessa"* (cfr. **Figura 24**). Tale struttura, ubicata circa 50 km a NE dell'area di intervento, risulta caratterizzata da una magnitudo massima di 6.2, una profondità compresa tra 0.5 e 8 km, una orientazione NW-SE (direzione 280-330°) e un'inclinazione di 25-40°.

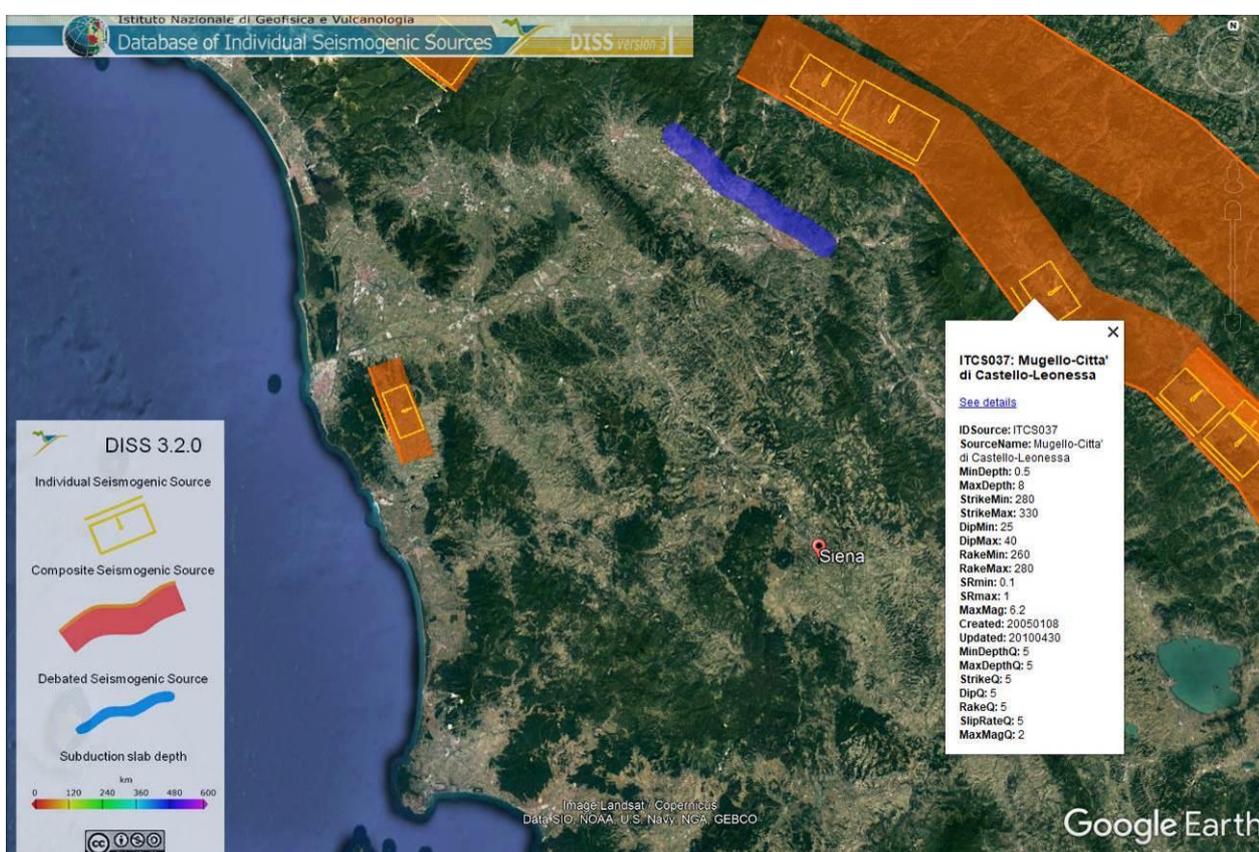


Figura 24 - INGV - DISS3 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth: ITCS037

8.1.5 Faglie capaci

La consultazione del database "Ithaca - Catalogo delle faglie capaci" (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>) ha consentito di verificare che non ci sono faglie capaci interferenti con

l'area attraversata dall'infrastruttura in progetto e che la struttura più vicina, corrispondente ad una faglia normale denominata *Valdarno System*, è ubicata circa 18 km a NE dell'area di intervento.

8.2 Caratterizzazione sismica per la progettazione

8.2.1 Stati limite nei confronti delle azioni sismiche

Al paragrafo 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 vengono definiti gli stati limite nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione 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 e 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 rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza 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 probabilità di superamento nel periodo di riferimento **P_{VR}**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono (Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018):

Stati Limite		<i>P_{VR}: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R</i>
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

8.2.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica. Si ritiene di attribuire alla infrastruttura in progetto, ai sensi della tabella 2.4.I del D.M. 17.01.2018, una vita nominale $V_N \geq 50$ anni nonché una classe d'uso IV. In base alla tabella 2.4.II il coefficiente d'uso vale $C_U = 2$.

Pertanto, il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

8.2.3 Parametri sismici

In base a quanto descritto nel D.M. 17/01/2018 la *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta:

- in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo, denominato reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 km.

Le forme spettrali previste dal D.M. 17/01/2018 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F^0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nelle norme tecniche NTC 2018 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici a_g , F^0 e T_C^* per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Qualora l'area in esame non ricada in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, mediante la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

in cui:

- p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i valori dei parametri sismici a_g , F_0 , T^*_c ricavati mediante il programma "Spettri NTC ver.1.0.3.xls", disponibile sul sito <http://www.cslp.it/cslp/>, inserendo le coordinate geografiche di inizio tracciato, fine tracciato e delle principali opere d'arte maggiori.

Inizio tracciato (11.332828-43.280481)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,064	2,518	0,258
SLD	101	0,079	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,516	0,283
SLC	1950	0,212	2,556	0,290

Cavalcavia Cerchiaia (11.335792-43.290631)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,064	2,518	0,258
SLD	101	0,079	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,515	0,283
SLC	1950	0,212	2,555	0,290

Svincolo Cerchiaia / Viadotto Tressa (11.336351-43.295248)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,518	0,258
SLD	101	0,079	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,515	0,283
SLC	1950	0,212	2,554	0,290

Galleria S.Lazzerò (11.338997-43.297382)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,518	0,259
SLD	101	0,078	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,514	0,283
SLC	1950	0,212	2,554	0,290

Viadotto Luglie (11.345017-43.299095)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,518	0,259
SLD	101	0,078	2,509	0,265
SLV	949	0,174	2,514	0,283
SLC	1950	0,212	2,553	0,290

Viadotto Valli (11.352297-43.300215)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,519	0,259
SLD	101	0,078	2,509	0,265
SLV	949	0,174	2,514	0,283
SLC	1950	0,211	2,553	0,290

Viadotto Casone (11.358308-43.300407)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,519	0,259
SLD	101	0,078	2,509	0,265
SLV	949	0,174	2,514	0,283
SLC	1950	0,211	2,552	0,290

Viadotto Ribucciano (11.363173-43.299019)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,527	0,260
SLD	101	0,077	2,516	0,266
SLV	949	0,172	2,517	0,284
SLC	1950	0,209	2,553	0,291

Galleria Ribucciano (11.363173-43.299019)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,528	0,260
SLD	101	0,077	2,517	0,266
SLV	949	0,172	2,517	0,284
SLC	1950	0,209	2,553	0,291

Viadotto Rilugio (11.374321-43.299427)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,529	0,260
SLD	101	0,077	2,518	0,266
SLV	949	0,172	2,518	0,284
SLC	1950	0,209	2,554	0,291

Svincolo Ruffolo (11.378616-43.301445)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,529	0,260
SLD	101	0,077	2,518	0,267
SLV	949	0,171	2,518	0,284
SLC	1950	0,209	2,554	0,291

Fine tracciato (11.389219-43.297370)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,531	0,260
SLD	101	0,077	2,521	0,267
SLV	949	0,171	2,520	0,284
SLC	1950	0,209	2,555	0,291

I valori riportati sono stati ottenuti in funzione del periodo di ritorno T_R e di una vita di riferimento $V_R=100$ anni.

Nell'ottica di una caratterizzazione sismica adeguata, sulla base della tipologia di rilievo e delle opere attraversate dal tracciato, si è scelto di utilizzare i dati dei parametri sismici relativi ad inizio tracciato, che forniscono, per l'area in esame, i valori di a_g più elevati:

Inizio tracciato (11.332828-43.280481)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,064	2,518	0,258
SLD	101	0,079	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,516	0,283
SLC	1950	0,212	2,556	0,290

8.2.4 Categoria sismica dei suoli di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. del 17/01/2018. In assenza di tali analisi o per una prima stima, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di *categorie di sottosuolo* di riferimento, identificate in funzione dei valori della velocità di propagazione V_s (velocità sismiche delle onde di taglio).

Con riferimento alla vigente normativa "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018) la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e 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 V_s 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_{S30} , 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 nella Tab.3.2.II del NTC 2018, di seguito riportata.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

8.2.4.1 Prospezioni sismiche down-hole

Nel corso della campagna di indagini integrative per la progettazione esecutiva delle opere, per la determinazione diretta delle velocità delle onde di taglio, sono state eseguite n.4 prospezioni sismiche down-hole (2019) ad integrazione delle n.8 prospezioni down-hole della campagna d'indagine 2009, in corrispondenza delle verticali di sondaggio di seguito indicate e che hanno fornito i seguenti valori di V_{Seq} :

Campagna d'indagine integrativa 2019:

- S02D-DH: $V_{S30} = 407$ m/s
- S05D-DH: $V_{S30} = 455$ m/s
- S11D-DH: $V_{S30} = 428$ m/s
- S14D-DH: $V_{S30} = 496$ m/s

Campagna d'indagine 2009:

- S2-DH1: $V_{S30} = 317$ m/s
- S5-DH2: $V_{S30} = 364$ m/s
- S8-DH3: $V_{S30} = 317$ m/s
- S9-DH4: $V_{S30} = 224$ m/s
- S10-DH5: $V_{S30} = 395$ m/s
- S11-DH6: $V_{S30} = 447$ m/s
- S13-DH7: $V_{S30} = 337$ m/s
- S16-DH8: $V_{S30} = 340$ m/s

I risultati delle prove eseguite per le due campagne sono riportati negli elaborati **T00_GE01_GEO_RE02_A** – “Documentazioni indagini geognostiche preesistenti – Indagini geofisiche” e **T00_GE01_GEO_RE05_A** – “Documentazioni indagini geognostiche – Indagini geofisiche”.

8.2.4.2 Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione

Dai risultati delle prove eseguite, anche in considerazione della distribuzione delle formazioni geologiche lungo il tracciato e, soprattutto, delle opere da realizzare, è possibile definire, in modo cautelativo, le seguenti categorie di sottosuolo (cfr. anche l'elaborato di progetto **T00_GE05_GET_PL01_B** - "Planimetria con classificazione simica del territorio"):

- una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a *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 $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s*, nei seguenti tratti:

- **dalla spalla 1 (inclusa) del Viadotto Casone alla spalla 2 del Viadotto Ribucciano (inclusa);**

- una **categoria di sottosuolo di tipo C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con le profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s*, nei seguenti tratti:

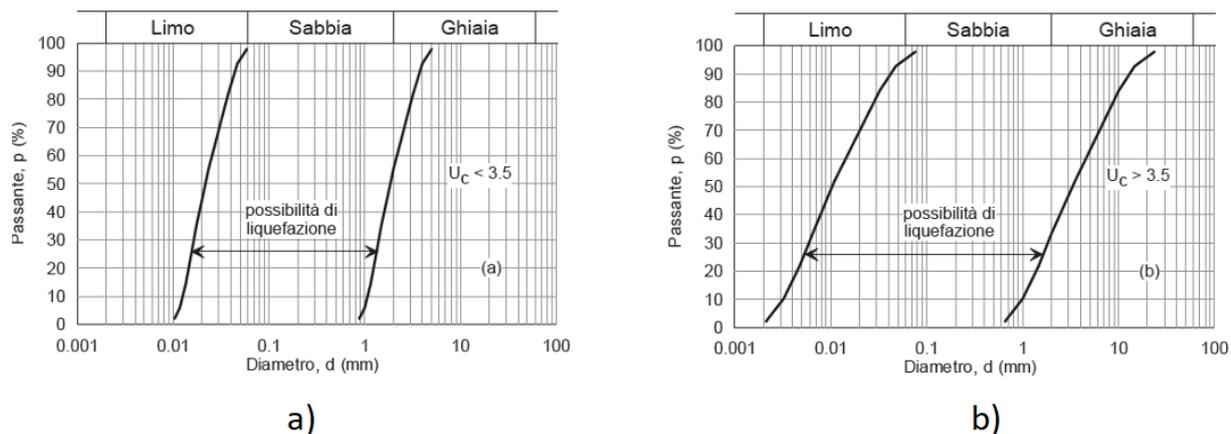
- **da inizio tracciato alla spalla 1 del Viadotto Casone (esclusa);**

- **dalla spalla 2 del Viadotto Ribucciano (esclusa) a fine tracciato.**

8.2.5 **Verifica della suscettibilità a liquefazione**

In base al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC2018, la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazione massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$, e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



Nel caso dei terreni coinvolti dall'infrastruttura in oggetto, escludendo a priori il substrato costituito dalle argille azzurre (FAA), sia per la natura prevalentemente limoso-argillosa, sia per l'età pliocenica e l'elevata consistenza del deposito, l'analisi delle caratteristiche granulometriche dei depositi eluvio-colluviali e di alterazione del substrato argilloso (FAAa), ma soprattutto dei depositi alluvionali, il cui spessore risulta peraltro generalmente limitato a pochi metri al di sotto delle opere di fondazione, ha mostrato sempre, per tutti i campioni esaminati, una marcata dispersione della distribuzione granulometrica, che è risultata sempre al di fuori dei limiti previsti perché il fenomeno della liquefazione si possa realizzare e caratterizzata da valori del coefficiente di uniformità sempre molto elevati.

Sulla scorta di quanto detto e, verificato che:

- il valore di accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido risulta superiore a 0.1 g
- la profondità della falda lungo il tracciato dell'infrastruttura risulta sempre inferiore a 15 m da p.c.
- la resistenza dei depositi alluvionali, dei depositi eluvio-colluviali e della coltre di alterazione delle argille azzurre risulta localmente inferiore al valore limite sopra riportato

è stata condotta un'analisi approfondita della distribuzione granulometrica dei campioni di terreno di tali unità, in modo da confrontarli con i limiti di cui alle figure a) e b); in particolare, dato che tutti i campioni esaminati sono risultati caratterizzati da coefficienti di uniformità sempre superiori a 3.5, la figura di riferimento per il confronto è la figura b).

In generale, tutti i campioni delle diverse unità esaminate, ovvero i depositi alluvionali sabbioso-limoso-argillosi (bs), i depositi alluvionali limoso-sabbioso-argillosi (bl), i depositi alluvionali ghiaioso-sabbioso-limosi (bg), e anche i depositi eluvio colluviali, ovvero la coltre di alterazione delle argille azzurre (FAAa), hanno mostrato una distribuzione granulometrica esterna ai limiti della figura b), come mostrato in dettaglio nei punti successivi.

8.2.5.1 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: Viadotto Tressa – carreggiata Est (L=236 m), viadotto Tressa – carreggiata Ovest (L=237 m) e Svincolo Cerchiaia

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che la distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione del Viadotto Tressa e dei rami dello Svincolo Cerchiaia, costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, da depositi alluvionali sabbioso-

limoso-argillosi (unità *bs*) e dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità *FAAa*), risulta esterna ai limiti previsti dalle NTC 2018 (cfr. 7.11.3.4.2 , figura b), come mostrato nella figura sotto riportata (cfr. **Figura 25**).

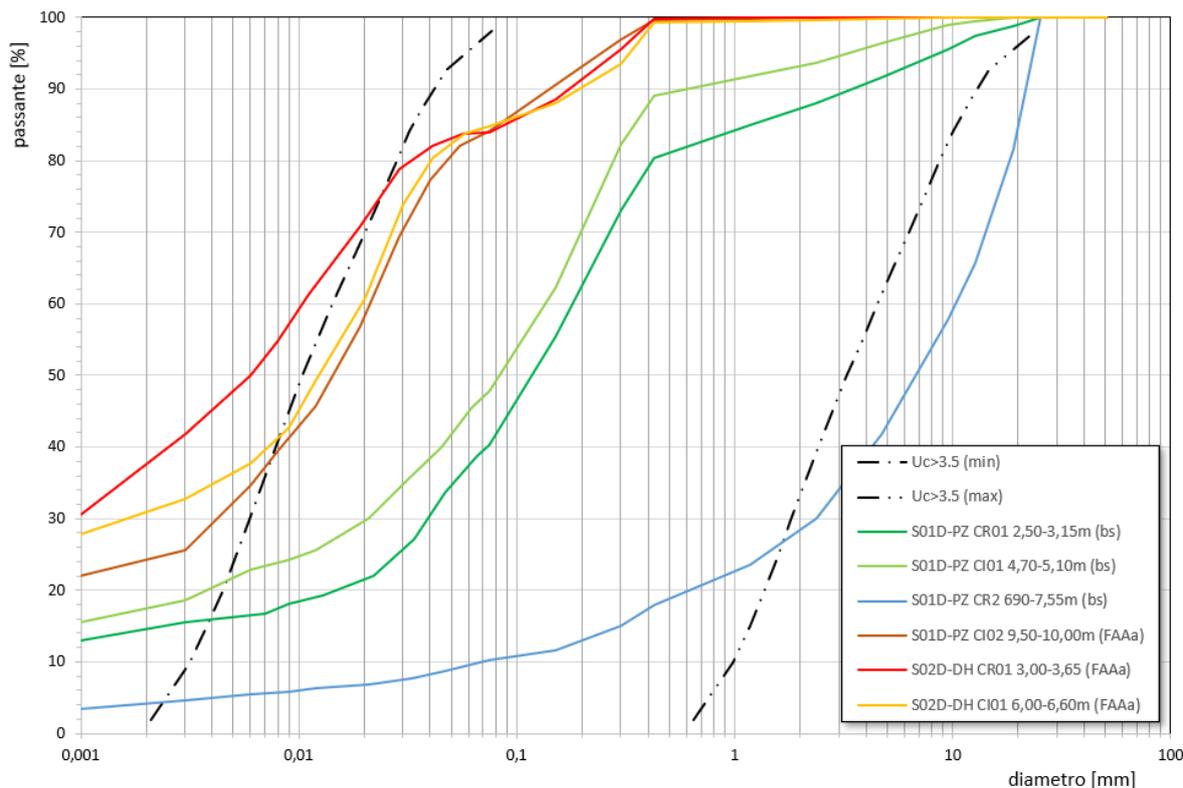


Figura 25 – Viadotto Tressa e Svincolo Cerchiaia: distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione

8.2.5.2 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: tratto compreso tra la Galleria S. Lazzerò e il Viadotto Luglie

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che i terreni di fondazione del tratto compreso tra la Galleria San Lazzerò e il Viadotto Luglie sono costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, da depositi eluvio-colluviali (unità *b2*) e dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità *FAAa*), le cui caratteristiche granulometriche, mostrate al punto successivo, risultano incompatibili con il manifestarsi del fenomeno della liquefazione.

8.2.5.3 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: Viadotto Luglie – carreggiata Est (L=120 m), Viadotto Luglie – carreggiata Ovest (L=120 m)

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che la distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione del Viadotto Luglie, costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, da depositi alluvionali limoso-sabbioso-argillosi (unità *bl*) e dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità *FAAa*), risulta esterna ai limiti previsti dalle NTC 2018 (cfr. 7.11.3.4.2 , figura b), come mostrato, per l'unità *FAAa*, nella figura sotto riportata (cfr. **Figura 26**) e per l'unità *bl* (depositi alluvionali limoso-sabbioso-argillosi) nella figura relativa al Viadotto Casone (cfr. **Figura 28**).

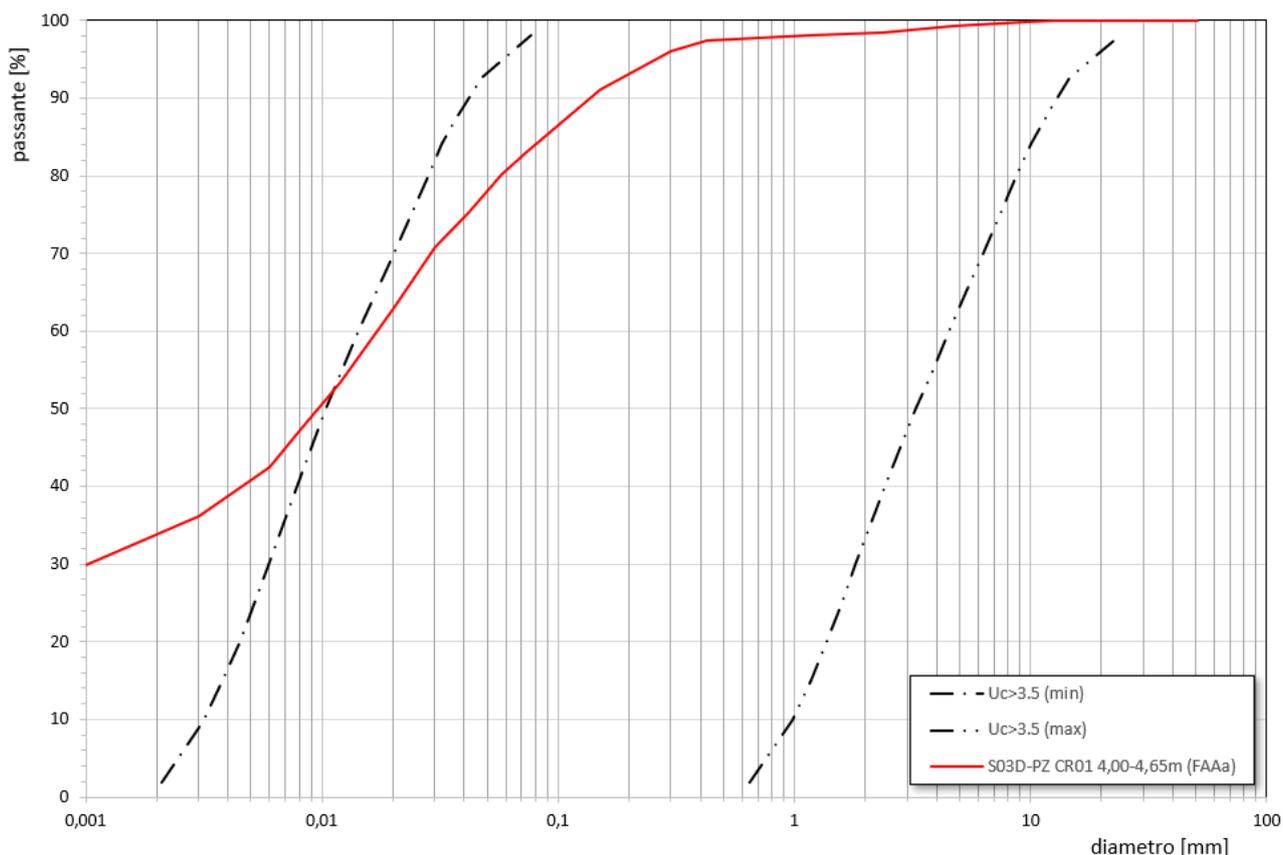


Figura 26 – Viadotto Luglie: distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione

8.2.5.4 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: tratto compreso tra il Viadotto Luglie e il Viadotto Valli

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che i terreni di fondazione del tratto compreso tra il Viadotto Luglie e il Viadotto Valli sono costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità FAAa), le cui caratteristiche granulometriche, mostrate al punto precedente, risultano incompatibili con il manifestarsi del fenomeno della liquefazione.

8.2.5.5 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: Viadotto Valli – carreggiata Est (L=107 m), Viadotto Valli – carreggiata Ovest (L=107 m)

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che la distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione del Viadotto Luglie, costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, da depositi alluvionali limoso-sabbioso-argillosi (unità b1) e dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità FAAa), risulta esterna ai limiti previsti dalle NTC 2018 (cfr. 7.11.3.4.2, figura b), come mostrato nella figura sotto riportata (cfr. **Figura 27**). Per le caratteristiche dei depositi alluvionali limoso-sabbioso-argillosi (unità b1) si veda il grafico relativo al Viadotto Casone (cfr. **Figura 28**).

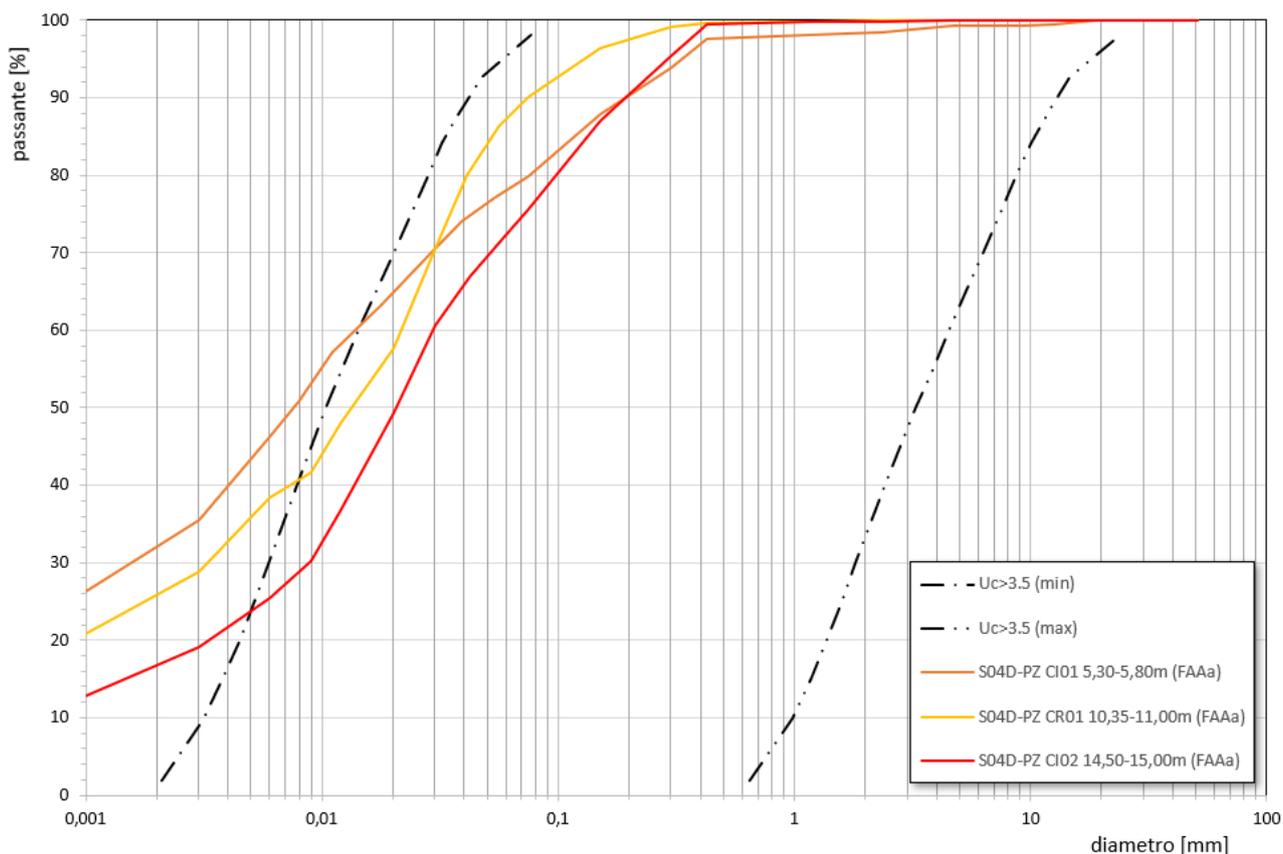


Figura 27 – Viadotto Valli: distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione

8.2.5.6 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: Area di servizio Esso tra il Viadotto Valli e il Viadotto Casone

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che i terreni di fondazione del tratto compreso tra il Viadotto Valli e il Viadotto Casone sono costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, da depositi eluvio-colluviali (unità *b2*) e dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità *FAAa*), le cui caratteristiche granulometriche, mostrate ai punti precedenti, risultano incompatibili con il manifestarsi del fenomeno della liquefazione.

8.2.5.7 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: Viadotto Casone - carreggiata Est (L=250 m), Viadotto Casone – carreggiata Ovest (L=254 m)

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che la distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione del Viadotto Casone, costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, da depositi alluvionali limoso-sabbioso-argillosi (unità *b1*) e dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità *FAAa*), risulta esterna ai limiti previsti dalle NTC 2018 (cfr. 7.11.3.4.2, figura b), come mostrato nella figura sotto riportata (cfr. **Figura 28**).

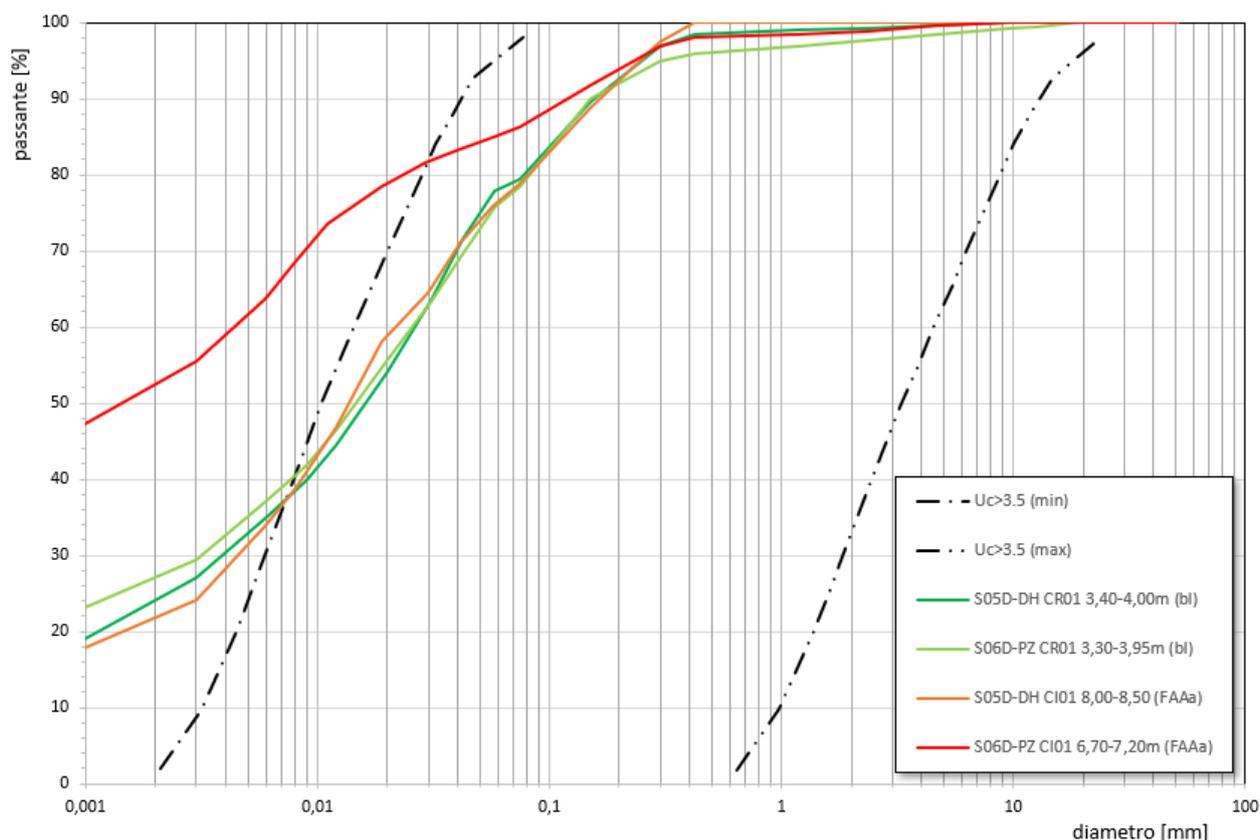


Figura 28 – Viadotto Casone: distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione

8.2.5.8 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: tratto compreso tra il Viadotto Casone e il Viadotto Ribucciano

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che i terreni di fondazione del tratto compreso tra il Viadotto Casone e il Viadotto Ribucciano sono costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità FAAa), le cui caratteristiche granulometriche, mostrate ai punti precedenti, risultano incompatibili con il manifestarsi del fenomeno della liquefazione.

8.2.5.9 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: Viadotto Ribucciano - carreggiata Est (L=256 m), Viadotto Ribucciano – carreggiata Ovest (L=253 m)

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che la distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione del Viadotto Ribucciano, costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, da depositi eluvio-colluviali (unità b2) e dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità FAAa), risulta esterna ai limiti previsti dalle NTC 2018 (cfr. 7.11.3.4.2, figura b), come mostrato nella figura sotto riportata (cfr. **Figura 29**).

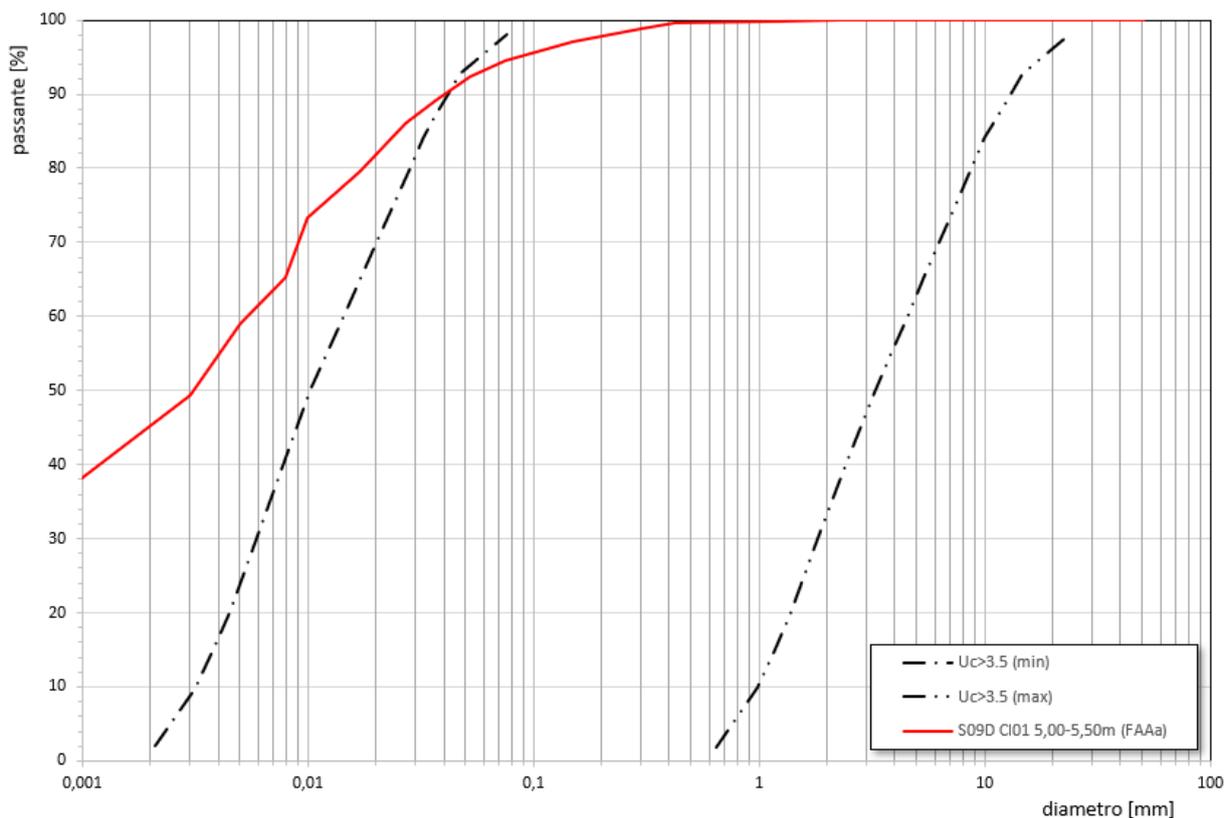


Figura 29 – Viadotto Ribucciano: distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione

8.2.5.10 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: tratto compreso tra la Galleria Bucciano e il Viadotto Rilugo

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che i terreni di fondazione del tratto compreso tra la Galleria Bucciano e il Viadotto Rilugo sono costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche (unità FAA) e delle sabbie plioceniche (unità SVV), dai depositi eluvio-colluviali (unità b2) e dalla coltre di alterazione delle argille azzurre (unità FAAa), le cui caratteristiche granulometriche, mostrate ai punti precedenti, risultano incompatibili con il manifestarsi del fenomeno della liquefazione.

8.2.5.11 Valutazione della suscettibilità alla liquefazione: Viadotto Rilugo - carreggiata Est (L=440 m), Viadotto Rilugo – carreggiata Ovest (L=359 m) e Svincolo Ruffolo

La valutazione della suscettibilità alla liquefazione non è stata eseguita dato che la distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione del Viadotto Rilugo e dei rami dello Svincolo Ruffolo, costituiti, al di sopra del substrato delle argille azzurre plioceniche, da depositi alluvionali ghiaioso-sabbioso-limosi (unità bg), risulta esterna ai limiti previsti dalle NTC 2018 (cfr. 7.11.3.4.2, figura b), come mostrato nella figura sotto riportata (cfr. **Figura 30**).

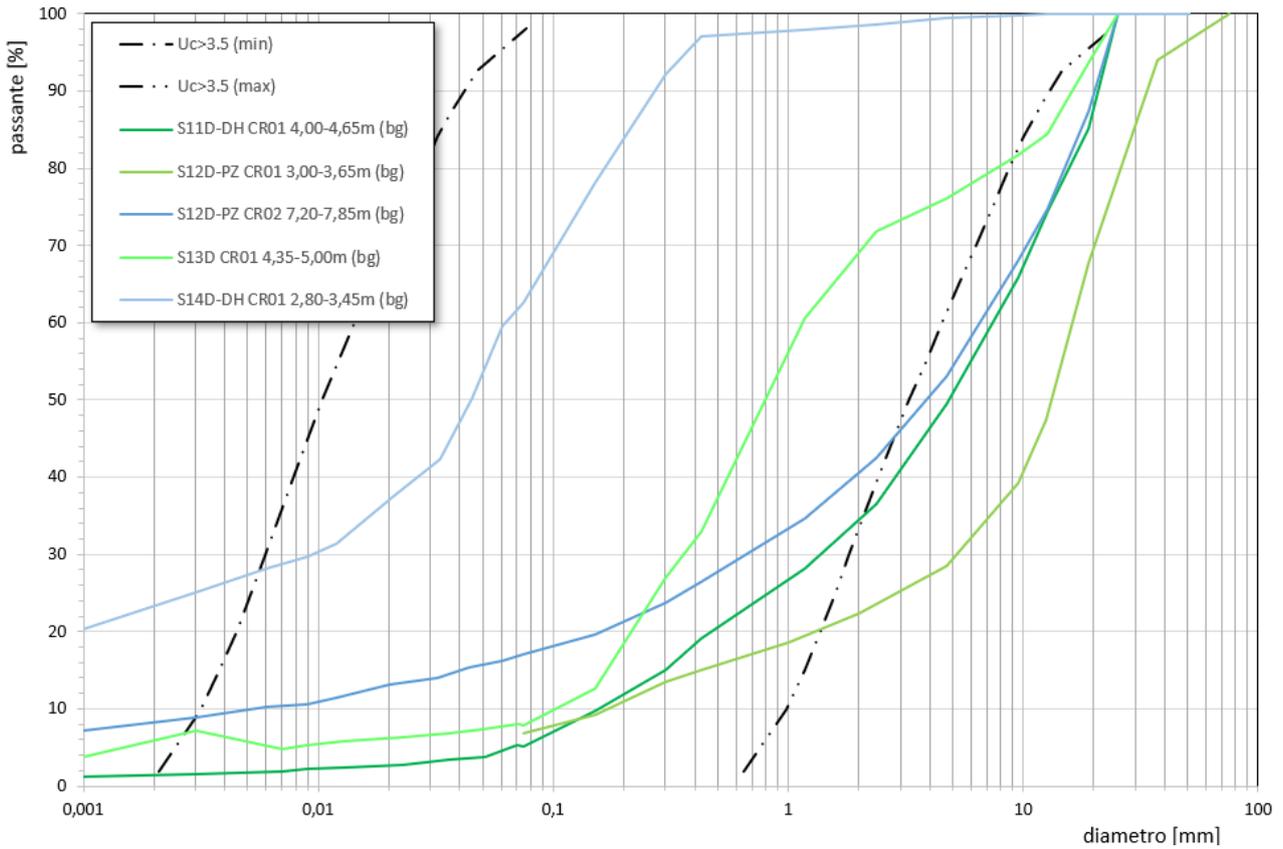


Figura 30 – Viadotto Rilugio e Svincolo Ruffolo: distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione

9 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO PER LA PROGETTAZIONE

L'analisi di tutta la documentazione geologica disponibile e dei dati geognostici realizzati nell'area in esame ha permesso di ricostruire il modello geologico di riferimento per la progettazione geotecnica e strutturale della "S.G.C. E78 Grosseto-Fano – Tratto Siena Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena-Ruffolo" (Lotto 0).

La stratigrafia dei terreni presenti in corrispondenza del tracciato in esame, desunta dai risultati di tutte le indagini eseguite, è mostrata nel dettaglio nei seguenti elaborati di progetto:

- T00_GE01_GEO_FG01_C - "Profilo geologico Asse Principale – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG02_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Tressa – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG03_C - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Cerchiaia – Tav.1/2"
- T00_GE01_GEO_FG12_B - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Cerchiaia – Tav.2/2"
- T00_GE01_GEO_FG04_C - "Planimetria e profilo geologico Galleria San Lazzero – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG05_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Luglie – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG06_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Valli – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG07_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Casone – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG08_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Ribucciano – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG09_C - "Planimetria e profilo geologico Galleria Bucciano – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG10_C - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Riluogo – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG11_C - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Ruffolo – Tav.1/2"
- T00_GE01_GEO_FG13_B - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Ruffolo – Tav.2/2"
- T00_GE01_GEO_SG01_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 1/4"
- T00_GE01_GEO_SG02_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 2/4"
- T00_GE01_GEO_SG03_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 3/4"
- T00_GE01_GEO_SG04_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 4/4"

Le indagini della campagna geognostica integrativa 2019, insieme con le indagini geognostiche pregresse (campagna 2009, dati bibliografici comunali), hanno consentito di verificare la presenza nell'area delle seguenti unità geologiche.

Le *Argille azzurre* sono state riconosciute nella quasi totalità del tracciato. Si tratta di peliti marnose massive grigio-azzurre, spesso bioturbate, localmente fossilifere, talvolta intercalate a strati sabbiosi

tabulari; all'interno e nella parte alta sono presenti argille sabbiose e limi color nocciola con Lamellibranchi e Gasteropodi.

L'unità risulta ricoperta da depositi olocenici di natura alluvionale ed eluvio-colluviale in corrispondenza delle piane alluvionali e degli impluvi attraversati dell'infrastruttura. Superficialmente l'unità è caratterizzata da una fascia di alterazione in argille limose e limi argillosi da poco a mediamente consistenti, per uno spessore di alcuni metri.

Da un punto di vista granulometrico l'unità risulta costituita principalmente da una litofacies argilloso-limosa e una litofacies limoso-sabbiosa, gradualmente passanti tra di loro sia in senso verticale che orizzontale. La prima è costituita da argille limose e limi argillosi da poco a mediamente plastici (contenuto di materiale fine < 0.075 mm compreso tra 70 e 90%, Ip compreso tra 10 e 20%), in parte sabbiose, mentre la seconda è costituita da limi sabbioso-argillosi, poco plastici (contenuto di materiale fine < 0.075 mm compreso tra 70 e 80%, componente sabbiosa pari a 20÷30% circa, Ip generalmente inferiore a 10%). Secondo la classificazione USCS dei campioni disponibili, tali terreni sono classificabili nel complesso come CL, ML e CL-ML. Entrambe le litofacies si presentano da molto consistenti a dure, con una elevata resistenza in condizioni non drenate. La permeabilità di tali terreni, infatti, risulta generalmente da bassa a molto bassa per la litofacies argilloso-limosa (variabile tra 1E-7 e 1E-9 m/s) e generalmente medio-bassa per la litofacies limoso-sabbiosa (variabile tra 1E-5 e 1E-7 m/s). Il colore della formazione è generalmente grigio, ma nei campioni più sabbiosi e più prossimi alla superficie diventa talvolta oca-grigio scuro.

Le due litofacies risultano gradualmente passanti tra di loro sia verticalmente che orizzontalmente, tanto che non è possibile individuare una netta separazione tra le due lungo il tracciato. Risulta tuttavia possibile osservare la litofacies argilloso-limosa risulta prevalente in corrispondenza di tutto lo sviluppo della Galleria San Lazzero e in corrispondenza dell'imbocco ovest della Galleria Bucciano, mentre tra l'imbocco est della Galleria Bucciano e la zona dello Svincolo Ruffolo prevale la litofacies limoso-sabbiosa, presumibilmente in ragione della vicinanza del contatto con la soprastante formazione delle *Sabbie di San Vivaldo*.

Localmente sono presenti livelli di sabbie limose e sabbie con limo, addensate e debolmente argillose, di spessore pari ad alcuni metri, che costituiscono i principali livelli permeabili ed acquiferi all'interno della formazione. Tali livelli, distribuiti lungo tutto il tracciato ma generalmente sporadici, risultano particolarmente frequenti in corrispondenza del Viadotto Luglie. E' opportuno osservare infine che talvolta i livelli di sabbie o sabbie limose descritti nelle stratigrafie dei sondaggi, in seguito alle analisi di laboratorio hanno mostrato una assoluta prevalenza della componente limosa con una non trascurabile percentuale di componente argillosa, consentendo di classificare tali terreni generalmente come limi sabbioso-argillosi o tuttalpiù come limi con sabbia argillosi.

Le argille azzurre, nella loro litofacies sabbiosa, passano gradualmente verso l'alto e/o in eteropia alle *Sabbie di San Vivaldo*, areniti poco cementate, sabbie a grana da fine a media, molto bioturbate, di colore giallo-oca, localmente con resti di Ostreidi e Pectinidi. Questa formazione affiora esclusivamente e per poche centinaia di metri in prossimità del rilevato a monte della linea ferroviaria Chiusi-Empoli, subito ad est della galleria Bucciano, ed è stata desunta dalla cartografia CARG (foglio 297 "Asciano") in quanto non sono disponibili sondaggi geognostici all'interno di tale unità.

Da un punto di vista progettuale, l'unità delle *Argille azzurre* viene rinvenuta praticamente lungo tutto il tracciato, sempre sotto un modesto spessore di alterazione (pochi metri) oppure, localmente, in corrispondenza delle piccole valli o impluvi, sotto una coltre di depositi alluvionali e/o eluvio-colluviali.

Tale unità coinvolge quindi tutte le principali infrastrutture (viadotti e gallerie) lasciando spazio, causa contatto stratigrafico-eteropico e con spessori di non più di una decina metri, alle sabbie gialle di San Vivaldo.

Le *Sabbie di San Vivaldo*, plioceniche, sono areniti poco cementate e sabbie a grana da fine a media, molto bioturbate, di colore giallo-ocra, localmente con resti di Ostreidi e Pectinidi. Questa formazione è presente lungo il tracciato per circa 200 m in prossimità del rilevato a monte della linea ferroviaria Empoli-Siena-Chiusi ed in particolare dalla p.k. 4+013 alla p.k. 4+200 circa, ricoperta parzialmente dal rilevato stradale, ed è stata desunta bibliograficamente in quanto non sono disponibili sondaggi né prove geotecniche all'interno di tale unità.

I *depositi alluvionali* occupano il fondo dei principali impluvi presenti nell'area del tracciato e sono il prodotto del trasporto, da parte delle acque superficiali, di materiali eterogenei a formare dei depositi dello spessore da alcuni metri fino a 8-9 m circa. Si tratta, in particolare, di *sabbie con limo argillose debolmente ghiaiose*, *limi argillosi sabbiosi* e *ghiaie con sabbie limose*.

Queste tre tipologie di depositi coinvolgono rispettivamente la piana alluvionale di Cerchiaia, le fondazioni dei principali viadotti centrali al tracciato, la piana alluvionale di Ruffolo in corrispondenza del viadotto Riluogo. Nonostante una granulometria prevalente in ciascuna delle tre tipologie, nei campioni è stata sempre rinvenuta una buona percentuale di materiale fine in matrice limoso-argillosa. Le opere in progetto maggiormente interessate da questa unità sono sostanzialmente tutti i viadotti, dal Tressa al Riluogo, i quali attestano alcune delle loro pile in spessori complessivamente variabili tra 2 e 9 m circa a seconda delle zone.

I *depositi eluvio-colluviali* rappresentano il prodotto di alterazione e di trasporto al piede del versante dei materiali appartenenti alle diverse unità affioranti in corrispondenza di tutti i rilievi collinari presenti nell'area del tracciato. Si tratta perlopiù di limi sabbiosi e sabbie limose che coinvolgono in particolare le fondazioni del viadotto Casone, Ribucciano e Riluogo. Tali terreni affiorano tra la p.k. 1+450 e p.k. 1+550 circa in uscita dalla galleria San Lazzerò, quindi in prossimità della spalla sud del Viadotto Casone con spessori di qualche metro tra la p.k. 2+750 e la p.k. 2+875 circa per poi coinvolgere, successivamente, la pila 2, 3 e 4 del Viadotto Ribucciano tra la p.k. 3+300 e p.k. 3+425 circa e la pila 1 e 2 del Viadotto Riluogo tra la p.k. 4+200 e p.k. 4+300. I depositi eluvio-colluviali vengono infine rinvenuti a fine tracciato, subito dopo lo svincolo di Ruffolo e in corrispondenza della ferrovia Siena-Buonconvento Monte Antico, con spessori di un paio di metri tra la p.k. 4+915 e la p.k. 5+500 circa.

I *depositi alluvionali terrazzati* sono terreni di natura alluvionali di età quaternaria affioranti lungo le valli dei maggiori corsi d'acqua e dei loro principali affluenti. Si tratta sostanzialmente di ghiaie con ciottoli, sabbie e peliti massive pedogenizzate che non interferiscono mai con il tracciato salvo rinvenirle, al di sotto di un modesto spessore di rilevato stradale, oltre lo svincolo di Ruffolo a fine tracciato.

I *depositi antropici* sono perlopiù costituiti dai materiali che sono stati utilizzati per la realizzazione dei rilevati stradali e/o ferroviari, terrapieni o discariche presenti nell'area del tracciato. Risultano maggiormente diffusi i rilevati della carreggiata esistente della E78, soprattutto in corrispondenza dei rami di svincolo della zona di Cerchiaia e della zona di Ruffolo, dei tratti di approccio ai viadotti esistenti lungo il tracciato e della zona di ritombamento della Galleria San Lazzerò.

9.1 Descrizione geologica del tracciato

Di seguito si descrivono le opere previste lungo il tracciato dell'infrastruttura in progetto in relazione al modello geologico di riferimento per la progettazione. Il tracciato di cui si fa riferimento è quello relativo alla carreggiata est (Grosseto-Fano), di nuova realizzazione.

9.1.1 Viadotto Tressa – carreggiata Est (L=236 m), viadotto Tressa – carreggiata Ovest (L=237 m) e Svincolo Cerchiaia

Il tratto iniziale dell'infrastruttura, nella zona di Cerchiaia, risulta impostato sui terreni del rilevato stradale di approccio ai viadotti Tressa I e Tressa II esistenti, entrambi da demolire. Il rilevato è stato realizzato, all'epoca di costruzione dell'infrastruttura esistente, sui depositi alluvionali del Fiume Tressa, a prevalente componente sabbioso-limoso.

Il nuovo Viadotto Tressa, si sviluppa per 236 m di lunghezza in carreggiata Est e 237 m in carreggiata Ovest, con due impalcati paralleli disposti su 6 campate (2 spalle e 5 pile).

Le fondazioni della spalla sud, così come quelle delle 5 pile, verranno realizzati su pali di diametro 1200 mm, che attraverseranno per pochi metri i *depositi alluvionali sabbiosi* per poi intestarsi subito nella formazione delle *argille azzurre* plioceniche, di consistenza molto elevata. Le fondazioni su pali della spalla nord si intesteranno invece direttamente nell'unità delle *argille azzurre*, salvo attraversare per pochi metri la relativa fascia di alterazione. In questo tratto il livello piezometrico della falda è presente con continuità all'interno dei *depositi alluvionali sabbiosi* (e in parte nell'orizzonte di alterazione delle *argille azzurre*) ad una profondità variabile tra 3 e 7 m circa da piano campagna.

Analoga tipologia di fondazione avranno le strutture legate alla realizzazione delle rampe del nuovo svincolo di Cerchiaia, ovvero la Rampa Fano – Firenze, la Rampa Grosseto – Firenze, la Rampa Firenze – Grosseto e la Rampa Firenze – Fano.

In particolare, nell'area dello Svincolo di Cerchiaia è stata indicata tra i depositi antropici un'area recentemente oggetto di un intervento di bonifica, corrispondente all'area in loc. Cerchiaia-Mattonaia identificata con codice Piano regionale SI068-068bis (cfr. mappali indicati in **Figura 6**), intervento concluso con *certificazione di avvenuta bonifica* della Provincia di Siena datata 25/10/2007.

Tuttavia, da tale documentazione emerge che al contorno di tale area sono ancora presenti rifiuti di varia natura, costituiti da *calcinacci*, *ceneri*, *RSU+tufo*, come mostrato nella planimetria schematica ricevuta dal Comune di Siena (cfr. **Figura 7**). Per quanto riguarda tale l'area, esterna al sito bonificato, il Comune di Siena ha comunicato che è risultata oggetto di procedimento di bonifica *SI068ter "Area Esterna La Cerchiaia"*, con piano di caratterizzazione già eseguito ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006 e progetto di bonifica approvato. Il limite di tale area è mostrato nella planimetria riportata in **Figura 8**.

Preso atto che per l'area SI068ter risulta già eseguito un piano di caratterizzazione ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006 e un progetto di bonifica approvato, non risulta necessaria l'esecuzione di uno specifico piano di indagini integrative finalizzato alla caratterizzazione di tale area. In ogni caso, ai fini di caratterizzare nel dettaglio le aree dove sono previsti gli scavi delle fondazioni delle opere infrastrutturali e le aree di cantiere nonché gli scavi relativi alla deviazione "Strada di Cerchiaia" (accesso AdS gas) e gli scavi di preparazione del piano di posa del ramo di svincolo GR-FI, viene proposta, all'interno del Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo allegato al progetto (cfr.

elaborato **T00GE02GEORE01**) e per la fase di progettazione esecutiva, una campagna integrativa che si focalizzerà dunque su tali zone.

9.1.2 Galleria S. Lazzero - carreggiata Est (L=144 m, da p.k. 1+245 a p.k. 1+389), Galleria S. Lazzero - carreggiata Ovest (L=146 m, da p.k. 1+250 a p.k. 1+396)

La Galleria S. Lazzero, in carreggiata est, presenta una lunghezza complessiva, compresi i tratti in artificiale, di 143.86 m, estendendosi tra le progressive p.k. 1+244.78 (imbocco lato Grosseto) e p.k. 1+388.64 (imbocco lato Fano). Nel dettaglio, la galleria avrà il primo tratto di galleria artificiale L = 58.22 m con sezione scatolare, poi un tratto in artificiale L = 14.95 m con sezione monocentrica e solettone di base, quindi la galleria naturale policentrica L = 49.38 m, un tratto in artificiale con sezione monocentrica e solettone di base L = 15.88 m e infine la galleria artificiale con sezione scatolare L = 5.43 m.

In carreggiata ovest, corrispondente alla sede stradale esistente, la galleria verrà realizzata attraverso un allargamento della galleria esistente. La Galleria San Lazzero - carreggiata ovest avrà una lunghezza complessiva, compresi i tratti in artificiale, di 146.05 m, estendendosi tra le progressive p.k. 1+249.65 (imbocco lato Grosseto) e p.k. 1+395.70 (imbocco lato Fano). Nel dettaglio, la galleria avrà il primo tratto di galleria artificiale L = 59.58 m con sezione scatolare, poi un tratto in artificiale L = 15.24 m con sezione policentrica, quindi il tratto di galleria naturale policentrica L = 30.09 m, un tratto in artificiale con sezione policentrica L = 15.94 m e infine la galleria artificiale con sezione scatolare L = 25.20 m.

Le unità coinvolte nello scavo della galleria S. Lazzero sono costituite dalle *argille azzurre* plioceniche e dalla relativa fascia di alterazione. Tuttavia, soprattutto nella carreggiata ovest, che ricalca il tracciato delle sede stradale esistente, verranno interessati spessori consistenti dei *depositi antropici* utilizzati per il ritombamento della galleria esistente, realizzata in artificiale previo sbancamento nei depositi argillosi. Tale materiale di ritombamento è costituito da limi argillosi e sabbiosi frammisti ad elementi provenienti da demolizione (laterizi), per uno spessore massimo, in corrispondenza della S.R. 2 "Cassia", di circa 11÷12 m sopra la calotta della galleria esistente.

Pertanto, le *argille azzurre* sono sempre presenti in arco rovescio, mentre in calotta è sempre presente il materiale di riporto in corrispondenza della carreggiata ovest, mentre in carreggiata est tale materiale è limitato alla porzione di sezione di galleria contigua a quella esistente.

Le *argille azzurre*, da molto consistenti a dure, sono presenti in corrispondenza della Galleria San Lazzero con la litofacies limoso-argillosa. Le permeabilità misurate nei sondaggi di questo tratto (S3, S4, S5 e S6), nell'unità delle *argille azzurre* a profondità variabili tra 4 e 11 m circa, sono molto basse, comprese tra 6E-10 e 7E-9 m/s. Tuttavia, la massiccia presenza dei depositi antropici al di sopra della galleria esistente potrebbe determinare un modesto afflusso di acqua in sotterraneo, come già riscontrato nella galleria in esercizio. Si tenga anche conto che i due piezometri installati in corrispondenza degli imbocchi nei sondaggi S3 (imbocco lato Grosseto) e S6 (imbocco lato Fano) hanno registrato un livello di falda prossimo a piano campagna, con una soggiacenza compresa rispettivamente tra 0 e 3 m circa.

In corrispondenza dell'imbocco lato Grosseto l'orlo di scarpata antropica, originato dallo scavo della trincea di approccio alla galleria, presenta segni di scollamento della coltre inerbita per una lunghezza di circa 30 m (cfr. **Figura 17**), dovuto alla non corretta regimazione delle acque meteoriche per la mancanza di un fosso di guardia in testa alla scarpata. In questo tratto, per la realizzazione del nuovo imbocco si prevede la realizzazione di una paratia lato monte la cui quota

di testa consenta una riprofilatura di tutta la scarpata su pendenze più basse, in modo tale da garantirne le necessarie condizioni di stabilità a lungo termine.

9.1.3 Tratto compreso tra la Galleria San Lazzerò e il Viadotto Luglie

Dopo la Galleria San Lazzerò, in carreggiata est il tracciato si sviluppa in rilevato per un tratto di oltre 300 m, raggiungendo altezze massime di circa 7 m. La stratigrafia in questo tratto è costituita da una coltre eluvio-colluviale di limitato spessore (max. 1÷2 m) e da 2÷3 m di orizzonte di alterazione superficiale dell'unità delle *argille azzurre*. Il livello piezometrico della falda in questo tratto si attesta a circa 2÷3 m da piano campagna.

In carreggiata ovest, invece, dopo un primo tratto di ampliamento della sede stradale esistente con un rilevato basso per circa 100 m, in corrispondenza della scarpata in trincea di altezza pari a circa 14 m, oggetto in passato di un intervento di consolidamento e stabilizzazione, è prevista la sostituzione dell'attuale muro di pulizia lato monte con uno di nuova realizzazione, per una lunghezza complessiva di circa 160 m. Le unità coinvolte sono sempre l'unità delle *argille azzurre* nella loro componente di alterazione superficiale.

9.1.4 Viadotto Luglie – carreggiata Est (L=120 m), Viadotto Luglie – carreggiata Ovest (L=120 m)

Il nuovo Viadotto Luglie, si sviluppa per 120 m di lunghezza in entrambe le carreggiate, con due impalcati paralleli disposti su 3 campate (2 spalle e 2 pile), con luci rispettivamente pari a 35 m, 50 m e 35 m.

L'opera prevede la realizzazione di spalle passanti impostate sul nuovo rilevato in carreggiata est e sul rilevato esistente in carreggiata ovest. Al di sotto dei terreni di rilevato è presente l'unità *argille azzurre* con la relativa fascia di alterazione superficiale, di spessore fino a 5 m, che interesserà la porzione superiore dei pali.

Per la realizzazione dei plinti di fondazione delle pile, che risulteranno appoggiati nella fascia di alterazione delle *argille azzurre*, verrà realizzato uno scavo *depositi alluvionali* limoso-argillosi (spessore di circa 3÷4 m), saturi e con il livello piezometrico della falda a piano campagna.

9.1.5 Tratto compreso tra il Viadotto Luglie e il Viadotto Valli

Tra il viadotto Luglie e il successivo viadotto Valli il progetto prevede, sulla carreggiata est, due tratti in rilevato (rilevato di appoggio alla spalla est del Viadotto Luglie con massima di circa 8 m e tratto di appoggio alla spalla ovest del Viadotto Valli con altezza massima di circa 4 m) e un tratto centrale in trincea (altezza massima di circa 2 m).

Sulla carreggiata ovest, corrispondente alla sede stradale esistente, è invece previsto sostanzialmente uno scavo in trincea lato monte per la realizzazione di una piazzola di sosta e di un muro di pulizia, quest'ultimo per una lunghezza complessiva di circa 270 m.

In entrambe le carreggiate le unità coinvolte sono esclusivamente le *argille azzurre* con la relativa fascia di alterazione superficiale (spessore 3÷5 m).

In questo tratto, il livello piezometrico della falda, di raccordo tra due tratti con falda a piano campagna, è stato ipotizzato cautelativamente ad una profondità compresa tra 2 e 5 m circa, nell'ambito della fascia di alterazione delle *argille azzurre*.

9.1.6 Viadotto Valli – carreggiata Est (L=107 m), Viadotto Valli – carreggiata Ovest (L=107 m)

Il nuovo Viadotto Valli, si sviluppa per 107 m di lunghezza in entrambe le carreggiate, con due impalcati paralleli disposti su 5 campate (2 spalle e 4 pile), con luci rispettivamente pari a 21 m, 21 m, 21 m, 21 m e 23 m.

L'opera prevede la realizzazione di spalle passanti impostate sul nuovo rilevato in carreggiata est e sul rilevato esistente in carreggiata ovest.

Anche in questo caso, per la realizzazione dei plinti di fondazione delle pile, che risulteranno appoggiati nella fascia di alterazione delle *argille azzurre*, verrà realizzato uno scavo *depositi alluvionali* limoso-argilloso-sabbiosi (spessore di circa 3÷4 m), saturi e con il livello piezometrico della falda a piano campagna. I pali di fondazione delle pile attraverseranno uno spessore di circa 10-12 m di fascia di alterazione, prima di entrare nell'unità delle *argille azzurre* non alterate.

I pali di fondazione delle spalle, dopo i primi metri nei rilevati nuovi o esistenti, attraverseranno l'intero spessore dei *depositi alluvionali* limosi, prima di entrare nella fascia di alterazione delle *argille azzurre* e quindi nell'unità non alterata.

9.1.7 Area di servizio Esso tra il Viadotto Valli e il Viadotto Casone

Sulla carreggiata ovest, il tratto di tracciato che collega il viadotto Valli al viadotto Casone, è presente lato monte, tra le p.k. 2+660 e 2+800 ca., una scarpata di altezza massima 12 m, scavata nell'unità delle *argille azzurre* plioceniche per la realizzazione della sede stradale esistente. Tale scarpata, sulle diverse cartografie ufficiali (cfr. **Figure 6 ÷ 11** della presente relazione), è segnalata sempre come area in dissesto (dovuto a *colamento*) oppure come area ad elevata pericolosità. Il progetto in questo tratto prevede, a valle del muro di pulizia esistente, la realizzazione di un fosso di guardia in cls per la gestione delle acque meteoriche scolanti dalla superficie della scarpata.

Sulla carreggiata est è presente un'area di servizio, in parte interferente con l'ampliamento della carreggiata, per la quale è onere del gestore (società petrolifera) provvedere al suo eventuale adeguamento con possibile ampliamento dell'area, secondo la convenzione in atto tra il gestore e Anas. Il piano di posa del rilevato che costituirà l'ampliamento verso valle dell'area di servizio Esso interesserà in parte i *depositi eluvio-colluviali* (nella porzione più vicina alla carreggiata stradale) e in parte i *depositi alluvionali*.

Il livello piezometrico della falda in questo tratto è stato ipotizzato ad una profondità di circa 3÷5 m dal piano campagna, in continuità con il livello misurato a piano campagna in corrispondenza del viadotto.

9.1.8 Viadotto Casone - carreggiata Est (L=250 m), Viadotto Casone – carreggiata Ovest (L=254 m)

Il nuovo Viadotto Casone, si sviluppa con una lunghezza di 250 m in carreggiata Est e di 254 m in carreggiata Ovest, con due impalcati paralleli disposti su 6 campate (2 spalle e 5 pile), con luci rispettivamente pari a 33 m, 50 m, 44 m, 44 m, 50 m e 33 m sulla carreggiata ovest e pari a 32 m, 50 m, 43 m, 43 m, 50 m e 32 m sulla carreggiata est.

Sono previste anche in questo caso spalle passanti impostate sul nuovo rilevato in carreggiata est e sul rilevato esistente in carreggiata ovest.

La valle del Fosso del Casone, attraversata dal viadotto omonimo, è caratterizzata dalla presenza di *depositi alluvionali* limoso-argilloso-sabbiosi per uno spessore di circa 5÷6 m, con un livello piezometrico della falda ad una profondità variabile tra 2 e 5 m circa da p.c.

Al di sotto di tali depositi sono presenti le *argille azzurre*, con relativo orizzonte di alterazione superficiale, di spessore mediamente variabile tra 2 e 5 m. Ai lati della vallecola, di raccordo con i versanti dei rilievi collinari adiacenti, sono presenti anche *depositi eluvio-colluviali* di spessore modesto (max. 1÷2 m).

I piani di posa dei plinti di fondazione delle pile verranno realizzate in parte nei *depositi alluvionali* limosi (pile 1, 2 e 3), in parte nella porzione alterata delle *argille azzurre* (pile 4 e 5), mentre i pali di fondazione delle pile e delle spalle saranno in gran parte realizzati nell'ambito dell'unità delle *argille azzurre* non alterate.

9.1.9 Tratto compreso tra il Viadotto Casone e il Viadotto Ribucciano

La spalla nord del viadotto Valli e la spalla sud del successivo viadotto Ribucciano sono connesse tra loro da due rilevati di approccio a formare un unico tratto in rilevato di circa 70 m di lunghezza, con altezze massime di 9÷10 m.

In questo tratto i terreni di fondazione del rilevato sono costituiti dall'unità delle *argille azzurre* plioceniche, con una fascia di alterazione superficiale dello spessore di circa 7÷8 m.

Il livello piezometrico della falda, di raccordo con il livello misurato in corrispondenza del Fosso del Casone, è stato ipotizzato a non meno di 6÷7 m dal piano campagna.

9.1.10 Viadotto Ribucciano - carreggiata Est (L=256 m), Viadotto Ribucciano – carreggiata Ovest (L=253 m)

Il nuovo Viadotto Ribucciano si sviluppa con una lunghezza di 256 m in carreggiata Est e di 253 m in carreggiata Ovest, con due impalcati paralleli disposti su 6 campate (2 spalle e 5 pile), con luci rispettivamente pari a 34 m, 49 m, 44 m, 44 m, 49 m e 33 m sulla carreggiata ovest e pari a 34 m, 50 m, 44 m, 44 m, 50 m e 34 m sulla carreggiata est.

Anche in questo caso sono previste spalle passanti impostate sul nuovo rilevato in carreggiata est e sul rilevato esistente in carreggiata ovest.

I piani di posa dei plinti di fondazione delle pile verranno realizzate nella porzione alterata delle *argille azzurre* plioceniche, mentre i pali di fondazione delle pile e delle spalle saranno in gran parte realizzati nell'ambito dell'unità delle *argille azzurre* non alterate.

In questo tratto il livello piezometrico della falda è stato ipotizzato cautelativamente ad una profondità media di 2 m circa dal piano campagna, avente una certa continuità all'interno dei *depositi eluvio-colluviali* e nella fascia di alterazione delle *argille azzurre*.

9.1.11 Galleria Bucciano - carreggiata Est (L=177 m, da p.k. 3+677 a p.k. 3+854) - Galleria Bucciano – carreggiata Ovest (L=186 m, da p.k. 3+679 a p.k. 3+866)

La Galleria Bucciano, in carreggiata est, presenta una lunghezza complessiva, compresi i tratti in artificiale, di 177.22 m, estendendosi tra le progressive p.k. 3+677.18 (imbocco lato Grosseto) e p.k. 3+854.40 (imbocco lato Fano). Nel dettaglio, la galleria avrà il primo tratto di galleria artificiale L = 67.87 m con sezione monocentrica, quindi la galleria naturale policentrica L = 91.65 m e infine la galleria artificiale con sezione monocentrica L = 17.70 m.

In carreggiata ovest, corrispondente alla sede stradale esistente, la galleria verrà realizzata attraverso un allargamento della galleria esistente. La Galleria San Lazzerio - carreggiata ovest avrà una lunghezza complessiva, compresi i tratti in artificiale, di 186.39 m, estendendosi tra le progressive p.k. 3+679.30 (imbocco lato Grosseto) e p.k. 3+865.69 (imbocco lato Fano). Nel dettaglio, la galleria avrà il primo tratto di galleria artificiale L = 31.21 m con sezione monocentrica, quindi la galleria naturale policentrica L = 119.65 m e infine la galleria artificiale con sezione monocentrica L = 35.53 m.

Le unità coinvolte nello scavo della galleria sono esclusivamente costituite dalle *argille azzurre* e dalla relativa fascia di alterazione, qui presente con uno spessore variabile tra 3 e 8 m. Le argille azzurre sono presenti dall'imbocco lato Grosseto con la litofacies argilloso-limosa (cfr. stratigrafie sondaggi S10D e S12) mentre verso l'imbocco lato Fano prevale la litofacies limoso-sabbiosa (cfr.

stratigrafie sondaggi S13 e S14). Sono quindi da prevedere modeste venute d'acqua in galleria, sotto forma di stillicidio, considerato che il livello piezometrico della falda, interpolato sulla base delle misure piezometriche eseguite, è stato ipotizzato cautelativamente al di sopra della calotta della galleria, almeno nel suo tratto centrale a maggiore copertura.

9.1.12 Tratto compreso tra la galleria Bucciano e il Viadotto Riluogo

In uscita dalla galleria Bucciano il nuovo tracciato in carreggiata est si sviluppa in rilevato per un tratto di circa 250 m, con altezze massime di circa 10 m.

In careggiata ovest il progetto prevede la realizzazione della nuova sede stradale in rilevato per un tratto più ridotto, di circa 100 m, per poi diventare una sezione in trincea sostenuta lato monte da una paratia di altezza massima pari a circa 8 m e di lunghezza pari a circa 100 m.

La stratigrafia dei terreni in questo tratto vede la presenza inizialmente delle *argille azzurre* plioceniche coperte da un sottile orizzonte di *depositi eluvio-colluviali*, per poi lasciare il posto all'unità delle *Sabbie di San Vivaldo*, anch'esse di età pliocenica: in particolare, la paratia lato monte sulla carreggiata ovest verrà scavata esclusivamente in quest'ultima unità.

La profondità del livello piezometrico della falda è stata ipotizzata tra circa 2+3 m e circa 6 m nel primo tratto fino a oltre 10 m dal piano campagna nel tratto più prossimo alle spalla lato Grosseto del Viadotto Riluogo.

9.1.13 Viadotto Riluogo - carreggiata Est (L=440 m), Viadotto Riluogo – carreggiata Ovest (L=359 m) e Svincolo Ruffolo

Il viadotto Riluogo - carreggiata Est, di circa 440 m di lunghezza, prevede la realizzazione di un impalcato su 11 campate (2 spalle e 10 pile), di cui le ultime 3 campate in direzione Fano vengono raddoppiate a formare due carreggiate distinte, a sinistra la carreggiata di raccordo con l'attuale sede stradale in direzione Fano e a destra la carreggiata del ramo Grosseto-Siena (asse GS) che abbassandosi dalla quota del viadotto a quota circa 190 m s.l.m., si porta a circa 8 m di profondità dal piano campagna sottopassando in curva la sede stradale esistente in direzione della città di Siena.

Il piano di posa della fondazione della spalla sud (p.k. 4+160) è previsto nell'unità delle *Sabbie di San Vivaldo*, così come il piano di posa della fondazione della pila 1. Il piano di posa del plinto di fondazione delle pile 2 e 3 ricade parzialmente nell'unità dei *depositi eluvio-colluviali* e il plinto di fondazione delle spalla nord (p.k. 4+600) e delle pile 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 verrà invece realizzato parzialmente nei *depositi alluvionali* a componente ghiaioso-sabbiosa prevalente.

Dato che in questo tratto il livello piezometrico della falda è prossimo a p.c., il sottopasso del ramo Grosseto-Siena sotto la sede stradale attuale verrà realizzato con opere di contenimento delle pareti di scavo (es. paratie di pali ad elica secanti) in modo da evitare l'ingresso negli scavi delle acque di falda dai depositi alluvionali saturi. Data la presenza sul fondo scavo delle *argille azzurre*, caratterizzata da permeabilità molto bassa, non sarà necessario eseguire il tappo di fondo per evitare l'ingresso di acqua dal fondo scavo.

In ogni caso, dato che non risultano attualmente disponibili sondaggi a carotaggio continuo in corrispondenza del nuovo sottopasso, si suggerisce di prevedere, per la progettazione esecutiva delle opere, la realizzazione di due nuovi sondaggi a carotaggio continuo, alle due estremità nord e

sud del sottopasso, con esecuzione di prove di permeabilità Lefranc in foro e installazione di piezometri a tubo aperto per il rilievo diretto del livello piezometrico della falda.

Discorso del tutto analogo deve essere fatto per lo scatolare idraulico di deviazione del Fosso Riluogo al di sotto della rotatoria in fregio al Comando dei VV.FF., ubicato alla fine del ramo di svincolo Grosseto-Siena, dove la realizzazione di due nuovi sondaggi a carotaggio continuo con prove Lefranc e installazione di piezometro, in asse al nuovo scatolare, che comporterà scavi di profondità pari a circa 7 m, consentirà di eseguire una progettazione esecutiva dell'opera adeguata alle reali condizioni del terreno e della falda in corrispondenza dell'opera.

Il viadotto Riluogo direzione Grosseto, invece, di lunghezza circa 400 m sarà realizzato su un impalcato costituito da 10 campate (2 spalle e 9 pile), con sdoppiamento nel tratto finale per consentire la connessione con il ramo Siena-Grosseto proveniente dalla rotatoria di cui sopra.

10 ALLEGATI

10.1 Allegato 1 – Indagini geognostiche fornite dal Comune di Siena

Studio associato GEORICERCHE

Loc. Poggiarello la Ripa, 4 - 53019 Castelnuovo Berardenga (SI)

PI - 00805010527

Tel - Fax 0577/328260 @mail georicerche@inwind.it

 Sondaggio : N°4
 Quota..... : 211
 Data..... : 04/07/2003
 Responsabile.. : Dott. Geol. Luca Caselli
 Operatore..... : Dott. Geol. Roberto Cerrì

Scala	Litologia	Descrizione	Spessore	% di Carotaggio					S.P.T.	P.T.	V.T.	Campioni	Diam. Foro	Metodo di Perforaz.	Metodo di Stabilizz.	Liv. di Falda	Piezometro
				1	2	3	4	5									
		suolo	-0.60														
-1		Limo argilloso ocra							>2	>2							
									>2	1.8	S						
-2									>2	1.9							
									>2	1.8							
-3			-4.40						>2	1.9							
									1.63	1.6							
-4									>2	>2							
									0.95	1	R						
-5									1.75	1.8							
-6																	
-7																	
-8																	
-9																	
-10																	

Campioni: S-Parati Sottile, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elca Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Bentonitici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: continuo



I risultati sono riportati su diagrammi dove la R_p , la R_I ed il rapporto R_p/R_I (in funzione di R_p secondo la descrizione del terreno data da SCHMERTMANN 1978) vengono diagrammati in funzione della profondità (Allegati).

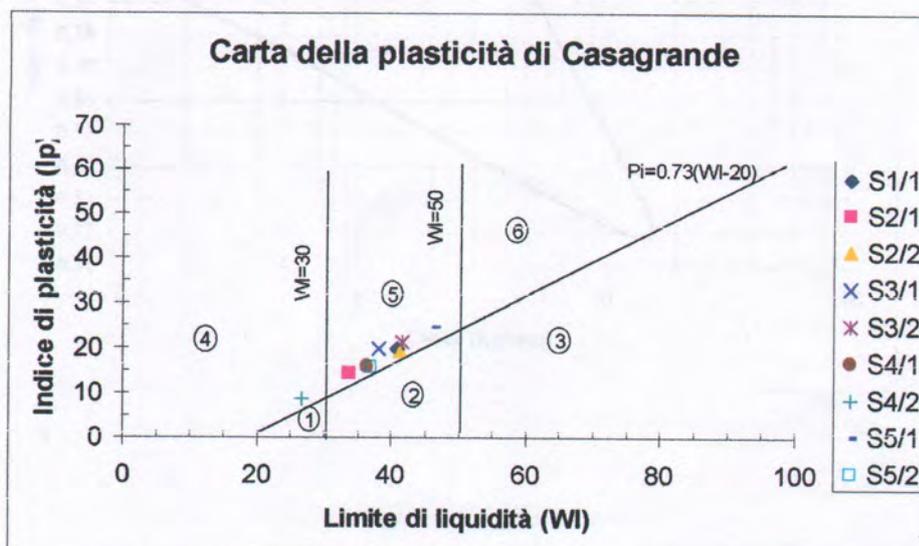
4.3) PROVE DI LABORATORIO

Nei sondaggi sono stati prelevati a varie quote significative campioni indisturbati per la determinazione delle proprietà indici e dei parametri di resistenza al taglio e compressibilità.

Di seguito verranno riportati i parametri più significativi rimandando all'Appendice per una completa visione dei dati:

Sond.	Camp.	Prof. (m)	W (%)	γ (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	c' (KPa)	ϕ' (°)	C_u (KPa)	e_0	C_c	C_v (cm ² /sec)	K (cm/sec)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CNR UNI 10006
S1	A	0.50-3.00	22.88	2.017	1.648	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A7-6
1	1	1.95-2.45	18.36	2.087	1.761	-	-	81.31	0.448	0.152	$7.12 \cdot 10^{-04}$	$6.85 \cdot 10^{-09}$	40.93	21.31	19.62	-
2	1	1.50-2.0	16.16	2.139	1.835	-	-	350.074	-	-	-	-	33.63	19.5	14.13	-
2	2	4.70-5.0	19.01	2.086	1.747	-	-	180.277	-	-	-	-	41.32	22.11	19.21	-
3	1	2.00-2.30	17.67	2.052	1.729	64.232	32.4	-	-	-	-	-	38.21	18.56	19.65	-
3	2	3.85-4.35	20.65	2.142	1.771	-	-	176.142	-	-	-	-	41.71	20.51	21.2	-
4	1	1.50-1.90	17.02	2.057	1.743	78.378	28.9	-	-	-	-	-	36.44	20.63	15.81	-
4	2	4.40-4.70	19.95	2.073	1.713	-	-	34.842	-	-	-	-	26.72	18.18	8.54	-
5	1	2.10-2.40	20.17	2.033	1.67	51.89	34.5	-	-	-	-	-	46.19	21.7	24.49	-
5	2	4.70-5.00	18.54	2.135	1.789	-	-	164.862	-	-	-	-	36.95	21.29	15.65	-

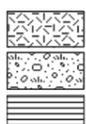
Dai risultati della campagna geognostica e penetrometrica si è constatato la presenza di terreni a comportamento per lo più coesivo, è stata quindi utilizzata la classificazione proposta da Casagrande (1948) basata sui limiti di Atterberg i cui risultati sono riportati nel grafico seguente.



Cantiere: Riluogo Località: Siena Data inizio: 12/02/10 Data fine: 16/02/10
Sondaggio n.: Riluogo Metodo perfor.: Carotaggio continuo - carotiere semplice Diamm. (mm): 101/127
Liv. falda (m da p.c.): _____ Quota p.c. (m s.l.m.): _____ Redattore stratigrafia Dott. Geol. Giorgio Della Croce - Dott. Geol. Annalisa Oliviero

P.P.	(MPa)	Tor.	(kg/cmq)	S.P.T.	Ncolpi	Camp. (*)	Prof. (m)	Prof. (m)	Prof. (m)	Descrizione	R.Q.D.	Carotaggio % recupero
							0,4			terreno superficiale di riporto con presenza di laterizi, colore marrone		
							1,1	1		Limo debolmente sabbioso rimaneggiato con laterizi, colore marrone		
							2,0	2		Limo sabbioso di colore marrone, consistenza medio/bassa		
				SPT1	8		3,0	3		Sabbia limosa di colore marrone ad addensamento medio/alto		
					9		3,45	4		Sabbia limosa deb.argillosa di colore marrone ad addensamento da medio a bassp con presenza materiale organico		
				SPT2	2		6,0	6		Sabbie medio fini di colore grigio		
					3		6,45	7		Sabbie medio fini limose di colore grigio con presenza di ciottoli e ghiaia		
							7,5	8		Ghiaia e sabbia media di colore grigio		
							7,8	8		Ghiaia in matrice sabbioso-limosa		
				SPT3	18		9,0	9		Ghiaia in matrice sabbiosa, incluso calcilutitico a 9m		
					25		9,45	10		Limo sabbioso deb. Argilloso con resti di molluschi di colore grigio, consistenza medio alta		
					40		10,0	10		Sabbie fine limosa deb. Argillosa di colore grigio con resti di molluschi, addensamento medio alto		
							11,2	11		Sabbia fine limosa- limo sabbioso di colore grigio con presenza di resti di molluschi, addensamento medio		
							13,5	14	CR1	CAMPIONE DISTURBATO		
							13,75	14		Sabbia fine limosa di colore grigio, addensamento medio alto		
							15,0	15	CI1	CAMPIONE C1 (fustella piegata)		
							15,3	15		Limo argilloso deb. Sabbioso di colore grigio, consistenza medio alta		
0,3							16,0	16		Limo argilloso di colore grigio, consistenza alta		
0,35							18,0	18	CI2	CAMPIONE C2		
							18,5	19		Sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, con presenza di fossili		
							20,7	21		Argille limose plastiche di colore verdastro a consistenza media		
							21,4	22		Argille limose di colore marrone chiaro, a consistenza alta , litotipo OC		
							23,5	24		Argille limose di colore grigio a consistenza alta , litotipo OC		
							26,0	26	CI3	CAMPIONE C3 (fustella piegata)		
							26,3	26		Argille limose di colore grigio a consistenza alta , litotipo OC		
0,4							27	27				
0,5							28	28				
							29	29				
							30,0	30				

(*) 1,2,3, ... s = Shelby d = Denison
O = Osterberg a = altro
A, B, C, ... camp. rimanegg.
P.P. = Penetrometro tascabile
Tor. = Scissometro tascabile
S.P.T. = Standard Penetration Test
V.T. = Vane Test (kg/cmq) max-residuo
R.Q.D. = Rock Quality Designation



Riporto
Terreno vegetale
Argilla



Limo
Sabbia
Ghiaia

NOTE: Livelli di falda
Stimata -3,0/-4,0 m da .p.c.

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/1	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29533 / AP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	22/02/2010	Data fine prova			

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **SPT1**Profondità [m] **3,00-3,45**FUSTELLA **Sacchetto plastica** DIAMETRO INT.: cm LUNGHEZZA: cm**APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)****PROGRAMMA PROVE**APERTURA CAMPIONE RIMANEGGIATO
GRANULOMETRIA**DESCRIZIONE VISUALE**

Limo con sabbia fine debolmente argilloso con rara ghiaia angolare (Dmax=25mm) e rari frammenti rossastri laterizi. Poco plastico, di colore marrone olivastro (2.5Y 4/4). Reagente all'HCl.

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm ²]	TOR VANE [kg/cm ²]	[cm]	PROVINI
Limo con sabbia fine debolmente argilloso con rara ghiaia angolare (Dmax=25mm) e rari frammenti rossastri laterizi. Poco plastico, di colore marrone olivastro.	0			0	
	10			10	
	20			20	
	30			30	
	40			40	
	50			50	
	60			60	
	70			70	
	80			80	
	90			90	
	100			100	

QUALITA' DEL CAMPIONE**NOTE**Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)



GEOSTUDI srl

Laboratorio geotecnico - Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO
SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 246/93, Art. 8 - Circolare n. 349/99
Concessione N. 52497 - SETTORE A (prove di laboratorio sui terreni) e SETTORE C (prove in sito)

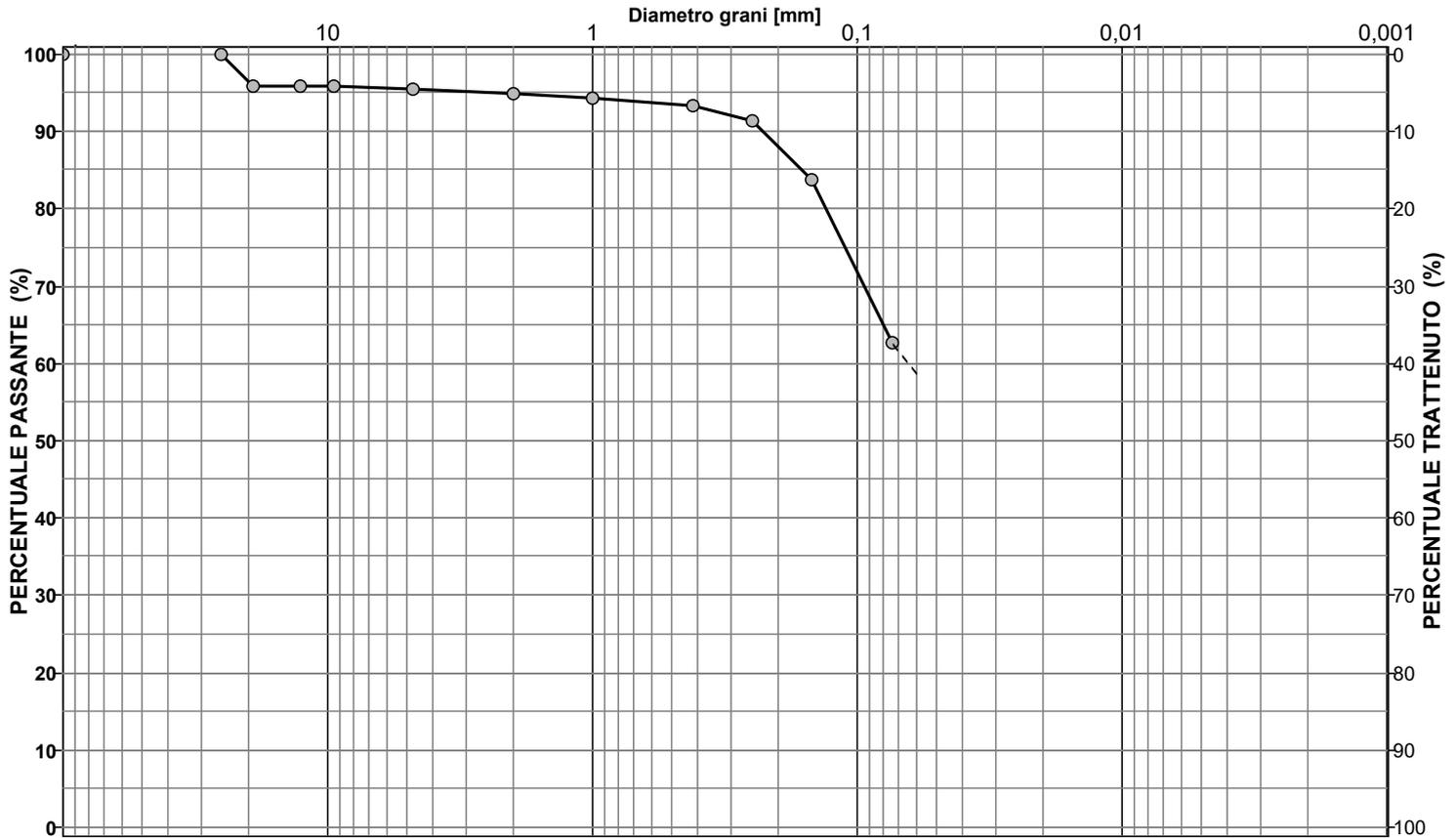
Commessa : 28_10
Cantiere : SS 223 GROSSETO - SIENA RILUOGO
Committente : SONGEO



SONDAGGIO: S1
CAMPIONE: SPT1
PROFONDITA' (m): 3,00 - 3,45

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP. 1024/1	Data ricevimento 22/02/2010	CERTIFICATO N. 29534 / GR	Data 08/03/2010
	Data prelievo	Data inizio prova 23/02/2010	
	Data apertura 22/02/2010	Data fine prova 24/02/2010	Pag. 1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **SPT1**Profondità [m] **3,00-3,45****ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D422/63 - Class. AGI 1977**Descrizione del terreno **Limo con sabbia fine debolmente argilloso ghiaioso.**

CIOTTOLI	GHIAIA	SABBIA	LIMO + ARGILLA
0,0	5,0	36,3	58,7

Analisi per setacciatura**Analisi per sedimentazione**

Massa mater. g 300,0	VAGLI	APERTURA SETACC. mm	PERC. CUMUL PASSANTE	PERC. CUMUL TRATTENUTO	DIMENSIONE GRANULI mm	PERC. CUMUL PASSANTE	PERC. CUMUL TRATTENUTO
0,0	3,0 inch	76,2000	100,00	0,00			
0,0	2.5 inch	63,5000	100,00	0,00			
0,0	1.5 inch	38,1000	100,00	0,00			
0,0	1.0 inch	25,4000	100,00	0,00			
12,3	3/4 inch	19,0500	95,89	4,11			
0,0	1/2 inch	12,7000	95,89	4,11			
0,0	3/8 inch	9,5100	95,89	4,11			
1,3	4 mesh	4,7600	95,47	4,53			
1,4	10 mesh	2,0000	95,00	5,00			
1,8	16 mesh	1,0000	94,38	5,62			
2,8	40 mesh	0,4200	93,46	6,54			
6,4	60 mesh	0,2500	91,32	8,68			
22,6	100 mesh	0,1490	83,79	16,21			
63,4	200 mesh	0,0740	62,64	37,36			

NOTE**Lo sperimentatore**
(Dott. Alessandro Miraldi)**Il Direttore del Laboratorio**
(Dott. Pasquale Manara)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/2	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29535 / AP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	22/02/2010	Data fine prova			

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **SPT2**Profondità [m] **6,00-6,45**FUSTELLA **Sacchetto plastica** DIAMETRO INT.: cm LUNGHEZZA: cm**APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)****PROGRAMMA PROVE**APERTURA CAMPIONE RIMANEGGIATO
GRANULOMETRIA**DESCRIZIONE VISUALE**

Sabbia fine con limo argilloso di colore grigio verdastro (GLE Y1 4/5GY). Parzialmente ossidata, plastica. Reagente all'HCl.

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm ²]	TOR VANE [kg/cm ²]	[cm]	PROVINI
Sabbia fine con limo argilloso di colore grigio verdastro. Parzialmente ossidata, plastica.	0	0		0	
	10	10		10	
	20	20		20	
	30	30		30	
	40	40		40	
	50	50		50	
	60	60		60	
	70	70		70	
	80	80		80	
	90	90		90	
	100	100		100	

QUALITA' DEL CAMPIONE**NOTE****Lo sperimentatore**
(Dott. Alessandro Miraldi)**Il Direttore del Laboratorio**
(Dott. Pasquale Manara)



GEOSTUDI srl

Laboratorio geotecnico - Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO
SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 246/93, Art. 8 - Circolare n. 349/99
Concessione N. 52497 - SETTORE A (prove di laboratorio sui terreni) e SETTORE C (prove in sito)

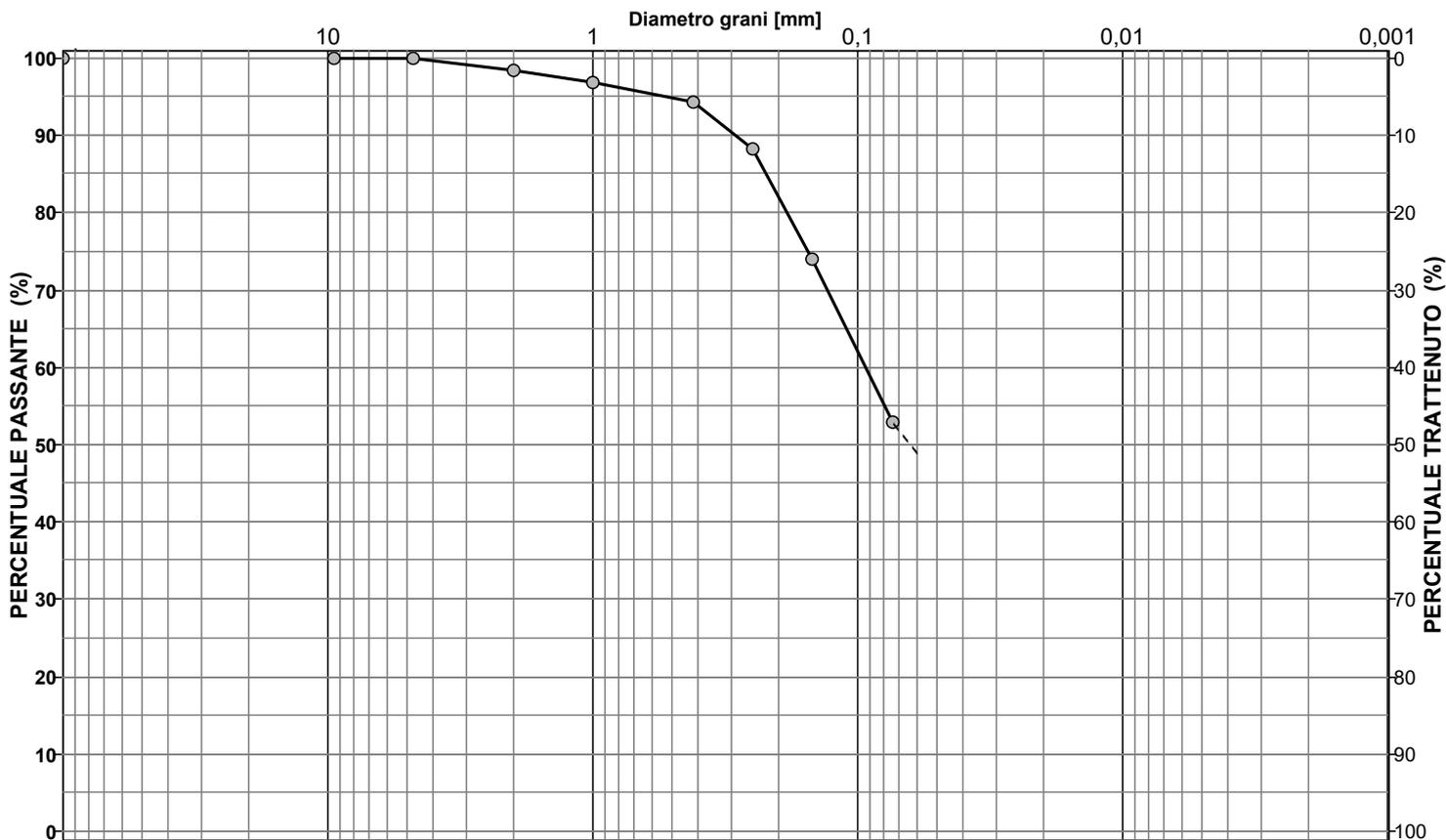
Commessa : 28_10
Cantiere : SS 223 GROSSETO - SIENA RILUOGO
Committente : SONGEO



SONDAGGIO: S1
CAMPIONE: SPT2
PROFONDITA' (m): 6,00 - 6,45

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP. 1024/2	Data ricevimento 22/02/2010	CERTIFICATO N. 29536 / GR	Data 08/03/2010
	Data prelievo	Data inizio prova 23/02/2010	
	Data apertura 22/02/2010	Data fine prova 24/02/2010	Pag. 1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **SPT2**Profondità [m] **6,00-6,45****ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D422/63 - Class. AGI 1977**Descrizione del terreno **Sabbia con limo argilloso.**

CIOTTOLI	GHIAIA	SABBIA	LIMO + ARGILLA
0,0	1,6	49,5	48,9

Analisi per setacciatura**Analisi per sedimentazione**

Massa mater. g 400,0	VAGLI	APERTURA SETACC. mm	PERC. CUMUL PASSANTE	PERC. CUMUL TRATTENUTO	DIMENSIONE GRANULI mm	PERC. CUMUL PASSANTE	PERC. CUMUL TRATTENUTO
0,0	3,0 inch	76,2000	100,00	0,00			
0,0	2.5 inch	63,5000	100,00	0,00			
0,0	1.5 inch	38,1000	100,00	0,00			
0,0	1.0 inch	25,4000	100,00	0,00			
0,0	3/4 inch	19,0500	100,00	0,00			
0,0	1/2 inch	12,7000	100,00	0,00			
0,0	3/8 inch	9,5100	100,00	0,00			
0,2	4 mesh	4,7600	99,94	0,06			
6,2	10 mesh	2,0000	98,39	1,61			
6,1	16 mesh	1,0000	96,86	3,14			
9,9	40 mesh	0,4200	94,39	5,61			
24,1	60 mesh	0,2500	88,35	11,65			
57,3	100 mesh	0,1490	74,01	25,99			
84,7	200 mesh	0,0740	52,85	47,15			

NOTE**Lo sperimentatore**
(Dott. Alessandro Miraldi)**Il Direttore del Laboratorio**
(Dott. Pasquale Manara)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/3	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29537 / AP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	22/02/2010	Data fine prova			

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **SPT3**Profondità [m] **9,00-9,45**FUSTELLA **Sacchetto plastica** DIAMETRO INT.: cm LUNGHEZZA: cm**APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)****PROGRAMMA PROVE**APERTURA CAMPIONE RIMANEGGIATO
GRANULOMETRIA**DESCRIZIONE VISUALE**

Limo argilloso sabbioso di colore grigio verdastro (GLE1 4/10GY). Presenti rari frammenti millimetrici conchigliari. Plastico. Reagente all'HCl.

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm ²]	TOR VANE [kg/cm ²]	[cm]	PROVINI
Limo argilloso sabbioso di colore grigio verdastro. Presenti rari frammenti millimetrici conchigliari. Plastico.	0	0		0	
	10	10		10	
	20	20		20	
	30	30		30	
	40	40		40	
	50	50		50	
	60	60		60	
	70	70		70	
	80	80		80	
	90	90		90	
	100	100		100	

QUALITA' DEL CAMPIONE**NOTE****Lo sperimentatore**
(Dott. Alessandro Miraldi)**Il Direttore del Laboratorio**
(Dott. Pasquale Manara)



GEOSTUDI srl

Laboratorio geotecnico - Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO
SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 246/93, Art. 8 - Circolare n. 349/99
Concessione N. 52497 - SETTORE A (prove di laboratorio sui terreni) e SETTORE C (prove in sito)

Commessa : 28_10
Cantiere : SS 223 GROSSETO - SIENA RILUOGO
Committente : SONGEO



SONDAGGIO: S1
CAMPIONE: SPT3
PROFONDITA' (m): 9,00 - 9,45



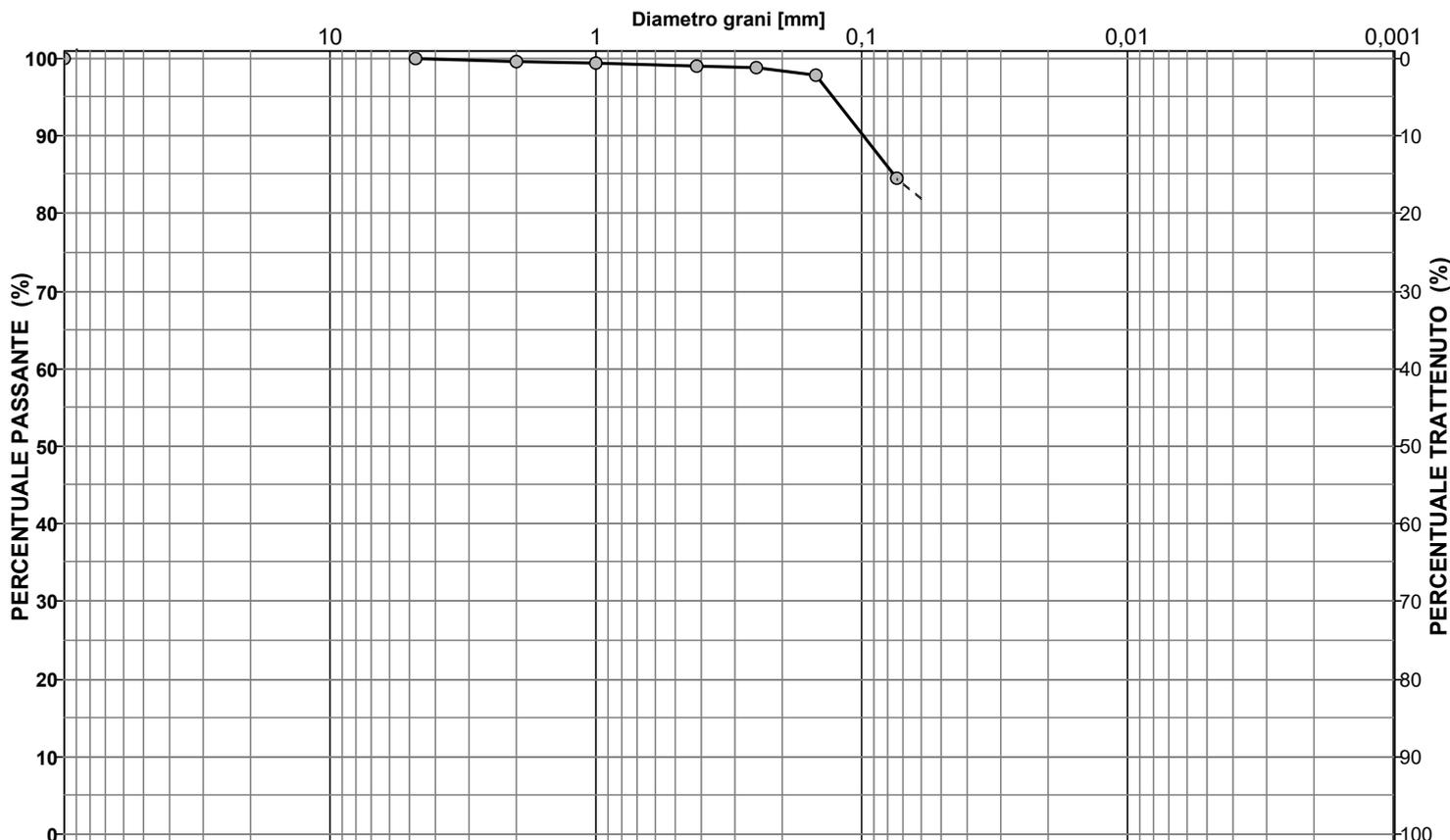
Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93

Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/3	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29538 / GR	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	23/02/2010		
		Data apertura	22/02/2010	Data fine prova	24/02/2010	Pag.	1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **SPT3**Profondità [m] **9,00-9,45**

ANALISI GRANULOMETRICA ASTM D422/63 - Class. AGI 1977

Descrizione del terreno **Limo argilloso sabbioso.**

CIOTTOLI	GHIAIA	SABBIA	LIMO + ARGILLA
0,0	0,4	17,6	82,0

Analisi per setacciatura

Analisi per sedimentazione

Massa mater. g 250,0	VAGLI	APERTURA SETACC. mm	PERC. CUMUL PASSANTE	PERC. CUMUL TRATTENUTO	DIMENSIONE GRANULI mm	PERC. CUMUL PASSANTE	PERC. CUMUL TRATTENUTO
0,0	3,0 inch	76,2000	100,00	0,00			
0,0	2.5 inch	63,5000	100,00	0,00			
0,0	1.5 inch	38,1000	100,00	0,00			
0,0	1.0 inch	25,4000	100,00	0,00			
0,0	3/4 inch	19,0500	100,00	0,00			
0,0	1/2 inch	12,7000	100,00	0,00			
0,0	3/8 inch	9,5100	100,00	0,00			
0,0	4 mesh	4,7600	100,00	0,00			
1,1	10 mesh	2,0000	99,57	0,43			
0,6	16 mesh	1,0000	99,32	0,68			
0,6	40 mesh	0,4200	99,06	0,94			
0,6	60 mesh	0,2500	98,84	1,16			
2,5	100 mesh	0,1490	97,83	2,17			
33,3	200 mesh	0,0740	84,50	15,50			

NOTE

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/4	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29539 / AP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova			
		Data apertura	22/02/2010	Data fine prova		Pag.	1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CR1**Profondità [m] **13,50-13,75**FUSTELLA **Sacchetto plastica** DIAMETRO INT.: cm LUNGHEZZA: cm**APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)****PROGRAMMA PROVE**APERTURA CAMPIONE RIMANEGGIATO
LIMITI DI ATTERBERG
GRANULOMETRIA
CLASSIFICA U.S.C.S.**DESCRIZIONE VISUALE**

Limo argilloso sabbioso debolmente ghiaioso di colore grigio scuro verdastro (GLE Y1 3/5G). Ricco in frammenti conchigliari di origine marina e rari noduli nerastri per la presenza di sostanza organica. Umido, poco plastico. Reagente all'HCl.

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm ²]	TOR VANE [kg/cm ²]	[cm]	PROVINI
Limo argilloso sabbioso debolmente ghiaioso di colore grigio scuro verdastro. Ricco in frammenti conchigliari di origine marina e rari noduli nerastri per la presenza di sostanza organica. Umido, poco plastico.	0	0		0	
	10	10		10	
	20	20		20	
	30	30		30	
	40	40		40	
	50	50		50	
	60	60		60	
	70	70		70	
	80	80		80	
	90	90		90	
	100	100		100	

QUALITA' DEL CAMPIONE**NOTE****Lo sperimentatore**
(Dott. Alessandro Miraldi)**Il Direttore del Laboratorio**
(Dott. Pasquale Manara)



GEOSTUDI srl

Laboratorio geotecnico - Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO
SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 246/93, Art. 8 - Circolare n. 349/99
Concessione N. 52497 - SETTORE A (prove di laboratorio sui terreni) e SETTORE C (prove in sito)

Commessa : 28_10
Cantiere : SS 223 GROSSETO - SIENA RILUOGO
Committente : SONGEO



SONDAGGIO: S1
CAMPIONE: CR1
PROFONDITA' (m): 13,50 - 13,75

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP. 1024/4	Data ricevimento 22/02/2010	CERTIFICATO N. 29540 / IP	Data 08/03/2010
	Data prelievo	Data inizio prova 25/02/2010	
	Data apertura 22/02/2010	Data fine prova 26/02/2010	Pag. 1/1

COMMITTENTE Songeo Studio Speri Sering Integra

COMMESSA 028 / 2010

CANTIERE SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo

Sondaggio S1

Campione CR1

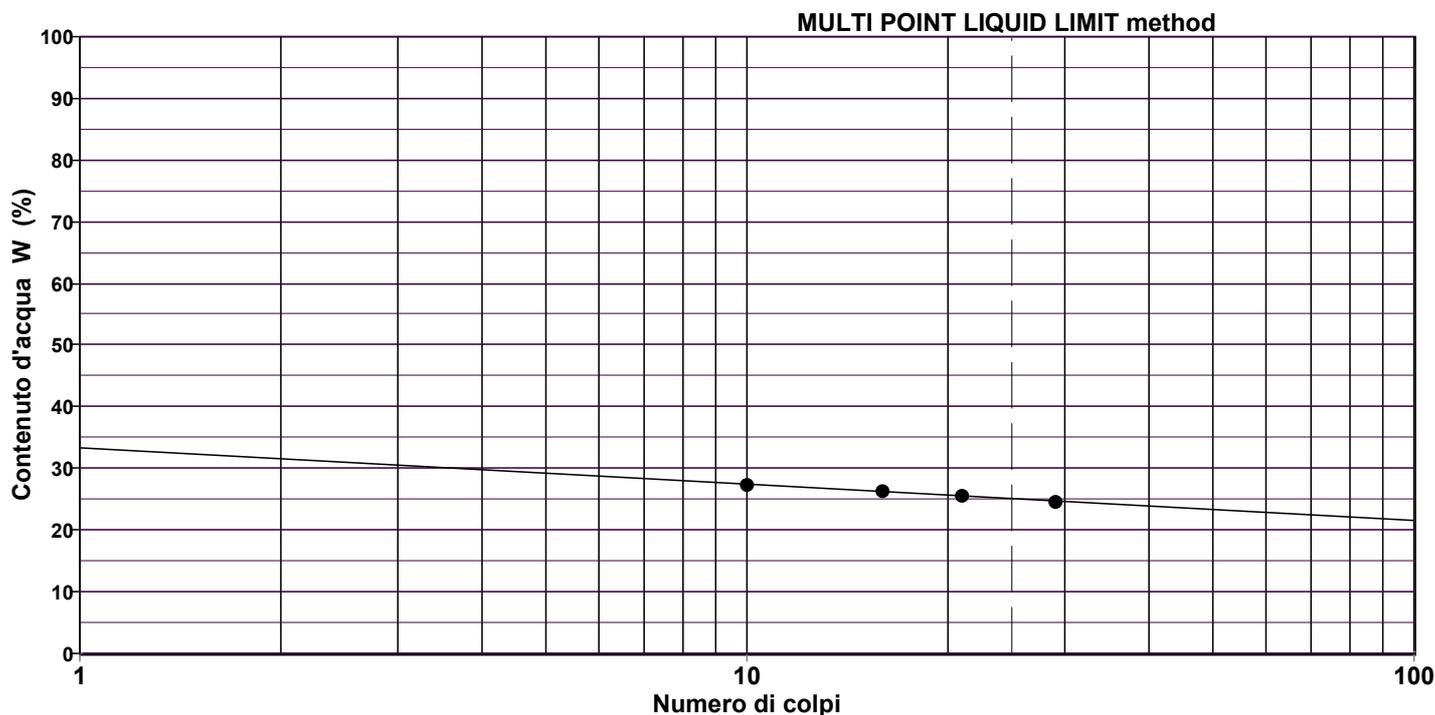
Profondità [m] 13,50-13,75

LIMITI DI ATTERBERG ASTM D 4318/84

Descrizione del terreno **Limo argilloso sabbioso debolmente ghiaioso.**

LIMITE LIQUIDO prova n.	1	2	3	4	5
Numero di colpi	29	21	16	10	
Contenuto d'acqua (%)	24,6 %	25,6 %	26,3 %	27,4 %	

LIMITE PLASTICO prova n.	1	2
Contenuto d'acqua (%)	19,3 %	19,2 %



LIMITE LIQUIDO LL = 25,1 %

LIMITE PLASTICO LP = 19,3 %

INDICE PLASTICO IP = 5,8 %

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/4	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29541 / GR	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	23/02/2010		
		Data apertura	22/02/2010	Data fine prova	26/02/2010	Pag.	1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CR1**Profondità [m] **13,50-13,75****ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D422/63 - Class. AGI 1977**Descrizione del terreno **Limo argilloso sabbioso debolmente ghiaioso.**

CIOTTOLI	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	5,0	21,4	52,0	21,6

Analisi per setacciatura**Analisi per sedimentazione**

Massa mater. g 400,0	VAGLI	APERTURA SETACC. mm	PERC. CUMUL PASSANTE	PERC. CUMUL TRATTENUTO	DIMENSIONE GRANULI mm	PERC. CUMUL PASSANTE	PERC. CUMUL TRATTENUTO
0,0	3,0 inch	76,2000	100,00	0,00	0,0552	72,15	27,85
0,0	2.5 inch	63,5000	100,00	0,00	0,0407	62,54	37,46
0,0	1.5 inch	38,1000	100,00	0,00	0,0297	54,86	45,14
0,0	1.0 inch	25,4000	100,00	0,00	0,0215	48,13	51,87
0,0	3/4 inch	19,0500	100,00	0,00	0,0140	41,41	58,59
0,0	1/2 inch	12,7000	100,00	0,00	0,0116	37,56	62,44
1,9	3/8 inch	9,5100	99,51	0,49	0,0083	33,72	66,28
9,5	4 mesh	4,7600	97,13	2,87	0,0059	29,88	70,12
8,7	10 mesh	2,0000	94,96	5,04	0,0042	26,04	73,96
6,0	16 mesh	1,0000	93,46	6,54	0,0030	24,11	75,89
5,0	40 mesh	0,4200	92,20	7,80	0,0021	22,19	77,81
2,1	60 mesh	0,2500	91,68	8,32	0,0013	18,35	81,65
12,9	100 mesh	0,1490	88,46	11,54			
43,3	200 mesh	0,0740	77,64	22,36			

NOTE**Lo sperimentatore**
(Dott. Alessandro Miraldi)**Il Direttore del Laboratorio**
(Dott. Pasquale Manara)



N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/4	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29542 / CLU	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	23/02/2010		
		Data apertura	22/02/2010	Data fine prova	26/02/2010	Pag.	1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra** COMMESSA **028 / 2010**
 CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**
 Sondaggio **S1** Campione **CR1** Profondità [m] **13,50-13,75**

CLASSIFICAZIONE TERRENO

U.S.C.S. - Unified Soil Classification System

ASTM D 2487/93

Percentuale passante

Setaccio 76,2 mm	100	%
Setaccio 4,76 mm	97	%
Setaccio 0,074 mm	78	%

Coefficiente di uniformità **CU**
 Coefficiente di concavità **CC**

Limite Liquido **LL 25,1** %
 Indice di Plasticità **IP 5,8** %

Simbolo di gruppo

CL-ML

Nome del gruppo

Argilla limosa con sabbia

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCETT./CAMP.	1024/5	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29543 / AP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova			

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CI1**Profondità [m] **15,00-15,30**FUSTELLA **INOX**DIAMETRO INT.: cm **8,4**LUNGHEZZA: cm **60****APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)****PROGRAMMA PROVE**

APERTURA CAMPIONE INDISTURBATO
 CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)
 PESO DI VOLUME
 LIMITI DI ATTERBERG

DESCRIZIONE VISUALE

Limo argilloso sabbioso di colore grigio molto scuro (5Y 4/1 - 3/1). Presenti piccoli frammenti conchigliari marini. Omogeneo, duro, umido, poco plastico. Reagente all'HCl.

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm ²]	TOR VANE [kg/cm ²]	[cm]	PROVINI
Limo argilloso sabbioso di colore grigio molto scuro. Presenti piccoli frammenti conchigliari marini. Omogeneo, duro, umido, poco plastico.	0			0	
	10			10	
	20			20	
	30			30	
	40			40	
	50			50	
	60			60	
	70			70	
	80			80	
	90			90	
	100			100	

QUALITA' DEL CAMPIONE Q5**NOTE**

Lo sperimentatore
 (Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
 (Dott. Pasquale Manara)



GEOSTUDI srl

Laboratorio geotecnico - Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 246/93, Art. 8 - Circolare n. 349/99

Concessione N. 52497 - SETTORE A (prove di laboratorio sui terreni) e SETTORE C (prove in sito)

Commessa : 28_10
Cantiere : SS 223 GROSSETO - SIENA RILUOGO
Committente : SONGEO



SONDAGGIO: S1
CAMPIONE: CI1
PROFONDITA' (m): 15,00 - 15,30



N.VERB.ACCETT./CAMP.	1024/5	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29544 / ACQ	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	24/02/2010		
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova	25/02/2010	Pag.	1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CI1**Profondità [m] **15,00-15,30**

CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92) ASTM D 2216/92

Descrizione del terreno **Limo argilloso sabbioso.**

Contenuto naturale d'acqua

prova n.	1	2			
Massa lorda campione umido [g]	174,78	92,68			
Massa lorda campione secco [g]	159,64	85,26			
Massa recipiente (tara) [g]	53,37	33,04			
Massa netta secca [g]	106,27	52,22			
Massa acqua [g]	15,14	7,42			
Contenuto d'acqua (%)	14,2 %	14,2 %			
Contenuto d'acqua medio (%)	14,2 %				

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)



N.VERB.ACCETT./CAMP.	1024/5	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29545 / PV	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	24/02/2010		
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova	24/02/2010	Pag.	1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CI1**Profondità [m] **15,00-15,30**

PESO DI VOLUME

BS 1377/75 test 15

Descrizione del terreno **Limo argilloso sabbioso.**

Peso di volume

prova n.		1	2			
<i>Contenuto naturale d'acqua</i>	(%)	14,2 %	14,2 %			
Diametro / lato del provino	[cm]	8,53	8,53			
Altezza del provino	[cm]	16,2	16,2			
Massa lorda campione	[g]	2011,00				
Codice recipiente		F10245				
Massa recipiente (tara)	[g]	0,00				
Massa netta campione	[g]	2011,00				
<i>Peso di volume umido</i>	[kN/m ³]	21,30				
<i>Peso di volume del secco</i>	[kN/m ³]	18,65				
<i>Contenuto d'acqua medio</i>	(%)	14,2 %				
<i>Peso di volume umido medio</i>	[kN/m ³]	21,30				
<i>Peso di volume del secco medio</i>	[kN/m ³]	18,65				

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)



N.VERB.ACCETT./CAMP.	1024/5	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29546 / IP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	26/02/2010		
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova	27/02/2010	Pag.	1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**
 CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**
 Sondaggio **S1**

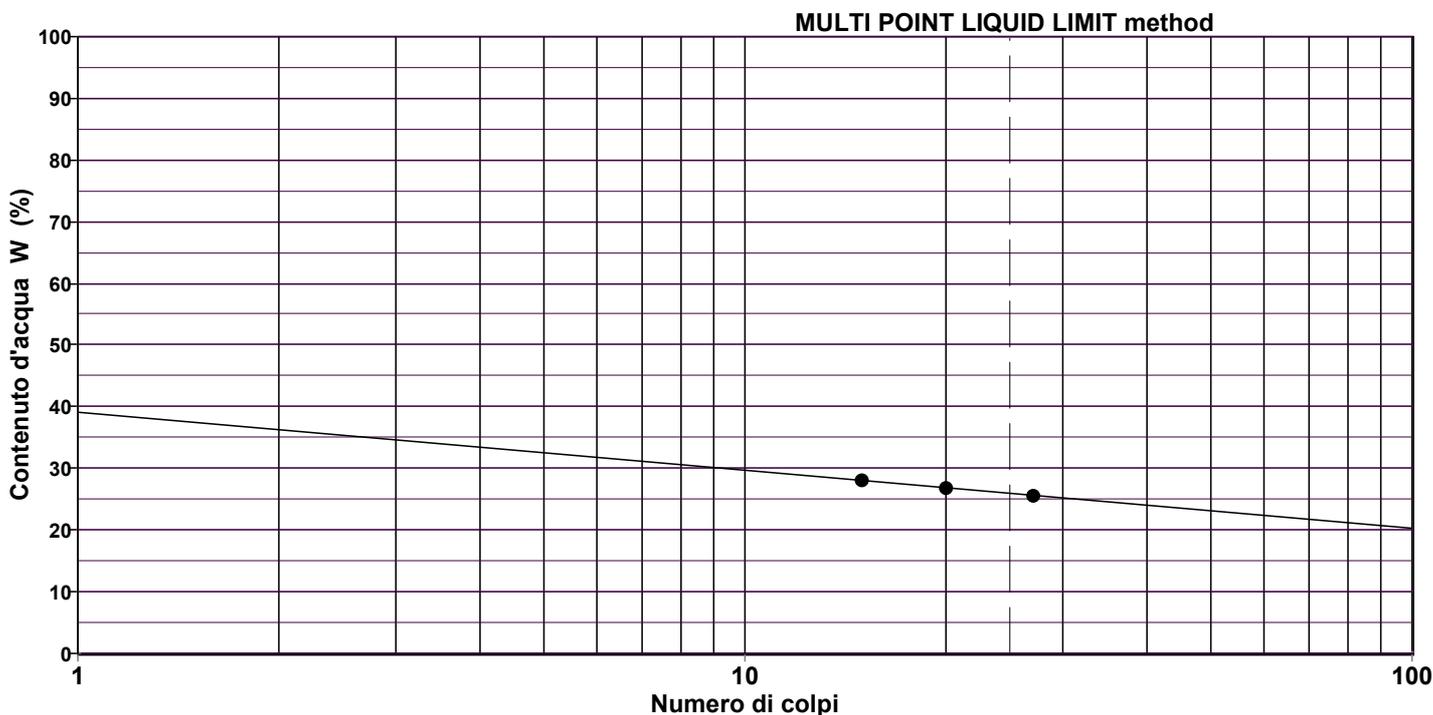
COMMESSA **028 / 2010**
 Campione **CI1**
 Profondità [m] **15,00-15,30**

LIMITI DI ATTERBERG ASTM D 4318/84

Descrizione del terreno **Limo argilloso sabbioso.**

LIMITE LIQUIDO prova n.	1	2	3	4	5
Numero di colpi	27	20	15		
Contenuto d'acqua (%)	25,5 %	26,9 %	28,0 %		

LIMITE PLASTICO prova n.	1	2
Contenuto d'acqua (%)	18,2 %	18,2 %



LIMITE LIQUIDO LL = 25,9 %
LIMITE PLASTICO LP = 18,2 %
INDICE PLASTICO IP = 7,7 %

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/6	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29547 / AP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova			

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra** COMMESSA **028 / 2010**
 CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**
 Sondaggio **S1** Campione **CI2** Profondità [m] **18,00-18,50**

FUSTELLA **INOX** DIAMETRO INT.: cm **8,4** LUNGHEZZA: cm **60**

APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)

PROGRAMMA PROVE

APERTURA CAMPIONE INDISTURBATO
 CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)
 PESO DI VOLUME
 LIMITI DI ATTERBERG
 COMPRESSIONE CNC

DESCRIZIONE VISUALE

Limo argilloso sabbioso di colore grigio scuro (5Y 4/1), con sparsi frammenti conchigliari e puntinature nerastre per la presenza di sostanza organica. Omogeneo, duro, umdo, poco plastico. Reagente all'HCl.

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm ²]	TOR VANE [kg/cm ²]	[cm]	PROVINI
Limo argilloso sabbioso di colore grigio scuro, con sparsi frammenti conchigliari e puntinature nerastre per la presenza di sostanza organica. Omogeneo, duro, umdo, poco plastico.	0			0	
	10			10	ELL1
	20	20	>6	20	ELL2
	30			30	
	40			40	
	50			50	
	60			60	
	70			70	
	80			80	
	90			90	
	100			100	

QUALITA' DEL CAMPIONE **Q5**

NOTE

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)



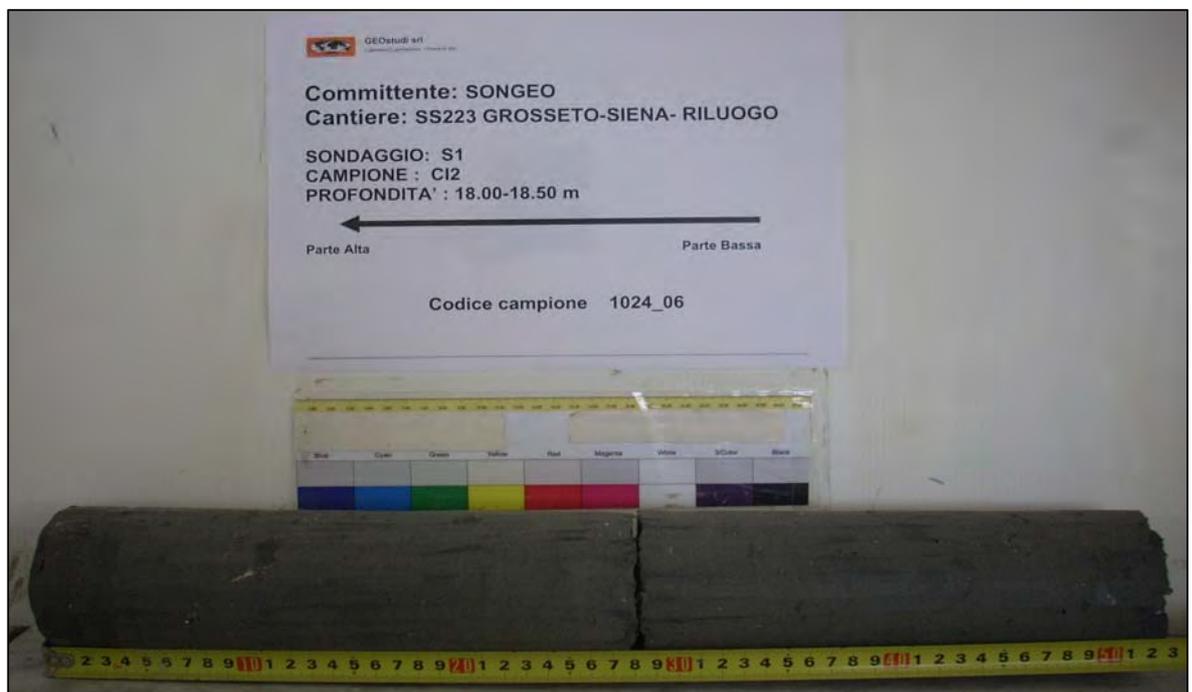
GEOSTUDI srl

Laboratorio geotecnico - Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 246/93, Art. 8 - Circolare n. 349/99

Concessione N. 52497 - SETTORE A (prove di laboratorio sui terreni) e SETTORE C (prove in sito)

Commessa : 28_10
Cantiere : SS 223 GROSSETO - SIENA RILUOGO
Committente : SONGEO



SONDAGGIO: S1
CAMPIONE: C12
PROFONDITA' (m): 18,00 - 18,50



Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/6	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29548 / FV	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova			

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CI2**Profondità [m] **18,00-18,50**

CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE

PESO SPECIFICO DEI GRANI (ASTM D 854-92)

Massa picn.+acqua+terr.secco [g]		
Temperatura [°C]		
Massa picnometro + acqua [g]		
Massa terreno secco [g]		
Peso specifico dei grani		
Peso specifico dei grani medio		

PROVA EFFETTUATA	ELL1	ELL2												
-------------------------	------	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)

GRANDEZZE INIZIALI

Massa conten.+terr.umido [g]	145,99	171,15												
Massa conten.+terr.secco [g]	134,22	155,66												
Massa contenitore [g]	49,82	50,05												
Contenuto d'acqua (%)	13,9	14,7												

PESO DI VOLUME UMIDO (BS 1377(90) PART 2)

Lato / diametro provino [mm]	D 85,00	D 85,30												
Altezza provino [mm]	167,00	161,20												
Massa fustella + provino [g]	2079,00	2048,00												
Massa fustella [g]														
Peso di volume umido [kN/m³]	21,51	21,80												

CARATTERISTICHE DERIVATE

Peso di volume del secco [kN/m³]	18,88	19,01												
Indice dei vuoti														
Porosità (%)														
Grado di saturazione														

CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)

GRANDEZZE FINALI

Massa conten.+terr.umido [g]														
Massa conten.+terr.secco [g]														
Massa contenitore [g]														
Contenuto d'acqua (%)														

PESO DI VOLUME UMIDO (BS 1377(90) PART 2)

Altezza provino [mm]														
Massa fustella + provino [g]														
Massa fustella [g]														
Peso di volume umido [kN/m³]														

CARATTERISTICHE DERIVATE

Peso di volume del secco [kN/m³]														
Indice dei vuoti														
Porosità (%)														
Grado di saturazione														

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)**Il Direttore del Laboratorio**
(Dott. Pasquale Manara)



N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/6	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29549 / IP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	27/02/2010		
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova	28/02/2010	Pag.	1/1

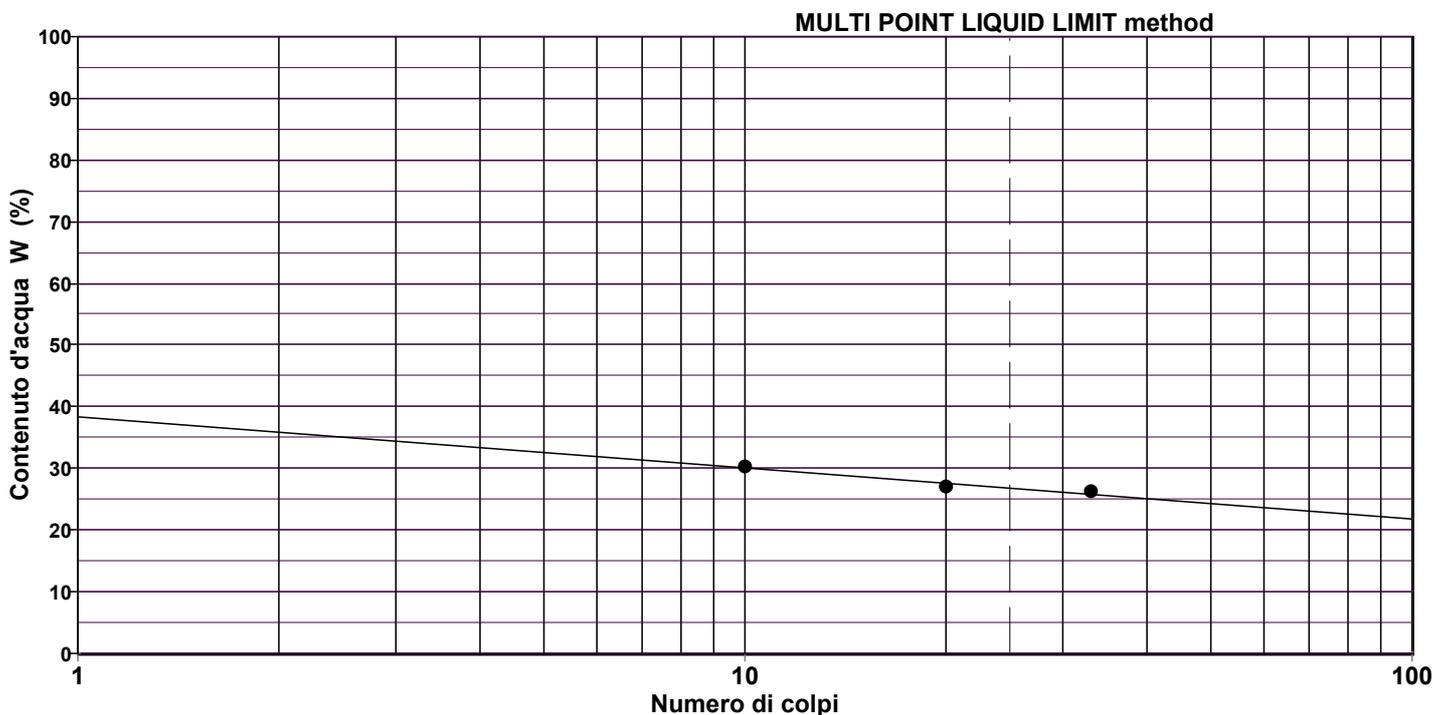
COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra** COMMESSA **028 / 2010**
 CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**
 Sondaggio **S1** Campione **CI2** Profondità [m] **18,00-18,50**

LIMITI DI ATTERBERG ASTM D 4318/84

Descrizione del terreno **Limo argilloso sabbioso.**

LIMITE LIQUIDO prova n.	1	2	3	4	5
Numero di colpi	33	20	10		
Contenuto d'acqua (%)	26,2 %	27,1 %	30,4 %		

LIMITE PLASTICO prova n.	1	2
Contenuto d'acqua (%)	18,2 %	18,4 %



LIMITE LIQUIDO LL = 26,9 %
LIMITE PLASTICO LP = 18,3 %
INDICE PLASTICO IP = 8,6 %

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

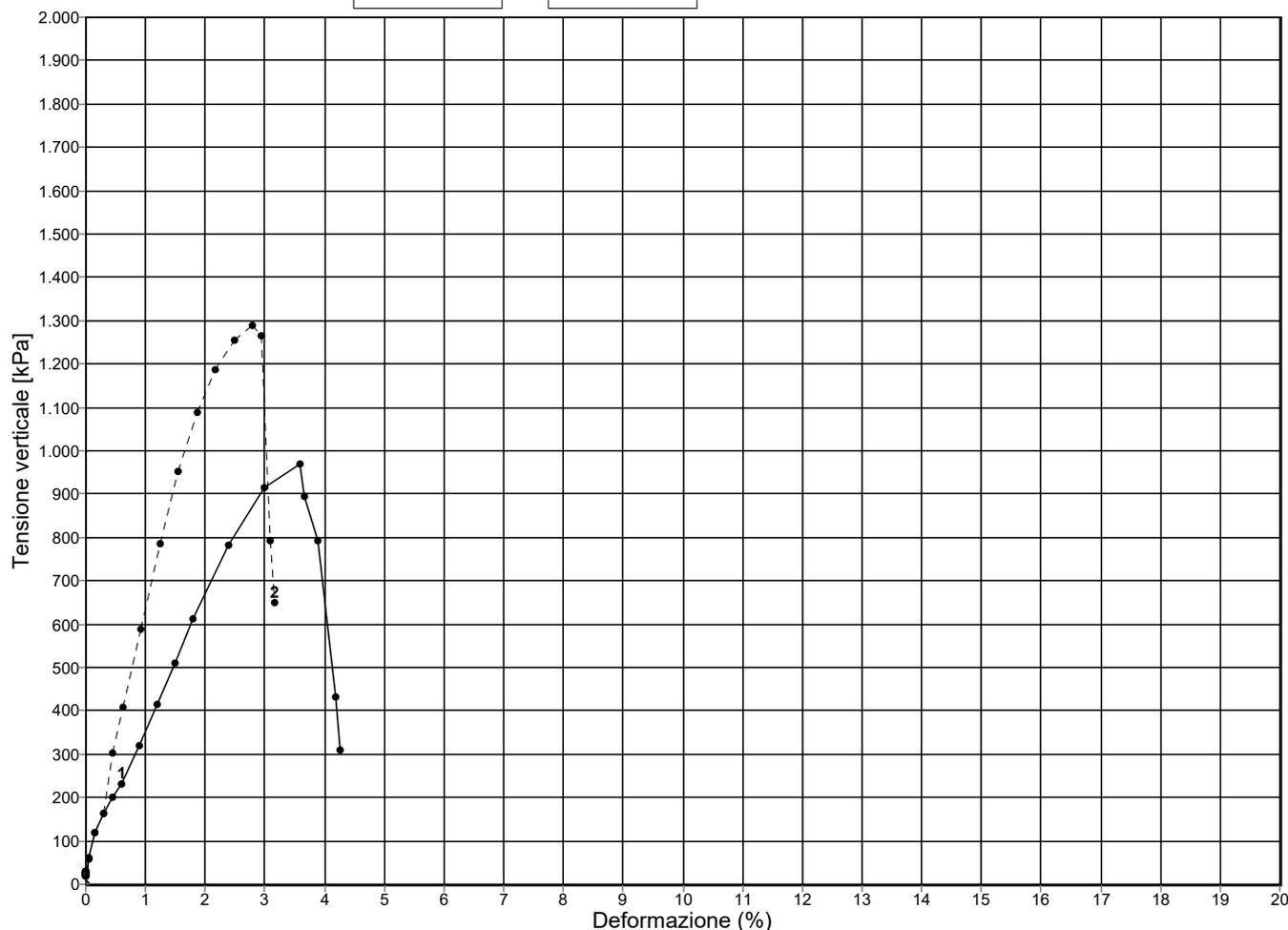
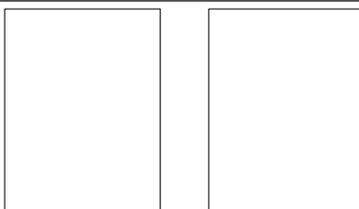
Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/6	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29550 / ELL	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	24/02/2010		
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova	25/02/2010	Pag.	1/2

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CI2**Profondità [m] **18,00-18,50****PROVA DI COMPRESIONE NON CONFINATA
ASTM D 2166/91**

PROVINO N.	1	2
Diametro [mm]	85,0	85,3
Altezza [mm]	167,0	161,2
Contenuto d'acqua (%)	14,0	14,7
Peso di volume	21,51	21,80

Velocità di deformazione [mm/min] **1,3** **1,3****NOTE****Lo sperimentatore**
(Dott. Alessandro Miraldi)**Il Direttore del Laboratorio**
(Dott. Pasquale Manara)



Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93

Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCETT./CAMP.	1024/6	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29550 / ELL	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	24/02/2010		
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova	25/02/2010	Pag.	2/2

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CI2**Profondità [m] **18,00-18,50**

PROVA DI COMPRESSIONE NON CONFINATA
ASTM D 2166/91

Provino n.1		Provino n.2		Provino n.3		Provino n.4		Provino n.5	
Deform.(%)5ens.vert[kPa]		Deform.(%)5ens.vert[kPa]		Deform.(%)5ens.vert[kPa]		Deform.(%)5ens.vert[kPa]		Deform.(%)5ens.vert[kPa]	
0,05	59,93	0,06	59,51						
0,14	119,77	0,15	118,92						
0,29	164,43	0,31	163,26						
0,44	201,50	0,46	303,79						
0,89	319,47	0,62	406,89						
1,19	414,80	0,93	589,99						
1,49	509,54	1,24	786,65						
1,79	611,06	1,55	952,74						
2,39	782,95	1,86	1088,55						
2,99	916,33	2,17	1187,06						
3,59	968,49	2,48	1255,89						
3,65	895,66	2,79	1288,08						
3,89	792,56	2,94	1264,35						
4,19	430,96	3,1	793,46						
4,25	308,66	3,16	648,78						
0,59	231,01								

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1024/7	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29551 / AP	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova			

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra** COMMESSA **028 / 2010**
 CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**
 Sondaggio **S1** Campione **CI3** Profondità [m] **26,00-26,30**

FUSTELLA **INOX** DIAMETRO INT.: cm **8,4** LUNGHEZZA: cm **60**

APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)

PROGRAMMA PROVE

APERTURA CAMPIONE INDISTURBATO
 CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)
 PESO DI VOLUME
 LIMITI DI ATTERBERG

DESCRIZIONE VISUALE

Argilla con limo di colore grigio scuro (5Y 4/1). Omogenea, poco umida, plastica, dura. Reagente all'HCl.

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm ²]	TOR VANE [kg/cm ²]	[cm]	PROVINI
Argilla con limo di colore grigio scuro. Omogenea, poco umida, plastica, dura.	0	0		0	
	10	10	>6	10	
	20	20		20	
	30	30		30	
	40	40		40	
	50	50		50	
	60	60		60	
	70	70		70	
	80	80		80	
	90	90		90	
	100	100		100	

QUALITA' DEL CAMPIONE **Q5**

NOTE

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)



GEOSTUDI srl

Laboratorio geotecnico - Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 246/93, Art. 8 - Circolare n. 349/99

Concessione N. 52497 - SETTORE A (prove di laboratorio sui terreni) e SETTORE C (prove in sito)

Commessa : 28_10
Cantiere : SS 223 GROSSETO - SIENA RILUOGO
Committente : SONGEO



SONDAGGIO: S1
CAMPIONE: CI3
PROFONDITA' (m): 26,00 - 26,30



N.VERB.ACCETT./CAMP.	1024/7	Data ricevimento	22/02/2010	CERTIFICATO N.	29552 / ACQ	Data	08/03/2010
		Data prelievo		Data inizio prova	24/02/2010		
		Data apertura	24/02/2010	Data fine prova	25/02/2010	Pag.	1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CI3**Profondità [m] **26,00-26,30**

CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92) ASTM D 2216/92

Descrizione del terreno **Argilla con limo.**

Contenuto naturale d'acqua

prova n.	1	2			
Massa lorda campione umido [g]	159,39	126,67			
Massa lorda campione secco [g]	145,21	116,09			
Massa recipiente (tara) [g]	51,81	46,71			
Massa netta secca [g]	93,40	69,38			
Massa acqua [g]	14,18	10,58			
Contenuto d'acqua (%)	15,2 %	15,2 %			
Contenuto d'acqua medio (%)	15,2 %				

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)



N.VERB.ACCELT./CAMP. 1024/7	Data ricevimento 22/02/2010	CERTIFICATO N. 29553 / PV	Data 08/03/2010
	Data prelievo	Data inizio prova 24/02/2010	
	Data apertura 24/02/2010	Data fine prova 25/02/2010	Pag. 1/1

COMMITTENTE **Songeo Studio Speri Sering Integra**COMMESSA **028 / 2010**CANTIERE **SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo**Sondaggio **S1**Campione **CI3**Profondità [m] **26,00-26,30**

PESO DI VOLUME

BS 1377/75 test 15

Descrizione del terreno **Argilla con limo.****Peso di volume**

prova n.	1	2			
<i>Contenuto naturale d'acqua</i> (%)	15,2 %	15,2 %			
Diametro / lato del provino [cm]	8,58	8,58			
Altezza del provino [cm]	13,56	13,56			
Massa lorda campione [g]	1677,50				
Codice recipiente	F10247				
Massa recipiente (tara) [g]	0,00				
Massa netta campione [g]	1677,50				
<i>Peso di volume umido</i> [kN/m ³]	20,98				
<i>Peso di volume del secco</i> [kN/m ³]	18,22				
<i>Contenuto d'acqua medio</i> (%)	15,2 %				
<i>Peso di volume umido medio</i> [kN/m ³]	20,98				
<i>Peso di volume del secco medio</i> [kN/m ³]	18,21				

Lo sperimentatore
(Dott. **Alessandro Miraldi**)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. **Pasquale Manara**)

Concessione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 8 del DPR n°246/93
Prove di laboratorio sui terreni (settore A) - Prove in sito (settore C)

N.VERB.ACCELT./CAMP. 1024/7	Data ricevimento 22/02/2010	CERTIFICATO N. 29554 / IP	Data 08/03/2010
	Data prelievo	Data inizio prova 27/02/2010	
	Data apertura 24/02/2010	Data fine prova 28/02/2010	Pag. 1/1

COMMITTENTE Songeo Studio Speri Sering Integra

COMMESSA 028 / 2010

CANTIERE SS 223 Grosseto- Siena - Riluogo

Sondaggio S1

Campione CI3

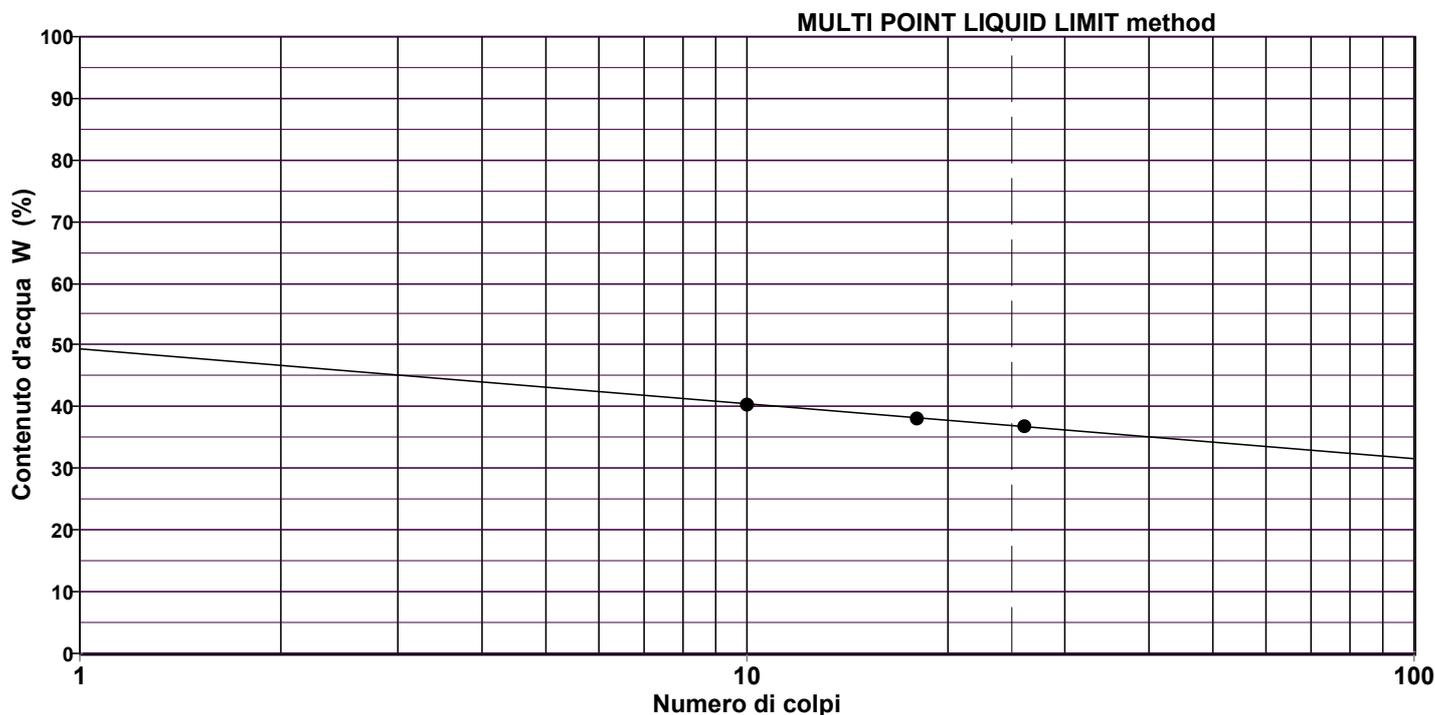
Profondità [m] 26,00-26,30

LIMITI DI ATTERBERG ASTM D 4318/84

Descrizione del terreno **Argilla con limo.**

LIMITE LIQUIDO prova n.	1	2	3	4	5
Numero di colpi	26	18	10		
Contenuto d'acqua (%)	36,8 %	38,2 %	40,5 %		

LIMITE PLASTICO prova n.	1	2
Contenuto d'acqua (%)	21,6 %	21,6 %



LIMITE LIQUIDO LL = 36,9 %

LIMITE PLASTICO LP = 21,6 %

INDICE PLASTICO IP = 15,3 %

Lo sperimentatore
(Dott. Alessandro Miraldi)

Il Direttore del Laboratorio
(Dott. Pasquale Manara)

CANTIERE : Scuola Bucciano

Quota s.l.m. mt. : 237.7

LOCALITA' : Bucciano

Data :

PROFONDITA' LIVELLI MT.	STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	LIVELLI ACQUIFERI	CAMPIONI		PROVE IN SITU		
				INDISTURBATI	DISTURBATI	P P	SPT	Prof.
						Kg/cm ²		
1.50		Terreno di "riporto" con tracce di laterizi ed altri materiali di origine antropica						
5.60		Terreno rimaneggiato o "smosso"	4.90				7/9/9	mt. 3.00
				4.20			5/3/3	mt. 4.7
10.70		Limo argilloso grigio cenere		6.70			27/39/45	mt. 7.20
	Fondo Foro							

L'esecuzione delle analisi di laboratorio sul campione C1 hanno evidenziato i seguenti parametri :

peso di volume	$\gamma = 1.9 \text{ g/cm}^3$
angolo di attrito interno	$\phi = 11^\circ$
coesione	$C' = 2.1 \text{ KPa}$

Ben diverse le caratteristiche del terreno che il sondaggio ha mostrato a partire da mt. 5.60 dal p.c. e fino a mt. 10.70 termine del foro.

Il passaggio dallo scadente terreno superiore è risultato piuttosto repentino e, anche dal punto di vista cromatico si è passati dal color ocra del terreno superiore al grigio cenere dello strato inferiore.

Già la prova S.P.T. eseguita "in situ" ha fornito valori di N_{spt} sensibilmente superiori rispetto alla strato ocra superiore.

Infatti la prova penetrometrica eseguita alla profondità di mt. 7.20 dal p.c. è stata in grado di fornire valori di 27/39/45 colpi per addirittura un $N_{spt} = 84$.

Le analisi di laboratorio non hanno potuto che confermare la notevole differenza qualitativa tra questi due terreni. Evidenziando infatti una più alta frazione argillosa, con un basso angolo di attrito interno (nelle argille si può considerare anche un valore dell'angolo pari a zero), il valore della coesione giunge ad essere addirittura pari a quasi cinque volte quella del terreno superiore.

Schematicamente i valori delle analisi di laboratorio sul campione C2 hanno evidenziato i seguenti parametri :

peso di volume	$\gamma = 2.1 \text{ g/cm}^3$
angolo di attrito interno	$\phi = 4^\circ$
coesione	$C' = 90.96 \text{ Kpa}$

Il sondaggio è stato dotato di un piezometro in P.V.C. a tubo aperto. Come era logico attendersi, esistendo una certa differenza di permeabilità tra lo strato superiore e quello argilloso inferiore, al punto di contatto (come detto piuttosto netto) avviene un accumulo di una certa quantità d'acqua meteorica.

Committenza SIG.RA GABRIELA ROTI

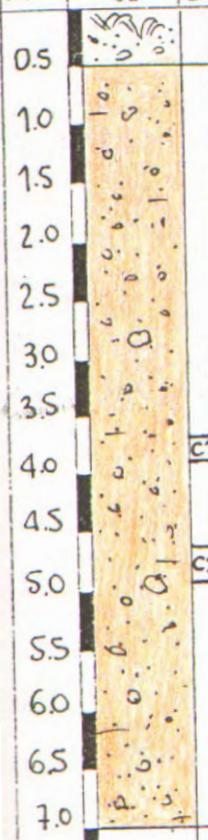
Località STRADA DI RENACCIO

SONDAGGIO N° 2

Quota m

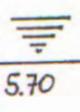
Descrizione litologica

Livelli
acquiferi



TERRENO AGRARIO

SABBIA LIMOSA DI COLORE ARANCIO-MARRONE CON CIOTTOLI ETEROGENEI ED ETEROMETRICI. I CIOTTOLI SONO COSTITUITI IN PREVALENZA DA CALCARI DI COLORE GRIGIO SCURO ED ARENITI CALCAREE FINI.



FONDO FORO

Committenza SIG.RA GABRIELLA ROTI

Località STRADA DI RENACCIO

SONDAGGIO N° 1

Quota m

Descrizione litologica

Livelli
acquiferi

Profondità
(metri)

Stratigrafia

Campioni

0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
TERRENO AGRARIO													
SABBIA LIMOSO ARGILLOSA DI COLORE BRANCIO-MARRONE CON CIOTTOLI ETEROGENEI ED ETEROMETRICI. I CIOTTOLI SONO COSTITUITI IN PREVALENZA DA CALCARI DI COLORE GRIGIO SCURO ED ARENITI CALCAREE FINI.													
C1													
C2													
ARGILLA DEBOLMENTE LIMOSA GRIGIA COMPATTA CON RARI RESTI DI FOSSILI.													
C3													
FONDO FORO													

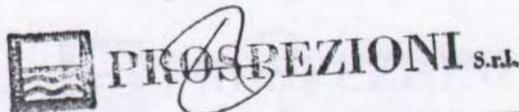
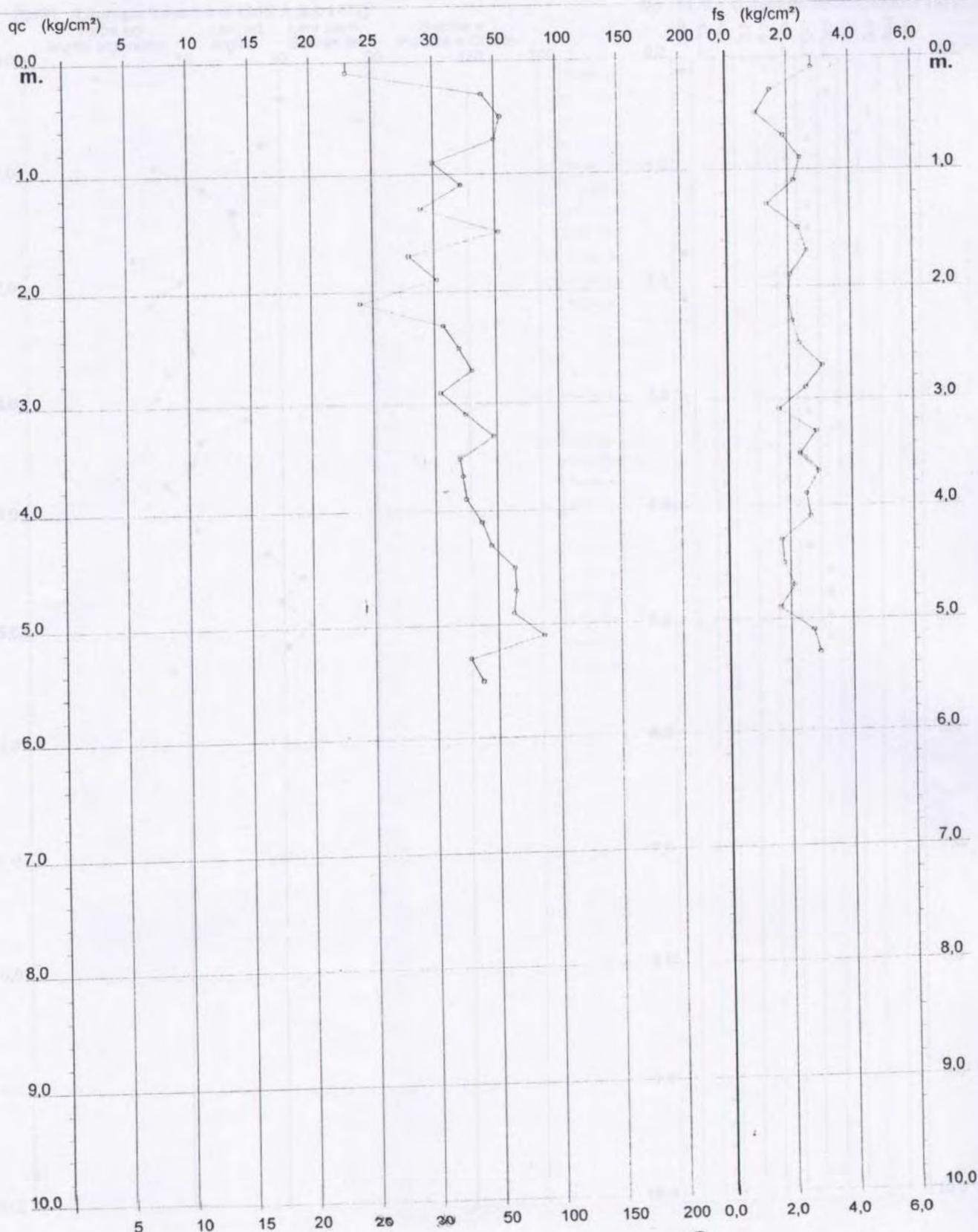
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

CPT P1

2.01PG05-091

- committente : Georicerche Studio Associato
- lavoro : Realizzazione nuova viabilità Cerchiaia-Tufi
- località : Cerchiaia-Tufi, Siena

- data : 01/07/2003
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



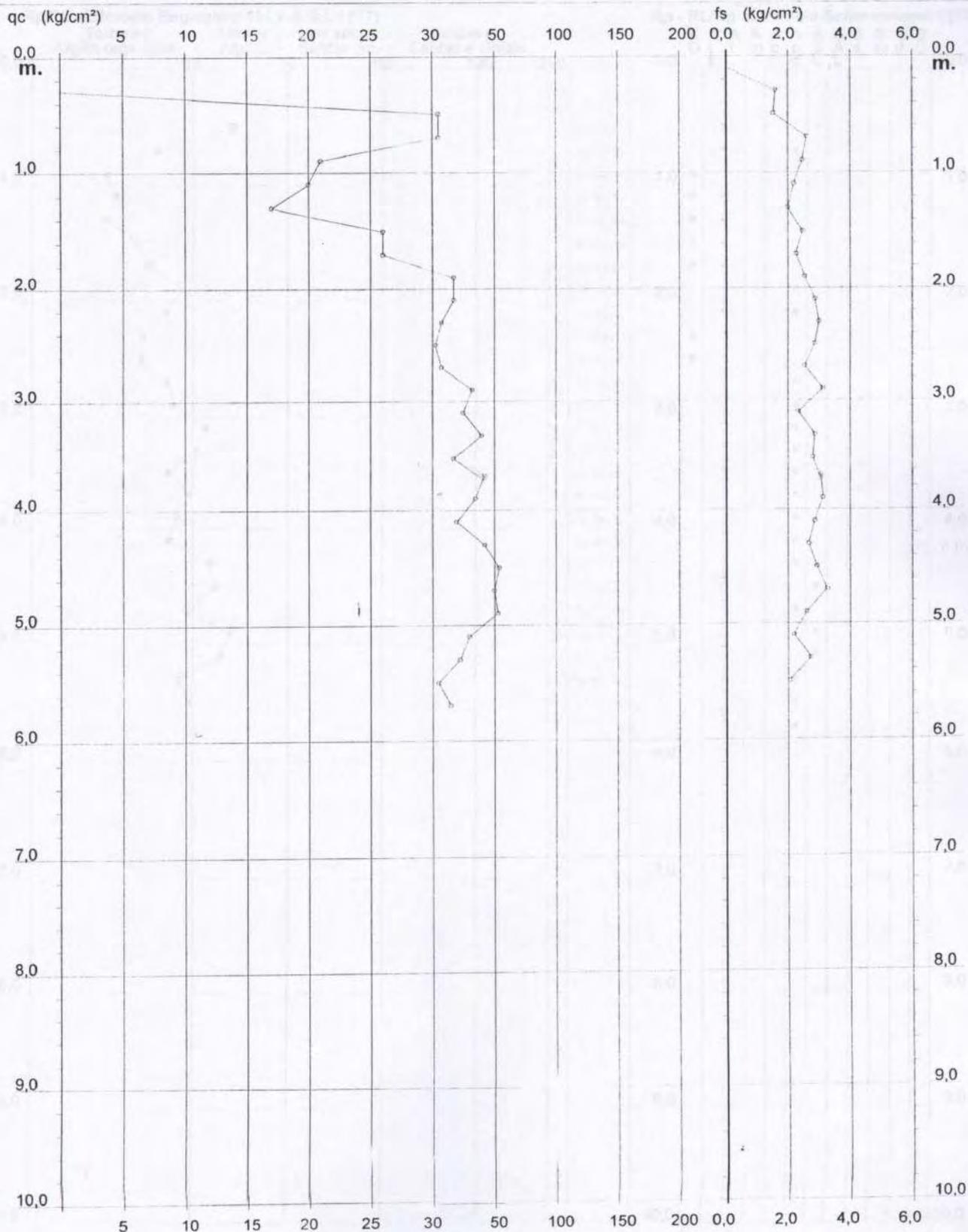
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT P3

2.01PG05-091

- committente : Georicerche Studio Associato
- lavoro : Realizzazione nuova viabilità Cerchiaia-Tufi
- località : Cerchiaia - Tufi, Siena

- data : 20/06/2003
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Committente... : Comune di Siena Cantiere..... : Nuova Viabilità zona Tufi-Cerchiaia Indagine : Indagine Geognostica	Sondaggio : N°3 Quota..... : 213.70 Data..... : 04/07/2003 Responsabile... : Dott. Geol. Luca Caselli Operatore..... : Dott. Geol. Roberto Cerri
--	--

Scala	Litologia	Descrizione	Spessore	% di Carotaggio	S.P.T.	P.T.	V.T.	Campioni	Diam. Foro	Metodo di Perforaz.	Metodo di Stabilizz.	Liv. di Falda	Piezometro
		suolo	-0.60	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10									
-1		Limo ocre con rare calcinelle				>2	>2						
-2			-3.20			>2	>2	-2.00 R -2.30					
-3						>2	>2						
-4		argilla sovraconsolidata grigioverde	-1.20			>2	>2	-3.85 S -4.35					
-5						>2	>2		-5.00	-5.00			
									(101 mm)	(CS)			
-6													
-7													
-8													
-9													
-10													

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



I risultati sono riportati su diagrammi dove la R_p , la R_I ed il rapporto R_p/R_I (in funzione di R_p secondo la descrizione del terreno data da SCHMERTMANN 1978) vengono diagrammati in funzione della profondità (Allegati).

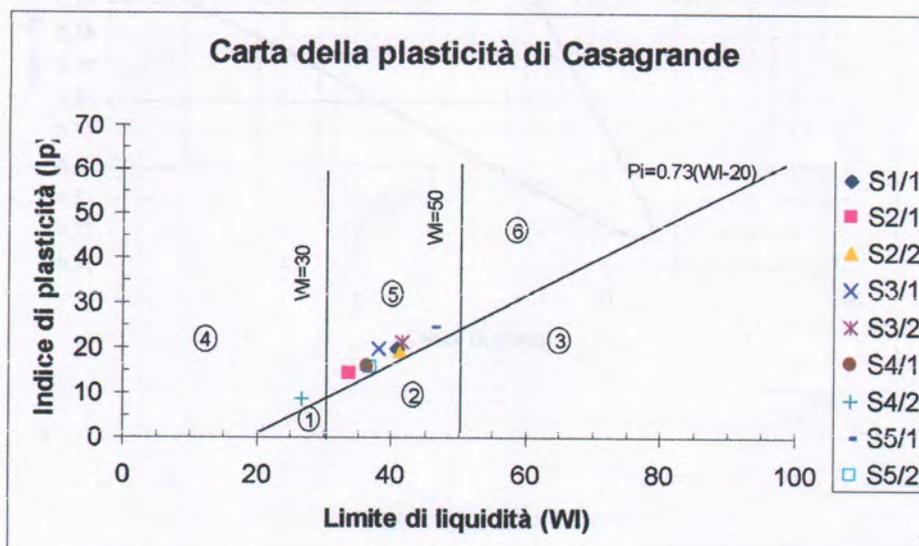
4.3) PROVE DI LABORATORIO

Nei sondaggi sono stati prelevati a varie quote significative campioni indisturbati per la determinazione delle proprietà indici e dei parametri di resistenza al taglio e compressibilità.

Di seguito verranno riportati i parametri più significativi rimandando all'Appendice per una completa visione dei dati:

Sond.	Camp.	Prof. (m)	W (%)	γ (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	c' (KPa)	ϕ' (°)	C_u (KPa)	e_0	C_c	C_v (cm ² /sec)	K (cm/sec)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CNR UNI 10006
S1	A	0.50-3.00	22.88	2.017	1.648	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A7-6
1	1	1.95-2.45	18.36	2.087	1.761	-	-	81.31	0.448	0.152	$7.12 \cdot 10^{-04}$	$6.85 \cdot 10^{-09}$	40.93	21.31	19.62	-
2	1	1.50-2.0	16.16	2.139	1.835	-	-	350.074	-	-	-	-	33.63	19.5	14.13	-
2	2	4.70-5.0	19.01	2.086	1.747	-	-	180.277	-	-	-	-	41.32	22.11	19.21	-
3	1	2.00-2.30	17.67	2.052	1.729	64.232	32.4	-	-	-	-	-	38.21	18.56	19.65	-
3	2	3.85-4.35	20.65	2.142	1.771	-	-	176.142	-	-	-	-	41.71	20.51	21.2	-
4	1	1.50-1.90	17.02	2.057	1.743	78.378	28.9	-	-	-	-	-	36.44	20.63	15.81	-
4	2	4.40-4.70	19.95	2.073	1.713	-	-	34.842	-	-	-	-	26.72	18.18	8.54	-
5	1	2.10-2.40	20.17	2.033	1.67	51.89	34.5	-	-	-	-	-	46.19	21.7	24.49	-
5	2	4.70-5.00	18.54	2.135	1.789	-	-	164.862	-	-	-	-	36.95	21.29	15.65	-

Dai risultati della campagna geognostica e penetrometrica si è constatato la presenza di terreni a comportamento per lo più coesivo, è stata quindi utilizzata la classificazione proposta da Casagrande (1948) basata sui limiti di Atterberg i cui risultati sono riportati nel grafico seguente.



Comune di Siena	Altitudine aggiornata 9,3 m.	Quota Ass. P.C. 280 m. s.l.m.	Certificato n° 5	Fagna
Operatore: TECNA s.n.c.	Indagine Colleg. tra Via Valdambino e risalita Via Peruzzi	Nivel:		Inizio/Fine Escavazione Gennaio 2004
Responsabile Dott. Geol. Benedetta Mocenni	Sondaggio Sg. 5	Tipo Carotaggio Continuo	Tipo Sonda MAT T14	Coordinate X Y X = 1689378; Y = 4799508

Scala (m)	Urtologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Prodotto Test kg/cm²	Verve Test kg/cm²	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Falsa	Altre prove	Altre prove	Piezometro (P) o Inclinatorio (I)
2		Riporto	2.20											
3		Sabbia limosa-argillosa con livelli conglomeratici da centimetrici a decimetrici a tratti saturi	6.60		4-3-5 3.30 PA									
4														
5		Limo argilloso grigio fossilifero con intercalazioni ghiaiose	7.80											
6		Sabbia debolmente limosa con clasti centrimetrici marrone	8.80		36-50-50									
7		Conglomerato	9.30		8.80 PC									
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Ostzberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, RS-Rimaneggiato da SPT
 Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Bitorziti
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: Continuo

Sonda MAT T14

Spesimentatore

Responsabile

Comitente: Comune di Siena	Profondità raggiunta 15 m.	Quota Ass. P.C. 279 m s.l.m	Cerniziale n° 4
Operatore TECNA s.n.c.	Indirizzo Colleg. tra Via Vaidambrino e risalita Via Peruzzi	Note	
Responsabile Dott. Geol. Benedetta Mocenni	Sondaggio Sg. 4	Tipo Carotaggio Continuo	Tipo Sonda MAIT T14
			Coordinate X Y X = 1683370; Y = 4799480

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Pozzi Testi (kg/cmq)	Vane Test (kg/cmq)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Carotag.	Faida	Altre prove	Altre prove	Piezometro (P) o Inclinometro (I)
1		Riperto limo sabbioso debolmente addensato con frammenti di laterizio e pietra da costruzione	3.30												
4		Sabbia limosa a tratti più o meno argillosa marrone rossastra debolmente addensata con presenza di ciasti minuti	7.80		4-6-7 4.20 PA										
10		Limo sabbioso con livelli conglomeratici decimetrici saturo poco addensato	13.00		7-10-11 12.00 PA							8.95			
15		Sabbia sciolte media con ciasti centimetrici sparsi satura giallo ocra	15.00												
15															A 15.00

Campioni: S-Pirelli Sottile, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
 Perforazione: CS-Carotere Semplice, CD-Carotere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, TB-Tanghi Betonici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: Continuo

Sonda: MAIT T14

Sperimentatore Responsabile

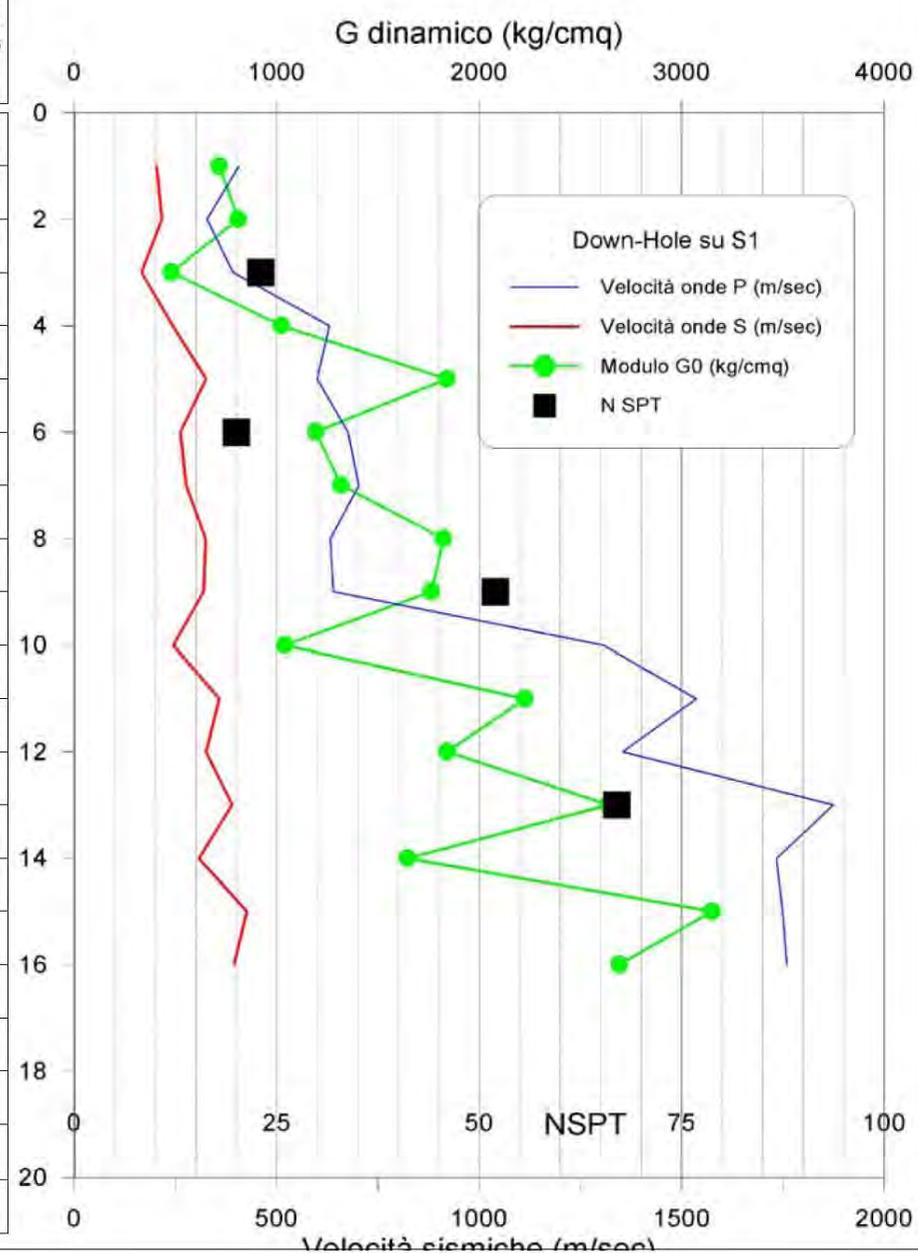
Sondaggio N. 1

Committente Comune di Siena Data 21/03/03
 Località Ruffolo - Sovrapasso pedonale Quota _____

P1140

Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI
 Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI)
 Tel. 0577/679973 - Fax 0577/632342
cf. CNS GRF 55P05 A468E - p.IVA 00357880525
 Con la Collaborazione dello Studio di Geologia Associato
 Moschini & Mosconi - Siena

Spessore strati	Profondità	Litotipo	Stratigrafia	DESCRIZIONE	Carotaggio %	Campioni d. = diametro / l. = lunghezza	Quota falda	SPT	Pocket penetrom. Kg/cm ²
	0,4			Suolo vegetale.	0, 90-100				
	3,5	Ti 2		Terreno di riporto prevalentemente sabbioso con concrezioni biancastre e frustoli vegetali e minuti elementi di laterizi. Da - 3,0 a - 3,5 m dal p.c. livello di breccia con elementi di laterizi (base della massiciata).	100			S.P.T. 1/1 3,00-3,45 6-11-12	
	3,0		ALLUVIONI	Limi sabbiosi di colore giallo ocra con concrezioni biancastre e minuti frammenti carbonatici molto compatti fino a -6,5 m.	100			f.s.	
	6,5	Lsa 7		Limo sabbioso argilloso di colore ocra, plastico molto umido.	100			S.P.T. 1/2 6,00-6,45 6-9-11	1,0 1,5
	7,5			Limi con concrezioni verdastre mediamente consistenti.	100				2,0
	10,0	S		Sabbie fini di colore giallo ocra molto compatte.	100	c.i.1/1 9,0-9,5		S.P.T. 2/1 9,00-9,45 13-23-29	5,0
	11,0		SUBSTRATO	Limo sabbioso grigio azzurro con frammenti fossili rimaneggiati, molto addensato con puntinature biancastre.	100			S.P.T. 3/1 13,00-13,45 22-32-35	
	18,0	LS		fondo foro		c.i.1/2 16,5-17,0			
							tubo per Down Hole		



5.4 – Caratteristiche fisico meccaniche e dinamiche riassuntive dei terreni

Le caratteristiche geotecniche dei terreni desunte dalle prove in situ e dalle prove di laboratorio possono essere così riassunte:

Tr: - *terreno di riporto costituito da sabbia con concrezioni calcaree frustoli vegetali e laterizi e alla base ghiaia e breccia*

peso di volume	γ	= 1,6 gr/cm ³
angolo di attrito (indicativo)	φ	= 15°
coesione (indicativo)	Cu	= 0,2 kg/cm ²
velocità onde di compressione P	Vp	= 350 m/s
velocità onde di taglio SH	Vs	= 180 m/s
modulo di taglio dinamico	G ₀	= 600 kg/cm ²

Dr. Geol. GIANFRANCO CENSINI

Relazione geologica e geotecnica per la realizzazione
di un sovrappasso pedonale in località Ruffolo

NOTA: essendo un terreno molto eterogeneo, i valori sopra riportati sono indicativi e non rappresentativi per tutto il materiale.

Lsa – limo sabbioso argilloso di colore giallo ocra, con puntinature carboniose concrezioni calcaree, elementi millimetrici lapidei sparsi, ed ossidazioni rossatre

peso di volume	γ	= 2,1 gr/cm ³
densità secca	γ_d	= 1,7 gr/cm ³
contenuto nat. acqua	W_N	= 21,9 %
limite di liquidità	WL	= 34,0 %
limite di plasticità	WP	= 22,1 %
Indice di plasticità	I_p	= 11,8 %
indice di consistenza	I_c	= 1,02
angolo di attrito (indicativo)	φ	= 20°
coesione non drenata	C_u	= 0,75 kg/cm ²
indice dei vuoti	e_0	= 0,575
indice di compressione	C_c	= 0,168
velocità onde di compressione P	V_p	= 650 m/s
velocità onde di taglio SH	V_s	= 300 m/s
modulo di taglio dinamico	G_0	= 1200 kg/cm ²

S/LS: sabbie argillose fini giallo ocra mediamente addensate/limo sabbioso di colore grigio azzurro molto addensato con frammenti fossili marini e livelletti di torba

peso di volume	γ	= 2,1 gr/cm ³
densità secca	γ_d	= 1,8 gr/cm ³
contenuto nat. di acqua	W_N	= 19,2 %
limite di liquidità	WL	= 24,6 %
limite di plasticità	WP	= 22,7 %
Indice di plasticità	I_p	= 1,8 %
indice di consistenza	I_c	= 2,89
densità relativa	D_r	= 80 %
angolo di attrito di picco	φ_p'	= 38°
angolo di attrito ridotto	φ_r'	= 32°
coesione non drenata	C_u	= 0,61 kg/cm ²
velocità onde di compressione P	V_p	= 1700 m/s
velocità onde di taglio SH	V_s	= 400 m/s
modulo di taglio dinamico	G_0	= 2200 kg/cm ²

Ao/Ag: argilla oca di passaggio, consistente/argilla grigia consistente.

peso di volume	γ	= 2,2 gr/cm ³
densità secca	γ_d	= 1,8 gr/cm ³
contenuto nat. di acqua	W_N	= 17,9 %
limite di liquidità	WL	= 35,9 %
limite di plasticità	WP	= 19,5 %
Indice di plasticità	Ip	= 16,3 %
indice di consistenza	lc	= 1,1
angolo di attrito indicativo	φ_r'	= 20°
coesione non drenata	Cu	= 4,1 kg/cm ²

LA: limi argillosi di colore grigio azzurro molto consistenti.

peso di volume	γ	= 2,2 gr/cm ³
densità secca	γ_d	= 1,9 gr/cm ³
contenuto nat. di acqua	W_N	= 15,9 %
limite di liquidità	WL	= 29,2 %
limite di plasticità	WP	= 21,8 %
Indice di plasticità	Ip	= 7,4 %
indice di consistenza	lc	= 1,79
angolo di attrito	φ	= 18°
coesione non drenata	Cu	= 3,6 kg/cm ²

Ao/Ag: argilla oca di passaggio, consistente/argilla grigia consistente.

peso di volume	γ	= 2,2 gr/cm ³
densità secca	γ_d	= 1,8 gr/cm ³
contenuto nat. di acqua	W_N	= 17,9 %
limite di liquidità	WL	= 35,9 %
limite di plasticità	WP	= 19,5 %
Indice di plasticità	Ip	= 16,3 %
indice di consistenza	lc	= 1,1
angolo di attrito indicativo	φ_r'	= 20°
coesione non drenata	Cu	= 4,1 kg/cm ²

LA: limi argillosi di colore grigio azzurro molto consistenti.

peso di volume	γ	= 2,2 gr/cm ³
densità secca	γ_d	= 1,9 gr/cm ³
contenuto nat. di acqua	W_N	= 15,9 %
limite di liquidità	WL	= 29,2 %
limite di plasticità	WP	= 21,8 %
Indice di plasticità	Ip	= 7,4 %
indice di consistenza	lc	= 1,79
angolo di attrito	φ	= 18°
coesione non drenata	Cu	= 3,6 kg/cm ²

NOTA: essendo un terreno molto eterogeneo, i valori sopra riportati sono indicativi e non rappresentativi per tutto il materiale.

Lsa – limo sabbioso argilloso di colore giallo ocra, con puntinature carboniose concrezioni calcaree, elementi millimetrici lapidei sparsi, ed ossidazioni rossatre

peso di volume	γ	= 2,1 gr/cm ³
densità secca	γ_d	= 1,7 gr/cm ³
contenuto nat. acqua	W_N	= 21,9 %
limite di liquidità	WL	= 34,0 %
limite di plasticità	WP	= 22,1 %
Indice di plasticità	I_p	= 11,8 %
indice di consistenza	I_c	= 1,02
angolo di attrito (indicativo)	φ	= 20°
coesione non drenata	C_u	= 0,75 kg/cm ²
indice dei vuoti	e_0	= 0,575
indice di compressione	C_c	= 0,168
velocità onde di compressione P	V_p	= 650 m/s
velocità onde di taglio SH	V_s	= 300 m/s
modulo di taglio dinamico	G_0	= 1200 kg/cm ²

S/LS: sabbie argillose fini giallo ocra mediamente addensate/limo sabbioso di colore grigio azzurro molto addensato con frammenti fossili marini e livelletti di torba

peso di volume	γ	= 2,1 gr/cm ³
densità secca	γ_d	= 1,8 gr/cm ³
contenuto nat. di acqua	W_N	= 19,2 %
limite di liquidità	WL	= 24,6 %
limite di plasticità	WP	= 22,7 %
Indice di plasticità	I_p	= 1,8 %
indice di consistenza	I_c	= 2,89
densità relativa	D_r	= 80 %
angolo di attrito di picco	φ_p'	= 38°
angolo di attrito ridotto	φ_r'	= 32°
coesione non drenata	C_u	= 0,61 kg/cm ²
velocità onde di compressione P	V_p	= 1700 m/s
velocità onde di taglio SH	V_s	= 400 m/s
modulo di taglio dinamico	G_0	= 2200 kg/cm ²

5.4 – Caratteristiche fisico meccaniche e dinamiche riassuntive dei terreni

Le caratteristiche geotecniche dei terreni desunte dalle prove in situ e dalle prove di laboratorio possono essere così riassunte:

Tr: - *terreno di riporto costituito da sabbia con concrezioni calcaree frustoli vegetali e laterizi e alla base ghiaia e breccia*

peso di volume	γ	= 1,6 gr/cm ³
angolo di attrito (indicativo)	φ	= 15°
coesione (indicativo)	Cu	= 0,2 kg/cm ²
velocità onde di compressione P	Vp	= 350 m/s
velocità onde di taglio SH	Vs	= 180 m/s
modulo di taglio dinamico	G ₀	= 600 kg/cm ²

Dr. Geol. GIANFRANCO CENSINI

Relazione geologica e geotecnica per la realizzazione
di un sovrappasso pedonale in località Ruffolo

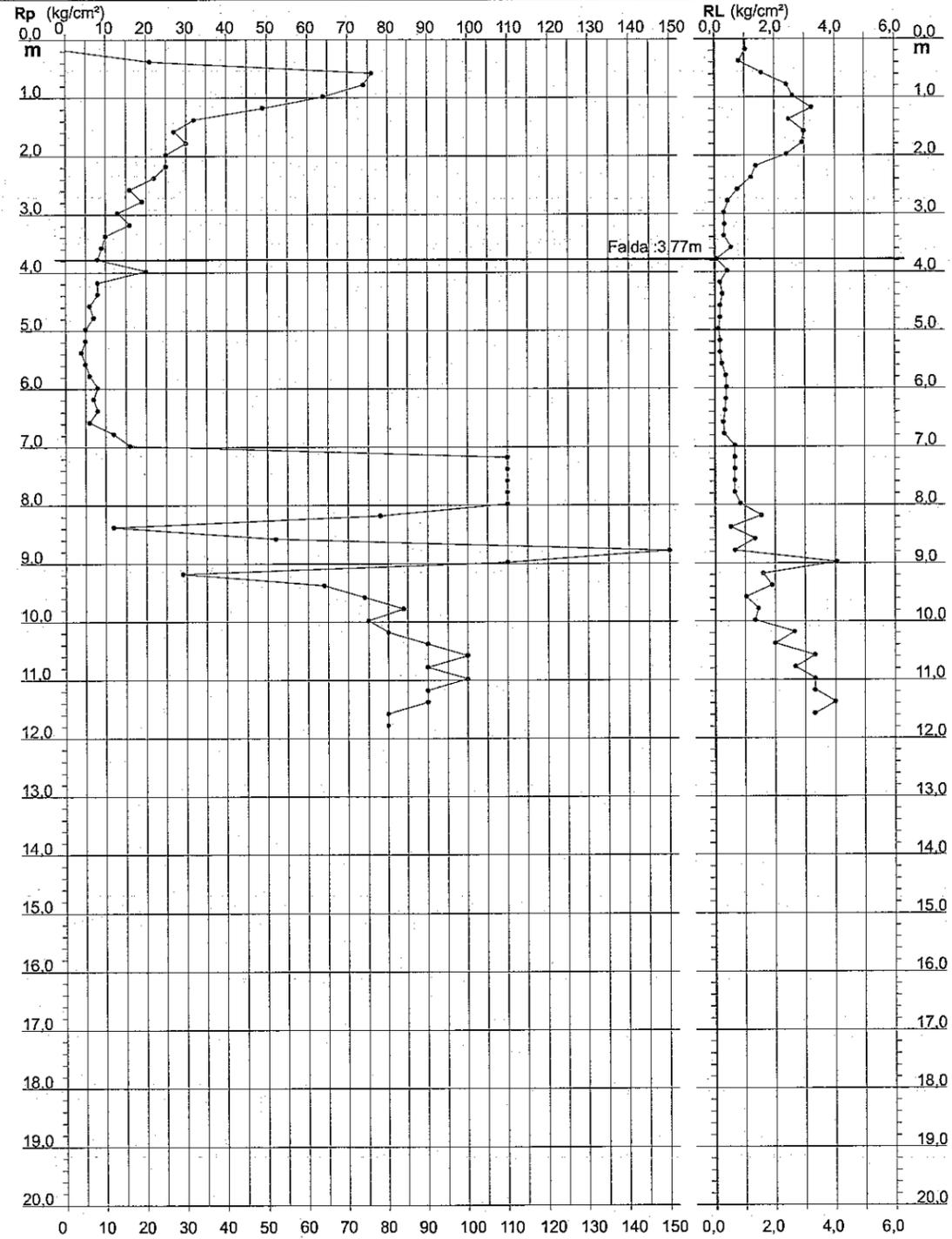
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
- lavoro: Opere edili
- località: Ruffolo, Siena
- resp. cantiere:
- assist. cantiere:
- note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 3,77 m da quota inizio
- scala vert. : 1 : 100
- data emiss. : 01/12/2011



PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
 - lavoro: Opere edili
 - località: Ruffolo, Siena
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:
 - note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 3,77 m da quota inizio

- data emiss. : 01/12/2011

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	---	---	1,04	---	6,20	3,4	6,4	7,0	0,37	19,0
0,40	10,6	18,4	21,0	0,83	25,0	6,40	4,0	6,8	8,0	0,35	23,0
0,60	38,2	44,4	76,0	1,57	48,0	6,60	3,0	5,6	6,0	0,29	20,0
0,80	37,2	49,0	74,0	2,40	31,0	6,80	6,0	8,2	12,0	0,32	37,0
1,00	32,0	50,0	64,0	2,61	24,0	7,00	8,2	10,6	16,0	0,67	24,0
1,20	24,4	44,0	49,0	3,25	15,0	7,20	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
1,40	15,8	40,2	32,0	2,48	13,0	7,40	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
1,60	13,6	32,2	27,0	2,99	9,0	7,60	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
1,80	14,8	37,2	30,0	2,93	10,0	7,80	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
2,00	12,4	34,4	25,0	2,40	10,0	8,00	55,0	60,0	110,0	0,85	129,0
2,20	12,6	30,6	25,0	1,39	18,0	8,20	39,2	45,6	78,0	1,55	50,0
2,40	10,8	21,2	22,0	1,23	18,0	8,40	6,0	17,6	12,0	0,53	22,0
2,60	8,2	17,4	16,0	0,77	21,0	8,60	26,0	30,0	52,0	1,33	39,0
2,80	9,6	15,4	19,0	0,45	42,0	8,80	100,0	110,0	200,0	0,67	300,0
3,00	6,6	10,0	13,0	0,32	41,0	9,00	55,0	60,0	110,0	4,05	27,0
3,20	7,8	10,2	16,0	0,35	46,0	9,20	14,6	45,0	29,0	1,60	18,0
3,40	4,8	7,4	10,0	0,32	31,0	9,40	32,0	44,0	64,0	1,89	34,0
3,60	4,6	7,0	9,0	0,56	16,0	9,60	37,2	51,4	74,0	1,04	71,0
3,80	4,0	8,2	8,0	0,08	100,0	9,80	42,2	50,0	84,0	1,44	58,0
4,00	9,8	10,4	20,0	0,43	47,0	10,00	37,4	48,2	75,0	1,33	56,0
4,20	4,0	7,2	8,0	0,19	43,0	10,20	40,0	50,0	80,0	2,64	30,0
4,40	4,2	5,6	8,0	0,27	30,0	10,40	45,2	65,0	90,0	2,00	45,0
4,60	3,0	5,0	6,0	0,19	32,0	10,60	50,0	65,0	100,0	3,33	30,0
4,80	3,6	5,0	7,0	0,19	38,0	10,80	45,0	70,0	90,0	2,67	34,0
5,00	2,4	3,8	5,0	0,13	37,0	11,00	50,0	70,0	100,0	3,33	30,0
5,20	2,4	3,4	5,0	0,19	27,0	11,20	45,0	70,0	90,0	3,33	27,0
5,40	2,2	3,6	4,0	0,19	21,0	11,40	45,0	70,0	90,0	4,00	22,0
5,60	2,4	3,8	5,0	0,24	21,0	11,60	40,0	70,0	80,0	3,33	24,0
5,80	3,2	5,0	6,0	0,37	16,0	11,80	40,0	65,0	80,0	---	---
6,00	3,8	6,6	8,0	0,40	20,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE C1 = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

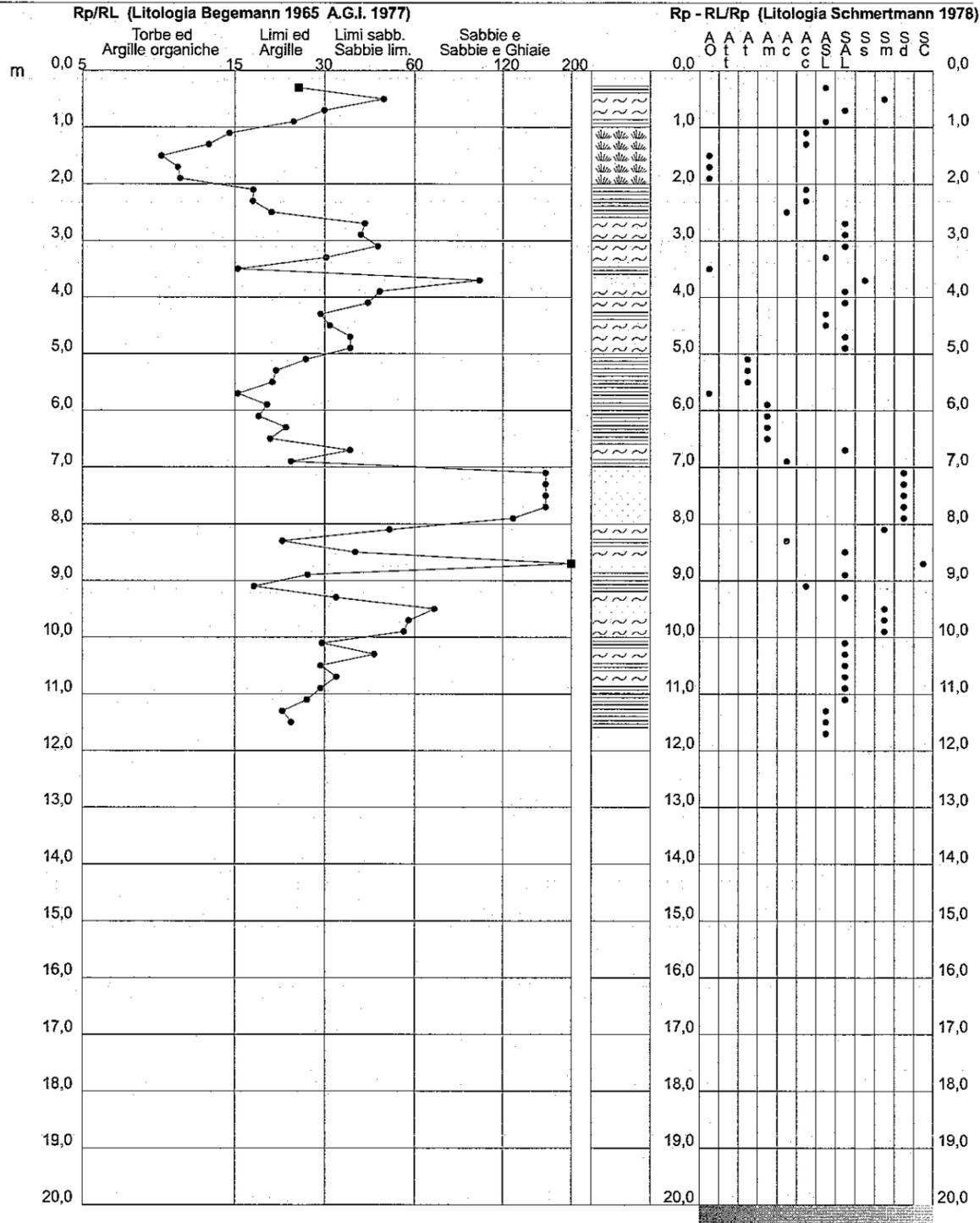
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
 VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

CPT 1

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
 - lavoro: Opere edili
 - località: Ruffolo, Siena
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:
 - note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 3,77 m da quota inizio
 - scala vert. : 1 : 100
 - data emiss. : 01/12/2011



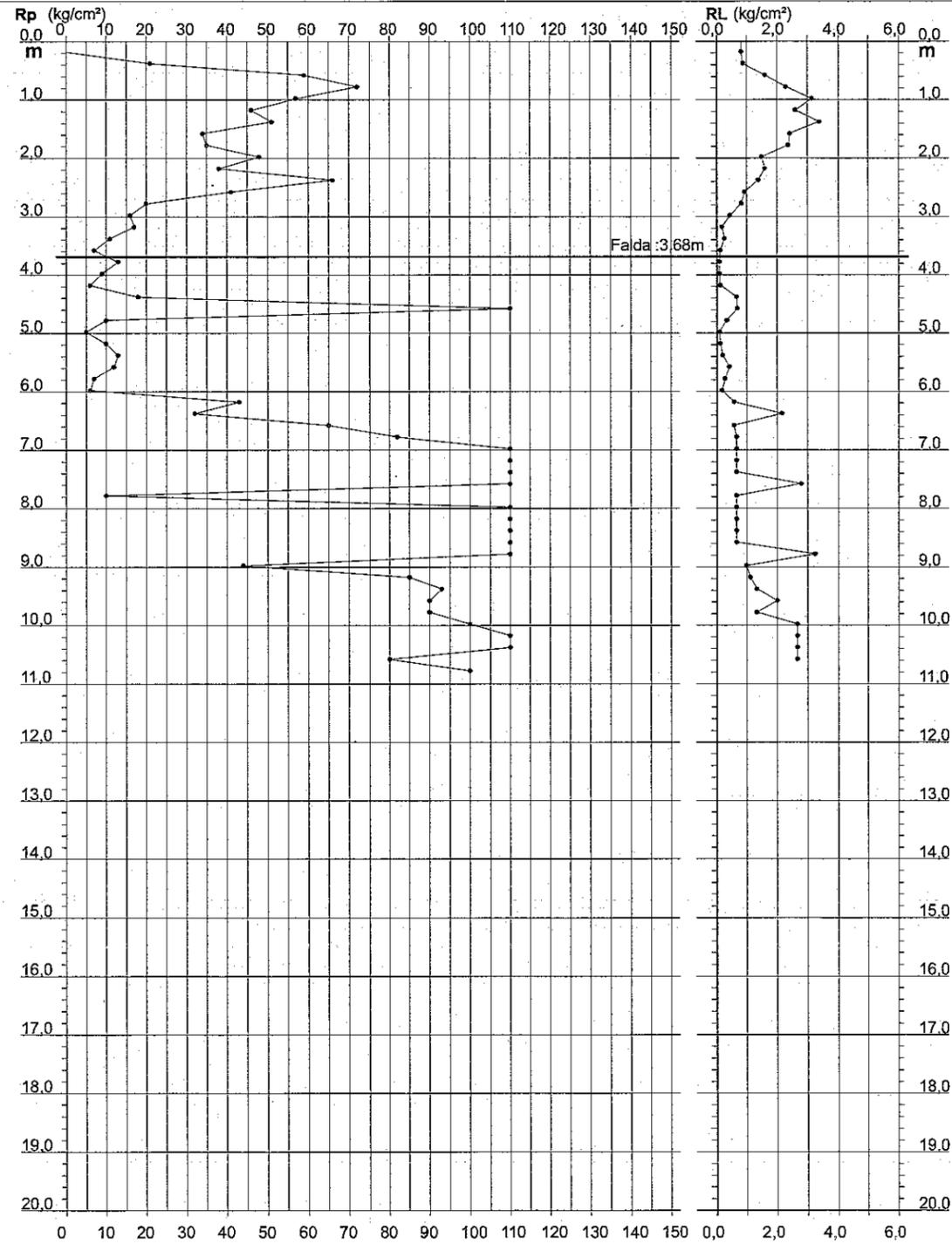
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
- lavoro: Opere edili
- località: Ruffolo, Siena
- resp. cantiere:
- assist. cantiere:
- note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 3,68 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100
- data emiss. : 01/12/2011



**PROVA PENETROMETRICA STATICA
 LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 2

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
 - lavoro: Opere edili
 - località: Ruffolo, Siena
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:
 - note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 3,68 m da quota inizio

- data emiss. : 01/12/2011

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	---	---	0,83	---	5,60	6,0	7,6	12,0	0,43	28,0
0,40	10,4	16,6	21,0	0,88	24,0	5,80	3,6	6,8	7,0	0,29	24,0
0,60	29,4	36,0	59,0	1,60	37,0	6,00	3,2	5,4	6,0	0,19	32,0
0,80	36,2	48,2	72,0	2,29	31,0	6,20	21,6	23,0	43,0	0,59	73,0
1,00	28,4	45,6	57,0	3,15	18,0	6,40	16,2	20,6	32,0	2,16	15,0
1,20	23,0	46,6	46,0	2,61	18,0	6,60	32,6	48,8	65,0	0,59	111,0
1,40	25,4	45,0	51,0	3,39	15,0	6,80	41,2	45,6	82,0	0,67	123,0
1,60	16,8	42,2	34,0	2,43	14,0	7,00	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
1,80	17,4	35,6	35,0	2,37	15,0	7,20	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
2,00	24,0	41,8	48,0	1,49	32,0	7,40	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
2,20	19,2	30,4	38,0	1,60	24,0	7,60	55,0	60,0	110,0	2,80	39,0
2,40	32,8	44,8	66,0	1,39	48,0	7,80	5,2	26,2	10,0	0,67	15,0
2,60	20,6	31,0	41,0	0,93	44,0	8,00	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
2,80	9,8	16,8	20,0	0,83	24,0	8,20	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
3,00	8,0	14,2	16,0	0,45	35,0	8,40	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
3,20	8,6	12,0	17,0	0,19	91,0	8,60	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
3,40	5,6	7,0	11,0	0,27	41,0	8,80	55,0	60,0	110,0	3,25	34,0
3,60	3,4	5,4	7,0	0,13	52,0	9,00	22,2	46,6	44,0	0,99	45,0
3,80	6,6	7,6	13,0	0,11	122,0	9,20	42,4	49,8	85,0	1,12	76,0
4,00	4,6	5,4	9,0	0,11	84,0	9,40	46,6	55,0	93,0	1,33	70,0
4,20	3,2	4,0	6,0	0,13	45,0	9,60	45,0	55,0	90,0	2,00	45,0
4,40	9,0	10,0	18,0	0,67	27,0	9,80	45,0	60,0	90,0	1,33	67,0
4,60	55,0	60,0	110,0	0,69	159,0	10,00	50,0	60,0	100,0	2,67	37,0
4,80	4,8	10,0	10,0	0,35	29,0	10,20	55,0	75,0	110,0	2,67	41,0
5,00	2,4	5,0	5,0	0,11	47,0	10,40	55,0	75,0	110,0	2,67	41,0
5,20	5,0	5,8	10,0	0,13	75,0	10,60	40,0	60,0	80,0	2,67	30,0
5,40	6,6	7,6	13,0	0,21	61,0	10,80	50,0	70,0	100,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann ø = 35,7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

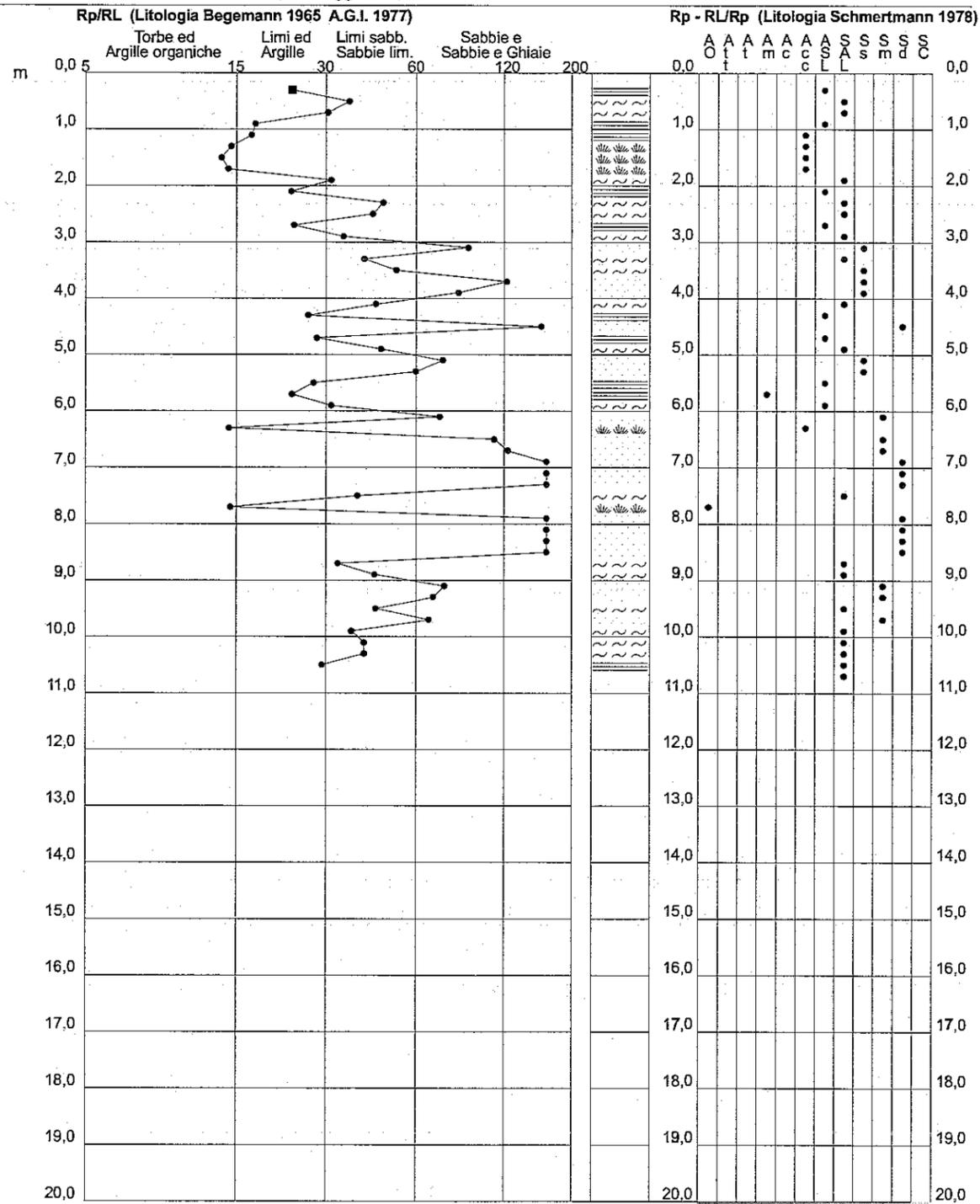
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
 VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

CPT 2

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
 - lavoro: Opere edili
 - località: Ruffolo, Siena
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:
 - note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 3,68 m da quota inizio
 - scala vert. : 1 : 100
 - data emiss. : 01/12/2011



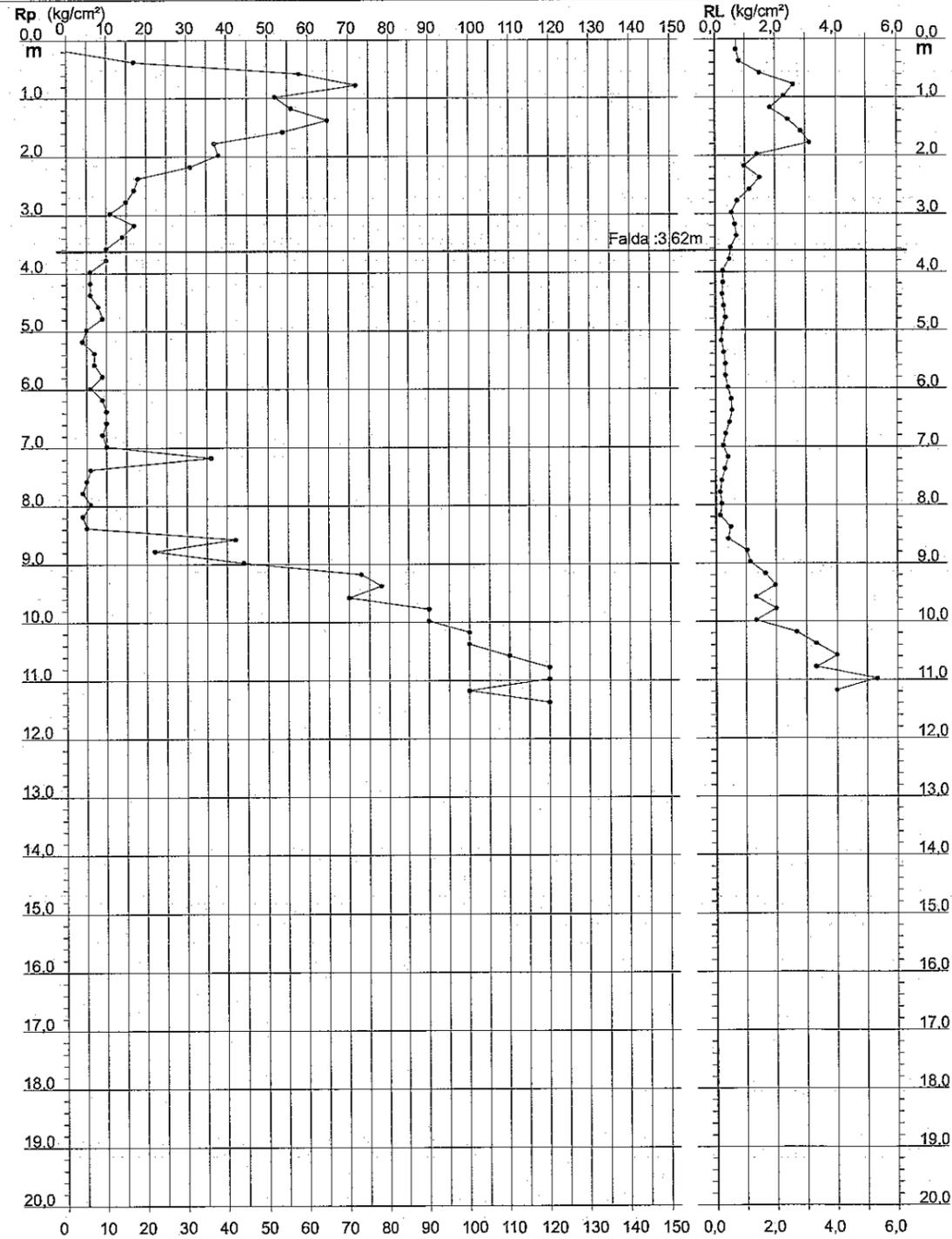
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
- lavoro: Opere edili
- località: Ruffolo, Siena
- resp. cantiere:
- assist. cantiere:
- note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 3,62 m da quota inizio
- scala vert. : 1 : 100
- data emiss. : 01/12/2011



PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 3

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
 - lavoro: Opere edili
 - località: Ruffolo, Siena
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:
 - note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 3,62 m da quota inizio

- data emiss. : 01/12/2011

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	—	—	—	0,72	—	6,00	3,2	5,8	6,0	0,43	14,0
0,40	8,6	14,0	17,0	0,83	21,0	6,20	4,4	7,6	9,0	0,53	17,0
0,60	29,2	35,4	58,0	1,49	39,0	6,40	5,0	9,0	10,0	0,56	18,0
0,80	36,2	47,4	72,0	2,61	28,0	6,60	4,8	9,0	10,0	0,48	21,0
1,00	26,0	45,6	52,0	2,29	23,0	6,80	4,6	8,2	9,0	0,35	26,0
1,20	28,2	45,4	56,0	1,84	30,0	7,00	5,0	7,6	10,0	0,27	37,0
1,40	32,6	46,4	65,0	2,43	27,0	7,20	18,0	20,0	36,0	0,43	84,0
1,60	27,0	45,2	54,0	2,85	19,0	7,40	3,2	6,4	6,0	0,32	19,0
1,80	18,6	40,0	37,0	3,15	12,0	7,60	2,4	4,8	5,0	0,21	23,0
2,00	19,2	42,8	38,0	1,41	27,0	7,80	2,2	3,8	4,0	0,16	25,0
2,20	15,4	26,0	31,0	0,99	31,0	8,00	2,8	4,0	6,0	0,21	28,0
2,40	8,8	16,2	18,0	1,49	12,0	8,20	2,0	3,6	4,0	0,16	25,0
2,60	8,6	19,8	17,0	1,15	15,0	8,40	2,4	3,6	5,0	0,51	10,0
2,80	7,4	16,0	15,0	0,75	20,0	8,60	21,2	25,0	42,0	0,43	98,0
3,00	5,4	11,0	11,0	0,56	20,0	8,80	11,0	14,2	22,0	1,04	21,0
3,20	8,6	12,8	17,0	0,67	25,0	9,00	22,0	29,8	44,0	1,15	38,0
3,40	7,2	12,2	14,0	0,72	19,0	9,20	36,4	45,0	73,0	1,65	44,0
3,60	5,2	10,6	10,0	0,53	19,0	9,40	39,2	51,6	78,0	1,97	40,0
3,80	5,0	9,0	10,0	0,48	21,0	9,60	35,2	50,0	70,0	1,33	52,0
4,00	3,0	6,6	6,0	0,27	23,0	9,80	45,0	55,0	90,0	2,00	45,0
4,20	3,2	5,2	6,0	0,27	22,0	10,00	45,0	60,0	90,0	1,33	67,0
4,40	3,0	5,0	6,0	0,24	25,0	10,20	50,0	60,0	100,0	2,67	37,0
4,60	4,0	5,8	8,0	0,29	27,0	10,40	50,0	70,0	100,0	3,33	30,0
4,80	4,6	6,8	9,0	0,35	26,0	10,60	55,0	80,0	110,0	4,00	28,0
5,00	2,4	5,0	5,0	0,24	21,0	10,80	60,0	90,0	120,0	3,33	36,0
5,20	2,2	4,0	4,0	0,21	19,0	11,00	60,0	85,0	120,0	5,33	22,0
5,40	3,6	5,2	7,0	0,29	24,0	11,20	50,0	90,0	100,0	4,00	25,0
5,60	3,4	5,6	7,0	0,35	20,0	11,40	60,0	90,0	120,0	—	—
5,80	4,4	7,0	9,0	0,35	26,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann ø = 35,7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

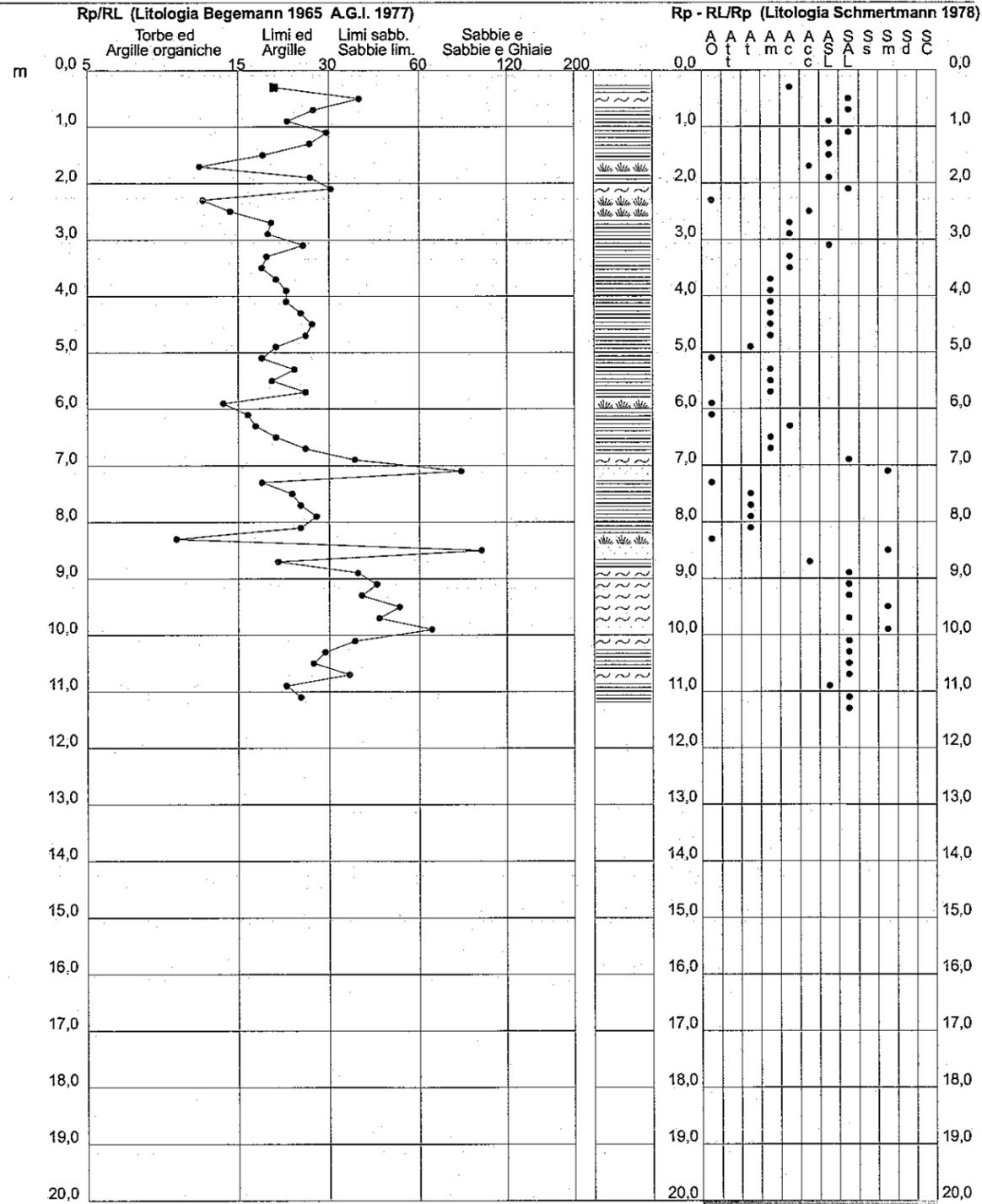
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
 VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

CPT 3

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
 - lavoro: Opere edili
 - località: Ruffolo, Siena
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:
 - note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 3,62 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss.: 01/12/2011



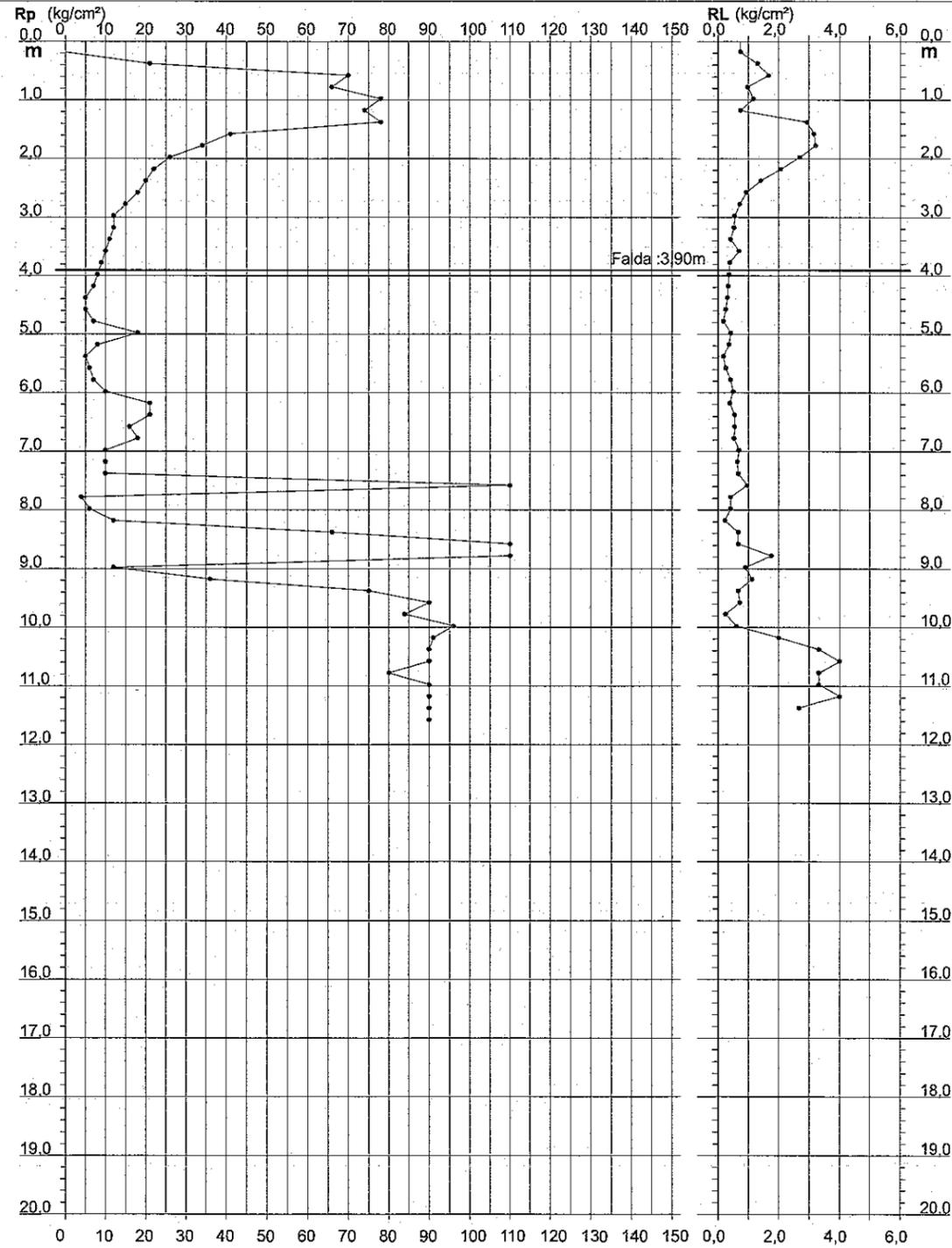
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
- lavoro: Opere edili
- località: Ruffolo, Siena
- resp. cantiere:
- assist. cantiere:
- note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 3,90 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100
- data emiss. : 01/12/2011



PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 4
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
 - lavoro: Opere edili
 - località: Ruffolo, Siena
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:
 - note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 3,90 m da quota inizio

- data emiss. : 01/12/2011

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	---	---	0,75	---	6,00	4,8	8,0	10,0	0,51	20,0
0,40	10,6	16,2	21,0	1,31	16,0	6,20	10,4	14,2	21,0	0,40	52,0
0,60	35,2	45,0	70,0	1,68	42,0	6,40	10,4	13,4	21,0	0,56	37,0
0,80	32,8	45,4	66,0	0,99	67,0	6,60	7,8	12,0	16,0	0,56	29,0
1,00	39,2	46,6	78,0	1,17	66,0	6,80	8,8	13,0	18,0	0,53	34,0
1,20	36,8	45,6	74,0	0,75	99,0	7,00	5,2	9,2	10,0	0,69	14,0
1,40	39,2	44,8	78,0	2,93	27,0	7,20	4,8	10,0	10,0	0,64	16,0
1,60	20,6	42,6	41,0	3,17	13,0	7,40	4,8	9,6	10,0	0,67	15,0
1,80	16,8	40,6	34,0	3,23	11,0	7,60	55,0	60,0	110,0	0,96	115,0
2,00	13,0	37,2	26,0	2,69	10,0	7,80	2,2	9,4	4,0	0,43	9,0
2,20	11,0	31,2	22,0	2,08	11,0	8,00	2,8	6,0	6,0	0,43	14,0
2,40	9,8	25,4	20,0	1,41	14,0	8,20	5,8	9,0	12,0	0,24	50,0
2,60	9,2	19,8	18,0	0,93	19,0	8,40	33,2	35,0	66,0	0,67	99,0
2,80	7,6	14,6	15,0	0,72	21,0	8,60	55,0	60,0	110,0	0,67	165,0
3,00	6,0	11,4	12,0	0,56	21,0	8,80	55,0	60,0	110,0	1,76	63,0
3,20	6,0	10,2	12,0	0,53	22,0	9,00	6,2	19,4	12,0	0,91	13,0
3,40	5,6	9,6	11,0	0,43	26,0	9,20	18,2	25,0	36,0	1,12	32,0
3,60	5,2	8,4	10,0	0,69	14,0	9,40	37,4	45,8	75,0	0,67	112,0
3,80	4,4	9,6	9,0	0,40	22,0	9,60	44,8	49,8	90,0	0,72	125,0
4,00	4,2	7,2	8,0	0,37	21,0	9,80	42,2	47,6	84,0	0,27	315,0
4,20	3,6	6,4	7,0	0,35	20,0	10,00	48,0	50,0	96,0	0,61	157,0
4,40	2,4	5,0	5,0	0,32	16,0	10,20	45,4	50,0	91,0	2,00	46,0
4,60	2,6	5,0	5,0	0,27	19,0	10,40	45,0	60,0	90,0	3,33	27,0
4,80	3,6	5,6	7,0	0,19	38,0	10,60	45,0	70,0	90,0	4,00	22,0
5,00	9,0	10,4	18,0	0,43	42,0	10,80	40,0	70,0	80,0	3,33	24,0
5,20	4,0	7,2	8,0	0,37	21,0	11,00	45,0	70,0	90,0	3,33	27,0
5,40	2,4	5,2	5,0	0,19	27,0	11,20	45,0	70,0	90,0	4,00	22,0
5,60	3,0	4,4	6,0	0,27	22,0	11,40	45,0	75,0	90,0	2,67	34,0
5,80	3,6	5,6	7,0	0,43	16,0	11,60	45,0	65,0	90,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

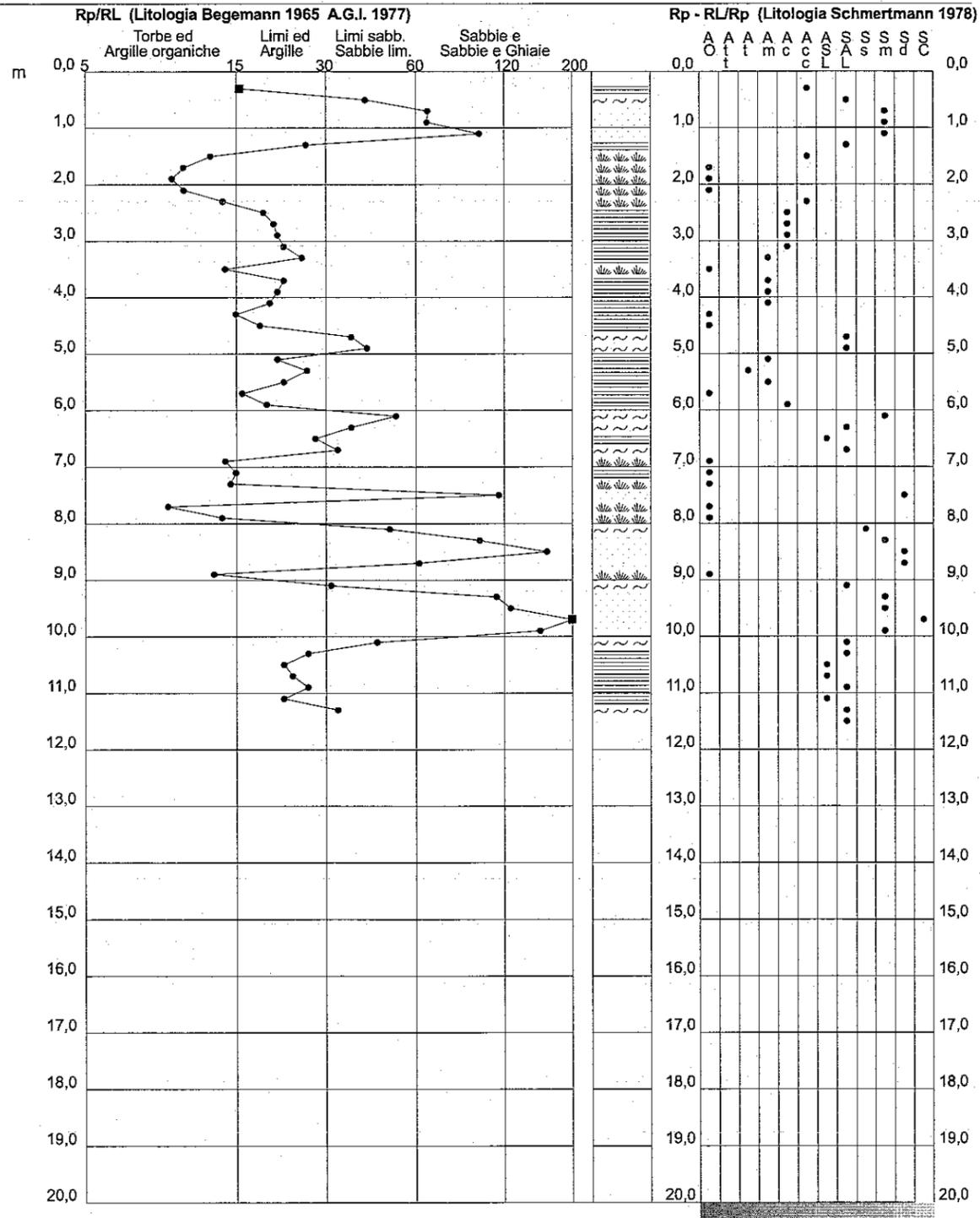
PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

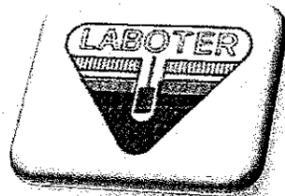
CPT 4

3.010496-120

- committente: Dott. Geol. Massimo Marrocchesi
 - lavoro: Opere edili
 - località: Ruffolo, Siena
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:
 - note: C.P.T. 3-4 max prof. raggiunta prima del disancora

- data prova : 01/12/2011
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 3,90 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 01/12/2011





Laboter s.n.c.
laboratorio geotecnico
Qualificato A.L.G.I. n°89



Via Nazario Sauro 440 - 51030 Pontelungo (PT) - Tel. 0573 570566 - Fax. 0573 910056
www.laboterpt.it - e-mail : laboter@laboterpt.it

ANALISI E PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Committente **Dott. Massimo Marrocchesi**

Località: **Rif. Ruffolo**

Verbale Accettazione n° 1 del : 2/1/12
Certificazione del 16-gen-12
Campioni n° 3

Direttore Laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli
Dott. Paolo Tognelli
GEOLOGO



TABELLA RIASSUNTIVA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Comm.te : Dott. Massimo Marrocchesi

Località : Rif. Ruffolo

Rapporto di prova n°: 1

del : 16/1/12

Sond.	1	1	1						
Camp.	1	2	3						
da - a -	3.0-3.5	11.0-11.35	13.0-13.35						
γ	18,88	20,24	19,75						
w	22,6	15,9	17,8						
Gs	26,0	25,99	25,99						
Gd	15,40	17,46	16,76						
e	0,688	0,488	0,551						
Sr	87	86	86						
n	41	33	36						
A									
L									
S									
G									
AASHO									
USCS									
Wl									
Wp									
Ip									
Ic									
Wr									
k									
ϕ_r									
cr									
ϕ'	28	22	15						
c'	3,9	11,11	47,59						
w Opt									
γ_d Opt									
cu (ELL)									
Ed									
0.25-0.5									
0.5-1.0									
1.0-2.0									
2.0-4.0									
4.0-8.0									
8.0-16.0									
16.0-32.0									
Cc									

* valore non determinato sperimentalmente

Gs (kN/m³) = peso specifico dei grani - Gd (kN/m³) = densità secca - γ (kN/m³) = peso di volume

w (%) = umidità naturale - e = indice dei vuoti - Sr (%) = grado di saturazione - n (%) = porosità

A (%) = argilla - L (%) = limo - S (%) = sabbia - G (%) = ghiaia

Wl (%) = limite liquido - Wp (%) = limite plastico - Ip (%) = ind. di plasticità - Ic = ind. di consistenza

ϕ (°) = angolo di attrito interno non drenato - cu (kPa) = coesione non drenata

ϕ' (°) = angolo di attrito drenato - c' (kPa) = coesione drenata

ϕ_r (°) = angolo di attrito interno residuo - cr (kPa) = coesione residua

cu (kPa) = sforzo a rottura prova ELL - k (m/sec) = coefficiente di permeabilità

Cc = indice di compressibilità - cv(i) = coefficiente di consolidazione

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
 Cantiere : Rif. Ruffolo
 Sond. : 1 Camp. : 1 3.0-3.5
 V.A. : 1 del : 16/1/12 Qualità campione (AGI 1977) Q5

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
 Lunghezza (cm.) = 41

Caratteristiche fisiche

	gr/cm ³	kN/m ³
Peso di volume naturale γ	1,925	18,9
Umidità naturale w (%)	22,6	
Peso specifico dei grani G _s	2,650	26,0
Densità secca G _d	1,570	15,4
indice dei vuoti e =	0,69	
Grado di saturazione S _r (%) =	87	
Porosità n % =	41	

Coeff. di permeabilità k (m/sec)

Parametri di resistenza al taglio

Taglio CD	ϕ' (°)	c' kg/cm ²	c' kPa
	28	0,04	3,89

Parametri Residui	ϕ_r (°)	c _r kg/cm ²	c _r kPa
Taglio CU	ϕ (°)	cu kg/cm ²	cu kPa

Prove triassiali

TX UU	ϕ (°)	c kg/cm ²	c kPa
TX CIU	ϕ (°) <td>c kg/cm² <td>c kPa</td> </td>	c kg/cm ² <td>c kPa</td>	c kPa
TX CID	ϕ' (°) <td>c' kg/cm² <td>c' kPa</td> </td>	c' kg/cm ² <td>c' kPa</td>	c' kPa

Limiti di Atterberg	
Class. Casagrande =	
Limite Liquido WL % =	
Limite Plastico WP % =	
Indice di Plasticità IP =	
Indice di Consistenza Ic =	
Limite Ritiro WR % =	

Granulometria	
% ghiaia	
% sabbia	
% limo	
% argilla	
CNR10006-AASHO	

Prova di compressione semplice ELL

cu kg/cm ²	cu kPa

Prove eseguite sul campione	
umidità naturale w	X
peso volume γ	X
peso specifico G _s	-
limiti Atterberg LA	-
granulometria Gr	-
taglio diretto TD	X
edometria ED	-
permeabilità Pr	-
proctor PT	-
triassiale TX	-
compressione ELL	-

Prova di compressione edometrica				
Indice compressibilità C _c				
Pressione	cv	k	E	E
kPa	cm ² /sec	cm/sec	kg/cm ²	kPa
0 - 24,5				
24,5 - 49,0				
49,0 - 98,1				
98,1 - 196,1				
196,1 - 392,3				
392,3 - 784,5				
784,5 - 1569,1				
1569,1 - 3138,1				

Deformazione di rigonfiamento
 Indice di ricomprensione
 Indice di rigonfiamento
 Proctor Standard
 w% optimum
 γ_d kN/m³ optimum

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 Camp. : 1 3.0-3.5
V.A. : 1 del : 16/1/12 Qualità campione (AGI 1977) Q5

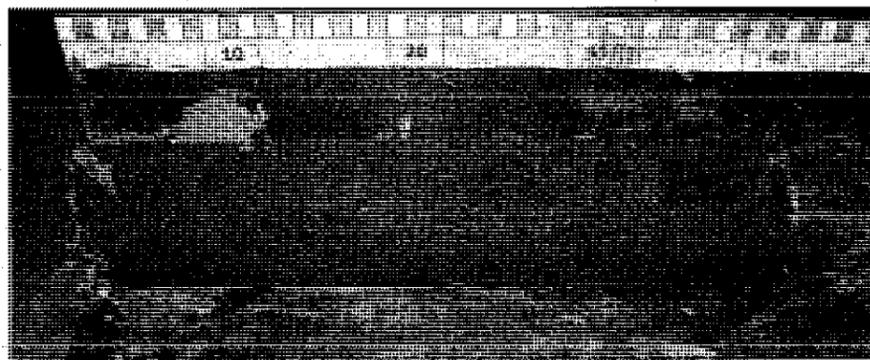
Apertura e descrizione del campione (ASTM 2488-AGI 1977) :
Limo argilloso debolmente sabbioso con tracce torbose di media consistenza

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
Lunghezza (cm.) = 41

Lunghezza campione cm.	Prove da eseguire	PP kg/cm ²	VT kg/cm ²
0		1,30	0
10		1,11	0
20		1,30	0
30	CD	1,40	0
40			0
50			
60			
70			

Munsell Soil Color Charts:

10 YR 5/6 marrone giallastro



Dott. Paolo Tognelli
GEOLOGO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da.....m.: 3.0-3.5
Camp. : 1 Cert. n°: 9 del : 16/1/12
V.A. : 1 Qualità Campione (AGI 1977 Q5

Munsell Soil Color Charts: 10 YR 5/6 marrone giallastro

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
Lunghezza (cm.) = 41

Peso di volume (A.G.I. 1994-C.N.R. B.U. XII N.63)

Peso fustella + terra (gr)	203,14	212,31	206,94
Volume fustella (cm ³)	72	72	72
Peso di volume γ kN/m ³	18,78	19,18	18,68

Valore medio kN/m ³	18,88
--------------------------------	-------

Dott. Paolo Tognelli
GEOLOGO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da.....m.: 3.0-3.5
Camp. : 1 Cert. n°: 10 del : 16/1/12
V.A. : 1 Qualità Campione (AGI 1977 Q5

Munsell Soil Color Charts: 10 YR 5/6 marrone giallastro

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
Lunghezza (cm.) = 41

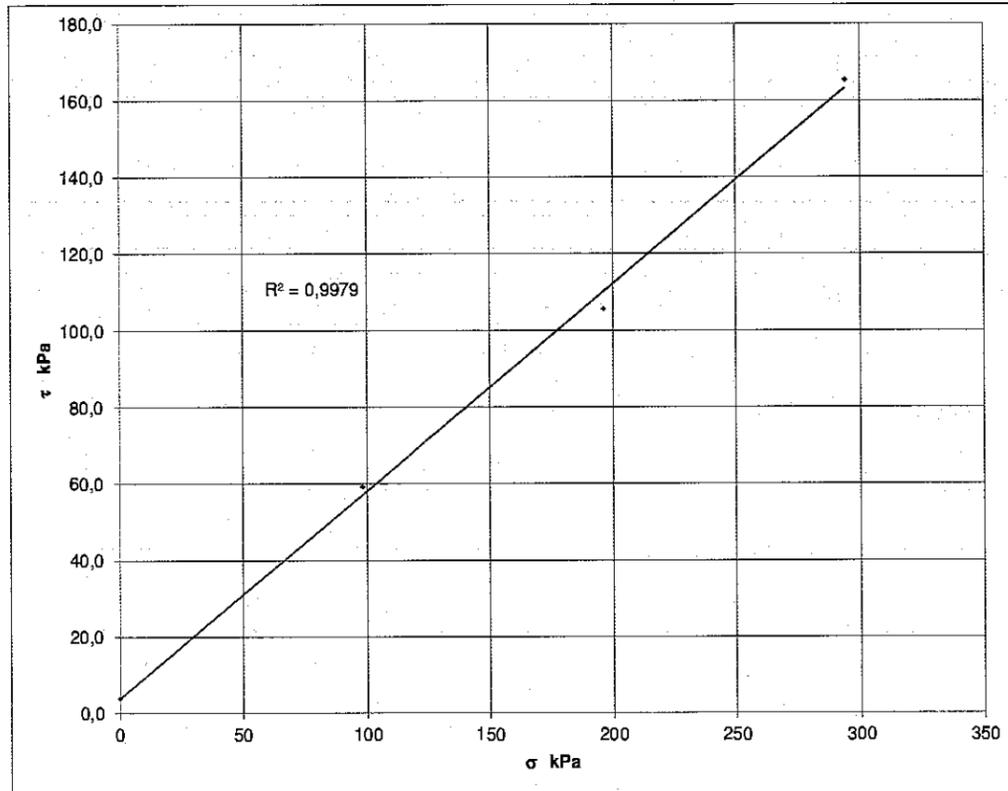
Contenuto d'acqua (C.N.R. U.N.I. 10008)

Peso recipiente (gr)	9,2	9,44
Recipiente + campione umido (gr)	346,69	361,21
Recipiente + campione secco (gr)	283,95	296,88
umidità w (%)	22,8	22,4

Valore medio w %	22,6
------------------	------

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente : Dott. Massimo Marocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da 3.0-3.5
Camp. : 1 Qualità campione (AGI 1977) Q5



Coesione c' 3,9 kPa

Angolo d'attrito ϕ' 28,4 °

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi

Cantiere : Rif. Ruffolo

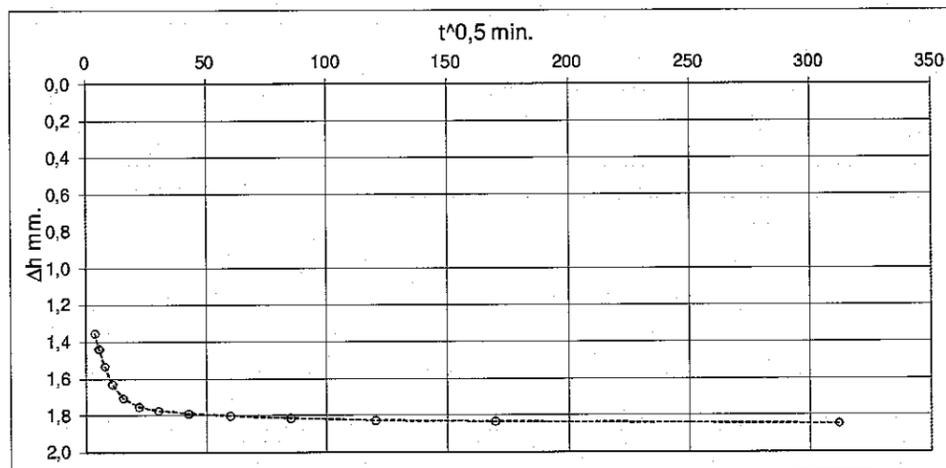
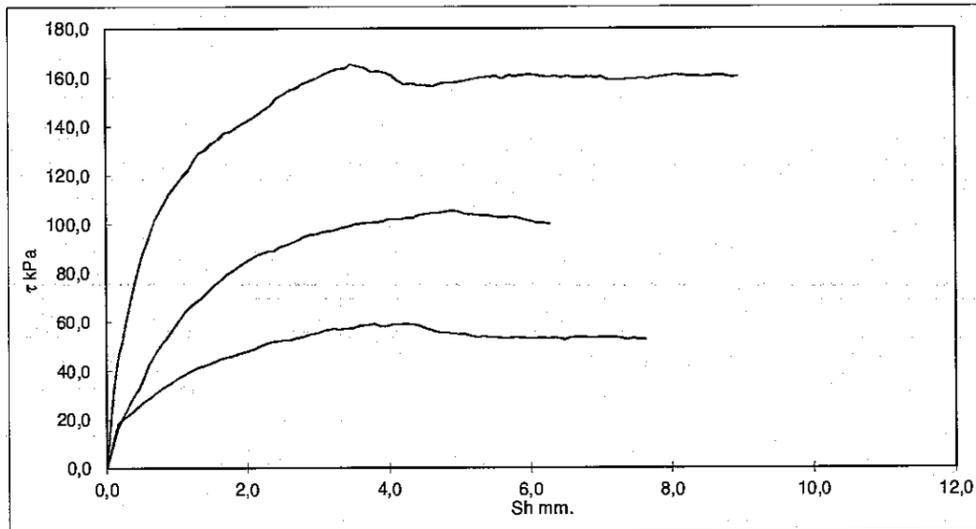
Sond. : 1 da 3.0-3.5 Cert. n° 11 del 16/01/12

Camp. : 1 V.A. 1 Qualità campione (AGI 1977) Q5

Provino 1				Provino 2				Provino 3			
Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ
mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa
0,1	0,0	5,0	54,7	0,1	0,0	4,5	103,6	0,0	0,0	4,6	156,4
0,2	17,8	5,1	54,7	0,2	16,1	4,5	104,2	0,1	32,2	4,7	157,2
0,2	20,3	5,2	53,9	0,2	20,6	4,6	104,4	0,2	42,8	4,8	157,8
0,3	21,9	5,3	53,6	0,3	24,2	4,7	104,7	0,2	47,8	4,9	157,8
0,4	23,3	5,3	53,9	0,4	28,1	4,8	105,0	0,2	51,9	5,0	158,1
0,5	25,3	5,4	53,6	0,4	30,3	4,9	105,6	0,3	58,6	5,1	158,3
0,5	27,2	5,5	53,6	0,5	33,1	5,0	105,3	0,4	69,4	5,2	159,2
0,6	29,2	5,6	53,1	0,5	37,8	5,1	104,2	0,4	78,6	5,2	159,7
0,7	31,1	5,7	53,1	0,6	42,8	5,2	103,9	0,5	87,5	5,3	160,0
0,8	33,1	5,8	53,6	0,7	46,7	5,2	103,6	0,6	94,4	5,4	160,3
0,9	34,7	5,9	53,3	0,8	50,8	5,3	103,3	0,7	101,7	5,5	160,6
1,0	36,7	6,0	53,1	0,9	53,9	5,4	103,3	0,8	106,4	5,6	159,4
1,1	38,3	6,0	53,1	1,0	57,2	5,5	103,1	0,9	111,9	5,7	160,8
1,2	39,7	5,9	53,3	1,0	60,6	5,3	103,3	1,0	115,3	5,5	160,6
1,3	41,1	6,0	53,1	1,1	63,9	5,4	103,3	1,1	119,2	5,6	159,4
1,4	41,7	6,0	53,1	1,2	66,1	5,5	103,1	1,2	121,9	5,7	160,8
1,5	42,8	6,2	53,3	1,3	68,3	5,6	102,8	1,2	125,6	5,8	160,6
1,6	44,2	6,3	53,1	1,4	70,3	5,7	102,8	1,3	129,2	5,9	160,8
1,7	45,3	6,3	53,3	1,5	72,8	5,7	103,1	1,4	130,6	6,0	161,4
1,8	45,8	6,4	53,1	1,5	75,3	5,8	102,5	1,5	133,1	6,1	161,1
1,9	46,9	6,5	52,8	1,6	77,2	5,9	101,7	1,6	134,7	6,2	160,6
2,0	47,8	6,6	53,3	1,7	79,4	6,0	101,4	1,7	137,2	6,3	160,3
2,1	48,9	6,7	53,6	1,8	81,1	6,1	100,6	1,8	138,1	6,4	160,6
2,2	50,3	6,8	53,6	1,9	82,8	6,2	100,6	1,9	140,0	6,4	160,0
2,3	51,4	6,8	53,3	2,0	84,2	6,3	100,0	2,0	141,7	6,5	160,6
2,4	51,9	6,9	53,3	2,0	85,3			2,1	143,1	6,6	160,0
2,5	52,5	7,0	53,6	2,1	87,2			2,2	145,0	6,7	160,0
2,6	52,5	7,1	53,6	2,2	88,1			2,2	146,7	6,8	160,3
2,7	53,3	7,2	53,6	2,3	88,9			2,3	148,6	6,9	160,0
2,8	53,6	7,3	53,1	2,4	88,9			2,4	151,7	7,0	160,3
2,9	54,7	7,4	52,8	2,5	90,6			2,5	153,3	7,1	158,9
3,0	55,3	7,5	53,1	2,6	91,4			2,6	155,0	7,2	158,9
3,1	56,4	7,5	52,8	2,6	92,2			2,7	155,6	7,3	158,9
3,2	57,2	7,6	52,8	2,7	93,6			2,8	157,2	7,4	159,4
3,3	56,9			2,8	95,0			2,9	158,3	7,5	159,4
3,4	57,2			2,9	95,6			3,0	159,7	7,6	159,7
3,5	57,5			3,0	95,8			3,1	161,4	7,7	159,4
3,6	58,3			3,1	96,7			3,2	162,5	7,8	160,0
3,7	58,6			3,2	96,9			3,3	163,3	7,9	160,3
3,8	59,2			3,2	97,5			3,4	163,6	8,0	160,8
3,9	58,1			3,3	98,6			3,5	165,3	8,1	161,1
4,0	58,1			3,4	99,2			3,6	164,4	8,1	160,8
4,1	58,9			3,5	100,0			3,7	163,9	8,3	160,6
4,2	58,9			3,6	100,3			3,8	162,2	8,3	160,6
4,2	59,2			3,7	100,6			3,9	162,5	8,5	160,3
4,3	58,9			3,8	100,8			4,0	161,9	8,5	160,6
4,4	58,6			3,9	101,1			4,1	160,8	8,6	160,8
4,5	57,5			4,0	101,9			4,1	158,3	8,7	160,8
4,6	56,4			4,1	101,9			4,2	156,9	8,8	160,0
4,7	55,6			4,2	101,9			4,3	157,5	8,9	160,3
4,8	55,6			4,3	102,5			4,4	156,7		
4,9	55,3			4,4	102,5			4,5	156,7		

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
 Cantiere : Rif. Ruffolo
 Sond. : 1 da 3.0-3.5 Cert. n° 11 del : 16/1/12
 Camp. : 1 V.A. 1 Qualità campione (AGI 1977) Q5



Velocità def. mm/min.	0,005	Altezza (mm)	20	Lato (mm)	60
Sezione provini (cm³)	36,00	Umidità iniziale %	19,0		

PROVINO	1	2	3
Abbassamento consolidazione ΔH mm	1,72	1,85	1,96
Abbassamento a rottura ΔrH mm	0,32	0,27	0,27
γ umido (kN/m³)	15,00	15,00	15,00
γ secco (kN/m³)	15,32	15,64	15,24
Umidità finale (%)	22,3	21,1	21,3
Tensione verticale σ kPa	98,1	196,1	294,2
Sforzo a rottura kPa	59,17	105,55	165,28

Committente : Dott. Massimo Marrochesi
 Cantiere : Rif. Ruffolo
 Sond. : 1 Camp. : 2 11.0-11.35
 V.A. : 1 del : 16/1/12 Qualità campione (AGI 1977) Q5

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
 Lunghezza (cm.) = 36

Caratteristiche fisiche

	gr/cm ³	kN/m ³
Peso di volume naturale γ	2,064	20,2
Umidità naturale w (%)	15,9	
Peso specifico dei grani Gs	2,650	26,0
Densità secca Gd	1,781	17,5
indice dei vuoti e =	0,49	
Grado di saturazione Sr (%) =	86	
Porosità n % =	33	

Coeff. di permeabilità k (m/sec)

Parametri di resistenza al taglio

Taglio CD	ϕ' (°)	c' kg/cm ²	c' kPa
	22	0,11	11,11

Parametri Residui	ϕ_r (°)	cr kg/cm ²	cr kPa
Taglio CU	ϕ (°)	cu kg/cm ²	cu kPa

Prove triassiali

TX UU		cu kg/cm ²	cu kPa
TX CIU	ϕ (°)	c kg/cm ²	c kPa
TX CID	ϕ' (°)	c' kg/cm ²	c' kPa

Limiti di Atterberg	
Class. Casagrande =	
Limite Liquido WL % =	
Limite Plastico WP % =	
Indice di Plasticità IP =	
Indice di Consistenza Ic =	
Limite Ritiro WR % =	

Granulometria	
% ghiaia	
% sabbia	
% limo	
% argilla	
CNR10006-AASHO	

Prova di compressione semplice ELL

cu kg/cm ²	cu kPa

Prove eseguite sul campione	
umidità naturale w	X
peso volume γ	X
peso specifico Gs	-
limiti Atterberg LA	-
granulometria Gr	-
taglio diretto TD	X
edometria ED	-
permeabilità Pr	-
proctor PT	-
triassiale TX	-
compressione ELL	-

Prova di compressione edometrica					
Indice compressibilità Cc					
Pressione	cv	k	E	E	
kPa	cm ² /sec	cm/sec	kg/cm ²	kPa	
0 - 24,5					
24,5 - 49,0					
49,0 - 98,1					
98,1 - 196,1					
196,1 - 392,3					
392,3 - 784,5					
784,5 - 1569,1					
1569,1 - 3138,1					

Deformazione di rigonfiamento
 Indice di ricomprensione
 Indice di rigonfiamento
 Proctor Standard
 w% optimum
 γ_d kN/m³ optimum

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
 Cantiere : Rif. Ruffolo
 Sond. : 1 Camp. : 2 11.0-11.35
 V.A. : 1 del : 16/1/12 Qualità campione (AGI 1977) Q5

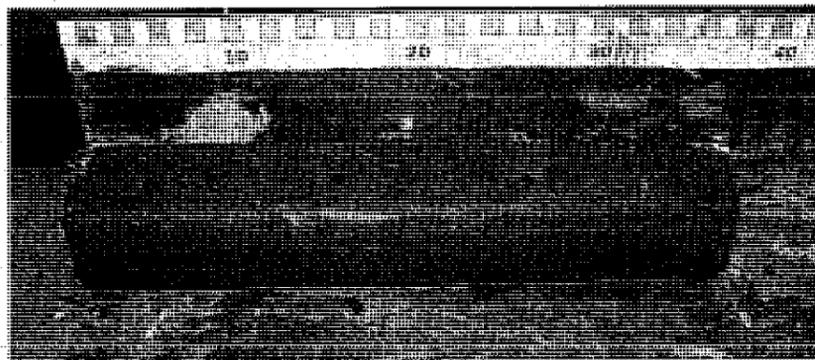
Apertura e descrizione del campione (ASTM 2488-AGI 1977) :
 Limo con rare concrezioni calcaree compatte

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
 Lunghezza (cm.) = 36

Lunghezza campione cm.	Prove da eseguire	PP kg/cm ²	VT kg/cm ²
0	CD	>6	
10		>6	
20		>6	
30		>6	
40			
50			
60			
70			

Munsell Soil Color Charts:

10 YR 4/1 grigio scuro



Dott. Paolo Tognelli
 GEOLOGO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da.....m.: 11.0-11.35
Camp. : 2 Cert. n°: 12 del : 16/1/12
V.A. 1 Qualità Campione (AGI 1977) Q5

Munsell Soil Color Charts: 10 YR 4/1 grigio scuro

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
Lunghezza (cm.) = 36

Peso di volume (A.G.I. 1994-C.N.R. B.U. XII N.63)

Peso fustella + terra (gr)	211,43	223,91	222,19
Volume fustella (cm ³)	72	72	72
Peso di volume γ kN/m ³	19,29	20,76	20,66

Valore medio kN/m ³	20,24
--------------------------------	-------

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da.....m.: 11.0-11.35
Camp. : 2 Cert. n° : 13 del : 16/1/12
V.A. : 1 Qualità Campione (AGI 1977) Q5

Munsell Soil Color Charts: 10 YR 4/1 grigio scuro

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
Lunghezza (cm.) = 36

Contenuto d'acqua (C.N.R. U.N.I. 10008)

Peso recipiente (gr)	9,61	5,57
Recipiente + campione umido (gr)	399,18	410,8
Recipiente + campione secco (gr)	345,74	355,31
umidità w (%)	15,9	15,9

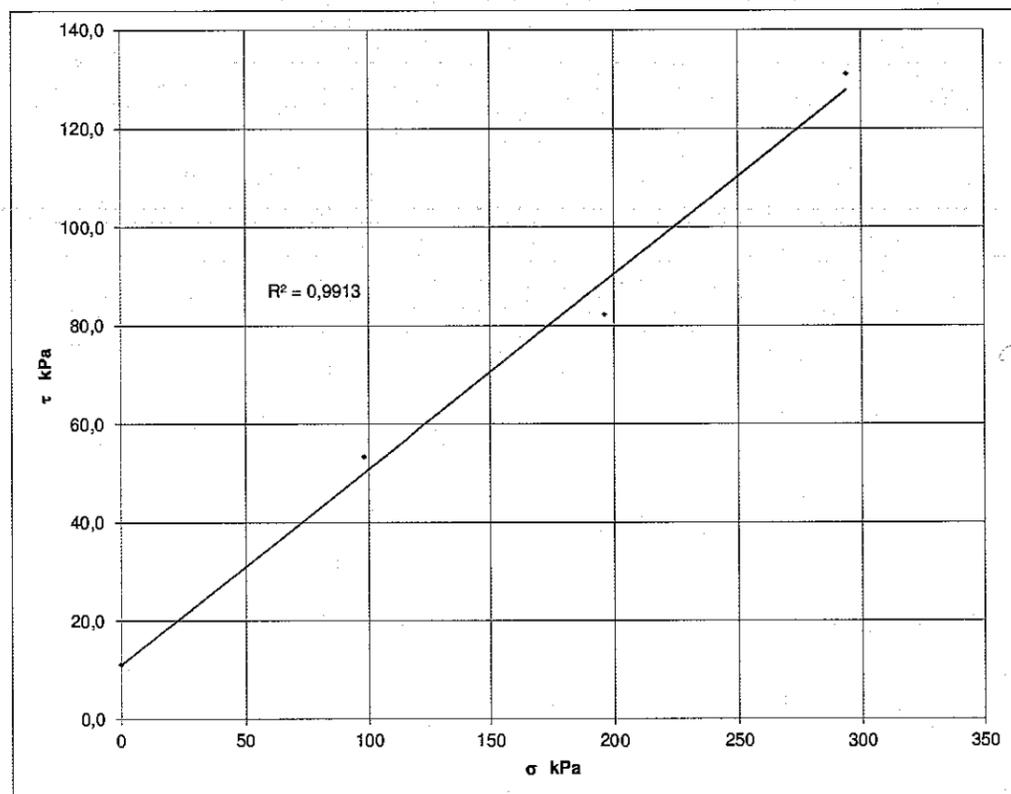
Valore medio w %	15,9
-------------------------	-------------

Dott. Paolo Tognelli
GEOLOGO

Direttore Laboratorio: Dott. Geologo Paolo Tognelli

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da 11.0-11.35
Camp. : 2 Qualità campione (AGI 1977) Q5



Coesione c' 11,1 kPa
Angolo d'attrito φ' 21,6 °

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi

Cantiere : Rif. Ruffolo

Sond. : 1 da 11.0-11.35 Cert. n° 14 del 16/01/12

Camp. : 2 V.A. 1 Qualità campione (AGI 1977) Q5

Provino 1				Provino 2				Provino 3			
Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ
mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa
0,1	0,0	5,1	50,6	0,2	0,0			0,1	0,0	4,7	119,7
0,2	20,6	5,2	50,3	0,3	24,4			0,2	16,4	4,8	119,4
0,3	24,2	5,3	50,0	0,4	30,0			0,2	21,9		
0,4	26,9	5,4	49,7	0,5	36,7			0,3	31,4		
0,4	29,7	5,5	49,4	0,6	42,5			0,4	41,7		
0,5	31,9	5,6	48,9	0,7	47,2			0,5	48,3		
0,6	34,2	5,7	48,9	0,8	51,9			0,6	51,1		
0,7	36,1			0,9	56,1			0,7	58,6		
0,8	37,8			1,0	59,7			0,8	61,4		
0,9	39,4			1,1	62,8			0,9	64,2		
1,0	40,8			1,2	65,8			0,9	71,1		
1,1	42,2			1,3	68,1			1,0	74,4		
1,2	43,1			1,3	70,6			1,1	80,6		
1,3	44,2			1,4	72,5			1,2	83,1		
1,3	45,0			1,5	73,6			1,3	88,1		
1,4	45,8			1,6	75,8			1,4	92,8		
1,5	46,4			1,7	76,4			1,5	97,5		
1,6	46,9			1,8	77,5			1,6	101,7		
1,7	47,5			1,9	79,7			1,6	105,6		
1,8	48,1			2,0	81,4			1,7	108,9		
1,9	48,3			2,1	81,7			1,8	112,2		
2,0	48,6			2,2	82,2			1,9	113,6		
2,1	49,2			2,3	82,2			2,0	115,0		
2,2	49,7			2,4	81,9			2,1	117,8		
2,3	50,0			2,5	80,6			2,2	120,3		
2,4	50,0			2,6	78,9			2,3	122,5		
2,5	50,3			2,7	78,3			2,4	124,7		
2,6	50,8			2,8	77,8			2,4	126,7		
2,7	51,4			2,9	77,5			2,5	128,1		
2,8	51,7			3,0	77,2			2,6	129,2		
2,9	52,2			3,1	76,9			2,7	130,0		
3,0	52,5			3,2	76,9			2,8	130,6		
3,1	53,1			3,3	76,9			2,9	130,8		
3,2	53,1			3,4	76,9			3,0	131,1		
3,3	53,3			3,5	76,9			3,1	131,1		
3,4	53,3			3,6	76,7			3,2	130,3		
3,5	53,3			3,7	76,4			3,3	127,8		
3,6	53,3			3,8	76,7			3,3	126,4		
3,7	53,1			3,8	76,7			3,4	125,6		
3,8	53,1			3,9	76,7			3,5	124,7		
3,9	53,1			4,0	76,1			3,6	123,9		
4,0	52,8							3,7	123,3		
4,1	52,5							3,8	122,8		
4,2	52,2							3,9	121,9		
4,3	52,2							4,0	121,7		
4,4	51,7							4,1	121,4		
4,5	51,7							4,2	121,1		
4,6	51,4							4,2	121,1		
4,7	51,4							4,3	120,8		
4,8	51,1							4,4	120,0		
4,9	51,1							4,5	119,7		
5,0	50,8							4,6	119,4		

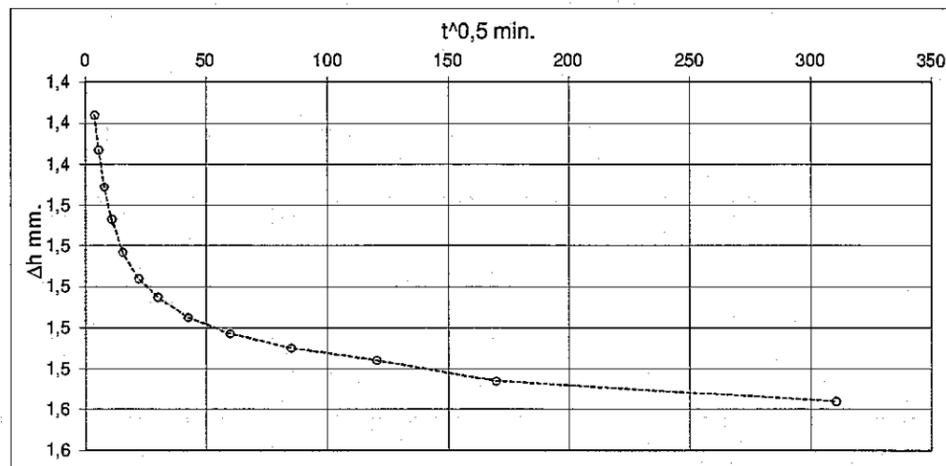
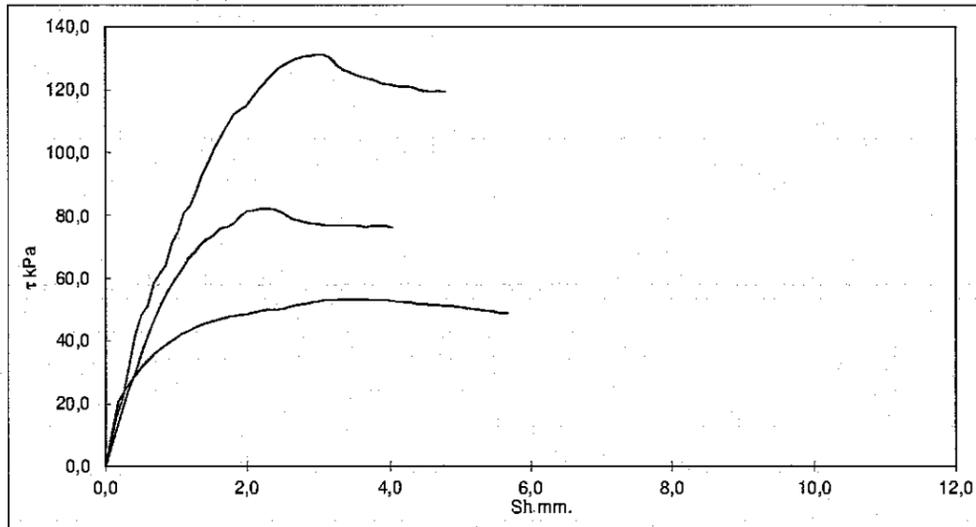
Dott. Paolo Tognelli

GEOLOGO

Direttore Laboratorio: Dott. Geologo Paolo Tognelli

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
 Cantiere : Rif. Ruffolo
 Sond. : 1 da 11.0-11.35 Cert. n° 14 del : 16/1/12
 Camp. : 2 V.A. 1 Qualità campione (AGI 1977) Q5



Velocità def. mm/min.	0,005	Altezza (mm)	20	Lato (mm)	60
Sezione provini (cm³)	36,00	Umidità iniziale %	19,0		

PROVINO	1	2	3
Abbassamento consolidazione ΔH mm	0,31	1,33	1,56
Abbassamento a rottura ΔrH mm	0,41	1,24	0,22
γ umido (kN/m³)	15,00	15,00	15,00
γ secco (kN/m³)	16,65	17,91	17,83
Umidità finale (%)	21,2	17,6	19,5
Tensione verticale σ kPa	98,1	196,1	294,2
Sforzo a rottura kPa	53,33	82,22	131,11

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
 Cantiere : Rif. Ruffolo
 Sond. : 1 Camp. : 3 13.0-13.35
 V.A. : 1 del : 16/1/12 Qualità campione (AGI 1977) Q5

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
 Lunghezza (cm.) = 51

Caratteristiche fisiche

	gr/cm ³	kN/m ³
Peso di volume naturale γ	2,014	19,7
Umidità naturale w (%)	17,8	
Peso specifico dei grani Gs	2,650	26,0
Densità secca Gd	1,709	16,8
indice dei vuoti e =	0,55	
Grado di saturazione Sr (%) =	86	
Porosità n % =	36	

Coeff. di permeabilità k (m/sec)

Parametri di resistenza al taglio

Taglio CD	ϕ' (°)	c' kg/cm ²	c' kPa
	15	0,49	47,59

Parametri Residui	ϕ_r (°)	cr kg/cm ²	cr kPa
Taglio CU	ϕ (°)	cu kg/cm ²	cu kPa

Prove triassiali

TX UU	ϕ (°)	cu kg/cm ²	cu kPa
TX CIU	ϕ (°) <td>c kg/cm² <td>c kPa</td> </td>	c kg/cm ² <td>c kPa</td>	c kPa
TX CID	ϕ' (°) <td>c' kg/cm² <td>c' kPa</td> </td>	c' kg/cm ² <td>c' kPa</td>	c' kPa

Limiti di Atterberg

Class. Casagrande =	
Limite Liquido WL % =	
Limite Plastico WP % =	
Indice di Plasticità IP =	
Indice di Consistenza Ic =	
Limite Ritiro WR % =	

Granulometria

% ghiaia	
% sabbia	
% limo	
% argilla	
CNR10006-AASHO	

Prova di compressione semplice ELL

cu kg/cm ²	cu kPa

Prove eseguite sul campione

umidità naturale w	X
peso volume γ	X
peso specifico Gs	-
limiti Atterberg LA	-
granulometria Gr	-
taglio diretto TD	X
edometria ED	-
permeabilità Pr	-
proctor PT	-
triassiale TX	-
compressione ELL	-

Prova di compressione edometrica

Indice compressibilità Cc	cv	k	E	E
Pressione	cm ² /sec	cm/sec	kg/cm ²	kPa
0 - 24,5				
24,5 - 49,0				
49,0 - 98,1				
98,1 - 196,1				
196,1 - 392,3				
392,3 - 784,5				
784,5 - 1569,1				
1569,1 - 3138,1				

Deformazione di rigonfiamento

Indice di ricomprensione
 Indice di rigonfiamento
 Proctor Standard
 w% optimum
 γ_d kN/m³ optimum

Committente : Dott. Massimo Marocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 Camp. : 3 13.0-13.35
V.A. : 1 del : 16/1/12 Qualità campione (AGI 1977) Q5

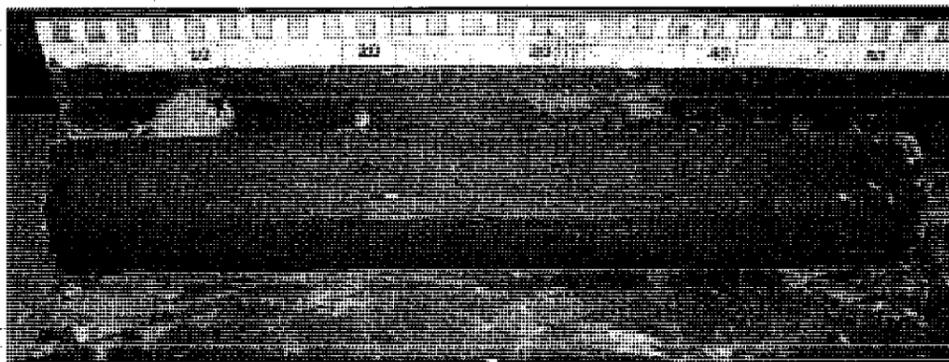
Apertura e descrizione del campione (ASTM 2488-AGI 1977) :
Argilla limosa leggermente sabbiosa compatta

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
Lunghezza (cm.) = 51

Lunghezza campione cm.	Prove da eseguire	PP kg/cm ²	VT kg/cm ²
0		4,30	
10	CD	4,30	
20		4,50	
30		4,00	
40		4,10	
50			
60			
70			

Munsell Soil Color Charts:

GLE Y1 4/1 grigio scuro



Dott. Paolo Tognelli
GEOLOGO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da.....m.: 13.0-13.35
Camp. : 3 Cert. n°: 15 del : 16/1/12
V.A. 1 Qualità Campione (AGI 1977 Q5

Munsell Soil Color Charts: GLEY1 4/1 grigio scuro

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
Lunghezza (cm.) = 51

Peso di volume (A.G.I. 1994-C.N.R. B.U. XII N.63)

Peso fustella + terra (gr)	271,92	220,84	256,58
Volume fustella (cm ³)	75,12	75,12	75,12
Peso di volume γ kN/m ³	19,70	20,01	19,54

Valore medio kN/m ³	19,75
--------------------------------	-------

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da.....m.: 13.0-13.35
Camp. : 3 Cert. n°: 16 del : 16/1/12
V.A. : 1 Qualità Campione (AGI 1977) Q5

Munsell Soil Color Charts: GLEY1 4/1 grigio scuro

Tipo di campione : Indisturbato in : Fustella
Lunghezza (cm.) = 51

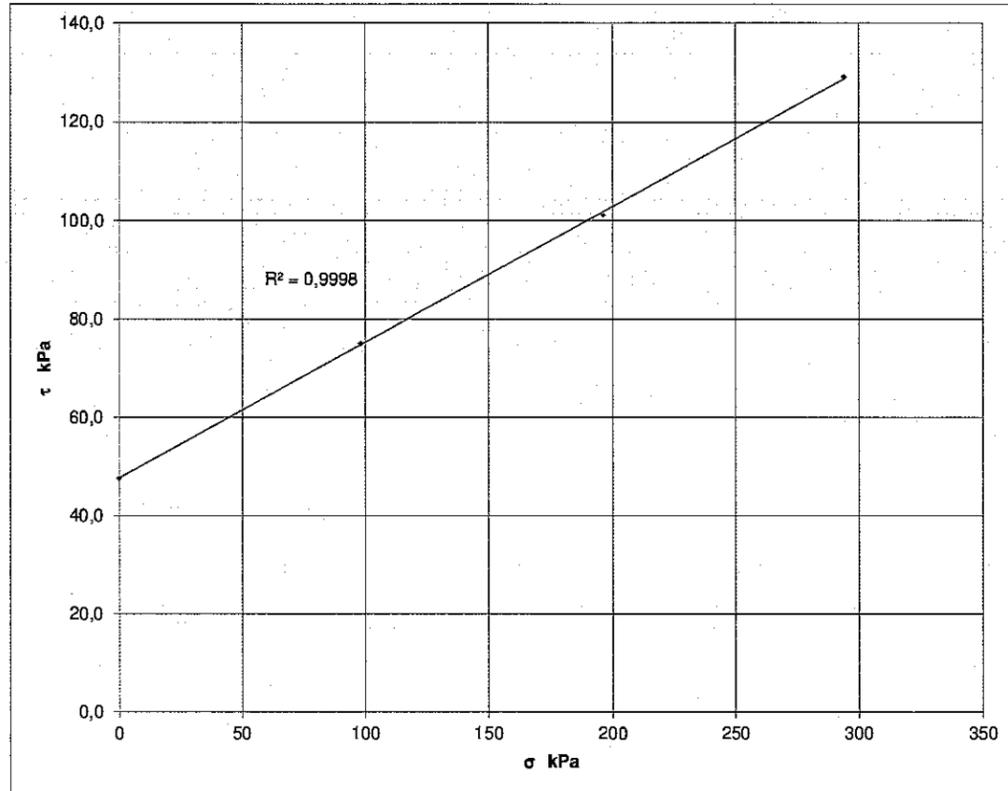
Contenuto d'acqua (C.N.R. U.N.I. 10008)

Peso recipiente (gr)	9,04	9,51
Recipiente + campione umido (gr)	504,26	529,35
Recipiente + campione secco (gr)	429,33	450,55
umidità w (%)	17,8	17,9

Valore medio w %	17,8
------------------	------

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente : Dott. Massimo Marocchesi
Cantiere : Rif. Ruffolo
Sond. : 1 da 13.0-13.35
Camp. : 3 Qualità campione (AGI 1977) Q5



Coesione c' 47,6 kPa

Angolo di attrito ϕ 15,4 °

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente : Dott. Massimo Marrocchesi

Cantiere : Rif. Ruffolo

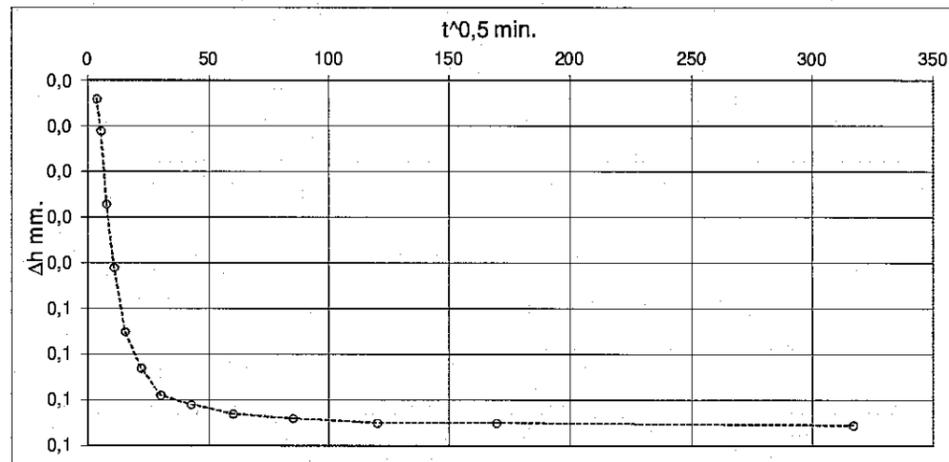
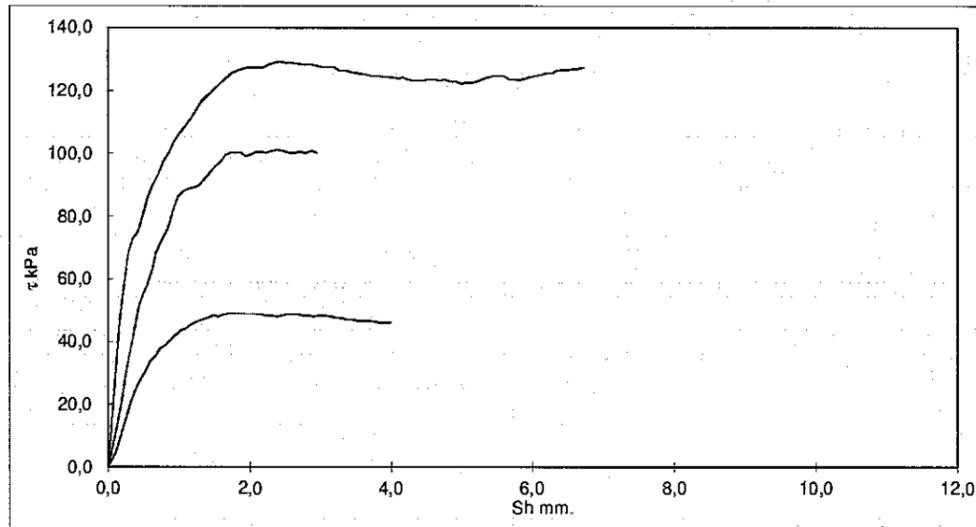
Sond. : 1 da 13.0-13.35 Cert. n° 17 del 16/01/12

Camp. :3 V.A. 1 Qualità campione (AGI 1977) Q5

Provino 1				Provino 2				Provino 3			
Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ	Sh	τ
mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa	mm.	kPa
0,1	0,0	3,9	46,1	0,1	0,0			0,1	0,0	3,9	124,4
0,1	4,7	4,0	46,1	0,1	11,4			0,1	33,8	3,9	124,4
0,2	10,7			0,2	20,5			0,2	46,4	4,0	124,1
0,3	16,4			0,2	29,4			0,2	57,2	4,1	123,8
0,3	20,5			0,3	36,0			0,3	68,5	4,2	124,1
0,4	24,3			0,4	42,9			0,4	72,9	4,3	123,5
0,5	27,8			0,4	50,8			0,4	75,1	4,3	123,1
0,5	30,3			0,5	55,3			0,5	80,2	4,4	123,1
0,6	33,2			0,6	58,4			0,6	85,9	4,5	123,1
0,7	35,7			0,6	63,2			0,6	89,4	4,5	123,5
0,7	37,9			0,7	68,5			0,7	93,5	4,6	123,5
0,8	39,2			0,8	72,0			0,8	97,3	4,7	123,1
0,9	40,7			0,8	76,1			0,9	100,1	4,8	123,5
1,0	42,3			0,9	81,1			0,9	103,6	4,6	123,5
1,0	43,6			1,0	85,9			1,0	106,4	4,7	123,1
1,1	44,5			1,0	87,8			1,1	108,6	4,8	123,5
1,2	45,5			1,1	88,7			1,2	111,1	4,9	122,8
1,3	46,4			1,2	89,0			1,2	113,4	4,9	122,8
1,3	47,0			1,3	89,7			1,3	116,2	5,0	122,2
1,4	47,7			1,3	91,6			1,4	118,1	5,1	122,5
1,5	48,3			1,4	93,5			1,5	119,4	5,2	122,5
1,5	48,0			1,5	95,7			1,5	121,2	5,2	122,8
1,6	48,6			1,6	97,3			1,6	122,8	5,3	123,5
1,7	48,9			1,6	99,5			1,7	124,1	5,4	124,1
1,8	48,9			1,7	100,1			1,7	125,7	5,5	124,7
1,8	48,9			1,8	100,1			1,8	126,3	5,5	124,7
1,9	48,9			1,9	100,1			1,9	126,9	5,6	124,7
2,0	48,9			1,9	99,1			2,0	127,2	5,7	123,5
2,1	48,9			2,0	99,8			2,0	127,2	5,8	123,5
2,2	48,6			2,1	100,4			2,1	127,2	5,8	123,5
2,2	48,3			2,2	100,4			2,2	127,2	5,9	123,8
2,3	48,3			2,2	100,1			2,3	128,2	6,0	124,4
2,4	48,0			2,3	100,7			2,3	128,8	6,1	124,7
2,4	48,3			2,4	101,0			2,4	129,1	6,1	125,0
2,5	48,6			2,5	100,7			2,5	128,8	6,2	125,7
2,6	48,6			2,6	100,1			2,6	128,8	6,3	125,7
2,7	48,6			2,6	100,1			2,7	128,5	6,3	126,3
2,8	48,3			2,7	100,4			2,7	128,2	6,4	126,6
2,8	48,3			2,8	100,1			2,8	128,2	6,5	126,6
2,9	48,0			2,9	100,7			2,9	128,2	6,6	126,9
3,0	48,3			2,9	100,1			3,0	127,9	6,6	126,9
3,1	48,3							3,0	127,6	6,7	127,2
3,1	48,0							3,1	127,6		
3,2	47,7							3,2	127,6		
3,3	47,4							3,3	126,3		
3,4	47,0							3,4	126,3		
3,5	47,0							3,4	126,0		
3,5	46,7							3,5	125,7		
3,6	46,7							3,6	125,4		
3,7	46,7							3,6	125,0		
3,8	46,4							3,7	124,7		
3,8	46,1							3,8	124,7		

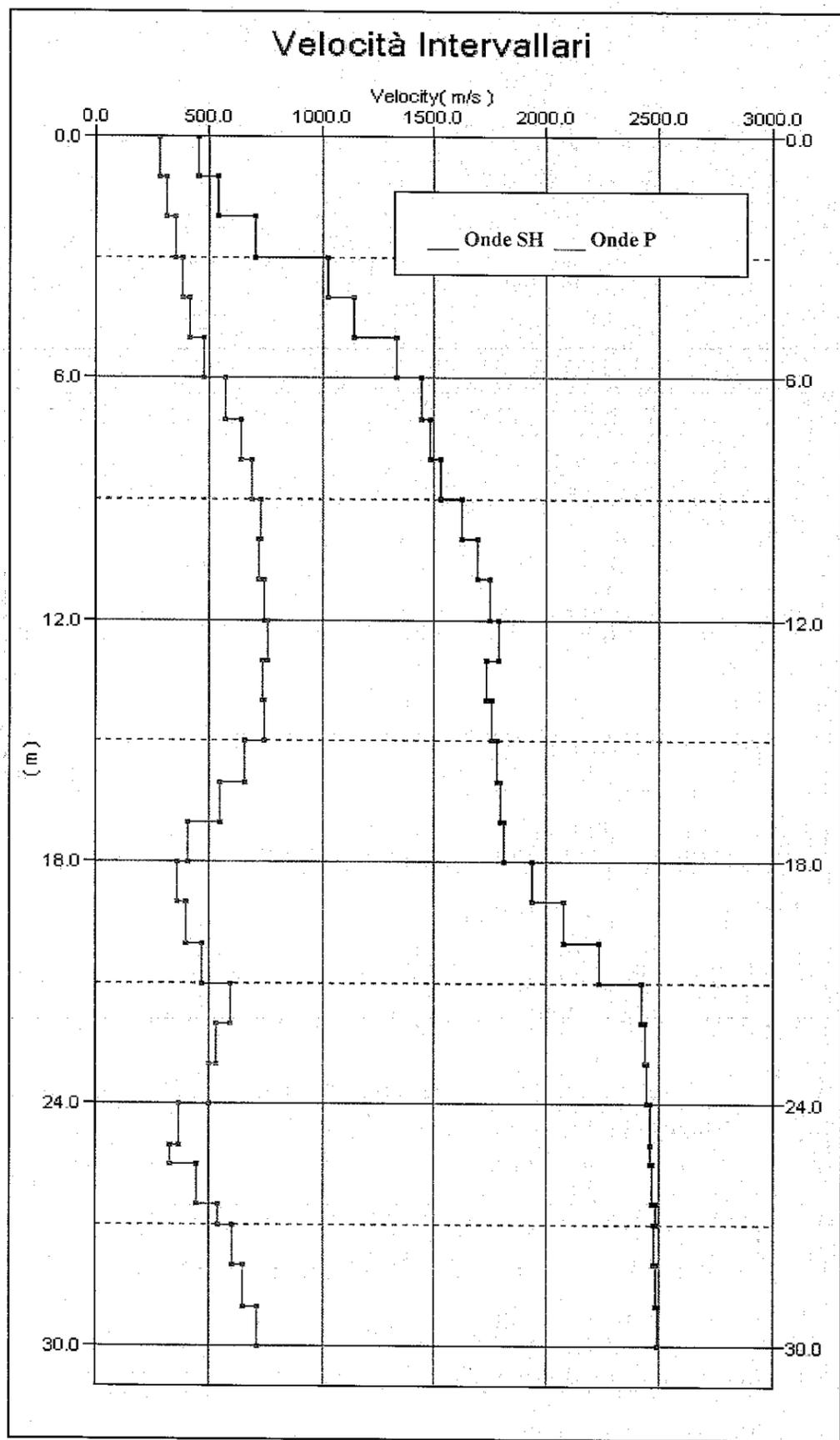
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

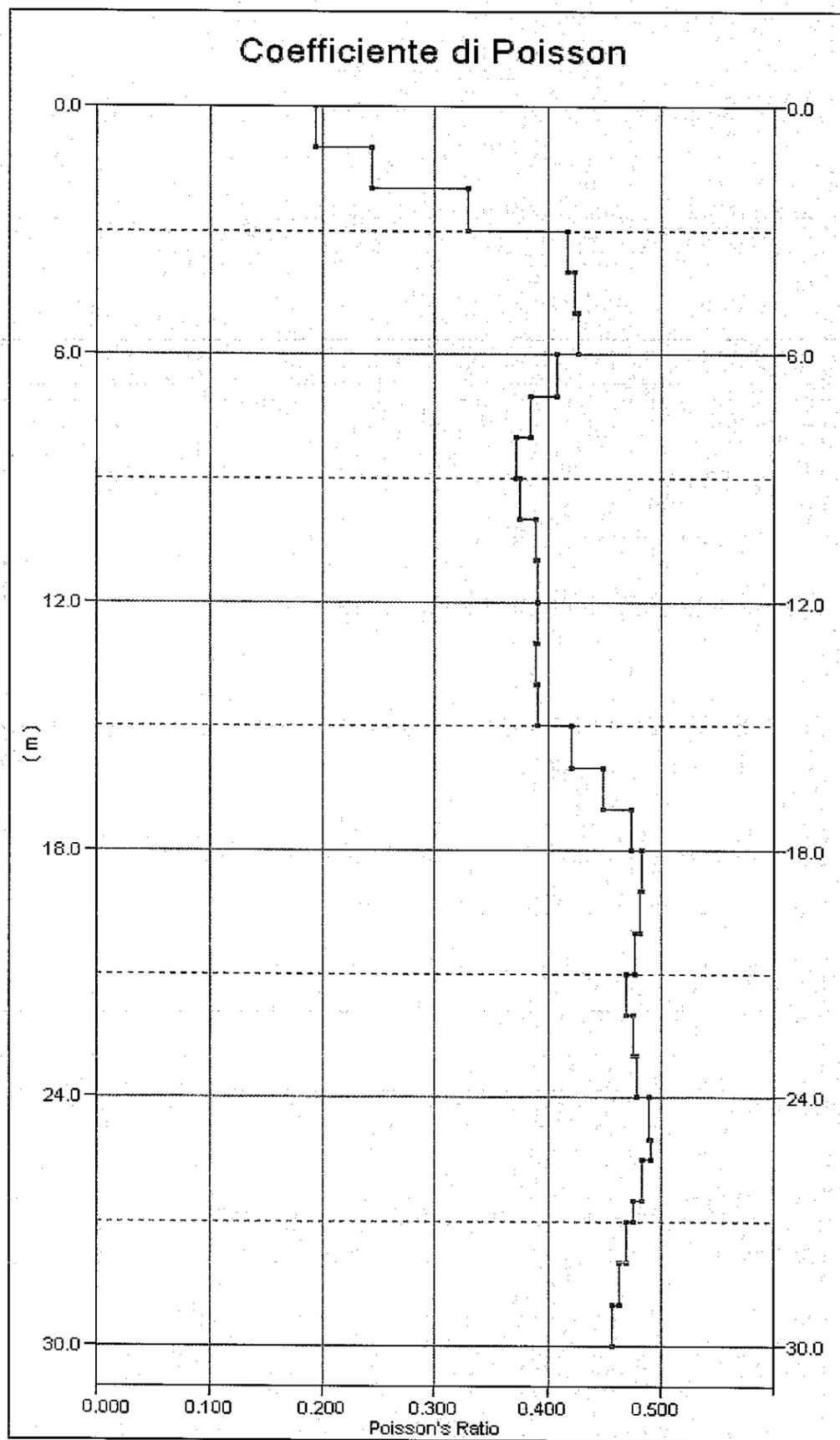
Committente : Dott. Massimo Marrocchesi
 Cantiere : Rif. Ruffolo
 Sond. : 1 da 13.0-13.35 Cert. n° 17 del : 16/1/12
 Camp. : 3 V.A. 1 Qualità campione (AGI 1977) Q5



Velocità def. mm/min.	0,005	Altezza (mm)	25	Diametro (mm)	63
Sezione provini (cm³)	31,67	Umidità iniziale %	19,0		

PROVINO	1	2	3
Abbassamento consolidazione ΔH mm	0,06	0,56	0,54
Abbassamento a rottura ΔrH mm	0,05	0,19	0,46
γ umido (kN/m³)	15,00	15,00	15,00
γ secco (kN/m³)	16,72	16,98	16,58
Umidità finale (%)	21,8	20,4	20,1
Tensione verticale σ kPa	#RIFI	#RIFI	#RIFI
Sforzo a rottura kPa	75,00	101,04	129,14





Viadotto Riluogo - Area 1 NORD LOTTO 5

Committente: **Studio Speri S.r.l. - Roma**



Indagini geofisiche finalizzate alla caratterizzazione del sottosuolo
e alla determinazione del parametro V_{s30}

Relazione Tecnica

Relazione n.: 1159/09
Redatto da: Dott. Luigi Benente
Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi
Data: Marzo 2009
Revisione: 0

1	INTRODUZIONE	1
2	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	2
2.1	Indagine sismica a rifrazione	2
2.2	Indagine down hole	2
3	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO – RISULTATI DELL’INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	3
4	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO – RISULTATI DELL’INDAGINE DOWN HOLE	4
5	RISULTATI OTTENUTI	4

In allegato:

Appendice A Cenni sulla metodologia sismica a rifrazione

Appendice B Cenni sulla metodologia sismica down hole

Figure:

Figura 1 Ubicazione indagini sismiche e sondaggi geognostici

Figure 2 ÷ 3 Risultati indagine sismica a rifrazione

Figure 4 ÷ 5 Risultati indagine sismica down hole

Figure 6 Documentazione fotografica

1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini geofisiche realizzate nel mese di Febbraio presso il viadotto Riluogo della S.S. 223, nell'ambito della verifiche tecniche dei livelli di sicurezza sismica (OPCM 3274/2003 e OPCM 3362/2004 e s.m.i).

Scopo delle indagini riguarda pertanto due aspetti:

1. la classificazione sismica dei suoli, ovvero la valutazione del parametro V_{s30} per il calcolo dell'azione sismica di progetto;
2. la caratterizzazione lito-stratigrafica dei materiali del sottosuolo.

In accordo con la Committenza, sono state realizzate le seguenti indagini:

- ⇒ N. 2 sezioni tomografiche di velocità in onde P e in onde S.
- ⇒ N. 1 prova down hole e relativo calcolo del parametro V_{s30} ;

L'ubicazione delle indagini geofisiche è riportata in Figura 1. I risultati di tali indagine (illustrati nelle Figure 2÷5) sono di seguito commentati.

2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

2.1 Indagine sismica a rifrazione

L'acquisizione delle linea sismica a rifrazione è stata effettuata con un sismografo a 24 canali dotato di un convertitore analogico digitale a 24 bit (unità *Daq Link II*, Seismic Source, USA).

Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con il computer portatile su cui è installato un apposito programma (*VibraScope*, Seismic Source, USA) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate dai 24 geofoni.

I geofoni utilizzati per l'indagine sismica a rifrazione in onde P sono di tipo "verticale" con frequenza 40 hz, mentre per le onde di taglio (onde S), sono stati utilizzati gli Swyphones a frequenza naturale pari a 20 Hz.

La generazione del segnale sismico è stata realizzata con mazza da 8 Kg dotata di interruttore inerziale in 7 punti di energizzazione omogeneamente distribuiti lungo la linea: per generare onde di taglio è stata utilizzata una speciale trave metallica opportunamente vincolata al terreno e percossa dalla medesima mazza.

Per l'elaborazione dei dati sismici a rifrazione si è proceduto al riconoscimento e raccolta dei dati dei primi arrivi (software *Reflexw*, Sandmeier Software, D). Successivamente i dati di primo arrivo sono stati elaborati con il metodo GRM (General Reciprocal Method) accoppiato ad una inversione tomografica su una griglia di nodi equispaziati per una modellazione della distribuzione delle velocità delle onde di compressione nel sottosuolo (software *Rayfract*, Intelligent Resources Inc., CDN). Il metodo dell'inversione tomografica consente (con un sufficiente numero di scoppi) di individuare anche eventuali inversioni di velocità (che costituiscono il limite della prospezione sismica a rifrazione).

2.2 Indagine down hole

Tale metodo si riferisce alla misura dei tempi di percorso delle onde di taglio e/o di compressione con lo scopo di ottenere dei profili delle onde sismiche con la profondità. Essa consiste nel produrre sulla superficie del terreno una perturbazione mediante una sorgente meccanica e nel misurare il tempo d'arrivo delle onde dirette, P ed S, alle varie profondità all'interno di un foro opportunamente predisposto. La strumentazione base per l'esecuzione di una prova down-hole è costituita da una sorgente di vibrazioni, un sistema di trigger, un ricevitore e un sistema di acquisizione dati per l'elaborazione dei segnali elettrici raccolti dal ricevitore.

Nel caso particolare sono stati utilizzati gli strumenti nel seguito elencati:

- un geofono tridimensionale da foro
- energizzazione con mazza da 10 kg su piastra (Vp) e trave (Vs)
- un sistema multicanale a 24 canali dotato di un convertitore analogico digitale a 24 bit (unità "ECHO 12-24/2002 Seismic Unit).
- Un dispositivo di trigger per determinare l'inizio della registrazione (trigger on time break)

3 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO – RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

In accordo con la committenza sono state acquisite n°2 sezioni di sismica a rifrazione in onde P e S (ubicazione riportata in Figura 1), con le seguenti caratteristiche:

ID Linea	Canali	Spaziatura sensori [m]	Stesa sensori [m]	Stesa totale* [m]	n° scoppi	Down hole
SIS 1	24	4	92	98	7	TR 1-2
SIS 2	24	3	69	75	7	-

* la lunghezza totale considera la distanza delle basi di energizzazione esterne.

I dati delle velocità delle onde di compressione Vp e delle onde di taglio Vs (congruenti in termini di valori e di profondità tra le sezioni) possono essere raggruppati in tre intervalli:

Strato	Velocità onde P [m/s]	Scala cromatica	Velocità onde S [m/s]	Scala cromatica
1	< 1000 m/s	rosa - viola	Vs < 200 m/s	blu scuro - azzurro
2	1000 < Vp < 2500 m/s	azzurro - verde	200 < Vs < 500 m/s	azzurro - marrone
3	Vp > 2500 m/s	giallo - rosso - blu	Vs > 500 m/s	marrone - giallo

4 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO – RISULTATI DELL'INDAGINE DOWN HOLE

I risultati dell'elaborazione sono riportati nella Figura 4 (dromocrone e sezioni verticali di velocità) e Figura 5 (parametri dinamici e Vs 30).

IL risultato della prova down hole realizzata ha evidenziato il seguente valore di Vs₃₀ :

ID Foro	Vs 30 Calcolato		Categoria di suolo
RILUOGO	orizzontale Sx	308.1	C
	orizzontale Sy	307.6	

5 RISULTATI OTTENUTI

Le sezioni tomografiche di velocità delle onde P e S hanno messo in luce la presenza di una situazione lito-stratigrafica caratterizzata da:

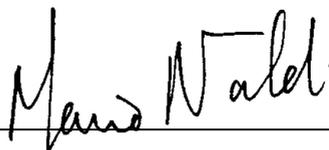
- ⇒ **Terreni scarsamente addensati** con spessore fino a ca. 9 metri – strato 1
- ⇒ **Terreni mediamente addensati** (tra i 9-15 metri ca. di profondità) con grado di consistenza gradualmente crescente con la profondità – strato 2
- ⇒ **Terreni addensati** oltre i 18 metri di profondità Vp > 2500 m/s e Vs > 400 m/s (strato 3).

Relazione redatta da:

Dott. Luigi Benente



Controllata da:
Dott. Geol. Mario Naldi



FIGURE



VIADOTTO RILUOGO

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Foto aerea (Google earth)



Legenda

-  Stendimenti sismici a rifrazione
 -  Sondaggi geognostici
- RILUOGO**

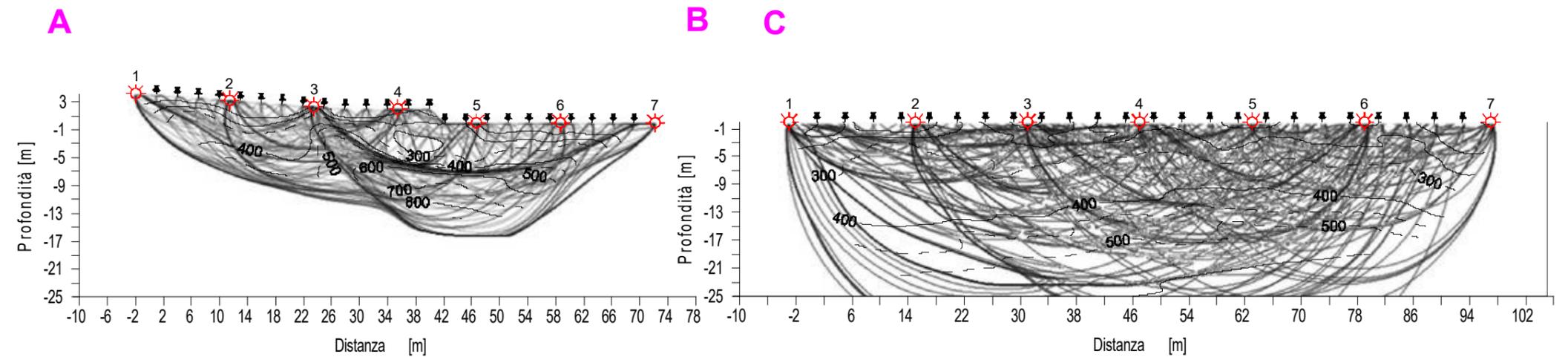
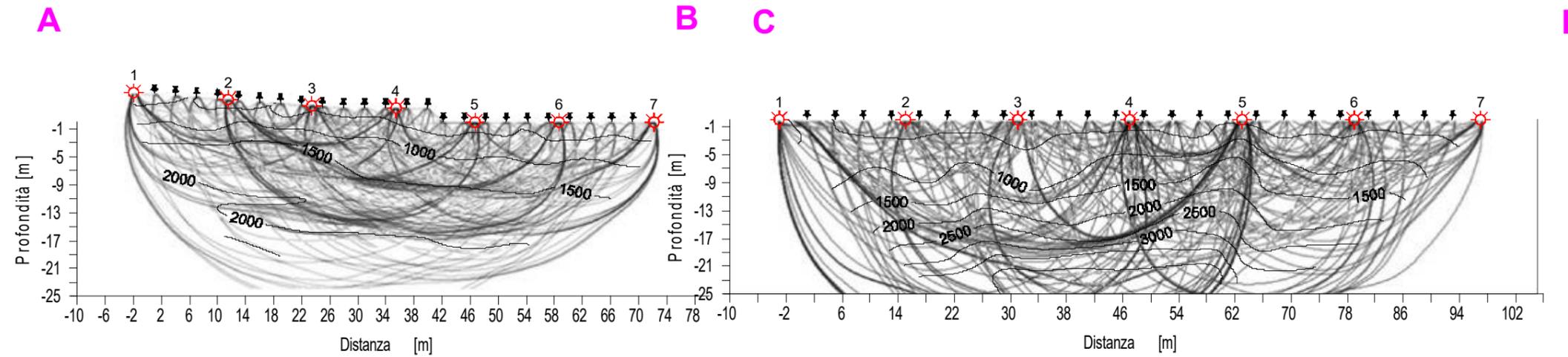
Scala grafica



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente		
Committente:	Studio Speri S.r.l	
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1159/10	1

VIADOTTO RILUOGO

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

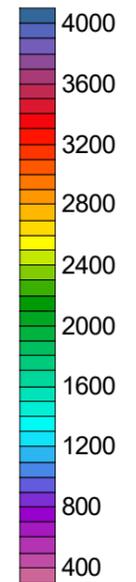


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente		
		Committente:
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1159/10	2

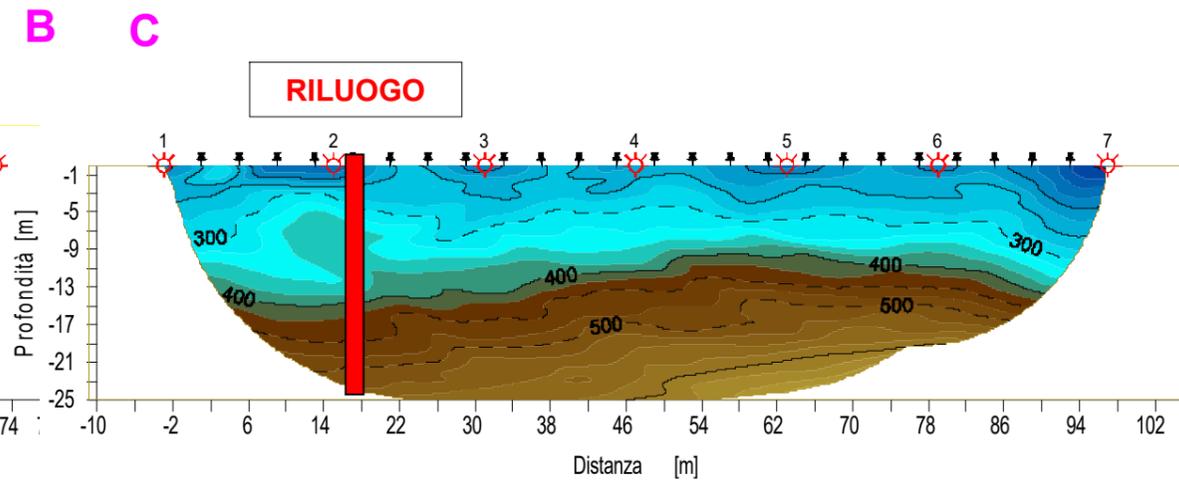
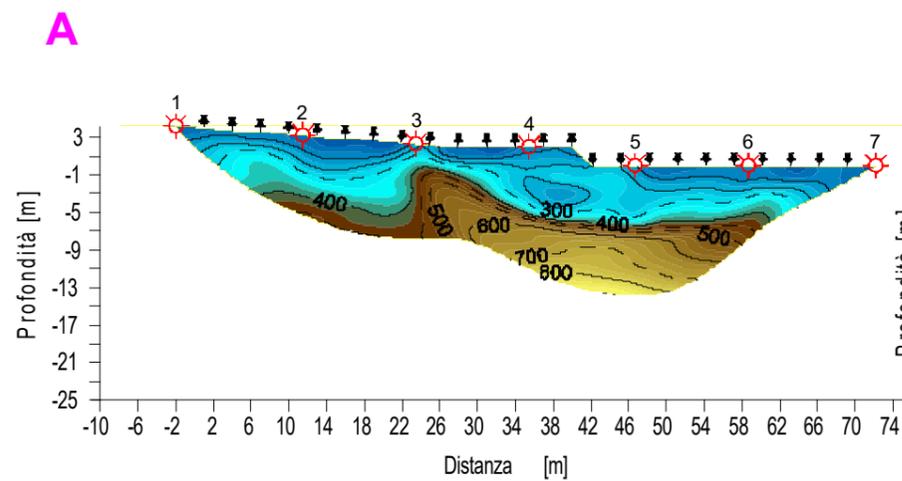
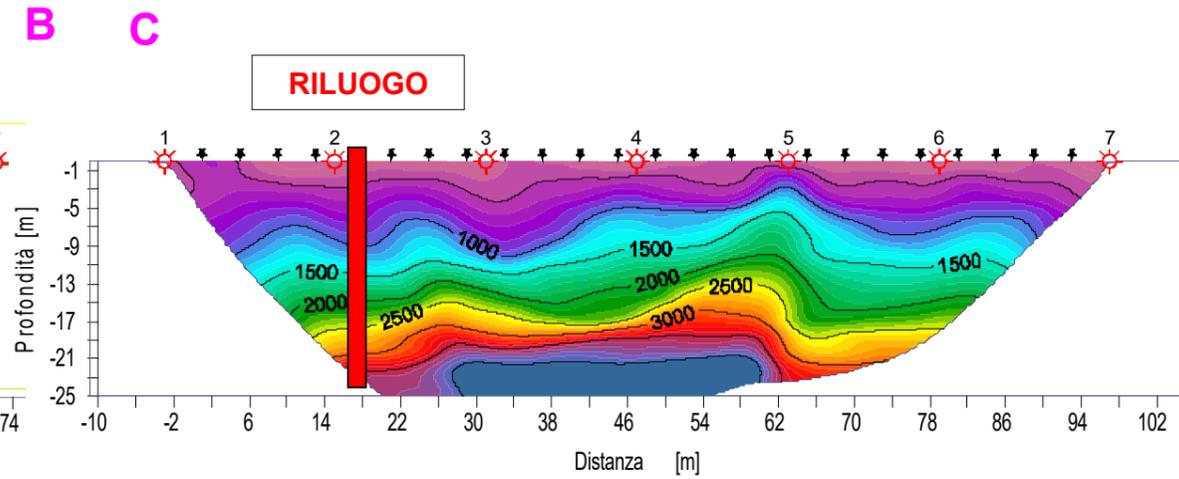
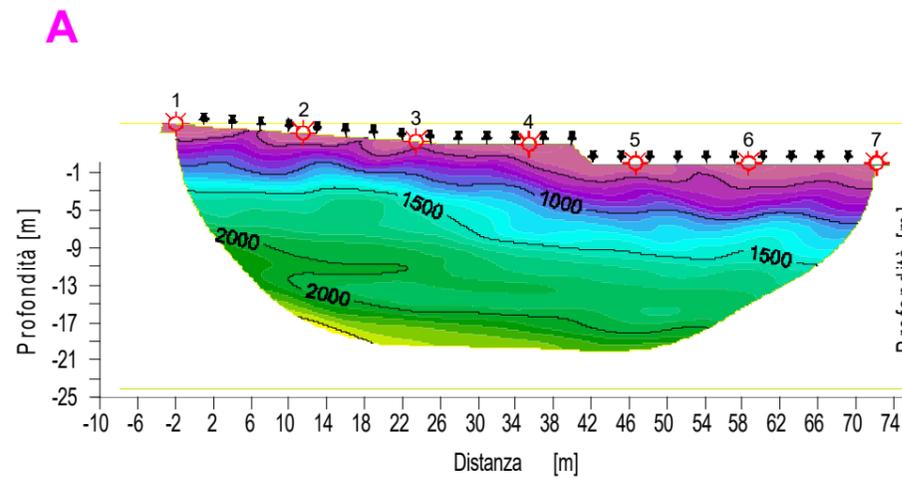
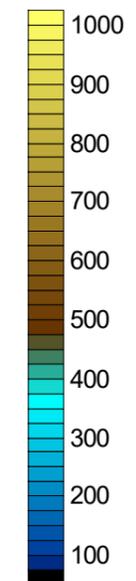
VIADOTTO RILUOGO

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

Scale dei colori
Velocità onde P [m/s]



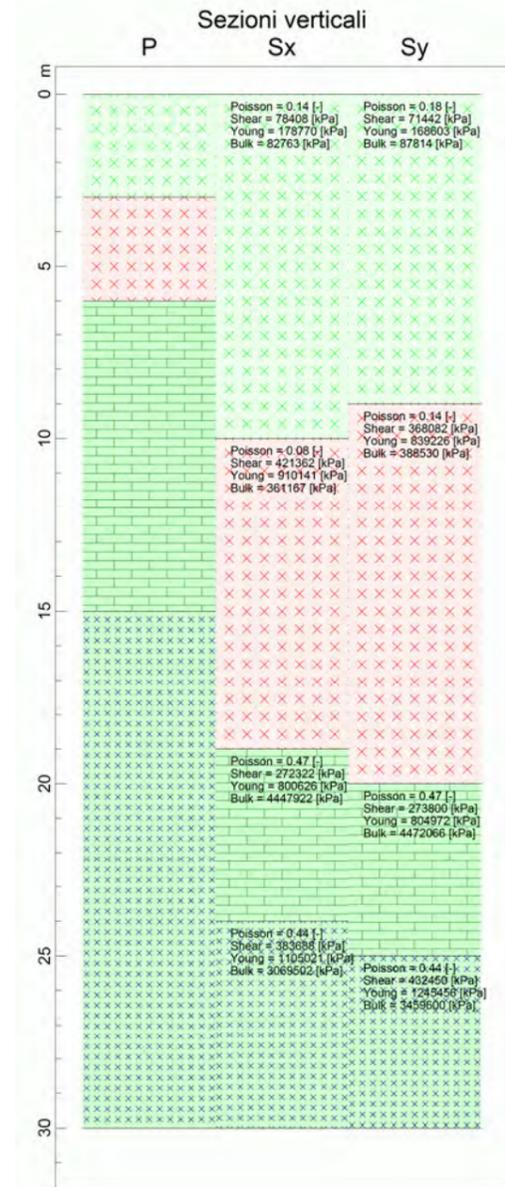
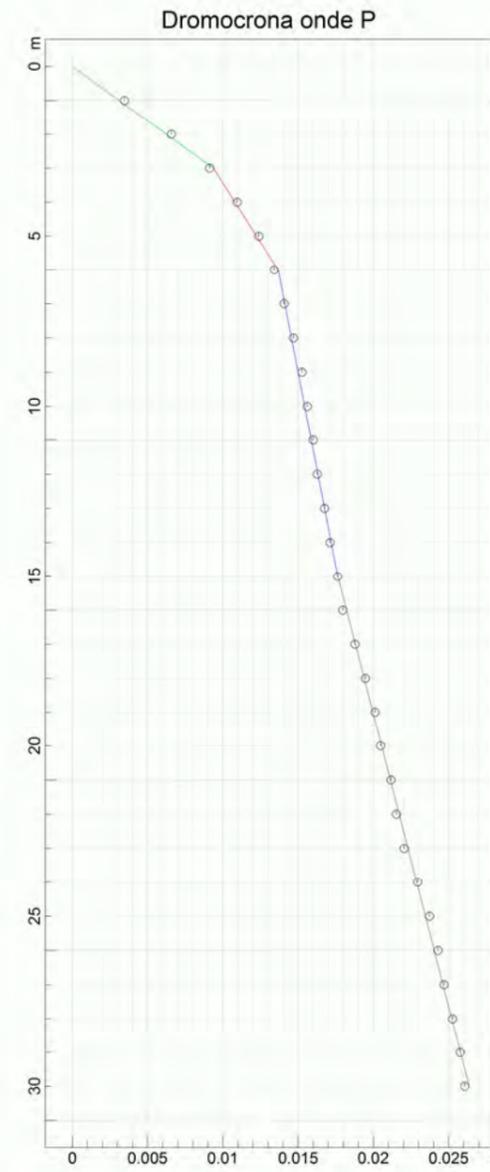
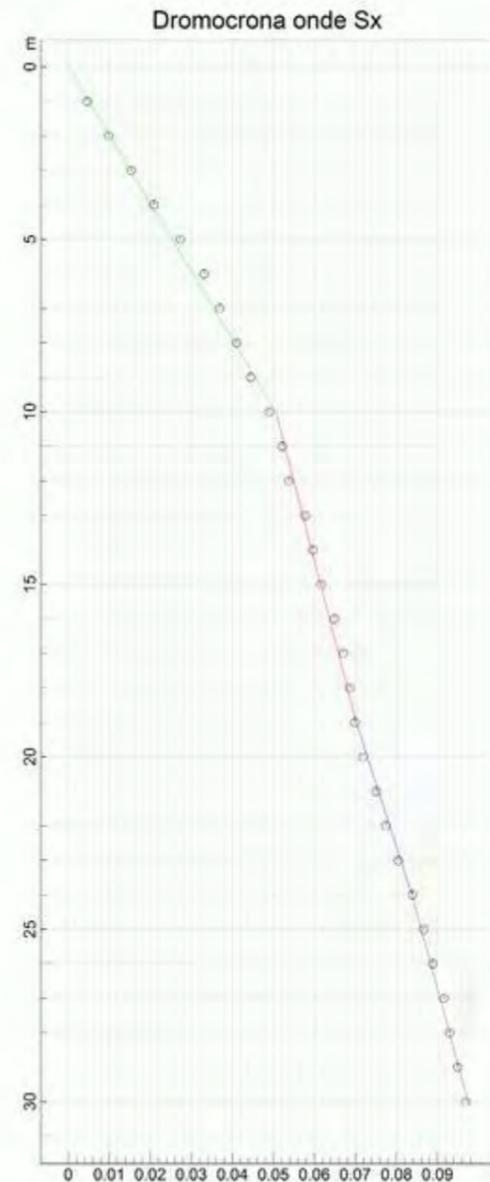
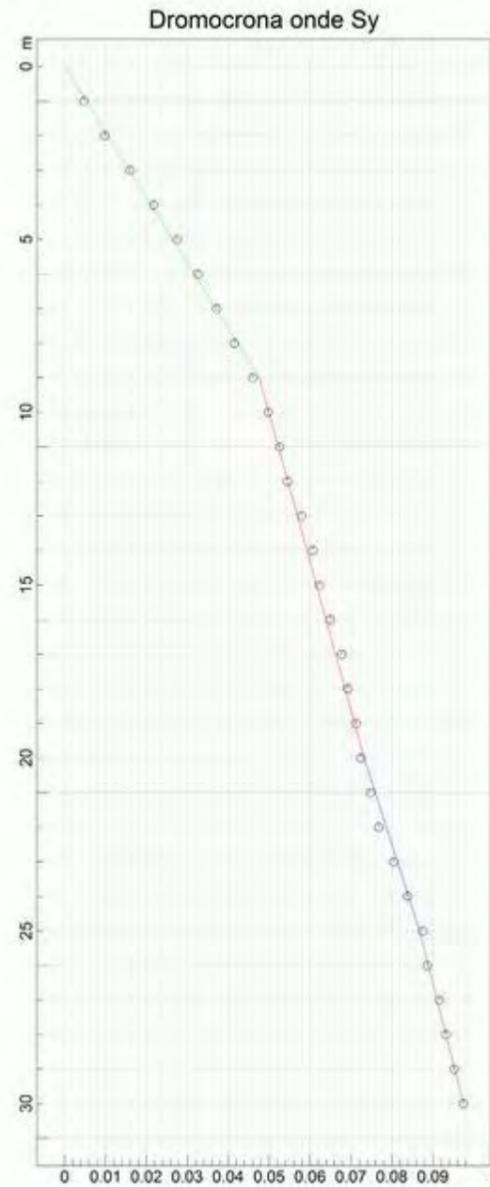
Velocità onde S [m/s]



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1159/10
Figura:	3

VIADOTTO RILUOGO

Prove Down Hole – Dromocrone e Vs 30 calcolato – Foro TR 1-2



P	320 m/s	P	697 m/s	P	2268 m/s	P	1718 m/s	Vs30	
Sx	198 m/s	Sx	459 m/s	Sx	369 m/s	Sx	438 m/s		308.1 m/s
Sy	189 m/s	Sy	429 m/s	Sy	370 m/s	Sy	465 m/s		307.6 m/s

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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	308.1
		orizzontale Sy	307.6

T S Techgea Servizi
Geofisica Geologia Ambiente

Committente:	Studio Speri S.r.l	
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1159/10	4

VIADOTTO RILUOGO

Prove Down Hole – parametri dinamici e Vs 30 calcolato – Foro TR 1-2

PARAMETRI ONDE P		
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	2	262
2	5	736
3	23	1727
4	30	1421

PARAMETRI ONDE SX						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	10	198	0.14	78408.0	178770	82763.0
2	19	459	0.08	421362..	910141	361167..
3	24	369	0.47	272322..	800626	4447922.0
4	30	438	0.44	383688..	1105021	3069502.0

PARAMETRI ONDE SY						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	2	137	0.26	37538.0	94595.0	65690.0
2	8	224	0.42	100352..	284999..	593747..
3	18	292	0.47	170528..	501352..	2785288.0
4	30	589	0.35	693842..	1873373.0	2081525.0



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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	308.1
		orizzontale Sy	307.6

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1159/10
Figura: 5	

VIADOTTO RILUOGO

Documentazione fotografica



Strumentazione utilizzata:

- Daqlink II 24 bit System
- 24 geofoni a 40 Hz (onde P)
- 24 geofoni a 20 Hz SWYPHONES (onde S)
- Mazza strumentata da 8 kg



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente		
Committente:	Studio Speri S.r.l.	
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1159/10	6

APPENDICE A

Cenni sulla metodologia Sismica a Rifrazione



CENNI TEORICI SULLE INDAGINI GEOSISMICHE A RIFRAZIONE

Il rilievo sismico a rifrazione di onde P è un metodo di indagine basato sulla misura dei tempi di percorso che le onde elastiche, generate nel terreno in un punto-sorgente, impiegano per raggiungere dei ricevitori (geofoni) disposti sulla superficie del terreno ed allineati con il punto di energizzazione. La distanza tra i geofoni e quella del punto di energizzazione sono scelte in base allo spessore ed ai tipi di materiale che si vogliono indagare.

Le onde elastiche che si propagano in profondità e vengono in parte deviate (rifratte) lungo l'interfaccia che separa due mezzi a differente impedenza acustica (v_1 , v_2) ed in parte proseguono verso il basso finché l'energia viene completamente assorbita dal mezzo in cui si propaga.

L'effetto di queste onde è la formazione di vibrazioni che vengono captate da sensori posti sulla superficie, generalmente elettromagnetici, in grado di trasformare la sollecitazione meccanica, che subisce la massa mobile del magnete, in un segnale elettrico che, debitamente amplificato, viene riprodotto su monitor e memorizzato su supporto informatico.

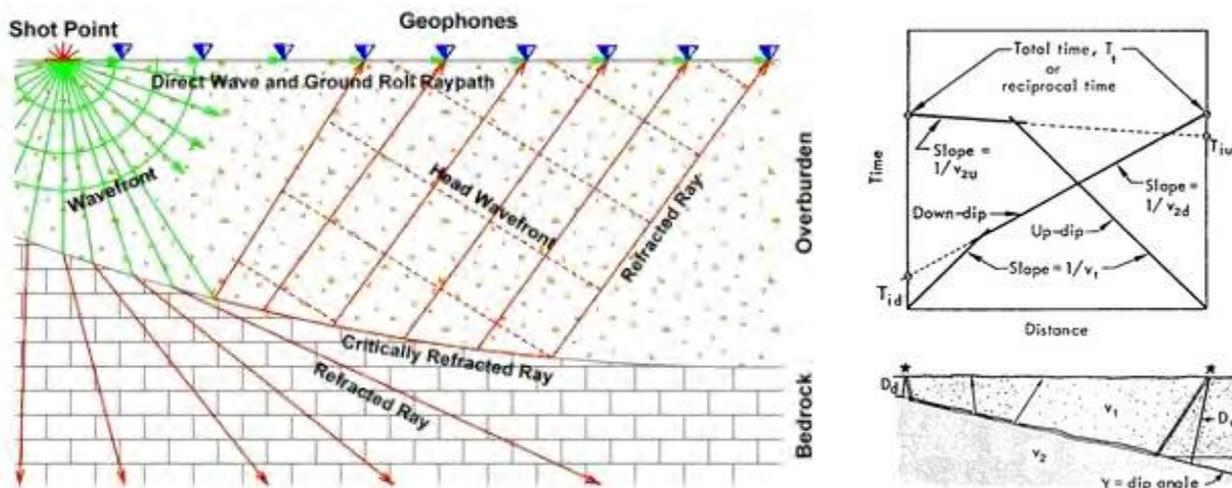


Figura 1 – Modello di propagazione dei fronti d'onda nei raggi rifratti.

Con i tempi di percorso rilevati mediante i geofoni e le distanze degli stessi dai punti di energizzazione si tracciano dei diagrammi tempi-distanze (dromocrone) che permettono di calcolare sia la velocità di propagazione delle onde di compressione P, sia la profondità e lo spessore dei terreni che sono stati attraversati dalle onde sismiche.

L'interpretazione delle dromocrone consente di ricavare delle sezioni sismiche che schematizzano la distribuzione della velocità in funzione della profondità.

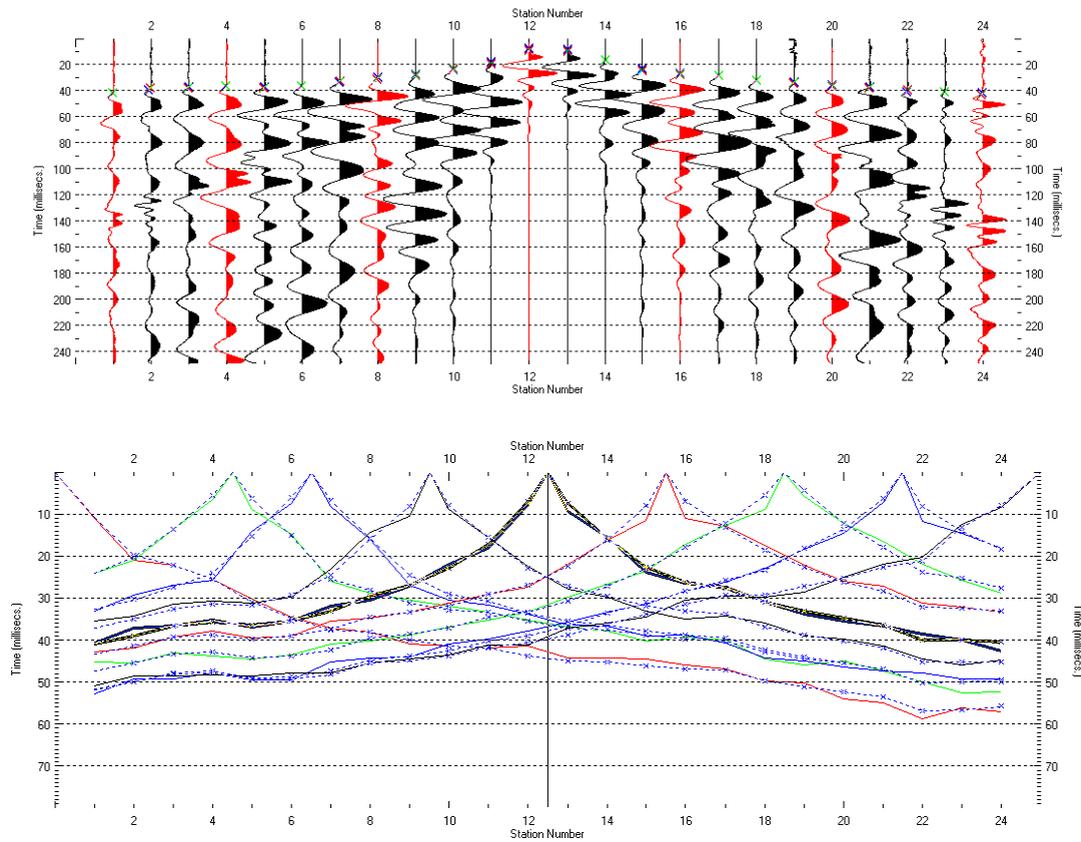


Figura 2 – Sismogramma e dromocrone

Dall'analisi delle dromocrone è possibile definire il numero dei sismostrati presenti nel sottosuolo (ovviamente per la finestra temporale adottata che è funzione della lunghezza dello stendimento e della quantità di energia utilizzata). È importante sottolineare che la sismica a rifrazione funziona solo per velocità crescenti. L'interpretazione per la risoluzione geometrica dei sismostrati (profondità e velocità) si avvale di diverse metodologie di calcolo dalle più semplici procedure dirette (Hagedoorn, 1959; Barry, 1967), seguendo le leggi generali dell'ottica, a quelle più complesse sia 1D che 2D che elaborano i dati mediante la tecnica del GRM (Palmer, 1980), del Ray-tracing o della tomografia (Hampson & Russell, 1984; Olsen, 1989). La finalità della tomografia è la dettagliata esplorazione del modello di distribuzione della velocità in un mezzo. Essa si basa sui primi arrivi ottenuti per set plurimi di coppie sorgente-ricevitore: la sola limitazione è quella che i raggi sismici formino una rete completa e cioè, idealmente, ciascun punto del mezzo investigato dovrebbe essere attraversato dai raggi in tutte le direzioni.

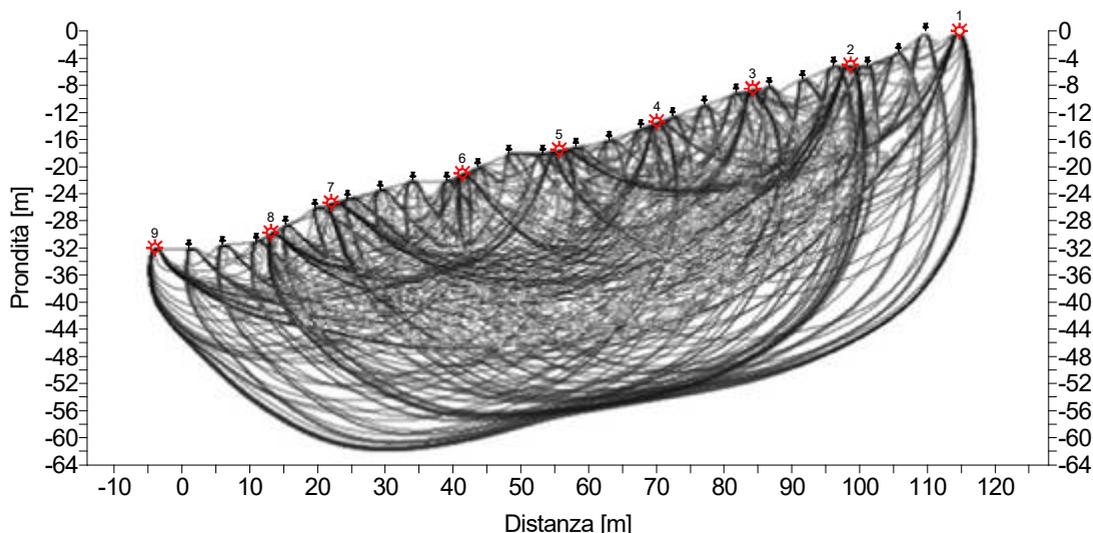


Figura 2 – Copertura raggi sismici

L'analisi dei raggi sismici con un programma di inversione tomografica discretizza il modello fisico e restituisce un modello di distribuzione delle velocità delle onde di compressione P (isotache espresse in m/s) coerente con il modello geologico del sottosuolo.

Per l'elaborazione dei dati sismici a rifrazione si utilizza il software RAYFRACT™ (32 – bit version), della Intelligent Resources Inc. (Canada). I dati dei primi arrivi (onde di compressione) sono stati elaborati con il metodo GRM (general reciprocal method) accoppiato ad una inversione tomografica su una griglia di nodi equispaziati per una modellazione della distribuzione delle velocità delle onde di compressione nel sottosuolo. Tale metodo (inversione tomografica) consente (con un sufficiente numero di scoppi) di individuare anche eventuali inversioni di velocità (che costituiscono il limite della prospezione sismica a rifrazione).

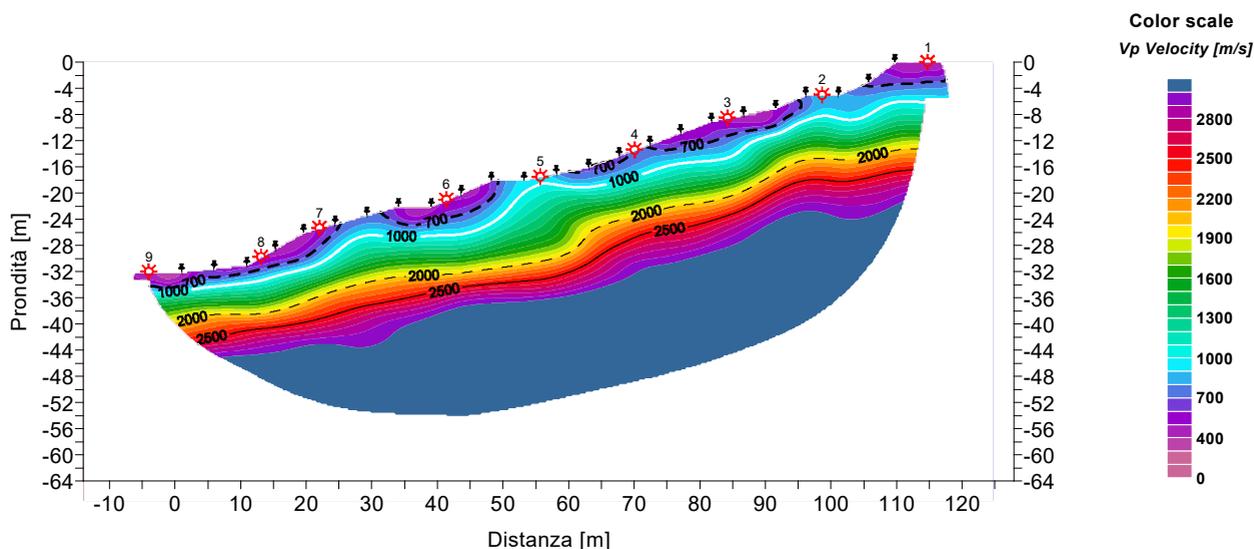


Figura 3 – Modello tomografico della distribuzione delle onde di compressione Vp in m/s

APPENDICE B

Cenni sulla metodologia downhole



CENNI TEORICI SULLE INDAGINI DOWNHOLE

Con il metodo sismico downhole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio.

Inseriti i dati relativi al progetto, alle profondità raggiunte e i tempi di tragitto misurati, è possibile ottenere:

- le distanze tra la sorgente e il ricevitore;
- i tempi di tragitto corretti;
- le velocità delle onde P e S;
- alcuni importanti parametri geotecnici;
- il grafico delle dromocrone con i sismostrati, da cui è possibile dedurre la velocità media per ogni sismostrato, alcuni parametri geotecnici medi e il VS30
- il grafico delle velocità di intervallo P e S, definizione dei sismostrati;
- i grafici relativi ai parametri geotecnici derivati per ogni intervallo;
- la stratigrafia proveniente dal foro di sondaggio;

Interpretazione con il metodo diretto

Con il metodo diretto, inizialmente, si correggono i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde e successivamente si realizza il grafico $t_{corr} z$, sia per le onde P che per le onde S, in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, il coefficiente di Poisson, il modulo di compressibilità edometrica, il modulo di Young, il modulo di compressibilità volumetrica, il VS30.

La prova down-hole è finalizzata alla determinazione dei profili delle onde sismiche di compressione, P, e di taglio, S, con la profondità. Essa consiste nel produrre sulla superficie del terreno una perturbazione mediante una sorgente meccanica e nel misurare il tempo d'arrivo delle onde dirette, P ed S, alle varie profondità all'interno di un foro opportunamente predisposto.

PARAMETRI CALCOLATI							
Prof. m	Vp km/s	Vs km/s	ν -	γ kg/m ³	E _{din} MPa	G _{din} MPa	K _{din} MPa
0	0.41	0.27	0.12	1597	255	114	111
5	0.49	0.29	0.21	1652	341	139	230
10	0.94	0.52	0.28	1872	1127	467	859
15	0.84	0.61	0.09	1834	1083	710	366
20	1.00	0.65	0.14	1856	602	869	377

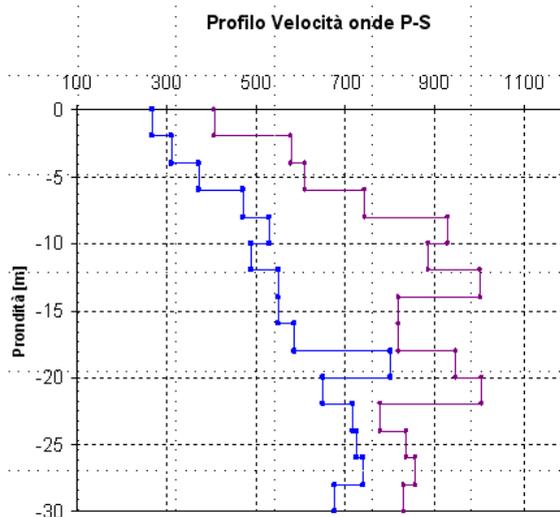
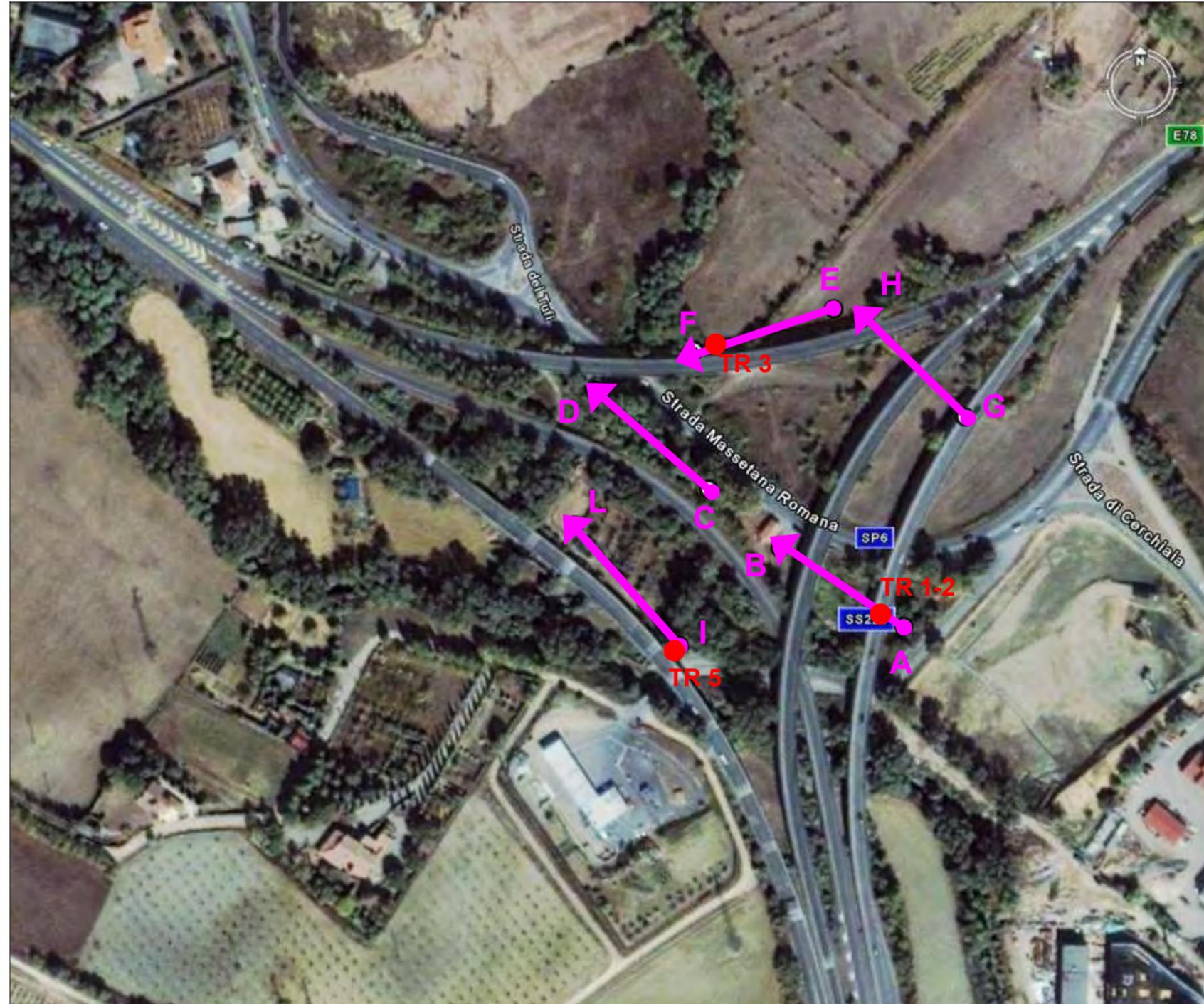


Figura 1 – Parametri dinamici e velocità onde P-S

VIADOTTO TRESSA

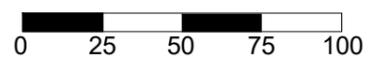
Linea sismica a rifrazione onde P e S – Foto aerea (Google earth)



Legenda

-  Stendimenti sismici a rifrazione
-  Sondaggi geognostici TR 1-2

Scala grafica

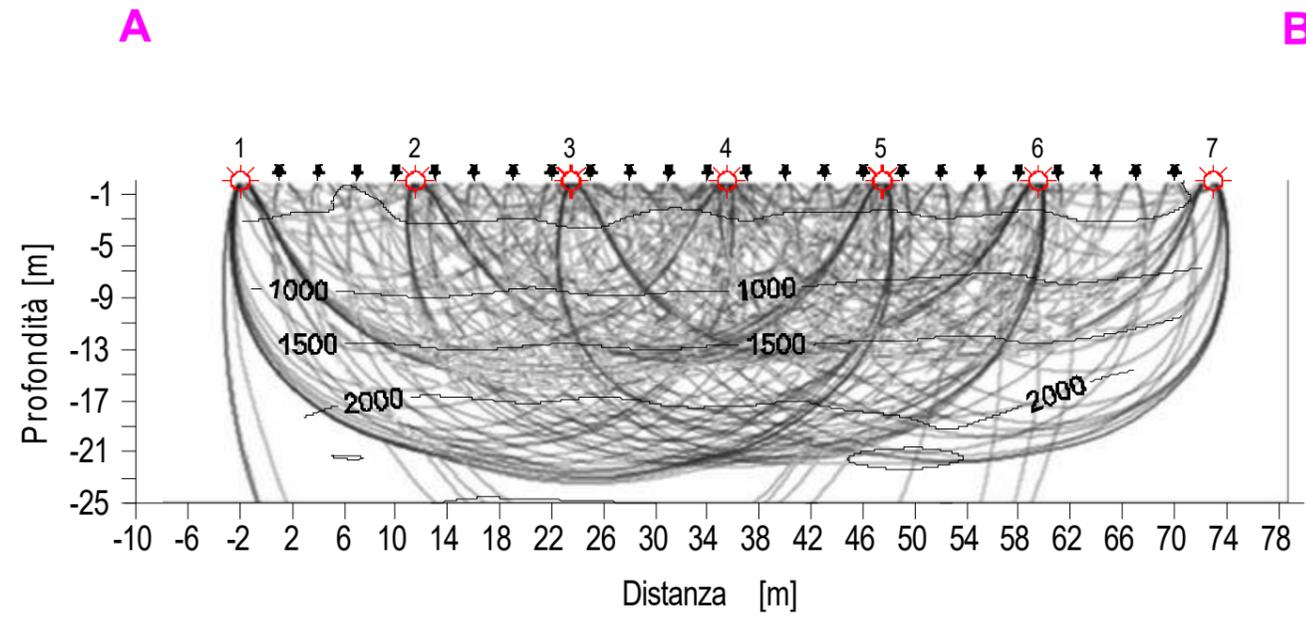


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente		
		Committente:
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	1

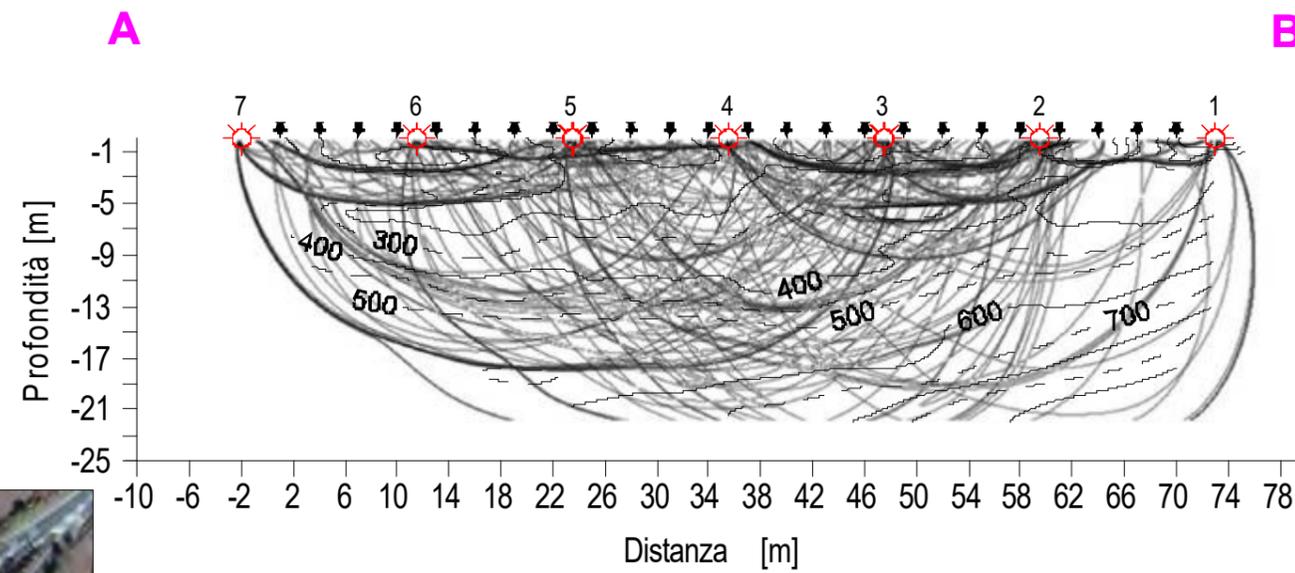
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS1 – onde P



SIS1 – onde S

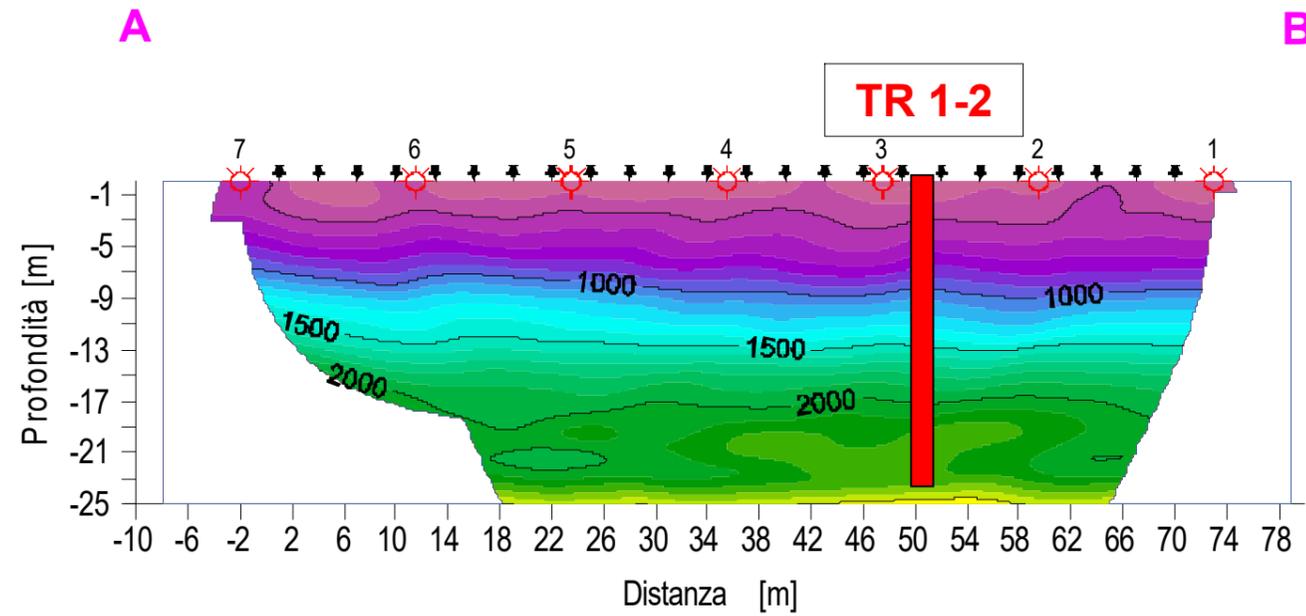


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 2	

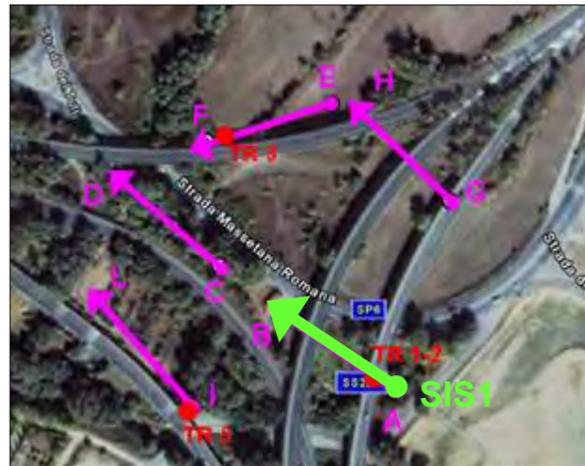
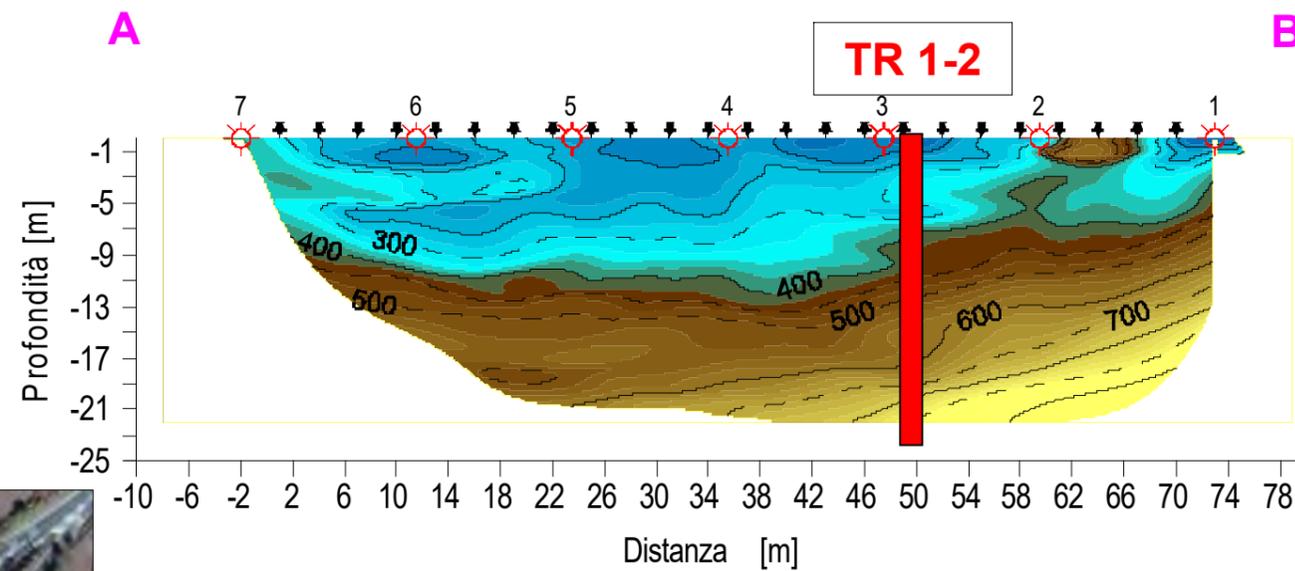
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

SIS1 – onde P



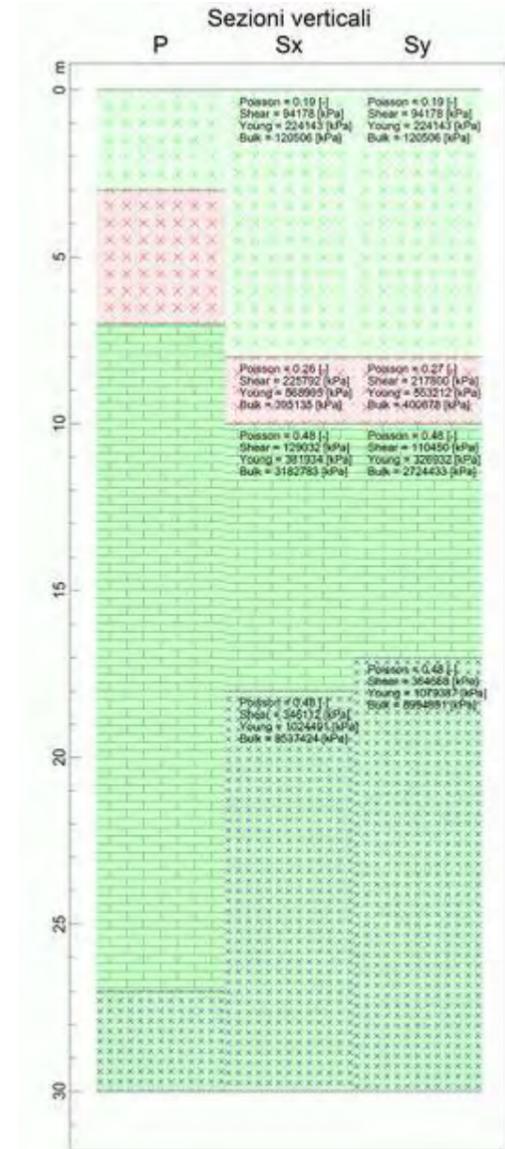
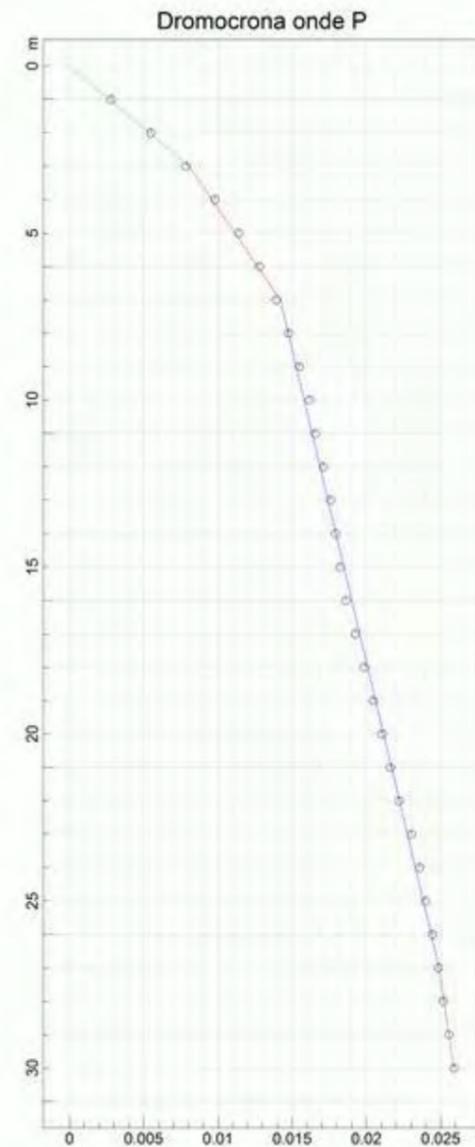
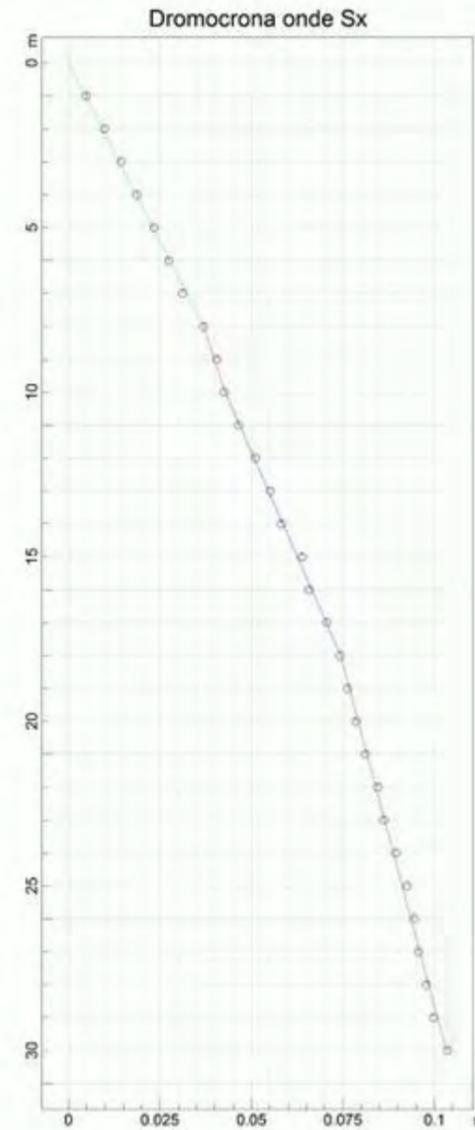
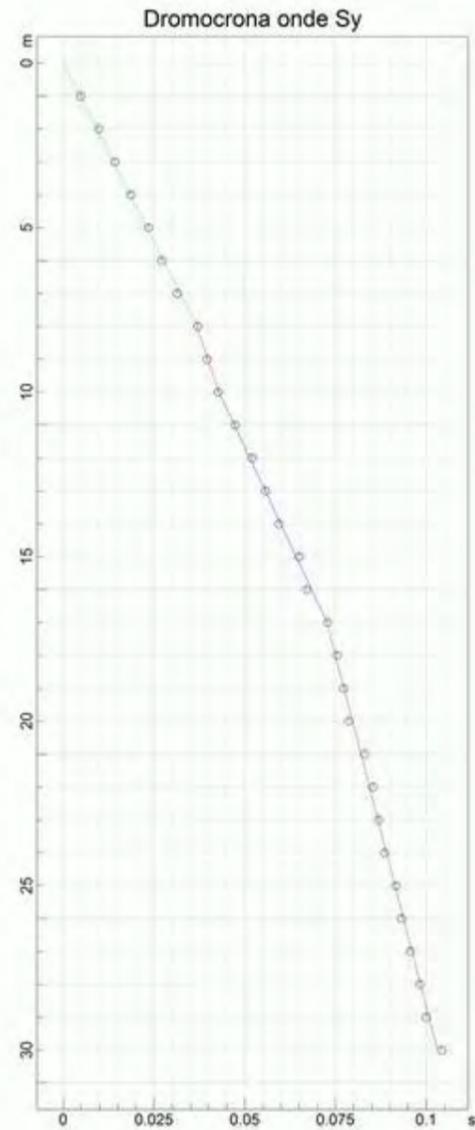
SIS1 – onde S



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 3	

VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – Dromocrone e Vs 30 calcolato – Foro TR 1-2



P	372 m/s	P	651 m/s	P	1870 m/s	P	3043 m/s	Vs30	
Sx	217 m/s	Sx	336 m/s	Sx	254 m/s	Sx	416 m/s		290.8 m/s
Sy	217 m/s	Sy	330 m/s	Sy	235 m/s	Sy	427 m/s		290.8 m/s

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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	290.08
		orizzontale Sy	290.08

TS Techgea Servizi
Geofisica Geologia Ambiente

Committente:	Studio Speri S.r.l	
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	4

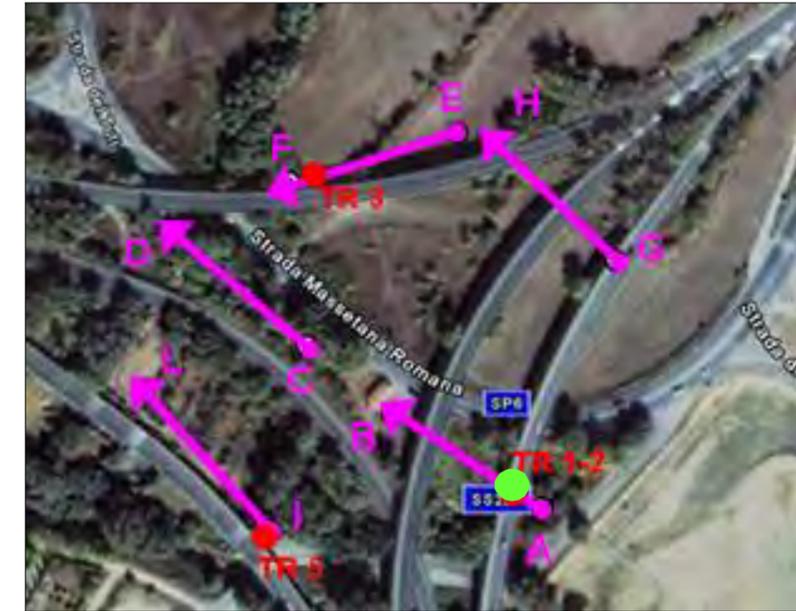
VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – parametri dinamici e Vs 30 calcolato – Foro TR 1-2

PARAMETRI ONDE P		
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	372
2	7	651
3	27	1870
4	30	3043

PARAMETRI ONDE SX						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	8	217	0.19	94178.0	224143	120506
2	10	336	0.26	225792..	568995	395135
3	18	254	0.48	129032..	381934	3182781
4	30	416	0.48	346112..	1024491	8537420

PARAMETRI ONDE SY						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	8	217	0.19	94178.0	224143	120506
2	10	330	0.27	217800..	553212	400878
3	17	235	0.48	110450..	326931	2724423
4	30	427	0.48	364658..	1079387	8994886



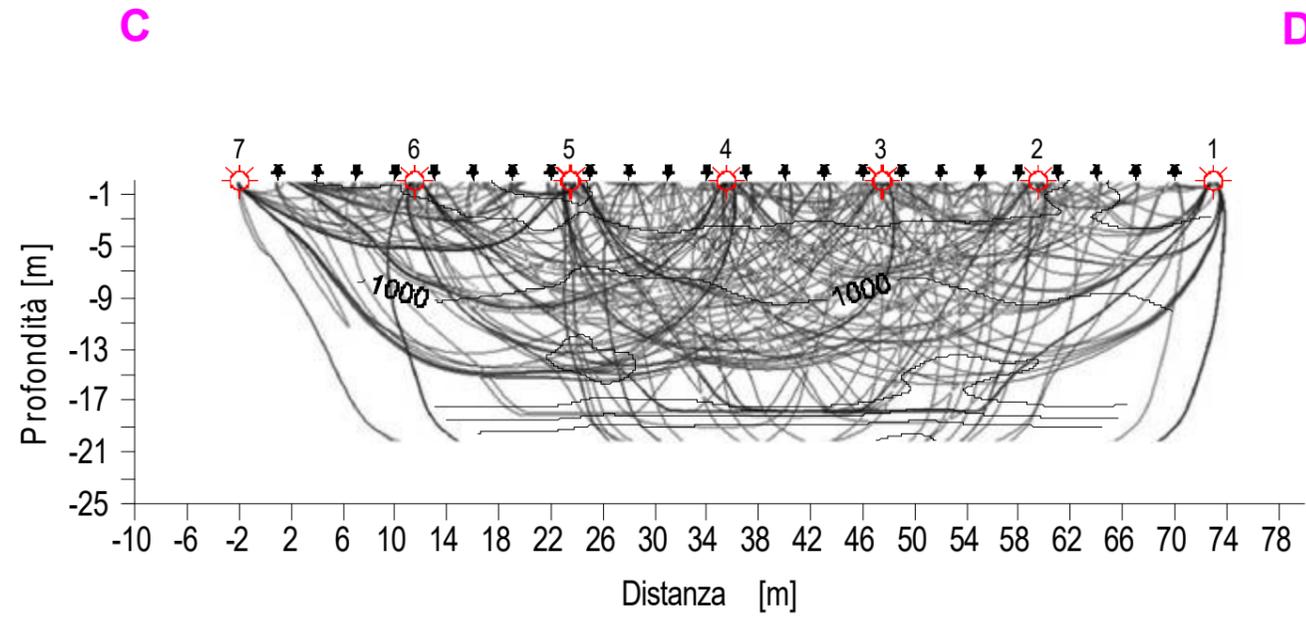
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	290.8
		orizzontale Sy	290.8

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 5	

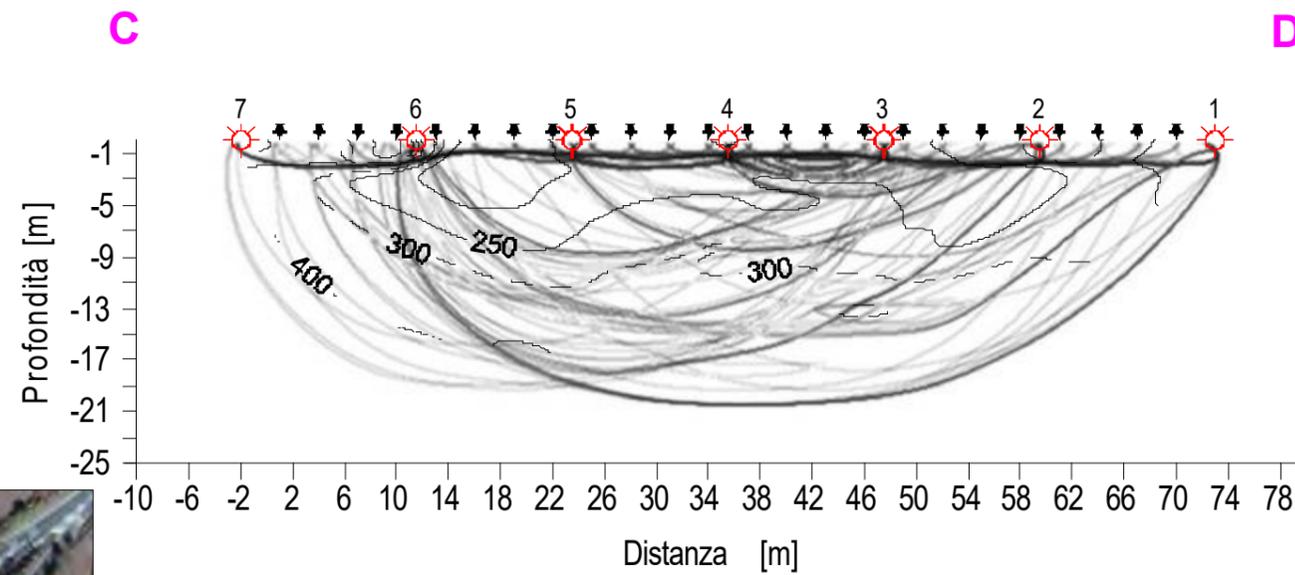
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS2 – onde P



SIS2 – onde S

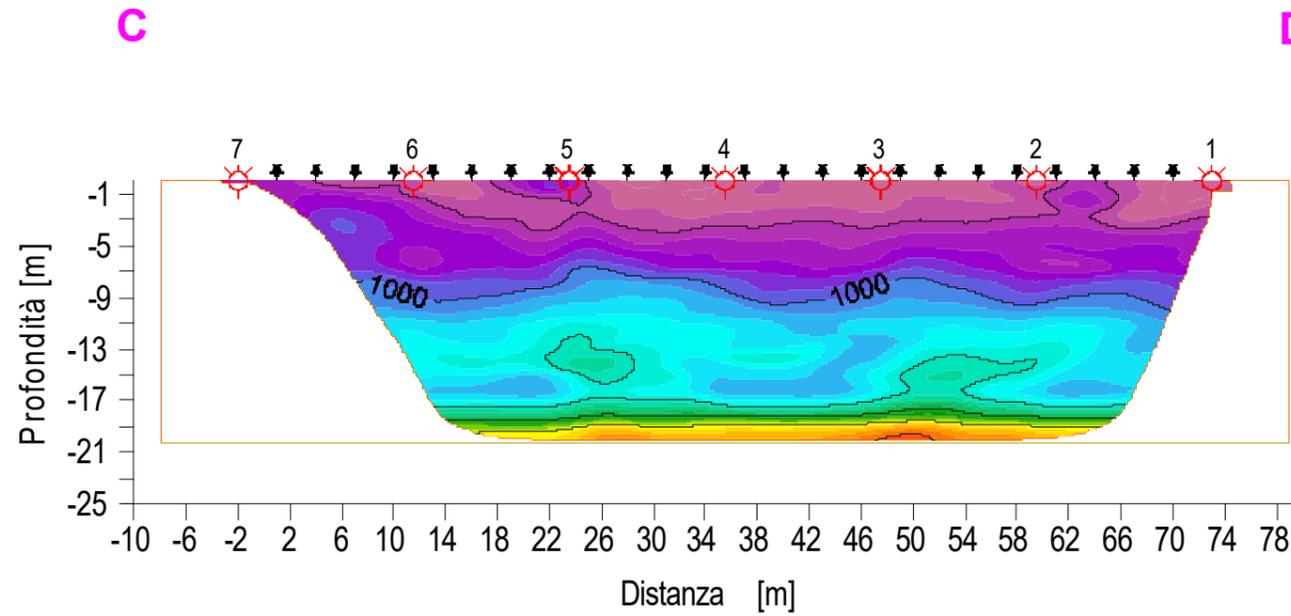


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 6	

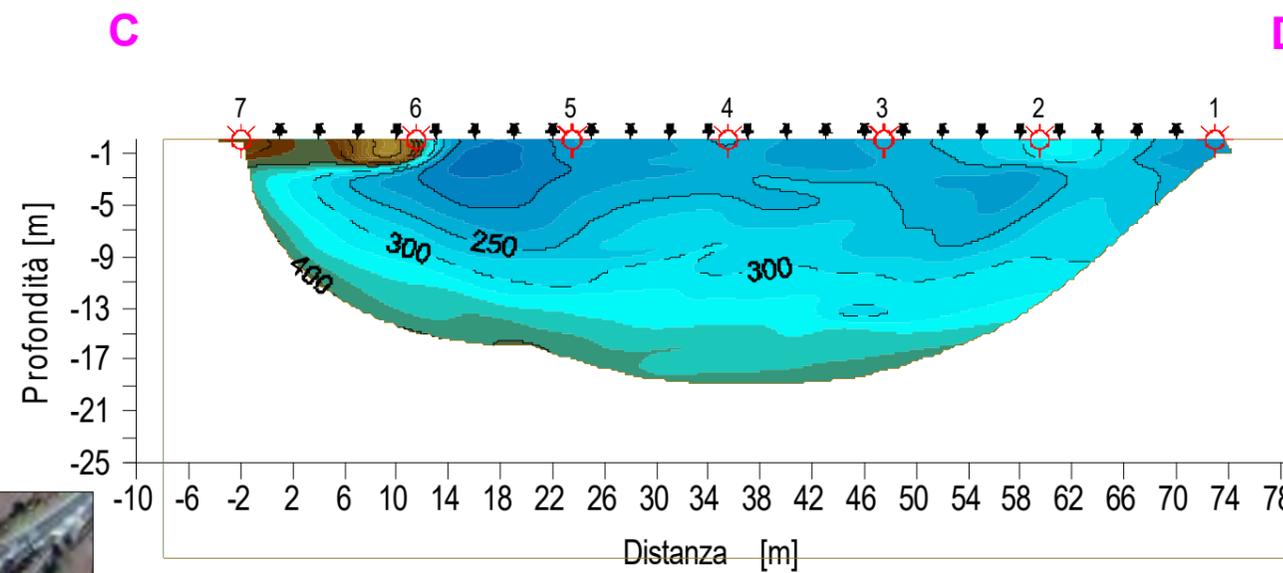
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

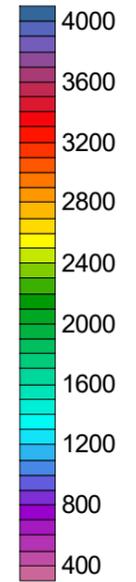
SIS2 – onde P



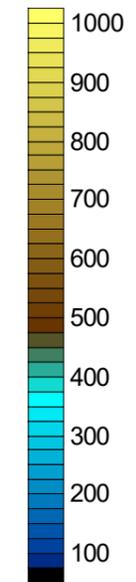
SIS2 – onde S



Scale dei colori
Velocità onde P [m/s]



Velocità onde S [m/s]

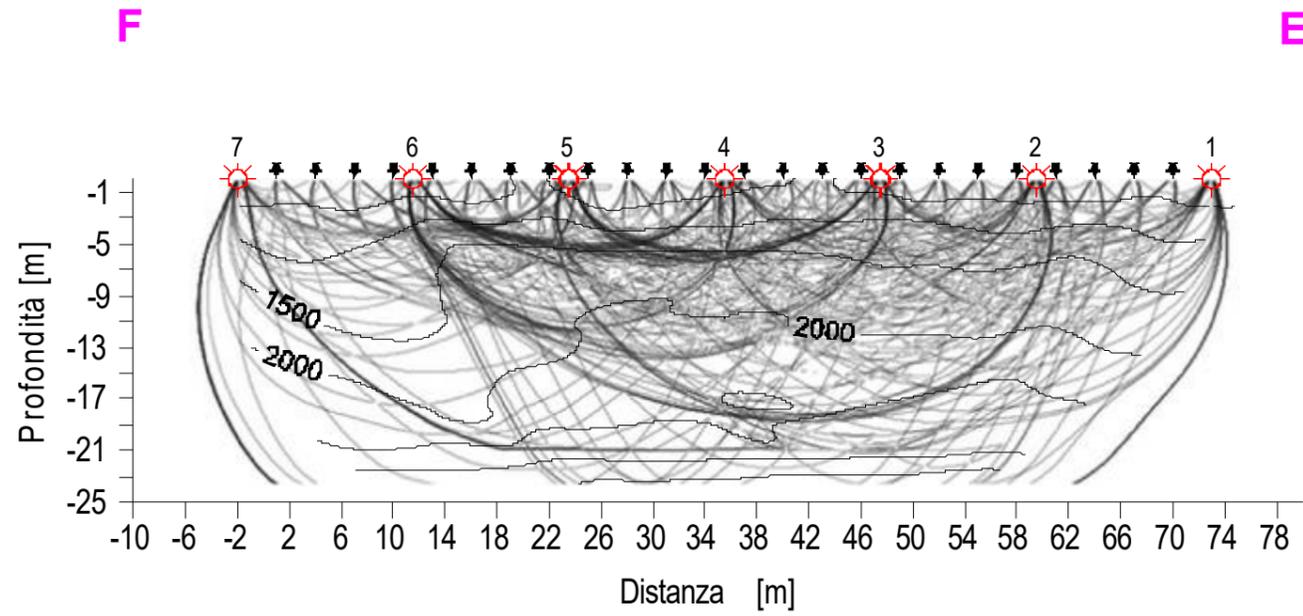


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 7	

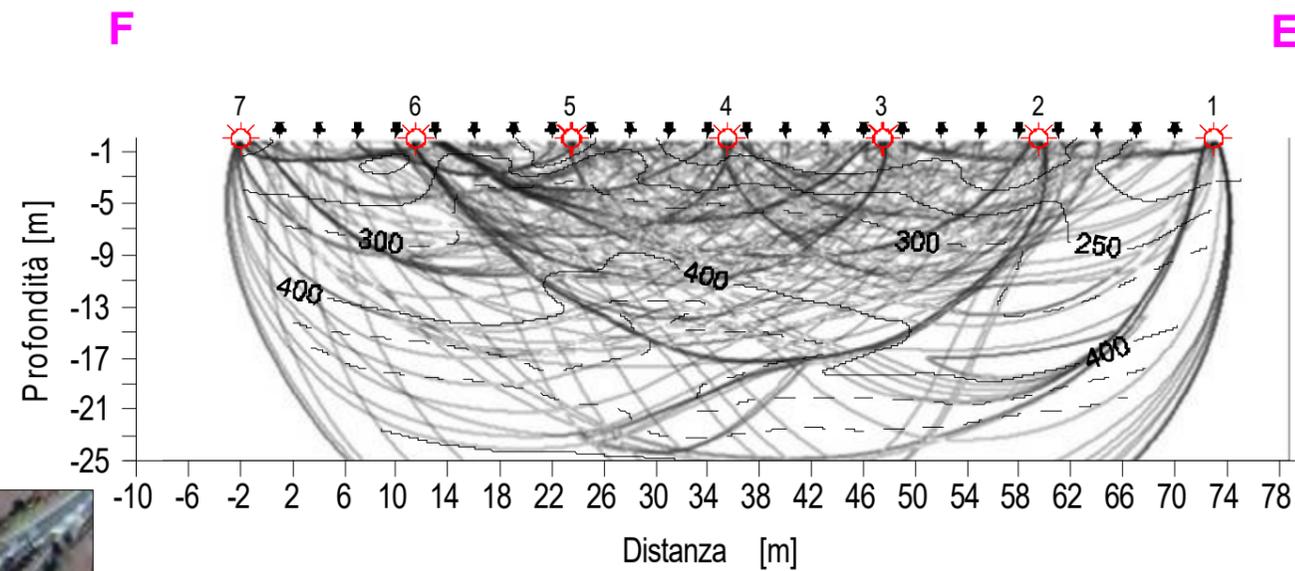
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS3 – onde P



SIS3 – onde S

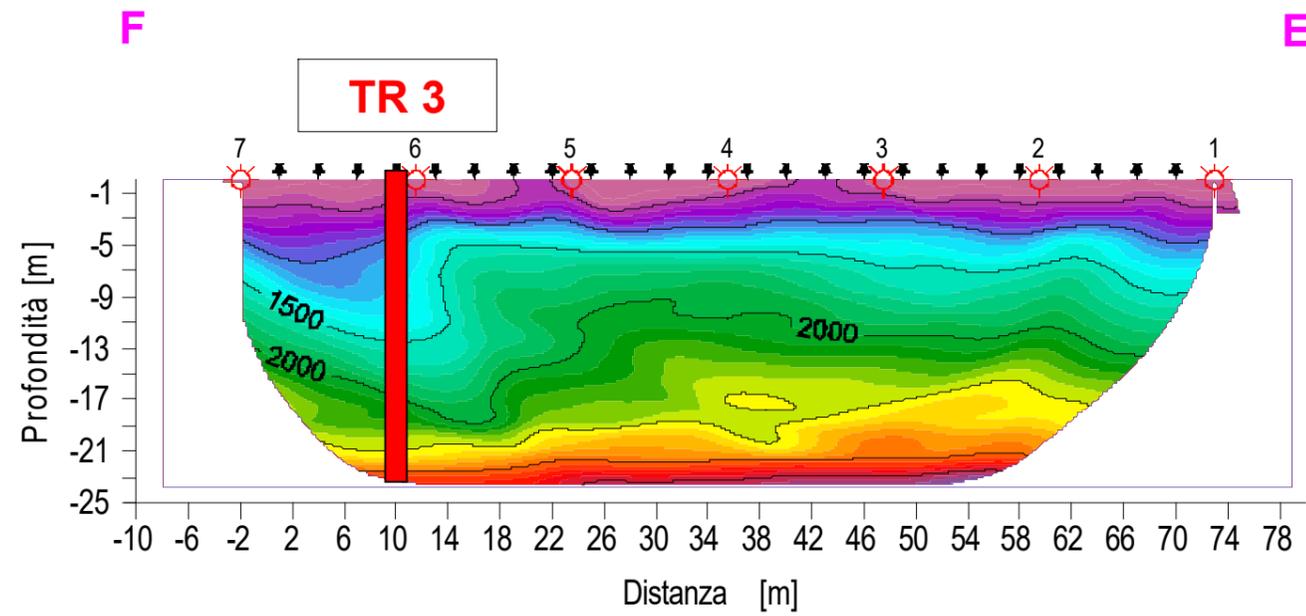


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 8	

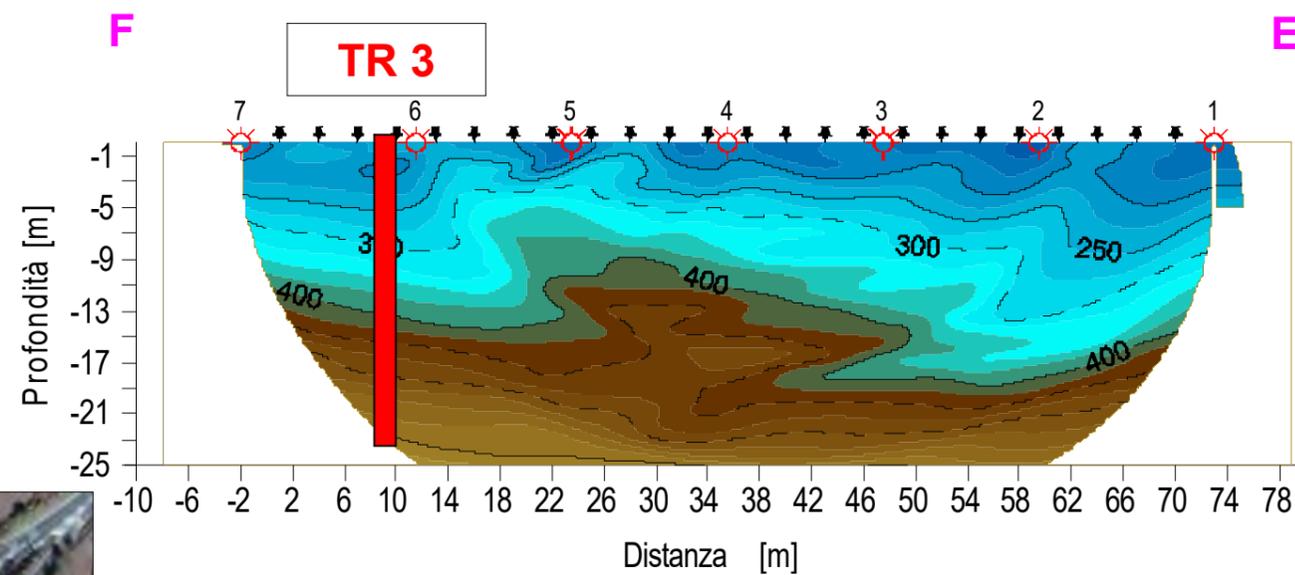
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

SIS3 – onde P



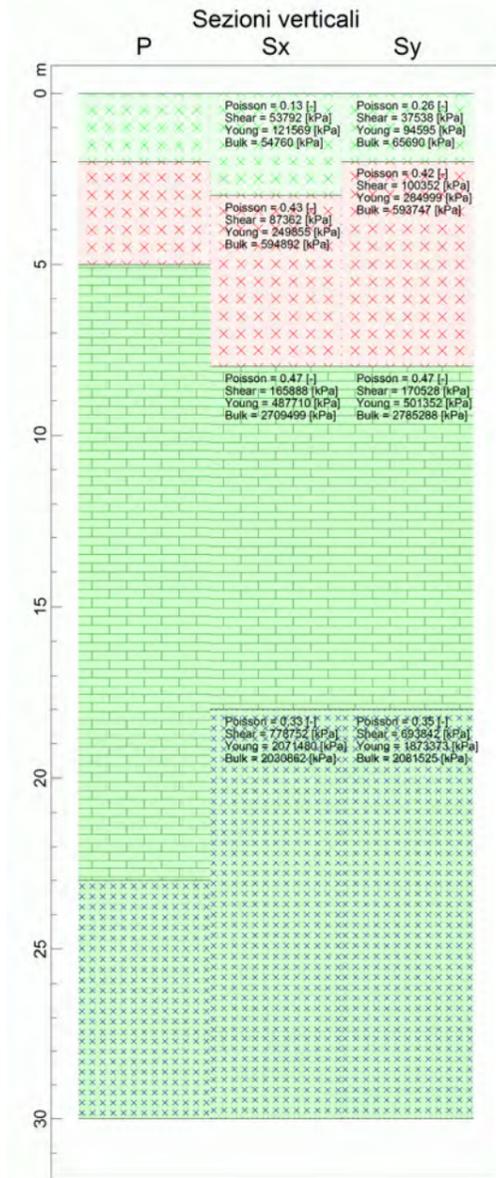
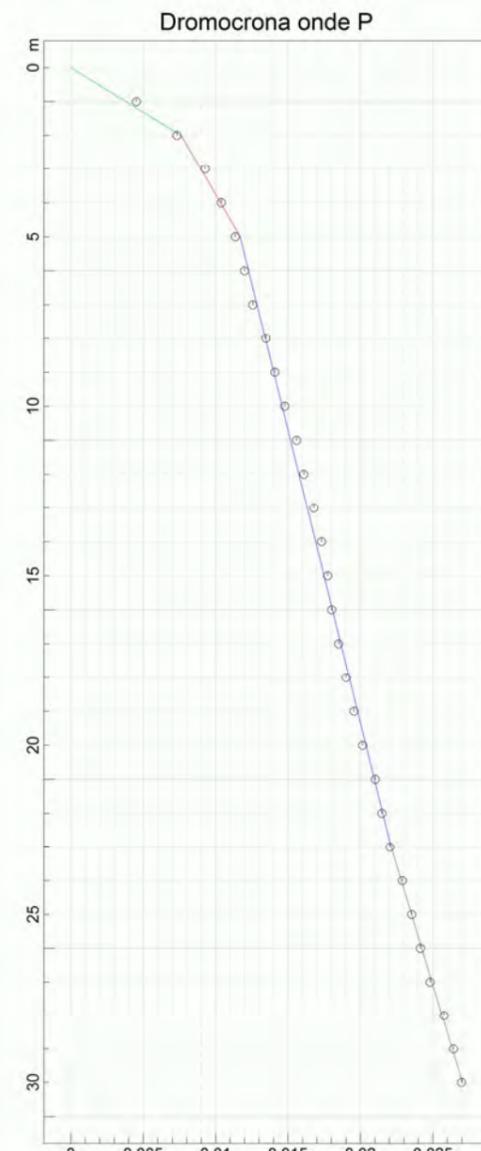
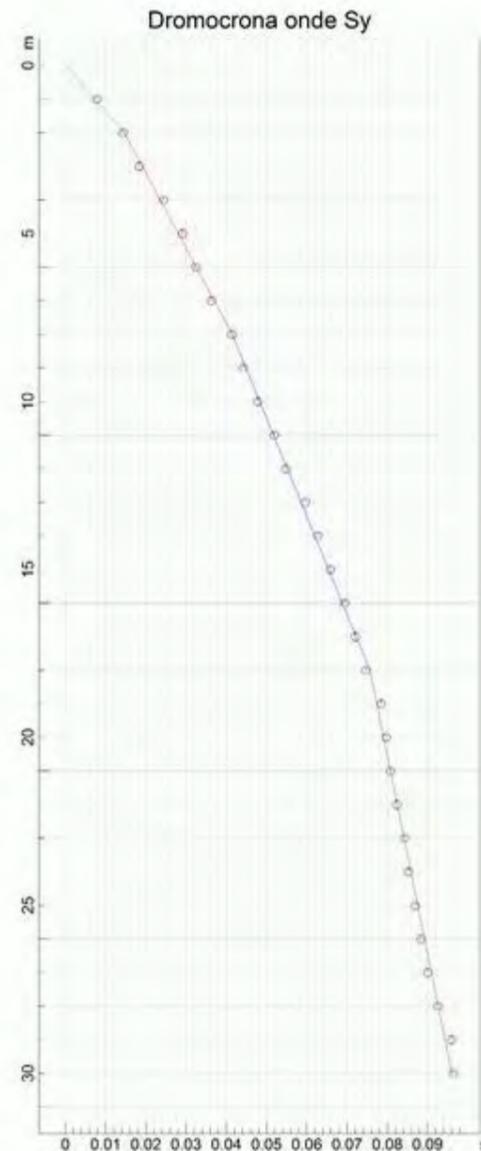
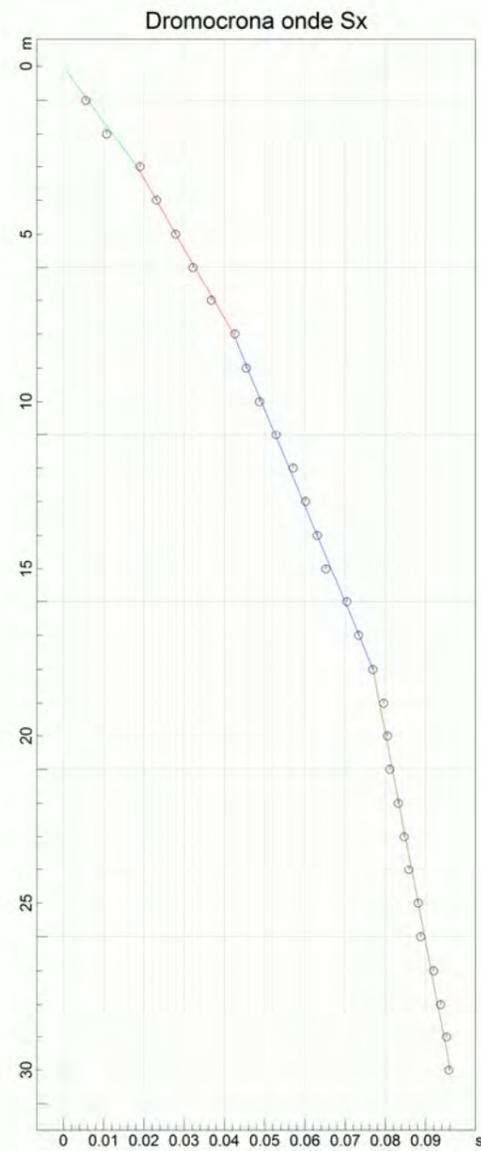
SIS3 – onde S



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 9	

VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – Dromocrone e Vs 30 calcolato – Foro TR 3



P	262 m/s	P	736 m/s	P	1727 m/s	P	1421 m/s	Vs30 312.0 m/s 312.5 m/s
Sx	164 m/s	Sx	209 m/s	Sx	288 m/s	Sx	624 m/s	
Sy	137 m/s	Sy	224 m/s	Sy	292 m/s	Sy	589 m/s	

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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	312.0
		orizzontale Sy	312.5

TS Techgea Servizi
Geofisica Geologia Ambiente

Committente:	Studio Speri S.r.l	
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	10

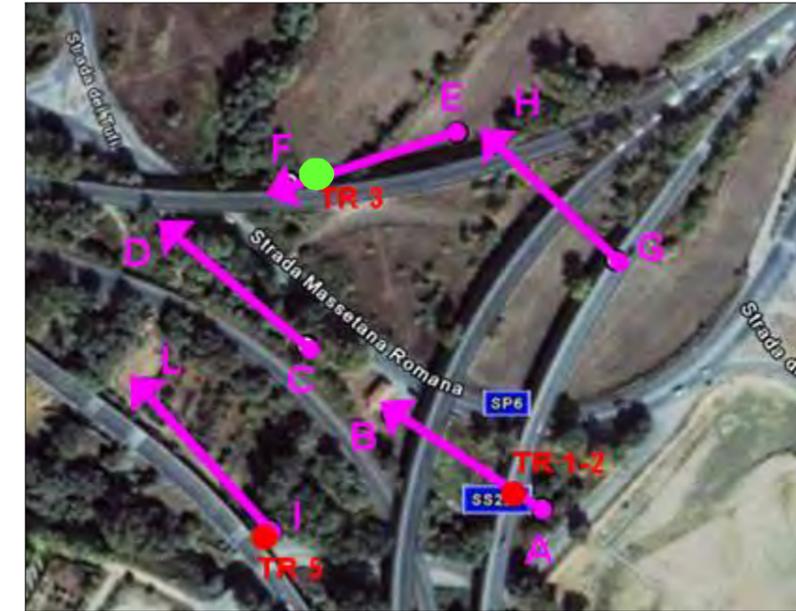
VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – parametri dinamici e Vs 30 calcolato – Foro TR 3

PARAMETRI ONDE P		
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	320
2	6	697
3	15	2268
4	30	1718

PARAMETRI ONDE SX						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	164	0.13	53792.0	121569	54760.0
2	8	209	0.43	87362.0	249855	594892..
3	18	288	0.47	165888..	487710	2709499.0
4	30	624	0.33	778752..	2071480	2030862.0

PARAMETRI ONDE SY						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	9	189	0.18	71442.0	168603	87814.0
2	20	429	0.14	368082..	839226	388530..
3	25	370	0.47	273800..	804971	4472060.0
4	30	465	0.44	432450..	1245455	3459597.0



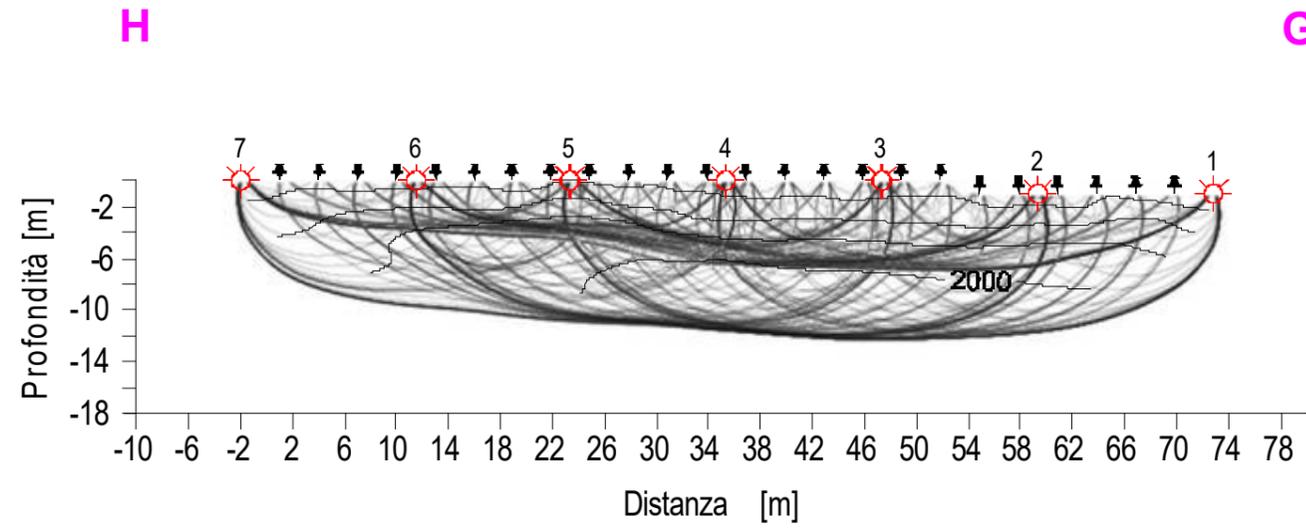
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	312.0
		orizzontale Sy	312.5

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 11	

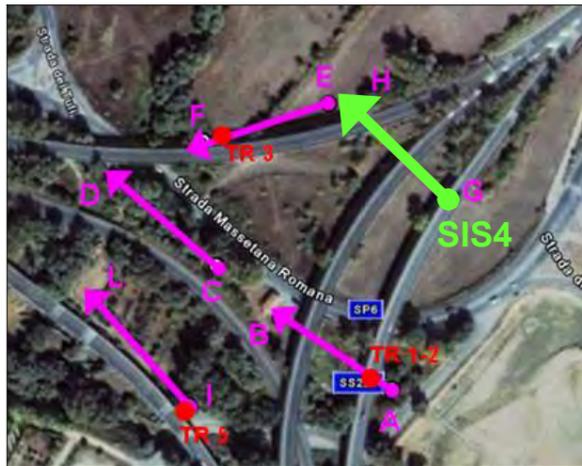
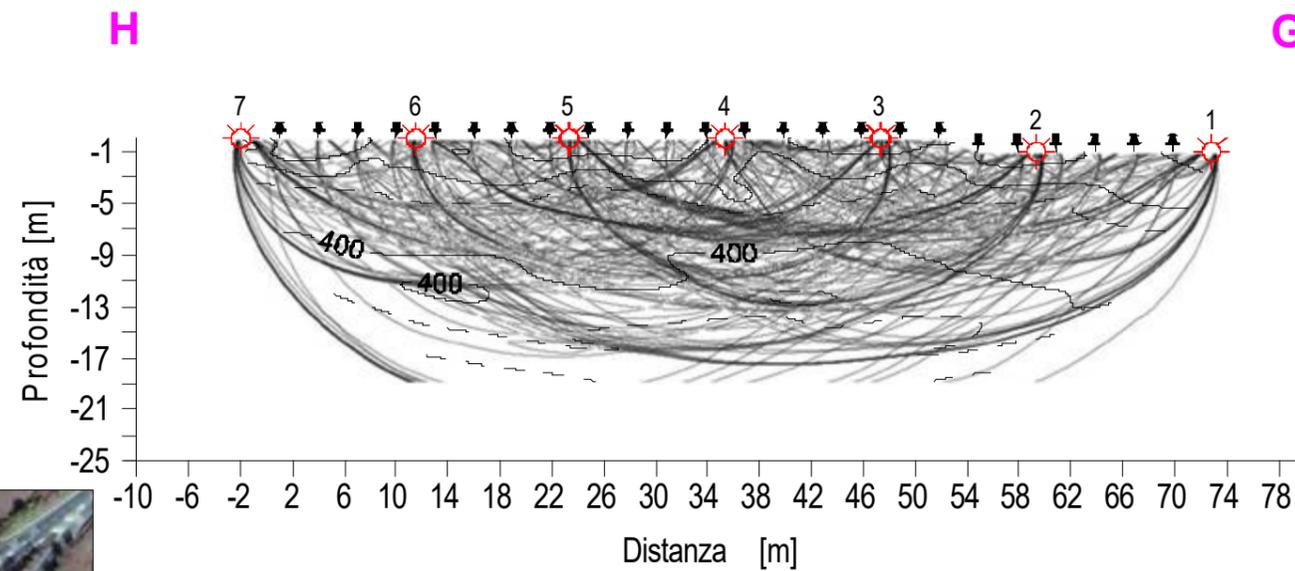
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS4 – onde P



SIS4 – onde S

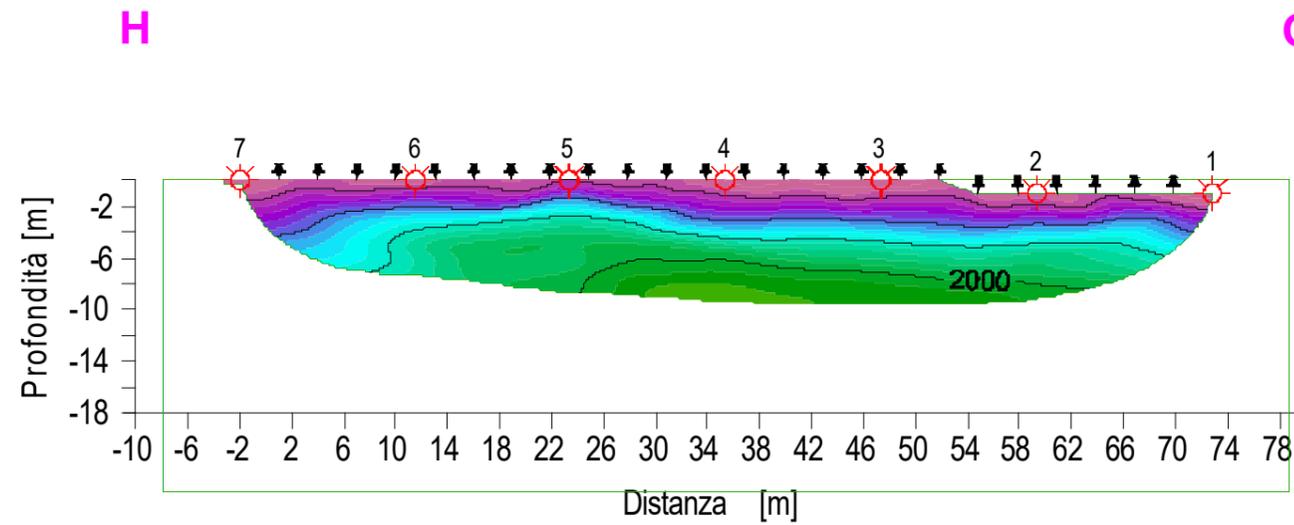


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 12	

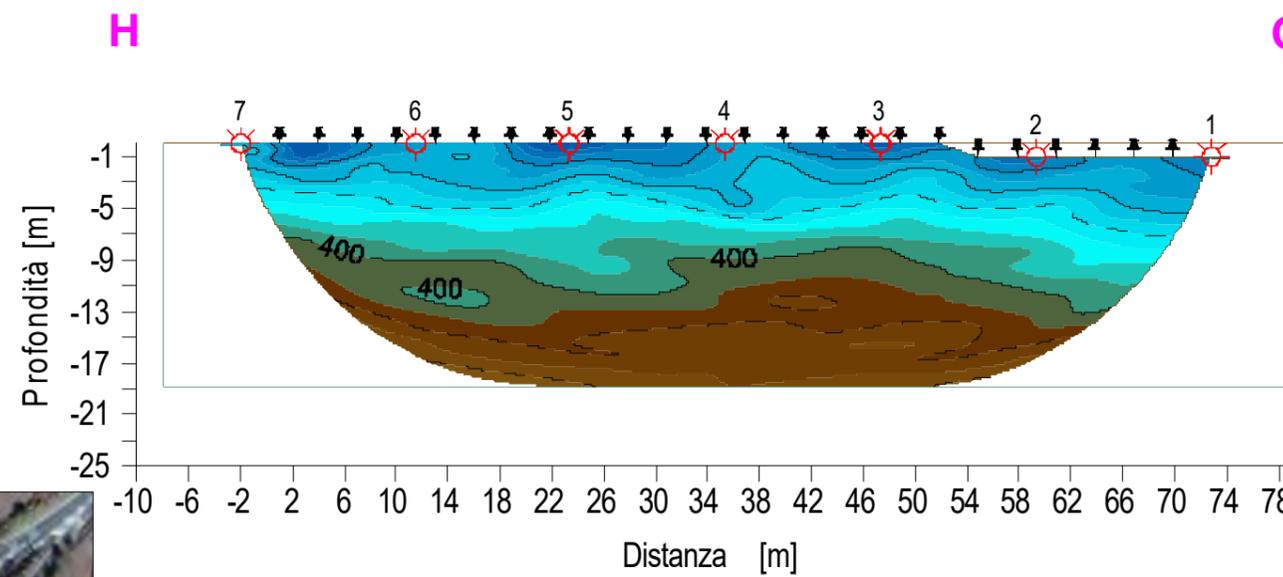
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

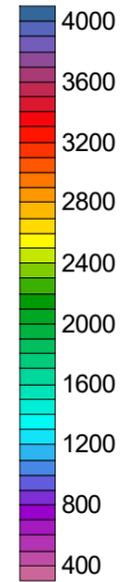
SIS4 – onde P



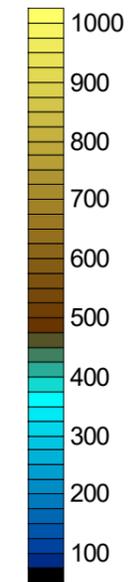
SIS4 – onde S



Scale dei colori
Velocità onde P [m/s]



Velocità onde S [m/s]

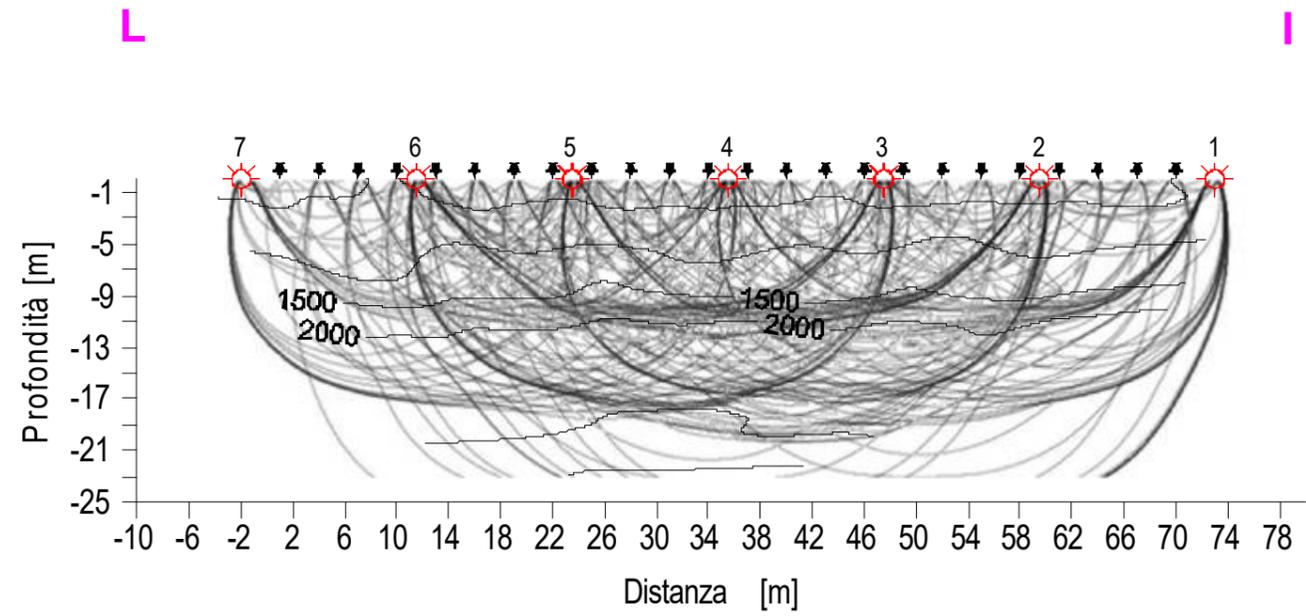


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 13	

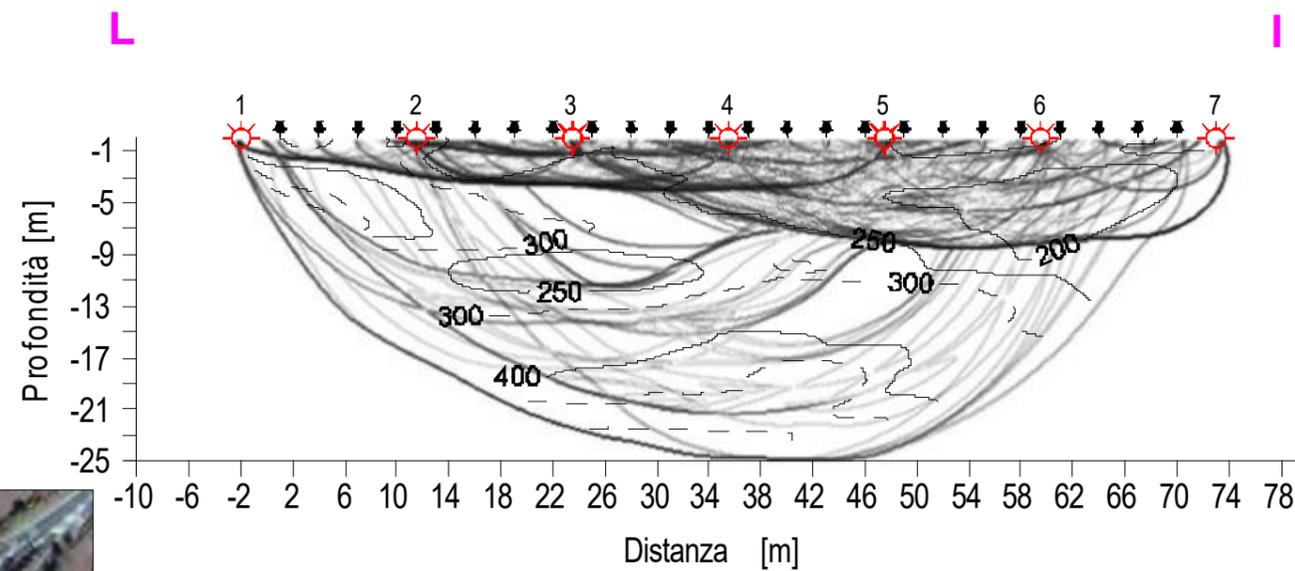
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS5 – onde P



SIS5 – onde S

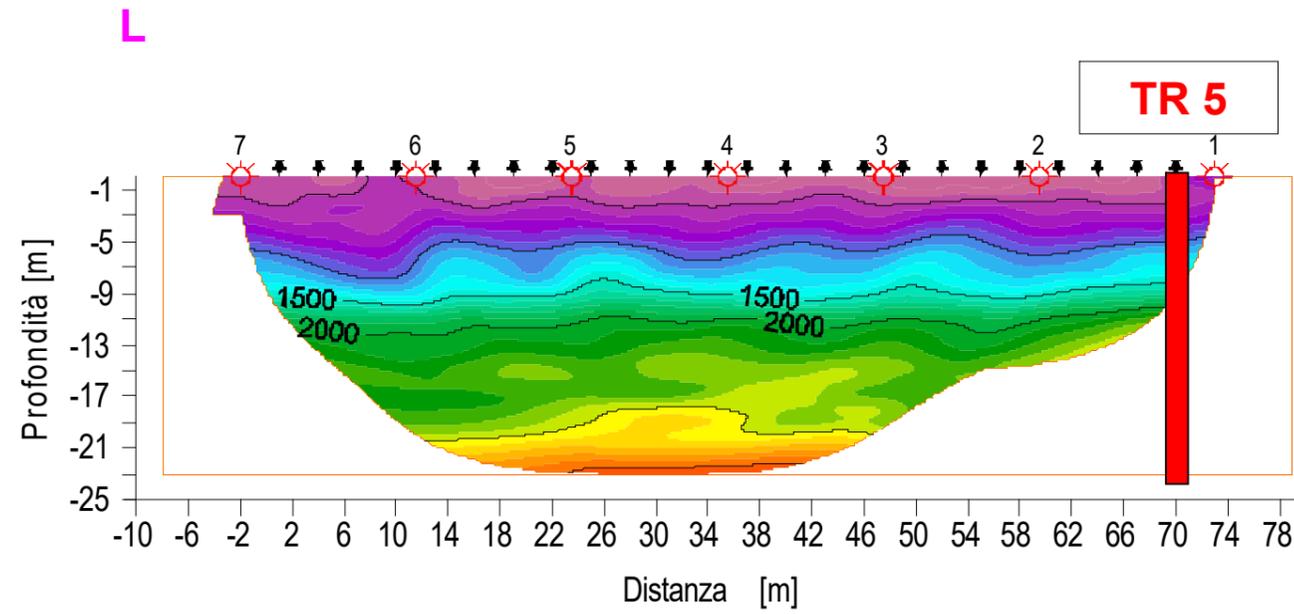


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 14	

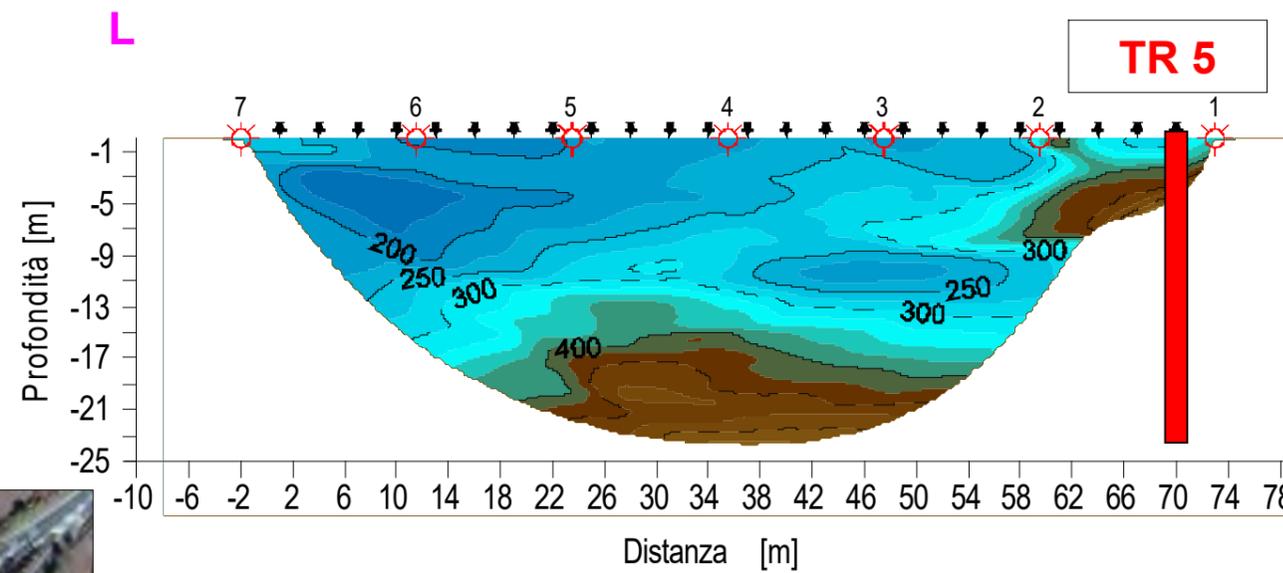
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

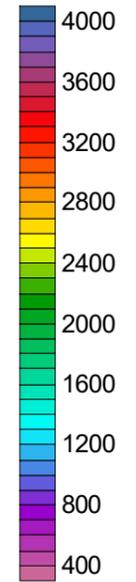
SIS5 – onde P



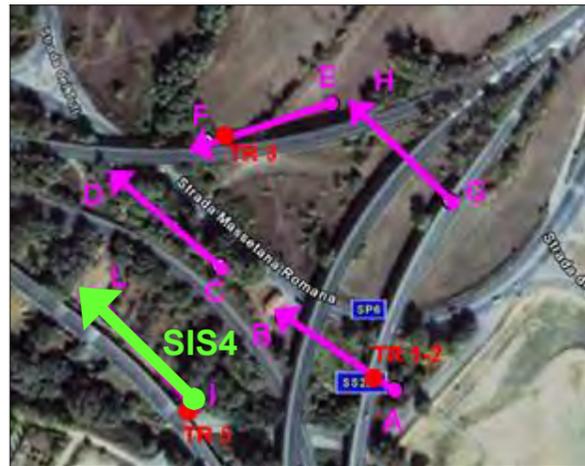
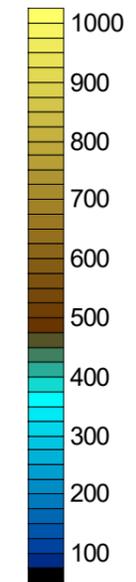
SIS5 – onde S



Scale dei colori
Velocità onde P [m/s]



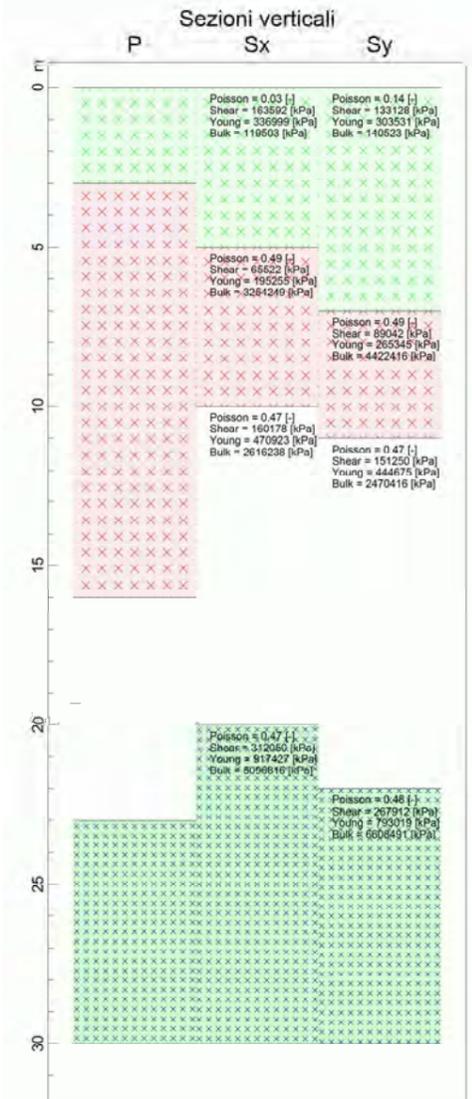
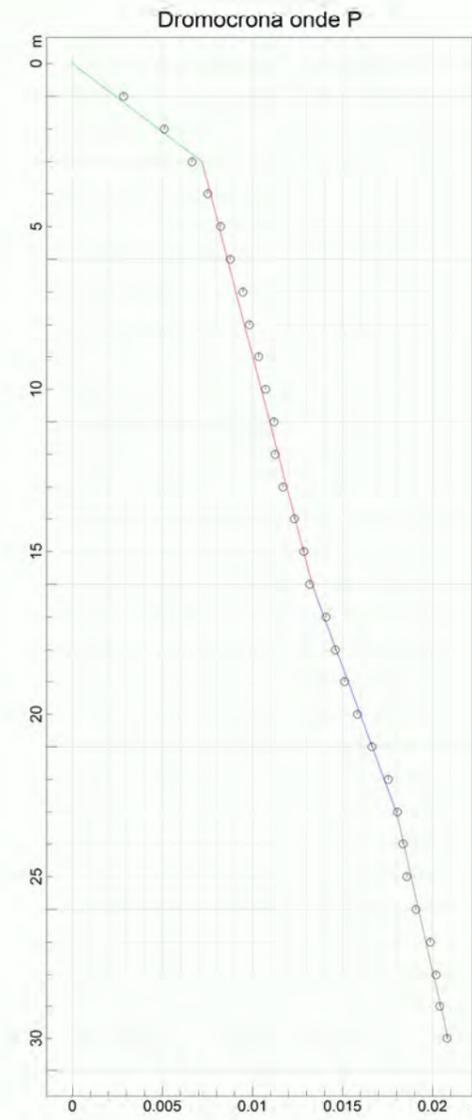
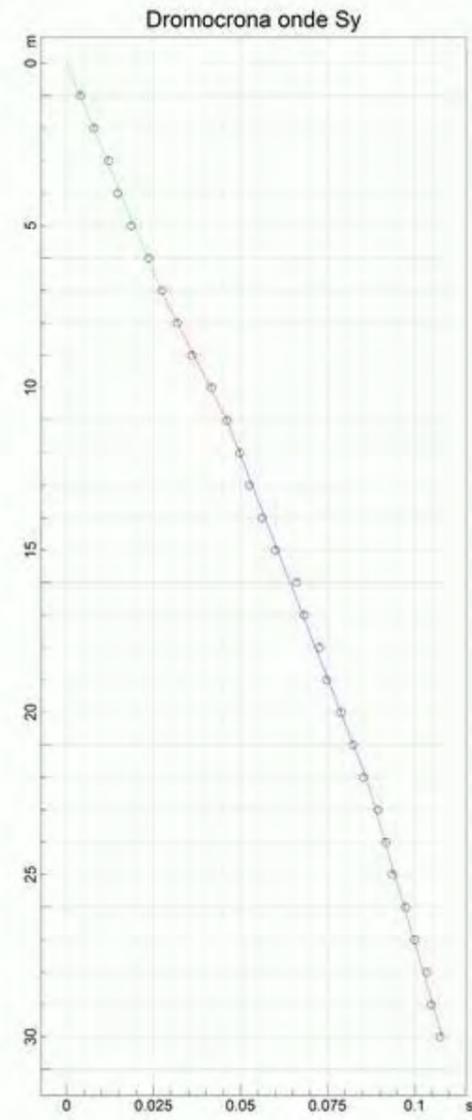
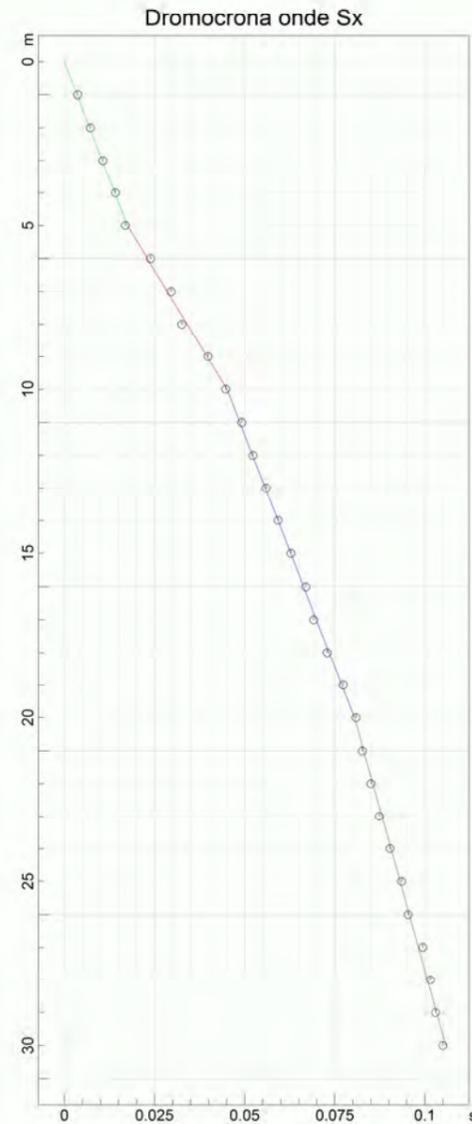
Velocità onde S [m/s]



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 15	

VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – Dromocrone e Vs 30 calcolato – Foro TR 5



P	417 m/s	P	2129 m/s	P	1498 m/s	P	2431 m/s	Vs30 283.7 m/s 277.9 m/s
Sx	286 m/s	Sx	181 m/s	Sx	283 m/s	Sx	395 m/s	
Sy	258 m/s	Sy	211 m/s	Sy	275 m/s	Sy	366 m/s	

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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	283.7
		orizzontale Sy	277.9

T S Techgea Servizi
Geofisica Geologia Ambiente

Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura:	16

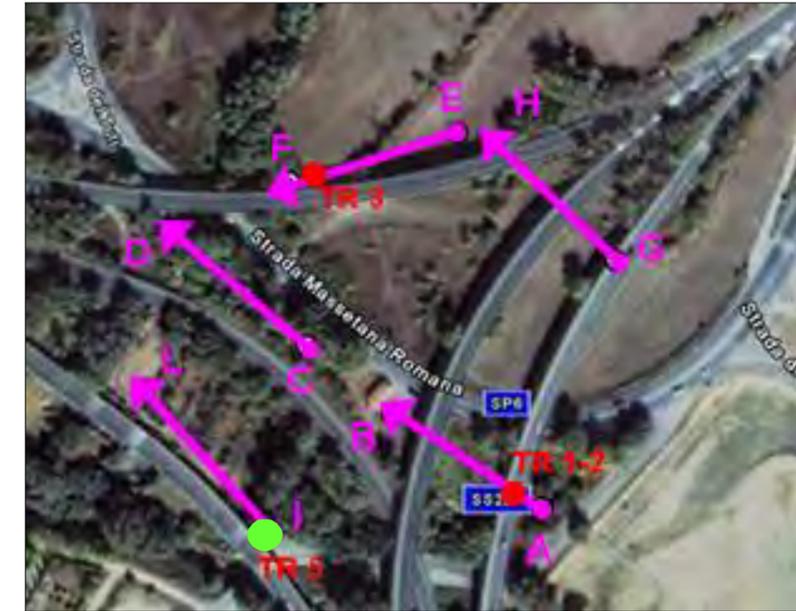
VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – parametri dinamici e Vs 30 calcolato – Foro TR 5

PARAMETRI ONDE P		
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	417
2	16	2129
3	23	1498
4	30	2431

PARAMETRI ONDE SX						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	5	286	0.03	163592..	336999	119503
2	10	181	0.49	65522.0	195255	3254253
3	20	283	0.47	160178..	470923	2616238
4	30	395	0.47	312050..	917426	5096810

PARAMETRI ONDE SY						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	7	258	0.14	133128..	303531	140523
2	11	211	0.49	89042.0	265345	4422420
3	22	275	0.47	151250..	444674	2470411
4	30	366	0.48	267912..	793019	6608488



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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	283.7
		orizzontale Sy	277.9

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 17	

VIADOTTO TRESSA

Documentazione fotografica

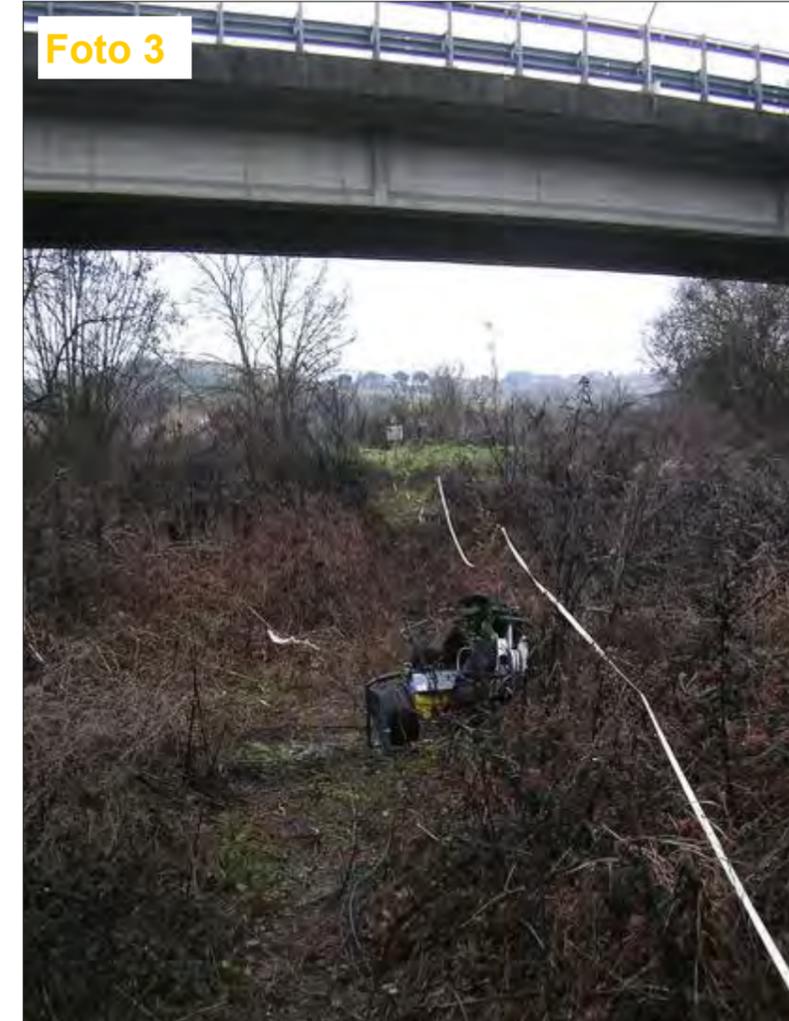
Foto 1



Foto 2



Foto 3



Strumentazione utilizzata:

- Daqlink II 24 bit System
- 24 geofoni a 40 Hz (onde P)
- 24 geofoni a 20 Hz SWYPHONES (onde S)
- Mazza strumentata da 8 kg

 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 18	

VIADOTTO TRESSA

Documentazione fotografica

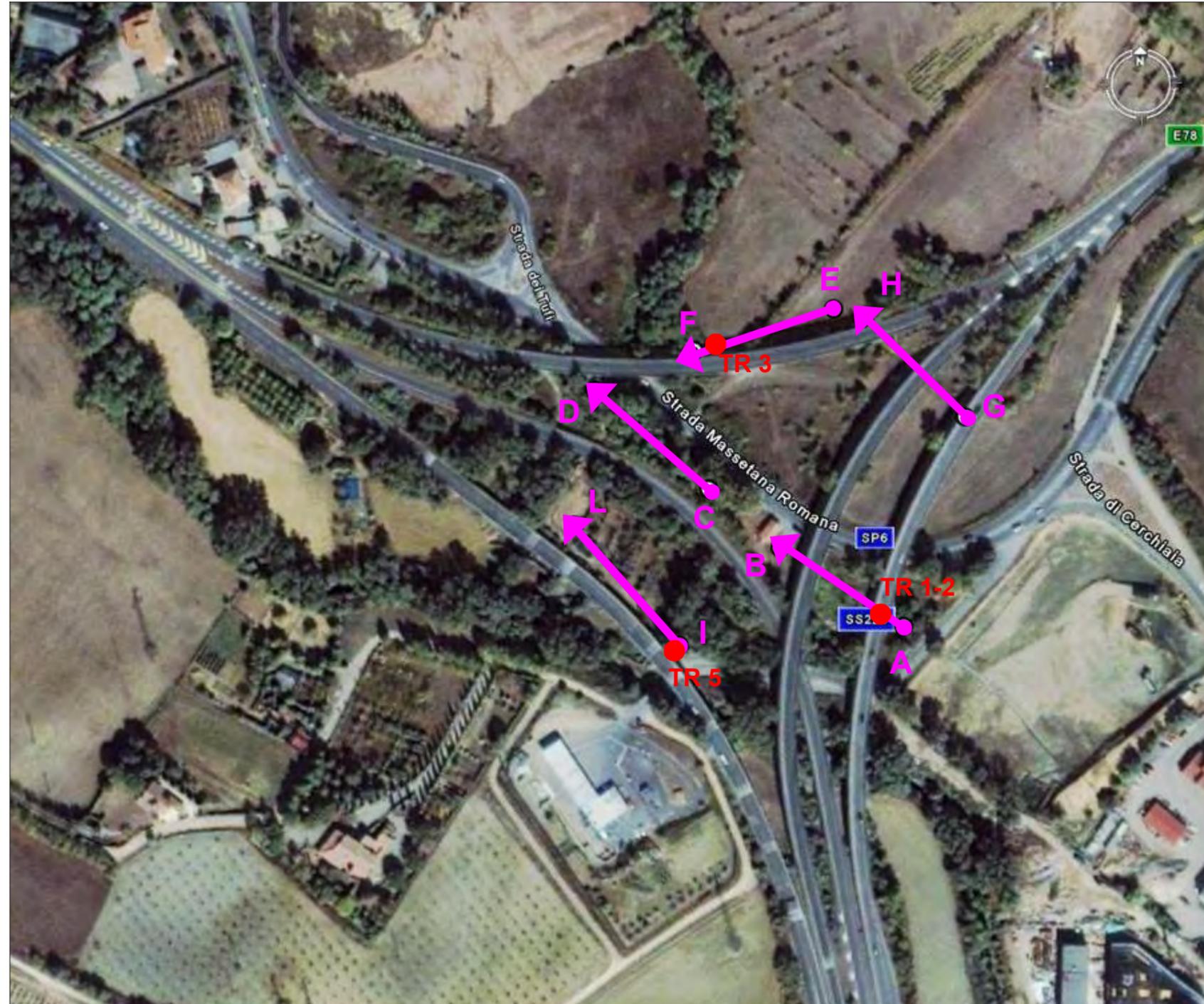


- Strumentazione utilizzata:**
- Daqlink II 24 bit System
 - 24 geofoni a 40 Hz (onde P)
 - 24 geofoni a 20 Hz SWYPHONES (onde S)
 - Mazza strumentata da 8 kg

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 19	

VIADOTTO TRESSA

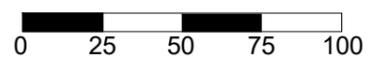
Linea sismica a rifrazione onde P e S – Foto aerea (Google earth)



Legenda

-  Stendimenti sismici a rifrazione
-  Sondaggi geognostici TR 1-2

Scala grafica

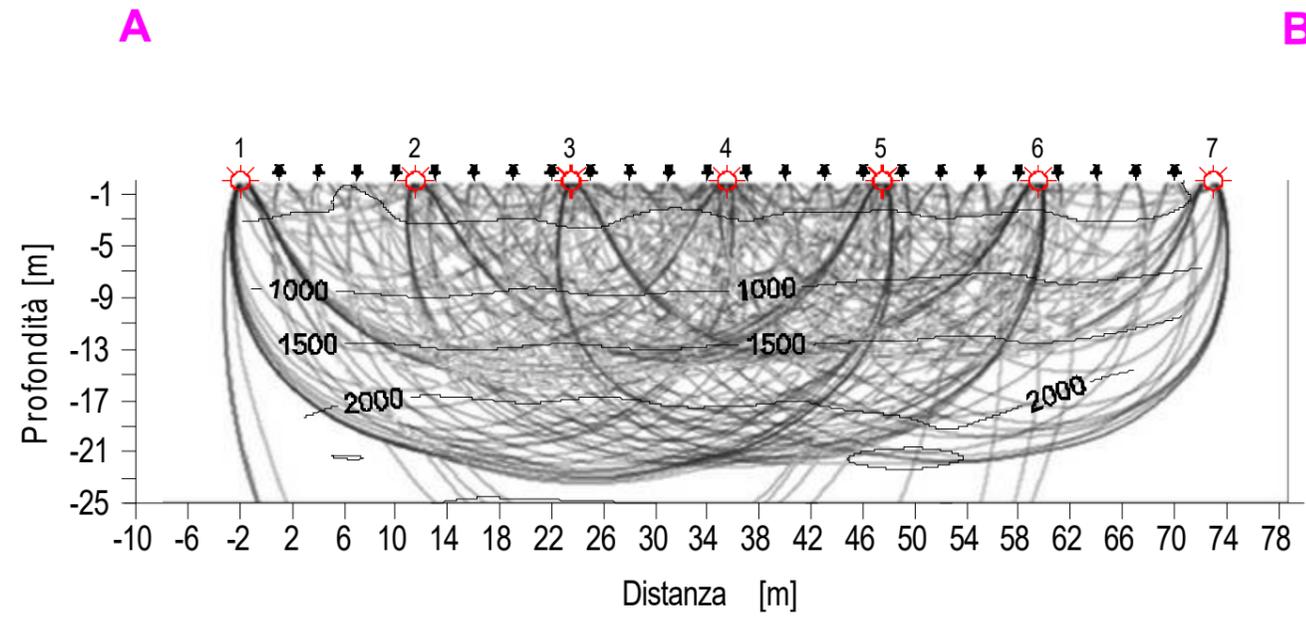


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente		
		Committente:
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	1

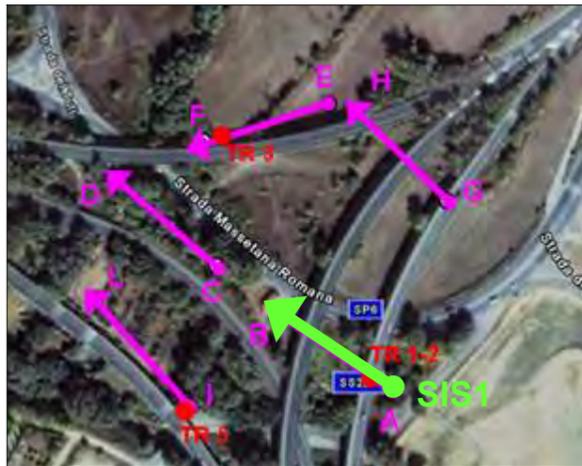
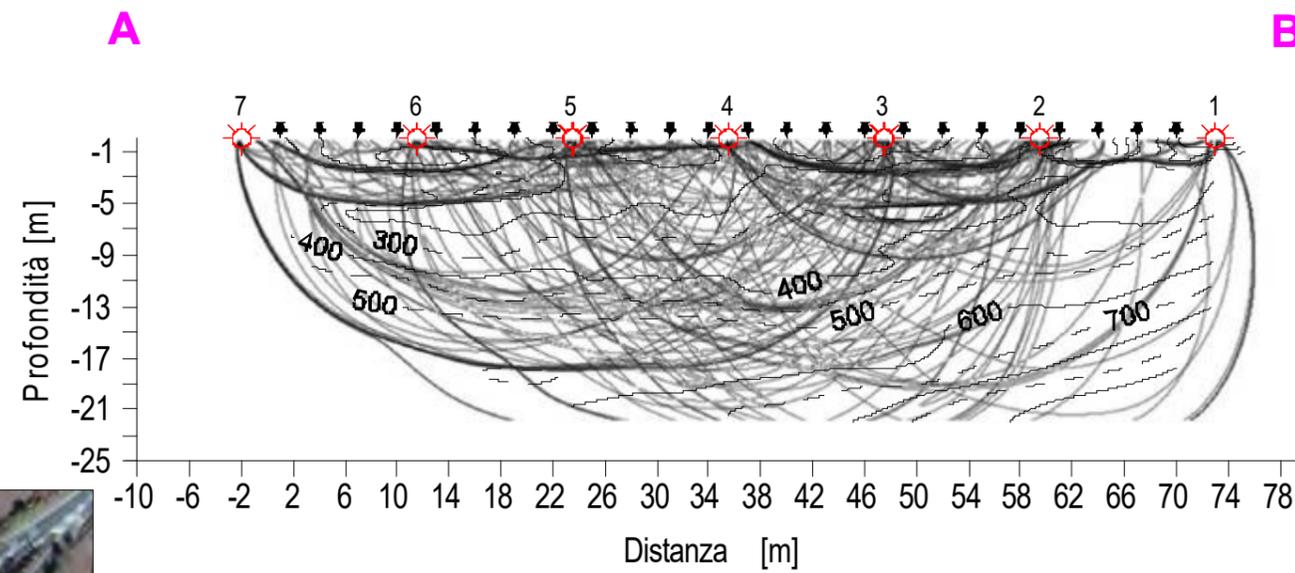
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS1 – onde P



SIS1 – onde S

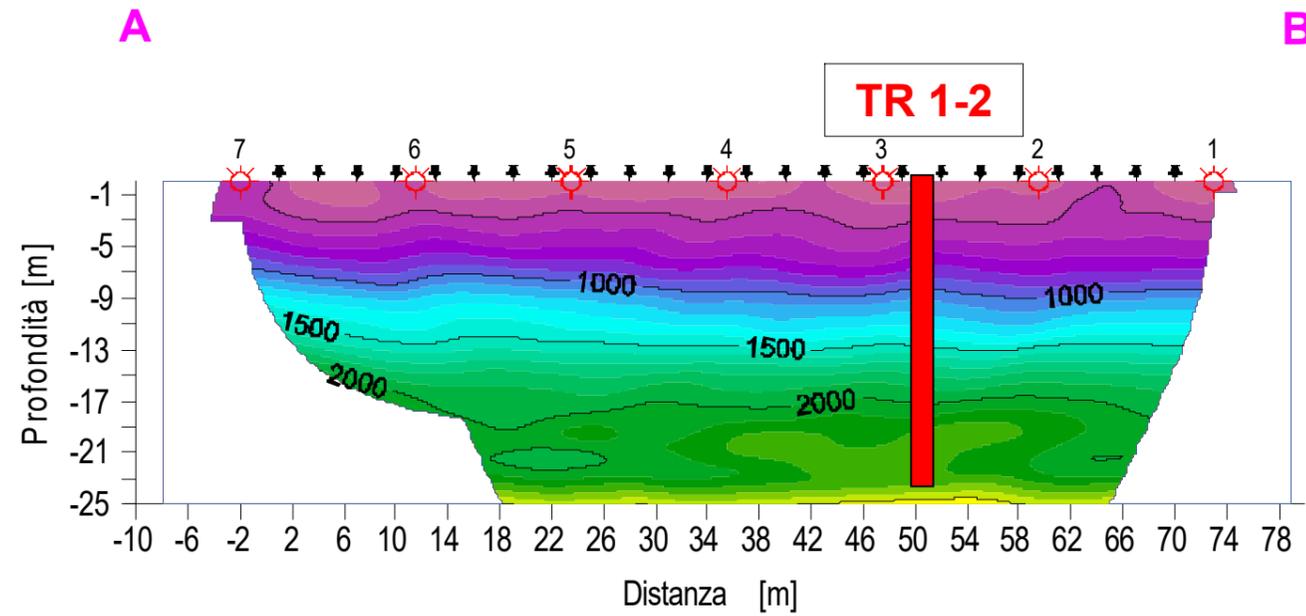


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 2	

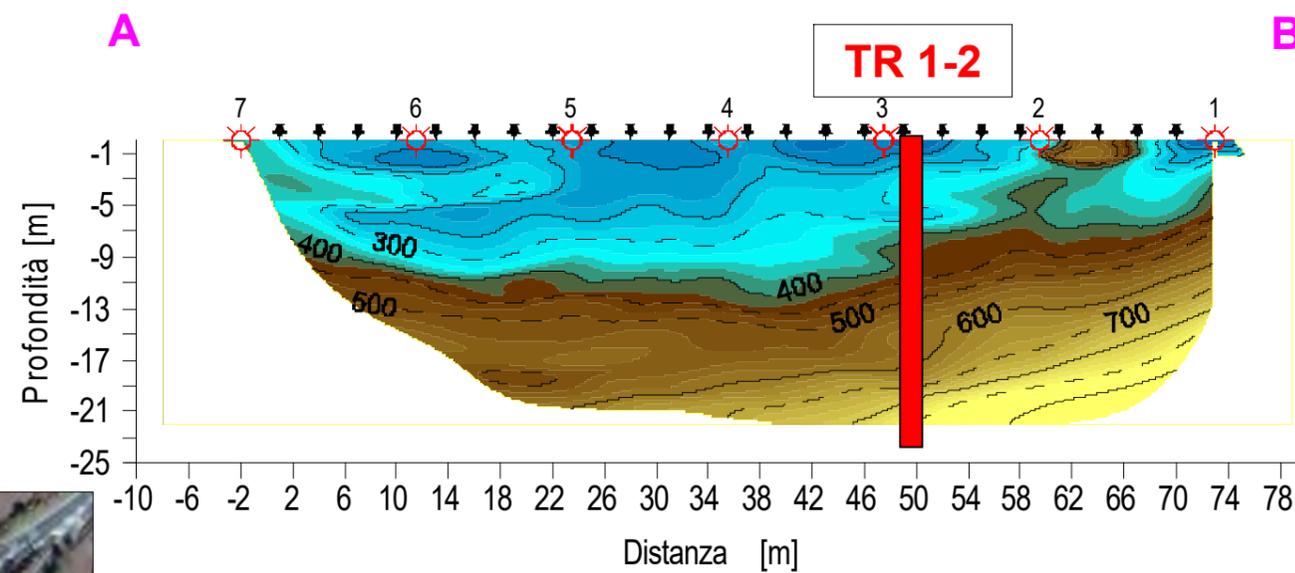
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

SIS1 – onde P



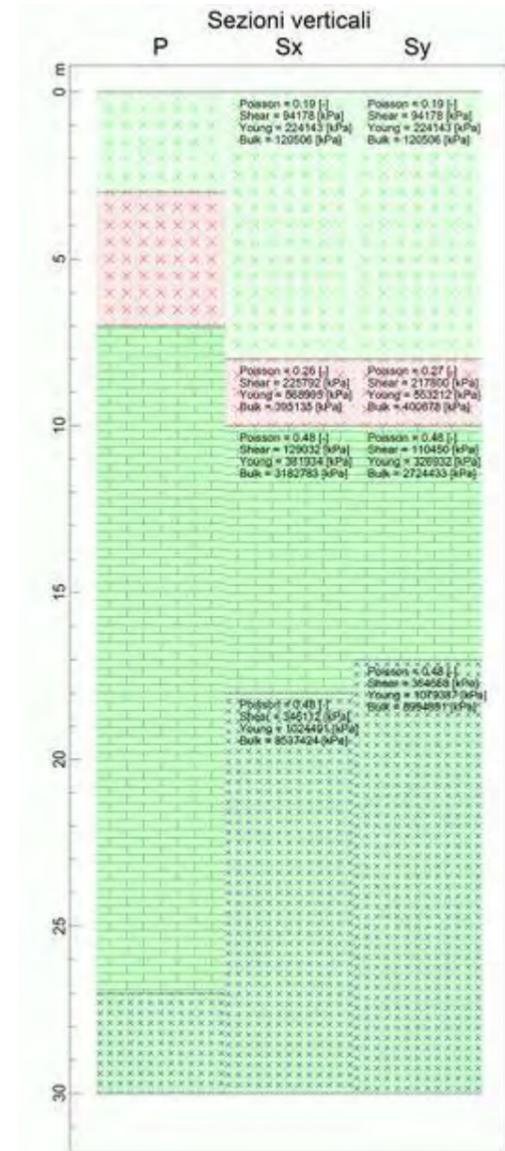
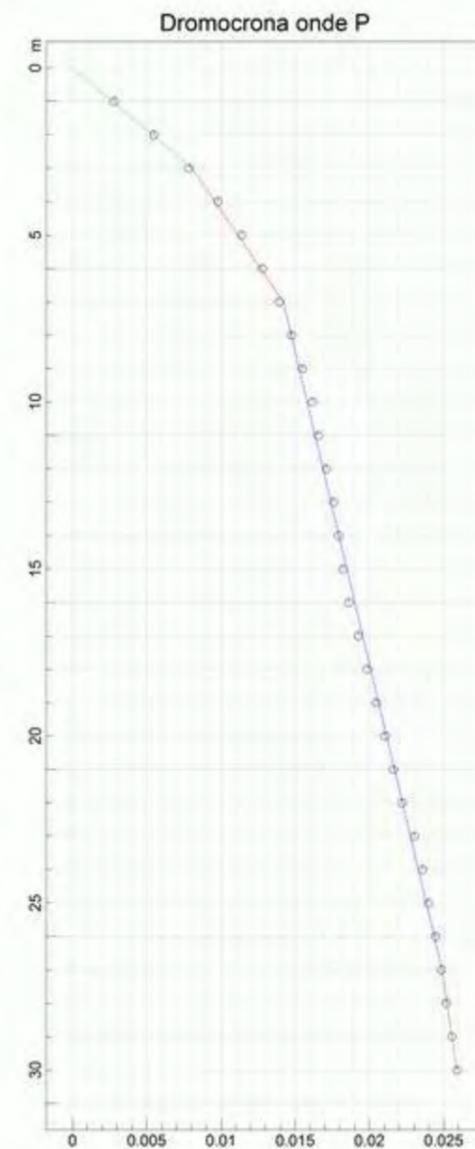
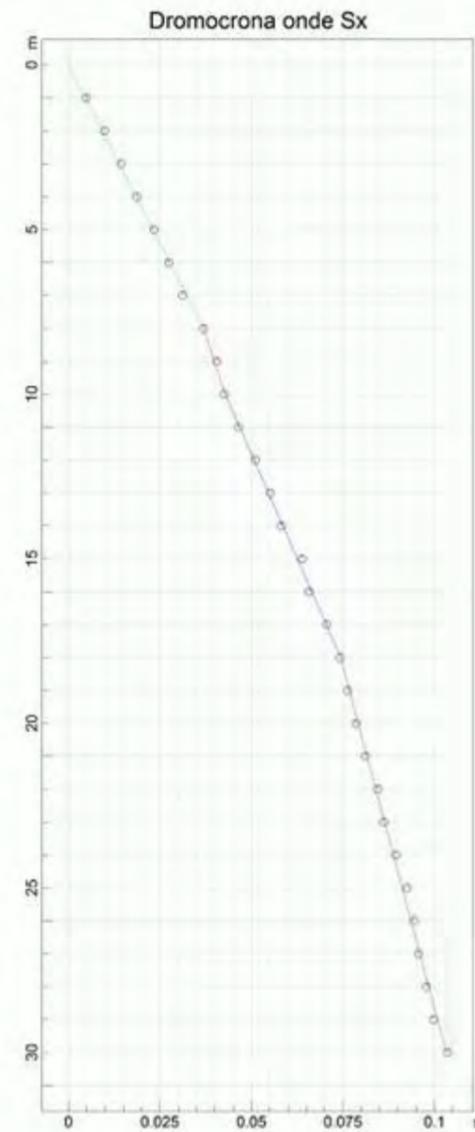
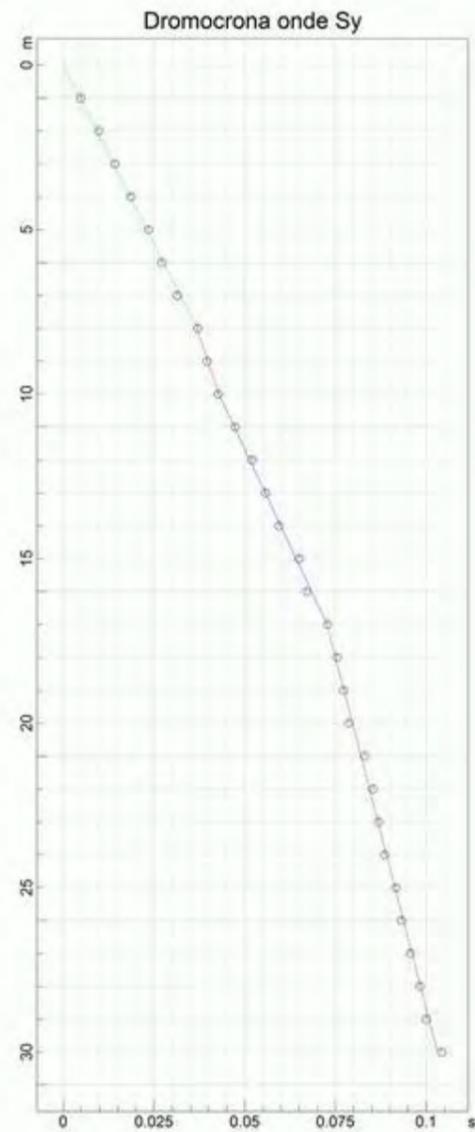
SIS1 – onde S



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 3	

VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – Dromocrone e Vs 30 calcolato – Foro TR 1-2



P	372 m/s	P	651 m/s	P	1870 m/s	P	3043 m/s	Vs30	
Sx	217 m/s	Sx	336 m/s	Sx	254 m/s	Sx	416 m/s		290.8 m/s
Sy	217 m/s	Sy	330 m/s	Sy	235 m/s	Sy	427 m/s		290.8 m/s

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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	290.08
		orizzontale Sy	290.08

TS Techgea Servizi
Geofisica Geologia Ambiente

Committente:	Studio Speri S.r.l	
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	4

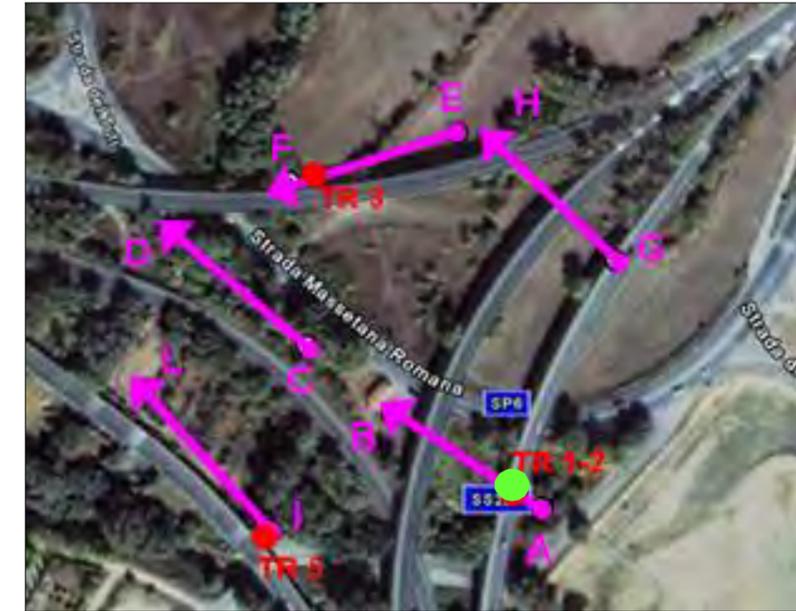
VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – parametri dinamici e Vs 30 calcolato – Foro TR 1-2

PARAMETRI ONDE P		
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	372
2	7	651
3	27	1870
4	30	3043

PARAMETRI ONDE SX						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	8	217	0.19	94178.0	224143	120506
2	10	336	0.26	225792..	568995	395135
3	18	254	0.48	129032..	381934	3182781
4	30	416	0.48	346112..	1024491	8537420

PARAMETRI ONDE SY						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	8	217	0.19	94178.0	224143	120506
2	10	330	0.27	217800..	553212	400878
3	17	235	0.48	110450..	326931	2724423
4	30	427	0.48	364658..	1079387	8994886



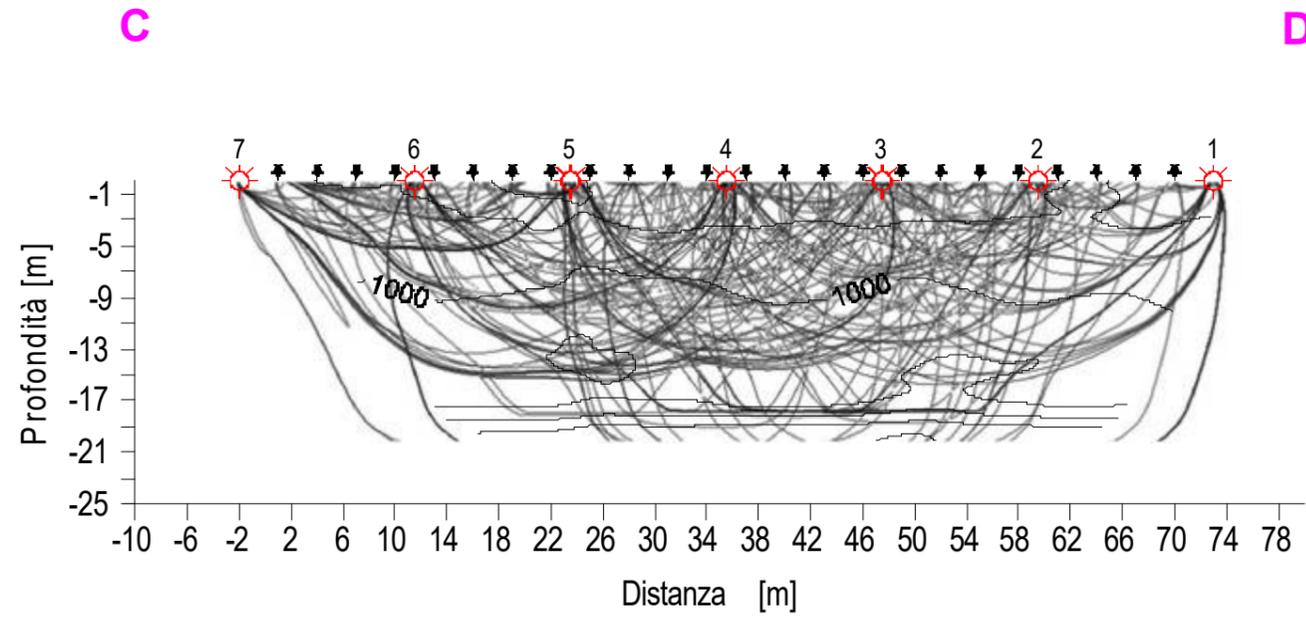
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	290.8
		orizzontale Sy	290.8

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 5	

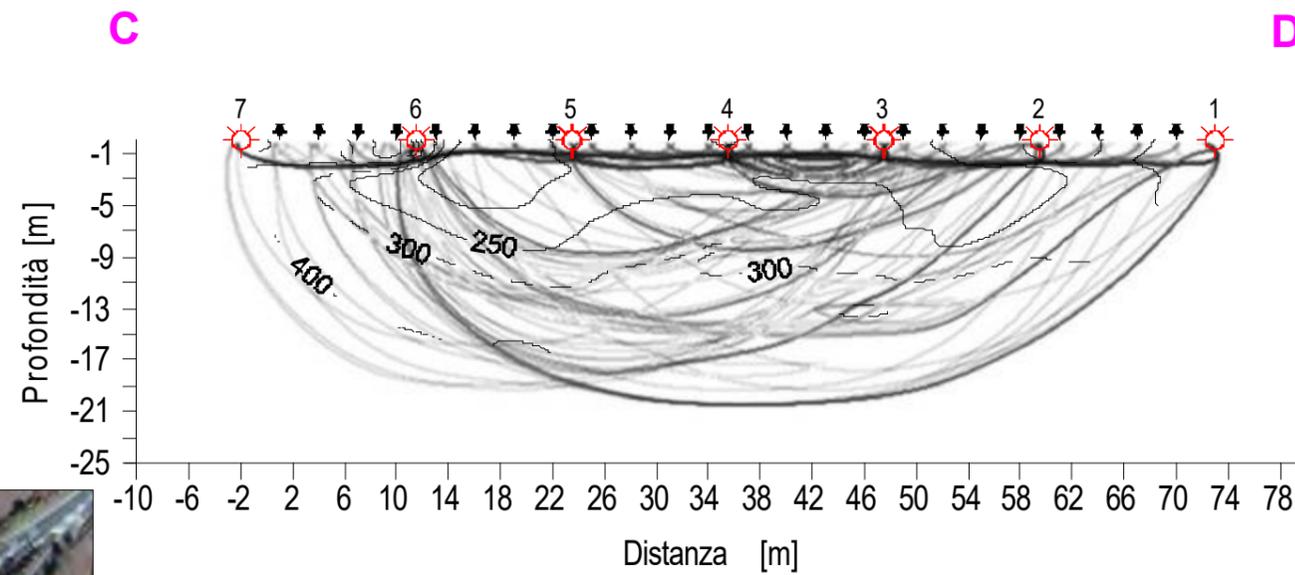
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS2 – onde P



SIS2 – onde S

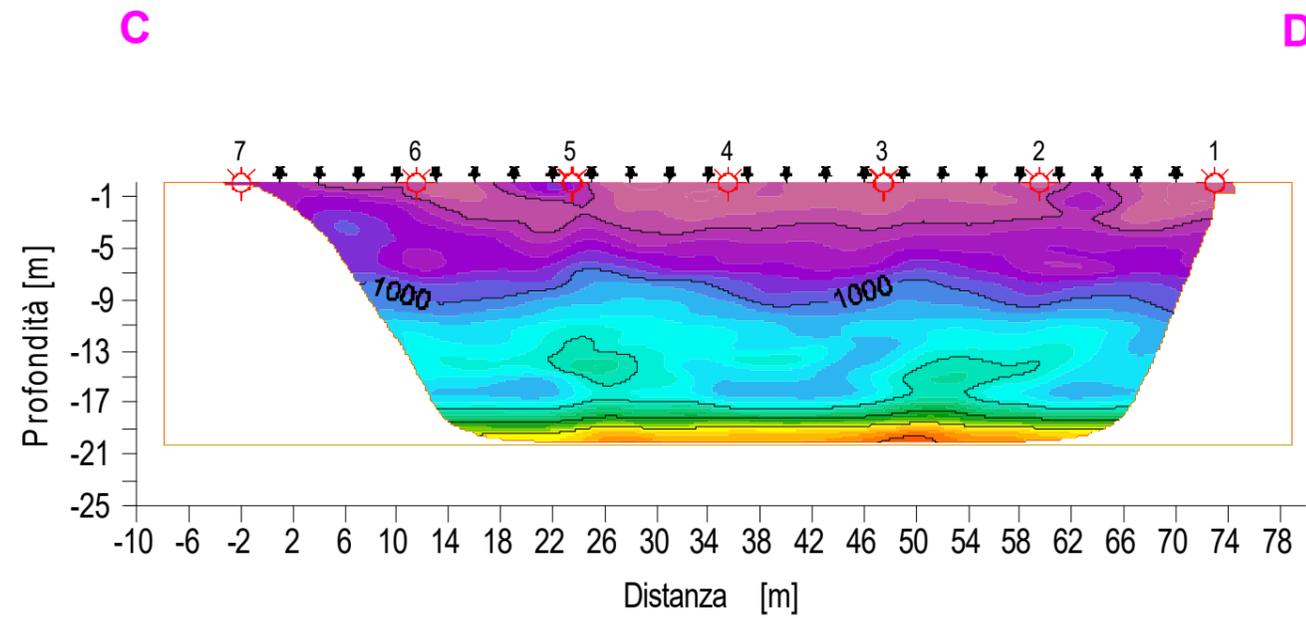


Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente		
		Committente:
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	6

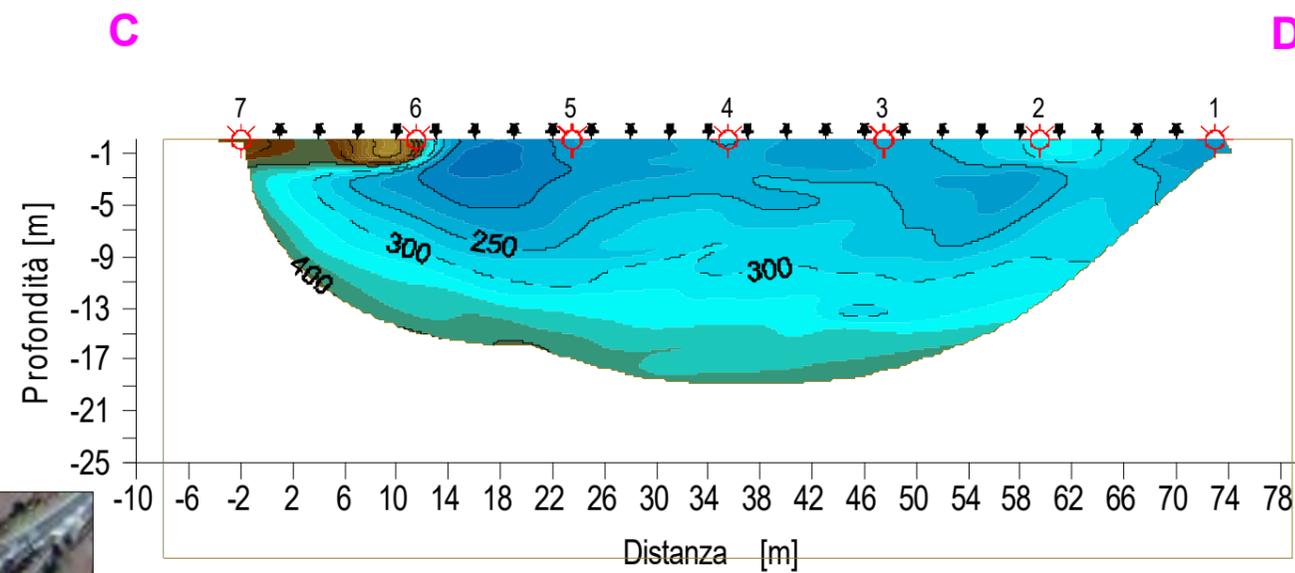
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

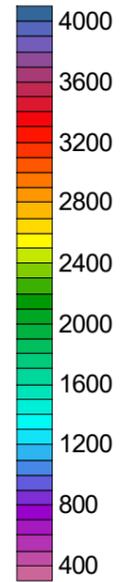
SIS2 – onde P



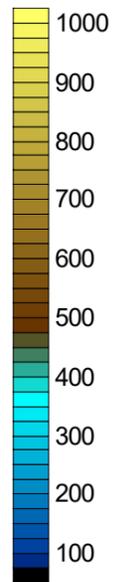
SIS2 – onde S



Scale dei colori
Velocità onde P [m/s]



Velocità onde S [m/s]

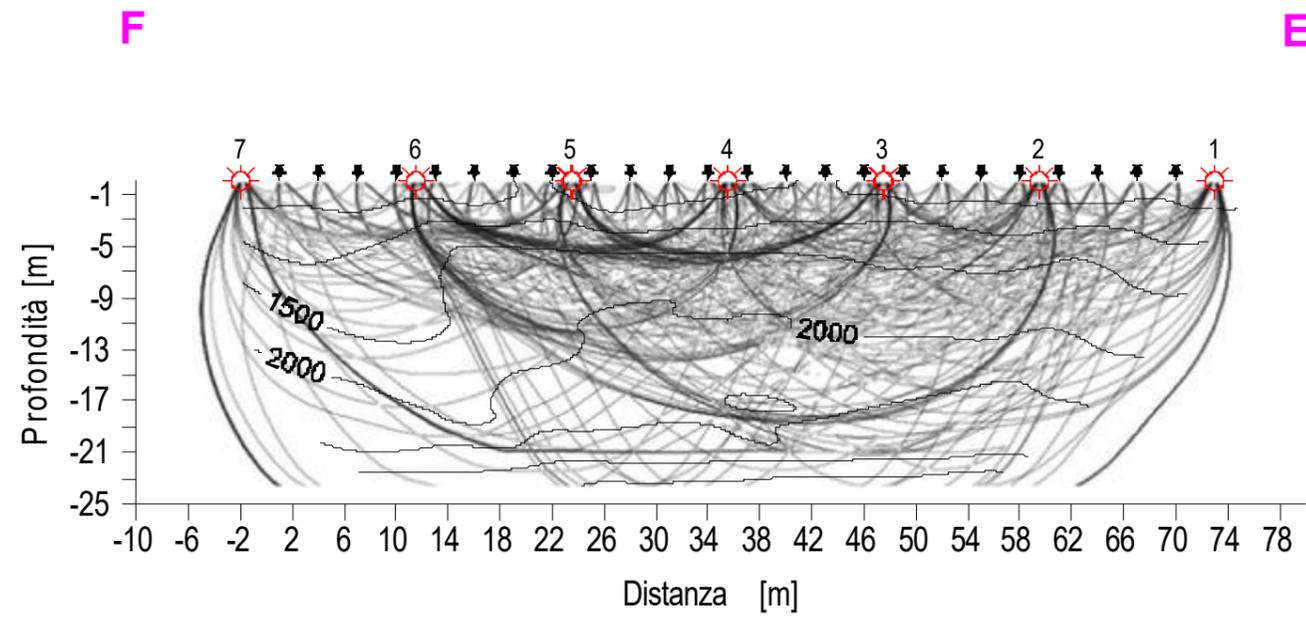


Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente		
		Committente:
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	7

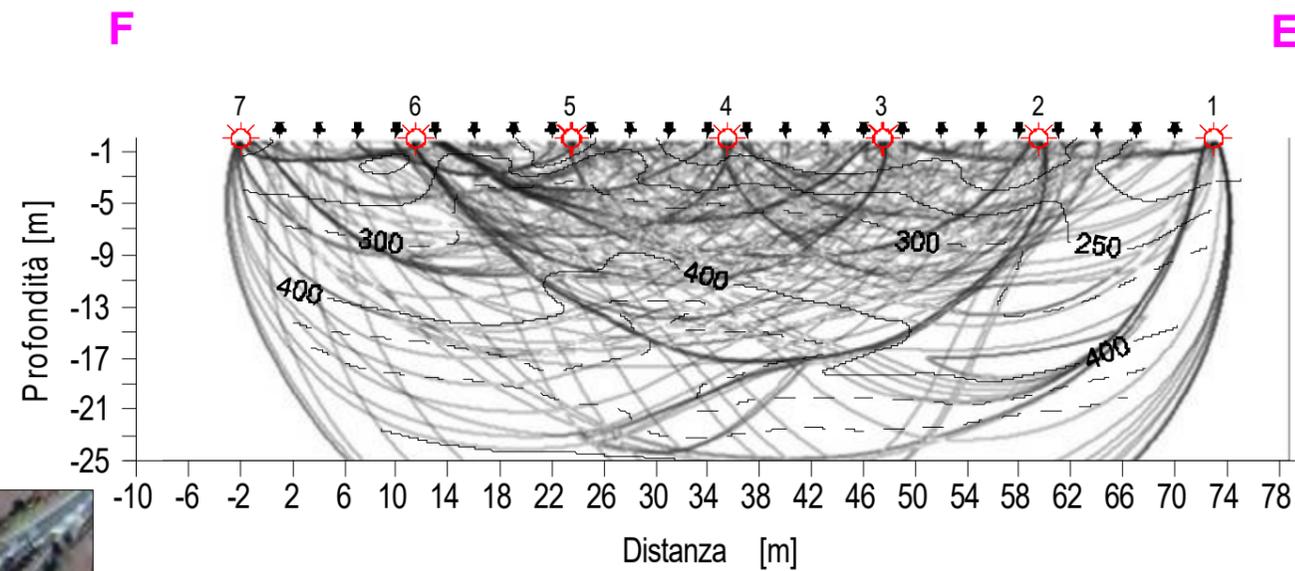
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS3 – onde P



SIS3 – onde S

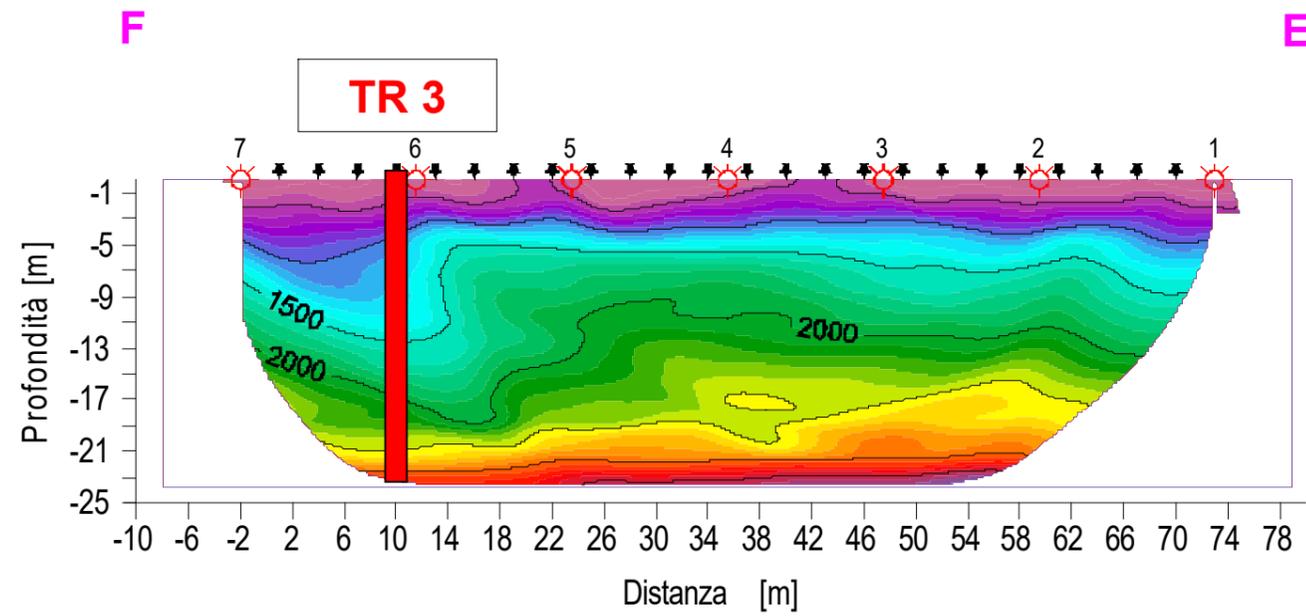


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 8	

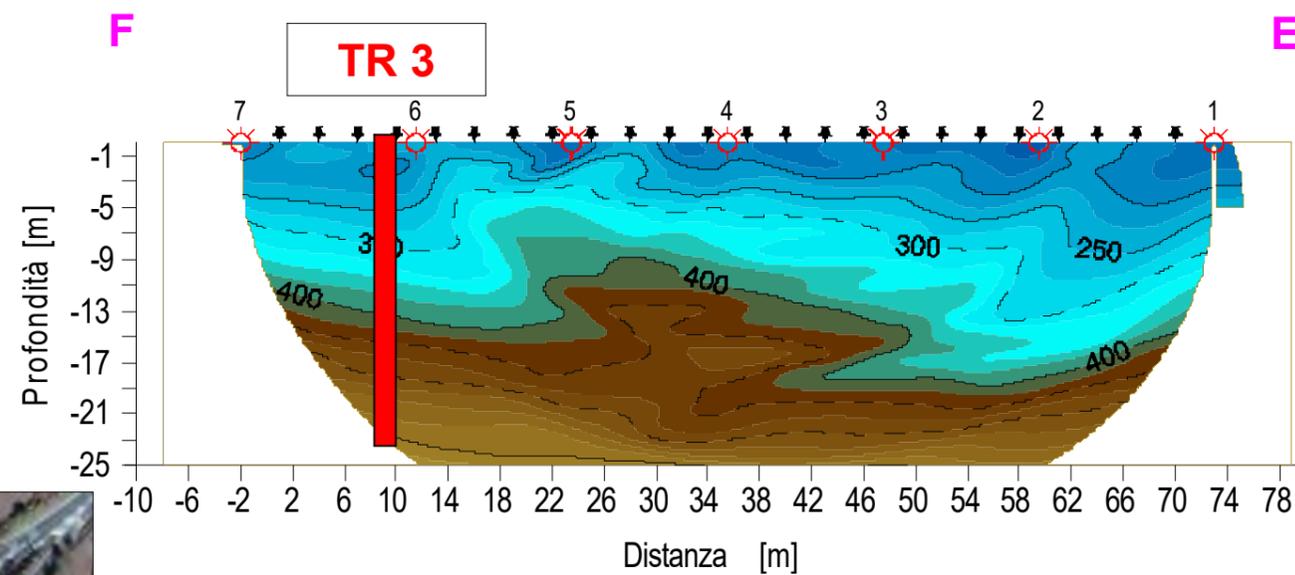
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

SIS3 – onde P



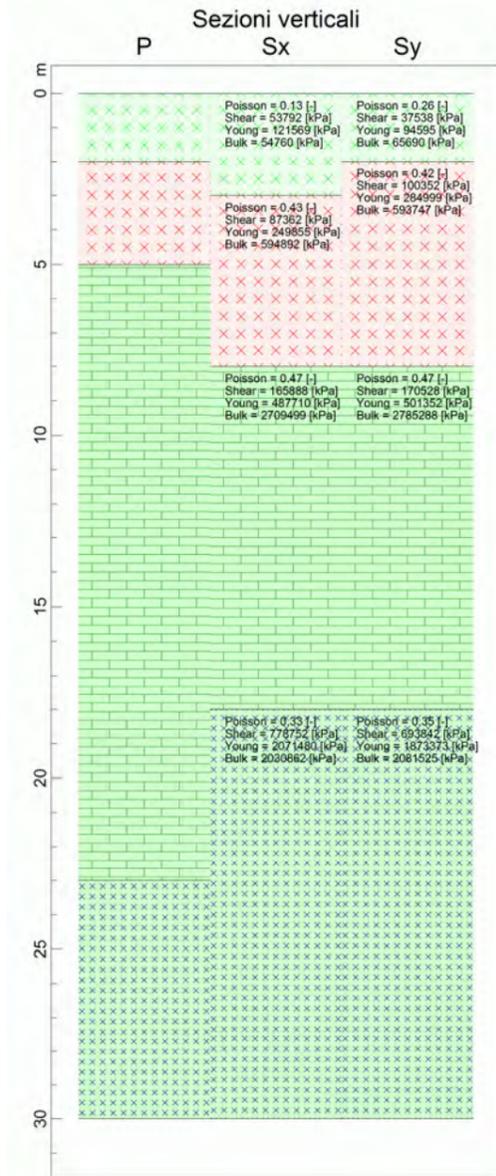
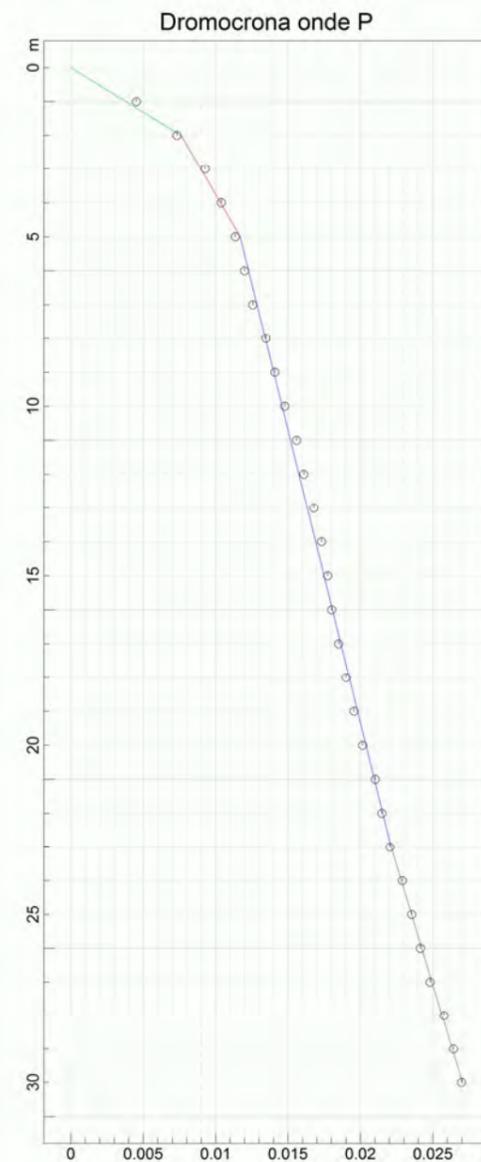
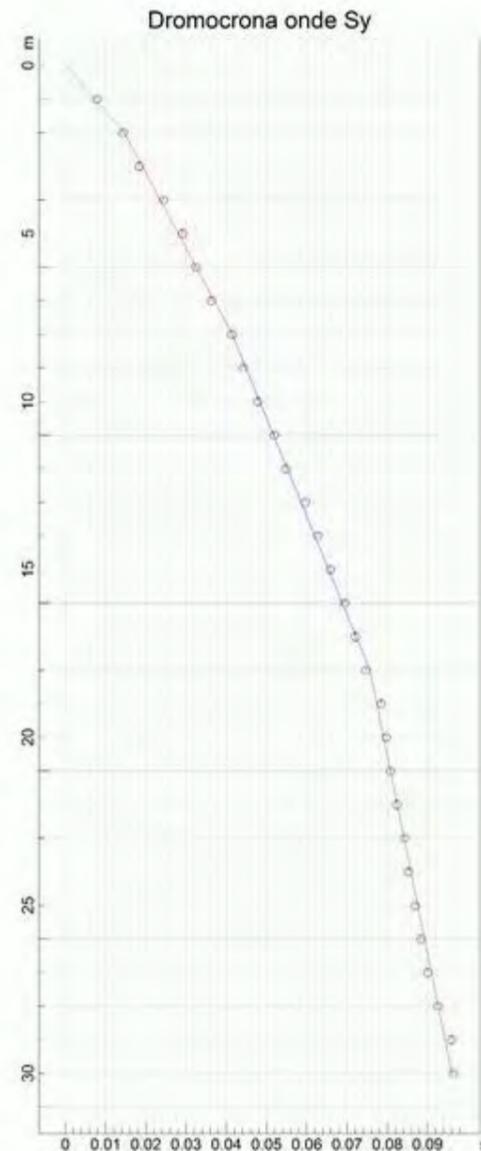
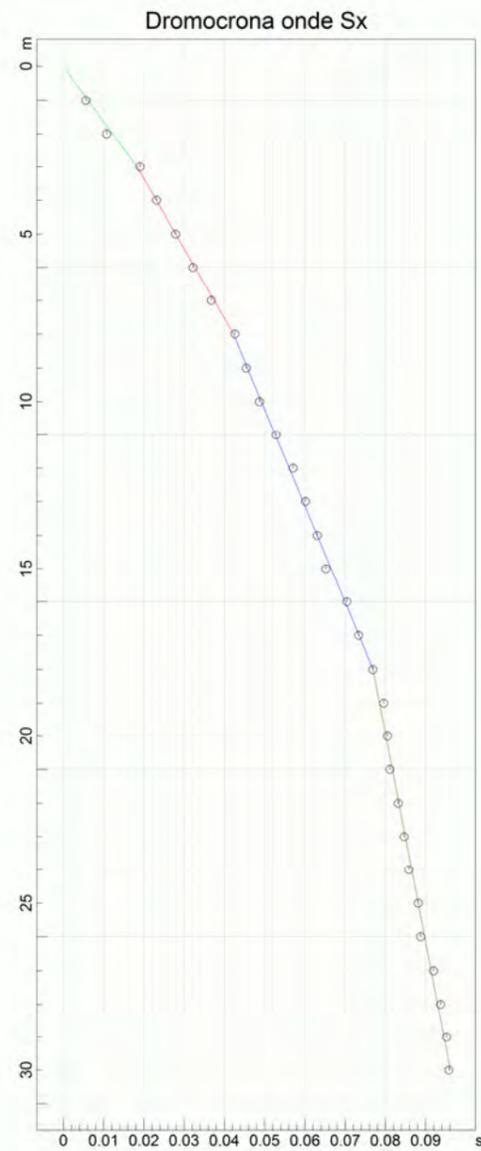
SIS3 – onde S



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 9	

VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – Dromocrone e Vs 30 calcolato – Foro TR 3



	P	262 m/s		P	736 m/s		P	1727 m/s		P	1421 m/s	Vs30 312.0 m/s 312.5 m/s
	Sx	164 m/s		Sx	209 m/s		Sx	288 m/s		Sx	624 m/s	
	Sy	137 m/s		Sy	224 m/s		Sy	292 m/s		Sy	589 m/s	

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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	312.0
		orizzontale Sy	312.5

TS Techgea Servizi
Geofisica Geologia Ambiente

Committente:	Studio Speri S.r.l	
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	10

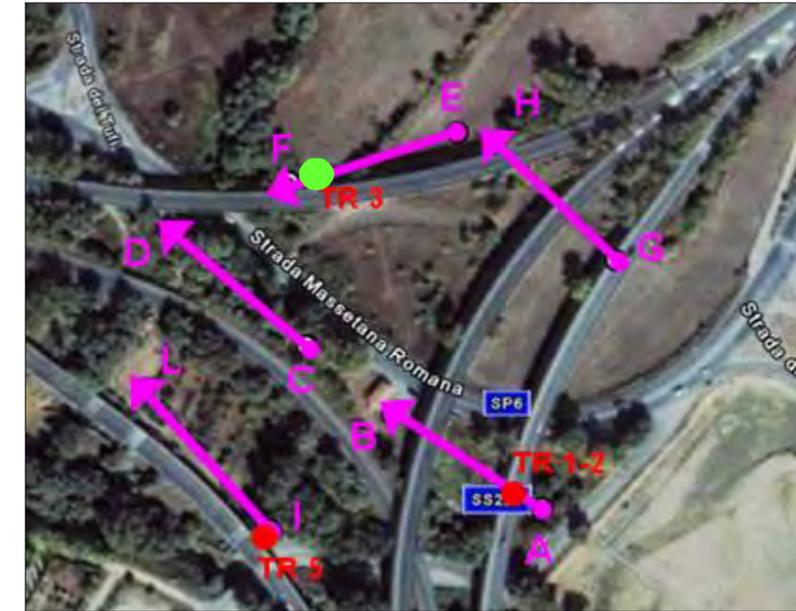
VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – parametri dinamici e Vs 30 calcolato – Foro TR 3

PARAMETRI ONDE P		
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	320
2	6	697
3	15	2268
4	30	1718

PARAMETRI ONDE SX						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	164	0.13	53792.0	121569	54760.0
2	8	209	0.43	87362.0	249855	594892..
3	18	288	0.47	165888..	487710	2709499.0
4	30	624	0.33	778752..	2071480	2030862.0

PARAMETRI ONDE SY						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	9	189	0.18	71442.0	168603	87814.0
2	20	429	0.14	368082..	839226	388530..
3	25	370	0.47	273800..	804971	4472060.0
4	30	465	0.44	432450..	1245455	3459597.0



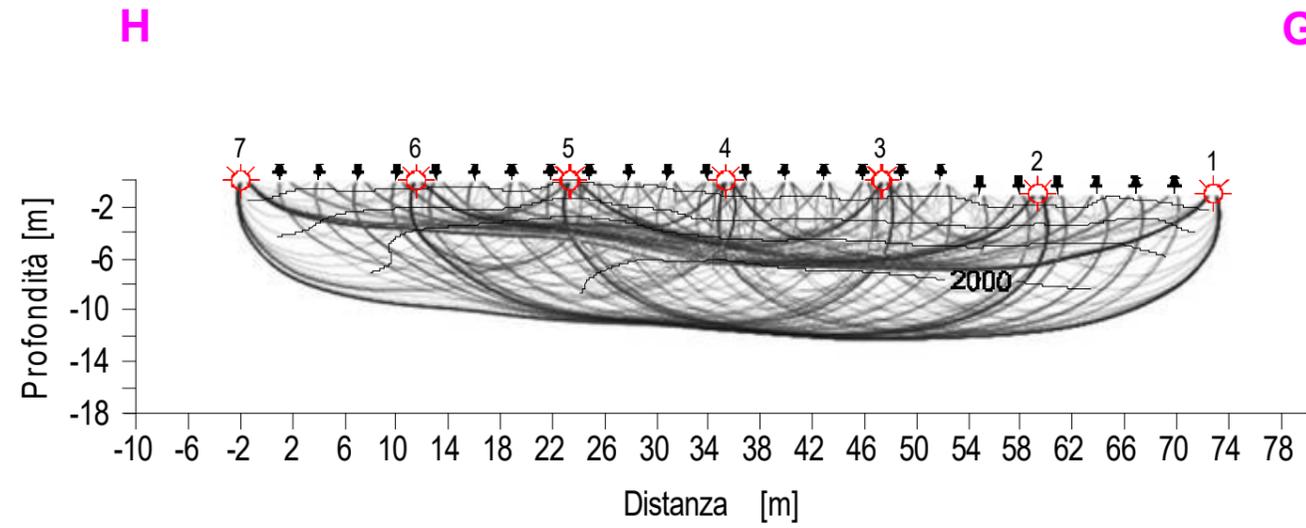
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	312.0
		orizzontale Sy	312.5

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 11	

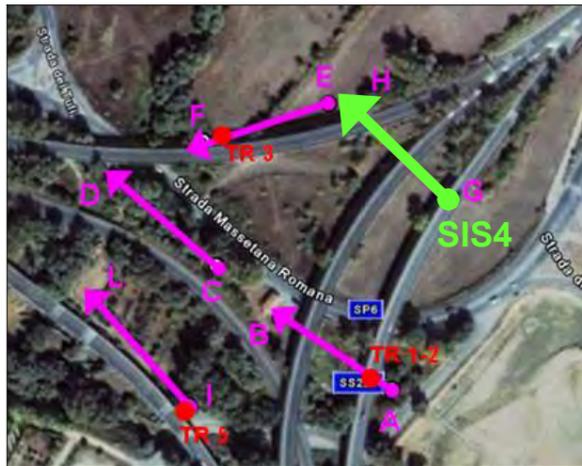
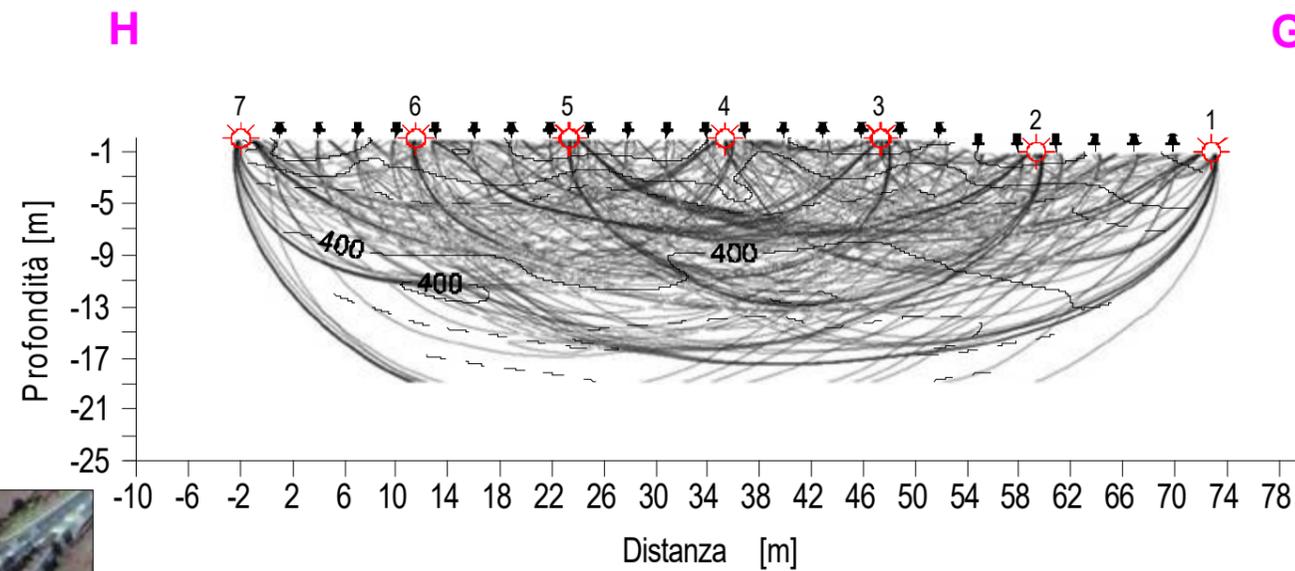
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS4 – onde P



SIS4 – onde S

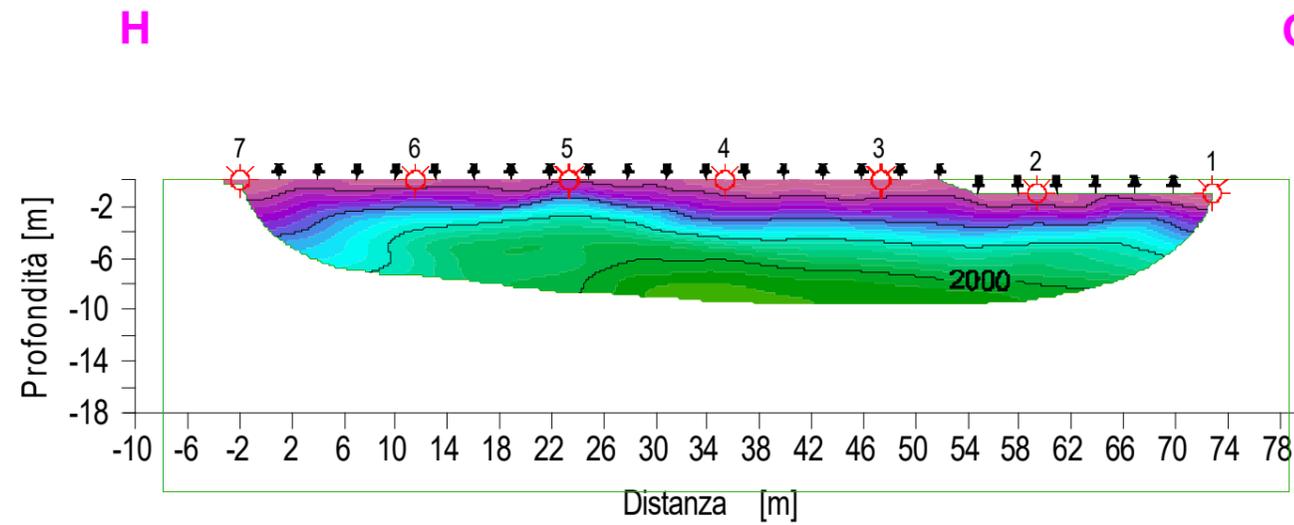


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 12	

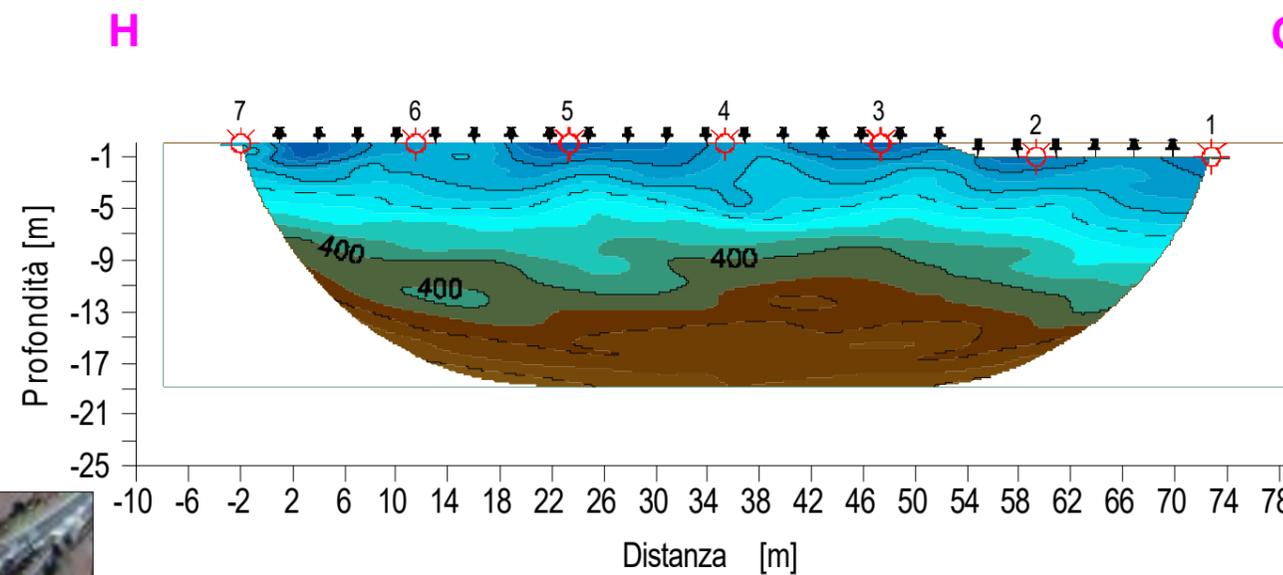
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

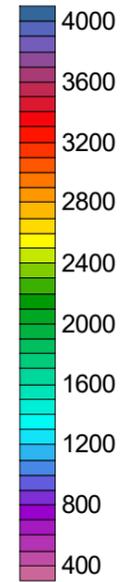
SIS4 – onde P



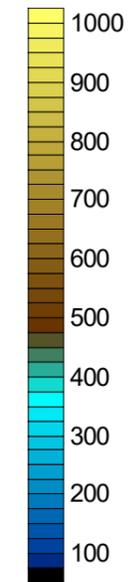
SIS4 – onde S



Scale dei colori
Velocità onde P [m/s]



Velocità onde S [m/s]

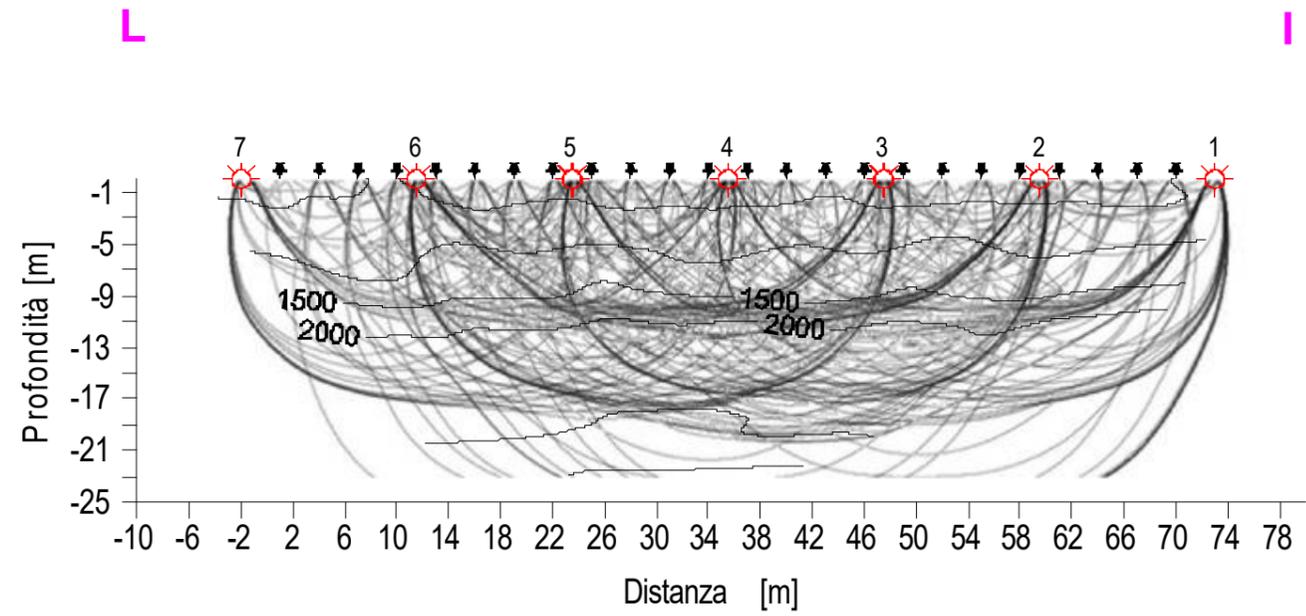


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 13	

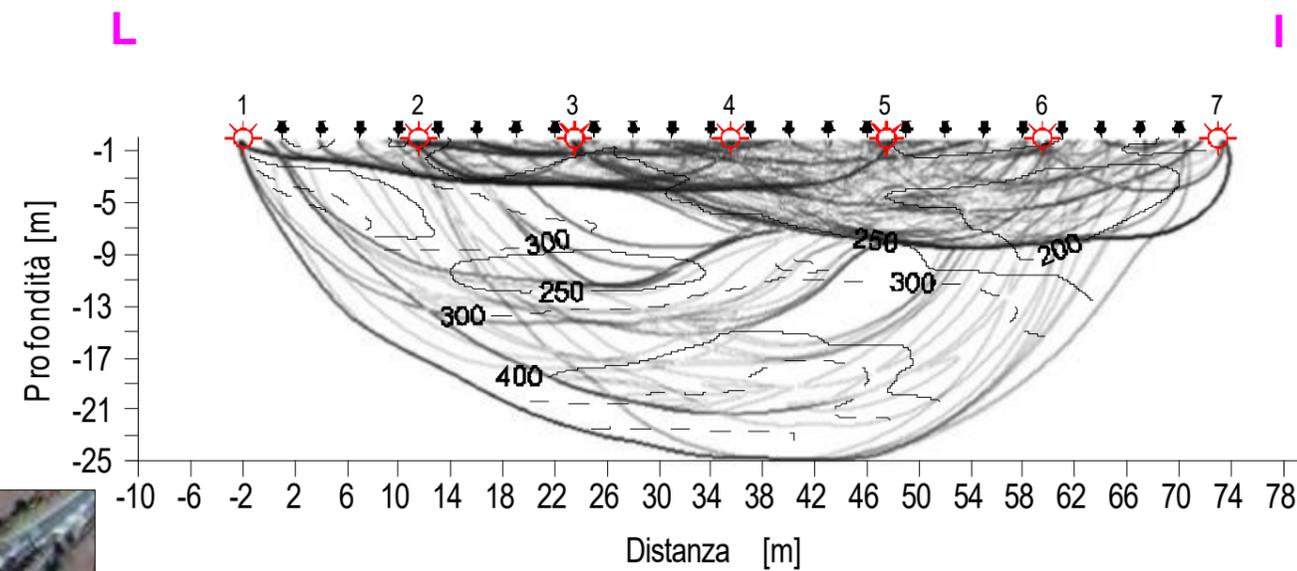
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Copertura raggi sismici

SIS5 – onde P



SIS5 – onde S

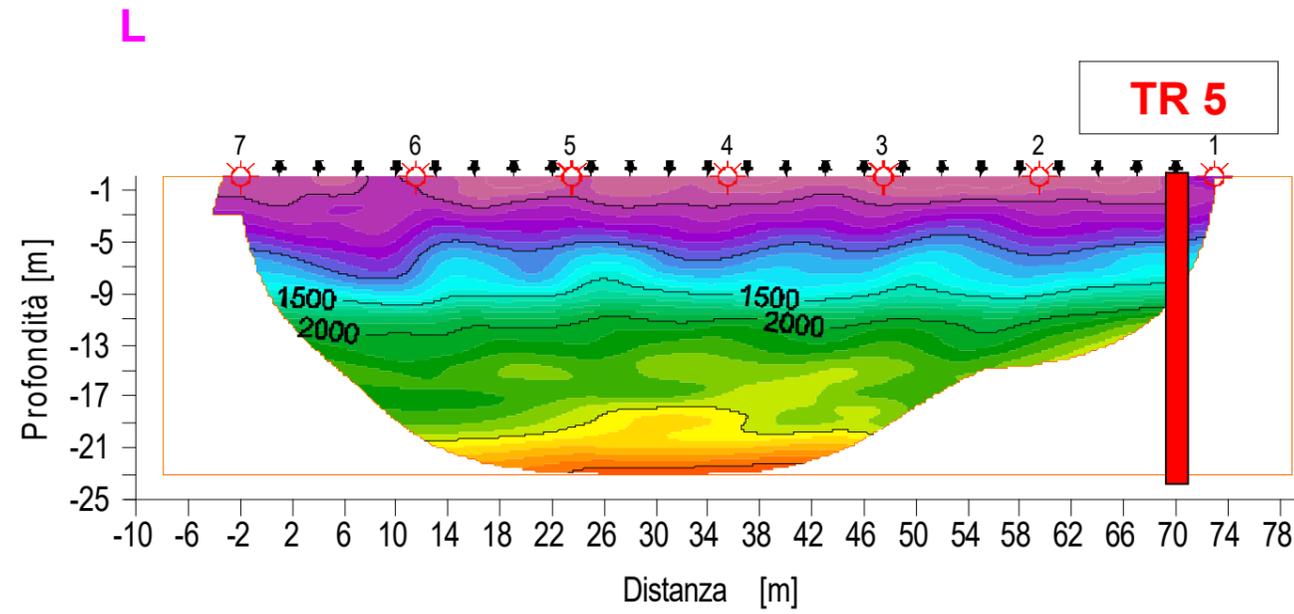


 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 14	

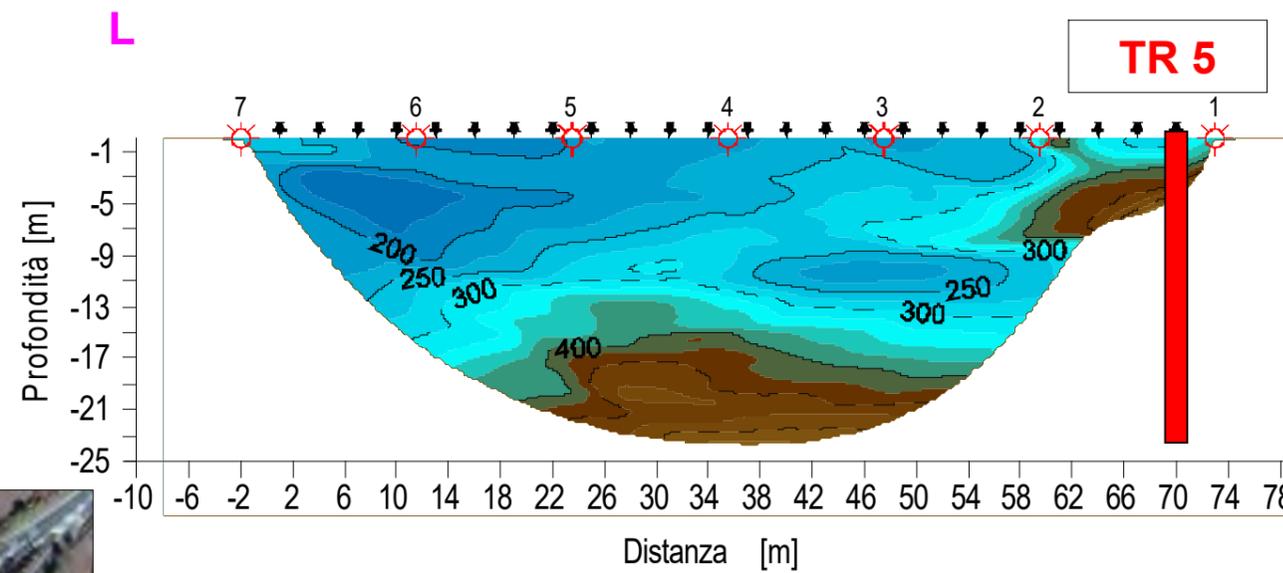
VIADOTTO TRESSA

Linea sismica a rifrazione onde P e S – Modello tomografico di velocità

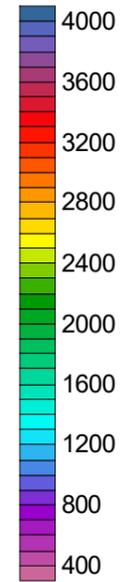
SIS5 – onde P



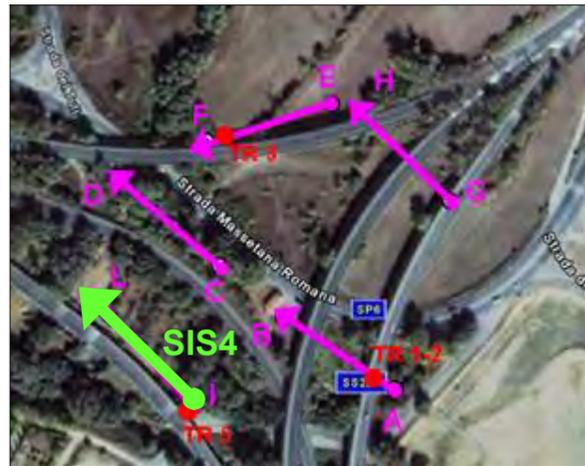
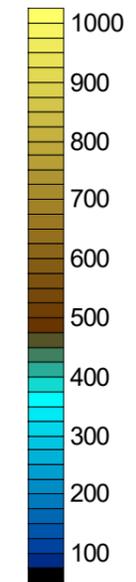
SIS5 – onde S



Scale dei colori
Velocità onde P [m/s]



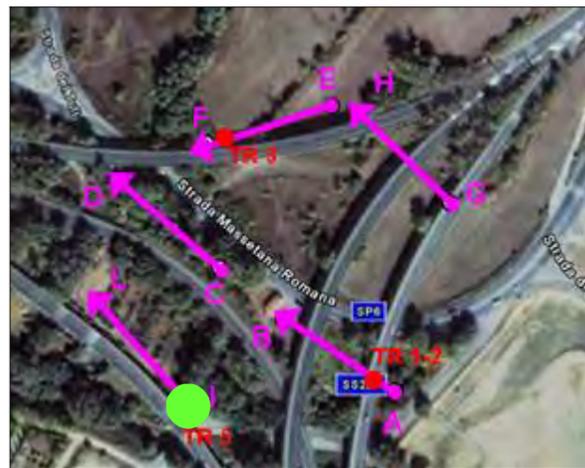
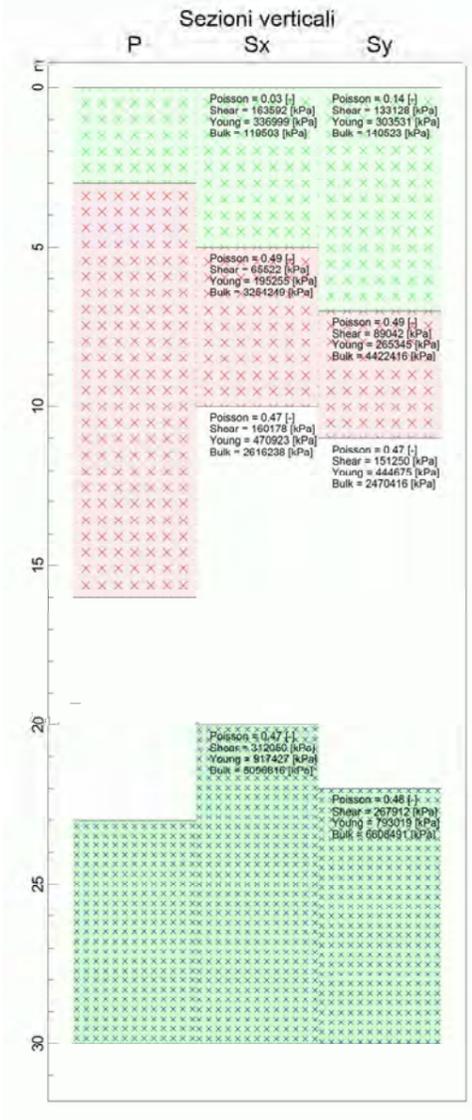
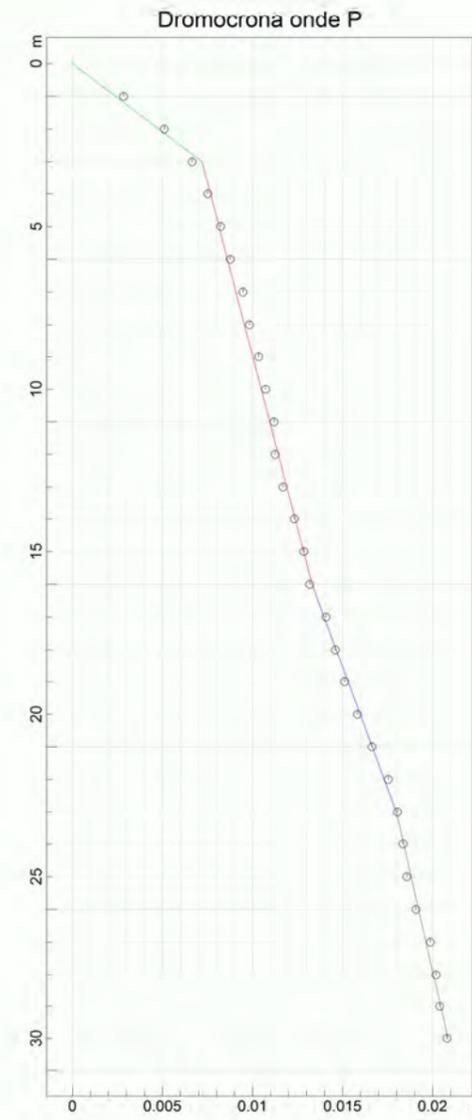
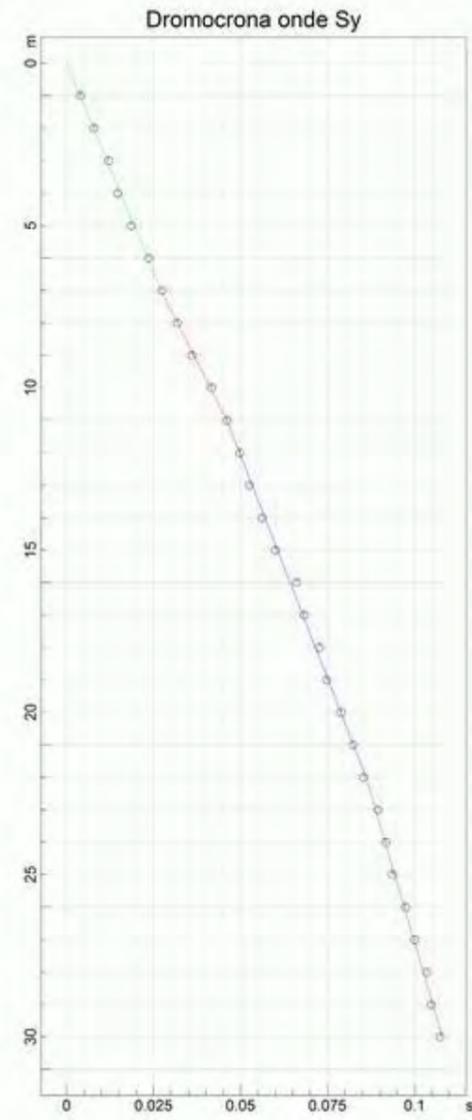
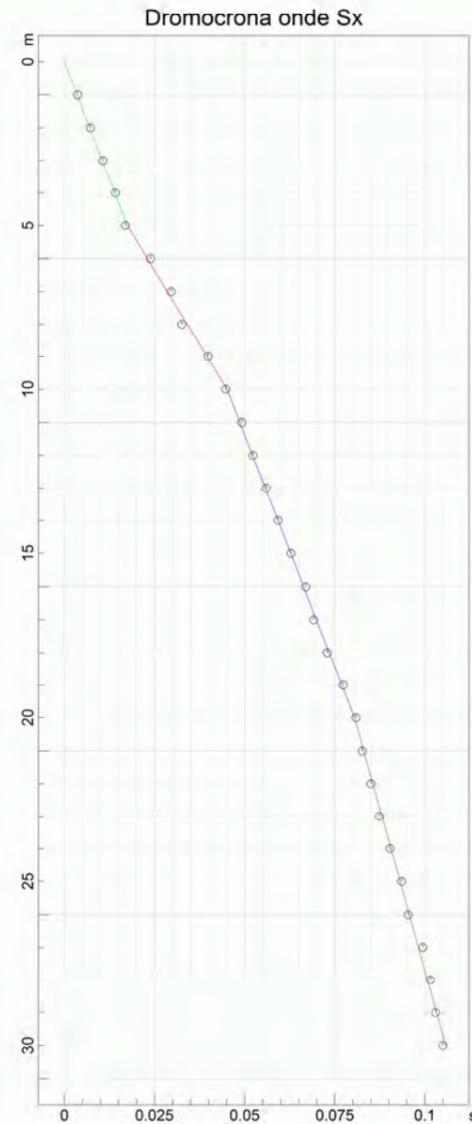
Velocità onde S [m/s]



 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 15	

VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – Dromocrone e Vs 30 calcolato – Foro TR 5



P	417 m/s	P	2129 m/s	P	1498 m/s	P	2431 m/s	Vs30 283.7 m/s 277.9 m/s
Sx	286 m/s	Sx	181 m/s	Sx	283 m/s	Sx	395 m/s	
Sy	258 m/s	Sy	211 m/s	Sy	275 m/s	Sy	366 m/s	

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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	283.7
		orizzontale Sy	277.9

T S Techgea Servizi
Geofisica Geologia Ambiente

Committente:	Studio Speri S.r.l	
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	16

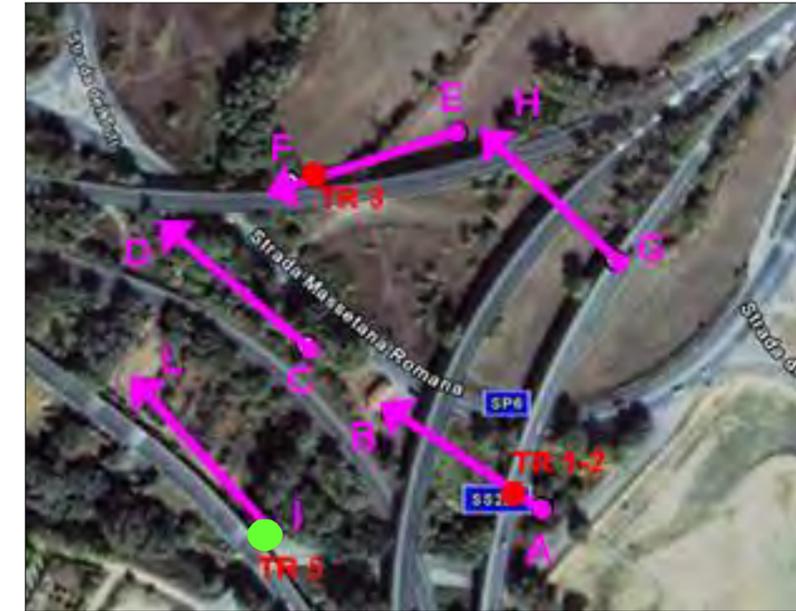
VIADOTTO TRESSA

Prove Down Hole – parametri dinamici e Vs 30 calcolato – Foro TR 5

PARAMETRI ONDE P		
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	417
2	16	2129
3	23	1498
4	30	2431

PARAMETRI ONDE SX						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	5	286	0.03	163592..	336999	119503
2	10	181	0.49	65522.0	195255	3254253
3	20	283	0.47	160178..	470923	2616238
4	30	395	0.47	312050..	917426	5096810

PARAMETRI ONDE SY						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	7	258	0.14	133128..	303531	140523
2	11	211	0.49	89042.0	265345	4422420
3	22	275	0.47	151250..	444674	2470411
4	30	366	0.48	267912..	793019	6608488



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 Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	Geofono	VS30 [m/s]
		orizzontale Sx	283.7
		orizzontale Sy	277.9

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 17	

VIADOTTO TRESSA

Documentazione fotografica

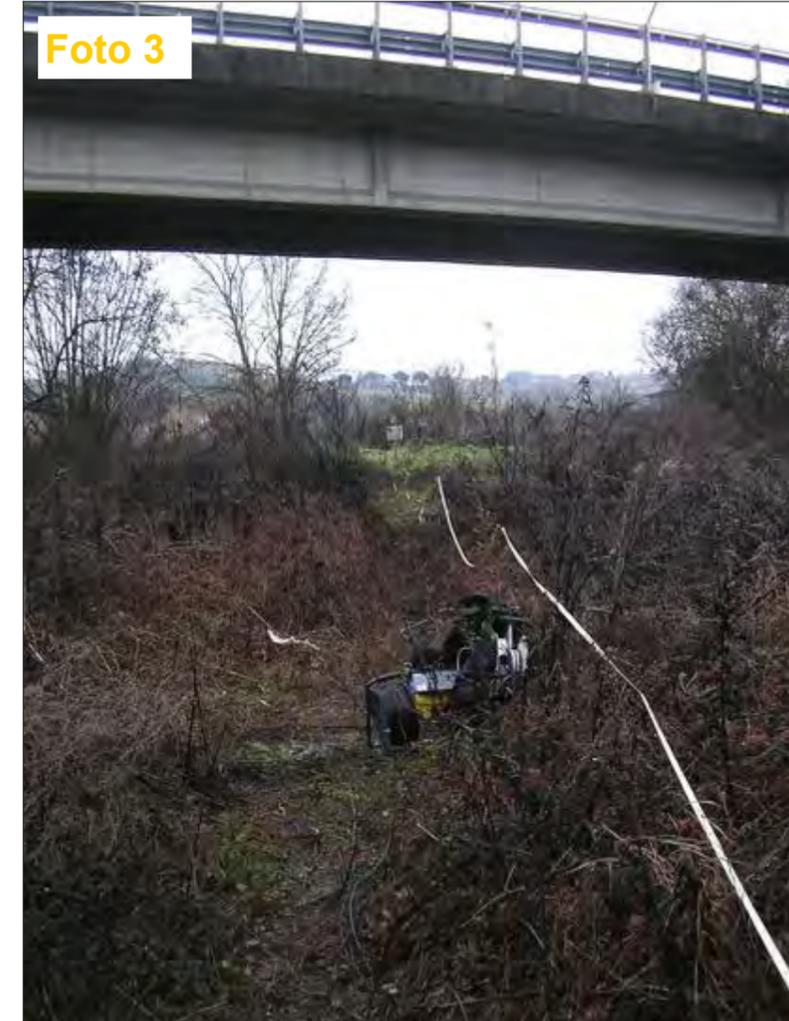
Foto 1



Foto 2



Foto 3



Strumentazione utilizzata:

- Daqlink II 24 bit System
- 24 geofoni a 40 Hz (onde P)
- 24 geofoni a 20 Hz SWYPHONES (onde S)
- Mazza strumentata da 8 kg

 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente		
		Committente:
Progetto:	Viadotti ANAS	
Sito:	Siena – S.S. 223	
Data:	Marzo 2010	Figura:
Relazione:	1158/10	18

VIADOTTO TRESSA

Documentazione fotografica



- Strumentazione utilizzata:**
- Daqlink II 24 bit System
 - 24 geofoni a 40 Hz (onde P)
 - 24 geofoni a 20 Hz SWYPHONES (onde S)
 - Mazza strumentata da 8 kg

Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Studio Speri S.r.l.
Progetto:	Viadotti ANAS
Sito:	Siena – S.S. 223
Data:	Marzo 2010
Relazione:	1158/10
Figura: 19	

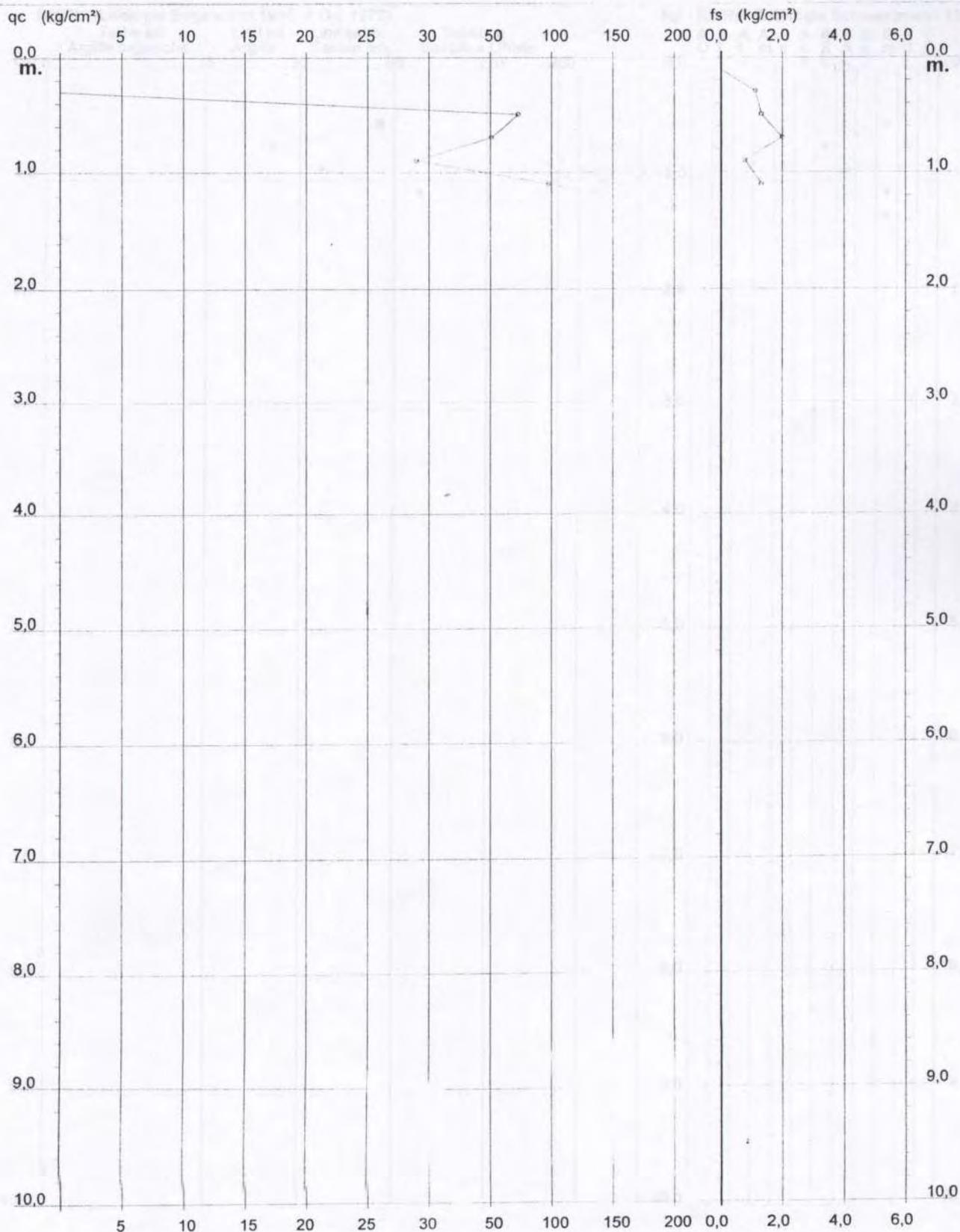
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

CPT P2

2.01PG05-091

- committente : Georicerche Studio Associato
- lavoro : Realizzazione nuova viabilità Cerchiaia-Tufi
- località : Cerchiaia-Tufi, Siena

- data : 20/06/2003
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



10.2 Allegato 2 - Stratigrafie di pozzi fornite dal Comune di Siena

P247

Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)
Scheda indagine

Codice: 202022
Regione: TOSCANA
Provincia: SIENA
Comune: SIENA
Tipologia: PERFORAZIONE
Uso: DOMESTICO
Profondità (m): 50.00
Quota pc slm (m): 228
Anno realizzazione: 1998
Numero diametri: 1
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 0.08
Portata esercizio (l/s): 0.06
Numero falde: 2
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): ND
Numero strati: 7
Longitudine ED50 (dd): 11.369445
Latitudine ED50 (dd): 43.301666
Longitudine WGS84 (dd): 11.368503
Latitudine WGS84 (dd): 43.300679

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine**DIAMETRI PERFORAZIONE**

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0	50	50	360

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	18	20	2
2	39	42	3

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	35	50	15	250

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
GEN / 1998	20	42	22	0.08

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	1	1.0		TERRENO ALTERATO SUPERFICIALE
2	1	11	10.0		SABBIA GIALLO OCRA FINE
3	11	16	5.0		SABBIA GRIGIA CON FOSSILI
4	16	22	6.0		SABBIA CON CIOTTOLI
5	22	28	6.0		SABBIA LIMOSA GRIGIA
6	28	43	15.0		SABBIA GRIGIA A GRANA MEDIA
7	43	50	7.0		ARGILLA GRIGIA

ISPRA - Copyright 2010

P248

Contatti | Mappa | Ricerca

Indagini nel
sottosuolo (L. 464/84)

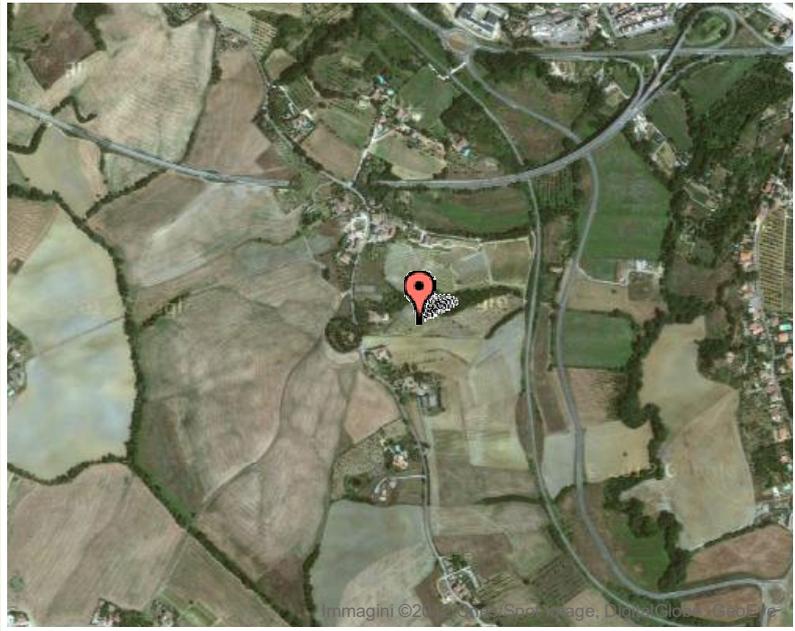
Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

Scheda indagine

Codice: 207033
Regione: TOSCANA
Provincia: SIENA
Comune: SIENA
Tipologia: PERFORAZIONE
Uso: DOMESTICO
Profondità (m): 45.00
Quota pc slm (m): 250
Anno realizzazione: 1989
Numero diametri: 1
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 0.02
Portata esercizio (l/s): 0.02
Numero falde: 1
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): ND
Numero strati: 4
Longitudine ED50 (dd): 11.370833
Latitudine ED50 (dd): 43.296944
Longitudine WGS84 (dd): 11.369891
Latitudine WGS84 (dd): 43.295956

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0	45	45	400

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	35	37	2

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	35	40	5	200

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
MAR / 1989	33	40	7	0.01

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	5	5.0		TERRENO MISTO ARGILLOSO SABBIOSO
2	5	35	30.0		ARGILLA
3	35	38	3.0		SABBIA
4	38	45	7.0		ARGILLA

P249

Contatti | Mappa | Ricerca

Indagini nel
sottosuolo (L. 464/84)

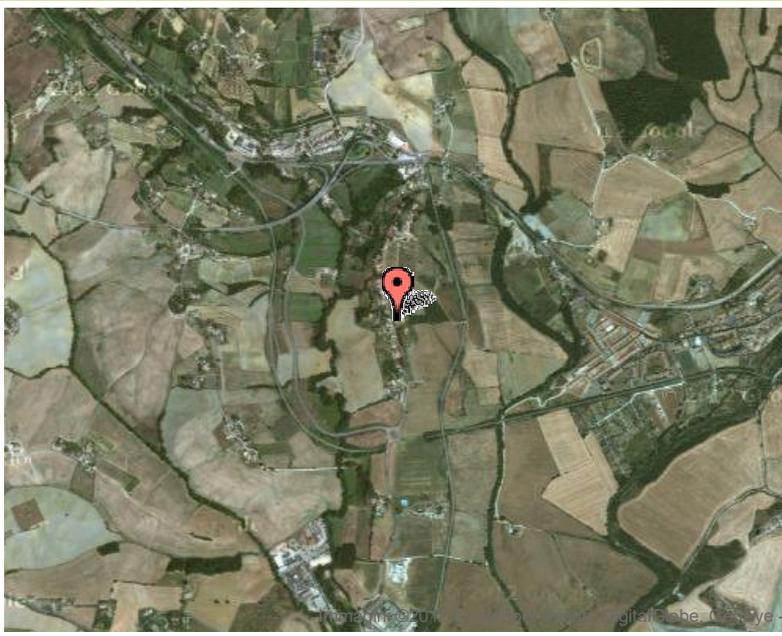
Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

Scheda indagine

Codice: 202096
Regione: TOSCANA
Provincia: SIENA
Comune: SIENA
Tipologia: PERFORAZIONE
Uso: DOMESTICO
Profondità (m): 106.00
Quota pc slm (m): 235
Anno realizzazione: 1994
Numero diametri: 1
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 1
Portata esercizio (l/s): 0.6
Numero falde: 1
Numero filtri: 0
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): ND
Numero strati: 1
Longitudine ED50 (dd): 11.380834
Latitudine ED50 (dd): 43.296112
Longitudine WGS84 (dd): 11.379892
Latitudine WGS84 (dd): 43.295125

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0	106	106	300

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	0	106	106

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
SET / 1994	40	85	45	2

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	106	106.0		ARGILLE SABBIOSE

P295

Contatti | Mappa | Ricerca

Indagini nel
sottosuolo (L. 464/84)

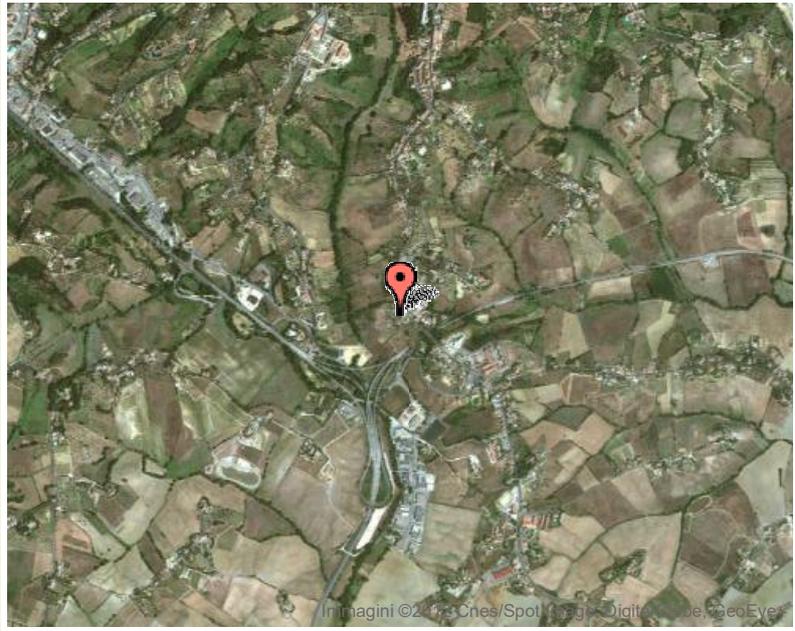
Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

Scheda indagine

Codice: 206803
Regione: TOSCANA
Provincia: SIENA
Comune: SIENA
Tipologia: PERFORAZIONE
Usò: DOMESTICO
Profondità (m): 68.00
Quota pc slm (m):
Anno realizzazione: 1991
Numero diametri: 1
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 1
Portata esercizio (l/s): ND
Numero falde: 1
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 0
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): ND
Numero strati: 4
Longitudine ED50 (dd): 11.338333
Latitudine ED50 (dd): 43.299168
Longitudine WGS84 (dd): 11.337391
Latitudine WGS84 (dd): 43.298180

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0	68	68	400

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	60	63	3

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	60	65	5	200

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	2	2.0		HUMUS
2	2	50	48.0		ARGILLA
3	50	55	5.0		SABBIA CALCIFICATA CON FOSSILI
4	55	68	13.0		ACQUA E SABBIA

ISPRA - Copyright 2010

P296

Contatti | Mappa | Ricerca

Indagini nel
sottosuolo (L. 464/84)

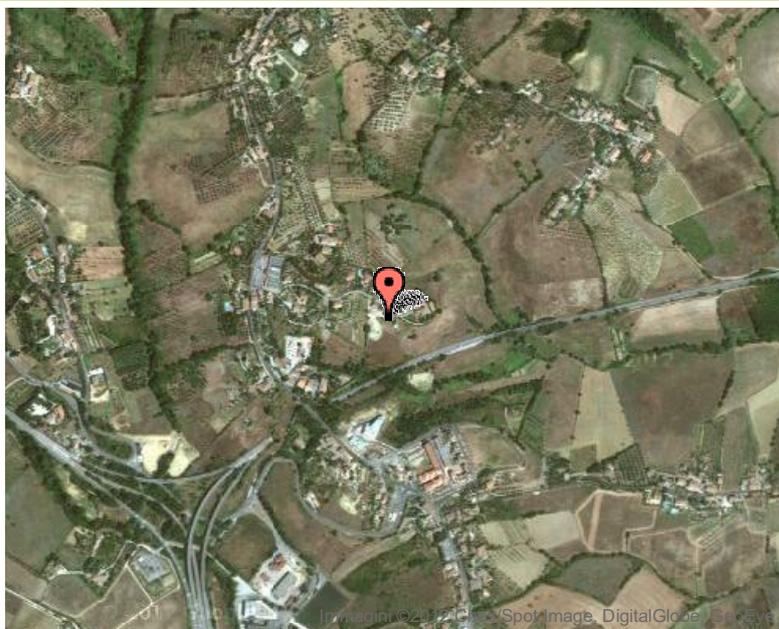
Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

Scheda indagine

Codice: 206984
Regione: TOSCANA
Provincia: SIENA
Comune: SIENA
Tipologia: PERFORAZIONE
Usò: DOMESTICO
Profondità (m): 70.00
Quota pc slm (m): 249
Anno realizzazione: 2002
Numero diametri: 1
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 0.5
Portata esercizio (l/s): 0.5
Numero falde: 1
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): ND
Numero strati: 5
Longitudine ED50 (dd): 11.341944
Latitudine ED50 (dd): 43.300278
Longitudine WGS84 (dd): 11.341002
Latitudine WGS84 (dd): 43.299290

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0	70	70	400

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	55	65	10

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	55	65	10	200

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
NOV / 2002	55	60	5	0.5

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	35	35.0		ARGILLA
2	35	36	1.0		SABBIA ASCIUTTA
3	36	54	18.0		ARGILLA
4	54	68	14.0		SABBIA LIMOSA GRIGIA CON ACQUA
5	68	70	2.0		ARGILLA

P297

Contatti | Mappa | Ricerca

Indagini nel
sottosuolo (L. 464/84)

Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

Scheda indagine

Codice: 202062
Regione: TOSCANA
Provincia: SIENA
Comune: SIENA
Tipologia: PERFORAZIONE
Uso: DOMESTICO
Profondità (m): 60.00
Quota pc slm (m): 265
Anno realizzazione: 1991
Numero diametri: 1
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 0.1
Portata esercizio (l/s): 0.05
Numero falde: 1
Numero filtri: 0
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): ND
Numero strati: 4
Longitudine ED50 (dd): 11.339444
Latitudine ED50 (dd): 43.302776
Longitudine WGS84 (dd): 11.338502
Latitudine WGS84 (dd): 43.301789

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0	60	60	254

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	50	60	10

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
AGO / 1991	50	55	5	0.05

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	4	4.0		SABBIA
2	4	40	36.0		ARGILLA
3	40	50	10.0		SABBIA E CIOTTOLI
4	50	60	10.0		ARGILLA

ISPRA - Copyright 2010

P869

ALL'AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI SIENA
Difesa del Suolo e Risorse Idriche
via del Capitano, 14 SIENA

R
654

RAE

AMM.NE PROV.LE DI SIENA

13 MAR. 2007

PROTOCOLLO GENERALE

RELAZIONE TECNICA SULLA
REALIZZAZIONE DEL POZZO

2015399

In Comune di SIENA

Località STRADA DI CERTOSA

Richiedente GIORGIO MICHELE

43081 13 MAR. 2007
14 Marc. 3

- Costruzione con macchina a PERCUSSIONE
- Profondità raggiunta dal p.c. 100
- Diametro tubazione di rivestimento (mm) 180
- Diametro tubazione di emungimento (mm) 25,4
- Impianto sollevamento acqua con POMPA SOMMERSA
- Potenza della pompa in CV 1,5
- Portata della pompa in litri/minuto 25
- Prevalenza della pompa in metri 158
- Livello statico in metri 56
- Livello dinamico in metri 100 con portata di l/sec. 0,4
- Portata massima del pozzo in litri/secondo 0,01
- Cementazione da quota 0 (m) a quota 7 (m)
- Data inizio lavori 26-02-2007 data fine lavori 08-03-2007

firma del compilatore

P880

ALL'AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI SIENA
Difesa del Suolo e Risorse Idriche
via del Capitano, 14 SIENA

RELAZIONE TECNICA SULLA
REALIZZAZIONE DEL POZZO

PO 17033

In Comune di SIENA

Località ARBIOIA

Richiedente FRANCI ALBERTO

- Costruzione con macchina a PERCUSSIONE
- Profondità raggiunta dal p.c. 74
- Diametro tubazione di rivestimento (mm) 200
- Diametro tubazione di emungimento (mm) 15
- Impianto sollevamento acqua con POMPA elettrica
- Potenza della pompa in CV 1,5
- Portata della pompa in litri/minuto 30 Plm
- Prevalenza della pompa in metri 150
- Livello statico in metri 35
- Livello dinamico in metri 50 con portata di l/sec. 25 Plm (0,4 l P/s)
- Portata massima del pozzo in litri/secondo 09
- Cementazione da quota 260 (m) a quota 255 (m)
- Data inizio lavori 15/7/08 data fine lavori 30/7/08

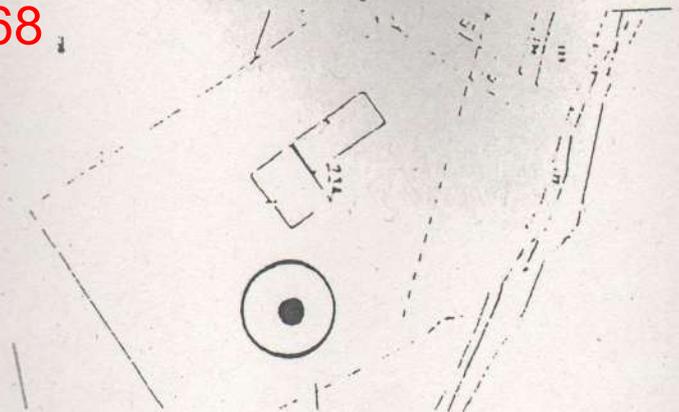
firma del compilatore

**STUDIO ASSOCIATO
BIANCIARDI PARIGI**
Via B. Perfetti, 3 - 53100 SIENA
Tel. 0577/596172
C.F./PIVA: 00857270524
e-mail: sa.bianciardi Parigi@virgilio.it

P1068



scala 1:25.000



Cantiere : Strada Massetana Romana - comune di Siena	N. sondaggio : P1
Committente : Ditta Metano Siena s.r.l.	Scala sondaggio 1: 400
Perforatore : Ditta Barbagli Ivo - Castiglion Fiorentino (AR)	Geologo : Dott. Luigi Falco
Coord. : Foglio n° 103, particella n° 234	Quota (p.c.) : m 200
Metodo perf. : a percussione	Data ultimazione : 10.07.2000

Scala 1:400	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Perforazione	Filtri	Descr. pozzo
4	2.00	2.00		terreno di copertura	3.00			cementazione
8				depositi prevalentemente argillosi con intercalazioni di limi e sabbie limose				tubo cieco/ghiaietto calibrato
12								
16								
20								
24								
28		48.00						
32								
36								
40								
44								
48								
50.00								
52		6.00		sedimenti compatti di natura prevalentemente sabbiosa				
58								
58.00								
60		7.00		depositi prevalentemente argillosi				tubo fessurato/ghiaietto calibrato
63.00								

0.40