

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

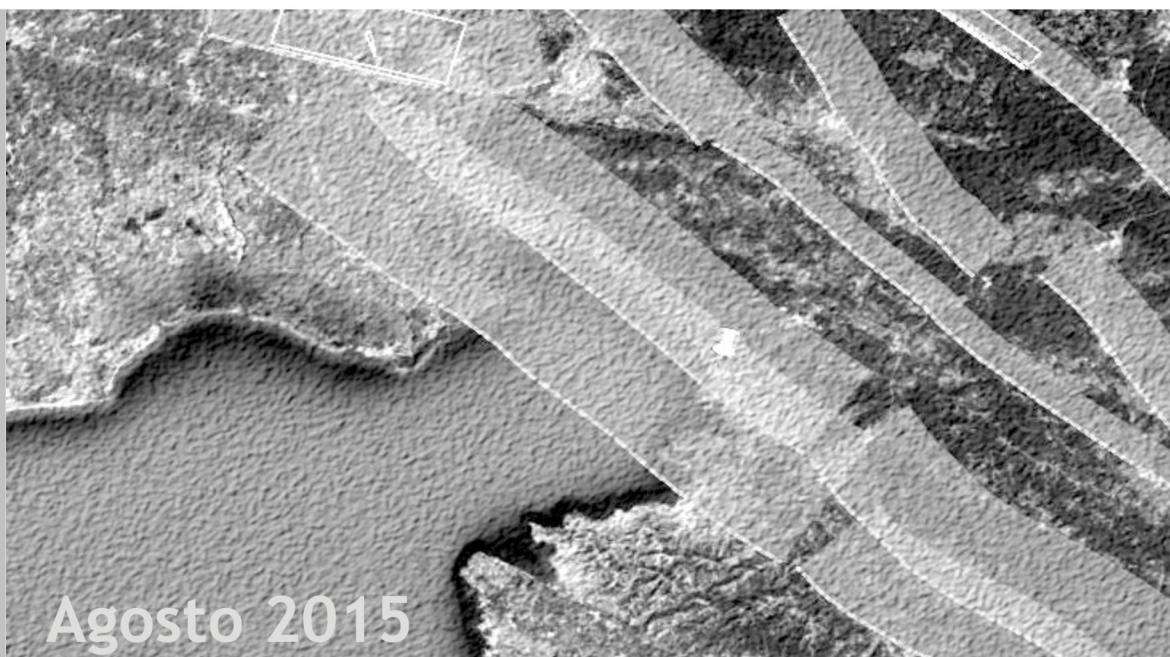
PROVINCIA DI TRIESTE

COMUNE DI TRIESTE

**Riconversione ex Comprensorio Industriale
Stock UMI 4 e 5
Riqualficazione sede della Polstrada in
cessione al Comune**

STUDIO DI GEOLOGIA

studiodavini.eu



Agosto 2015

Relazione geologica di progetto
di integrazione delle indagini
ai fini progettuali ed antisismici

CONSULENTE DI SETTORE:
geol. stefano davini
corso italia 43 - 34170 gorizia



REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA
PROVINCIA DI TRIESTE
COMUNE DI TRIESTE

**Riconversione ex Comprensorio
Industriale Stock UMI 4 e 5
Riqualificazione sede della Polstrada
in cessione al Comune**

**Relazione geologica di progetto di integrazione
delle indagini ai fini progettuali ed antisismici**

1. Premessa

In data 20 luglio 2015 il Dirigente del Servizio Edilizia Scolastica e Sportiva, Project Financing, Coordinamento PTO e Amministrativo dei Lavori Pubblici del Comune di Trieste, ing. Giovanni SVARA ha conferito allo scrivente l'incarico *“per l'aggiornamento della relazione geologica e per l'individuazione del tracciato plano altimetrico della volta del torrente interrato sotterraneo che attraversa l'area”*.

L'oggetto dell'appalto, definito all'articolo 2 del *“Foglio patti e condizioni”* allegato all'incarico, prevede lo svolgimento di indagini geofisiche, di indagini geotecniche, di indagini sismiche e la stesura delle relazioni finali aventi quale obiettivo l'integrazione della relazione geologica già in possesso all'Amministrazione in modo da adeguarla alle normative vigenti e consentire l'avvio della progettazione strutturale rispettosa della normativa antisismica.

A tal fine si è proceduto alla stesura del presente documento a seguito delle indagini di campagna ed ai sensi dei capitoli 6.2.1 *“CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO”* e 3.2.2 *“CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE”* delle Norme NTC - D.M. 14/01/2008 e della circolare del 2 febbraio 2009 n. 617.

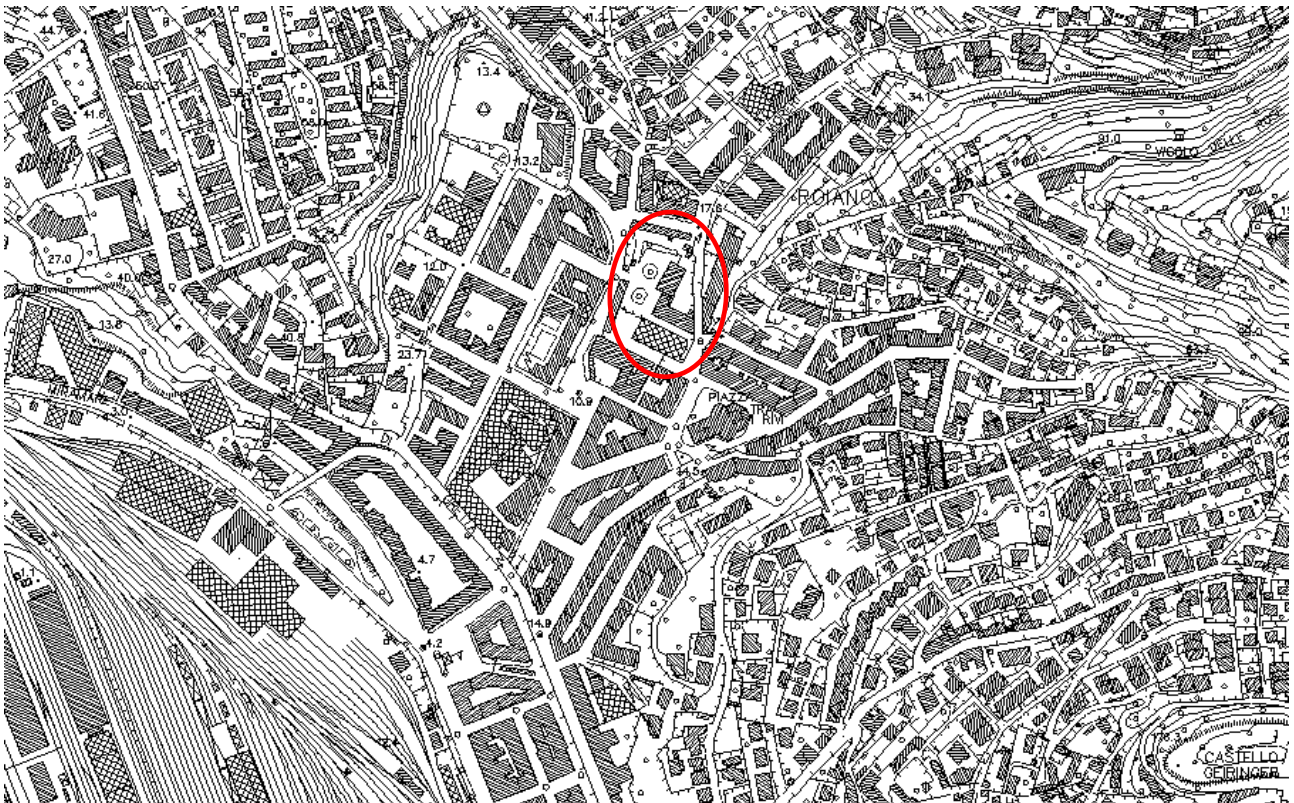
Sommario

1. Premessa	1
2. Ubicazione dell'area	3
3. Definizione del modello geologico	3
3.1. La successione litostratigrafica locale	3
3.2. Lineamenti morfologici ed idrogeologici	7
4. Caratteri geostrutturali - Geodinamica e sismicità dell'area	9
5. Indagini geognostiche	12
5.1. Individuazione del tracciato della volta del torrente interrato.	12
5.1.1. Sovrapposizione delle basi cartografiche	12
5.1.2. Profili georadar	15
5.1.3. Tomografie geoelettriche	16
5.1.4. Rilievo endoscopico	17
5.1.5. Trincee geognostiche	18
5.2. Adeguamento della relazione geologica alle normative vigenti.	18
5.2.1. Sondaggi geognostici a carotaggio continuo.	18
5.2.2. Prove penetrometriche dinamiche	20
5.3. Prove geofisiche	24
5.3.1. Indagine geoelettrica tomografica	24
5.3.2. Indagine HVSR	26
5.3.3. Prospezione geofisica Masw	33
5.3.4. Prospezione geofisica ReMi	35
5.3.5. Rilievi georadar	38
6. Modello geologico	42
6.1. Categoria di sottosuolo	47
6.2. Valutazione della suscettibilità alla liquefazione	47
6.3. Amplificazione della sollecitazione sismica	49
6.4. Vincoli urbanistici	50

2. Ubicazione dell'area

La zona interessata dallo studio del presente documento è sita nel rione di Roiano, situato nella città di Trieste, vallata digradante e delimitata dal ciglione carsico di Opicina, dal colle di Greta da un lato e dalla collina di Scorcola verso la città.

Il complesso è ricompreso tra la via Villan de Bachino a nord, via Montorsino e Piazza tra i Rivi a ovest, via dei Moreri ad est e via Sant'Ermacora.



Estratto non in scala della carta Tecnica della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

3. Definizione del modello geologico

3.1. La successione litostratigrafica locale

Per la maggior parte l'area è interessata da rocce sedimentarie clastiche, stratificate, tutte riferibili al complesso arenaceo - marnoso in facies flyschoidi.

Tale formazione costituisce l'ossatura dei rilievi del settore collinare; i fondovalle risultano ricoperti da terreni quaternari quali depositi alluvionali, di apporto fluviale e torrentizio, e detrito di falda ai piedi delle pareti rocciose.

A suddette alluvioni e ai sovrastanti versanti in Flysch si sovrappongono, in corrispondenza delle fasce pedecollinari a più lento declivio, modesti accumuli di materiali fini legati al “colluvium” dei rilievi eocenici. Ai piedi delle scarpate di mare si raccolgono cumuli di frana dovuti a processi abrasivi marini. Una coltre terrosa di alterazione (“eluvium”), variabile in potenza da luogo a luogo, ricopre con continuità la formazione flyschoidale.

Nella Carta geolitologica sono stati inseriti gli elementi litologici, stratigrafici, tessiturali, utili alla corretta definizione delle unità litostratigrafiche affioranti o sub-affioranti e gli elementi che consentono di ricostruire le geometrie delle masse rocciose. Nello specifico nel territorio del Comune di Trieste si rinvengono i Calcari del Carso triestino, la successione torbidityca del Flysch di Trieste e la successione quaternaria.

Nel territorio del Comune di Trieste, affiorano quattro Unità crono-litostratigrafiche:

- ✓ i Calcari di Aurisina;
- ✓ i Calcari della Formazione Liburnica;
- ✓ i Calcari ad Alveoline e Nummuliti;
- ✓ il Flysch di Trieste.

Le prime tre unità fanno parte della successione di piattaforma carbonatica del Carso compresa nel Gruppo dei Calcari del Carso Triestino che comprende i Calcari di Monte Coste, la Formazione di Monrupino, i Calcari di Aurisina, la Formazione Liburnica ed i Calcari ad Alveoline e Nummuliti. Alla successione carbonatica succede quella torbidityca.

La sedimentazione carbonatica si esaurì nell'Eocene inferiore, con l'annegamento della piattaforma carbonatica testimoniato anche dalla comparsa di facies rimaneggiate al top della sequenza. Si forma l'avanfossa che inizia ad essere interessata da apporti terrigeni in facies torbidityca. Per un certo tratto facies pelitiche, già presenti negli ultimi livelli della successione carbonatica si intercalano talvolta alle prime torbidity (strati transizionali, transitional beds).

La Formazione denominata informalmente "Flysch di Trieste" è costituita da un'alternanza di livelli di marne siltose ed arenarie con spessori variabili. La potenza delle marne è estremamente variabile e va da millimetrica a decimetrica mentre quella delle arenarie va da centimetrica a metrica.

Le arenarie solitamente predominano, sono discretamente classate con dimensione media dei granuli di 0.1-0.2 mm circa. Sono praticamente sterili, anche se oltre a rarissime Globigerine (rimaneggiate), sono stati rinvenuti rari echinidi e molluschi.

Risultano mediamente composte per il 50% almeno di ossido di silicio (sotto forma di quarzo per il 43-53% e di selce per il 6-11%) e per il resto da feldspati (18-26%) fra cui predominano i plagioclasti, miche (4-6%) con clorite e muscovite predominanti sulla biotite, carbonati (16-20% tanto come cemento quanto come clasti, spesso notevolmente alterati) e da una serie di

minerali accessori in minima quantità (Cr-spinello, ossidi di ferro, glauconite, tormalina, granati, zirconio, rutilo, per percentuali cumulative da 1% a 3%).

Le marne, dalla tipica composizione mineralogica data da micrite, argilla e una percentuale variabile di silt, sono talvolta ricche di Foraminiferi planctonici del tipo Globigerine.

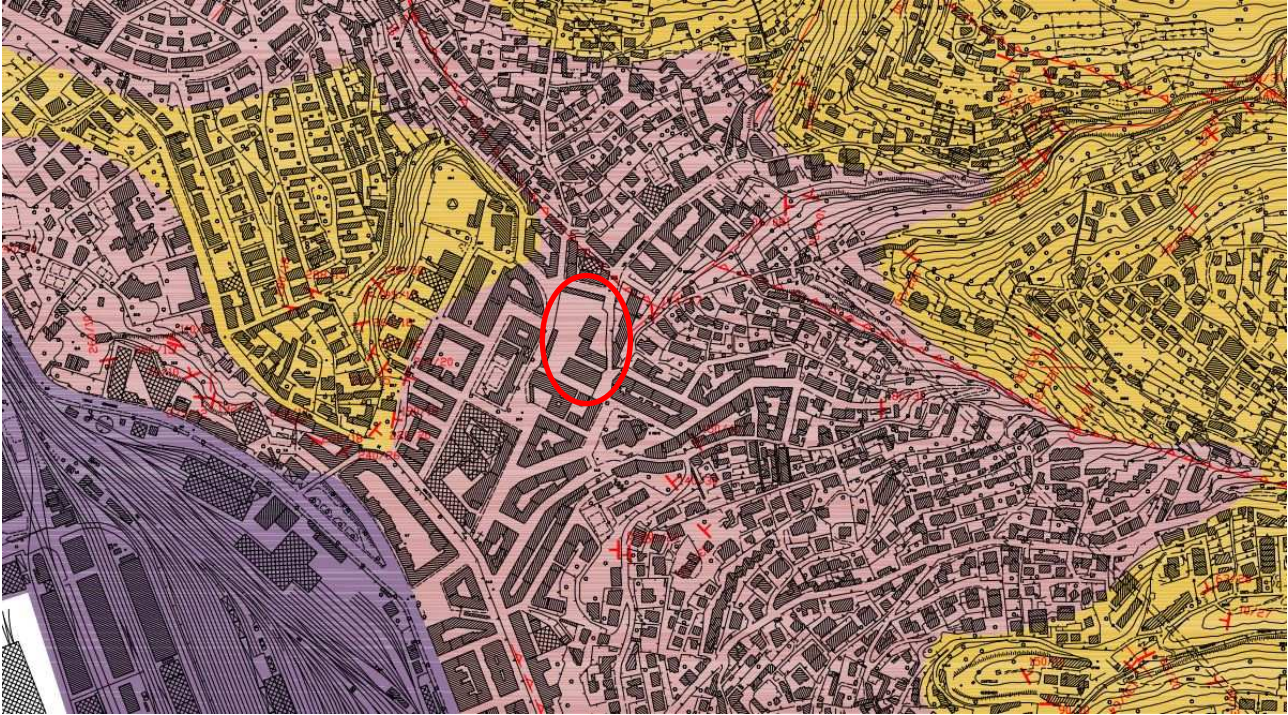
All'interno della formazione sono state riconosciute facies arenacee (FTa), arenaceo - marnose (FT) e facies prevalentemente pelitiche (FTb). Agli strati transizionali è stata attribuita la sigla FTc. All'interno delle facies prevalentemente arenacee è spesso possibile distinguere due sottotipi:

- ✓ facies a strati arenacei con spessori pluridecimetrici (da 1/2 metro ad anche 2 metri) che spesso in passato venivano sfruttati come materiale da costruzione.
- ✓ facies a strati sempre prevalentemente arenacei, ma con spessori più ridotti, da centimetrici a 20 cm.

Anche nelle facies più ricche di livelli arenacei potenti, raramente si osservano sequenze di Bouma complete. Rarissimi sono gli intervalli gradati, di gran lunga più frequenti gli intervalli laminati. Molti livelli marno - siltosi rappresentano l'intervallo pelitico della torbidite.

Per quanto concerne la successione quaternaria, essa è contraddistinta da sedimenti sciolti (o in genere i sedimenti non litificati) rappresentati da Unità litologiche rappresentative del primo metro di sottosuolo. Le coperture eluvio-colluviali (MS, MSG, SMG) comprendono i prodotti della degradazione superficiale del substrato pre - quaternario e dei depositi quaternari. I depositi possono essersi evoluti in posto o aver subito trasporto lungo i versanti principalmente per mezzo di acque ruscellanti. Sono molto diffusi in corrispondenza delle zone vallive e di versante del Flysch. Si tratta di prodotti prevalentemente a supporto di matrice, con matrice argilloso - limosa e sabbiosa, clasti arenacei e, in minor misura calcarei, eterometrici da angolosi a subarrotondati. Lo spessore è variabile, da decimetrico a metrico sui versanti, può essere plurimetrico alla base dei versanti.¹

¹ Estratto dalla relazione geologica del Piano Regolatore Generale Comunale - Variante 118 del 6 agosto 2009 edita dal Geol. Giorgio Tagliapietra



Carta geolitologica non in scala dell'area di indagine²

LEGENDA

Coperture Quaternarie

R	R : RIPIORTO, ACCUMULO ARTIFICIALE DI DETRITICO E/O INERTE
DF	DF : DETRITO DI FALDA
GM	GM : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE GHIAIOSI CON LIMI E ARGILLE
M	M : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI
MG	MG : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI CON GHIAIE
MS	MS : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI CON SABBIE
MSG	MSG : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI CON GHIAIE E SABBIE
SMG	SMG : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE SABBIOSI CON LIMI, ARGILLE E GHIAIE
TR	TR : TERRE ROSSE
DV	DV : DETRITO DI VERSANTE PLEISTOCENICO: GHIAIE CEMENTATE, BRECCIE

Flysch di Trieste (Luteziano p.p.)

FT	FT : ALTERNANZE PELITICO ARENECEE (alternanze di peliti e areniti con una percentuale di arenite variabile da 30% a 70%)
FTb	FTb: FACIES ARENTICA (areniti, intercalazioni pelitiche con netta prevalenza di areniti)
FTa	FTa: FACIES PELITICA (siltiti, argilliti e/o mame, intercalazioni pelitico-arenaceo con netta prevalenza di peliti)
FTc	FTc: STRATI TRANSIZIONALI (calcarei mamosi, mame calcaree, mame)

Calcari del Carso triestino (Cenomaniano sup - Cuisiano medio)

CT	CT : CALCARI AD ALVEOLINE E NUMMULITI (Thanetiano sup. - Cuisiano medio)
CLT	CLT : CALCARI DELLA FORMAZIONE LIBURNICA TERZIARIA (Daniano - Thanetiano p.p.)
CLC	CLC : CALCARI DELLA FORMAZIONE LIBURNICA CRETACICA (Campaniano sup. p.p. - Maastrichtiano p.p.)
CA	CA : CALCARI DI AURISINA (Cenomaniano sup. - Campaniano inf.)

Simboli

	GIACITURA DELLA STRATIFICAZIONE
	STRATIFICAZIONE ORIZZONTALE
	STRATIFICAZIONE ROVESCIATA
	STRATIFICAZIONE VERTICALE
	GIUNTO
	GIUNTO SEPOLTO / PRESUNTO
	ASSE ANTIFORME
	ASSE SINFORME
	FAGLIA INDETERMINATA
	FAGLIA INDETERMINATA SEPOLTA / PRESUNTA
	FAGLIA DIRETTA
	FAGLIA DIRETTA SEPOLTA / PRESUNTA
	FAGLIA INVERSA
	FAGLIA INVERSA SEPOLTA / PRESUNTA
	FAGLIA TRASCORRENTE DESTRA
	FAGLIA TRASCORRENTE DESTRA SEPOLTA / PRESUNTA
	FAGLIA TRASCORRENTE SINISTRA
	FAGLIA TRASCORRENTE SINISTRA SEPOLTA / PRESUNTA
	SOVRASCORRIMENTO
	SOVRASCORRIMENTO SEPOLTO / PRESUNTO
	SPELEOTEMA

² Estratto dalla Carta geolitologica del Piano Regolatore Generale Comunale - Variante 118 del 6 agosto 2009 edita dal Geol. Giorgio Tagliapietra

3.2. Lineamenti morfologici ed idrogeologici

Il territorio comunale includente l'area in esame si colloca al passaggio fra tre grandi sistemi idrologici rappresentati dal sistema carsico all'interno del massiccio carbonatico, dal sistema collinare flyschoidale, il cui reticolo idrografico è ben sviluppato con marcate incisioni vallive a regime prevalente di tipo temporaneo e dal sistema legato agli scorrimenti sotterranei del materasso alluvionale quaternario. L'altopiano carbonatico carsico, che affiora da circa 300 metri s.l.m. a monte del sito in oggetto, è caratterizzato da due dorsali, mentre la zona flyschoidale è composta da ritmiche alternanze di marne ed arenarie.

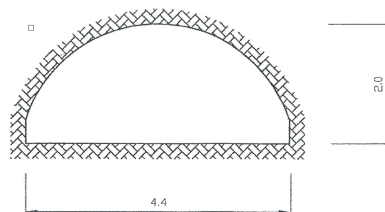
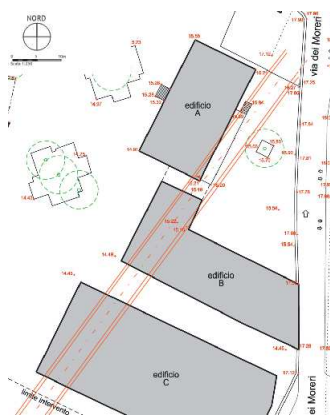
La regimazione delle acque ha inoltre definito l'assetto morfologico dell'area attraverso il loro convogliamento delle acque in canali artificiali.

Il sito si colloca in contesto di zona residenziale intensamente urbanizzata, ad una quota di circa 15 m s.l.m. Sebbene la massa rocciosa nel suo insieme è da considerarsi semimpermeabile, di buone caratteristiche fisico meccaniche, spesso si presenta con volumi particolarmente tettonizzati (strette pieghe, piani di faglia, scivolamenti interstrati o pieghe-faglie) tali da favorire la circolazione di acqua, anche abbondante, legata a permeabilità di tipo secondario.

Il regime di questi fluidi va suddiviso in relazione alla profondità dal piano campagna dell'interfaccia tra roccia allentata e decompressa ed il bed rock. In superficie le acque sono legate al ciclo stagionale delle precipitazioni, mentre in profondità i percorsi risultano più articolati e complessi. Nell'area in esame è stata rilevata nei fori di sondaggi e nella verticale piezometrica a circa due metri dal piano campagna.

Per quanto concerne i rilievi condotti è da evidenziare che la presenza d'acqua nei depositi sciolti, caratterizzati da una componente fina spesso ad elevato indice di plasticità, condiziona anche il comportamento reologico del terreno stesso.

Come è noto l'area di progetto è interessata da una galleria idraulica, la cui posizione è indicata nel sottostante stralcio cartografico, raccordante le acque provenienti dalla vallecchia a monte con il bacino ricettore a valle, non segnalata nella cartografia comunale.





Estratto non in scala della “Carta Geomorfologica e dell’idrografia superficiale”:
Studio geologico del PRGC - Variante Generale (2013)

Legenda:

- | | | | |
|--|---|--|---|
| | Canale artificiale | | Imbocco o sbocco efficiente/efficace di condotta sotterranea |
| | Canale artificiale tombato | | Imbocco o sbocco non efficiente/non efficace di condotta sotterranea |
| | Corso d'acqua principale | | Opere o scarpate prossime alle sponde e potenzialmente critiche per il deflusso delle acque |
| | Corso d'acqua secondario permanente | | Aree ad instabilità geostatica diffusa |
| | Corso d'acqua secondario temporaneo | | Dissesti geologici da catasto regionale |
| | Numero di riferimento per la descrizione delle linee di impluvio | | Frana o paleofrana desunta da fotointerpretazione |
| | Ruscellamento | | Accumulo di frana |
| | Scorrimento idrico rilevato o potenziale lungo viabilità' | | Evento franoso di modeste dimensioni |
| | Sovralluvionamento | | Dissesto stabilizzato |
| | Aree a ristagno d'acqua rilevato o potenziale - pozze naturali | | Orlo di scarpata in dissesto geostatico |
| | Briglia o opera di regimazione idraulica efficiente/efficace | | Discarica |
| | Serie di briglie o opere di regimazione idraulica efficienti/efficaci | | Discarica non controllata |
| | Briglia o opera di regimazione idraulica non efficiente/non efficace | | Area di cava |
| | Serie di briglie o opere di regimazione idraulica non efficienti/non efficaci | | Area a pastini - pendii rimodellati a terrazzi |

Si prescrive, pertanto, la necessità di definire una procedura che validi il dimensionamento idraulico della galleria in relazione al bacino idrogeologico sotteso e che individui i referenti incaricati alla manutenzione (sia a monte che a valle dell’area indagata al fine di impedire pericolose occlusioni), affinché si garantisca la continua stabilità dell’area di progetto.

4. Caratteri geostrutturali - Geodinamica e sismicità dell'area

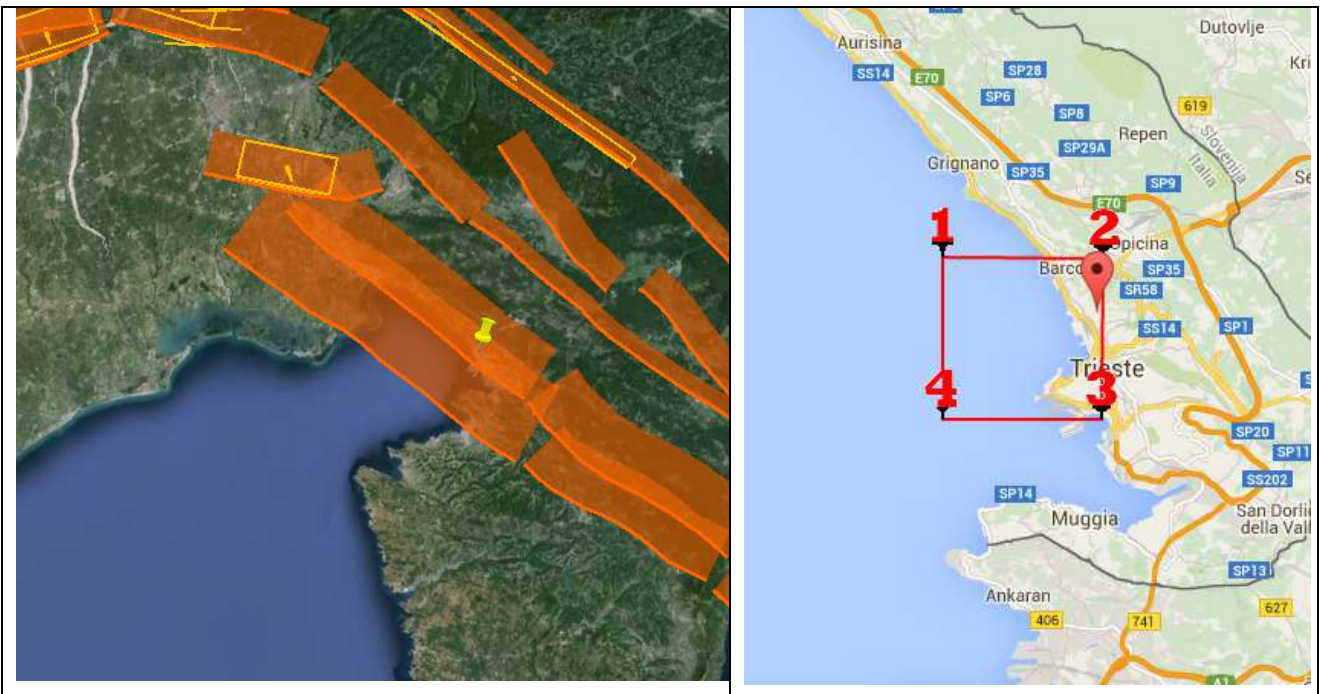
Profondi processi dislocativi della crosta terrestre hanno interessato l'intera area, prevalentemente nel periodo Pliocenico inferiore.

L'assetto strutturale, fortemente condizionato dalla diversa reazione alle sollecitazioni tettoniche dei due gruppi di terreni principali (rocce carbonatiche e rocce torbiditiche), è costituito dall'ampia anticlinale su cui si imposta l'altopiano carsico. Essa rappresenta la piega di rampa di un importante sovrascorrimento a basso angolo, il più avanzato delle Dinaridi esterne settentrionali, tra quelli che dislocano l'originaria piattaforma carbonatica. La rampa stessa si impenna verso mare causando forti accentuazioni della deformazione dei livelli calcarei e coinvolge nella deformazione anche parte del Flysch.

Il fronte del sovrascorrimento carsico, che si sviluppa in direzione dinarica, devia nell'area verso SE. Sovrascorrimenti minori assumono un andamento "a festoni", distanziando i loro fronti.

Grande importanza nella geometria dell'area collinare assumono le faglie trasverse al fronte degli sovrascorrimenti, a cinematica trascorrente, che ne influenzano la morfologia.

Il Flysch è strutturato da un'altra serie di sovrascorrimenti minori di orientamento dinarico o, localmente, NW-SE che si collegano, sia pure con alcune discontinuità, alla Struttura detta della Ciceria.



Dall'analisi del "Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3.2.0" dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sono individuabili le lineazioni le cui indicazioni

parametriche possono concorrere alla definizione della sismicità dell'area, tenute conto delle loro specifiche caratteristiche, mentre a fianco vengono riportati i parametri sismici di base.

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F ₀	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0,041	2,570	0,229
Danno (SLD)	75	0,053	2,569	0,253
Salvaguardia vita (SLV)	712	0,134	2,536	0,330
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0,170	2,577	0,343
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

DISS-ID	ITCS101
Name	Southern Trieste Gulf
Compiler(s)	Kastelic V.(1), Burrato P.(1), Trincardi F.(2)
Contributor(s)	Kastelic V.(1), Burrato P.(1), Trincardi F.(2)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) CNR; Istituto di Scienze Marine; Via Gobetti, 101, 40129 Bologna, Italy
Created	28-Apr-2011

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	1.5	EJ	Inferred from regional geologic considerations and earthquake data.
Max depth [km]	12.0	EJ	Inferred from geological observations and earthquake data.
Strike [deg] min... max	320...350	LD	Based on geologic and structural data.
Dip [deg] min... max	30...45	LD	Based on seismic profile (Buseti et al., 2010), regional geologic and structural data.
Rake [deg] min... max	100...120	EJ	Inferred from structural and regional earthquake data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.3	EJ	Inferred from geological data and geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.5	EJ	Inferred from fault characteristics and seismological considerations.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS100
Name	Northern Trieste Gulf
Compiler(s)	Kastelic V.(1), Burrato P.(1), Trincardi F.(2)
Contributor(s)	Kastelic V.(1), Burrato P.(1), Trincardi F.(2)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) CNR; Istituto di Scienze Marine; Via Gobetti, 101, 40129 Bologna, Italy
Created	28-Apr-2011

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	1.0	EJ	Inferred from regional geologic considerations.
Max depth [km]	15.0	EJ	Inferred from geological observations and regional earthquake data.
Strike [deg] min... max	320...350	LD	Based on geologic and structural data.
Dip [deg] min... max	50...60	LD	Based on seismic profile, geologic and structural data.
Rake [deg] min... max	130...160	EJ	Inferred from regional structural data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.3	EJ	Inferred from geological data and geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.5	EJ	Inferred from fault characteristics and seismological considerations.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	SICS004
Name	Branik-Illirska Bistrica
Compiler(s)	Kastelic V.(1), Burrato P.(1)
Contributor(s)	Kastelic V.(1), Burrato P.(1), Ridente D.(2)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) CNR; Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria; Roma, Italy
Created	31-Aug-2007

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	EJ	Inferred from geologic and regional structural setting.
Max depth [km]	12.0	EJ	Inferred from geologic and regional structural setting.
Strike [deg] min... max	310...335	LD	Based on geologic and geomorphological maps and data.
Dip [deg] min... max	70...85	LD	Based on geologic, structural and seismological data.
Rake [deg] min... max	160...180	EJ	Inferred from geological and seismological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.15...0.35	EJ	Inferred from geodynamic data and geological considerations.
Max Magnitude [Mw]	6.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

5. Indagini geognostiche

L'area di studio fu oggetto di una campagna di indagine geognostica che vide realizzare 4 sondaggi geotecnici condotti a carotaggio continuo, 3 sondaggi elettrici verticali e dei profili georadar³. Successivamente sono stati condotti altri 9 sondaggi ambientali⁴ a carotaggio continuo

Gli obiettivi di questa ulteriore fase di indagine sono stati:

- ✓ l'individuazione del tracciato piano altimetrico della volta del torrente interrato sotterraneo che attraversa l'area;
- ✓ l'aggiornamento della relazione geologica in modo da adeguarla alle normative vigenti e consentire l'avvio della progettazione strutturale rispettosa della normativa antisismica.

5.1. Individuazione del tracciato della volta del torrente interrato.

Al fine di raggiungere l'obiettivo prefissato è stata condotta una valutazione riguardante la documentazione disponibile, messa a disposizione dall'Amministrazione, ed indicante antiche planimetrie e rilievi recenti. La sovrapposizione delle differenti basi cartografiche con software di elaborazione grafica ha consentito l'individuazione dell'ipotetico percorso del torrente interrato. Si è pertanto proceduto alla realizzazione di rilievi di superficie con tecnica georadar, per mezzo dei quali sono state individuate delle anomalie riconducibili alla volta oggetto di indagine. Individuate delle possibili vie di drenaggio delle acque meteoriche si è proceduto alla realizzazione di un'indagine endoscopica che ha consentito di confermare le ipotesi condotte.

L'impiego di un georesistivimetro tipo Lipmann ha consentito la realizzazione di 3 tomografie geoelettriche lungo tre sezioni e l'esecuzione, infine, di tre trincee geognostiche condotte con escavatore dotato di braccio rovescio che hanno potuto mettere a giorno l'estradosso della volta in conci di pietra, a conferma delle indagini dirette ed indirette condotte ed al fine di consentire ai tecnici dell'Amministrazione comunale la visione ed il controllo dell'integrità statica.

5.1.1. Sovrapposizione delle basi cartografiche

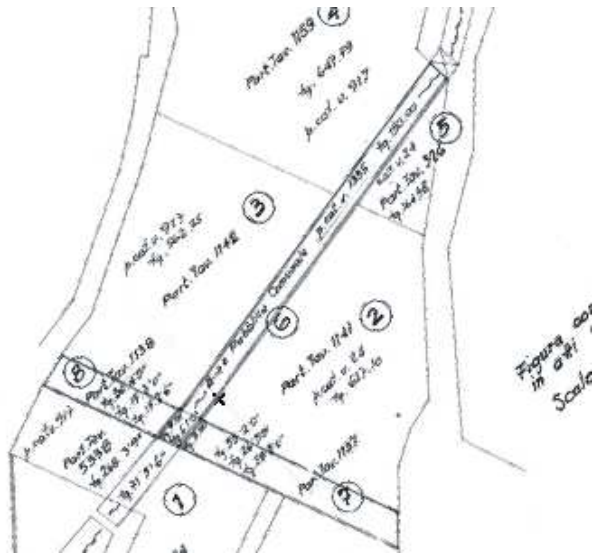
Il percorso del torrente interrato è rappresentato su differenti cartografie, ma con orientamento e geometria spesso differenti. Ciò nonostante la consultazione degli estratti cartografici di seguito indicati ha consentito una prima valutazione nel merito:

³ "Indagine geofisica" - Studio di Ingegneria Ing. Marcello Crinò (2000) - Progetto definitivo deliberazione giunta n.343 del 22.07.2004 e atti conseguenti.

"Indagini geognostiche" - Mecasol S.r.l. (1999) - Progetto definitivo deliberazione giunta n.343 del 22.07.2004 e atti conseguenti.

⁴ "Rapporto di indagine ambientale" - Penta Progetti Srl (2015) Protocollo n. 136352 del 10.08.2015.

- ✓ *Situazione Tavolare*;
- ✓ *Catasto Franceschino 1890*;
- ✓ *Catasto Franceschino 1860*;
- ✓ *Catasto Franceschino 1822*.



Situazione Tavolare



Catasto Franceschino 1890

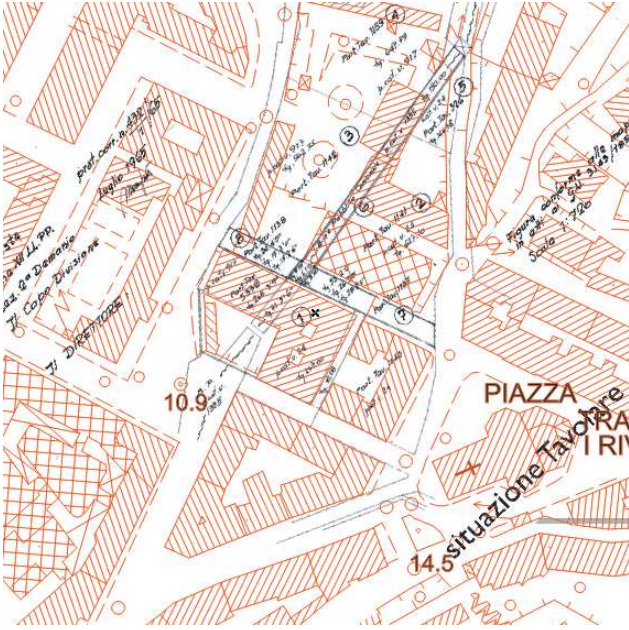


Catasto Franceschino 1860



Catasto Franceschino 1822

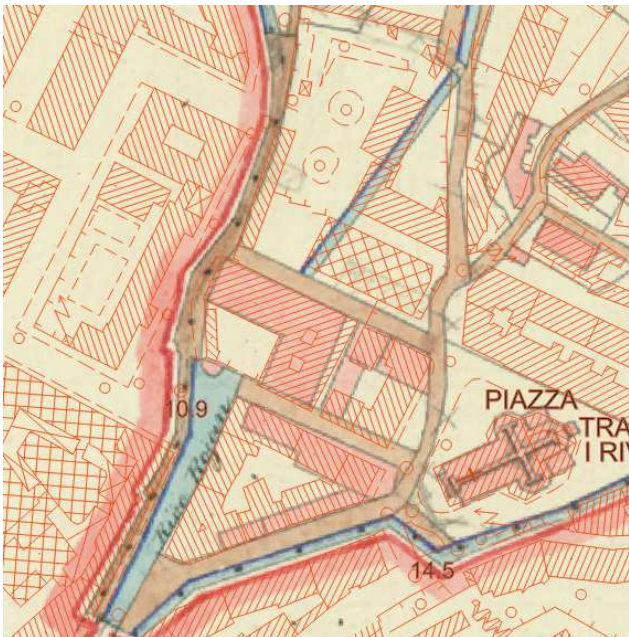
Di seguito vengono rappresentati degli stralci non in scala riguardanti la sovrapposizione dei citati documenti con la Carta Tecnica Regionale Numerica, rappresentata con la colorazione rossa del tratto.



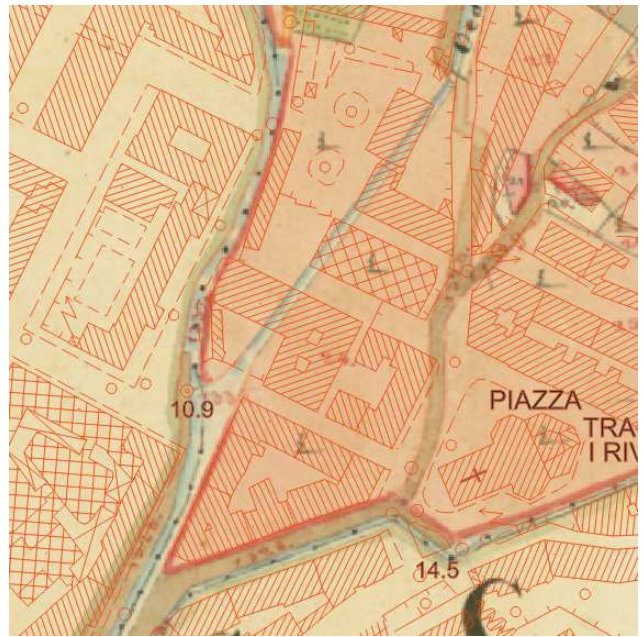
Situazione Tavolare su CTRN



Catasto Franceschino 1890 su CTRN



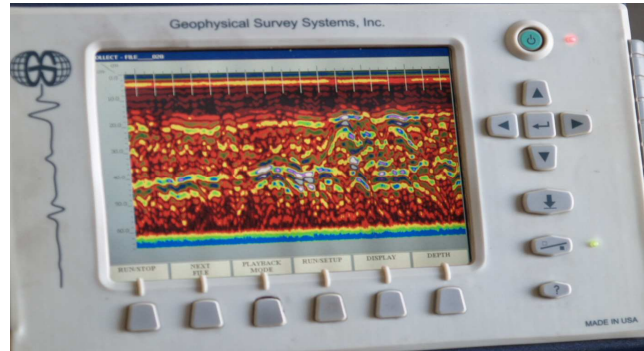
Catasto Franceschino 1860 su CTRN



Catasto Franceschino 1822 su CTRN

5.1.2. Profili georadar

L'indagine è stata eseguita utilizzando una strumentazione SIR System 3000 della GSSI (Geophysical Survey System Inc.). L'unità centrale, generando il segnale inviato alla sezione trasmittente, ha istantaneamente elaborato il segnale di ritorno acquisito dalla sezione ricevente dell'antenna. Il display LCD ha permesso tutte le operazioni di calibrazione



GSSI SIR System 3000

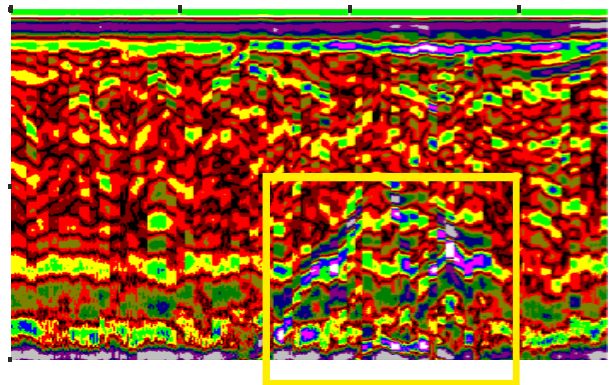
del sistema e l'impostazione dei parametri di acquisizione quali tempo di registrazione, guadagno e tipi di filtro da applicare ai segnali elettromagnetici. Lo stesso display ha permesso la visualizzazione del profilo durante l'acquisizione permettendo una rapida valutazione durante le operazioni di campo, sia a riguardo della qualità che dei segnali registrati.

I segnali elettromagnetici indotti all'interno del sottosuolo sono stati quindi ricevuti a seguito delle riflessioni prodotte alle interfacce elettromagnetiche presenti alle diverse profondità d'indagine.

I profili sono stati condotti in relazione alle informazioni cartografiche disponibili; individuato l'ipotetico percorso del canale interrato essi sono stati sviluppati lungo direzioni pressoché ortogonali all'asse manufatto ipogeo, compatibilmente con i vincoli imposti dalla presenza degli edifici presenti.



Acquisizione profilo radar "P1"



Restituzione del profilo radar "P1"

La completa descrizione del metodo e delle relative risultanze è rimandata in allegato.

5.1.3. Tomografie geoelettriche

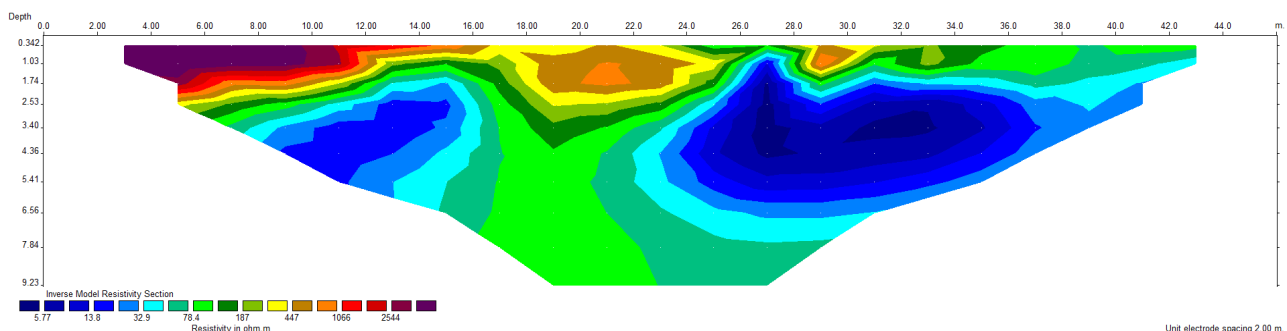
Questa metodologia si basa sull'acquisizione di un elevato numero di misure di resistività elettrica utilizzando dei dispositivi multi-elettrodi, che gestiscono un discreto numero di elettrodi posizionati lungo il profilo sul terreno. Tali elettrodi, collocati ortogonalmente alla probabile direzione del canale sotterraneo e governati da un georesistivimetro, hanno immesso nel terreno e misurato la tensione secondo una geometria definita.

Si sono così ottenuti dei profili di resistività dei terreni indagati con una buona risoluzione laterale e verticale.

Il risultato della registrazione è una matrice di valori di resistività la cui inversione, mediante algoritmi matematici, restituisce una sezione del mezzo investigato raffigurante la distribuzione bidimensionale delle caratteristiche elettriche di resistività del terreno.

È stato possibile, pertanto, individuare quei volumi nel sottosuolo caratterizzati da diversa conduttività come la cavità indotta dalla galleria idraulica.

Di seguito viene rappresentato il risultato di uno dei tre profili eseguiti, mentre per la completa trattazione dell'argomento, si rimanda al capitolo di riferimento.



Profilo geoelettrico

5.1.4. Rilievo endoscopico

Sebbene tale attività non sia stata prevista nell'incarico sottoscritto, si è ritenuto opportuno applicare tale metodologia affinché, prima di procedere con l'esecuzione delle trincee geognostiche, si potesse avere un riscontro visivo dell'oggetto indagato, della sua geometria e corrispondenza ai rilievi interni precedentemente eseguiti e del relativo stato di conservazione. L'acquisizione di tali immagini si è resa possibile poiché sono stati individuati dei pozzetti di accesso che hanno consentito le riprese. A seguito della collocazione di microcamere a comando remoto su specifiche aste snodabili e con il supporto di un generatore di corrente necessario alla alimentazione della lampada di illuminazione collocata in galleria, si è confermato quanto precedentemente diagnosticato.



Vista verso nord



Vista verso Sud



Vista verso Est



Vista verso Ovest - alto

5.1.5. Trincee geognostiche

Definito il tracciato del torrente, si è provveduto alla realizzazione delle trincee geognostiche. Esse sono state realizzate per mezzo di un escavatore munito di braccio rovescio.

Puntualmente è stata intercettata la volta della galleria la cui quota dell'estradosso è stata misurata a 40 - 50 centimetri dal piano campagna.



Trincea 1



Trincea 2

Relativamente alla modalità esecutiva ed alle schede stratigrafiche di dettaglio si rimanda all'allegato di riferimento.

5.2. Adeguamento della relazione geologica alle normative vigenti.

Il secondo obiettivo è stato raggiunto completando il quadro precedentemente definito con le 4 verticali condotte a carotaggio continuo, tramite l'esecuzione di cinque prove penetrometriche dinamiche, cinque MASW / REMI e cinque indagini del suolo (HVSR) collocate nelle diverse aree, ai fini della progettazione antisismica delle strutture.

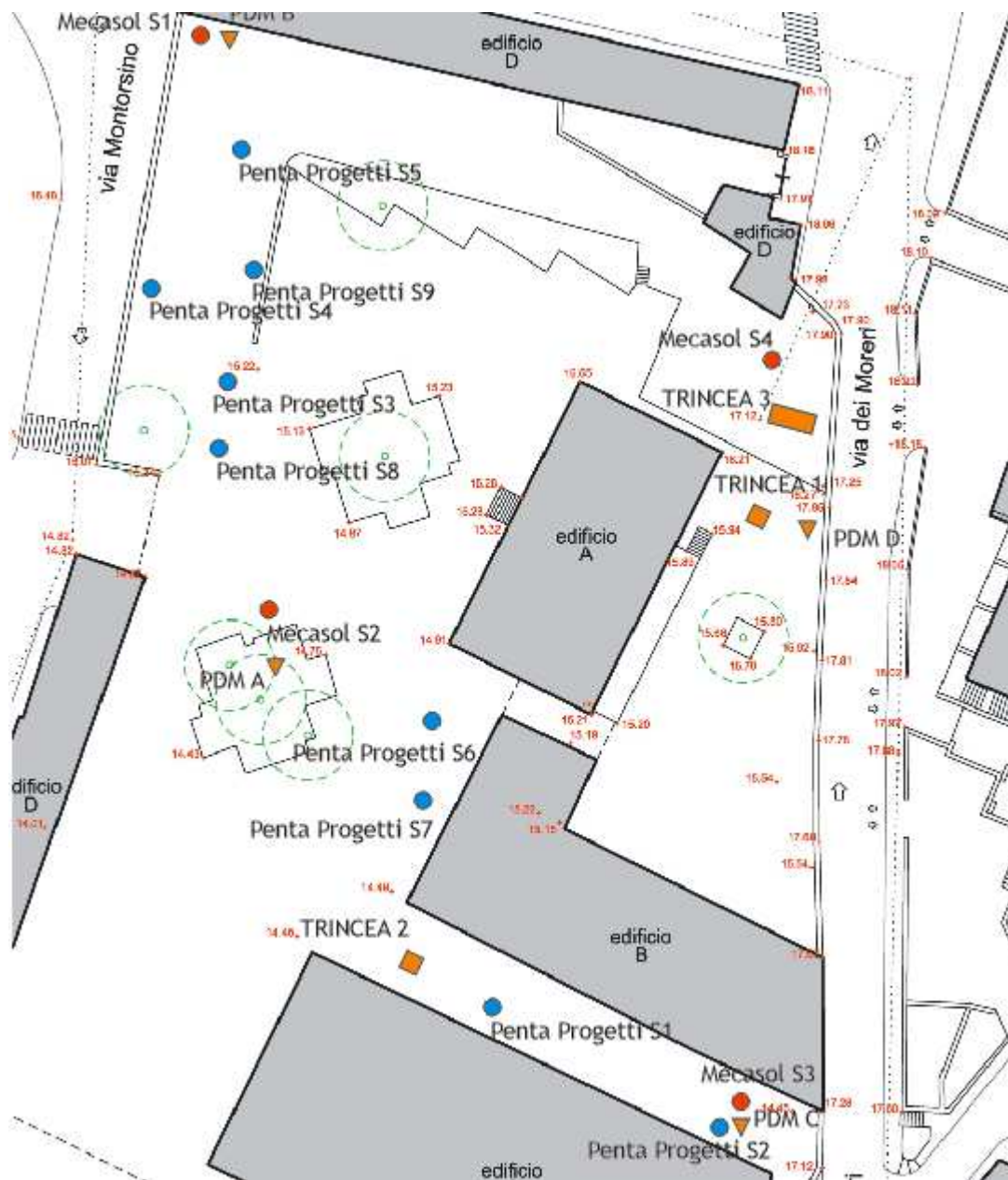
5.2.1. Sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

La società Mecasol eseguì nel dicembre del 1999 quattro sondaggi geognostici geotecnici condotti a carotaggio continuo. Il recupero del materiale lungo le verticali indagate è stato effettuato con carotiere semplice nei depositi sciolti, mentre in quelli lapidei è stato impiegato un carotiere doppio con circolazione di fluido. Inoltre sono state disposte delle prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.) utili per la caratterizzazione meccanica dei livelli indagati.

La società Penta Progetti ha eseguito a giugno e luglio 2015 nove sondaggi geognostici ambientali realizzati a carotaggio continuo con il solo carotiere semplice e senza circolazione di fluido.

L'insieme delle informazioni geognostiche si sono rivelate essenziali per la taratura delle attività di integrazione che hanno così potuto essere portate a termine con il miglior esito.

Si riportano in allegato sia le schede stratigrafiche che le fotografie delle cassette catalogatrici.



Estratto planimetrico non in scala

L'analisi delle stratigrafie, unitamente alle fotografie delle cassette catalogatrici, è stato lo strumento pianificatorio delle attività di campagna e delle modalità interpretative dei parametri acquisiti.

5.2.2. Prove penetrometriche dinamiche.

Ad integrazione delle prove penetrometriche dinamiche eseguite nei sondaggi a carotaggio continuo, sono state realizzate delle prove penetrometriche dinamiche con penetrometro Penni 30 (penetrometro medio secondo la classifica ISSMFE) le cui caratteristiche sono di seguito riportate:

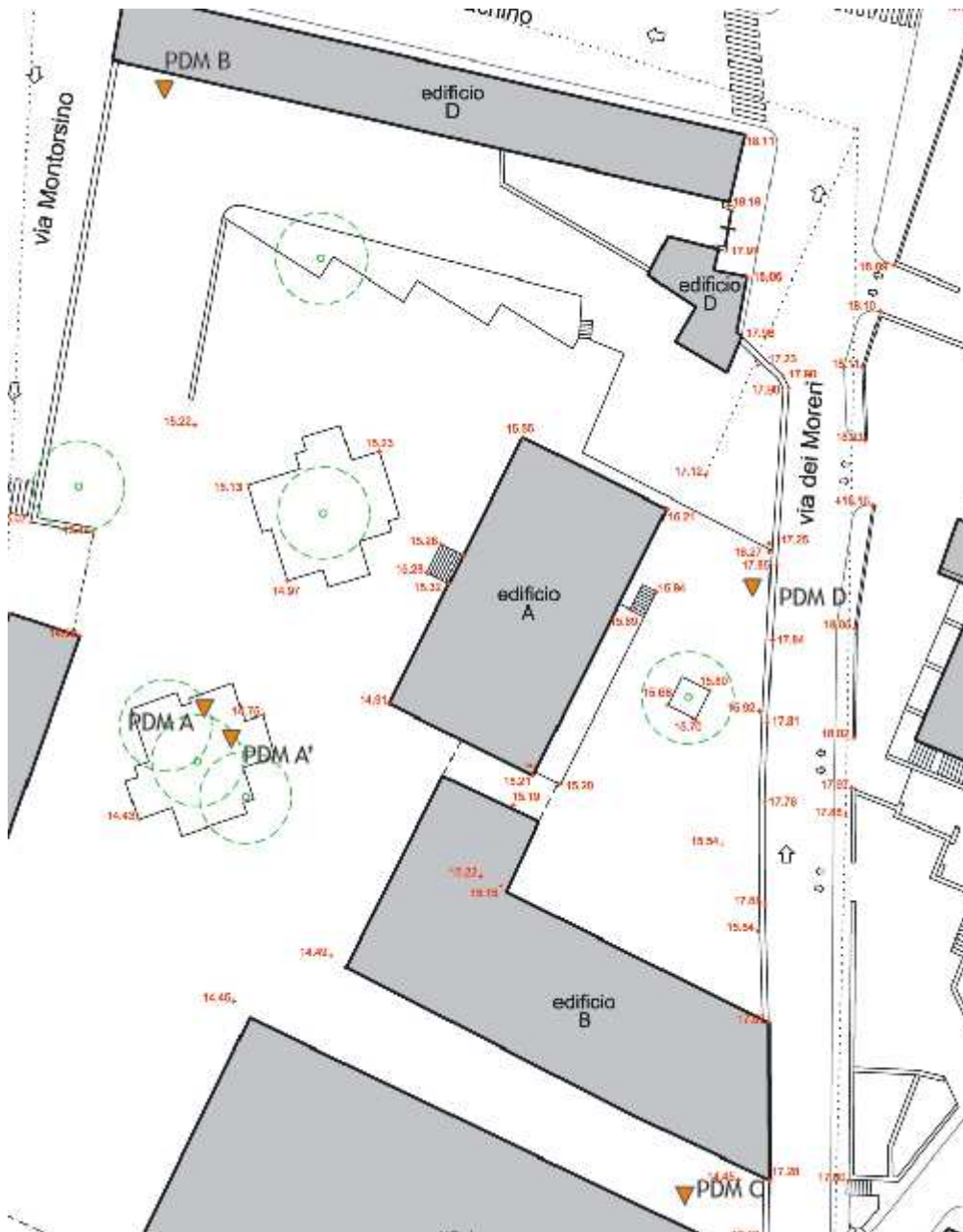
Rif. Norme DIN 4094

Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	21 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,9 Kg/m
Profondità giunzione 1 ^a asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N (10)
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60°



Tale tecnica consente la discretizzazione della verticale indagata, poiché la punta conica penetra in continuo nel terreno, definendone la resistenza all'avanzamento ogni 10 centimetri, a

differenza dello Standard Penetration Test che misura la resistenza riscontrata alla scarpa del campionatore Raymond, per soli 45 centimetri, generalmente ogni metro e mezzo di avanzamento.



Planimetria non in scala indicante l'ubicazione delle prove penetrometriche dinamiche

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Cliente (codice):	Dott. Geol. Stefano Davini (Stefano Davini) (2167)
Software (codice):	Dynamic Probing (19)
Numero di serie:	E444FD76844C45309C7C719CBB999E30

Per l'elaborazione del rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) si è fatto riferimento a Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Sono state pertanto acquisite informazioni su:

- ✓ l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- ✓ la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- ✓ i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Angolo di Attrito

- Meyerhof (1956) Correlazione valida per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati e terreni di riporto sciolti da modifica sperimentale di dati.

Densità relativa (%)

- (Skempton 1986) Elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Cu (Kg/cmq) (Benassi & Vannelli) Correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.

Resistenza alla punta del penetrometro statico (Qc)

- Robertson 1983 Qc (Kg/cmq) Correlazioni per determinare la resistenza specifica statica per suoli coerenti.

Peso di Volume

- (Meyerhof ed altri) (t/mc) Elaborazione valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Elaborazione della prova n. A

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
 Prova eseguita in data 08/2015
 Profondità prova 5,60 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Prof. Strato (m)	N _{PDM}	Rd (Mpa)	Tipo	Peso unità di volume (KN/m ³)	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con N _{spt}	N _{spt}	Descrizione
2,2	17	5,52	Incoerente - coesivo	20,0	22,0	22	0,76	13	ghiaia limosa
3,6	7	2,04	Incoerente - coesivo	17,5	18,5	56	0,77	5	limo sabbioso
5,4	23	6,19	Incoerente - coesivo	20,5	22,0	86	0,78	18	limo sabbioso
5,6	66	17,03	Incoerente	20,5	21,0	107	0,78	50	ghiaia limosa

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PDM A
 TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	Cu (KPa)	Qc (Mpa)	Eed (Mpa)	Classificazione
Strato (1) ghiaia limosa	130	3	13	CONSISTENTE
Strato (2) limo sabbioso	50	1	5	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso	175	3	18	MOLTO CONSISTENTE

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Densità relativa (%)	Angolo d'attrito (°)	Modulo di Young (Mpa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Classificazione AGI	Poisson
Strato (1) ghiaia limosa	42,79	31,76	13,94	5,40	MODERATAMENTE ADDENSATO	0,33
Strato (2) limo sabbioso	18,96	29,53	---	3,80	POCO ADDENSATO	0,34
Strato (3) limo sabbioso	38,27	33,07	16,23	6,34	MODERATAMENTE ADDENSATO	0,32
Strato (4) ghiaia limosa	60,68	42,45	32,66	13,09	MOLTO ADDENSATO	0,25

A copertura di tali depositi sono presenti differenti livelli di materiali di riporto, spesso ricoperti da una soletta di calcestruzzo. La determinazione dei parametri di questi terreni è difficoltosa data l'estrema variazione del deposito sia in termini granulometrici che in quelli di densamento o consistenza.

5.3. Prove geofisiche

5.3.1. Indagine geoelettrica tomografica

Metodologia

Questa metodologia si basa sull'acquisizione di un elevato numero di misure di resistività elettrica utilizzando dei dispositivi multi-elettrodici, che gestiscono un discreto numero di elettrodi posizionati lungo un profilo sul terreno. Tali elettrodi, governati da un georesistivimetro, hanno la funzione di immettere nel terreno e misurare la tensione secondo geometrie definite. A seconda delle geometrie scelte si ha una maggiore sensibilità nei confronti di variazioni verticale o laterale della resistività. Le tecniche tomografiche elettriche consentono di ottenere dei profili di resistività dei terreni indagati con una buona risoluzione laterale e verticale. Queste tecniche sono particolarmente adatte all'individuazione di volumi nel sottosuolo caratterizzati da diversa conduttività come ad esempio superfici di falda, ricostruzione morfologiche del substrato, individuazione di cavità o individuazione di corpi metallici o inquinanti.

Il risultato della registrazione è una matrice di valori di resistività la cui inversione, mediante algoritmi matematici, restituisce una sezione del mezzo investigato raffigurante la distribuzione bidimensionale delle caratteristiche elettriche di resistività del terreno.

Per eseguire tale processo il software converte i dati di resistività apparente misurati in campagna in un modello di distribuzione della resistività che concordi con i dati rilevati. Per raggiungere questo risultato viene modificato in maniera iterativa il modello di partenza in modo da minimizzare le differenze tra i valori di resistività calcolati e quelli misurati.

Acquisizione dati

Per l'acquisizione è stato utilizzato un resistivimetro "4point light hp" della Lippmann. Sono stati eseguiti 3 stendimenti geoelettrici le cui posizioni sono riportate negli allegati cartografici, mentre di seguito se ne riporta un estratto.



I profili geoelettrici utilizzati hanno le seguenti caratteristiche:

Profilo TE01

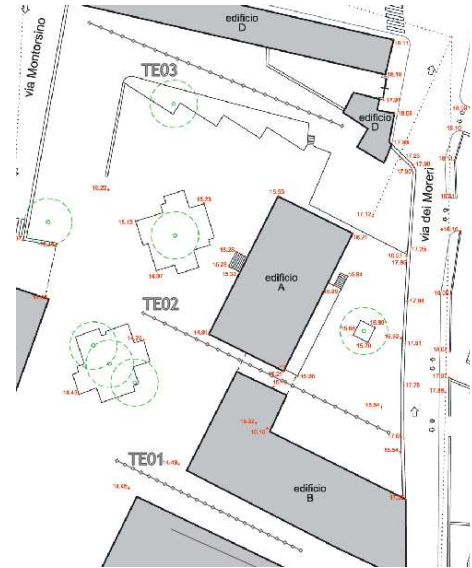
- ✓ stendimento da 24 elettrodi spazati di 1.5 m;
- ✓ sviluppo totale 34.5 m;
- ✓ massima profondità indagata: 7 m circa;
- ✓ configurazione elettrodica tipo Wenner Schlumberger;

Profilo TE02

- ✓ stendimento da 24 elettrodi spazati di 2 m;
- ✓ sviluppo totale 46 m;
- ✓ massima profondità indagata: 9.3 m circa;
- ✓ configurazione elettrodica tipo Wenner Schlumberger.

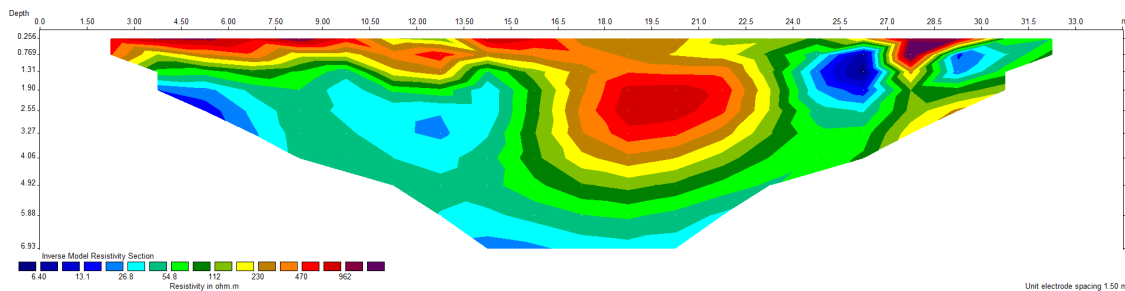
Profilo TE03

- ✓ stendimento da 24 elettrodi spazati di 2 m;
- ✓ sviluppo totale 34.5 m;
- ✓ massima profondità indagata: 9.3 m circa;
- ✓ configurazione elettrodica tipo Wenner Schlumberger.

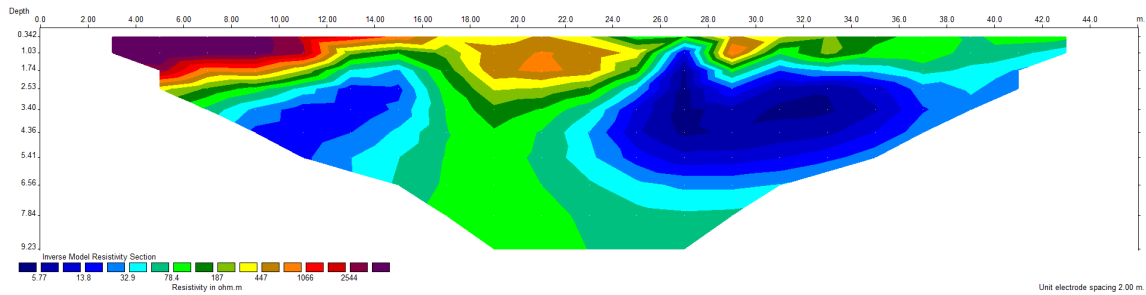


Elaborazione e interpretazione dati

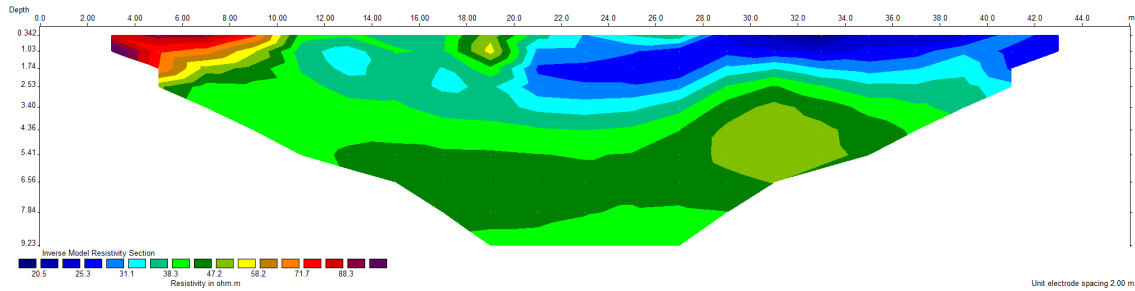
Per l'elaborazione delle registrazioni effettuate è stato utilizzato il software "RES2DINV" della Geotomo Software. Il risultato è una sezione reale della resistività del terreno, al di sotto dello stendimento, rappresentata da linee che uniscono punti con medesima resistività. Di seguito vengono riportati i tre profili tomografici con in ordinata la profondità scandagliata e in ascissa la progressiva della posizione degli elettrodi.



Profilo geoelettrico TE01



Profilo geoelettrico TE02



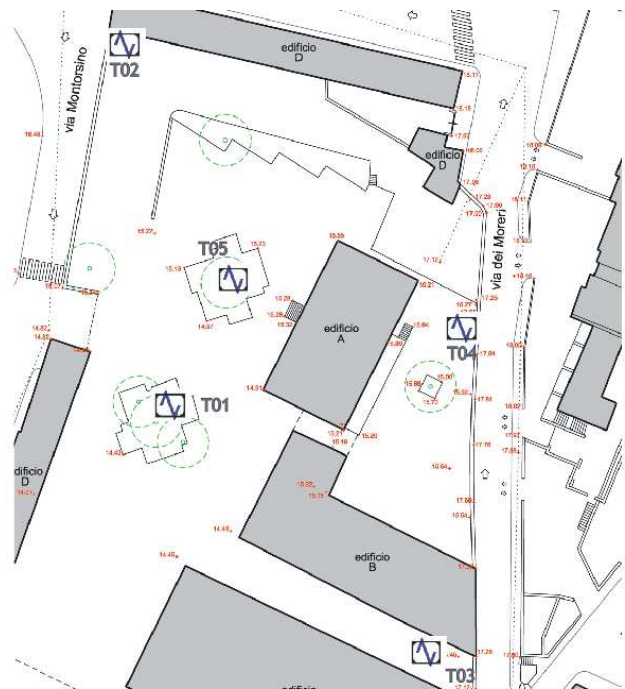
Profilo geoelettrico TE03

5.3.2. Indagine HVSR

Al fine di valutare gli effetti di amplificazione del suolo, sono state eseguite 5 misure HVSR nelle posizioni a fianco riportate.

Aspetti teorici

Le misure di microtremore a stazione singola, hanno consentito l'acquisizione di dati qualitativi e quantitativi in grado di permettere delle valutazioni riguardanti possibili fenomeni di amplificazione della sollecitazione sismica, oltre alla definizione della frequenza fondamentale di vibrazione dei depositi indagati. La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle



componenti orizzontali e verticali del rumore sismico ambientale misurato nelle tre direzioni ortogonali del moto. Le frequenze di risonanza naturali corrispondono ai massimi della curva dei rapporti spettrali in funzione della frequenza. L'ampiezza di questi massimi è qualitativamente proporzionale all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

Considerazioni quali - quantitative, derivanti da valori mediamente osservati, permettono di poter assumere che la frequenza di risonanza f_0 di una copertura sedimentaria di spessore H sovrapposta a un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana, è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento (V_s) e 4 volte lo spessore H , (cioè $f_0 = V_s/4H$); è quindi possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata all'ordine di grandezza dello spessore H della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio (V_s) o, viceversa, a quest'ultima se lo spessore H è noto.

La forma che possiede un'onda registrata strumentalmente in un punto di misura PM dipende sostanzialmente dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente S , dal percorso dell'onda dalla sorgente S al sito PM e dalla risposta dello strumento di misura.

Il rumore sismico nel suolo è costituito principalmente da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Le sorgenti principali del rumore sismico ambientale sono il vento, le onde marine e l'attività dinamica della crosta terrestre. Anche le attività antropiche possono generare tremore sismico, soprattutto in alta frequenza (alcuni Hz); tali onde però si attenuano rapidamente allontanandosi dalla sorgente. In aree prive di sorgenti locali di tremore, in assenza di vento o su basamenti rocciosi tabulari, lo spettro del tremore assume la forma dove le curve indicano rispettivamente le ampiezze 'massima' e 'minima' assunte come standard per il rumore sismico di fondo dal Servizio Geologico degli Stati Uniti (USGS). Nel percorso dalla sorgente S al PM , le onde elastiche sono soggette a fenomeni di riflessione, rifrazione, amplificazione e attenuazione in base alle geometrie e caratteristiche meccaniche dei suoli attraversati. Per le elaborazioni è stato adottato il metodo di Nakamura (1989) che consente di definire i valori delle frequenze principali di risonanza dei suoli. Egli infatti ha verificato sperimentalmente che alla base dello strato superficiale, per tutte le frequenze, il rapporto tra l'ampiezza della componente orizzontale e quella verticale può essere considerato pari ad 1. Pertanto il fattore di amplificazione di sito R è dato dal rapporto spettrale $R = H/V$.

Le considerazioni di carattere "stratigrafico", inquadrano le risposte della prova con le conoscenze geologiche disponibili (individuazione di modeste coperture e zone di detensionamento superficiale per alterazione), ma divengono sostanziali, dal punto di vista "ingegneristico", là dove i picchi di risonanza rientrano nel range di frequenze di vibrazione di edifici e manufatti (0.5-10 Hz) per le implicazioni dirette che possono avere con fenomeni di risonanza delle strutture.

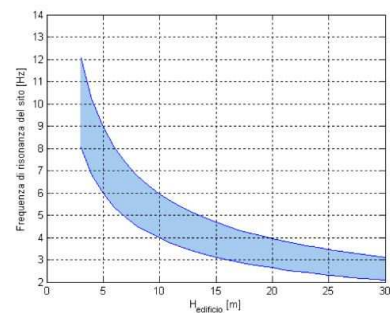


Illustrazione 1: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza. (da Guida all'uso di TROMINO - Micromed S.p.a.)

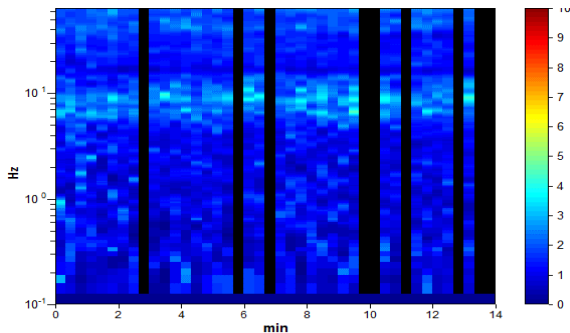
Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione delle misure è stato utilizzato il tromografo digitale "Tromino", strumento realizzato per la misurazione del rumore sismico. Le sue ridotte dimensioni (10 x 7 x 14 cm) ed il modesto peso (1 kg) lasciano virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente. I dati acquisiti sono stati poi elaborati mediante il software GRILLA.

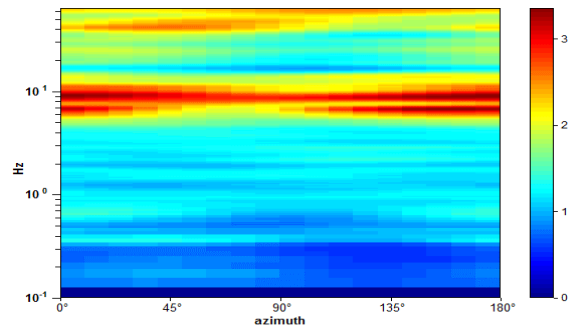


Elaborazione T01

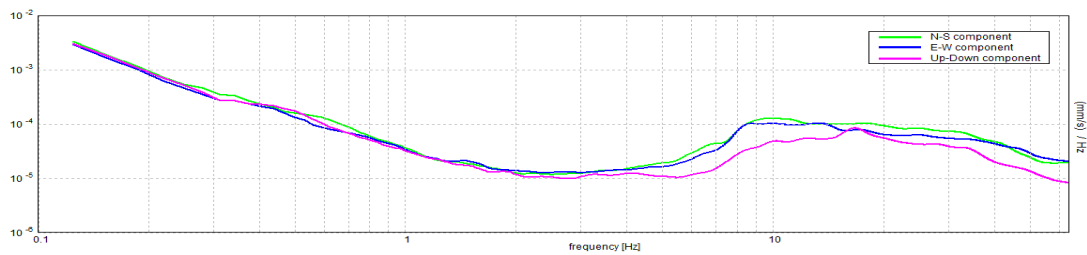
Il software consente di esaminare i segnali rilevati nel tempo e nelle diverse direzioni. Tali dati consentono di valutare la bontà dei dati misurati ed eventuali selezioni di dato. Nel caso specifico è stata eseguita una pulitura temporale dei segnali registrati causa alcuni disturbi esterni durante la misura.



Stabilità del segnale nel tempo con pulitura



Esito del segnale nelle diverse direzioni



valore di Hz per le diverse frequenze secondo le tre componenti selezionate

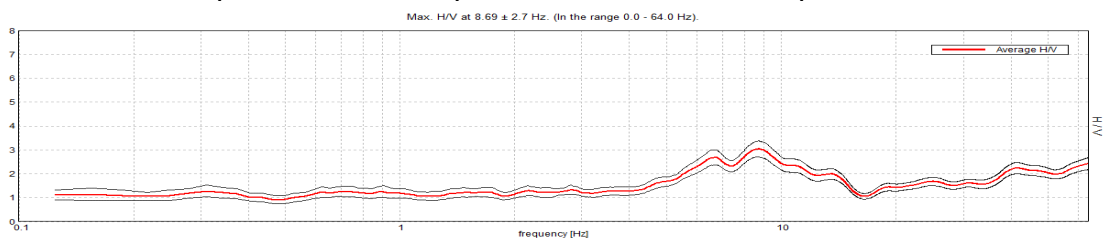
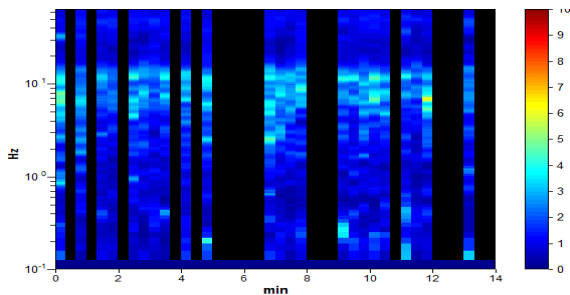


grafico del rapporto H/V

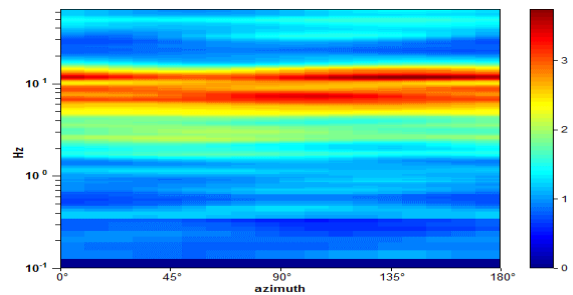
Il dato evidenzia la presenza di un **picco di risonanza naturale** attorno ai **8.69 Hz**. Il picco ha un aspetto molto allargato segno che le velocità variano lentamente con l'aumentare della profondità.

Elaborazione T02

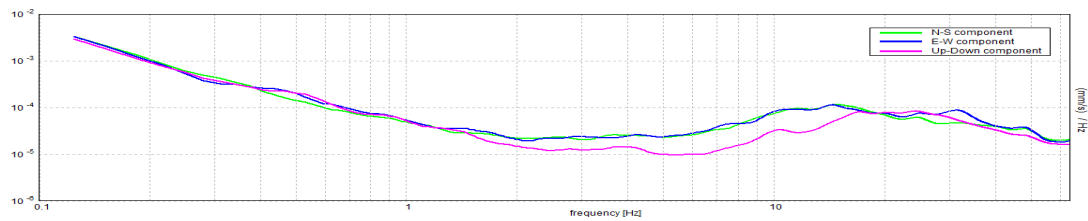
Il software consente di esaminare i segnali rilevati nel tempo e nelle diverse direzioni. Tali dati consentono di valutare la bontà dei dati misurati ed eventualmente di selezionarne un segmento. Nel caso specifico è stata eseguita una pulitura temporale dei segnali registrati causa alcuni disturbi esterni durante la misura.



Stabilità del segnale nel tempo con pulitura



Esito del segnale nelle diverse direzioni



Valore di Hz per le diverse frequenze secondo le tre componenti selezionate

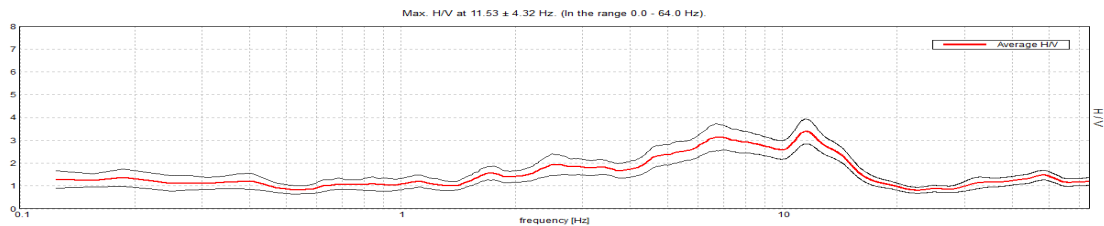
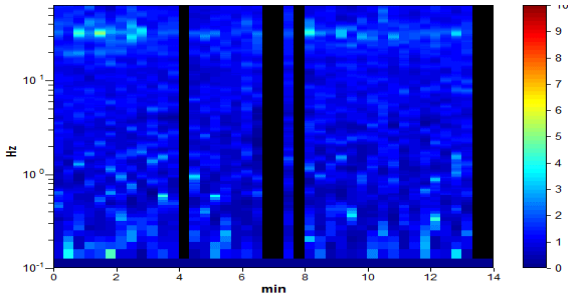


Grafico del rapporto H/V

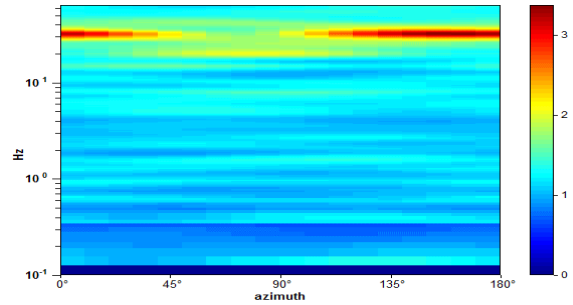
Il dato evidenzia un'amplificazione che interessa diverse frequenze, segno che le velocità variano lentamente all'aumentare della profondità. Il **picco di risonanza è compreso tra 6 Hz e 12 Hz**.

Elaborazione T03

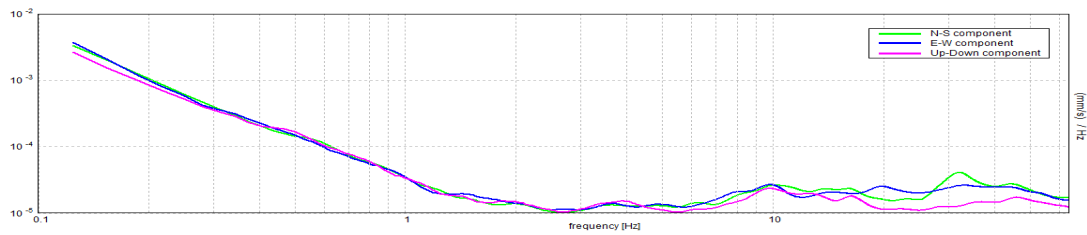
Il software consente di esaminare i segnali rilevati nel tempo e nelle diverse direzioni. Tali dati consentono di valutare la bontà dei dati misurati ed eventualmente di selezionarne un segmento. Nel caso specifico è stata eseguita una pulitura temporale dei segnali registrati causa alcuni disturbi esterni durante la misura.



Stabilità del segnale nel tempo con pulitura



Esito del segnale nelle diverse direzioni



Valore di Hz per le diverse frequenze secondo le tre componenti selezionate

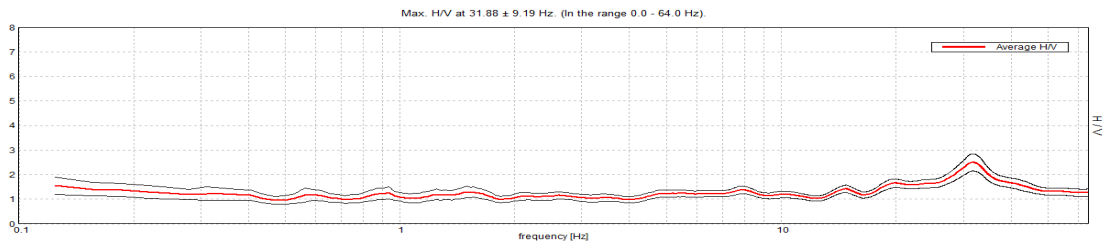
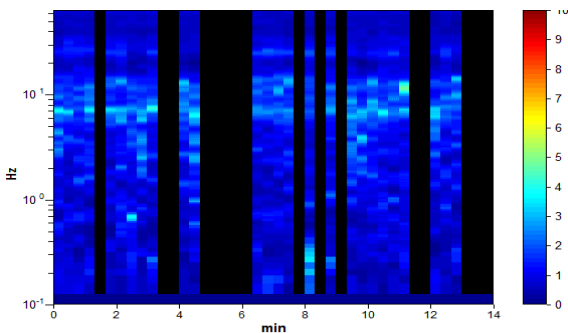


Grafico del rapporto H/V

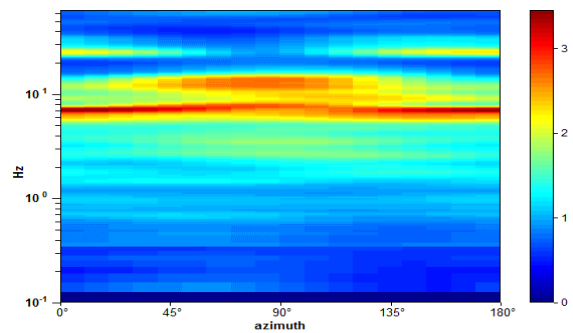
Il dato evidenzia l'assenza di un chiaro picco di risonanza, questo è dovuto sia alla vicinanza del bed rock alla superficie che a una probabile attenuazione del segnale a causa della presenza di una pavimentazione in cemento armato su cui è stata eseguita la misura.

Elaborazione T4

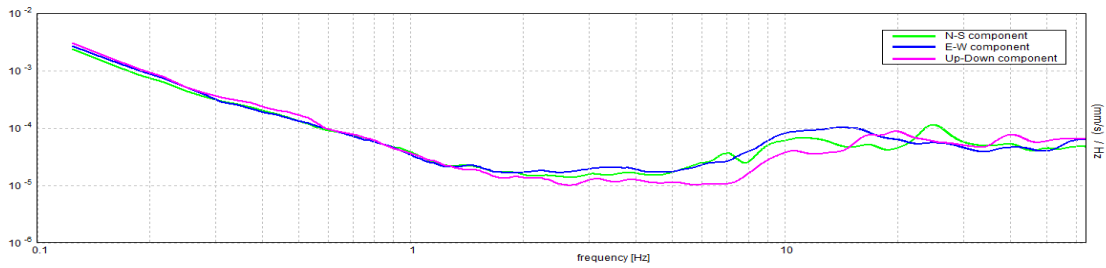
Il software consente di esaminare i segnali rilevati nel tempo e nelle diverse direzioni. Tali dati consentono di valutare la bontà dei dati misurati ed eventualmente di selezionarne un segmento. Nel caso specifico è stata eseguita una pulitura temporale dei segnali registrati causa alcuni disturbi esterni durante la misura.



Stabilità del segnale nel tempo con pulitura



Esito del segnale nelle diverse direzioni



Valore di Hz per le diverse frequenze secondo le tre componenti selezionate

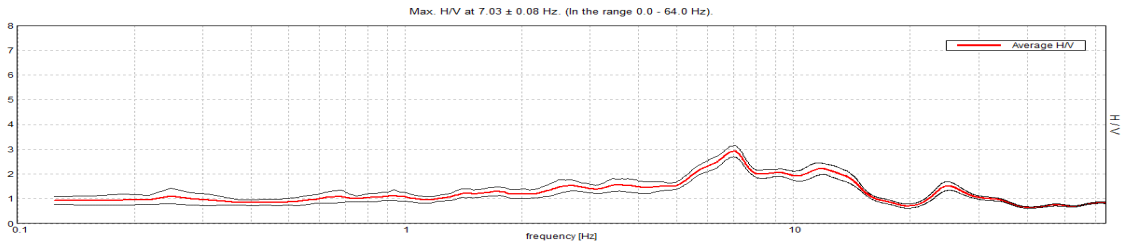
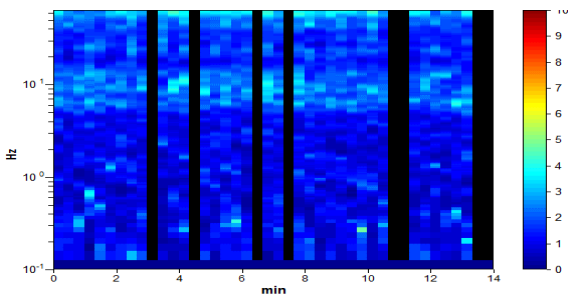


Grafico del rapporto H/V

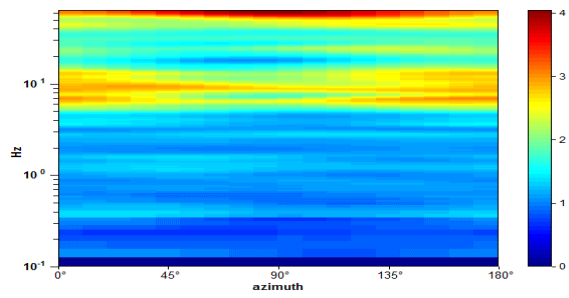
Il dato evidenzia la presenza di un picco poco marcato compreso tra i 7 Hz e i 13Hz. Il massimo osservato a circa 7 Hz è dovuto probabilmente a un disturbo antropico.

Elaborazione T5

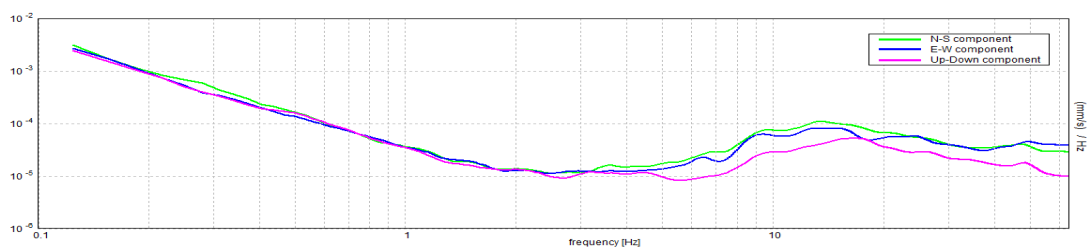
Il software consente di esaminare i segnali rilevati nel tempo e nelle diverse direzioni. Tali dati consentono di valutare la bontà dei dati misurati ed eventualmente di selezionarne un segmento. Nel caso specifico è stata eseguita una pulitura temporale dei segnali registrati causa alcuni disturbi esterni durante la misura.



Stabilità del segnale nel tempo con pulitura



Esito del segnale nelle diverse direzioni



Valore di Hz per le diverse frequenze secondo le tre componenti selezionate

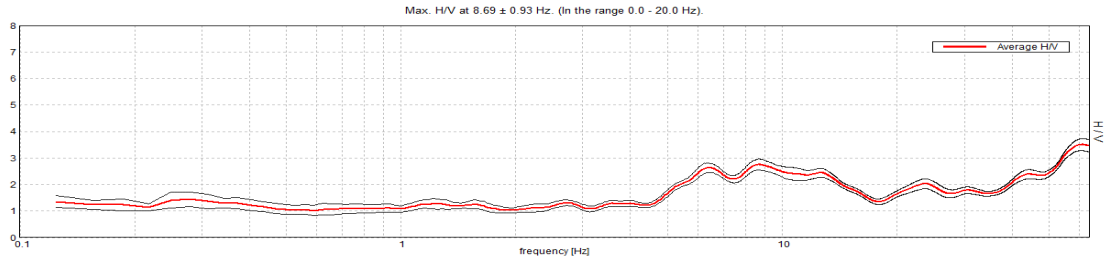


Grafico del rapporto H/V

Il dato evidenzia la presenza di un **picco di risonanza naturale attorno ai 8.69 Hz**. Il picco ha un aspetto molto allargato segno che le velocità variano lentamente con l'aumentare della profondità.

5.3.3. Prospezione geofisica Masw

Metodologia

L'indagine sismica di tipo MASW (*Multi Channel Analysis of Surface Waves*) ha lo scopo di ricostruire un profilo di velocità delle onde S sfruttando le onde di superficie e il fenomeno della dispersione delle stesse. Infatti, in un mezzo stratificato, le onde di superficie si propagano a diverse velocità di fase e di gruppo a seconda della loro lunghezza d'onda, ottenendo quindi variazioni di velocità di fase al variare delle frequenze. Il metodo, non invasivo, prevede l'energizzazione del terreno, che può essere prodotta tramite un martello percussore e la misura delle onde di superficie tramite dei sensori (geofoni) disposti sulla superficie lungo una linea retta e con una geometria nota. L'analisi del dato acquisito viene effettuata mediante la trattazione spettrale del sismogramma, utilizzando la trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro di velocità del segnale. Da questo dominio è possibile estrarre la curva di dispersione della velocità che associa a ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda.

Acquisizione dati ed elaborazione

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzata un sismografo "DoReMi" multicanale e geofoni verticali a frequenza naturale di 4.5 Hz per la registrazione di onde sismiche di compressione, tipo "P". Come sorgente è stata utilizzata una mazza da 10Kg e un piattello di battuta in plexiglass.

Sono stati eseguiti tre stendimenti la cui posizione è riportata in allegato con le seguenti caratteristiche:

Profilo MASW01

- ✓ Numero geofoni: 24;
- ✓ Spaziatura geofonica: 2 m;
- ✓ Distanza di energizzazione : 8 m;
- ✓ Lunghezza profilo orizzontale: 46 m.

Profilo MASW02

- ✓ Numero geofoni: 24;
- ✓ Spaziatura geofonica: 2 m;
- ✓ Distanza di energizzazione : 8 m;
- ✓ Lunghezza profilo orizzontale: 46 m.

Profilo MASW03

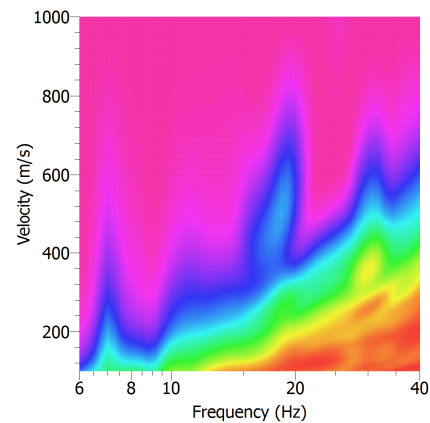
- ✓ Numero geofoni: 24;
- ✓ Spaziatura geofonica: 2 m;
- ✓ Distanza di energizzazione : 4m;
- ✓ Lunghezza profilo orizzontale: 46 m.

Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato utilizzato il software "Geopsy" il quale fornisce, tramite la trasformata di Fourier, lo spettro di velocità. Da questo dominio è possibile individuare le coppie f-k a cui corrispondono i massimi spettrali di energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh. E' possibile invertire questi valori al fine di ottenere il modello di sottosuolo che ha determinato il dato osservato in campagna.

MASW 01

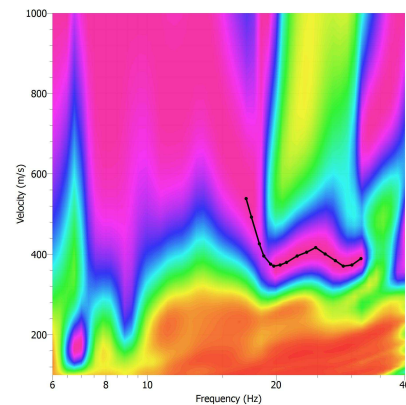
Il dato ottenuto dalla trasformata di Fourier è lo spettro di velocità a fianco riportato.

Come si può osservare dallo spettro di velocità non è possibile individuare il modo fondamentale probabilmente a causa della presenza di una grossa soletta in cemento che dissipa l'energia delle onde superficiali. Pertanto si è scelto di non utilizzare il dato per la stima delle velocità.



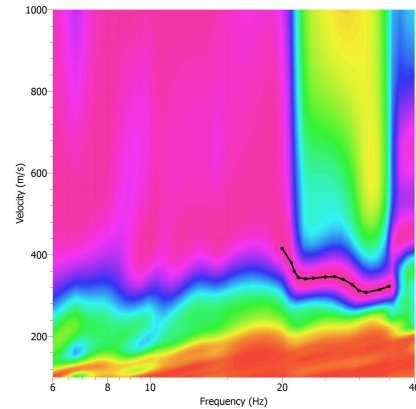
MASW 02

In questo caso il dato fornisce informazioni solo alle alte frequenze probabilmente a causa della presenza di una grossa soletta in cemento che dissipa l'energia delle onde superficiali. Pertanto si è scelto di utilizzare il dato piccando il modo fondamentale fino dov'è riconoscibile.



MASW 03

In questo caso il dato fornisce informazioni solo alle alte frequenze probabilmente a causa della presenza di una grossa soletta in cemento che dissipa l'energia delle onde superficiali. Pertanto si è scelto di utilizzare il dato piccando il modo fondamentale fino dov'è riconoscibile.



L'inversione dei dati per la determinazione di un profilo di velocità è stata eseguita successivamente in maniera congiunta con le altre prove eseguite.

5.3.4. Prospezione geofisica ReMi

Metodologia

L'indagine sismica di tipo *ReMi* (*Refraction Microtremor*) ha lo scopo di ricostruire un profilo di velocità delle onde S sfruttando le onde di superficie, in particolare quelle di Rayleigh, generate da sorgenti superficiali e il fenomeno della dispersione delle stesse. Infatti, in un mezzo stratificato, le onde di superficie si propagano a diverse velocità di fase e di gruppo a seconda della loro lunghezza d'onda, determinando variazioni di velocità di fase al variare delle frequenze.

Il metodo, non invasivo, utilizza come fonte di energia il rumore ambientale di fondo ovvero l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Per la misura delle onde superficiali si utilizza uno stendimento lineare di sensori (geofoni) disposti sulla superficie lungo una linea retta e con una geometria nota per un periodo variabile a seconda delle caratteristiche del sito.

Lo scopo dell'elaborazione di un segnale acquisito con la tecnica ReMi è quello di ricavare la curva di dispersione (indica che le velocità di fase per cui in un mezzo eterogeneo tendono a disperdersi in funzione della frequenza) delle onde superficiali. Il risultato si ottiene tramite l'analisi spettrale del sismogramma registrato utilizzando la trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro di velocità/lentezza del segnale.

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzata un sismografo DoReMi multicanale e geofoni verticali a frequenza naturale di 4.5 Hz per la registrazione di onde sismiche di compressione, tipo "P".

Sono stati eseguiti tre stendimenti la cui posizione è riportata nella figura a fianco con le seguenti caratteristiche:

Profilo ReMi01

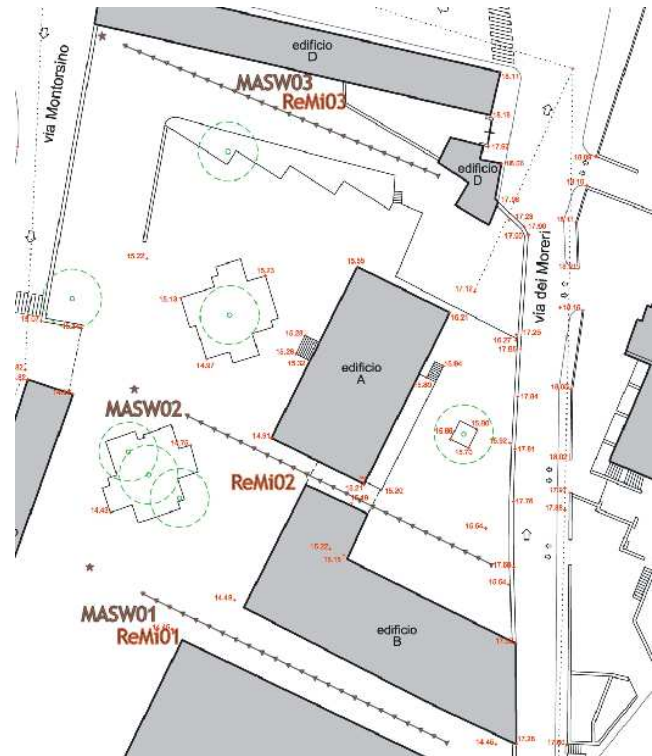
- ✓ Numero geofoni: 24;
- ✓ Spaziatura geofonica: 2 m;
- ✓ Lunghezza profilo orizzontale: 46 m.

Profilo ReMi02

- ✓ Numero geofoni: 24;
- ✓ Spaziatura geofonica: 2 m;
- ✓ Lunghezza profilo orizzontale: 46 m.

Profilo ReMi03

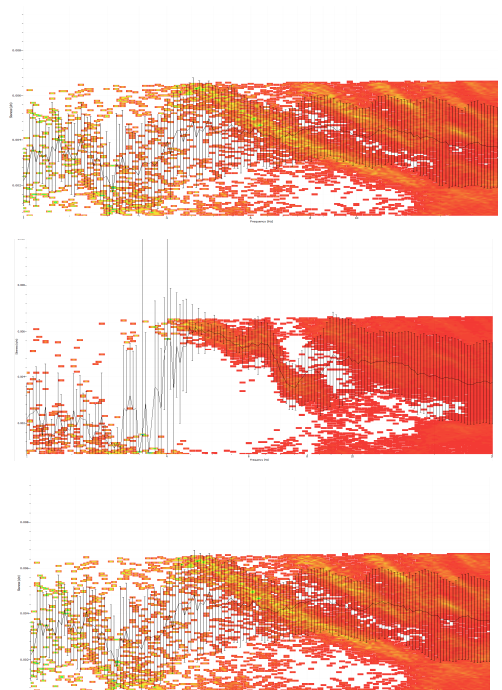
- ✓ Numero geofoni: 24;
- ✓ Spaziatura geofonica: 2 m;
- Lunghezza profilo orizzontale: 46 m.



Elaborazione

Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato utilizzato il software "Geopsy", che elabora i dati acquisiti e fornisce, utilizzando la trasformata di Fourier, lo spettro di velocità. Da questo dominio è possibile individuare le coppie f-k a cui corrispondono i massimi spettrali di energia (densità spettrale) che ci consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

Gli spettri ottenuti sono riportati in sequenza nelle figure a fianco riportate. Come si può osservare gli spettri ottenuti non permettono di individuare i massimi relativi alle varie velocità in funzione della frequenza. Questo può essere causato dalle condizioni di acquisizioni con una pavimentazione in cemento armato che può attenuare il segnale.

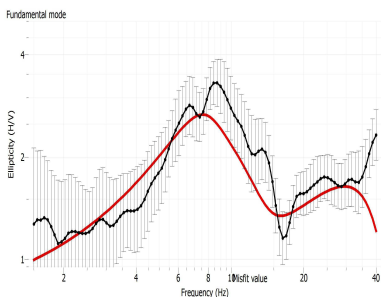


Determinazione del profilo di velocità

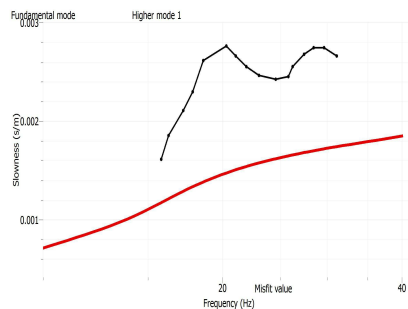
L'elaborazione dei dati acquisiti tramite l'indagine sismica del tipo MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) è stata condotta utilizzando il software "Geopsy". Tramite la trasformata di Fourier è stato possibile ottenere lo spettro di velocità del terreno indagato. Individuando in questo dominio le coppie f-k, a cui corrispondono i massimi spettrali di energia, è stato possibile

risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh. L'inversione di questi valori ha permesso, quindi, l'ottenimento del modello di sottosuolo che ha determinato il dato osservato in campagna. La presenza di una grossa soletta in cemento su tutta la superficie indagata (spesso sovrapposta ad altre sepolte nei primi strati), dissipando l'energia delle onde superficiali ha reso le informazioni ottenute poco attendibili, imponendo ulteriori considerazioni nel merito della stima della velocità. Si è pertanto ricorso all'utilizzo del modulo Dinver del software Geopsy, il quale ha consentito l'elaborazione congiunta dei dati ottenuti con le prove HVSR e le prove MASW, mentre le informazioni derivati dai log dei sondaggi condotti a carotaggio continuo hanno implementato le informazioni riguardanti le geometrie stratigrafiche. Si è deciso di eseguire due inversioni dei dati e di utilizzare: per la prima la linea Masw02 abbinata alla registrazione T01 e al sondaggio S2; per la seconda inversione la linea Masw 03 abbinata alla registrazione T02 e al sondaggio S1. Si è scelto di non elaborare i dati relativi alla linea Masw01 in quanto di dubbia affidabilità come tutte le registrazioni ReMi.

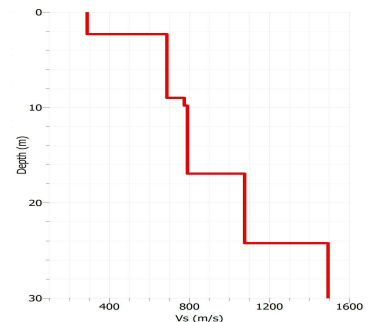
L'inversione della linea riferita alla **Masw 02** ha dato come risultato un errore di misfit minimo pari a 0.64, fornendo un ottima corrispondenza alla curva di ellitticità mentre ha dato un errore più elevato sulle alte frequenze della curva di dispersione.



Inversione della curva di ellitticità (in rosso la curva calcolata, in nero i dati registrati)

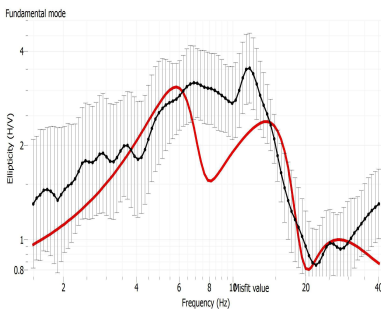


Inversione della curva di dispersione (in rosso la curva calcolata, in nero i dati registrati)

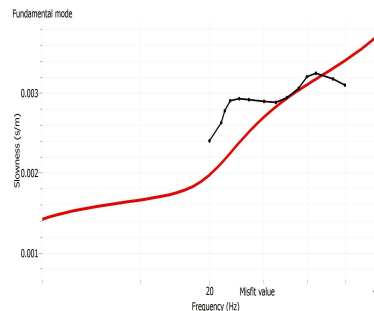


Profilo di velocità calcolato in corrispondenza dello stendimento Masw02

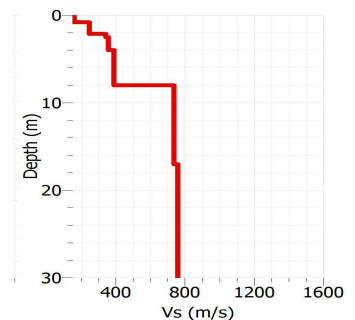
L'inversione della linea riferita alla **Masw 03** ha dato come risultato un errore di misfit minimo pari a 0.56, fornendo un buona corrispondenza sia alla curva di ellitticità che a quella di dispersione.



Inversione della curva di ellitticità (in rosso la curva calcolata, in nero i dati registrati)



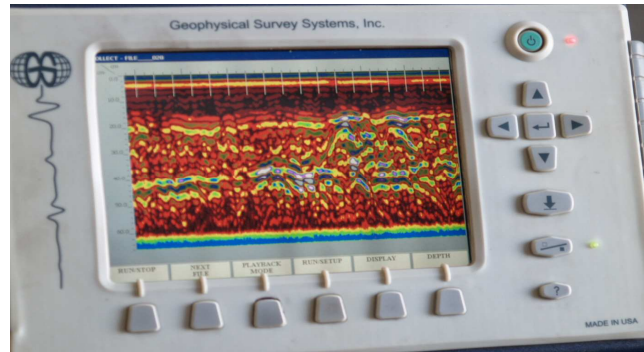
Inversione della curva di dispersione (in rosso la curva calcolata, in nero i dati registrati)



Profilo di velocità calcolato in corrispondenza dello stendimento Masw03

5.3.5. Rilievi georadar

L'indagine è stata eseguita utilizzando una strumentazione SIR System 3000 della GSSI (Geophysical Survey System Inc.). L'unità centrale, generando il segnale inviato alla sezione trasmittente, ha istantaneamente elaborato il segnale di ritorno acquisito dalla sezione ricevente dell'antenna. Il display LCD ha permesso tutte le operazioni di calibrazione



GSSI SIR System 3000

del sistema e l'impostazione dei parametri di acquisizione quali tempo di registrazione, guadagno e tipi di filtro da applicare ai segnali elettromagnetici. Lo stesso display ha permesso la visualizzazione del profilo durante l'acquisizione permettendo una rapida valutazione durante le operazioni di campo, sia a riguardo della qualità che dei segnali registrati.

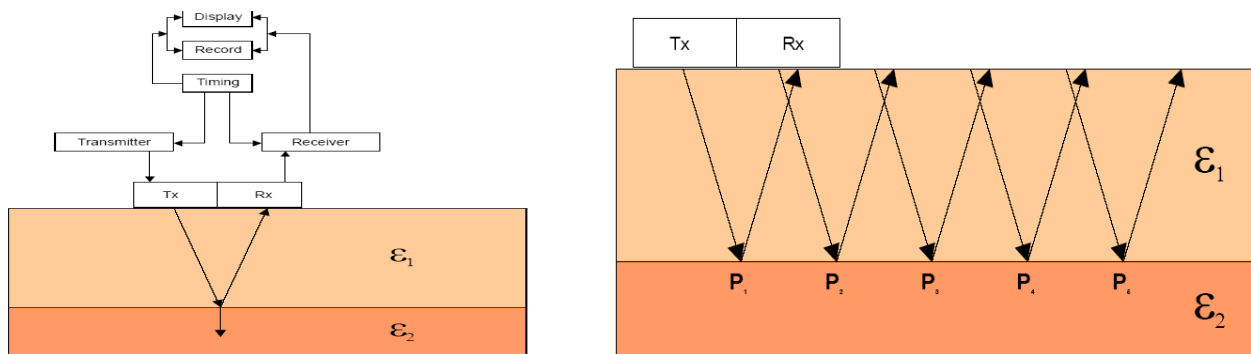
I segnali elettromagnetici indotti all'interno del sottosuolo sono stati quindi ricevuti a seguito delle riflessioni prodotte alle interfacce elettromagnetiche presenti alle diverse profondità d'indagine.

I profili sono stati condotti in relazione alle informazioni cartografiche disponibili; individuato l'ipotetico percorso del canale interrato essi sono stati sviluppati lungo direzioni pressoché ortogonali all'asse manufatto ipogeo, compatibilmente con i vincoli imposti dalla presenza degli edifici presenti.

Metodologia

La metodologia GPR, attraverso l'utilizzo d'onde elettromagnetiche, consente la definizione delle caratteristiche interne al mezzo indagato. In particolare è possibile identificare interfacce tra livelli dotati di differente resistività e costante dielettrica. Tali parametri, sono correlabili a fattori fisici, quali differenza di materiale, grado di compattazione, posizione e caratteristiche d'eventuali manufatti sepolti, presenza di zone umide o di zone non cementate. Nelle indagini GPR un impulso ad alta frequenza (banda da VHF a UHF) viene immesso nel mezzo da investigare da un'antenna; tale impulso viene riflesso dalle superfici di discontinuità dielettrica e viene registrato dalla stessa (configurazione monostatica) o da una seconda antenna (configurazione bistatica). Il dato viene processato attraverso un'unità di controllo e viene visualizzato su display in tempo reale. La quantità di energia che ritorna riflessa in superficie, registrata in funzione del tempo, è inversamente proporzionale all'attenuazione del terreno che si comporta da filtro passa - basso, eliminando le componenti in alta frequenza del segnale. Il risultato consiste in una sezione verticale raffigurante le variazioni delle proprietà elettromagnetiche (legate alla costante dielettrica e propria del materiale) in funzione del tempo di percorso (two way

traveltime). La scelta della configurazione, fondata sugli scopi della ricerca, è basata sulla profondità massima d'indagine e sul livello di dettaglio richiesto. Questi a loro volta contribuiscono alla scelta della frequenza; ad una bassa frequenza corrisponde un'elevata penetrazione del segnale in profondità ma con uno scarso dettaglio delle anomalie riscontrabili (risoluzione bassa), al contrario ad alte frequenze corrispondono elevati livelli risolutivi con scarsa penetrazione del segnale. I profili, generalmente acquisiti lungo reticoli con direzioni ortogonali a distanze variabili, consentono la ricostruzione dell'andamento dei livelli dotati di differenti caratteristiche elettromagnetiche tramite sezioni verticali radar-stratigrafiche.



Geometria di acquisizione dati GPR

L'acquisizione dei dati GPR è stata effettuata in modalità monocanale applicando la tecnica common offset gather di seguito illustrata.

Schema di acquisizione monocanale COG

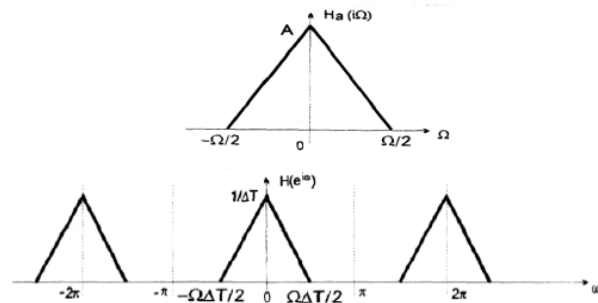
La sorgente Tx ed il ricevitore Rx sono vincolati in un'unica antenna oppure vengono traslati lungo la linea di acquisizione mantenendo costante la distanza relativa sorgente-ricevitore (offset). Rispetto alle metodologie multicanale, tale geometria di acquisizione presenta alcuni vantaggi quali la velocità di acquisizione, minori necessità di processing e post processing, maggior ergonomia della strumentazione, maggiore applicabilità in condizioni logisticamente complesse. Alla fase di acquisizione dei dati di campagna è seguita una fase di processing dei record GPR con il software "RADAN for WINDOWS" della GSSI (Geophysical Survey System Inc.).

Le fasi di processing dipendono dal metodo col quale i dati sono stati acquisiti, dall'obiettivo dell'indagine e dalla qualità del segnale registrato. Per brevità, descriveremo a grandi linee le fasi peculiari dell'elaborazione di un dato acquisito con geometria monostatica, che consistono in filtraggio, guadagno e migrazione. L'operazione che consente di passare da un segnale nel tempo alle sue componenti in frequenza è detta trasformata diretta di Fourier. Il processo inverso, cioè la ricostruzione del segnale nel tempo come sovrapposizione di componenti in frequenza, è detto trasformata inversa di Fourier.

La trasformata inversa di Fourier, che permette di passare dal dominio delle frequenze a quello dei tempi, può assumere la seguente forma:

$$x_a(n\Delta t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \sum_{r=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\Delta t} x_a \left(\frac{i\omega}{\Delta t} + \frac{i2\pi r}{\Delta t} \right) e^{-i\omega n} d\omega$$

Questa relazione lega la trasformata di Fourier per il segnale continuo a quella del segnale analogico. Quindi la FT per il segnale discreto sarà una ripetizione con periodo di quella del segnale analogico.



Ai fini del trattamento del segnale radar, la possibilità di usare il dominio delle frequenze viene utilizzato per separare il segnale primario dal rumore aventi distinte caratteristiche in frequenza. Tale separazione avviene mediante l'utilizzo di operatori numerici, detti filtri digitali. I filtri digitali possono essere suddivisi in tre classi principali:

Filtri passa - basso: detti anche taglia alto, lasciano passare le sole frequenze comprese tra lo zero ed un certo limite superiore (frequenza di taglio). Filtri passa alto: detti anche taglia basso, sono filtri che conservano inalterate tutte le frequenze superiori al valore della frequenza di taglio. Filtro passa banda: lascia passare inalterate tutte le frequenze comprese tra un limite inferiore ed uno superiore.

Di seguito alla fase di filtraggio si opera la fase di processing denominata guadagno dei dati, infatti nelle prospezioni Ground Penetrating Radar quando l'onda elettromagnetica introdotta nel terreno dalla sorgente si propaga, subisce un decadimento in ampiezza ad opera di vari fattori.

I fenomeni principali dell'attenuazione del segnale nelle prospezioni GPR sono:

Riflessione parziale: ogni discontinuità elettromagnetica presente nel terreno comporta la riflessione di una parte dell'energia che è stata immessa, mentre una parte continua verso il basso. L'energia che raggiunge i riflettori più profondi è minore di quella che raggiunge quelli superficiali, quindi l'illuminazione in profondità sarà più scadente di quella superficiale.

Divergenza sferica: la sorgente in prima approssimazione genera fronti d'onda sferici le cui dimensioni crescono all'aumentare del tempo di percorso. All'aumentare di questo la densità di energia del fronte diminuirà. Se indichiamo con (r) la distanza tra sorgente ed il fronte d'onda in esame, l'energia risulterà proporzionale a (1/r²), l'ampiezza subirà un decremento proporzionale a (1/r).

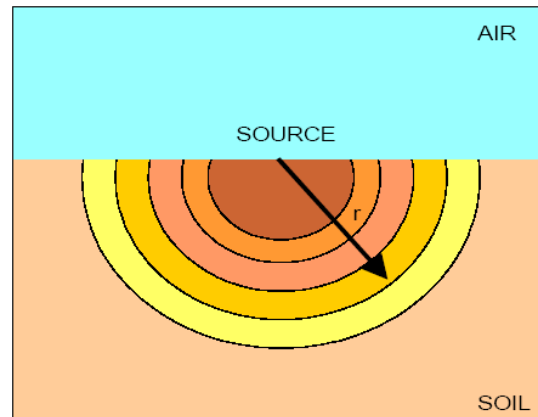
Siccome: $r = vt$

se la velocità (v) non è costante, il decadimento dell'energia dovuto alla divergenza sferica sarà più rapido di quanto non si possa calcolare per il mezzo omogeneo. In realtà il pattern di radiazione è anisotropo, quindi la semplificazione del fronte d'onda a semisfere comporterà dei problemi nel guadagno dei dati GPR, quali problemi di diffrazione e dispersione.

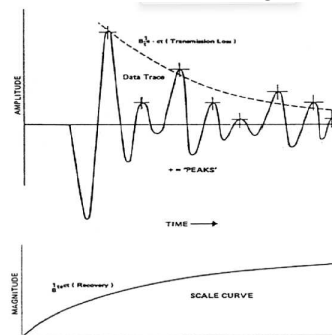
Il decadimento totale è una funzione del tipo:

$$|G(t)| = B \frac{1}{t} e^{-Ct}$$

dove (B) e (C) sono delle costanti.



Aumento delle dimensioni dei fronti d'onda sferici vs distanza dalla sorgente



Curva di inviluppo dei picchi massimi e relativa curva di guadagno (da Lindseth, 1982)

6. Modello geologico

L'area, densamente urbanizzata, è collocata allo sbocco di una vallecchia tra le quote 15 e 17 metri. Non vi sono affioramenti del basamento litoide il quale è stato individuato a quote variabili da una articolata campagna geognostica. Esso infatti risulta variabile, rispetto il piano campagna, da due a nove metri in relazione anche alle caratteristiche di degradazione dello stesso.

La successione sedimentaria marnoso-arenacea del Flysch, appartenente all'Eocene medio - inferiore (Cuisiano - Luteziano) è costituita da marne ed arenarie regolarmente variabili: le arenarie normalmente sono potenti da alcuni centimetri al metro, le marne da alcuni millimetri a 40-50 centimetri.

Questa ripetizione ritmica di arenaria e marna è variabile nelle varie località sia per quanto riguarda le potenze individuali dei due litotipi sia per il rapporto percentuale di un litotipo sull'altro. Ciò è riscontrabile anche in zone non molto estese ed è spesso accompagnato da notevoli fenomeni di tettonizzazione, che hanno ulteriormente complicato una geologia condizionata da notevoli variazioni laterali di facies (cioè dalle complesse morfologie dell'ambiente di bacino in cui andavano depositandosi i sedimenti marnoso arenacei).

Le arenarie sono più precisamente delle grovacche quarzoso - feldspatiche a cemento calcareo, molto compatte, discretamente classate. Risultano mediamente composte per il 50% almeno da quarzo e selce e per il resto da feldspati (20% in media) fra cui predominano i plagioclasti, carbonati (20% in media) e da una serie di minerali accessori in minima quantità (ossidi di ferro, glauconite, tormalina, granati); sono praticamente sterili se si escludono frammenti di resti organici rimaneggiati. Dotate solitamente di altissima resistenza meccanica presentano un colore alla rottura da grigio a grigio scuro, mentre i processi di alterazione conferiscono loro una pigmentazione ocrea. Le superfici di discontinuità sono rappresentate da fratture molto spesso riempite da calcite bianca.

Le marne, dalla composizione mineralogica praticamente simile, fatta eccezione per una maggiore percentuale dei carbonati a spese degli altri componenti, non risultano anch'esse ricche in resti organici, fra i quali predominano comunque i foraminiferi planctonici. Sono sovente fogliettate, abbastanza fragili: la roccia sana ha un colore da grigio ceruleo a grigio cupo e assume un colore ocreo se alterata. Le superfici di discontinuità si presentano di durezza media e sono rappresentate da fratture secondo i piani di laminazione e secondo i piani ad essi ortogonali. Frequenti sono i riempimenti di calcite bianca. La massa rocciosa nel suo insieme è da considerarsi semimpermeabile, di buone caratteristiche fisico meccaniche anche se, date le caratteristiche petrografiche, fisiche, chimiche ed idrogenetiche può presentarsi con in volumi particolarmente tettonizzati (strette pieghe, piani di faglia, scivolamenti interstrati o pieghe-

faglie) e la buona caratterizzazione generale può anche scadere notevolmente. L'assetto strutturale è abbastanza complesso, anche se la sua complessità deriva più dalla naturale plasticità di insieme della formazione flyschoidale che da linee tettoniche accertate. Seguendo le indicazioni dell'Onofri⁵, la definizione delle caratteristiche litostratigrafiche del Flysch può essere schematizzata in cinque tipi (definizione ad uso esclusivamente tecnico, prescindendo dal significato di nomenclatura stratigrafica), considerate le variazioni percentuali della marna rispetto all'arenaria, il periodo di stratificazione dei litotipi suddetti, la costanza dello spessore dei singoli pacchetti.

Suddivisione del litotipo Flyschoidale in *Tipi*




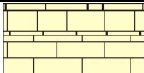

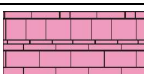

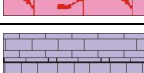

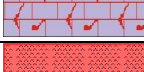
T1	Costituito prevalentemente da arenarie (in genere strati di spessore superiore ai 30 cm) con interstratificati pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. Stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante.
T2	Costituito prevalentemente da arenaria (strati generalmente di spessore inferiore ai 30 cm) con interstratificati rari pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. Stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante.
T3	Costituito da circa 50% di arenaria e 50% di marna (spessore degli strati di arenaria e dei pacchetti di lamine di marna variabile generalmente da circa 1 cm a circa 20 cm). Stratificazione distinta e spessore del singolo strato, o pacchetto, notevolmente costante.
T4	Costituito prevalentemente da marna i cui pacchetti possono avere uno spessore variabile da circa 10 cm a circa 50 cm; interstratificati rari strati di arenaria il cui spessore si aggira generalmente tra circa 1 cm e 20 cm. Stratificazione abbastanza distinta e spessore del singolo pacchetto, o strato, piuttosto costante.
T5	Costituito prevalentemente da arenarie a buona consistenza litoide, ma che hanno subito notevoli processi deformativi (spessore degli strati non superiore ai 10 cm circa). Stratificazione talora poco distinta e a spessore poco costante.

Come precedentemente argomentato l'area è contraddistinta dalla presenza del "Flysch di Trieste" in facies ad alternanze pelitico arenacee (alternanze di peliti e areniti con una percentuale di arenite variabile da 30 a 70%).

Quando la facies marnosa è prevalente, con presenza di marne in strati appilati o con limitate alternanze di arenarie di pochi centimetri di spessore, il grado di suddivisione è elevato, con distacco di volumi inferiori al decimetro cubo. Il grado di erodibilità è medio alto in funzione del tenore marnoso. La permeabilità primaria è nulla mentre quella secondaria risulta molto bassa per fratturazione e tende comunque a ridursi nel tempo. Nel complesso la facies presenta caratteristiche geotecniche scadenti, variabili localmente; la degradazione determina una frazione scagliosa con comportamento di materiale granulare con basso angolo d'attrito (<20°). La porzione superficiale di suolo è costituita da limo argilloso con sabbia fine e porzioni arenacee inalterate, relativamente poroso e permeabile se non modificato artificialmente.

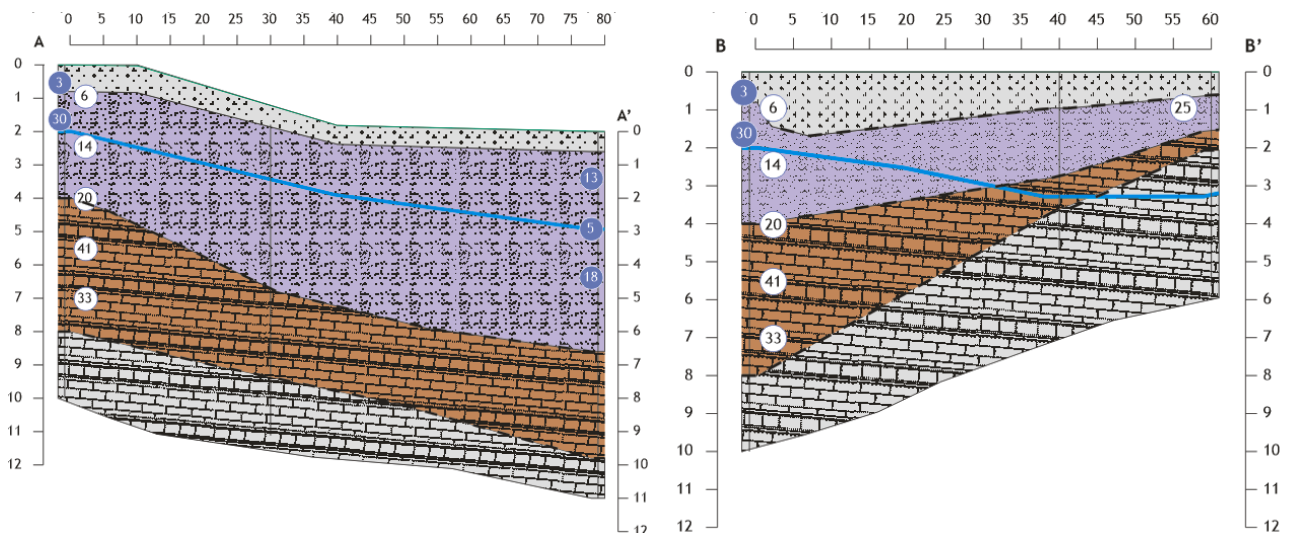
⁵ Roberto Onofri Caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche del Flysch nella Provincia di Trieste; Istituto di Geologia e paleontologia dell'Università di Trieste, 1982.

Quando la facies è prevalentemente marnoso - arenacea, con alternanze di marne e arenarie in percentuale pressoché identica, con periodi di strato compresi tra 10 e 30 cm, il grado di suddivisione dell'ammasso roccioso è mediamente elevato con volumi rocciosi unitari attorno al decimetro cubo per la frazione arenacea. Presenta caratteri di permeabilità e qualità geotecniche intermedie rispetto ai litotipi precedenti in funzione della variabilità locale delle percentuali delle frazioni componenti la porzione superficiale di suolo è costituita da limo argilloso sabbioso e porzioni inalterate arenacee, sciolto, con media capacità di ritenzione idrica. L'insieme dei fattori fisici, chimici e talora organici, alterano e disgregano la massa rocciosa in ambiente superficiale. Al fine di modellizzare tali fenomenologie, i terreni sono stati suddivisi in "complessi" omogenei caratterizzati da affinità litologiche e parametrizzazione geotecnica ricadente entro ben definiti limiti. Il rapporto di tale azioni rispetto l'integrità del litotipo è schematizzato dal raggruppamento dei suoli nei differenti complessi di seguito riportati la cui definizione è ad uso esclusivamente tecnico, prescindendo dal significato di nomenclatura stratigrafica. L'identificazione fa riferimento alla classificazione adottata dal prof. Onofri (*"Caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche del Flysch nella Provincia di Trieste"*, Studi Trentini, Acta Vol. - vol. 19 - Trento 1982) e modificata dallo scrivente al fine di ottenere una descrizione più dettagliata dei termini flyschoidi. Nell'ambito caratterizzato dalla formazione flyschoidi possono, ai soli fini di una modellizzazione geotecnica, essere individuati i seguenti "complessi":

C1		Top Soil - Terreno vegetale, riporti.
C2.1		Materiali provenienti dalla completa alterazione del Flysch, talora trasportati e risedimentati.
C2.2		Cappellaccio di alterazione del Flysch in situ.
C3-T2.a		Flysch in facies arenacea.
C3.-T2.b		Flysch in facies arenacea tettonizzata .
C3-T3.a		Flysch in facies arenacea e marnosa al 50% circa.
C3.-T3.b		Flysch in facies arenacea e marnosa al 50% circa tettonizzata.
C3-T4.a		Flysch in facies marnosa.
C3-T4.b		Flysch in facies marnosa tettonizzata.
C4		Materiale di faglia (milonisi).

Da quanto emerso dai rilievi condotti nell'area di indagine risulta presente uno strato di ricoprimento riconducibile a riporti di varia natura e genere sotto il quale sono individuabili depositi riferibili al complesso C2 mentre il substrato roccioso è riferibile al *Tipo T3.b*, costituito da alternanze di marne ed arenarie di colore blu in facies arenacea e marnosa. Il materiale ha subito stress tettonico e si presenta fratturato, scaglioso con le marne fogliettate e sensibili alla dissoluzione in presenza d'acqua.

La stratigrafia è quindi rappresentata in superficie da un primo livello costituito da terreni di riporto, eterogenei e con scadenti caratteristiche meccaniche, seguito da un secondo strato consistente di depositi di potenza variabile, granulometricamente assortiti e con la frazione fina sensibile all'acqua e ad elevato comportamento plastico; segue un terzo strato, costituito da alternanze stratificate di marne ed arenarie fratturate e de-cementate giacente sulla formazione flyschoidale marnoso arenacea.



Sezioni stratigrafiche non in scala

Di seguito si riassume a titolo indicativo i parametri ritenuti rappresentativi dei terreni indagati:

COMPLESSO C2 C2.1

Terreni derivanti dalla completa alterazione della formazione marnoso - arenacea.

Principalmente limi argillosi e sabbiosi con frammenti litoidi da subangolosi ad angolosi di arenaria. Materiale ora coesivo, per la maggior presenza in origine delle marne, ora incoerente di colore marrone. La struttura originaria della roccia non è riconoscibile, il materiale talora ha subito un breve trasporto con risedimentazione.

Parametri	Simbolo	Unità	Valore
Peso di volume	γ	kN/m ³	16 - 20
Angolo di attrito in termini di tensioni efficaci	φ'	°	17 - 23
Coesione drenata	c'	kN/m ²	0 - 22
Modulo di Young a compressione	E_c	MN/m ²	40 - 150
Coefficiente di spinta a riposo	K_o		1 - sin (φ)
Modulo di Poisson	ν		0,40

C2.2

Alternanze di marne ed arenarie di colore marrone. Il materiale è alterato, degradato, fratturato e decementato, è però ben distinguibile l'originaria struttura della roccia con evidenti intercalazioni di strati di potenza centimetrica tettonizzati.

Parametri	Simbolo	Unità	Valore
Peso di volume	γ	kN/m ³	18 - 20
Angolo di attrito in termini di tensioni efficaci	φ'	°	20 - 25
Coesione drenata	c'	kN/m ²	20 - 50
Modulo di Young a compressione	E_c	MN/m ²	300
Coefficiente di spinta a riposo	K_o		1 - sin (φ)
Modulo di Poisson	ν		0,30

COMPLESSO C3

C3-T3.b

Flysch in facies marnoso arenacea. Il materiale ha subito stress tettonico e si presenta fratturato, scaglioso con le marne fogliettate e sensibili alla dissoluzione.

Parametri	Simbolo	Unità	Valore
Peso di volume	γ	kN/m ³	21
Angolo di attrito in termini di tensioni efficaci	φ'	°	15 - 20
Coesione drenata	c'	kN/m ²	50 - 100
Modulo di Young a compressione	E_c	MN/m ²	250 - 500
Coefficiente di spinta a riposo	K_o		1 - sin (φ)
Modulo di Poisson	ν		0,25

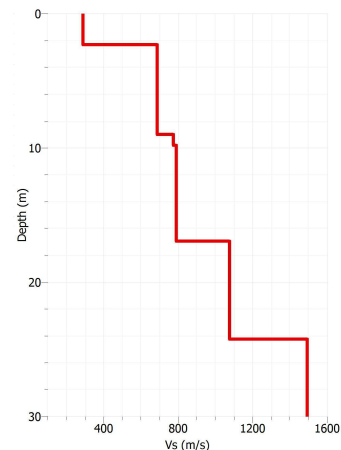
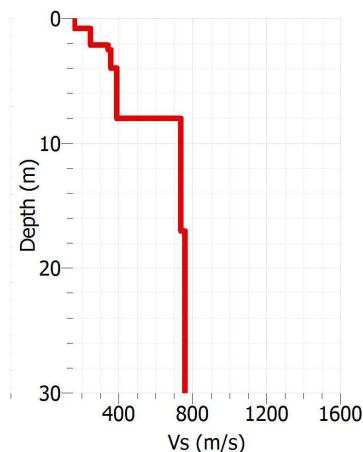
6.1. Categoria di sottosuolo

Ai fini della identificazione della **categoria di sottosuolo ai sensi del capitolo 3.2.2 delle Norme NTC - D.M. 14/01/2008**, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Facendo riferimento ad un approccio semplificato, può essere adottata quale categoria di sottosuolo di riferimento la **categoria A**, laddove il substrato litoide è inferiore a 3 metri, rispetto ai riferimenti sopra enunciati, mentre essa dovrà essere **B** quando l'interfaccia risulta superiore.

Estratto NTC 2008 capitolo 3.2.2
Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche:

“Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità”.



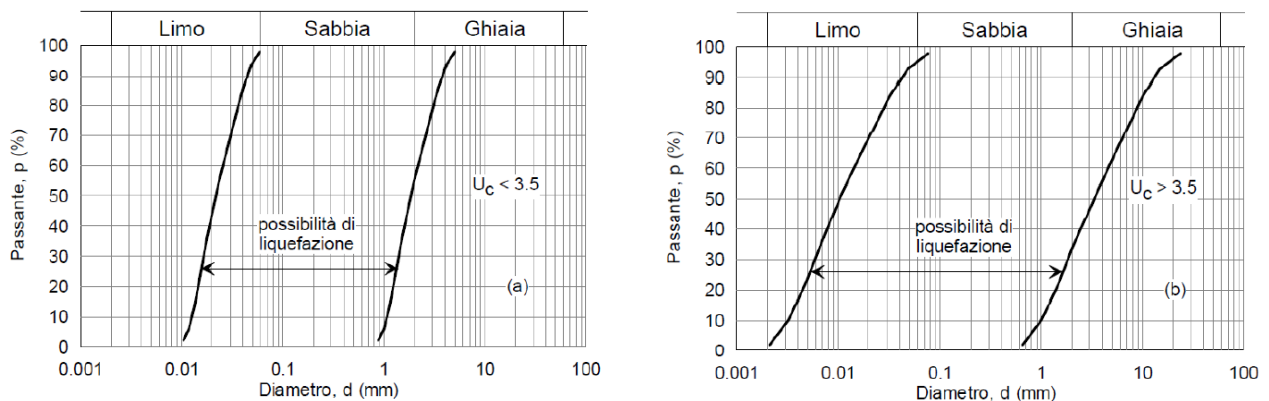
6.2. Valutazione della suscettibilità alla liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



La condizione al punto 5 risulta soddisfatta, poiché dall'analisi delle stratigrafie, delle cassette catalogatrici e delle prove geotecniche eseguite, si evidenzia palesemente l'assenza di depositi sopra rappresentati. Pertanto NON è necessario procedere alla relativa verifica.

Ciò nonostante si è proceduto con il software LiqIT 4.7 all'elaborazione dei dati derivanti dalle prove penetrometriche dinamiche eseguite con maglio SPT e PDM.

Nella successiva pagina se ne rappresentano i risultati.

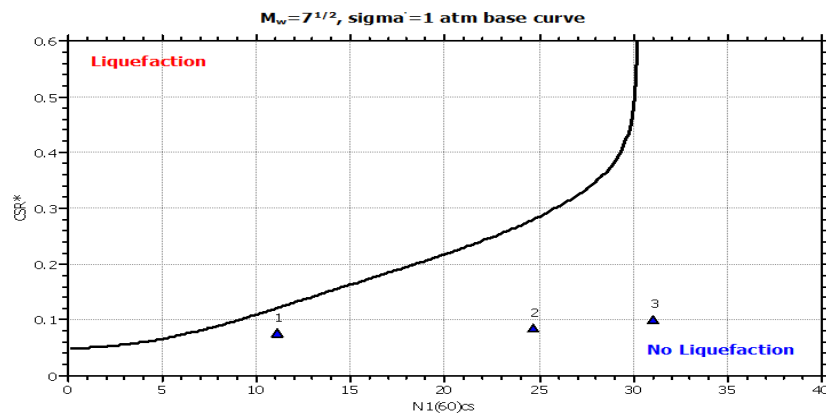
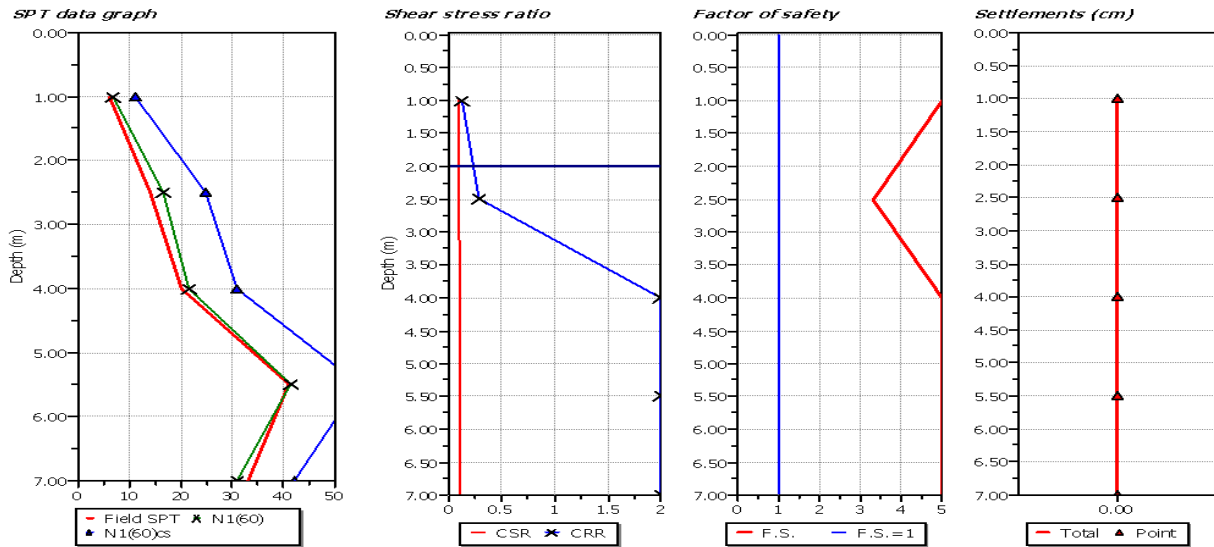
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title :

Project subtitle :

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	2.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	6.50
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground acceleration:	0.17 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00



Dall'elaborazione effettuata SONO STATI ESCLUSI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE.

6.3. Amplificazione della sollecitazione sismica

Le misure di microtremore hanno consentito l'acquisizione di dati qualitativi e quantitativi in grado di permettere delle valutazioni riguardanti possibili fenomeni di amplificazione della sollecitazione sismica, oltre alla definizione della frequenza fondamentale di vibrazione dei depositi indagati. Le misure geofisiche condotte hanno evidenziato un'amplificazione che interessa diverse frequenze, il cui picco di risonanza è compreso tra 6 Hz e 12 Hz, come già compiutamente trattato al capitolo 5.3.

6.4. Vincoli urbanistici

Relativamente alla **Carta della zonizzazione geologico - tecnica** (edita nel giugno 2013), sintesi del documento di pianificazione urbanistica del Comune di Trieste ove è stato effettuato il confronto critico tra tutte le informazioni raccolte, da bibliografia, o



dalle cartografie tematiche del territorio esaminato, dal rilevamento in sito, con particolare riferimento alle linee di impluvio ed ai controlli di tutte le zone critiche, l'area in oggetto è inserita nella **classe ZG6**, contraddistinta dalla formazione marnoso arenacea in facies di Flysch e caratterizzata generalmente dalle seguenti problematiche geologiche:

- ✓ assetto giaciturale irregolare;
- ✓ elevata variabilità delle caratteristiche geomeccaniche sia per anisotropia (lungo strato e trasverso strato) che per grado di fratturazione, detensionamento ed alterazione;
- ✓ presenza di percolazioni di acqua di interstrato anche in pressione;
- ✓ possibile presenza di piccole cave talora ritombate e mascherate al di fuori delle aree estrattive storicamente note;
- ✓ potenziali instabilità superficiali puntuali.

Per quanto attiene al **Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di interesse regionale**, la Tavola 04 edita dal Comune di Trieste ed aggiornata ad ottobre 2014 non riporta alcuna pericolosità né alcun elemento di rischio. Ciò nonostante, si prescrive la necessità di definire una procedura che validi il dimensionamento idraulico della galleria in relazione al bacino idrogeologico sotteso e che individui i referenti incaricati alla manutenzione (sia a monte che a valle dell'area indagata al fine di impedire pericolose occlusioni), affinché si garantisca la continua stabilità dell'area di progetto.

Gorizia, 24 agosto 2015.








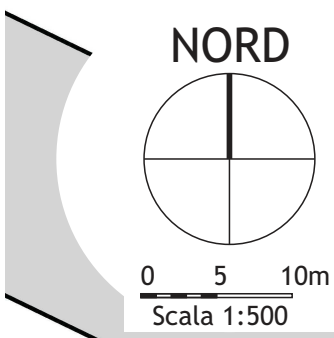
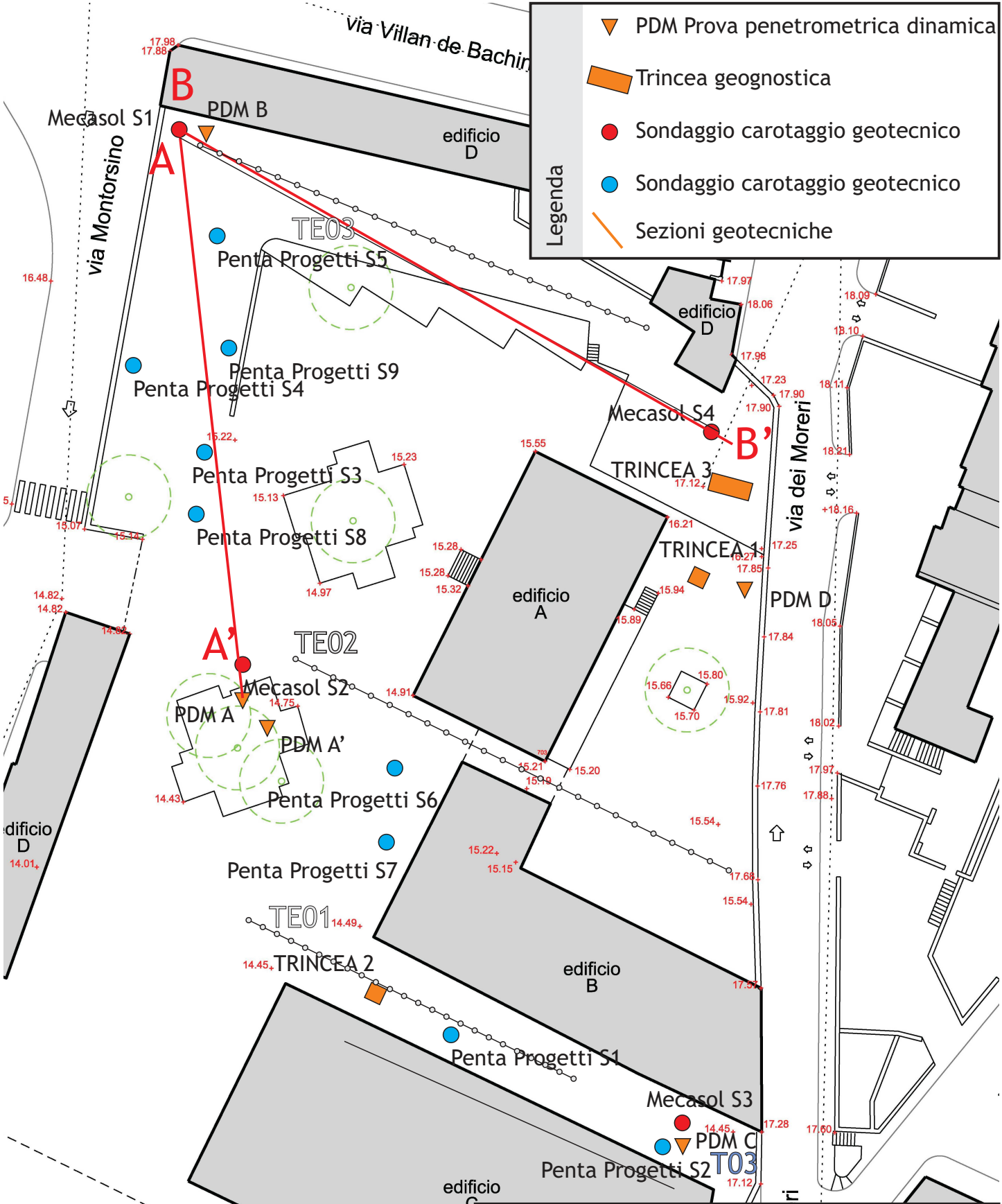
REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA
PROVINCIA DI TRIESTE
COMUNE DI TRIESTE

**Riconversione ex Comprensorio
Industriale Stock UMI 4 e 5.
Riqualificazione sede della Polstrada
in cessione al Comune**

ALLEGATI

Legenda

-  PDM Prova penetrometrica dinamica
-  Trincea geognostica
-  Sondaggio carotaggio geotecnico
-  Sondaggio carotaggio geotecnico
-  Sezioni geotecniche

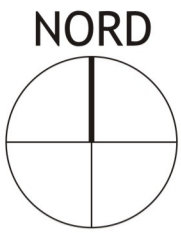


studiodavini.eu

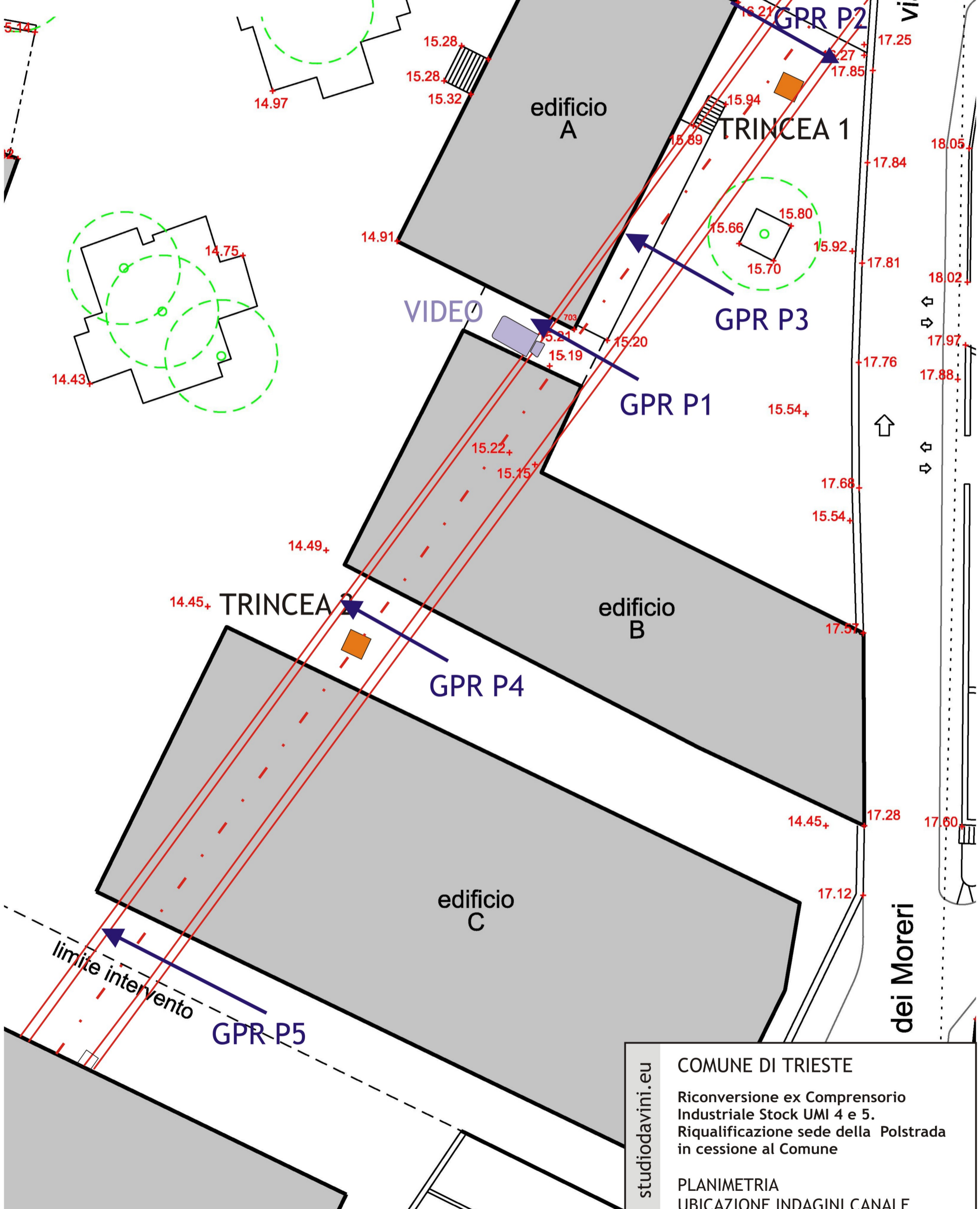
COMUNE DI TRIESTE

Riconversione ex Comprensorio Industriale Stock UMI 4 e 5
Riqualificazione sede della Polstrada in cessione al Comune

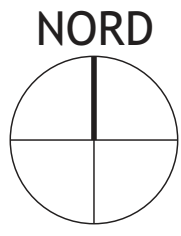
PLANIMETRIA
UBICAZIONE INDAGINI GEOTECNICHE



0 5 10m
Scala 1:250



studiodavini.eu
COMUNE DI TRIESTE
Riconversione ex Comprensorio Industriale Stock UMI 4 e 5. Riquilificazione sede della Polstrada in cessione al Comune
PLANIMETRIA
UBICAZIONE INDAGINI CANALE



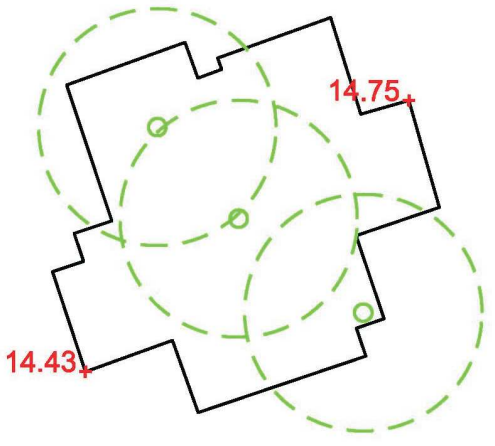
0 5 10m
Scala 1:250

TRINCEA 3
Quota p.c. +17.10 m
Quota estradosso galleria +16.00 m

TRINCEA 1
Quota p.c. +16.15 m
Quota estradosso galleria +15.70 m

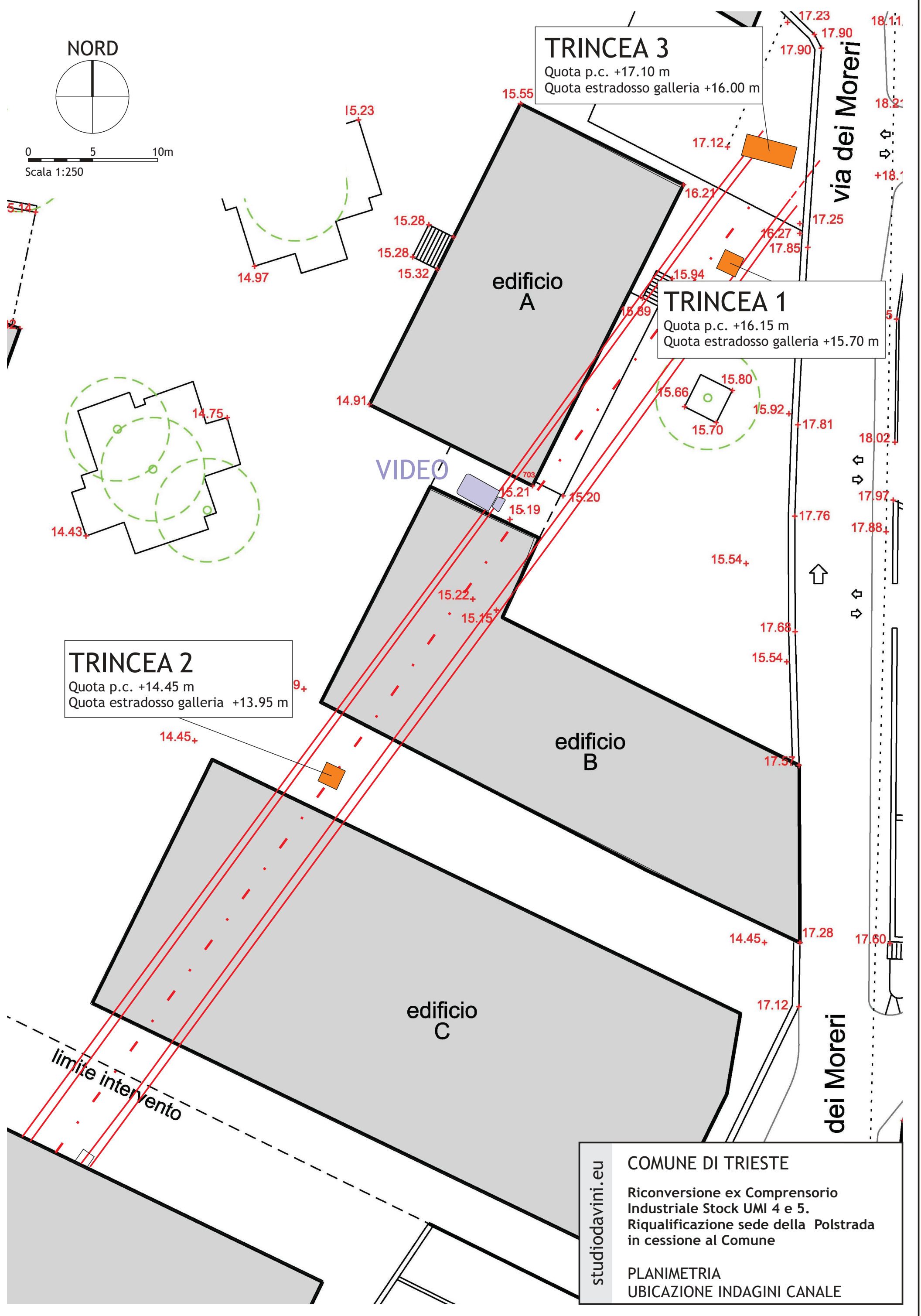
TRINCEA 2
Quota p.c. +14.45 m
Quota estradosso galleria +13.95 m

VIDEO

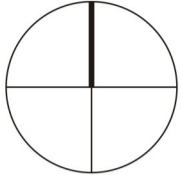


limite intervento

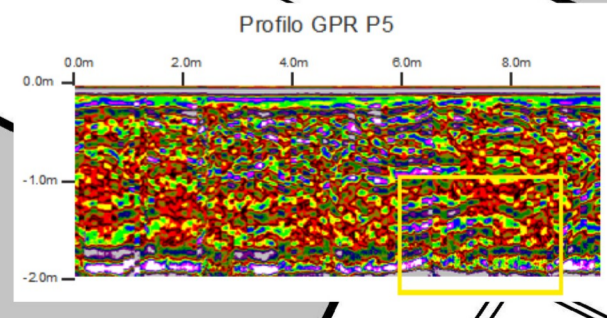
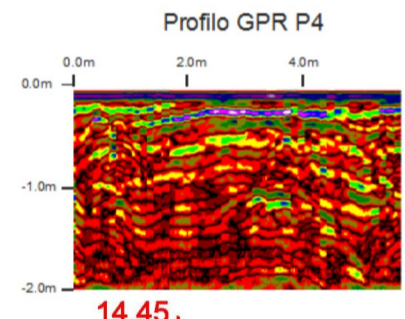
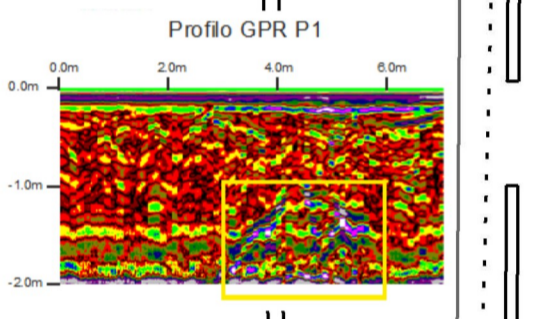
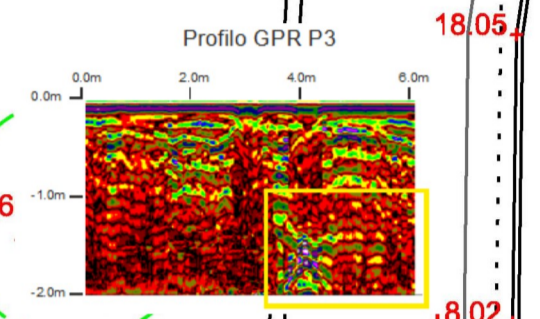
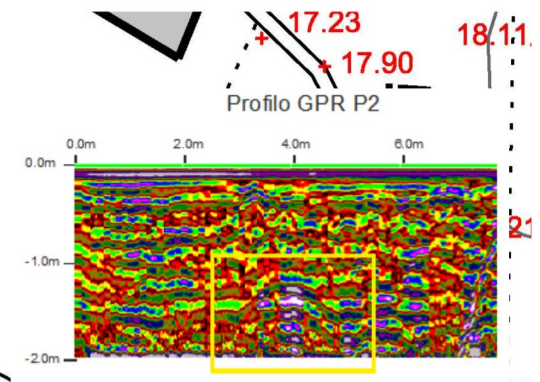
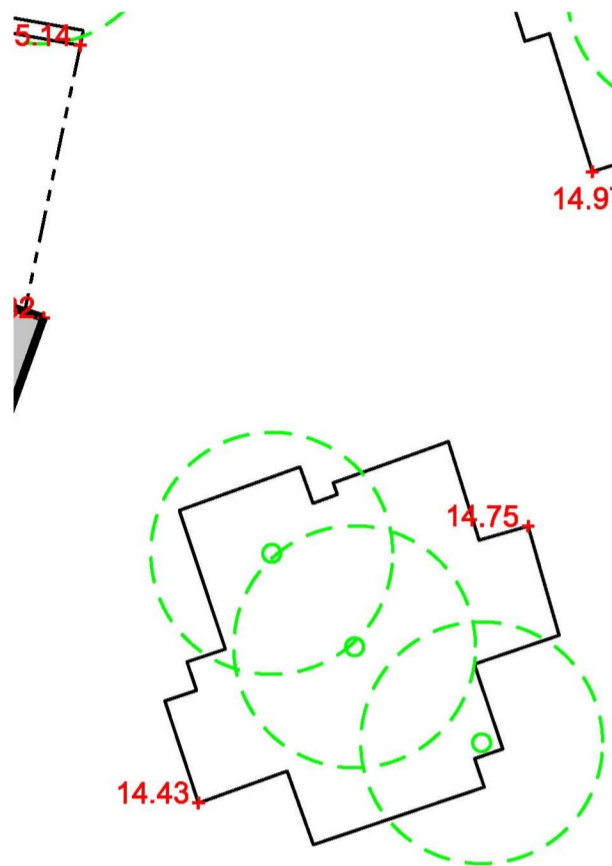
studiodavini.eu
COMUNE DI TRIESTE
Riconversione ex Comprensorio Industriale Stock UMI 4 e 5. Riquilificazione sede della Polstrada in cessione al Comune
PLANIMETRIA
UBICAZIONE INDAGINI CANALE



NORD



0 5 10m
Scala 1:250



edificio A

edificio B

edificio C

GPR P2

GPR P3

GPR P1

GPR P4

GPR P5

via

dei Moreni

limite intervento

studiodavini.eu

COMUNE DI TRIESTE

Riconversione ex Comprensorio Industriale Stock UMI 4 e 5. Riquilificazione sede della Polstrada in cessione al Comune

PLANIMETRIA
UBICAZIONE INDAGINI GPR

dott. geol. stefano davini
geologia tecnica e ingegneria ambientale
www.studiodavini.eu

COMMITTENTE: Comune di Trieste
PROGETTO: Riconversione ex Comprensorio Industriale
Stock UMI 4 e 5. Riqualificazione sede della Polstrada
LOCALITA': Roiano - Trieste

Rilievo:

MASW01

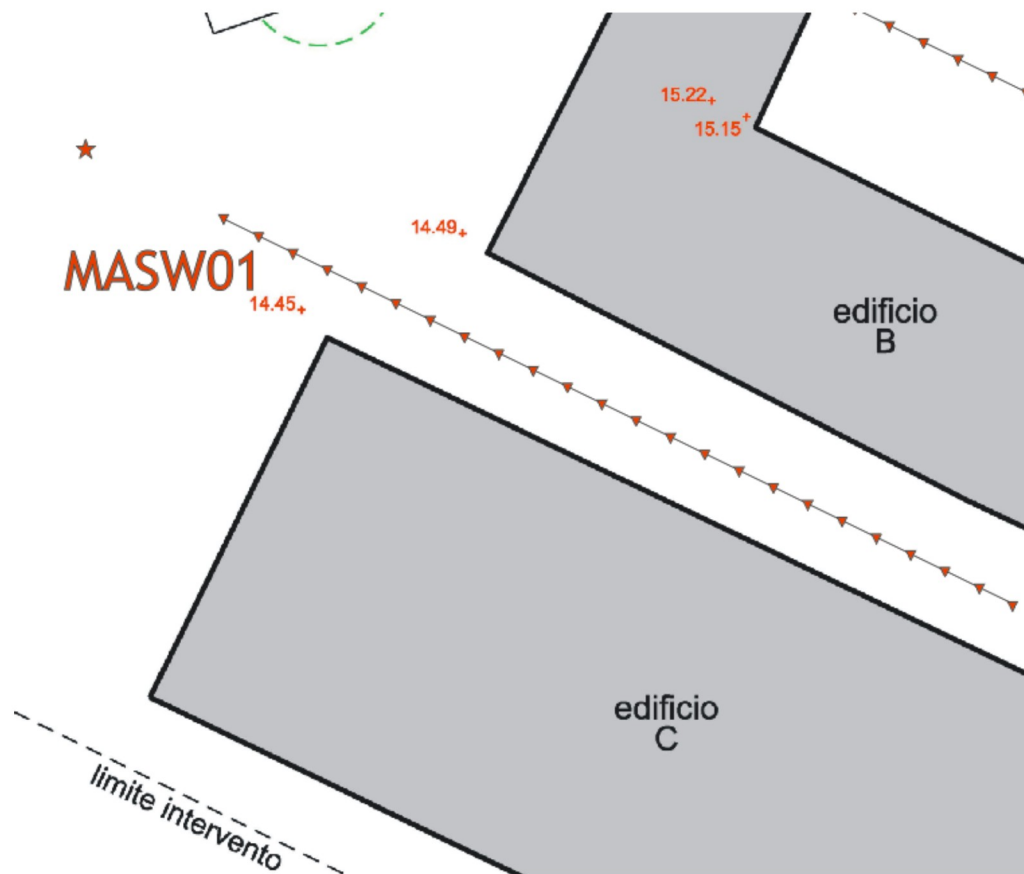
SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

SISMOGRAFO: DoReMi Multicanale

Numero geofoni: **24** Spaziatura: **2.0m** Distanza energizzazione: **8.0m** Lunghezza profilo: **46.0 m**

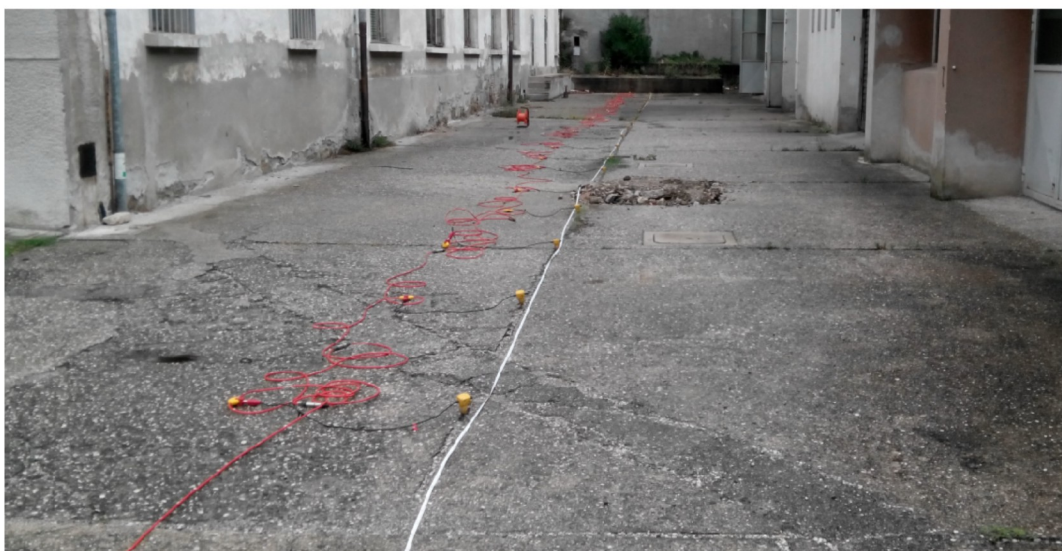
Note



Energizzazione effettuata con mazza da 10 kg su piattello di plexiglass.

Interfaccia in piastre di calcestruzzo.

Al termine della prova Masw è stata eseguita un'indagine sismica di tipo ReMi (Refraction Microtremor) denominata ReMi01.



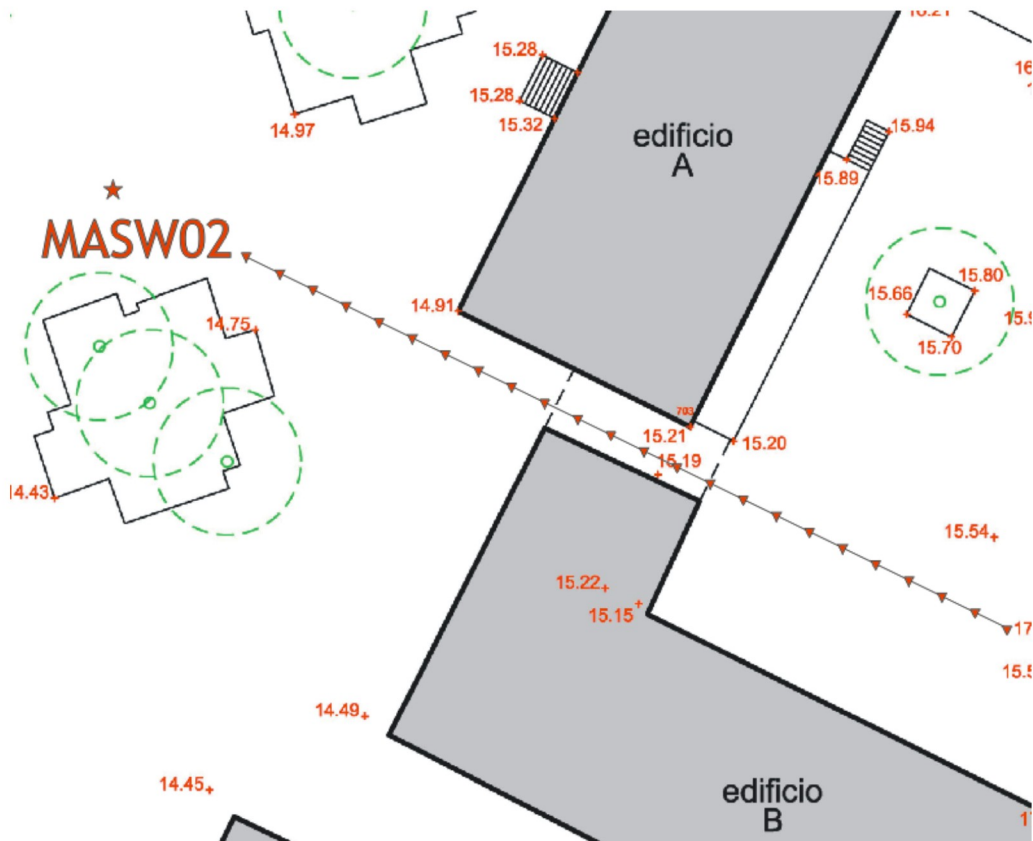
SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

SISMOGRAFO: DoReMi Multicanale

Numero geofoni: **24** Spaziatura: **2.0m** Distanza energizzazione: **8.0m** Lunghezza profilo: **46.0 m**

Note



Energizzazione effettuata con mazza da 10 kg su piattello di plexiglass.

Interfaccia in piastre di calcestruzzo.

Al termine della prova Masw è stata eseguita un'indagine sismica di tipo ReMi (Refraction Microtremor) denominata ReMi02.



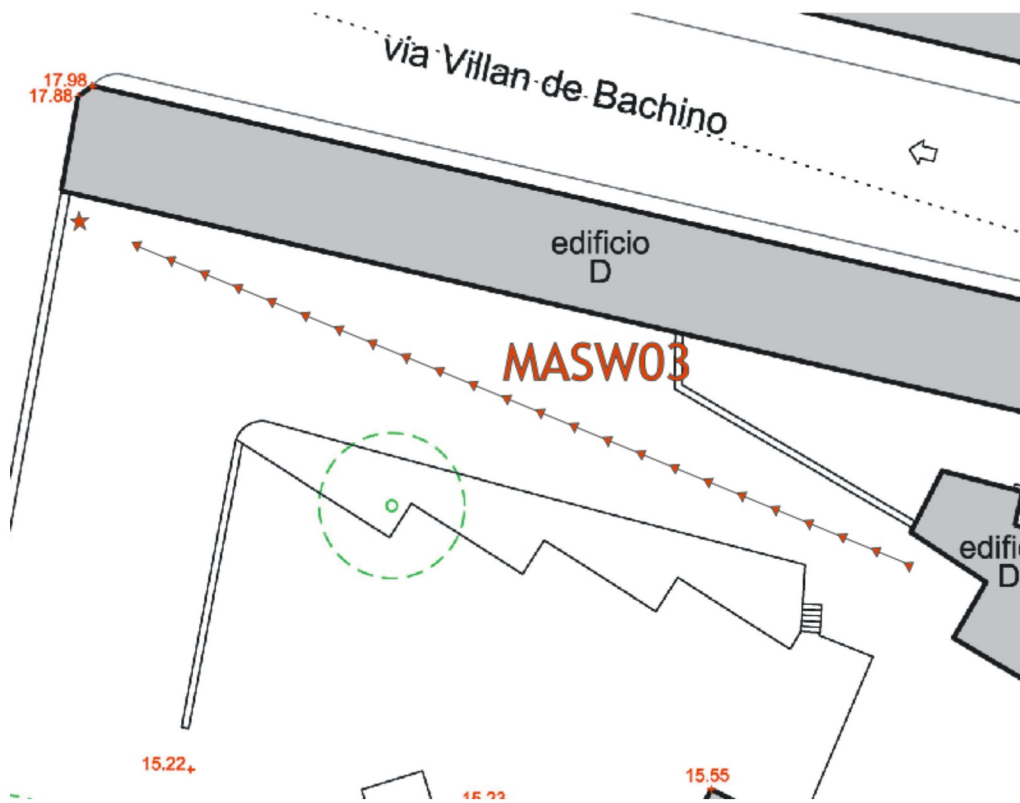
SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

SISMOGRAFO: DoReMi Multicanale

Numero geofoni: **24** Spaziatura: **2.0m** Distanza energizzazione: **4.0m** Lunghezza profilo: **46.0 m**

Note



Energizzazione effettuata con mazza da 10 kg su piattello di plexiglass.

Interfaccia in piastre di calcestruzzo.

Al termine della prova Masw è stata eseguita un'indagine sismica di tipo ReMi (Refraction Microtremor) denominata ReMi03.



dott. geol. stefano davini
geologia tecnica e ingegneria ambientale
www.studiodavini.eu

COMMITTENTE: Comune di Trieste
PROGETTO: Riconversione ex Comprensorio Industriale
Stock UMI 4 e 5. Riqualificazione sede della Polstrada
LOCALITA': Roiano - Trieste

Rilievo tomografico elettrico:

TE01

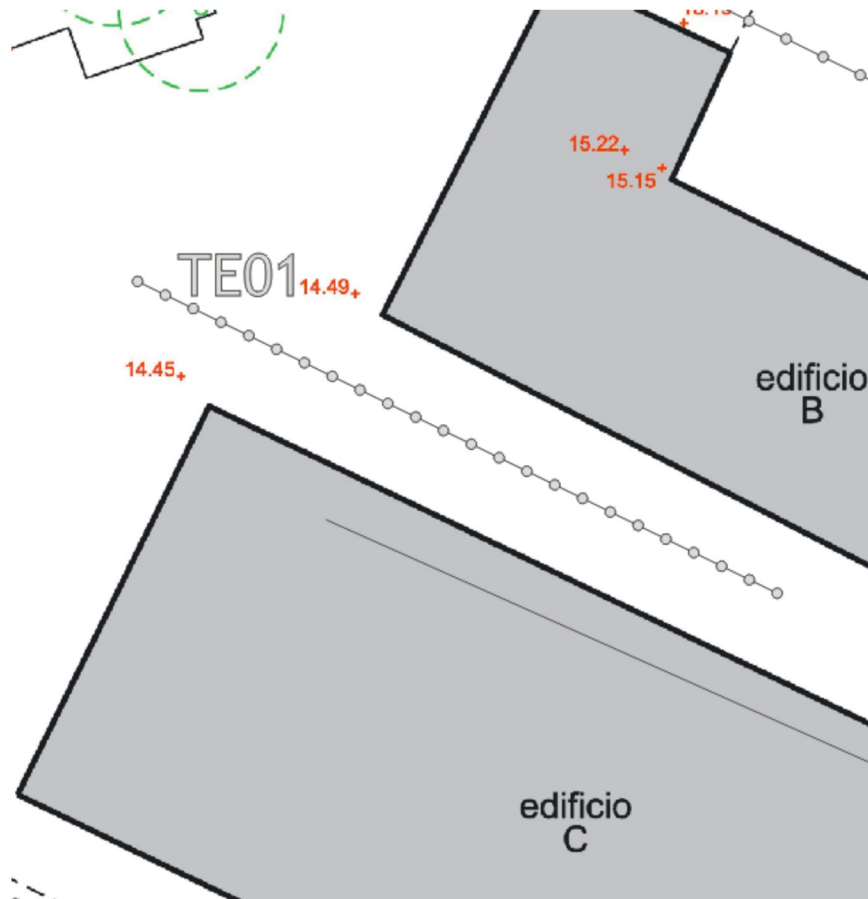
SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

RESISTIVIMETRO: 4point light hp Lippmann

Stendimento 24 elettrodi Spaziatura 1.5 metri Sviluppo 34.5 metri

Note



Configurazione
elettrodica tipo
Wenner
Schlumberger



dott. geol. stefano davini
geologia tecnica e ingegneria ambientale
www.studiodavini.eu

COMMITTENTE: Comune di Trieste
PROGETTO: Riconversione ex Comprensorio Industriale
Stock UMI 4 e 5. Riquilificazione sede della Polstrada
LOCALITA': Roiano - Trieste

Rilievo tomografico elettrico:

TE02

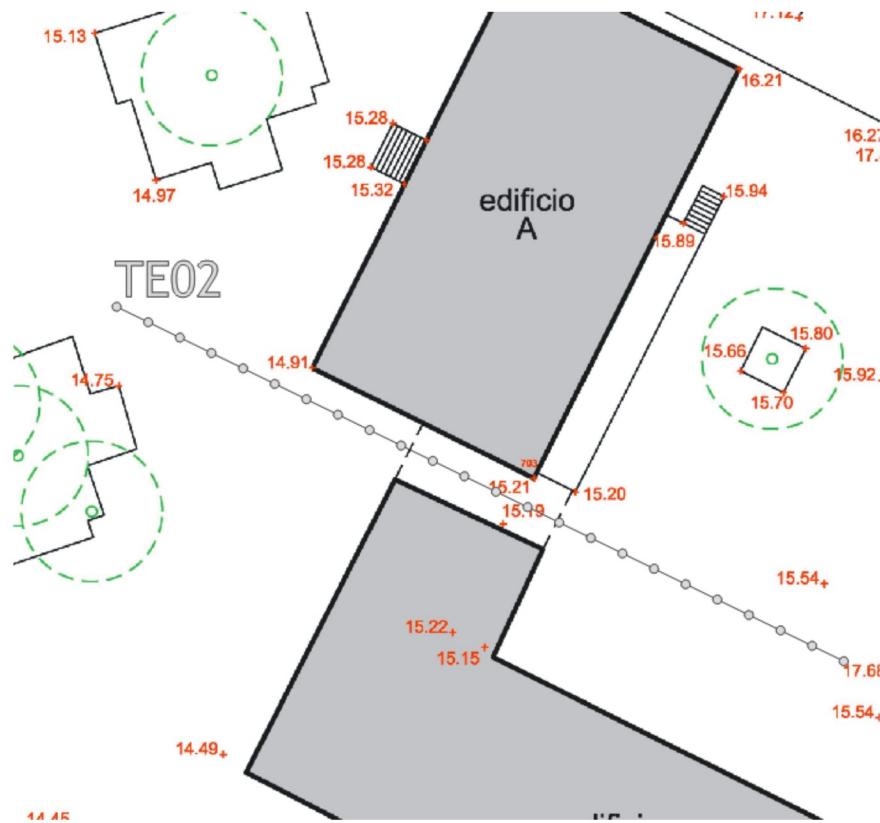
SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

RESISTIVIMETRO: 4point light hp Lippmann

Stendimento **24** elettrodi Spaziatura **2.0 metri** Sviluppo **46.0 metri**

Note



Configurazione
elettrodica tipo
Wenner
Schlumberger



dott. geol. stefano davini
geologia tecnica e ingegneria ambientale
www.studiodavini.eu

COMMITTENTE: Comune di Trieste
PROGETTO: Riconversione ex Comprensorio Industriale
Stock UMI 4 e 5. Riquilificazione sede della Polstrada
LOCALITA': Roiano - Trieste

Rilievo tomografico elettrico:

TE03

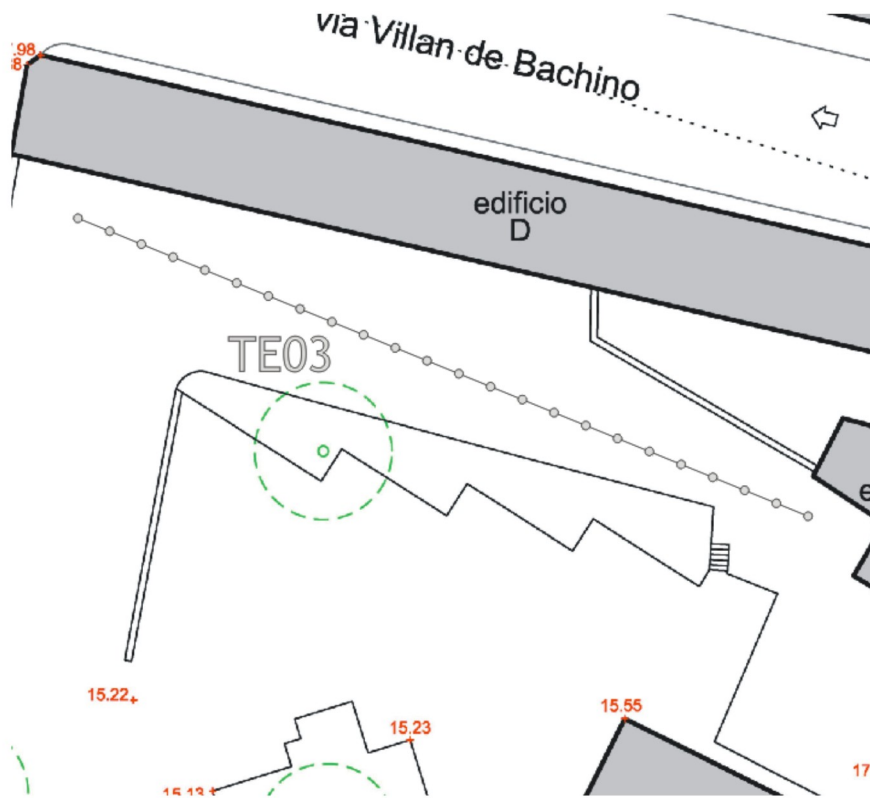
SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

RESISTIVIMETRO: 4point light hp Lippmann

Stendimento **24** elettrodi Spaziatura **2.0 metri** Sviluppo **46.0 metri**

Note



Configurazione
elettrodica tipo
Wenner
Schlumberger



SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

SONDATORE: Sig. Chris GREGORI

ESCAVATORE: YANMAR VIO33

Data	Tipo e dimensioni scavo	Prof. relativa m	Prof. assoluta m	Legenda	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni				Livello falda	Piezometro	Permeabilità	Note
						Disturbati	Indisturbati	Pocket Penetrometer Kg/cm ²	Vane Test Kg/cm ²				

agosto 2015	0.10	0.10		Soletta calcestruzzo non armato									
	0.20	0.20		Massicciata stradale. Ghiaia sabbiosa addensata, color grigio chiaro. I clasti sono spigolosi. Asciutta.									
	0.45	0.45		Materiale di riporto Sabbia limosa, limo sabbioso, moderatamente addensata, color marrone.									
	0.50	0.50		Volta della galleria idraulica. Si riconoscono i conci di arenaria, le fughe risultano intasate con malta.									



SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

SONDATORE: Sig. Chris GREGORI

ESCAVATORE: YANMAR VIO33

Data	Tipo e dimensioni scavo	Prof. relativa m	Prof. assoluta m	Legenda	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni		Pocket Penetrometer Kg/cm ²	Vane Test Kg/cm ²	Livello falda	Piezometro	Permeabilità	Note
						Disturbati	Indisturbati						

agosto 2015	0.10	0.10	Soletta calcestruzzo non armato										
	0.20		Massicciata stradale. Ghiaia sabbiosa addensata, color grigio chiaro. I clasti sono spigolosi. Asciutta.										
	0.30	0.30	Materiale di riporto. Sabbia limosa, limo sabbioso, moderatamente addensata, color grigio scuro, umida.										
	0.50	0.50	Volta della galleria idraulica. Si riconoscono i conchi di arenaria, le fughe risultano intasate con malta.										
	0.60												
	0.70												
	0.80												
	0.90												
	1.00												



SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

SONDATORE: Sig. Chris GREGORI

ESCAVATORE: YANMAR VIO33

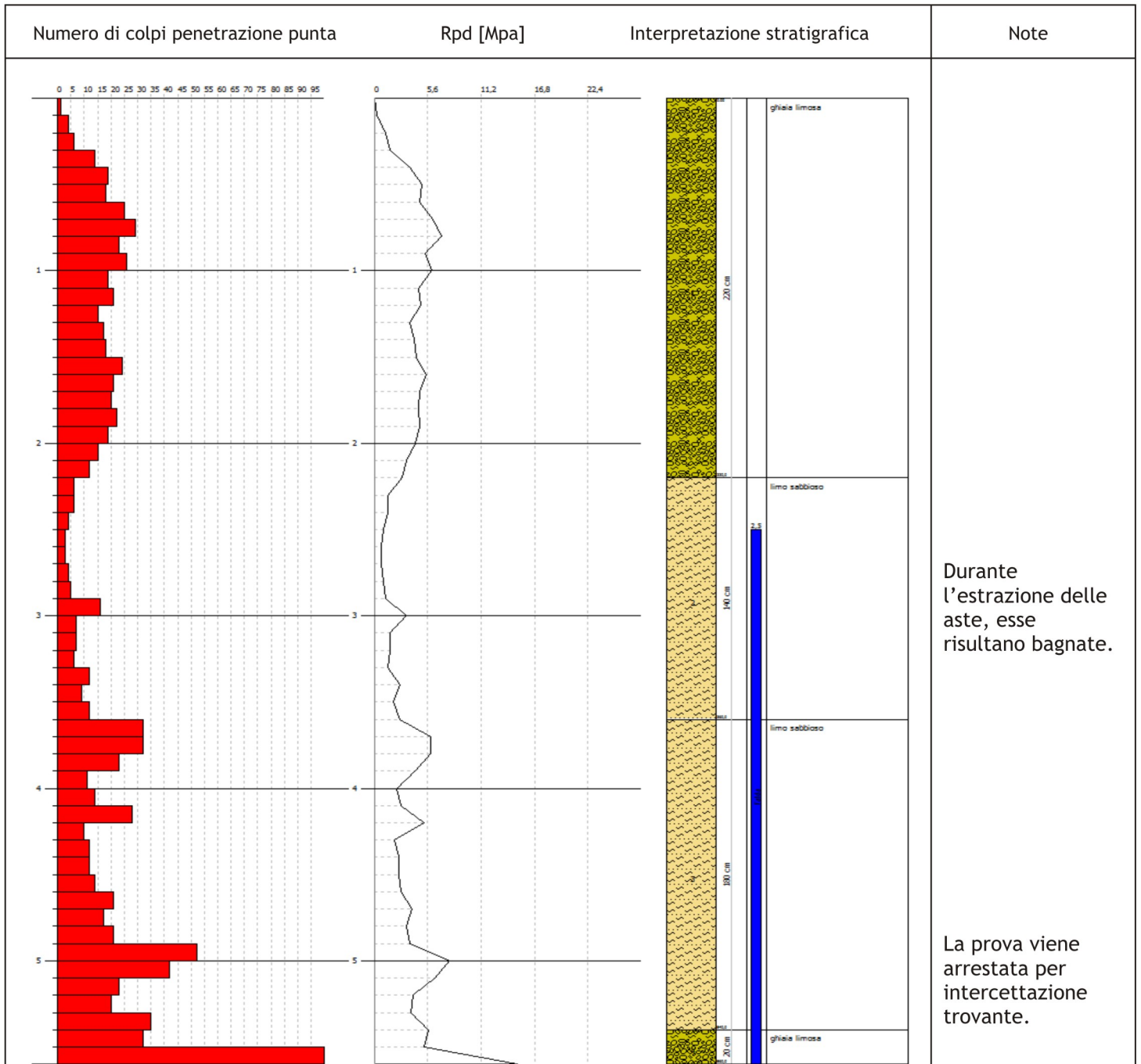
Data	Tipo e dimensioni scavo	Prof. relativa m	Prof. assoluta m	Legenda	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni		Pocket Penetrometer Kg/cm ²	Vane Test Kg/cm ²	Livello falda	Piezometro	Permeabilità	Note
						Disturbati	Indisturbati						



SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

PENETROMETRO: Penny DL 30



SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

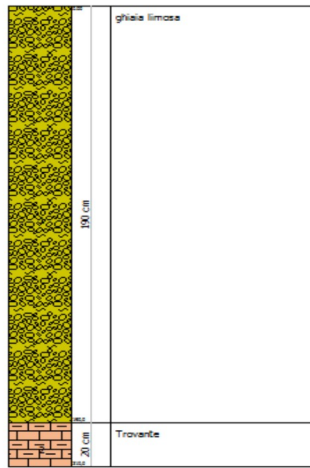
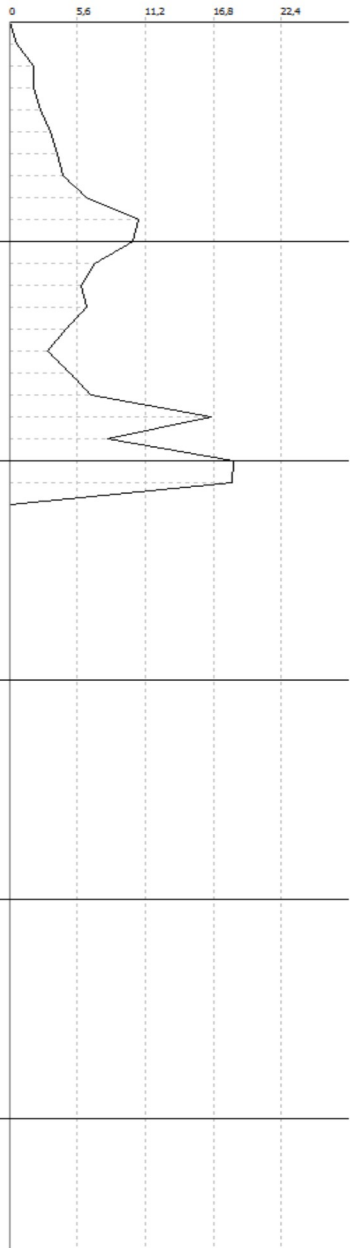
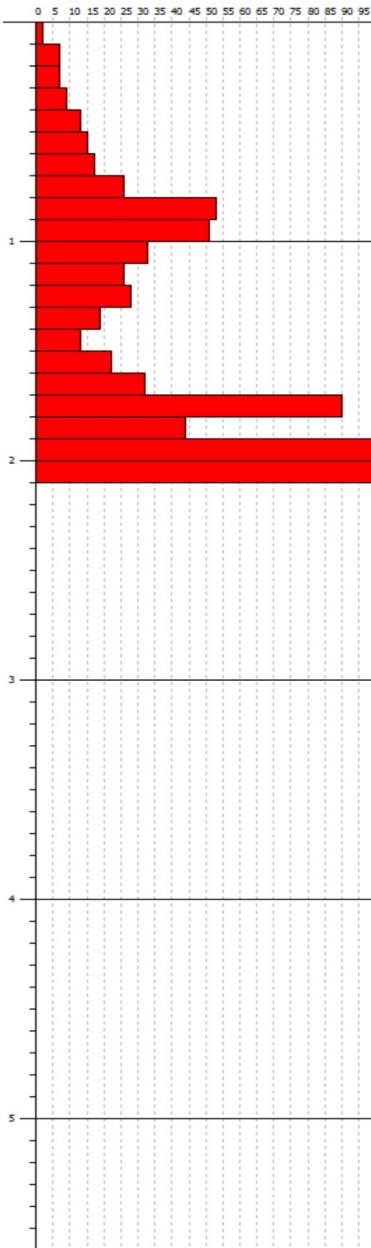
PENETROMETRO: Penny DL 30

Numero di colpi penetrazione punta

Rpd [Mpa]

Interpretazione stratigrafica

Note



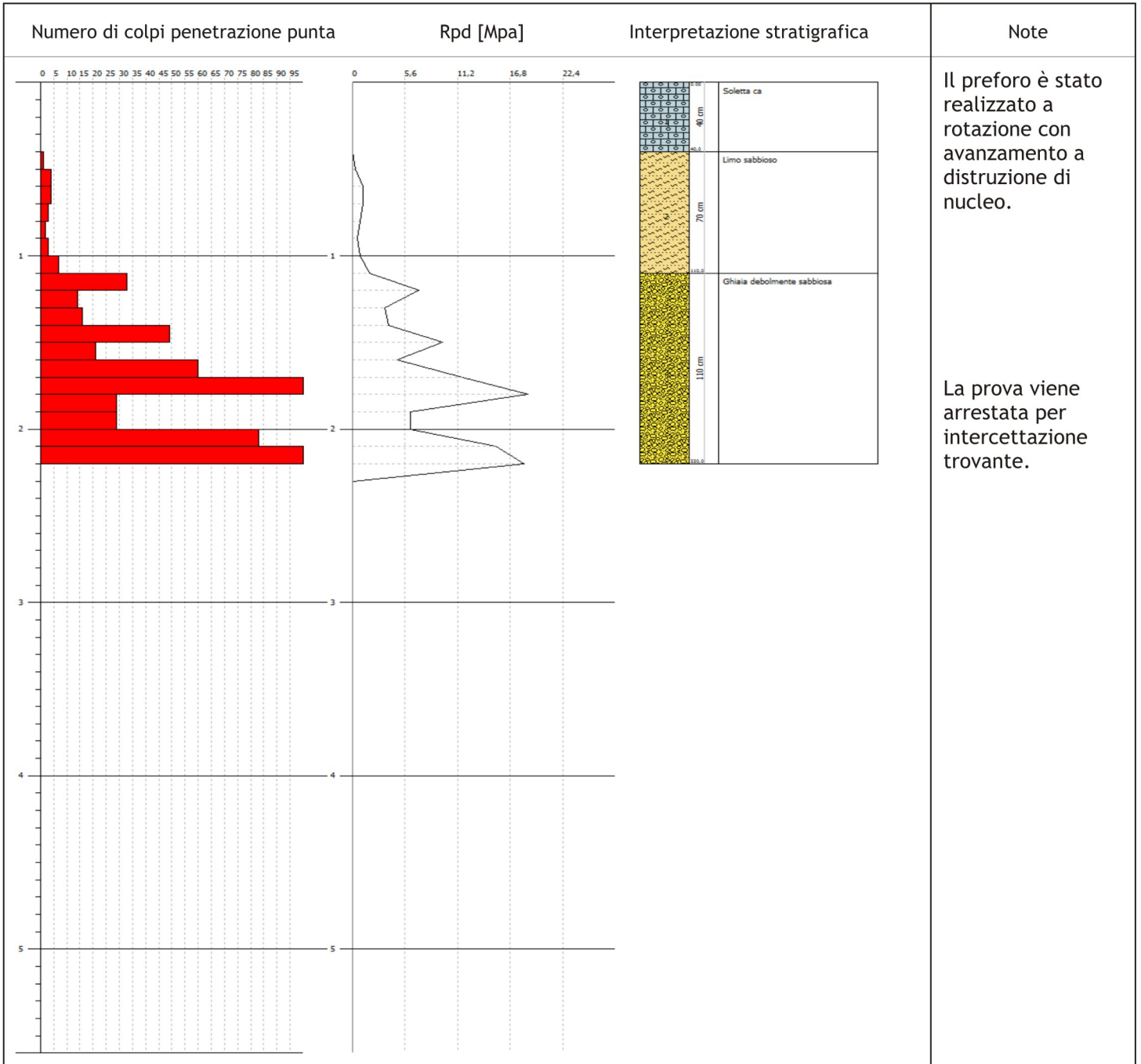
La prova viene arrestata per intercettazione trovante.



SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

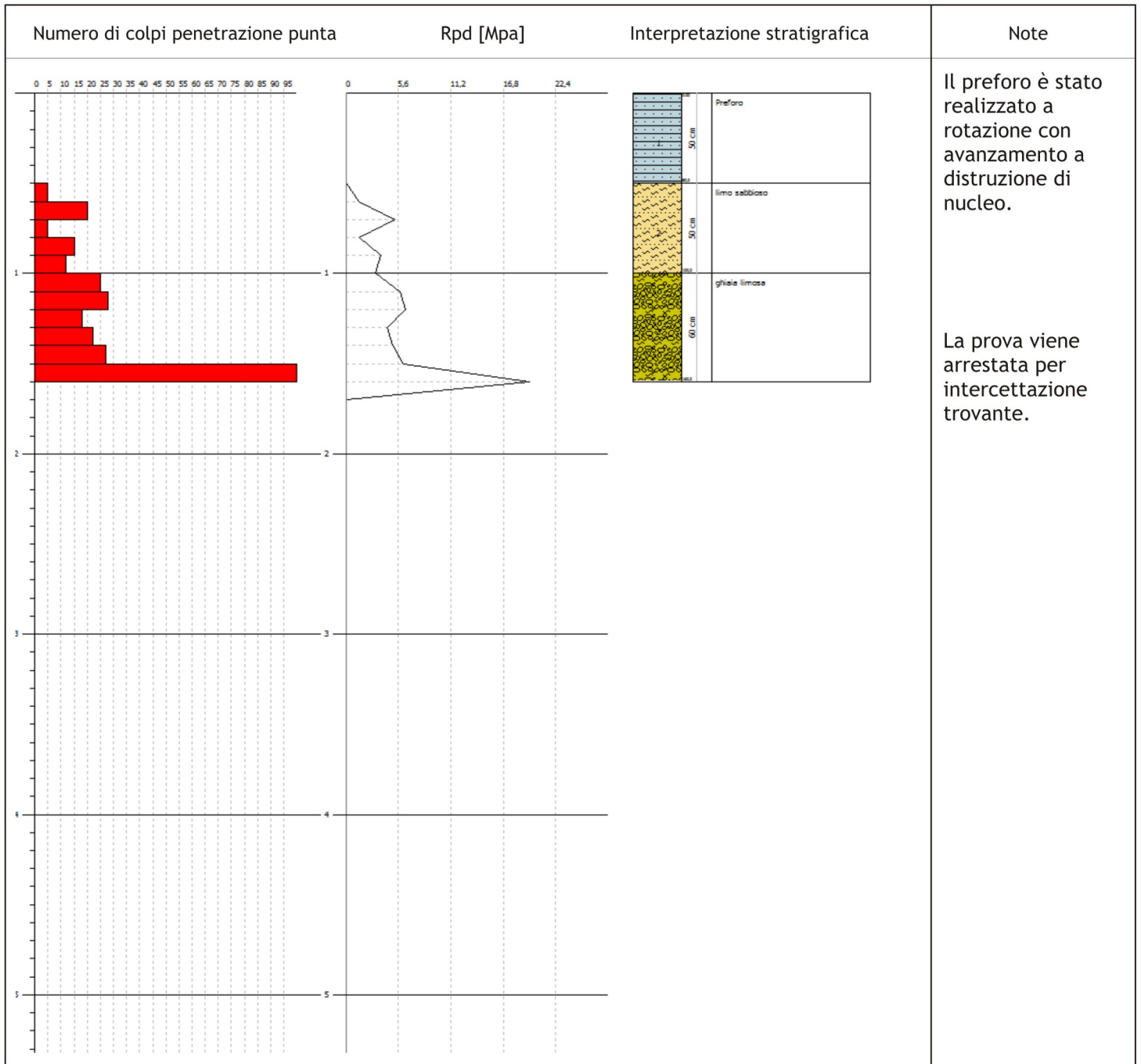
PENETROMETRO: Penny DL 30



SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

PENETROMETRO: Penny DL 30



SUPERVISORE: Geol. Stefano DAVINI

DATA: Agosto 2015

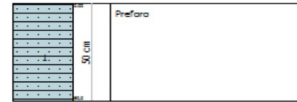
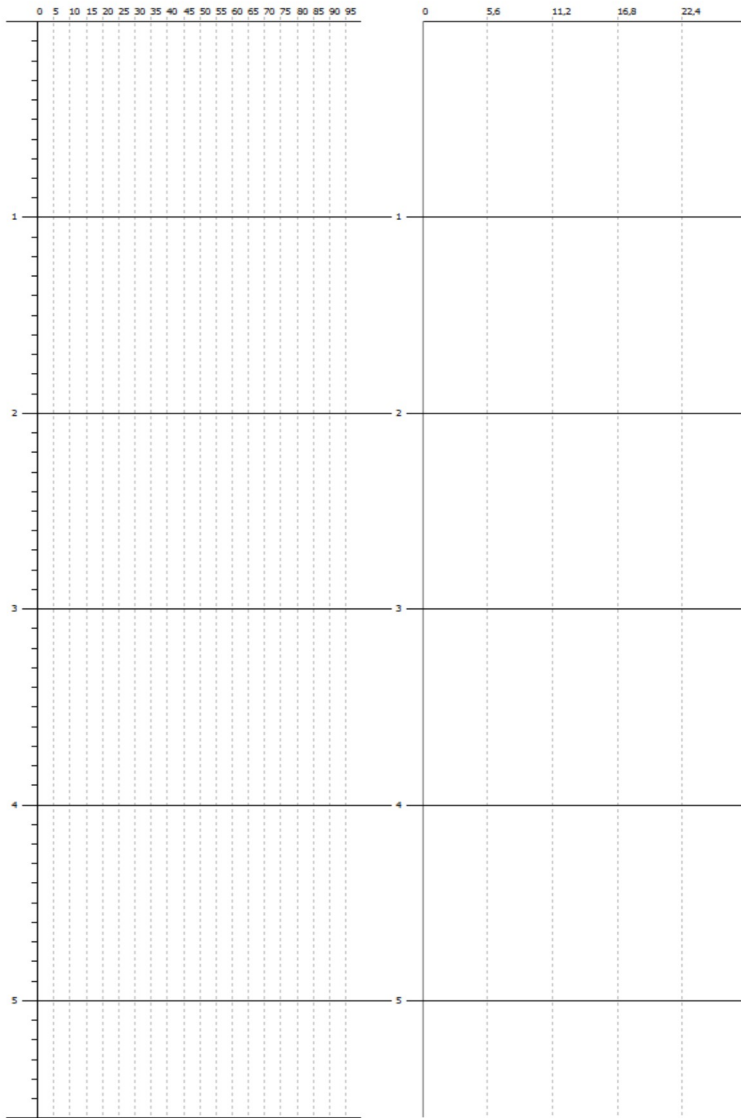
PENETROMETRO: Penny DL 30

Numero di colpi penetrazione punta

Rpd [Mpa]

Interpretazione stratigrafica

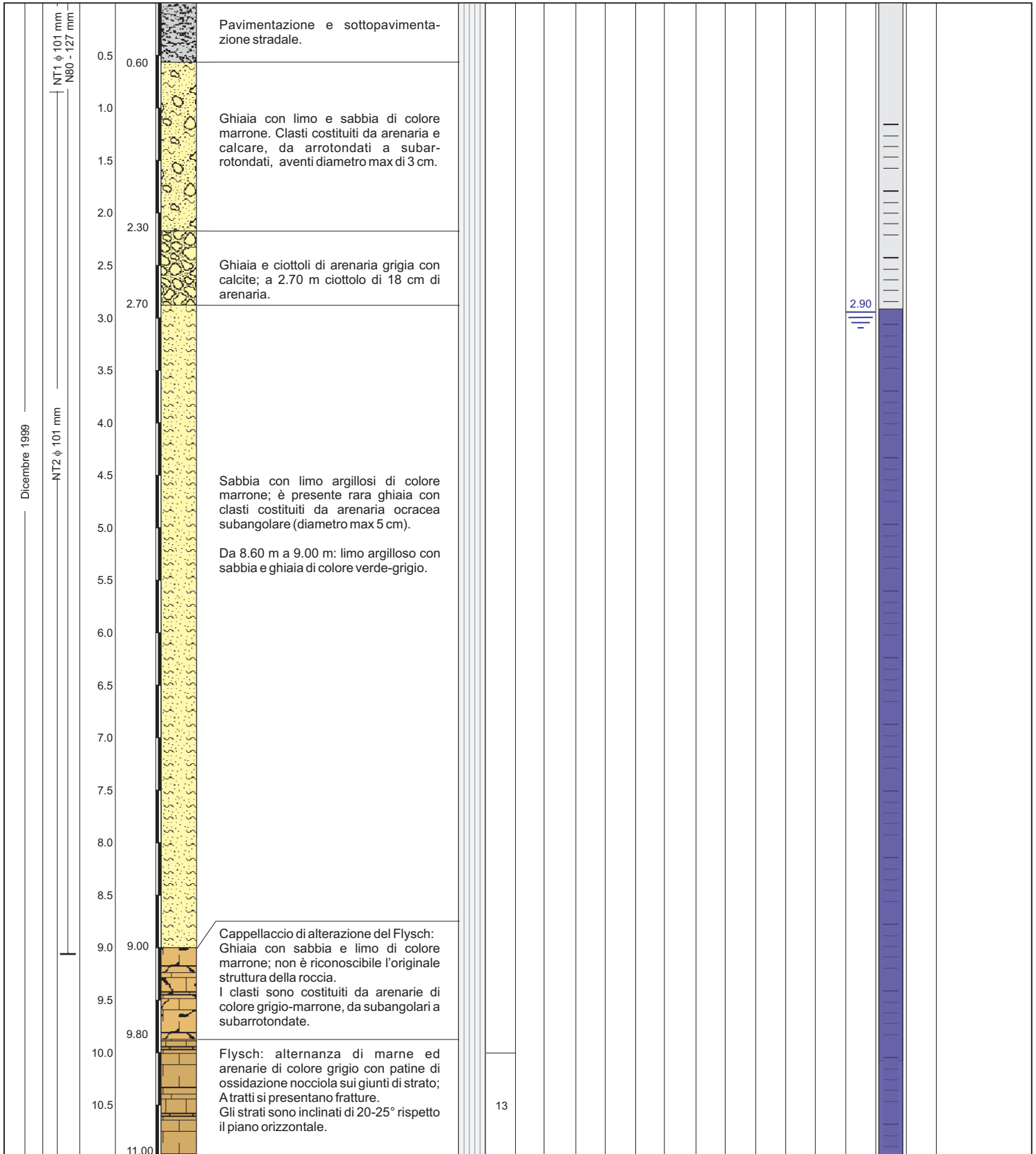
Note



Nonostante venga eseguito il superamento della soletta in calcestruzzo tramite perforazione a rotazione e distruzione di nucleo, la prova non è eseguibile per la presenza di trovanti che inibiscono l'avanzamento della punta.



Data	Tipo e diam. Carotiere Rivestimento	Prof. relativa m	Prof. assoluta m	Legenda	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Percentuale carotaggio	R.Q.D. %	Campioni		Standard Penetration Test			Punta aperta Punta chiusa	Lunghezza campione	Pocket Penetrometer Kg/cm	Vane Test Kg/cm²	Livello falda	Piezometro	Prova Leifranc	Note
								Disturbati	Indisturbati	N. Colpi										
										0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm								

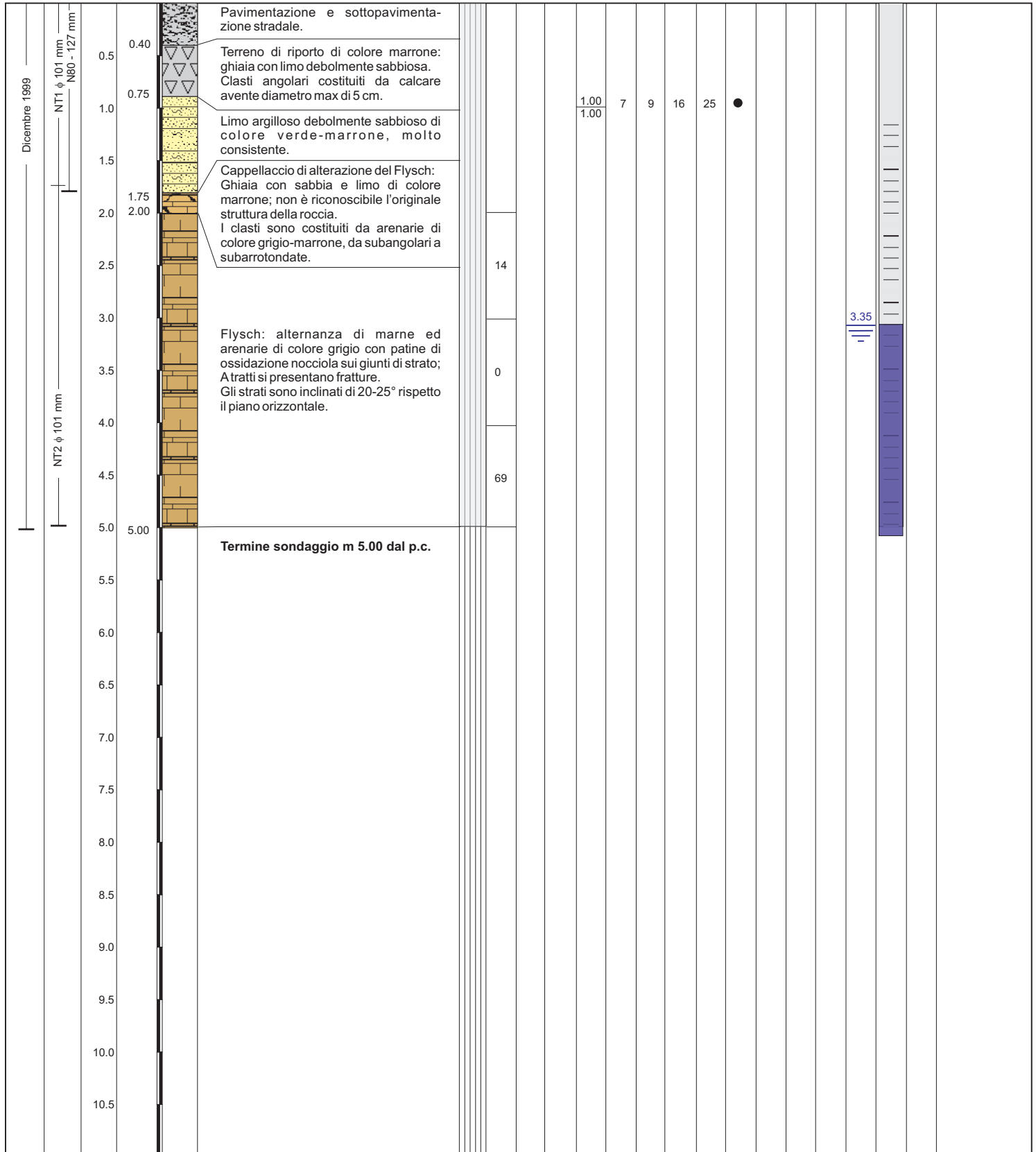


SUPERVISORE: dott. L. Pangon

SONDATORE: sig. E. Luban

SONDA: Magirus PX 1000

Data	Tipo e diam. Carotiere Rivestimento	Prof. relativa m	Prof. assoluta m	Legenda	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Percentuale carotaggio	R.Q.D. %	Campioni		Standard Penetration Test				Punta aperta Punta chiusa	Lunghezza campione	Pocket Penetrometer Kg/cm ²	Vane Test Kg/cm ²	Livello falda	Piezometro	Prova Leifranc	Note
								Disturbati	Indisturbati	N. Colpi			N.S.P.T.								
										0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm									



mecasol s.r.l.

INGEGNERIA GEOTECNICA
GEOGNOSTICA GEOLOGIA

Via S. Francesco, 4 - 34133 Trieste - Tel. (040) 827789 - Fax. (040) 830018

COMMITTENTE: STOCK TOWN
PROGETTO: Sondaggio geognostico
LOCALITA': Sede Polizia Stradale di Roiano - (TRIESTE)

SONDAGGIO: S1 CASSETTA: 1 DATA: Dicembre 1999



0.00	Pav.stradale	Terreno di riporto	1.00
1.00	Ghiaia con limo e sabbia		2.00
2.00	Ghiaia debolmente sabbiosa	Limo sabbioso ghiaioso	3.00
3.00	Limo sabbioso ghiaioso		4.00
4.00	Flysch alterato		5.00

mecasol s.r.l.

INGEGNERIA GEOTECNICA
GEOGNOSTICA GEOLOGIA

Via S. Francesco, 4 - 34133 Trieste - Tel. (040) 827789 - Fax. (040) 830018

COMMITTENTE: STOCK TOWN
PROGETTO: Sondaggio geognostico
LOCALITA': Sede Polizia Stradale di Roiano - (TRIESTE)

SONDAGGIO: S1 CASSETTA: 2 DATA: Dicembre 1999



5.00	Flysch alterato	6.00
6.00	Flysch alterato	7.00
7.00	Flysch alterato	8.00
8.00	Flysch	9.00
9.00	Flysch	10.00

mecasol s.r.l.

INGEGNERIA GEOTECNICA
GEOGNOSTICA GEOLOGIA

Via S. Francesco, 4 - 34133 Trieste - Tel. (040) 827789 - Fax. (040) 830018

COMMITTENTE: STOCK TOWN
PROGETTO: Sondaggio geognostico
LOCALITA': Sede Polizia Stradale di Roiano - (TRIESTE)

SONDAGGIO: S2 CASSETTA: 1 DATA: Dicembre 1999



0.00	Pav. e sottopav. stradale	Ghiaia con limo e sabbia	1.00
1.00	Ghiaia con limo e sabbia		2.00
2.00	Ghiaia con limo e sabbia	Ghiaia e ciottoli	3.00
3.00	Limo sabbioso ghiaioso		4.00
4.00	Limo sabbioso ghiaioso		5.00

mecasol s.r.l.

INGEGNERIA GEOTECNICA
GEOGNOSTICA GEOLOGIA

Via S. Francesco, 4 - 34133 Trieste - Tel. (040) 827789 - Fax. (040) 830018

COMMITTENTE: STOCK TOWN
PROGETTO: Sondaggio geognostico
LOCALITA': Sede Polizia Stradale di Roiano - (TRIESTE)

SONDAGGIO: S2 CASSETTA: 2 DATA: Dicembre 1999



5.00	Limo sabbioso ghiaioso	6.00	
6.00	Limo sabbioso ghiaioso	7.00	
7.00	Limo sabbioso ghiaioso	8.00	
8.00	Limo sabbioso ghiaioso	9.00	
9.00	Flysch alterato	Flysch	10.00

mecasol s.r.l.

INGEGNERIA GEOTECNICA
GEOGNOSTICA GEOLOGIA

Via S. Francesco, 4 - 34133 Trieste - Tel. (040) 827789 - Fax. (040) 830018

COMMITTENTE: STOCK TOWN
PROGETTO: Sondaggio geognostico
LOCALITA': Sede Polizia Stradale di Roiano - (TRIESTE)

SONDAGGIO: S2 CASSETTA: 3 DATA: Dicembre 1999



10.00

Flysch

11.00

mecasol s.r.l.

INGEGNERIA GEOTECNICA
GEOGNOSTICA GEOLOGIA

Via S. Francesco, 4 - 34133 Trieste - Tel. (040) 827789 - Fax. (040) 830018

COMMITTENTE: STOCK TOWN
PROGETTO: Sondaggio geognostico
LOCALITA': Sede Polizia Stradale di Roiano - (TRIESTE)

SONDAGGIO: S3 CASSETTA: 1 DATA: Dicembre 1999



0.00	Pav. stradale	Terreno di riporto	Limo argilloso deb. sabbioso	1.00
1.00	Ghiaia con limo e sabbia		Flysch alterato	2.00
2.00	Flysch alterato		Flysch	3.00
3.00	Flysch			4.00
4.00	Flysch			5.00

mecasol s.r.l.

INGEGNERIA GEOTECNICA
GEOGNOSTICA GEOLOGIA

Via S. Francesco, 4 - 34133 Trieste - Tel. (040) 827789 - Fax. (040) 830018

COMMITTENTE:	STOCK TOWN
PROGETTO:	Sondaggio geognostico
LOCALITA':	Sede Polizia Stradale di Roiano - (TRIESTE)

SONDAGGIO:	S3	CASSETTA:	2	DATA:	Dicembre 1999
------------	----	-----------	---	-------	---------------



5.00

Flysch

6.00

mecasol s.r.l.

INGEGNERIA GEOTECNICA
GEOGNOSTICA GEOLOGIA

Via S. Francesco, 4 - 34133 Trieste - Tel. (040) 827789 - Fax. (040) 830018

COMMITTENTE: STOCK TOWN
PROGETTO: Sondaggio geognostico
LOCALITA': Sede Polizia Stradale di Roiano - (TRIESTE)

SONDAGGIO: S4 CASSETTA: 1 DATA: Dicembre 1999



0.00	Pav. stradale	Terreno di riporto	1.00
1.00	Limo argilloso deb. sabbioso	Flysch alterato	2.00
2.00	Flysch		3.00
3.00	Flysch		4.00
4.00	Flysch		5.00



Foto 1: panoramica della Zona 2 e Zona 3

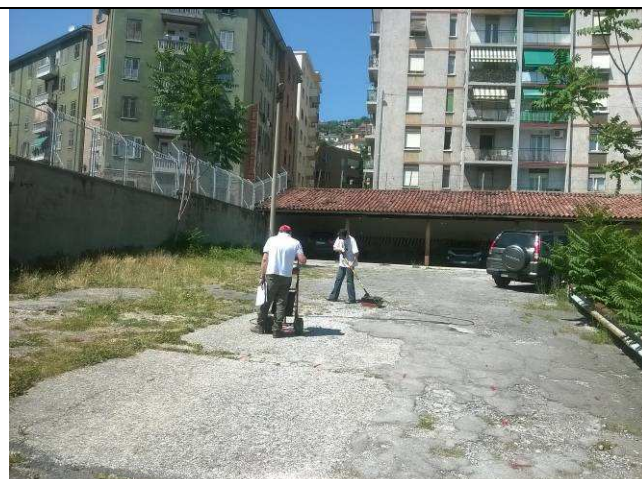


Foto 2: indagine georadar nella Zona 3



Foto 3: esecuzione sondaggio S1



Foto 4: sondaggio S1 (0,0 – 5,0 m)



Foto 5: esecuzione sondaggio S2



Foto 6: sondaggio S2 (0,0 – 5,0 m)



Foto 7: esecuzione sondaggio S3



Foto 8: sondaggio S3 (0,0 – 5,0 m)



Foto 9: esecuzione sondaggio S4



Foto 10: sondaggio S4 (0,0 – 6,0 m)



Foto 11: esecuzione sondaggio S5



Foto 12: sondaggio S5 (0,0 – 5,0 m)

Caserma E. Filiberto di Roiano Trieste (TS) – Via Montorsino, 3 R_ 638_307_01 Rapporto Indagine Ambientale	Appendice 2	Polizia Di Stato – Autocentro di Padova Agosto 2015
---	-------------	--



Foto 13: esecuzione sondaggio S6



Foto 14: sondaggio S6 (0,0 – 5,0 m)



Foto 15: esecuzione sondaggio S7



Foto 16: sondaggio S7 (0,0 – 5,0 m)



Foto 17: esecuzione sondaggio S8



Foto 18: sondaggio S8 (0,0 – 5,0 m)

Caserma E. Filiberto di Roiano Trieste (TS) – Via Montorsino, 3 R_ 638_307_01 Rapporto Indagine Ambientale	Appendice 2	Polizia Di Stato – Autocentro di Padova Agosto 2015
---	-------------	--



Foto 19: esecuzione sondaggio S9



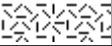

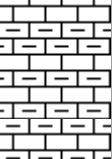
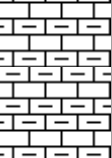
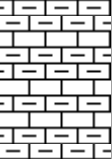
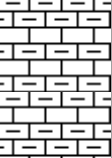
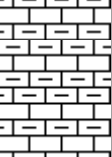
Foto 20: sondaggio S9 (0,0 – 5,0 m)

Appendice 4

Stratigrafie delle prove eseguite

PENTA PROGETTI S.r.l.
Via Buozzi, 9/G
10024 - Moncalieri (TO)

Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3					P.V. numero -
Sondaggio S1	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 08/06/15	Termine Esecuzione 08/06/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
		Soletta in calcestruzzo	0.20					
		terreno di riporto limo debolmente sabbioso con ciottoli e laterizi, color marrone, asciutto, non addensato	0.80		<0,1			
1		flysch alternanza di livelli marnoso-arenacei, color nocciola chiaro, asciutto			<0,1			
2					<0,1	1.50 R		
3					<0,1	2.50		
4			4.00		<0,1	3.50 R		
5					<0,1	4.50		
					<0,1			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, RS-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



PENTA PROGETTI S.r.l.
Via Buozzi, 9/G
10024 - Moncalieri (TO)

Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3					P.V. numero -
Sondaggio S2	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 08/06/15	Termine Esecuzione 08/06/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.



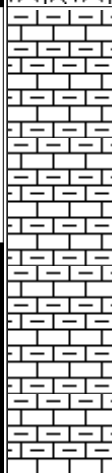
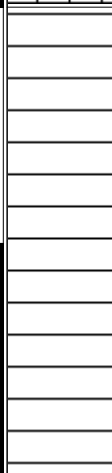

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
		Soletta in calcestruzzo	0.30					
		terreno di riporto limo debolmente sabbioso con ciottoli e laterizi, color marrone, asciutto, non addensato	0.50		<0,1			
1		flysch alternanza di livelli marnoso-arenacei, color nocciola chiaro, asciutto			<0,1	0.80 R		
2					<0,1	1.80		
3			4.20		<0,1	2.50 R		
4					<0,1	3.50		
5					<0,1			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3					P.V. numero -
Sondaggio S3	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 08/06/15	Termine Esecuzione 08/06/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
		Soletta in calcestruzzo	0.30					
1		terreno di riporto limo debolmente sabbioso con ciottoli e laterizi, color marrone, asciutto, non addensato	0.70		<0,1	0.50		
2		flysch alternanza di livelli marnoso-arenacei, color nocciola chiaro, asciutto	2.00		<0,1	1.50	R	
3		argilla omogenea, compatta, color marrone, asciutta.			<0,1	3.00	R	
4			2.00		21.8	4.00		
5					<0,1	4.50	R	
					<0,1	5.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



PENTA PROGETTI S.r.l.
Via Buozzi, 9/G
10024 - Moncalieri (TO)

Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3					P.V. numero -
Sondaggio S4	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 08/06/15	Termine Esecuzione 08/06/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
		Soletta in calcestruzzo	1.00		<0,1			
1		flysch alternanza di livelli marnoso-arenacei, color nocciola chiaro, asciutto			<0,1	1.00	R	
2					<0,1	2.00		
3			3.00		<0,1			
4		argilla omogenea, compatta, color marrone, asciutta.			<0,1	4.00	R	
5					14.4	38.0		
			2.00		6.8	5.00	R	
					<0,1	6.00		
					<0,1			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



PENTA PROGETTI

Geologia - Ingegneria Ambientale - Geotecnica

Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3					P.V. numero -
Sondaggio S5	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 08/06/15	Termine Esecuzione 08/06/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
1		Soletta in calcestruzzo	0.30					
		terreno di riporto limo debolmente sabbioso con ciottoli e laterizi, color marrone, asciutto, non addensato			<0,1		1.00	
2		flysch alternanza di livelli marnoso-arenacei, color nocciola chiaro, asciutto	0.60		<0,1		R	
3		argilla omogenea, compatta, color marrone, asciutta.	1.60		<0,1		3.50	
4					<0,1		R	
5					<0,1		4.50	


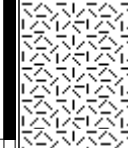

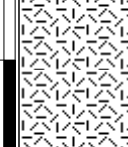


Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



PENTA PROGETTI S.r.l.
Via Buozi, 9/G
10024 - Moncalieri (TO)

Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3					P.V. numero -
Sondaggio S6	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 23/07/15	Termine Esecuzione 23/07/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
		Soletta in calcestruzzo	0.40					
1		terreno di riporto limo debolmente sabbioso con ciottoli e laterizi, color marrone, asciutto, non addensato. di color grigio/azzurro da -2,9 a -4,2 m. presenza di un trovante a -3,9 m.			<0,1			
2					<0,1			
3			4.60		<0,1	2.90 R		
4					84,0	89,0	3.90	
5					92,0	8,0	4.50 R	
					3,0	5.00		


Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



PENTA PROGETTI S.r.l.
Via Buoizzi, 9/G
10024 - Moncalieri (TO)

Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3				P.V. numero -	
Sondaggio S7	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 23/07/15	Termine Esecuzione 23/07/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
		Soletta in calcestruzzo	0.40					
1		terreno di riporto limo debolmente sabbioso con ciottoli e laterizi, color marrone, asciutto, non addensato.			<0,1			
2					<0,1			
3					<0,1			
4			4.60		<0,1	2.00 R		
5					<0,1	2.50		
					<0,1			
					<0,1			
					<0,1	4.00 R		
					<0,1	5.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



PENTA PROGETTI

Geologia - Ingegneria Ambientale - Geotecnica

PENTA PROGETTI S.r.l.
Via Buozzi, 9/G
10024 - Moncalieri (TO)

Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3					P.V. numero -
Sondaggio S8	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 23/07/15	Termine Esecuzione 23/07/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
		Soletta in calcestruzzo	0.60					
1		terreno di riporto limo debolmente sabbioso con ciottoli e laterizi, color marrone, asciutto, non addensato.			<0,1			
2					<0,1	1.00 R		
3			4.40		<0,1	2.00		
4					<0,1	3.50 R		
5					<0,1	4.50		

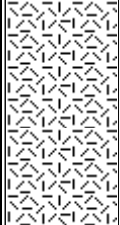
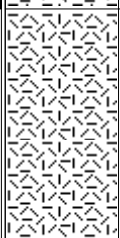
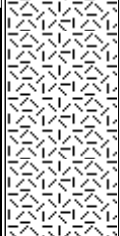
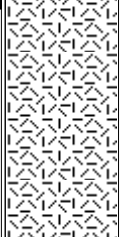
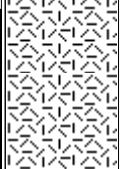
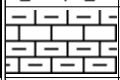
Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



PENTA PROGETTI S.r.l.
Via Buoizzi, 9/G
10024 - Moncalieri (TO)

Committente MINISTERO DELL'INTERNO - Autocentro Polizia PD					
Cantiere TRIESTE (TS) - Caserma Roiano, Via Montorsino 3					P.V. numero -
Sondaggio S9	Responsabile di sito Debernardi	Commessa j307	Inizio Esecuzione 23/07/15	Termine Esecuzione 23/07/15	Scheda -
Impresa Geolavori		Metodo di Carotaggio rotazione continuo	Diametro perforazione 152 mm	Diametro rivestimenti	Quota P.C.

Scala 1:50	Litologia	Descrizione	Potenza dello strato (m)	%Carotaggio R.Q.D.	Valori di VOC al TST	Campioni	Piezometro	Falda
		Soletta in calcestruzzo	1.00		<0,1			
1		terreno di riporto limo debolmente sabbioso con ciottoli e laterizi, color marrone, asciutto, non addensato. maggiormente sabbioso da -2,0 a -2,5 m, da -3,5 a -4,0 e da -4,5 a -4,7 m.			<0,1	1.00	R	
2					<0,1	2.00		
3			3.70		<0,1			
4					<0,1	4.00	R	
5		flysch alternanza di livelli marnoso-arenacei, color nocciola chiaro, asciutto	0.30		<0,1	5.00		

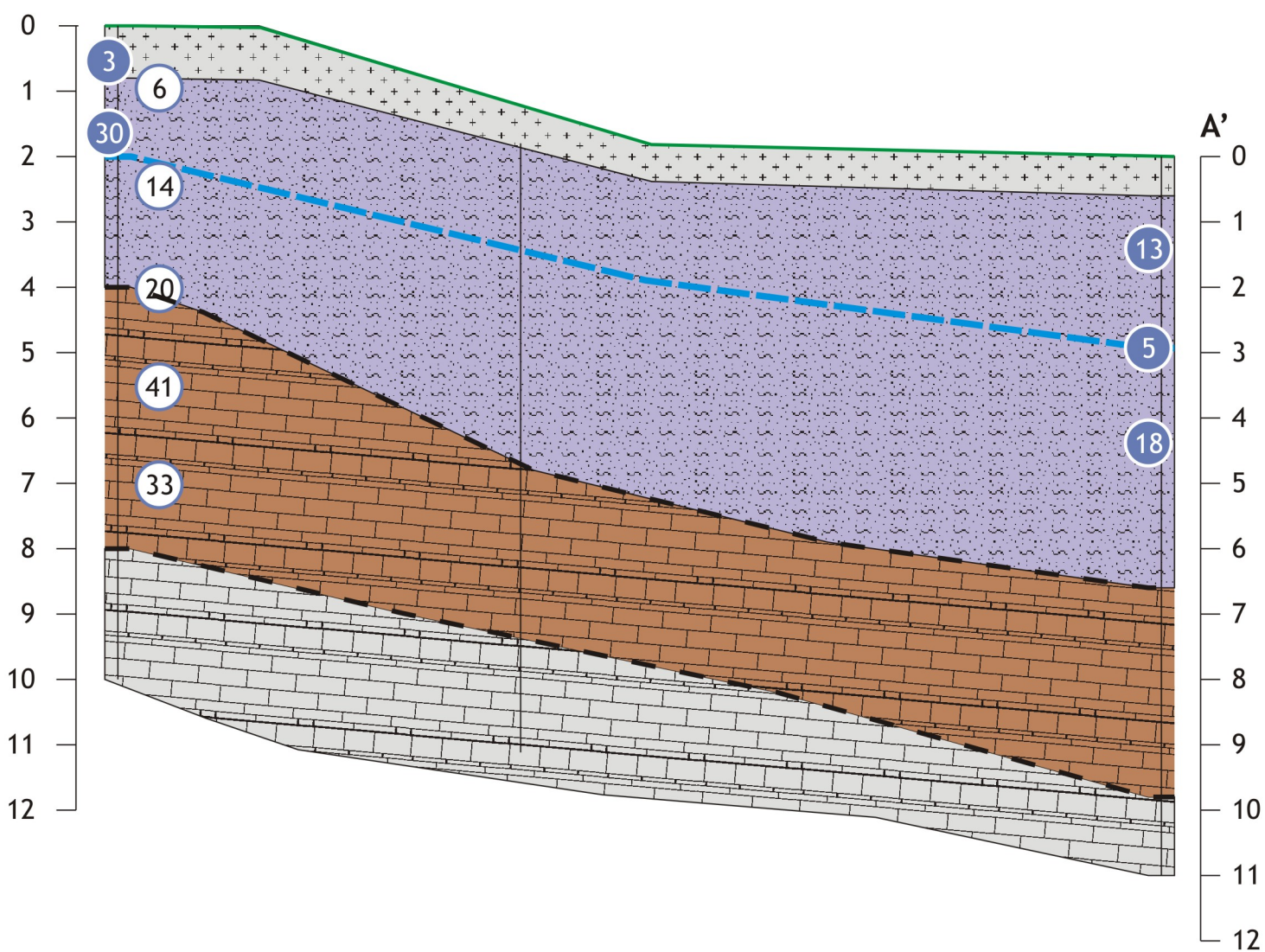
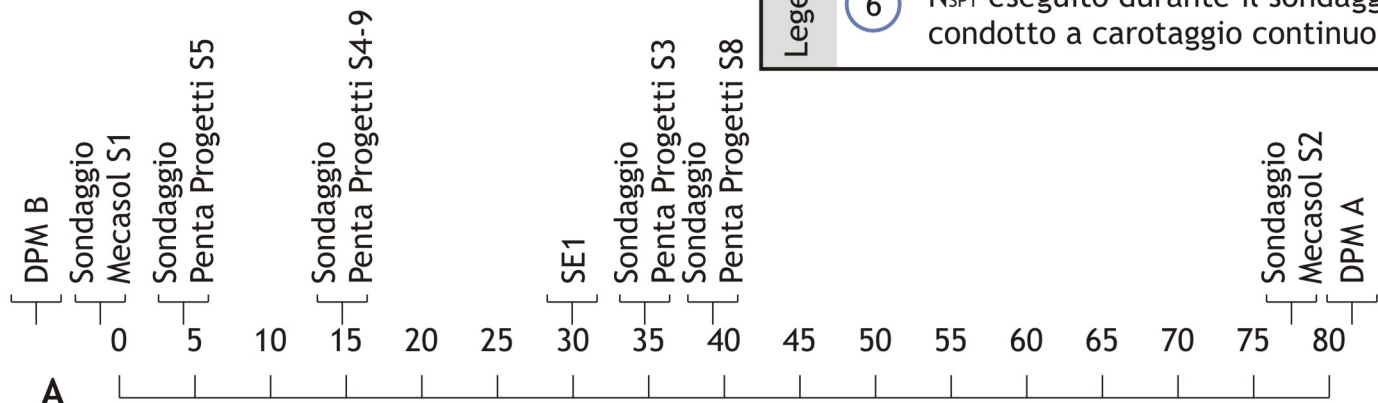
Campioni: P-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Carotaggio: rotazione continuo

Sonda: Carotaggio: rotazione continuo



Legenda

- 13 N_{SPT} ottenuto dall'interpretazione della prova penetrometrica dinamica
- 6 N_{SPT} eseguito durante il sondaggio condotto a carotaggio continuo



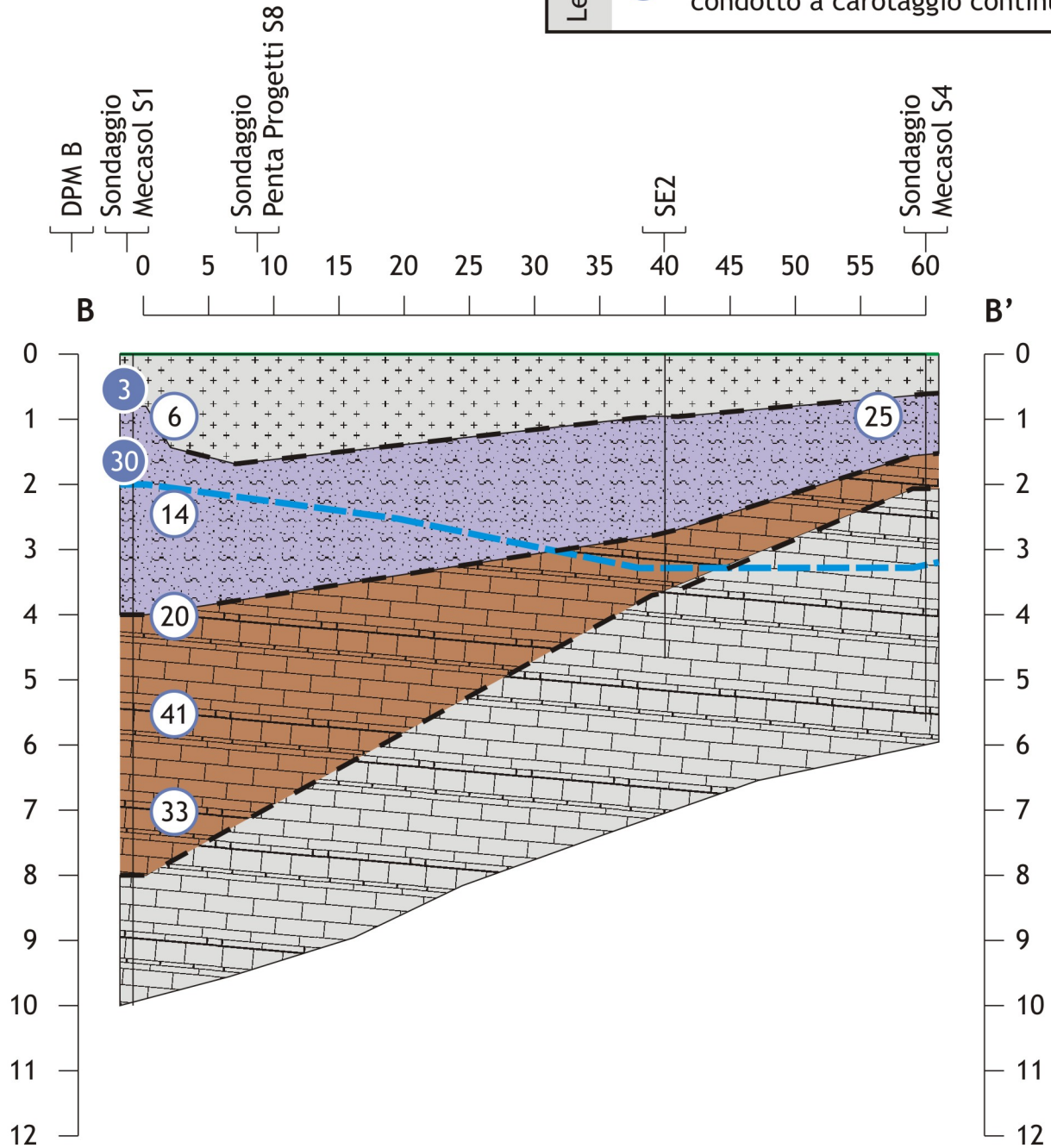
studiodavini.eu

COMUNE DI TRIESTE

Riconversione ex Compensorio Industriale Stock UMI 4 e 5
 Riqualficazione sede della Polstrada in cessione al Comune

SEZIONE STRATIGRAFICA A - A'

- Legenda**
- 13 N_{SPT} ottenuto dall'interpretazione della prova penetrometrica dinamica
 - 6 N_{SPT} eseguito durante il sondaggio condotto a carotaggio continuo



studiodavini.eu

COMUNE DI TRIESTE

Riconversione ex Compensorio Industriale Stock UMI 4 e 5
 Riqualificazione sede della Polstrada in cessione al Comune

SEZIONE STRATIGRAFICA B - B'