



REGIONE TOSCANA Giunta Regionale
Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile
Settore Genio Civile Valdarno Superiore

INTERVENTI DI MANTENIMENTO E ADEGUAMENTO STABILITA' DELL'ARGINGROSSO A FIRENZE

CIG: 9622881C9A CUP: D12H22000670002

- PROGETTO ESECUTIVO -



A4 INGEGNERIA
Società Tra Professionisti a Responsabilità Limitata

VIA ROMA 26 - 59100 - PRATO
TEL/FAX: 0574442523
P.IVA e C.F.: 01973140971
MAIL: info@a4ingegneria.it
PEC: a4ingegneria@legalmail.it
WEB: www.a4ingegneria.it

Il Responsabile del Progetto:
DOTT. ING. CRISTIANO CAPPELLI
Ord. Ingg. Pistoia n. 693

Il coordinatore sicurezza in fase di progettazione:
DOTT. ING. DANIELE BALDI
Ord. Ingg. Pistoia n. 1048

Collaboratore:
DOTT. ING. STEFANO TAITI
Ord. Ingg. Prato n. 925



Dirigente responsabile del contratto:
DOTT. ING. GENNARINO COSTABILE

Responsabile Unico Procedimento:
DOTT. ING. FRANCESCO PIANI

ELABORATO:

RELAZIONE DI CALCOLO

RIFERIMENTO PROGETTO		RIFERIMENTO ELABORATO					SCALA	DATA
Codice Commessa	Fase	Capitolo	Paragrafo	Tipo	Progressivo	Revisione		MAGGIO 2024
FI662	PE	02	STR	R	001	0		
REVISIONE								
N.	DATA	VERIFICATO						

Questo disegno è protetto dalle vigenti leggi di autore e pertanto non può essere riprodotto, in tutto o in parte, né essere ceduto a terzi senza la nostra autorizzazione scritta.

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E MATERIALI IMPIEGATI.....	3
2.1	Materiali impiegati.....	4
3	AZIONE SISMICA	5
4	DEFINIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO.....	7
5	VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI.....	9
5.1	Caratteristiche del terreno.....	9
5.2	Azioni.....	9
5.3	Condizioni di carico.....	10
5.4	Combinazioni di carico.....	10
5.5	Modello di calcolo	11
5.5.1	Verifiche strutturali	13
5.5.2	Verifiche idrauliche a sifonamento	16

ALLEGATO 1 – RISULTATI E INTERPRETAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO 2 – FASCICOLO DI CALCOLO

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta nell'ambito dell'incarico (CIG 9622881C9A) ricevuto della Regione Toscana settore Difesa del Suolo e Protezione Civile Genio Civile Valdarno Superiore denominato "Progetto Esecutivo degli Interventi di mantenimento e adeguamento stabilità dell'Argingrosso a Firenze" (CIG 9622881C9A - CUP D14D23000540002), riporta le verifiche geotecniche e strutturali eseguite a supporto dell'intervento di sistemazione della sponda sinistra di un tratto di fiume Arno in località Ugnano in comune di Firenze, posto circa 2 km a valle del tratto dove è presente l'Argingrosso, che faceva parte del progetto preliminare approvato.

I calcoli (vedi fascicolo di calcolo in Allegato 2) sono stati condotti sulla base dei risultati delle indagini geognostiche eseguite nell'ambito del progetto preliminare (vedi Allegato 1), per cui lo scrivente si è avvalso dell'ausilio del dott. geol. Daria Duranti.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E MATERIALI IMPIEGATI

Si precisa che l'intervento in progetto rientra tra quelli privi di rilevanza nei riguardi della pubblica incolumità di cui all'Allegato C del Regolamento 1/R (vedi punto A.4).

La normativa di riferimento utilizzata per la progettazione delle opere presenti nel progetto è costituita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018) e la relativa Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Si riportano di seguito le tabelle con i coefficienti parziali per le azioni, le resistenze e le verifiche utilizzati nel presente progetto.

Coeff. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto		Combinazioni statiche					Combinazioni sismiche		
			HYD	UPL	EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1,fav}$	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G1,sfav}$	1.00	1.10	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2,fav}$	0.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00
Permanenti non strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G2,sfav}$	1.00	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Q,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevoli	$\gamma_{Q,sfav}$	1.00	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{QT,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevoli	$\gamma_{QT,sfav}$	1.00	1.50	1.35	1.35	1.15	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan(\psi')}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Peso nell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Capacità portante	--	--	1.40	--	--	1.20
Scorrimento	--	--	1.10	--	--	1.00
Resistenza terreno a valle	--	--	1.40	--	--	1.20
Ribaltamento	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Carichi verticali. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza		Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	γ_b	--	--	1.15	--	--	1.35	--	--	1.30
Laterale compressione	γ_s	--	--	1.15	--	--	1.15	--	--	1.15
Totale compressione	γ_t	--	--	1.15	--	--	1.30	--	--	1.25
Laterale trazione	γ_{st}	--	--	1.25	--	--	1.25	--	--	1.25

Carichi trasversali. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

		R1	R2	R3
Trasversale	γ_t	--	--	1.30

Si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2} + \gamma_{Q3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali Ad:

$$G_1 + G_2 + A_d + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + \dots$$

I valori dei coeff. $\Psi_{0,j}$, $\Psi_{1,j}$, $\Psi_{2,j}$ sono definiti nelle singole condizioni. I valori dei coeff. γ_G e γ_Q , sono definiti nella tabella normativa.

2.1 MATERIALI IMPIEGATI

Calcestruzzo

Magrone di fondazione

- Classe di resistenza minima: C12/15

Strutture di fondazione ed in elevazione

- Classe di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione ambientale: XC2
- Classe di abbassamento al cono (slump): S5

Acciaio

Acciaio da cemento armato

- Tipo di acciaio: B450C

3 AZIONE SISMICA

Per le strutture oggetto della seguente relazione viene assunta una vita nominale V_N pari a 50 anni come previsto dalle NTC18 secondo la tabella seguente:

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Viene assegnata una classe d'uso dell'opera pari a II a cui corrisponde un coefficiente d'uso C_U pari a 1.0. Il periodo di riferimento V_R , parametro con cui verranno valutate le azioni sismiche sulle costruzioni definito dal prodotto della vita nominale di progetto per il coefficiente d'uso, risulta essere pari a 50 anni.

La determinazione dell'azione sismica è effettuata direttamente dal software di calcolo previo inserimento dei parametri sismici appena visti, di quelli stratigrafici, topografici e del comune in cui vengono realizzate le opere.

I parametri stratigrafici da inserire riguardano la categoria di sottosuolo che, per il sito in esame, è stata assunta pari a **C** (vedi Allegato 1) da cui risulta un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S pari a 1.50. La categoria topografica è stata assunta pari a T1 da cui risulta un coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1.00.

Si riportano di seguito i parametri ed i risultati relativi all'azione sismica.

Tipo di Opera	Opera ordinaria
Classe d'Uso	II - Normali affollamenti e industrie non pericolose
Vita Nominale	50 anni
Vita di Riferimento	50 anni
Comune	Firenze
Provincia	Firenze
Regione	Toscana
Latitudine	43.787034
Longitudine	11.163285

N.T.C. 2008 - NTC 2018

	SLV	SLD
Accelerazione al suolo a_g [m/s ²]	1.097	0.422
Accelerazione al suolo a_g [% di g]	0.112	0.043
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F0	2.472	2.538
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0.270	0.233
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico Ss	Tipo B ▼ 1.200	1.200
Coefficiente amplificazione topografica S _T	T1 ▼ 1.00	
<input type="checkbox"/> Calcolo Bm nel rispetto gerarchia delle resistenze secondo Circolare 21/01/2019 n° 7 C.S.LL.PP. (par C7.11.6.2)		
Coefficiente di riduzione (β_m)	C 1.000	1.000
Coefficiente di riduzione (β_m) verifica ribaltamento	1.00	
Coeff. di intensità sismica orizzontale Kh [%] = $a_g/g \cdot S_s \cdot S_t \cdot \beta_m$	13.414	5.162
Intensità sismica Verticale/Orizzontale	0.50	
Forma diagramma incremento sismico <input checked="" type="radio"/> Rettangolare <input type="radio"/> Stessa forma diagramma statico		
<input type="button" value="Importa file dati sismici"/>		<input type="button" value="Dettagli >>"/>

FIGURA 1. PARAMETRI SISMICI

4 DEFINIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di:

- un muro in c.a. in adiacenza, dal lato campagna del muro di sponda in pietrame esistente, per un tratto di circa 35 m che sporge oltre il coronamento del muro in pietrame per 50 cm;
- un argine in terra sui lati est ed ovest dell'immobile esistente che si va a raccordare con il nuovo muro e con il terreno adiacente, al fine di creare una cinta idraulica a protezione del fabbricato.

Nella seguente figura 2 è riportata l'ubicazione su base Google maps del tratto oggetto di intervento.

Nell'ambito della presente relazione sono riportate le verifiche geotecniche e strutturali del muro in c.a. in progetto.



FIGURA 2. UBICAZIONE DEL TRATTO OGGETTO DI INTERVENTO

Il nuovo muro verrà ancorato a quello esistente tramite inghisaggi, sarà fondato superficialmente. Il muro, di lunghezza pari a 35 m presenterà un paramento di altezza di 1.20 m e dello spessore di 20 cm e fondazione ad L (con ciabatta lato campagna) di spessore 20 cm e larghezza pari a 0.6 m. Si riporta di seguito una sezione tipo dell'intervento sopra descritto.

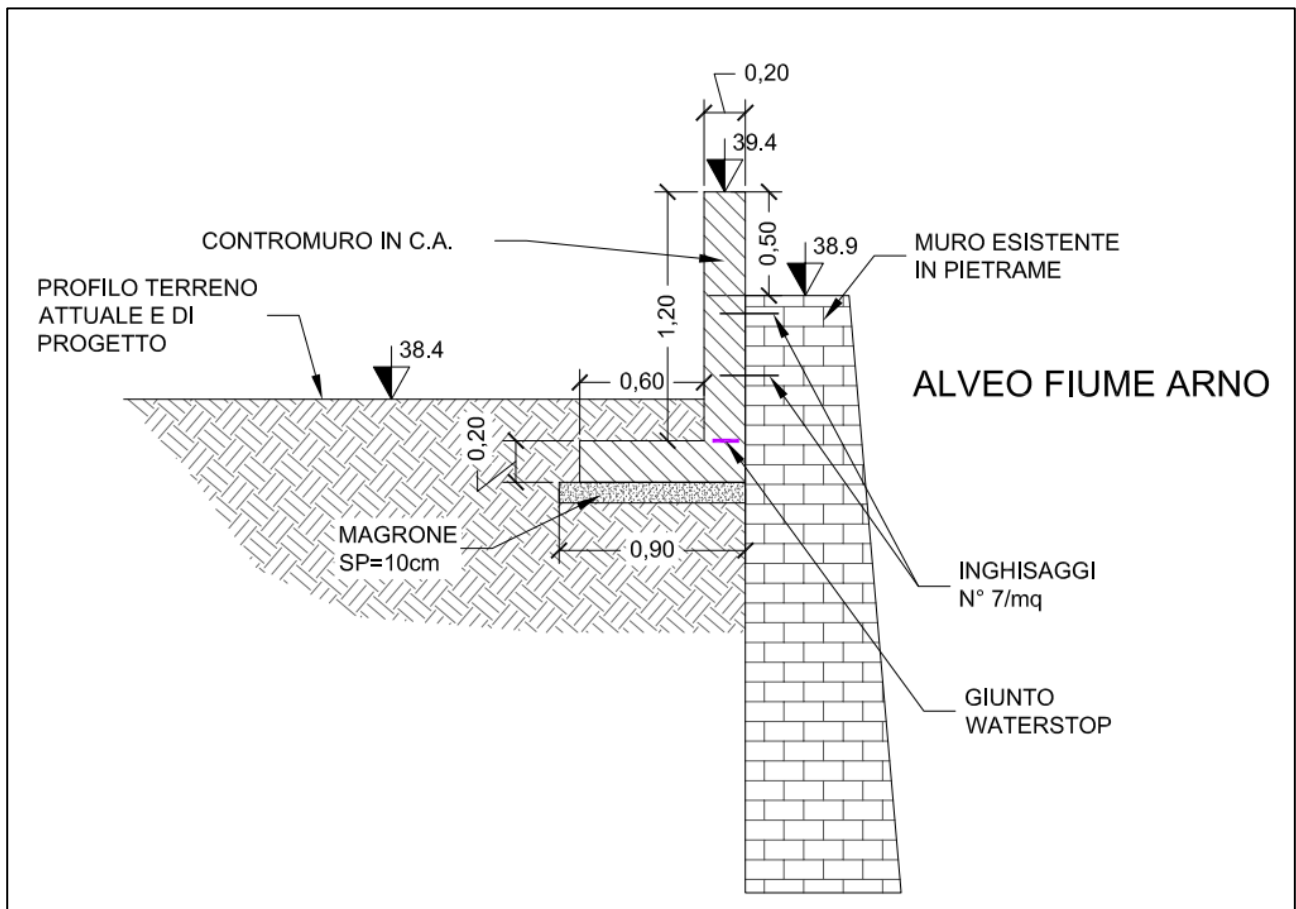


FIGURA 3. SEZIONE TIPO MURO

5 VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI

5.1 CARATTERISTICHE DEL TERRENO

In base a quanto risulta dalle indagini geognostiche effettuate (vedi Allegato 1) sono stati assunti i seguenti parametri caratteristici dei terreni presenti:

TABELLA 1. PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI

LIVELLI LITOTECNICI	Caratteristiche fisico - meccaniche					
	ϕ (°)	c_u kPa	c' kPa	γ kN/m ³	γ saturo kN/m ³	Modulo di deformazione E kPa
LIVELLO A: terreno di riporto (dal p.c. a circa -0,40 m dal p.c.)	18	10	-	17	20	2000
LIVELLO B: limo argilloso (da -0,40 a -6,20 m dal p.c.)	25	20	-	18	19	3000
LIVELLO C: sabbia grossolana con livelli argillosi (da -6,20 a -10 m dal p.c.)	32	-	-	19	20	25000

5.2 AZIONI

Per il dimensionamento e la verifica delle opere sono state considerate le seguenti azioni:

- pesi propri strutturali e non strutturali delle opere oggetto di dimensionamento;
- spinta delle terre;
- carico di una macchina operatrice pari a 20 t su un'area di impronta di 5.00x2.00 m, posta a circa 1 m dal muro, assegnato come carico variabile;
- azione sismica;
- spinta dell'acqua dovuta al passaggio di una piena con riferimento, in via cautelativa, ad un livello pari alla sommità del nuovo muro.

5.3 CONDIZIONI DI CARICO

Sono state determinate 3 condizioni di carico così suddivise:

- 1) **Statica + mezzo 20 t** – composta da: pesi propri, spinta delle terre e carico di una macchina operatrice di 20 t;
- 2) **Sismica** – composta da: pesi propri, spinta delle terre e azione sismica;
- 3) **Statica + piena Tr 200** – composta da: pesi propri, spinta delle terre e spinta dell'acqua per piena con Tr 200.

Le prime due condizioni di carico sono state schematizzate in un unico modello di calcolo mentre la terza, non potendo variare all'interno dello stesso modello le condizioni della falda, è stata schematizzata con un modello separato.

5.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Sono state generate un totale di 10 combinazioni di carico sulla base dei condizioni di carico precedentemente definite così suddivise:

- n° 4 combinazioni di tipo STR (A1-M1-R3);
- n° 3 combinazioni di tipo GEO (A2-M2-R2);
- n° 3 combinazioni di tipo EQU (A1-M1-R3).

Le 4 combinazioni di tipo STR derivano da considerare il peso proprio favorevole e sfavorevole per la condizione di carico statica + mezzo 20 t, mentre in condizioni sismiche ed in condizioni eccezionali il peso proprio è sempre favorevole.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle combinazioni di carico con i coefficienti parziali per le azioni γ . I coefficienti di combinazione ψ sono tutti unitari.

TABELLA 2. COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI γ

N°	Tipo	Condizione di carico	Statica/Sismica	Peso proprio	Spinta delle terre	Mezzo 20 t	Piena Tr200
1	STR (A1-M1-R3)	1	Statica	1.00	1.30	1.50	-
2	STR (A1-M1-R3)	2	Sismica	1.00	1.00	-	-
3	STR (A1-M1-R3)	1	Statica	1.30	1.30	1.50	-
4	GEO (A2-M2-R2)	1	Statica	1.00	1.00	1.30	-
5	GEO (A2-M2-R2)	2	Sismica	1.00	1.00	-	-
6	EQU (A1-M1-R3)	1	Statica	1.00	1.30	1.50	-
7	EQU (A1-M1-R3)	2	Sismica	1.00	1.00	-	-
8	STR (A1-M1-R3)	3	Statica	1.00	1.00	-	1.00
9	GEO (A2-M2-R2)	3	Statica	1.00	1.00	-	1.00
10	EQU (A1-M1-R3)	3	Statica	1.00	1.00	-	1.00

5.5 MODELLO DI CALCOLO

Per la schematizzazione delle tre condizioni di carico sono stati effettuati 2 modelli di calcolo tramite il software MAX 16 della Aztec Informatica.

Nel primo modello di calcolo sono state valutate la condizioni statica con sovraccarico dato dal mezzo di 20 t e quella sismica secondo lo schema riportato in figura seguente.

In tale modello i due scenari differiscono esclusivamente dalla presenza del sovraccarico del mezzo impostato nella condizione statica. Per quanto riguarda la falda è stata impostata a -2 m dal piano campagna. In via cautelativa non è stata considerata la presenza del muro in pietrame in adiacenza al paramento di valle del nuovo muro in c.a.. Pertanto il muro è stato verificato con riferimento ad un'altezza del paramento di valle pari a 1.2 m sopra l'estradosso della ciabatta di fondazione (vedi schema di figura 4).

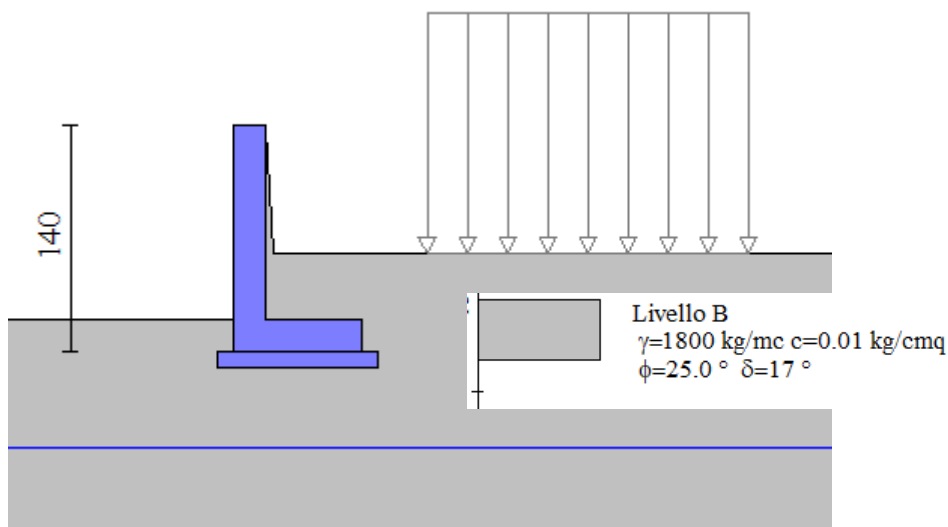


FIGURA 4. SCHEMA DI CALCOLO PER CONDIZIONE DI SPINTA DA CARICO MEZZO LATO MONTE

Nel secondo modello di calcolo, utilizzato per schematizzare lo scenario di piena dell'Arno nell'ipotesi cautelativa che il livello in alveo raggiunga la sommità del nuovo muro, la spinta dell'acqua è stata schematizzata tramite una pressione triangolare agente sul paramento del muro, mentre la falda è stata assunta coincidente con l'estradosso della fondazione del muro. Questo schema trascura gli effetti della sottospinta dell'acqua agente sulla fondazione del muro. Tale scelta è motivata dal fatto che questa porzione di muro si trova dietro ad un muro esistente in pietrame; questa condizione porta ad ipotizzare l'assenza di fenomeni stazionari riconducibili alla presenza di una falda ed a considerare quindi esclusivamente gli effetti transitori dati dalla spinta dell'acqua di piena.

Al fine di modellare correttamente tutte le spinte ed i carichi generati dalla piena è stato considerato lato fiume un terreno fittizio rappresentante l'acqua avente peso specifico di 1000 kg/mc. Al terreno fittizio sono stati assegnati opportuni parametri geotecnici affinché esso non comporti spinte sul muro in quanto sono state schematizzate come sopra indicato. Si riporta di

seguito lo schema di tale modello tenendo in considerazione che, al fine di permettere al software di calcolo di effettuare correttamente le verifiche, è stato necessario specchiare la geometria del modello.

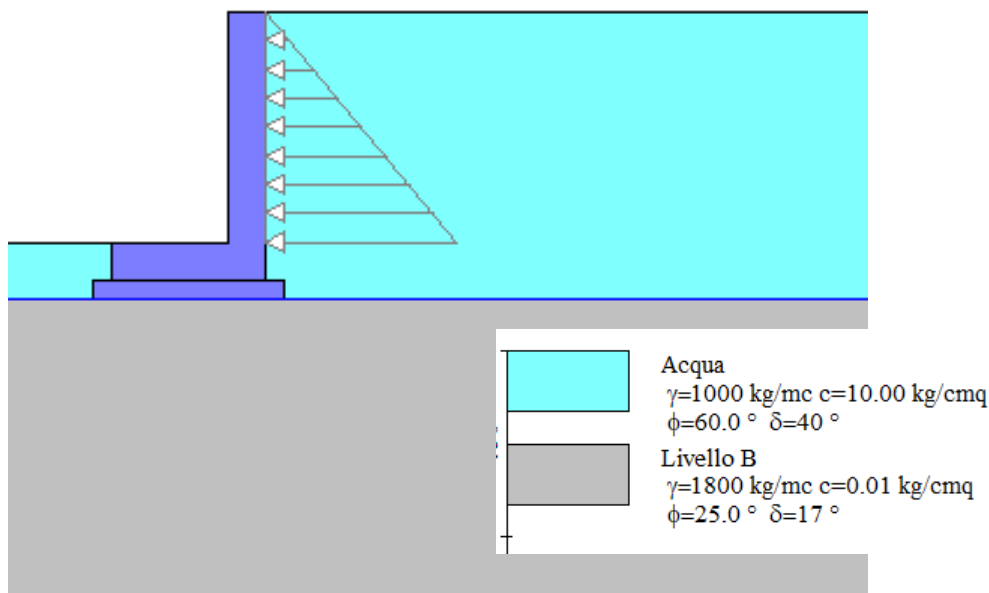


FIGURA 5. SCHEMA DI CALCOLO PER CONDIZIONE DI SPINTA DA LIVELLO IDROMETRICO A FIUME

Si segnala che non sono state eseguite le verifiche SLE poiché osservando le deformazioni allo SLU queste risultano essere già compatibili con la funzionalità dell'opera (rif. 6.5.3.2 delle NTC 2018).

Sono state effettuate le seguenti verifiche geotecniche:

- 1) Verifica a scorrimento sul piano di posa;
- 2) Verifica a ribaltamento;
- 3) Verifica di stabilità globale;
- 4) Verifiche di capacità portante della fondazione.

Le verifiche risultano essere soddisfatte se i fattori di sicurezza FS ottenuti dal rapporto tra le azioni resistenti (ridotte dai coefficienti parziali per i parametri geotecnici) e quelle sollecitanti (moltiplicate per i coefficienti parziali per le azioni) risultano essere superiori ai valori imposti da normativa NTC18 ovvero:

- 1) Verifica a scorrimento – FS minimo pari a 1.10 in condizioni statiche e 1.00 in condizioni sismiche;
- 2) Verifica a ribaltamento – FS minimo pari a 1.15 in condizioni statiche e 1.00 in condizioni sismiche;
- 3) Verifica di stabilità globale – FS minimo pari a 1.10 in condizioni statiche e 1.20 in condizioni sismiche;

- 4) Verifiche di capacità portante – FS minimo pari a 1.40 in condizioni statiche e 1.20 in condizioni sismiche.

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche per il muro di sostegno relativi alle combinazioni critiche (fra parentesi è indicato il riferimento alla combinazione con il minor valore del fattore di sicurezza FS):

TIPO DI VERIFICA	Statica + mezzo 20 t	Sismica	Statica + piena Tr 200
Scorrimento	FS = 1.69 (1)	FS = 1.78 (1)	FS = 239.7 (1)
Ribaltamento	FS = 10.61 (4)	FS = 4.01 (3)	FS = 1.34 (3)
Stabilità globale	FS = 1.42 (3)	FS = 2.16 (2)	FS = 17.33 (2)
Capacità portante	FS = 2.00 (2)	FS = 1.87 (1)	FS = 51.71 (1)

5.5.1 Verifiche strutturali

Il muro verrà armato per tutta la sua lunghezza con ferri verticali $\phi 12$ ad interasse di 20 cm e ferri orizzontali $\phi 12$ ad interasse di 20 cm. La fondazione verrà armata trasversalmente con ferri $\phi 20$ ad interasse di 20 cm e longitudinalmente con ferri $\phi 12$ ad interasse di 20 cm.

5.5.1.1 Muro di sostegno

Paramento

Il paramento presenta una sezione di altezza pari a 20 cm e risulta armato con ferri $\phi 12/20$ cm. La sezione critica per la verifica del paramento risulta essere quella in corrispondenza dell'attacco della fondazione. Si riportano di seguito i risultati della verifica a flessione:

Combinazione	n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
		[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
Statica + 20t	13	100	20	5.65	5.65	20	780	6249	239781	307.41
Sismica	13	100	20	5.65	5.65	67	615	8372	76293	124.12
Piena	13	100	20	5.65	5.65	288	600	4949	10310	17.18

Dove:

- n°: numero sezione
- B: larghezza sezione espressa in [cm]
- H: altezza sezione espressa in [cm]
- Afi: area ferri inferiori espressa in [cmq]
- Afs: area ferri superiori espressa in [cmq]
- M: momento agente espresso in [kgm]
- N: sforzo normale agente espresso in [kg]
- Mu: momento ultimi espresso in [kgm]
- Nu: sforzo normale ultimo espresso in [kg]
- FS: fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Si riportano di seguito i risultati della verifica a taglio:

Combinazione	B	H	A _{sw}	cotθ	V _{Rcd}	V _{Rsd}	V _{Rd}	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
Statica + 20t	100	40	0.00	--	0	0	10759	58	187.09
Sismica	100	40	0.00	--	0	0	10761	129	83.11
Piena	100	40	0.00	--	0	0	11103	720	15.42

Dove:

- A_{sw}: area ferri a taglio espresso in [cmq]
- cotθ: inclinazione delle bielle compresse, θ: inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- V_{Rcd}: resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg]
- V_{Rsd}: resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg]
- V_{Rd}: resistenza di progetto a taglio espresso in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A_{sw}>0.0) V_{Rd}=min(V_{Rcd}, V_{Rsd}).
- T: taglio agente espressa in [kg]
- FS: fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni che portano ad i minori fattori di sicurezza nelle verifiche a flessione e a taglio per il paramento del muro di sostegno (combinazione critica: piena Arno).

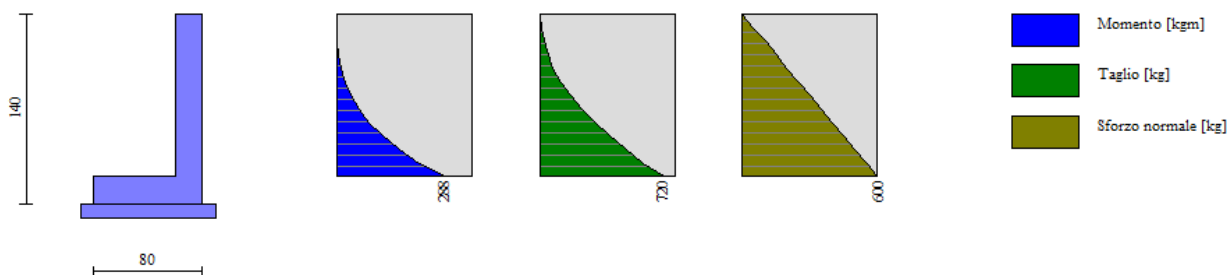


FIGURA 6. SOLLECITAZIONI CRITICHE PARAMENTO

Fondazione

La fondazione presenta una sezione di altezza pari a 50 cm e risulta armata con ferri $\phi 20/25$ cm. Si riportano di seguito i risultati della verifica a flessione:

Combinazione	n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
		[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
Statica + 20t	2	100	20	5.65	5.65	-40	0	-3606	0	89.59
Sismica	1	100	20	5.65	5.65	-92	0	-3606	0	39.2
Piena	1	100	20	5.65	5.65	362	0	3606	0	9.96

Dove:

- n°: numero sezione
- B: larghezza sezione espressa in [cm]
- H: altezza sezione espressa in [cm]
- Afi: area ferri inferiori espressa in [cmq]
- Afs: area ferri superiori espressa in [cmq]
- M: momento agente espresso in [kgm]
- N: sforzo normale agente espresso in [kg]
- Mu: momento ultimi espresso in [kgm]
- Nu: sforzo normale ultimo espresso in [kg]
- FS: fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Si riportano di seguito i risultati della verifica a taglio:

Combinazione	B	H	A _{sw}	cot θ	V _{Rcd}	V _{Rsd}	V _{Rd}	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
Statica + 20t	100	20	0.00	--	0	0	10682	229	46.74
Sismica	100	20	0.00	--	0	0	10682	-237	45.17
Piena tr200	100	20	0.00	--	0	0	10682	-700	15.26

Dove:

- A_{sw}: area ferri a taglio espresso in [cmq]
- cot θ : inclinazione delle bielle compresse, θ : inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- V_{Rcd}: resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg]
- V_{Rsd}: resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg]
- V_{Rd}: resistenza di progetto a taglio espresso in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A_{sw}>0.0) V_{Rd}=min(V_{Rcd}, V_{Rsd}).
- T: taglio agente espressa in [kg]
- FS: fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni che portano ad i minori fattori di sicurezza nelle verifiche a flessione e a taglio per la fondazione del muro di sostegno (combinazione critica: piena Arno).

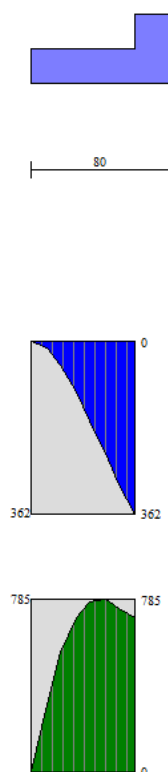


FIGURA 7. SOLLECITAZIONI CRITICHE FONDAZIONE

5.5.2 Verifiche idrauliche a sifonamento

Le verifiche a sifonamento non vengo eseguite in quanto, dal lato fiume, nel tratto antistante il muro in c.a. di progetto è presente un muro in pietrame di altezza superiore a 4 m e pertanto non ci sono le condizioni geometriche ed idrauliche tali da poter innescare una filtrazione e conseguentemente il fenomeno del sifonamento.

COMUNE DI FIRENZE

**STUDIO FATTIBILITÀ/PROGETTO
PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI DI
MANTENIMENTO E ADEGUAMENTO
STABILITÀ DELL'ARGINGROSSO A FIRENZE**

Progettisti: A4 Ingegneria S.T.P. a R.L. – con sede in Prato

Committente: Regione Toscana

(Difesa del Suolo e Protezione Civile - Genio Civile Valdarno Superiore)

**ALLEGATO 1
RISULTATI E INTERPRETAZIONI
INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Studio: Duranti & Focardi Geologi Associati

Dott.ssa Geol. Daria Duranti

Viale della Cristallina n. 48

50019 - Sesto Fiorentino (FI)

Tel.: 3472684010

Cod. Fisc. e P. IVA : 07260600486

e-mail: daria@durantifocardigeologi.it

pec: durantifocardi@pec.it



INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA	3
2.1 Geologia - Geomorfologia	3
2.2 Idrogeologia	4
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	4
3.1 Sondaggi a carotaggio continuo.....	5
3.2 Prove geotecniche di laboratorio.....	6
3.3 Prove di permeabilità in situ Lefranc.....	7
3.4 Indagine georadar.....	9
3.5 Saggi con escavatore meccanico.....	10
3.6 Prove penetrometriche statiche CPT/dinamiche DPSH.....	14
3.7 Indagine sismica.....	15
4. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE	16
5. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	18

ALLEGATI

- ORTOFOTO CON UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

- INDAGINI GEONOSTICHE ESEGUITE IN SITU

- ✓ SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO CON PROVE SPT IN FORO
- ✓ PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO
- ✓ PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO
- ✓ PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT/DINAMICHE DPSH
- ✓ GEORADAR
- ✓ INDAGINI GEOFISICHE (MASW)

1. PREMESSA

Su incarico dei progettisti è stata redatta la presente relazione di interpretazione delle indagini geognostiche a supporto dello **“Studio Fattibilità/Progetto Preliminare degli Interventi di mantenimento e adeguamento stabilità dell’Argingrosso a Firenze”**, nel Comune di Firenze.

La metodologia d’indagine che è stata articolata nelle seguenti fasi:

- rilievo geologico, geomorfologico ed idrogeologico di superficie.
- Analisi della letteratura riferita all’area indagata.
- N. 4 prove penetrometriche statiche CPT/dinamiche DPSH profonde 8-10 metri dl p.c.
- N. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prove SPT in foro, prelievo di campione indisturbato.
- Analisi geotecniche di laboratorio su campione indisturbato.
- Indagine geofisica di superficie (MASW).
- Indagine georadar.
- Saggi geognostici con escavatore meccanico.
- N. 2 prove di permeabilità in foro.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL’AREA

2.1 Geologia - Geomorfologia

L’area in studio è ubicata in sinistra idrografica del fiume Arno, denominata Argingrosso; la quota topografica di riferimento della strada è di circa 40 m s.l.m., mentre la testa dell’argine è di circa 43 m s.l.m.

Dal punto di vista geomorfologico sono assenti specifiche manifestazioni attive di natura franosa per posizione morfologica pianeggiante: a causa dell’assenza di acclività non possono attivarsi condizioni dinamiche e/o cinematiche al dissesto.

Secondo quanto individuato dalla cartografia geologica di supporto agli strumenti urbanistici, l’area di intervento è posta all’interno della seguente formazione geologica:

bna - Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati - Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali.

Le indagini effettuate in situ confermano la presenza in superficie di terreni prevalentemente sabbioso limosi debolmente argillosi.

Nella carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica l'area in studio rientra nelle zone suscettibili di amplificazioni locali n. 31-32, caratterizzata da alternanza di terreni fini e ghiaie in matrice fino a circa 30 metri e poi prevalgono i terreni fini con minime lenti di ghiaia e sabbia intercalate; il substrato è a profondità di oltre 200/300 metri.

2.2 Idrogeologia

La zona in studio rientra nei depositi alluvionali recenti dell'Arno con falda libera, contenuto in uno spessore di ghiaie e sabbie variabile da pochi metri a m 15-20 in corrispondenza di un presumibile paleo alveo principale. All'interno della generica denominazione di "alluvioni" nella piana di Firenze, sotto la sottile copertura recente, si possono quindi utilmente differenziare i depositi clastici fluviali dell'Arno, che attraversano la valle da est a ovest ("acquifero principale", presente nell'area oggetto del presente studio), da quelli argilloso limosi che occupano i terreni a nord fino ai piedi della zona collinare nella fascia da Peretola a Castello da Novoli a Le Cure-Coverciano ("acquifero secondario").

Nel foro del sondaggio S1 è stato installato un piezometro fino alla profondità di 8 metri, all'interno del quale in un periodo di magra, fine luglio 2023, non è stato rilevato il livello piezometrico, in linea con le misurazioni fatte dal comune di Firenze fino al 2010 che individuavano la falda alle quote di circa 30-31 m s.l.m., quindi a profondità oltre i 10 metri (quota topografica argine circa 43 m s.l.m.).

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Sulla base di quanto indicato nel paragrafo 6.2.2 del D.M. 17.01.2018 "le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o intervento e devono permettere la definizione del modello geotecnico di sottosuolo necessario alla progettazione".

Per la definizione delle litologie e la determinazione dei parametri geomeccanici è stata realizzata in situ una campagna geognostica costituita da:

- N. 4 prove penetrometriche statiche CPT/dinamiche DPSH profonde 8-10 metri dal p.c./sommità argine
- N. 1 sondaggio geognostico profondo 8 metri a carotaggio continuo, con prove SPT in foro, prelievo di campione indisturbato e installazione piezometro
- Analisi geotecniche di laboratorio su campione indisturbato
- Indagini geofisiche di superficie (MASW)

- Indagine georadar
- Saggi geognostici con escavatore meccanico
- N. 2 prove di permeabilità in foro

3.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Per la definizione delle litologie e la determinazione dei parametri geomeccanici è stato realizzato in data 20 luglio 2023, nella specifica area di intervento, n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prove SPT in foro, prelievo campione indisturbato e prove di permeabilità in foro.

All'interno del foro di sondaggio S1 è stato installato un piezometro dove non è stato riscontrato alcun livello piezometrico.

Il sondaggio è stato realizzato sulla sommità dell'argine, fino alla profondità di 8 metri.

All'interno sono state eseguite le seguenti prove:

Sondaggio S1

- Prelievo campione indisturbato C1 da -0,5 a -1,0 m da sommità argine
- SPT 1 (-2,0 m da sommità argine) 1-1-1 $N^*_{SPT} 2$
- SPT 2 (-4,0 m da sommità argine) 1-1-1 $N^*_{SPT} 2$
- SPT 3 (-8,0 m da sommità argine) 15-15-15 $N^*_{SPT} 30$

*(La resistenza alla penetrazione del terreno è caratterizzata dalla somma del numero di colpi per il secondo e terzo avanzamento, cioè $N=N_2+N_3$)

I valori degli SPT 1 e 2 si ritengono poco attendibili in quanto risentono della imbibizione del terreno dovuto alle prove di permeabilità eseguite alle rispettive quote superiori.

Si evidenzia che le scelte effettuate in relazione alle profondità delle varie prove eseguite derivano dal criterio di priorità assegnato al prelievo del campione indisturbato e alle prove di permeabilità in situ; si è ritenuto non idoneo fare le prove SPT prima delle prove di permeabilità in quanto i valori di permeabilità non sarebbero risultati cautelativi a causa del costipamento del terreno dovuto alle prove penetrometriche.

In base ai risultati del sondaggio a carotaggio continuo sono stati individuati i seguenti livelli litologici, a partire dalla sommità dell'argine:

- | | |
|-----------|--|
| 0.0 – 3,7 | Limo con sabbia debolmente argilloso e sabbia limosa
con intercalati livelli maggiormente argillosi |
| 3,7 – 5,9 | Limo sabbioso debolmente argilloso |
| 5,9 – 8,0 | Sabbia grossolana a tratti debolmente limoso argillosa |

3.2 Prove geotecniche di laboratorio

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico S1 è stato prelevato il seguente campione indisturbato:

- C1 da -0,5 a -1,0 m da sommità argine (denominato S1C1)

Data la natura prevalentemente sabbiosa del terreno e il rimaneggiamento dovuto alla esecuzione delle prove di permeabilità in situ non è stato possibile prendere ulteriori campioni di terreno da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio.

Sul campione S1C1 sono state eseguite le seguenti analisi:

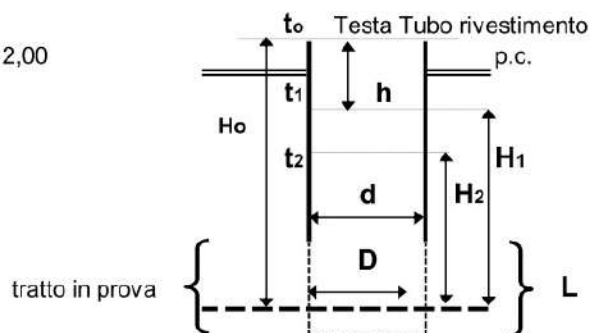
- peso di volume;
- peso specifico dei grani;
- contenuto d'acqua allo stato naturale;
- analisi granulometrica;
- prova di taglio diretto CD (consolidata drenata) che ha permesso l'ottenimento dell'angolo di attrito Φ' e la coesione drenata c' .

Tutti i risultati sono riportati in allegato.

3.3 Prove di permeabilità in situ Lefranc

Prova 1 da 1,50 a 2,0 m

TRATTO IN PROVA	m da p.c. da	1,50	a	2,00
TEMPO DI PROVA	minuti	30,00		
PROFONDITÀ FONDO FORO	m da p.c.	-2,00		
PROFONDITÀ RIVESTIMENTO	m da p.c.	-1,50		
ALTEZZA T.T. RIVESTIMENTO	m da p.c.	0,10		
LIVELLO DELLA FALDA	m da p.c.	N.D.		
LUNGHEZZA TASCA	L m	0,50		
DIAMETRO TASCA	D m	0,101		
DIAMETRO RIVESTIMENTO	d m	0,127		

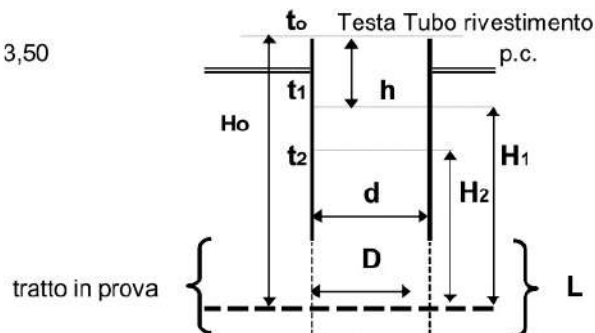


t (sec)	Livello da T.T. (m)	h m da p.c.	H m	K m/sec
0	0,000	0,100	1,850	
30	-0,040	0,060	1,810	6,77E-06
60	-0,08	0,020	1,770	6,92E-06
90	-0,120	-0,020	1,730	7,07E-06
120	-0,160	-0,060	1,690	7,24E-06
150	-0,180	-0,080	1,670	3,68E-06
180	-0,200	-0,100	1,650	3,73E-06
210	-0,230	-0,130	1,620	5,68E-06
240	-0,260	-0,160	1,590	5,79E-06
270	-0,290	-0,190	1,560	5,90E-06
300	-0,310	-0,210	1,540	3,99E-06
360	-0,350	-0,250	1,500	4,07E-06
420	-0,380	-0,280	1,470	3,13E-06
480	-0,420	-0,320	1,430	4,27E-06
540	-0,460	-0,360	1,390	4,39E-06
600	-0,480	-0,380	1,370	2,24E-06
720	-0,520	-0,420	1,330	2,29E-06
840	-0,580	-0,480	1,270	3,57E-06
960	-0,640	-0,540	1,210	3,74E-06
1080	-0,700	-0,600	1,150	3,94E-06
1200	-0,740	-0,640	1,110	2,74E-06
1500	-0,900	-0,800	0,950	4,82E-06
1800	-1,000	-0,900	0,850	3,44E-06

K = 4,52E-06 m/sec
media sull'intero intervallo

Prova 2 da 3,00 a 3,50 m

TRATTO IN PROVA	m da p.c. da	3,00	a	3,50
TEMPO DI PROVA	minuti	60,00		
PROFONDITÀ FONDO FORO	m da p.c.	-3,50		
PROFONDITÀ RIVESTIMENTO	m da p.c.	-3,00		
ALTEZZA T.T. RIVESTIMENTO	m da p.c.	0,10		
LIVELLO DELLA FALDA	m da p.c.	N.D.		
LUNGHEZZA TASCA	L m	0,50		
DIAMETRO TASCA	D m	0,101		
DIAMETRO RIVESTIMENTO	d m	0,127		



t (sec)	Livello da T.T. (m)	h m da p.c.	H m	K m/sec
0	0,000	0,100	3,350	
30	0,000	0,100	3,350	0,00E+00
60	0,000	0,100	3,350	0,00E+00
90	-0,001	0,099	3,349	9,24E-08
120	-0,001	0,099	3,349	0,00E+00
150	-0,004	0,096	3,346	2,77E-07
180	-0,006	0,094	3,344	1,85E-07
210	-0,010	0,090	3,340	3,70E-07
240	-0,010	0,090	3,340	0,00E+00
270	-0,012	0,088	3,338	1,85E-07
300	-0,015	0,085	3,335	2,78E-07
360	-0,018	0,082	3,332	1,39E-07
420	-0,020	0,080	3,330	9,29E-08
480	-0,025	0,075	3,325	2,33E-07
540	-0,027	0,073	3,323	9,31E-08
600	-0,030	0,070	3,320	1,40E-07
720	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
840	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
960	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
1080	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
1200	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
1500	-0,040	0,060	3,310	9,34E-08
1800	-0,040	0,060	3,310	0,00E+00

$$K = 9,91E-08 \text{ m/sec}$$

media sull'intero intervallo

3.4 Indagine georadar

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse si è programmato un rilievo Georadar di dettaglio sulla sommità dell'argine, al fine di acquisire informazioni sulla presenza di disomogeneità e/o manufatti all'interno dell'argine.

L'indagine è stata eseguita con strumentazioni Stream C (multiantenna) e Opera Duo (Biantenna) e mediante l'utilizzo di un sistema GPS differenziale per la corretta georeferenziazione delle strisciate, quindi delle anomalie rilevate.

In allegato viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

Lo scopo dell'indagine georadar era quello di indagare il tratto di argine sito in Via dell'Argingrosso nel Comune di Firenze. L'indagine ha individuato una discontinuità continua (in blu) che si estende nella parte est dell'argine.

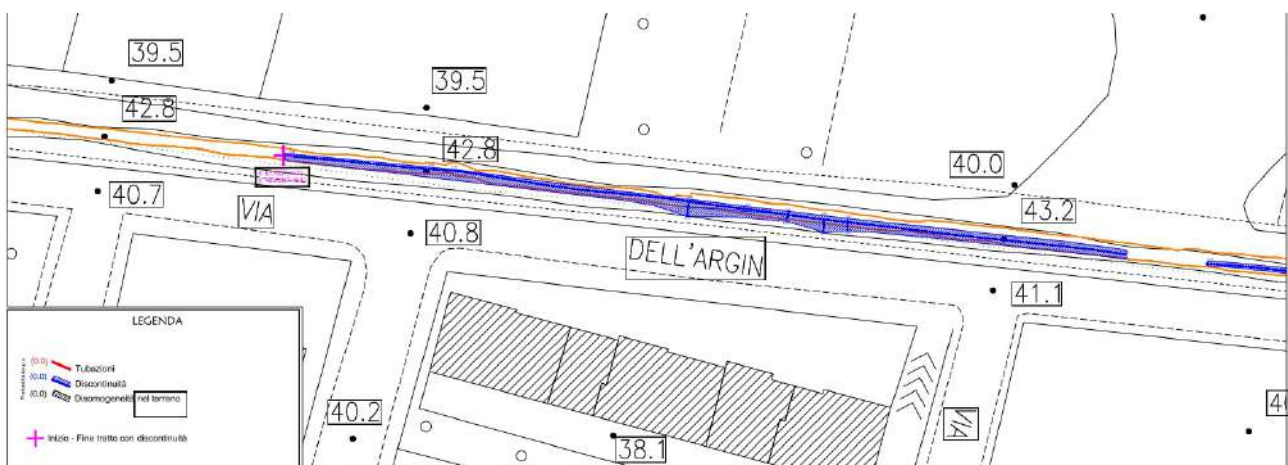
Le coordinate di inizio-fine delle discontinuità vengono riportate di seguito (e nelle tavole allegate):

INIZIO (all'altezza circa di via Ciseri, vedi immagine sottostante)

X: 677607.4472 / y: 4850007.4642

FINE (al termine ad est di via dell'Argingrosso)

X: 678035.9057 / y: 4849959.7712



Lungo l'argine ad ovest di via Ciseri la discontinuità sopra descritta non è stata individuata.



In sintesi il tratto di argine dove è stata individuata la struttura sepolta è di circa 425 metri, a partire dall'inizio orientale di via dell'Argingrosso.

Sono inoltre presenti delle tubazioni trasversali (in rosso) e delle disomogeneità nel terreno (in nero) (Tavole 02-11 in allegato).

Tutti i dettagli sono riportati nelle tavole in allegato.

3.5 Saggi con escavatore meccanico

Al fine di individuare più correttamente la natura della discontinuità lineare riscontrata con il georadar sono stati eseguiti n. 2 saggi con escavatore fino alla profondità di circa -1,50 m da sommità argine.

Il saggio n. 2 ha permesso di identificare la presenza a circa -0,50 m di materiale estremamente consistente costituito da pietre con spigoli vivi, molto probabilmente legate da cemento.





Saggio 2 con materiale resistente a -0,5 m dalla sommità dell'argine



Saggio 1 profondo 1,5 m dalla sommità dell'argine

3.6 Prove penetrometriche statiche CPT/dinamiche DPSH

Per la definizione delle litologie e la determinazione dei parametri geomeccanici lungo l'argine di via dell'Argingrosso è stata realizzata una campagna geognostica in situ costituita da n. 2 prove penetrometriche statiche CPT 2/3 e n. 1 prova dinamica DIN 4 in data 21.06.2023, con il raggiungimento della profondità di 8 metri.

La prova dinamica DIN 1 è stata invece realizzata a tergo di un muro a retta spondale a Ugnano.

Riepilogando i risultati presenti in allegato, sono stati individuati i seguenti livelli litologici lungo l'argine di via dell'Argingrosso, le cui profondità sono riferite al p.c. o alla sommità dell'argine:

Argingrosso (prove CPT 3 - DIN 4)

da sommità argine a circa 2,2 m	sabbia con limo/limo con sabbia debolmente argilloso
da 2,20 a 3,4 m	limo argilloso
da 3,4 circa 6,2/6,6 m	limo sabbioso debolmente argilloso e sabbia limosa
da 6,2/6,6 a 8,0 m	sabbia grossolana con livelli argillosi

argine sinistra idrografica F. Greve (prova CPT 2)

da sommità argine a circa 2,2 m	limo argilloso debolmente sabbioso
da 2,20 a 8,0 m	limo sabbioso debolmente argilloso e sabbia limosa

Ugnano (prova DIN 1)

Da p.c. a circa 0,40 m	terreno di riporto
da 0,40 a 6,20 m	limo argilloso
da 6,20 a 10 m	sabbia grossolana con livelli argillosi

3.7 Indagine sismica

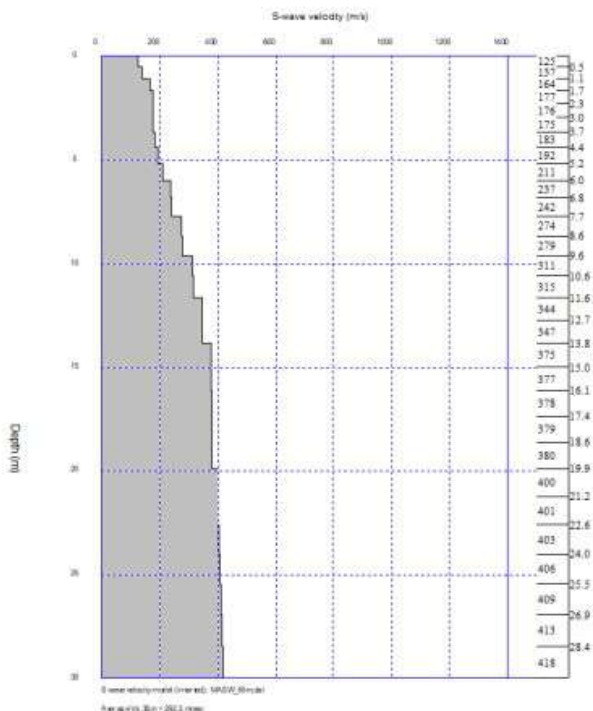
Sulla sommità dell'argine, in corrispondenza del sondaggio S1, è stata eseguita una campagna geofisica con analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, ed in particolare i valori di velocità delle onde di taglio, così come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (vedi allegati).

La classificazione dei terreni è ottenuta sulla base del valore della $V_{S,eq}$ (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio), definita dalla relazione:

$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$	h_i spessore dell'i-esimo strato; $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato; N numero di strati; H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.
---	---

Nella figura sottostante vengono riportati gli spessori e le relative velocità V_s , ricordando che, come in tutti i metodi geofisici, può essere ottenuta solo una stima del modello sismostratigrafico a causa del problema della non univocità.

Profilo V_s Inversione MASW



L'analisi della dispersione delle onde superficiali nelle componenti di Rayleigh/Love fornisce i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddetta V_s equivalente), così come previsto dal D.M. 17/01/2018 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni. Sulla base delle caratteristiche litologiche, ma soprattutto sulla base dei valori di velocità ottenuti, è stato possibile definire il valore di V_{SEQ} media per l'area in oggetto, considerando come riferimento la sommità dell'argine:

$$V_{SEQ} = V_{s30} = 290 \text{ m/s}$$

Sulla base del profilo sismostratigrafico ottenuto, il sito risulta compatibile con la **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C** secondo le NTC 2018 - Tabella 3.2.II - *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”*

Si evidenzia che nello specifico la carta dei fattori di amplificazione dello studio di microzonazione sismica di III livello allegata agli strumenti urbanistici individuano per la specifica area un fattore di amplificazione sismico di 1.53, in linea con tale risultato.

4. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

La presente relazione è redatta ai sensi delle Norme Tecniche (DM 17/01/2018) ed al D.P.G.R. n. 1/R del 2022, tenendo conto inoltre dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale (Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007) e degli Eurocodici 8 (1998), 7.1 (1997), 7.2 (2002), 7.3 (2002), inerenti la Progettazione geotecnica.

Con riferimento all'Eurocodice 7 riguardo alla Progettazione Geotecnica e come richiesto dalle NTC 2018, sulla base dei dati ricavati dalle indagini in situ, si sono calcolati i valori medi del terreno.

Pur nella consapevolezza che della modellazione geotecnica è responsabile il Progettista si suggeriscono, per un'eventuale comparativa, alcuni dei valori dei principali parametri geotecnici medi che derivano da una stima ragionata e cautelativa dei corrispettivi parametri elaborati nei certificati di prova.

UGNANO (prova DIN 1)

LIVELLI LITOTECNICI	Caratteristiche fisico - meccaniche					
	ϕ (°)	c_u kPa	c' kPa	γ kN/m ³	γ saturo kN/m ³	Modulo di deformazione E kPa
LIVELLO A: terreno di riporto (dal p.c. a circa -0,40 m dal p.c.)	18	10	-	17	20	2000
LIVELLO B: limo argilloso (da -0,40 a -6,20 m dal p.c.)	25	20	-	18	19	3000
LIVELLO C: sabbia grossolana con livelli argillosi (da -6,20 a -10 m dal p.c.)	32	-	-	19	20	25000

ARGINE SINISTRO FIUME GREVE, VICINO ALLA CONFLUENZA CON L'ARNO

LIVELLI LITOTECNICI	Caratteristiche fisico - meccaniche					
	ϕ (°)	c_u kPa	c' kPa	γ kN/m ³	γ saturo kN/m ³	Modulo di deformazione E kPa
LIVELLO A: limo argilloso debolmente sabbioso (da sommità arginale a -2,20 m)	24	50	-	18	19,5	4500
LIVELLO B: limo sabbioso debolmente argilloso e sabbia limosa (da -2,20 a -8 m da sommità arginale)	28	-	-	19	20	12000

ARGINE VIA DELL'ARGININGROSSO

LIVELLI LITOTECNICI	Caratteristiche fisico - meccaniche					
	ϕ' (°)	c_u kPa	c' kPa	γ kN/m ³	γ saturo kN/m ³	Modulo di deformazione E kPa
LIVELLO A: limo con sabbia debolmente argilloso (dalla sommità arginale a circa -3,50 m)	29	40	10	16,5	19	5000
LIVELLO B: limo sabbioso debolmente argilloso e sabbia limosa (da -3,50 a -6,00 m da sommità arginale)	28	-	-	18,5	19,5	9000
LIVELLO C: sabbia grossolana con livelli argillosi (da -6,0 a -8,0 m da sommità arginale)	36	-	-	19	20	25000

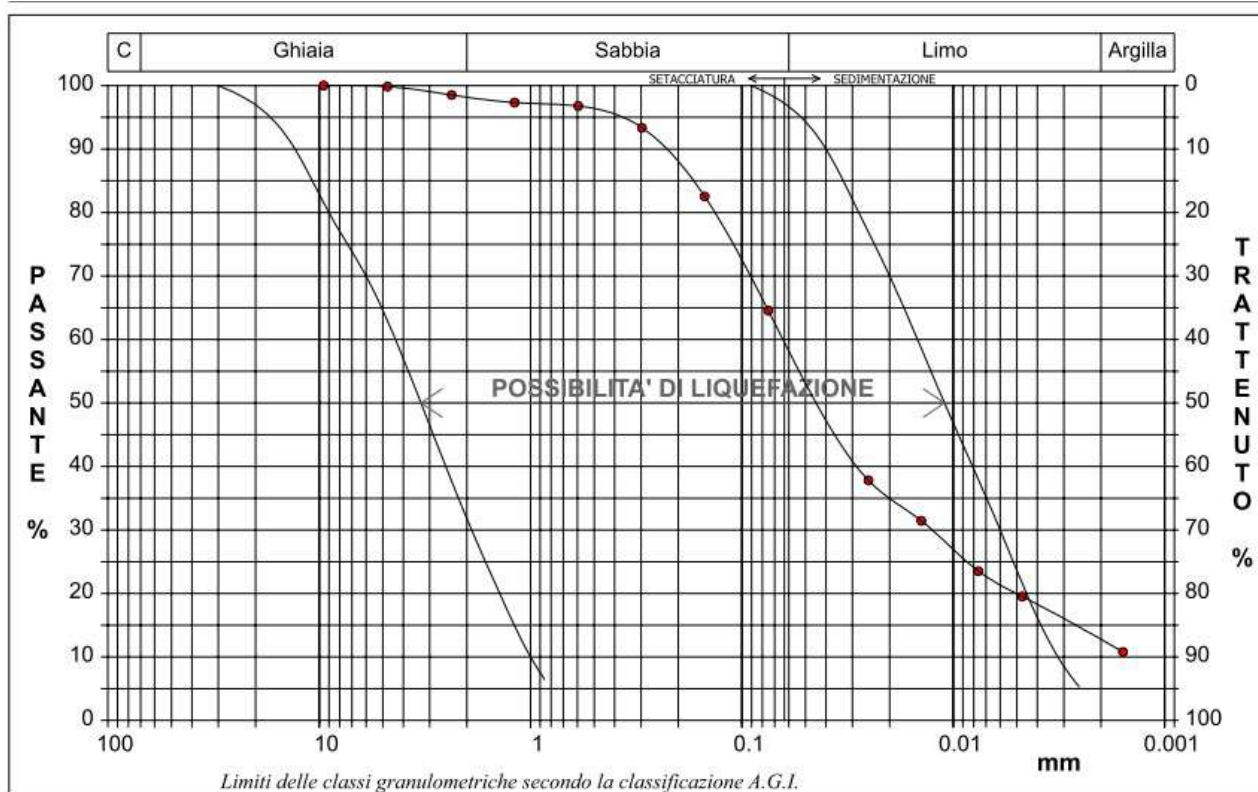
Da un confronto tra i risultati delle prove penetrometriche statica CPT 3 e dinamica DIN 4 eseguite sull'argine di via dell'Argingrosso con quelli del sondaggio a carotaggio continuo e delle prove geotecniche di laboratorio sul campione indisturbato prelevato, si rileva una uniformità sia nella stratigrafia riscontrata che nelle caratteristiche geomeccaniche dei materiali attraversati.

5. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il potenziale di liquefazione prodotto per tensioni cicliche derivanti da un evento tellurico nasce dall'istantaneo incremento di pressioni neutre sottoposte all'accelerazione sismica, che possono comportare il totale annullamento delle pressioni effettive intergranulari, determinando il completo decadimento della resistenza tangenziale di un terreno a comportamento esclusivamente granulare.

Perché ciò possa accadere occorre che il sedimento non sia dotato di coesione e che il drenaggio non sia talmente rapido da avvenire istantaneamente. Per tali motivazioni soltanto i depositi sabbiosi fini monogranulari, saturi e non addensati risultano soggetti a tale tipo di rischio.

Dall'analisi granulometrica sono stati elaborati i grafici della granulometria a confronto con i fusi da normativa per la verifica della potenziale liquefazione Sondaggio S1 campione C1 (0,5-1,0 m).



Dall'analisi del grafico è emerso che la curva granulometrica risulta esterna alla zona di suscettibilità con percentuale di circa il 18%.



Il Tecnico
(Dott. Geol. Daria Duranti)

Sesto Fiorentino, 14.09.2023

ALLEGATI

- ORTOFOTO CON UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE:

✓ SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO CON PROVE SPT IN
FORO

✓ PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO

✓ PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

✓ PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT/DINAMICHE DPSH

✓ GEORADAR

✓ INDAGINI GEOFISICHE (MASW)



Via Pisroiese

QUARACCHI

LE PIAGGE

Via Francesco Ba

Arno

Prova penetrometrica
CPT2 (8 m)
sx idrografica F. Greve

Mantignano

Prova penetrometrica
CPT3 (8 m)

MASW

Sondaggio S1 (8 m)

Prova
penetrometrica
DIN4 (8 m)

Via A. Canova

Via A. Canova

Via A. Canova

Google Earth

Image Landsat / Copernicus

1 km





Committente A4 Ingegneria stp a r.l.			Località Firenze (FI)		Certificato n° / Data 169A del 24/07/2023	
Cantiere Via dell'Argingrosso			Sondaggio n. S1	Inizio / Fine Esecuzione Dal 20/07/2023 al 21/07/2023		Commessa n° / Data 169 del 31/05/2023
Responsabile di sito Dr. Alessio Costantini	Operatore D'Andrea e Gorini	Tipo Carotaggio continuo		Tipo Sonda T41 Rossa	Diametro perforazione / Diametro rivestimento 101 mm / 127 mm	

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Piezometro	P-(1)
1		Sabbia debolmente limoso argillosa con livelletti maggiormente argillosi.			0.50 S 1.00					
2										
3										
4		Limo sabbioso debolmente argilloso.	3.70	1-1-1 2.00 PC			(RM) 3.00			
5				1-1-1 4.00 PC						
6		Sabbia grossolana a tratti debolmente limoso argillosa.	5.90					# 1		
7										
8			8.00	15-15-15 8.00 PC		(CS) 8.00	# 2			

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC - PROVA PER IMMISSIONE A CARICO VARIABILE

COMMESSA n°: **169** del **31/05/2023** CERTIFICATO n°: **169B** del **25/07/23**

COMMITTENTE: **A4 Ingegneria - Regione Toscana**

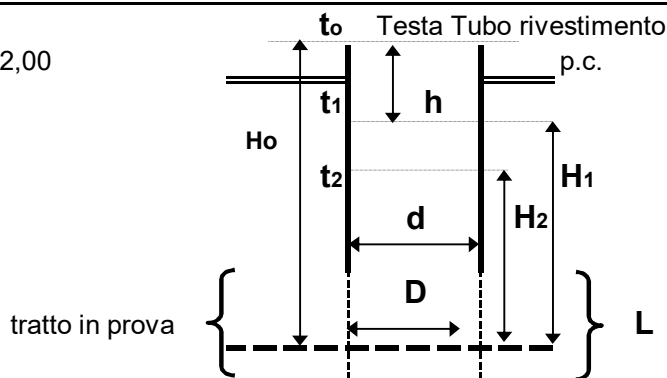
CANTIERE: **Loc. Argingrosso - Firenze (FI)**

SONDAGGIO n°: **S1**

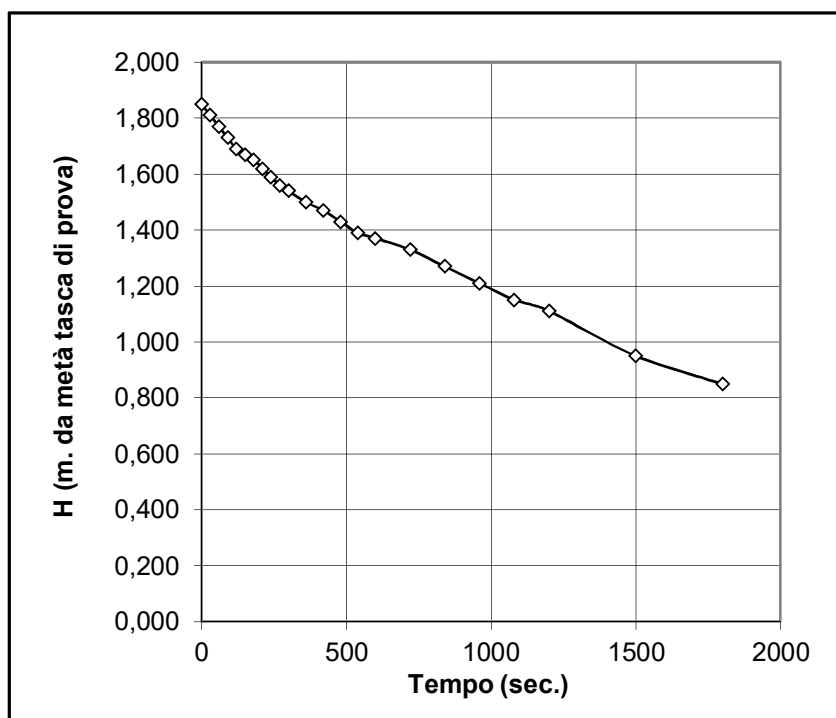
PROVA n°: **1**

DATA: **20/07/23**

TRATTO IN PROVA	m da p.c. da	1,50	a	2,00
TEMPO DI PROVA	minuti	30,00		
PROFONDITÀ FONDO FORO	m da p.c.	-2,00		
PROFONDITÀ RIVESTIMENTO	m da p.c.	-1,50		
ALTEZZA T.T. RIVESTIMENTO	m da p.c.	0,10		
LIVELLO DELLA FALDA	m da p.c.	N.D.		
LUNGHEZZA TASCA	L m	0,50		
DIAMETRO TASCA	D m	0,101		
DIAMETRO RIVESTIMENTO	d m	0,127		



t (sec)	Livello da T.T. (m)	h m da p.c.	H m	K m/sec
0	0,000	0,100	1,850	
30	-0,040	0,060	1,810	6,77E-06
60	-0,08	0,020	1,770	6,92E-06
90	-0,120	-0,020	1,730	7,07E-06
120	-0,160	-0,060	1,690	7,24E-06
150	-0,180	-0,080	1,670	3,68E-06
180	-0,200	-0,100	1,650	3,73E-06
210	-0,230	-0,130	1,620	5,68E-06
240	-0,260	-0,160	1,590	5,79E-06
270	-0,290	-0,190	1,560	5,90E-06
300	-0,310	-0,210	1,540	3,99E-06
360	-0,350	-0,250	1,500	4,07E-06
420	-0,380	-0,280	1,470	3,13E-06
480	-0,420	-0,320	1,430	4,27E-06
540	-0,460	-0,360	1,390	4,39E-06
600	-0,480	-0,380	1,370	2,24E-06
720	-0,520	-0,420	1,330	2,29E-06
840	-0,580	-0,480	1,270	3,57E-06
960	-0,640	-0,540	1,210	3,74E-06
1080	-0,700	-0,600	1,150	3,94E-06
1200	-0,740	-0,640	1,110	2,74E-06
1500	-0,900	-0,800	0,950	4,82E-06
1800	-1,000	-0,900	0,850	3,44E-06



K = 4,52E-06 m/sec
 media sull'intero intervallo

LITOLOGIA TRATTO IN PROVA: **Sabbia Limosa**

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC - PROVA PER IMMISSIONE A CARICO VARIABILE

COMMESSA n°: **169** del **31/05/2023** CERTIFICATO n°: **169C** del **25/07/23**

COMMITTENTE: **A4 Ingegneria - Regione Toscana**

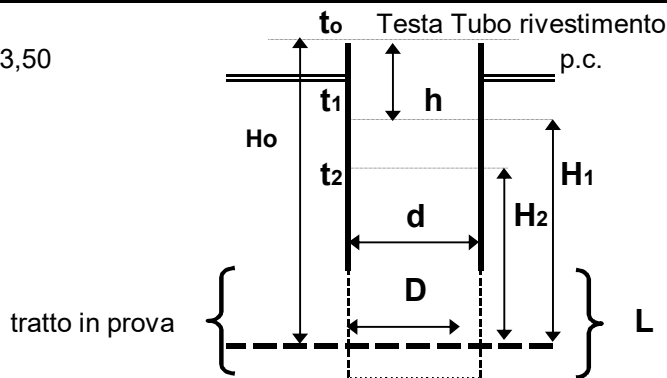
CANTIERE: **Loc. Argingrosso - Firenze (FI)**

SONDAGGIO n°: **S1**

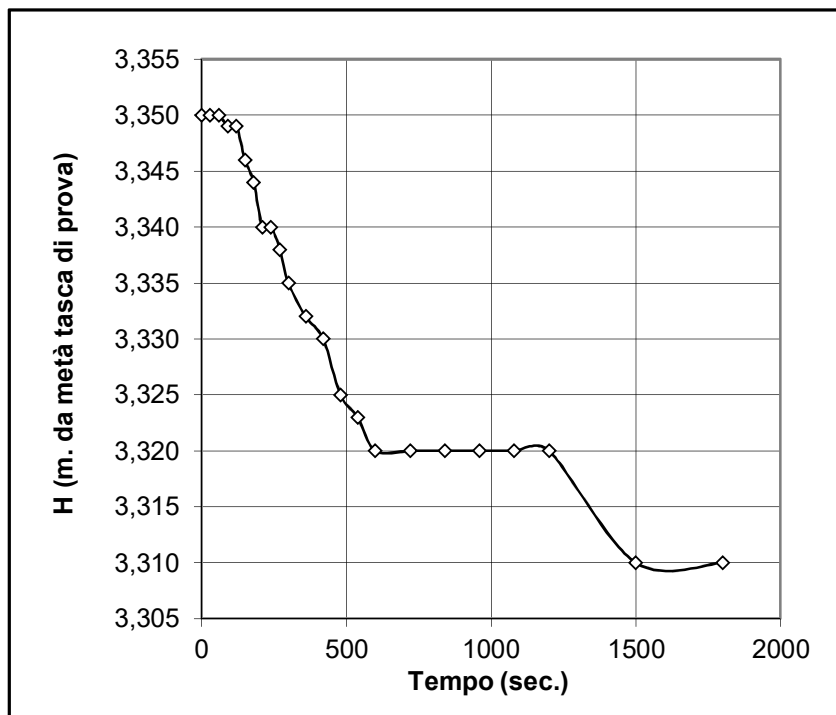
PROVA n°: **2**

DATA: **20/07/23**

TRATTO IN PROVA	m da p.c. da	3,00	a	3,50
TEMPO DI PROVA	minuti	60,00		
PROFONDITÀ FONDO FORO	m da p.c.	-3,50		
PROFONDITÀ RIVESTIMENTO	m da p.c.	-3,00		
ALTEZZA T.T. RIVESTIMENTO	m da p.c.	0,10		
LIVELLO DELLA FALDA	m da p.c.	N.D.		
LUNGHEZZA TASCA	L m	0,50		
DIAMETRO TASCA	D m	0,101		
DIAMETRO RIVESTIMENTO	d m	0,127		



t (sec)	Livello da T.T. (m)	h m da p.c.	H m	K m/sec
0	0,000	0,100	3,350	
30	0,000	0,100	3,350	0,00E+00
60	0,000	0,100	3,350	0,00E+00
90	-0,001	0,099	3,349	9,24E-08
120	-0,001	0,099	3,349	0,00E+00
150	-0,004	0,096	3,346	2,77E-07
180	-0,006	0,094	3,344	1,85E-07
210	-0,010	0,090	3,340	3,70E-07
240	-0,010	0,090	3,340	0,00E+00
270	-0,012	0,088	3,338	1,85E-07
300	-0,015	0,085	3,335	2,78E-07
360	-0,018	0,082	3,332	1,39E-07
420	-0,020	0,080	3,330	9,29E-08
480	-0,025	0,075	3,325	2,33E-07
540	-0,027	0,073	3,323	9,31E-08
600	-0,030	0,070	3,320	1,40E-07
720	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
840	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
960	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
1080	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
1200	-0,030	0,070	3,320	0,00E+00
1500	-0,040	0,060	3,310	9,34E-08
1800	-0,040	0,060	3,310	0,00E+00



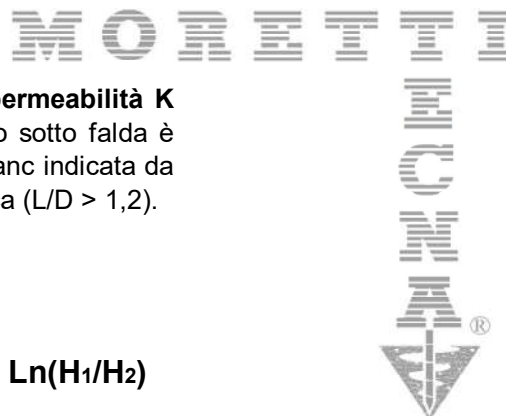
K = 9,91E-08 m/sec
media sull'intero intervallo

LITOLOGIA TRATTO IN PROVA: **Sabbia limo-argillosa**

PROVA DI PERMEABILITÀ "LEFRANC"

PROVA PER IMMISSIONE A CARICO VARIABILE

LEGENDA:

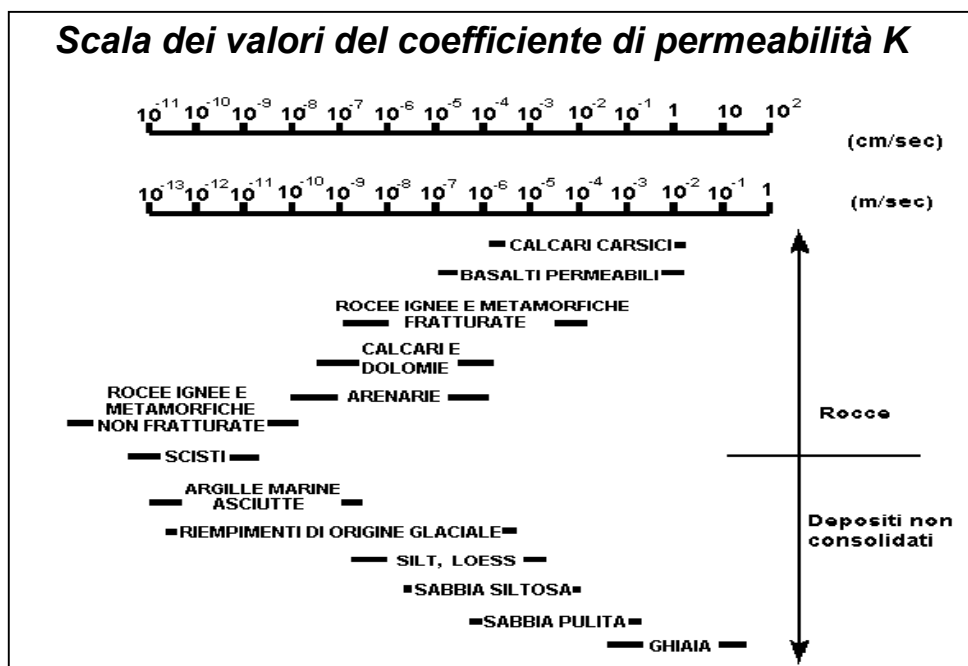


La determinazione in sito del **coefficiente di permeabilità K** del tratto filtrante (tratto in prova) sopra falda o sotto falda è stata determinata utilizzando la formula di Le Franc indicata da Cassan (1980), per cavità di filtrazione ellissoidica ($L/D > 1,2$).

Formula a carico variabile:

$$K = \left\{ \frac{d^2 * \ln [L/D + \sqrt{(L^2/D^2 + 1)}]}{8L * (t_2 - t_1)} \right\} * \ln(H_1/H_2)$$

d = diametro interno del rivestimento	(m.)
L = lunghezza del tratto di prova (tasca di prova)	(m.)
D = diametro della tasca di prova	(m.)
h = p.c.	(m.)
t₀ = tempo di lettura dell'altezza dell'acqua ad inizio prova	(sec.)
t₁ = tempo di lettura dell'altezza dell'acqua h ₁	(sec.)
t₂ = tempo di lettura dell'altezza dell'acqua h ₂	(sec.)
H₀ = carico idraulico al tempo t ₀ (m.)	(m.)
H₁ = carico idraulico al tempo t ₁ (m.)	(m.)
H₂ = carico idraulico al tempo t ₂ (m.)	(m.)
K = coefficiente di permeabilità in sito	(m/sec)





Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Settore A – Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 – ART. 59 DPR 380/2001 – Circolare 7618/STC 2010

LABOTER Srl

Lab. Geotecnico - C.S.LL.PP. Decr. 2436/13

Committente : TECNA srl
Cantiere : Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)

Verbale Accettazione n° : 393 del 27/07/2023
Data Certificazione : 14/09/2023
Campioni n°: 1
Certificati da n° a n° : 04412 a 04415



**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

COMMITTENTE:	TECNA srl				
RIFERIMENTO:	Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)				
SONDAGGIO:	1	CAMPIONE:	1	PROFONDITA': m	0.5-1.0

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	14,1	%
Peso di volume	16,6	kN/m ³
Peso di volume secco	14,6	kN/m ³
Peso di volume saturo	19,0	kN/m ³
Peso specifico	26,5	kN/m ³
Indice dei vuoti	0,817	
Porosità	45,0	%
Grado di saturazione	46,7	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		%
Passante al set. n° 42		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	1,8	%
Sabbia	39,1	%
Limo	46,4	%
Argilla	12,7	%
D 10	0,001425	mm
D 50	0,041393	mm
D 60	0,062242	mm
D 90	0,240229	mm
Passante set. 10	98,2	%
Passante set. 42	95,1	%
Passante set. 200	64,6	%

COMPRESSIONE

σ	kPa
c_u	kPa
σ_{Rim}	kPa
$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c'	10,2	kPa	
ϕ'	29,4	°	
c'_{Res}		kPa	
ϕ'_{Res}		°	

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	C_d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	C'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	C_{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
U.U.	C_u	kPa	ϕ_u	°

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

FOTOGRAFIA**OSSERVAZIONI**

<p>Tipi di campione: Cilindrico</p> <p>Qualità del campione: Q 5</p>
--

Posizione delle prove		cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
CF	GR	TD				
					0	Limo con sabbia argilloso MUNSELL SOIL COLOR: 7.5YR 5/3 Brown
					5	
					10	
					15	Le dimensioni del campione non hanno permesso la preparazione di provini idonei ad esser sottoposti a prova edometrica, prova di permeabilità e limiti di Atterberg

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 04412	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 14/09/23	Inizio analisi: 06/09/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 393 del 27/07/23		Apertura campione: 06/09/23	Fine analisi: 07/09/23

COMMITTENTE: TECNA srl			
RIFERIMENTO: Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	0.5-1.0

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216-10

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 14,1 %

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo
☐ Stratificato
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Il direttore del laboratorio
Dott. ~~Georgio~~ Paolo Tognelli

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 04414 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 393 del 27/07/23

DATA DI EMISSIONE: 14/09/23

Inizio analisi: 07/09/23

Apertura campione: 06/09/23

Fine analisi: 12/09/23

COMMITTENTE: TECNA srl

RIFERIMENTO: Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)

SONDAGGIO: 1

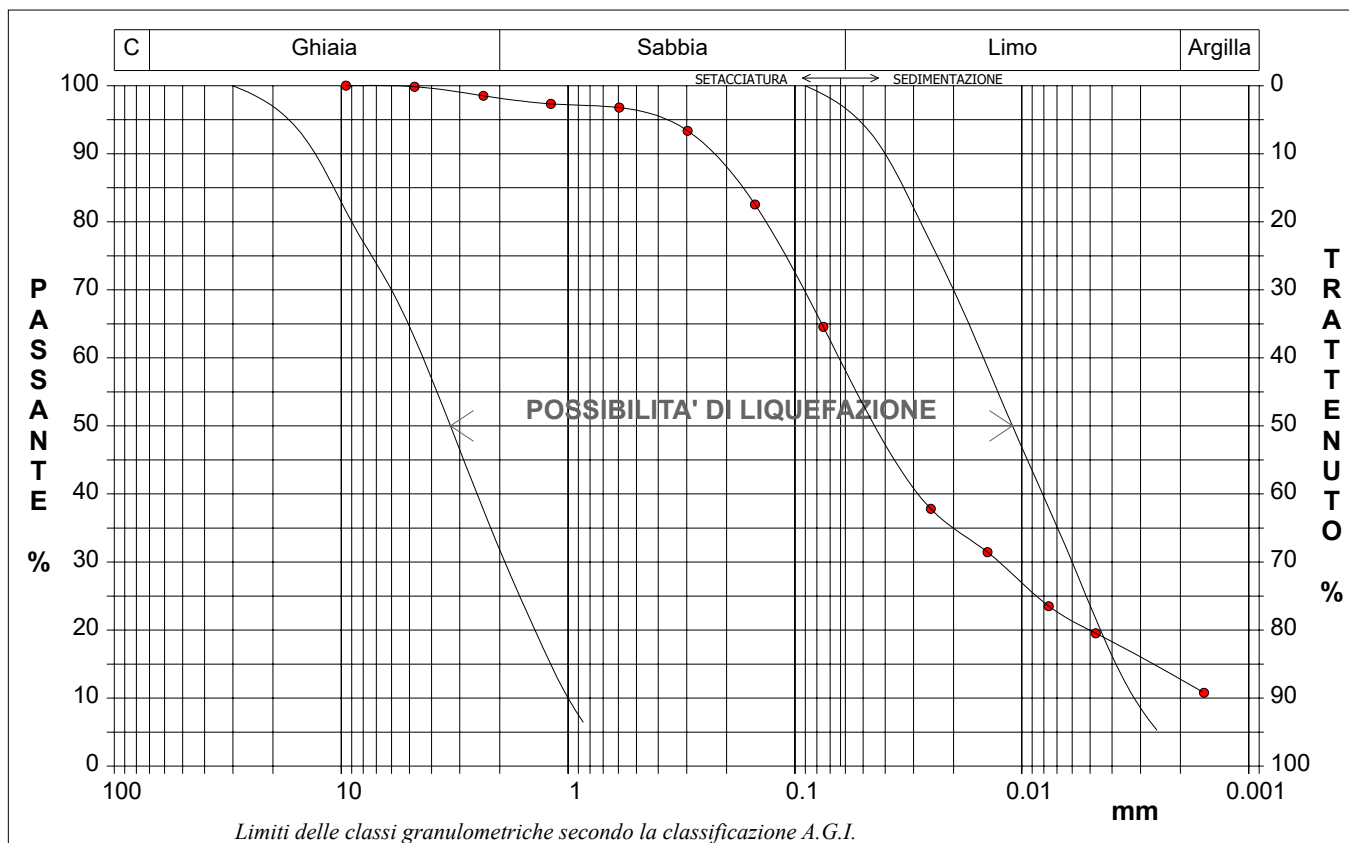
CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 0.5-1.0

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma A.G.I. 1977

Ghiaia	1,8 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	98,2 %	D10	0,00142 mm
Sabbia	39,1 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	95,1 %	D30	0,01265 mm
Limo	46,4 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	64,6 %	D50	0,04139 mm
Argilla	12,7 %			D60	0,06224 mm
				D90	0,24023 mm
Coefficiente di uniformità		43,68	Coefficiente di curvatura		1,80



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
9,5200	100,00	0,2970	93,36	0,0076	23,50				
4,7500	99,84	0,1500	82,53	0,0047	19,53				
2,3600	98,52	0,0750	64,57	0,0016	10,79				
1,1900	97,32	0,0252	37,81					Setacci	7
0,5950	96,78	0,0142	31,45					Punti sediment.	5

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 04415 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 393 del 27/07/23

DATA DI EMISSIONE: 14/09/23 Inizio analisi: 06/09/23

Apertura campione: 06/09/23 Fine analisi: 09/09/23

COMMITTENTE: TECNA srl

RIFERIMENTO: Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 0.5-1.0

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

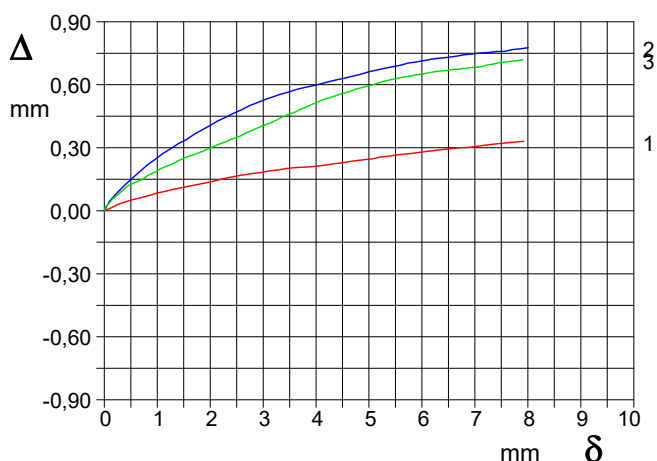
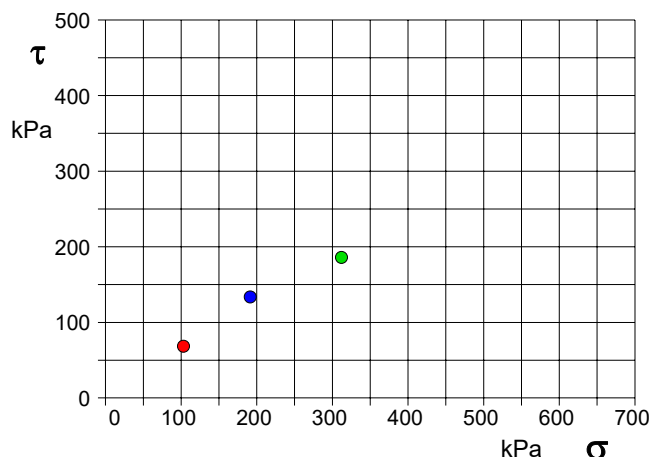
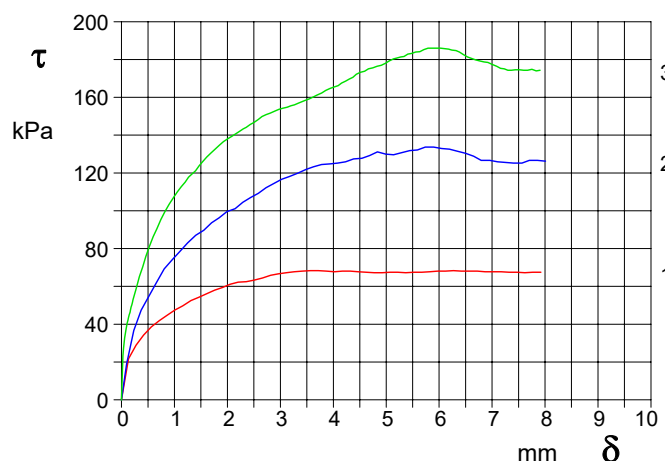
Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	68	134	186
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	3,57	5,74	5,79
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,21	0,70	0,64
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 23,7	--- 27,0	--- 22,8
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	15,3 20,2	17,9 25,6	16,6 22,7

DIAGRAMMATensione - Pressione verticale

Tipo di prova: Consolidata - lenta

Velocità di deformazione: 0,030 mm / min

Tempo di consolidazione (ore): 24

DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 04415	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 14/09/23	Inizio analisi: 06/09/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 393 del 27/07/23		Apertura campione: 06/09/23	Fine analisi: 09/09/23

COMMITTENTE: TECNA srl			
RIFERIMENTO: Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	0.5-1.0

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,133	21,7	0,01	0,095	18,9	0,05	0,027	23,2	0,02
0,415	34,2	0,04	0,370	47,4	0,12	0,059	32,8	0,03
0,716	41,9	0,06	0,664	62,2	0,19	0,096	38,8	0,04
1,009	47,5	0,09	0,956	74,1	0,24	0,130	43,5	0,05
1,310	52,5	0,10	1,248	83,0	0,30	0,169	47,4	0,06
1,609	56,1	0,12	1,552	89,6	0,34	0,209	51,6	0,07
1,909	59,4	0,13	1,845	96,3	0,39	0,338	65,1	0,09
2,205	62,2	0,15	2,146	101,1	0,43	0,524	81,0	0,13
2,510	63,3	0,17	2,440	107,0	0,46	0,743	95,4	0,15
2,817	65,8	0,18	2,729	112,2	0,50	0,979	106,8	0,19
3,114	67,2	0,19	3,025	116,7	0,53	1,201	115,2	0,22
3,416	68,1	0,20	3,335	120,0	0,56	1,399	121,2	0,24
3,720	68,3	0,21	3,629	123,3	0,58	1,611	128,4	0,26
4,025	67,8	0,21	3,937	124,8	0,60	1,848	134,7	0,28
4,319	68,1	0,22	4,233	125,9	0,61	2,083	139,4	0,31
4,624	67,5	0,23	4,540	127,8	0,63	2,299	143,3	0,33
4,925	67,2	0,24	4,834	131,1	0,65	2,503	146,7	0,35
5,217	67,5	0,26	5,139	129,6	0,67	2,734	150,9	0,38
5,522	67,5	0,27	5,446	131,8	0,69	2,973	153,7	0,40
5,821	67,8	0,27	5,738	133,7	0,70	3,198	155,5	0,43
6,119	68,1	0,28	6,049	132,9	0,72	3,404	157,6	0,45
6,417	68,1	0,29	6,348	131,5	0,73	3,627	160,2	0,47
6,719	68,1	0,30	6,652	128,9	0,74	3,858	163,6	0,50
7,027	67,8	0,31	6,958	126,6	0,75	4,093	166,2	0,52
7,321	67,5	0,32	7,256	125,5	0,75	4,302	169,6	0,54
7,620	67,2	0,32	7,563	125,2	0,76	4,510	173,3	0,56
7,922	67,5	0,33	7,856	126,6	0,77	4,747	175,6	0,58
						4,981	177,9	0,59
						5,198	180,8	0,61
						5,406	182,9	0,62
						5,636	184,2	0,64
						5,864	186,0	0,65
						6,106	185,8	0,66
						6,319	184,7	0,66
						6,537	181,3	0,67
						6,768	179,3	0,68
						7,006	177,4	0,68
						7,230	175,1	0,69
						7,439	174,6	0,70
						7,670	174,3	0,71
						7,907	174,3	0,72

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 04415 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 393 del 27/07/23

DATA DI EMISSIONE: 14/09/23 Inizio analisi: 06/09/23

Apertura campione: 06/09/23 Fine analisi: 09/09/23

COMMITTENTE: TECNA srl

RIFERIMENTO: Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 0.5-1.0

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1

Pressione (kPa)	103
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,877
Sezione (cm²):	36,00
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

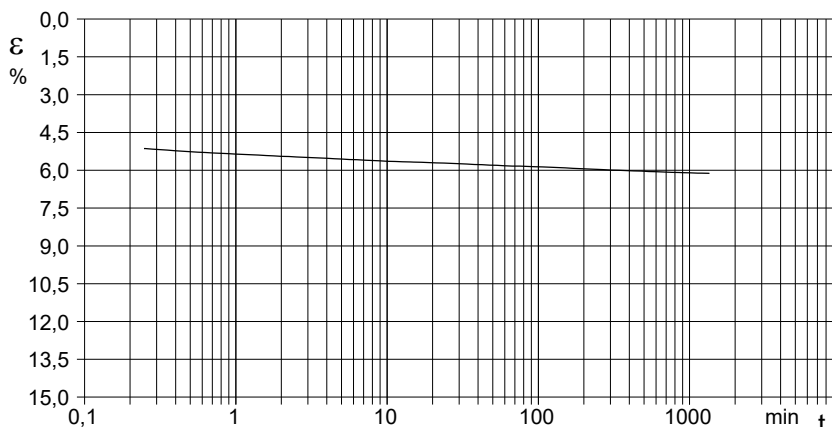


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2

Pressione (kPa)	191
Altezza iniziale (cm)	1,970
Altezza finale (cm)	1,753
Sezione (cm²):	36,24
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

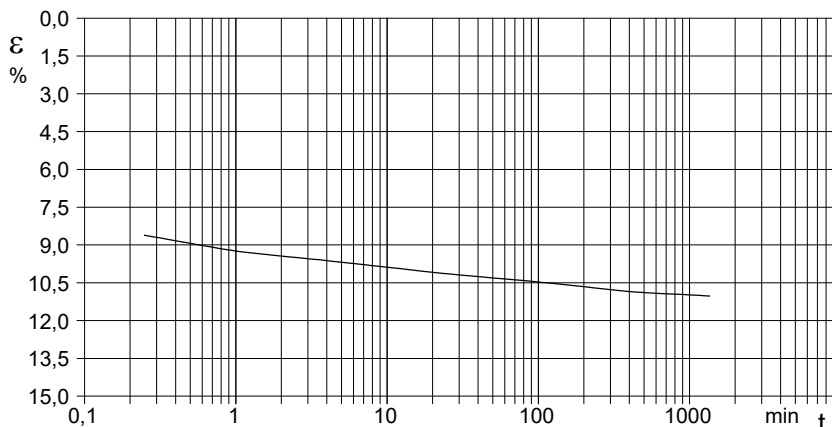
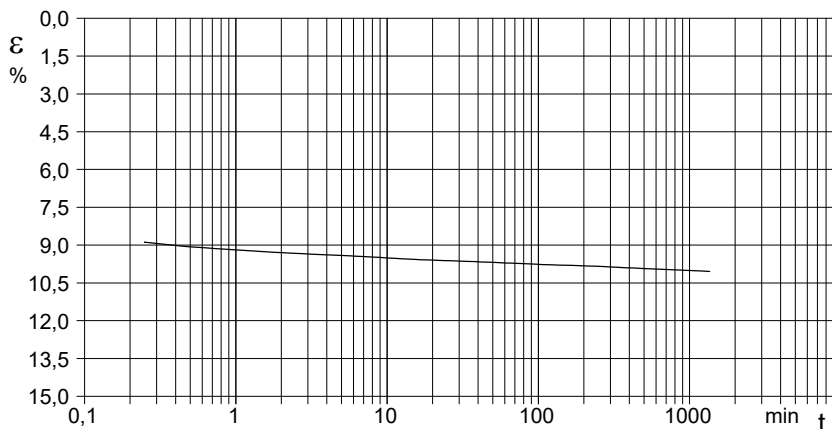


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3

Pressione (kPa)	312
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,799
Sezione (cm²):	36,00
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 50 x T₅₀

Vs = Df / tf

CERTIFICATO DI PROVA N°: 04415	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 14/09/23	Inizio analisi: 06/09/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 393 del 27/07/23		Apertura campione: 06/09/23	Fine analisi: 09/09/23

COMMITTENTE: TECNA srl			
RIFERIMENTO: Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	0.5-1.0

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

[illegible]

COMMITTENTE: TECNA srl			
RIFERIMENTO: Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	0.5-1.0

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	68	134	186
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	3,57	5,74	5,79
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,21	0,70	0,64
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 23,7	--- 27,0	--- 22,8
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	15,3 20,2	17,9 25,6	16,6 22,7

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Coesione: 10,2 kPa
Angolo di attrito interno: 29,4 °

Tipo di prova: Consolidata - lenta
Velocità di deformazione: 0,030 mm / min
Tempo di consolidazione (ore): 24

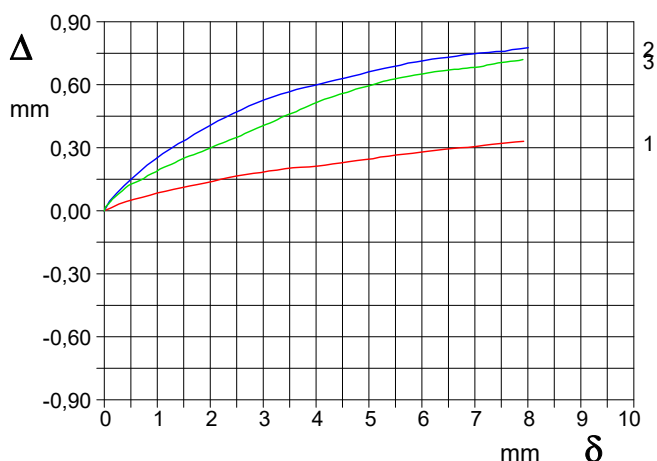
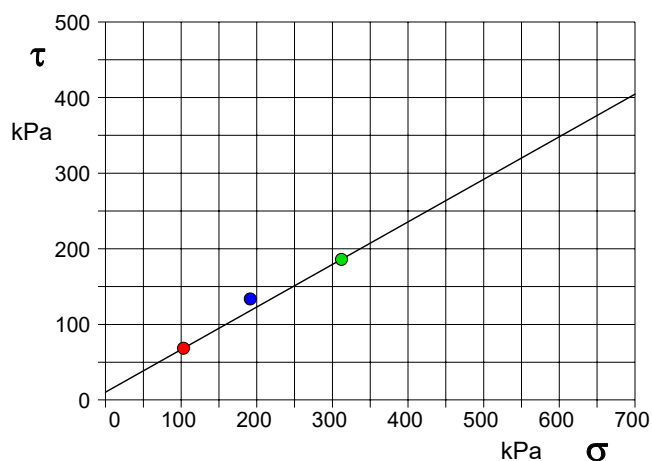


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

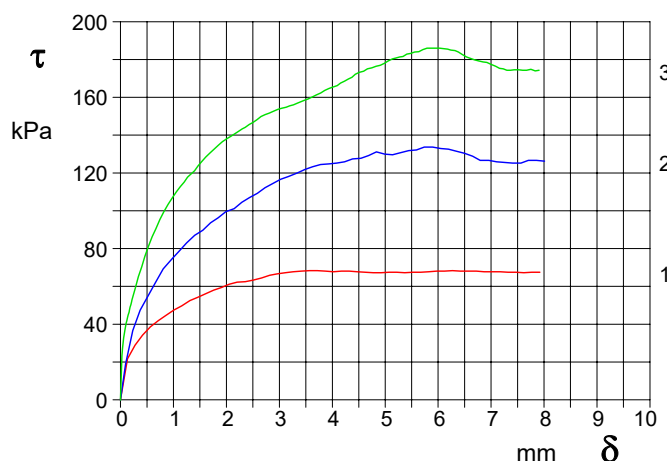


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

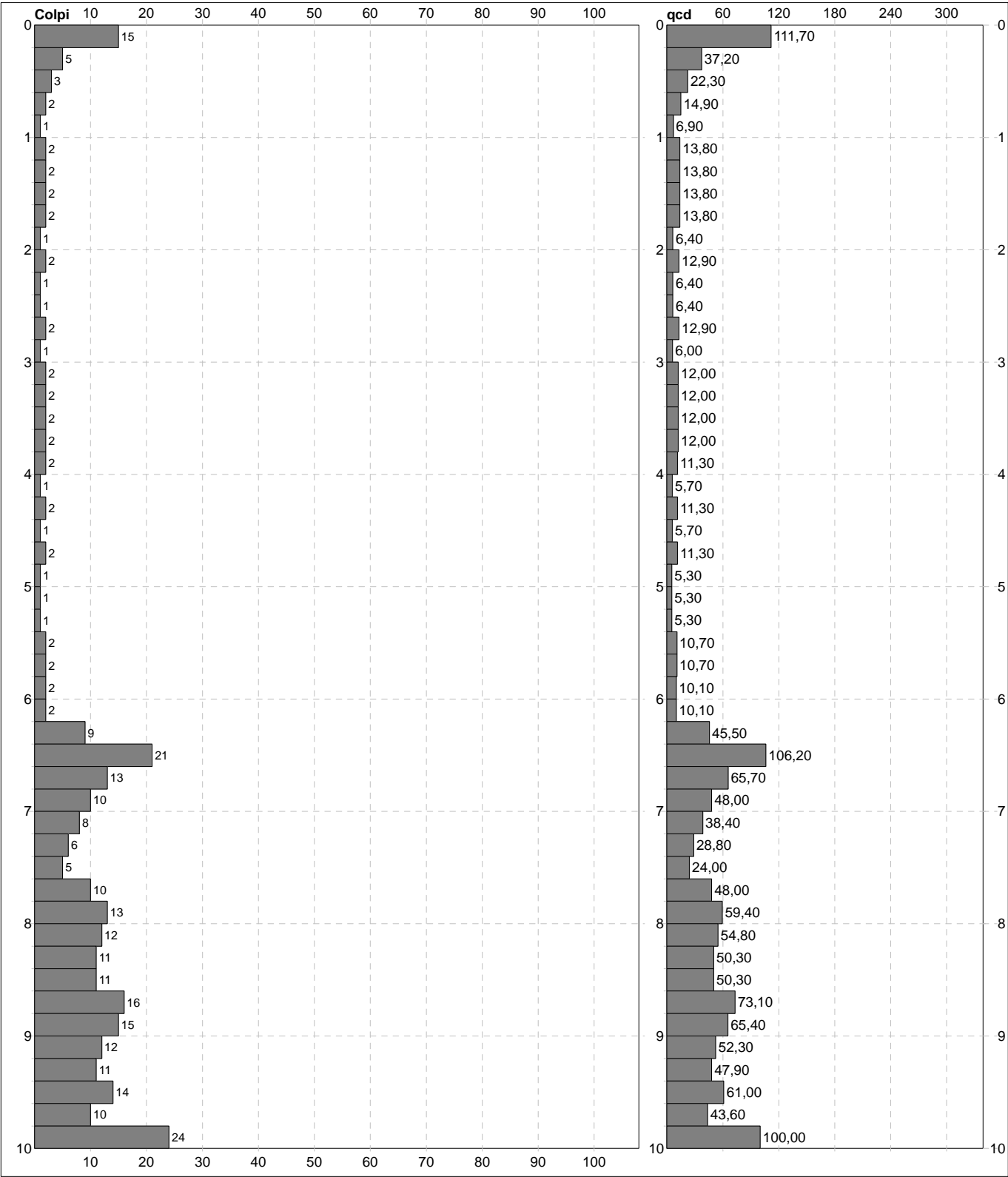
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI		DIN	1
		Riferimento	098-2023
		Certificato	169A/2023
		n verb. acct.	169 del 31/05/23
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data esec. 21/06/2023
Cantiere	Indagine geognostica argine fiume Arno	Pagina 1	Data certificato 21/06/2023
Località	Via di Ugnano - Firenze (FI)	Elaborato	Falda Non rilevata

H m	L1 n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²	H m	L1 n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²
0,20	1	15		111,7					
0,40	1	5		37,2					
0,60	2	3		22,3					
0,80	2	2		14,9					
1,00	2	1		6,9					
1,20	2	2		13,8					
1,40	2	2		13,8					
1,60	3	2		13,8					
1,80	3	2		13,8					
2,00	3	1		6,4					
2,20	3	2		12,9					
2,40	3	1		6,4					
2,60	4	1		6,4					
2,80	4	2		12,9					
3,00	4	1		6,0					
3,20	4	2		12,0					
3,40	4	2		12,0					
3,60	5	2		12,0					
3,80	5	2		12,0					
4,00	5	2		11,3					
4,20	5	1		5,7					
4,40	5	2		11,3					
4,60	6	1		5,7					
4,80	6	2		11,3					
5,00	6	1		5,3					
5,20	6	1		5,3					
5,40	6	1		5,3					
5,60	7	2		10,7					
5,80	7	2		10,7					
6,00	7	2		10,1					
6,20	7	2		10,1					
6,40	7	9		45,5					
6,60	8	21		106,2					
6,80	8	13		65,7					
7,00	8	10		48,0					
7,20	8	8		38,4					
7,40	8	6		28,8					
7,60	9	5		24,0					
7,80	9	10		48,0					
8,00	9	13		59,4					
8,20	9	12		54,8					
8,40	9	11		50,3					
8,60	10	11		50,3					
8,80	10	16		73,1					
9,00	10	15		65,4					
9,20	10	12		52,3					
9,40	10	11		47,9					
9,60	11	14		61,0					
9,80	11	10		43,6					
10,00	11	24		100,0					

H = profondità	qcd = punta
L1	
L1 = L2	
L2 = asta	

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA	DIN	1
	Riferimento	098-2023
	Certificato	169A/2023
	n verb. acct.	169 del 31/05/23

Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data esec.	21/06/2023
Cantiere	Indagine geognostica argine fiume Arno	Scala: 1:50	Data certificato	21/06/2023
Località	Via di Ugnano - Firenze (FI)	Pagina 1	Quota inizio: : Piano Campagna	
		Elaborato	Falda	Non rilevata



Penetrometro: DPSH (S. Heavy) 63,50 kg 0,75 m 0,20 m	Responsabile:: Assistente::	preforo m Corr.astine: : kg/ml Cod.ISTAT: 048017
--	--	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA			DIN	1
			Riferimento	098-2023
			Certificato	169A/2023
			n verb. acct.	169 del 31/05/23
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore		U.M.: kg/cm²	Data esec. 21/06/2023
Cantiere	Indagine geognostica argine fiume Arno		Pagina 1	Data certificato 21/06/2023
Località	Via di Ugnano - Firenze (FI)		Elaborato	Falda Non rilevata

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 0,20	Media	15	1,52	23	112	101	82	147	5,59	Coes./Gran.	
2	0,20 : 6,20	Media	2	1,52	3	15	12	113	29	0,73	Coes./Gran.	
3	6,20 : 9,80	Media	12	1,52	17	54	47	182	116	2,67	Coes./Gran.	
4	9,80 : 10,00	Media	24	1,52	36	100	94	236	211	5,00	Coes./Gran.	

			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	0,00 : 0,20	23	1,44	2,06	22,58	0,61	75	55	34	369	2,01	1,62	318	---
2	0,20 : 6,20	3	0,19	1,78	44,21	1,19	28	11	27	214	1,86	1,38	105	---
3	6,20 : 9,80	17	1,06	1,98	26,99	0,73	63	46	32	322	1,97	1,56	264	---
4	9,80 : 10,00	36	2,25	2,10	20,20	0,55	102	71	38	469	2,08	1,74	429	---

nota: Piezometro 4.00 m

FON049

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	2
	Riferimento	098-2023
	Certificato	169B/2023
	n verb. acct.	169 del 31/05/23

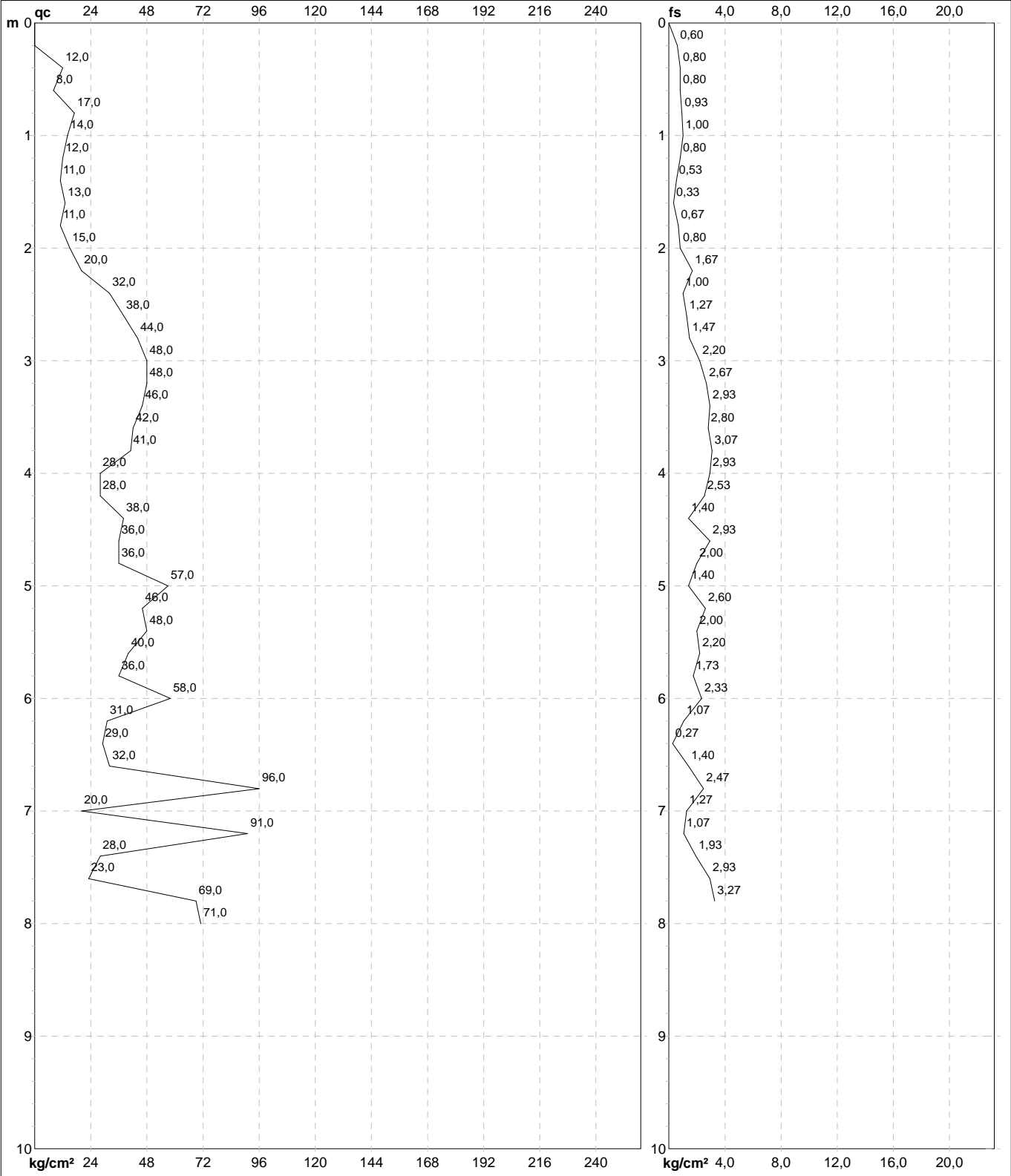
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data esec.	21/06/2023
Cantiere	Argine sinistro fiume Greve	Pagina 1	Data certificato	21/06/2023
Località	Firenze (FI)	Elaborato	Falda	Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,60	0									
0,40	12,0	21,0		12,0	0,80	15	6,7								
0,60	8,0	20,0		8,0	0,80	10	10,0								
0,80	17,0	29,0		17,0	0,93	18	5,5								
1,00	14,0	28,0		14,0	1,00	14	7,1								
1,20	12,0	27,0		12,0	0,80	15	6,7								
1,40	11,0	23,0		11,0	0,53	21	4,8								
1,60	13,0	21,0		13,0	0,33	39	2,5								
1,80	11,0	16,0		11,0	0,67	16	6,1								
2,00	15,0	25,0		15,0	0,80	19	5,3								
2,20	20,0	32,0		20,0	1,67	12	8,4								
2,40	32,0	57,0		32,0	1,00	32	3,1								
2,60	38,0	53,0		38,0	1,27	30	3,3								
2,80	44,0	63,0		44,0	1,47	30	3,3								
3,00	48,0	70,0		48,0	2,20	22	4,6								
3,20	48,0	81,0		48,0	2,67	18	5,6								
3,40	46,0	86,0		46,0	2,93	16	6,4								
3,60	42,0	86,0		42,0	2,80	15	6,7								
3,80	41,0	83,0		41,0	3,07	13	7,5								
4,00	28,0	74,0		28,0	2,93	10	10,5								
4,20	28,0	72,0		28,0	2,53	11	9,0								
4,40	38,0	76,0		38,0	1,40	27	3,7								
4,60	36,0	57,0		36,0	2,93	12	8,1								
4,80	36,0	80,0		36,0	2,00	18	5,6								
5,00	57,0	87,0		57,0	1,40	41	2,5								
5,20	46,0	67,0		46,0	2,60	18	5,7								
5,40	48,0	87,0		48,0	2,00	24	4,2								
5,60	40,0	70,0		40,0	2,20	18	5,5								
5,80	36,0	69,0		36,0	1,73	21	4,8								
6,00	58,0	84,0		58,0	2,33	25	4,0								
6,20	31,0	66,0		31,0	1,07	29	3,5								
6,40	29,0	45,0		29,0	0,27	107	0,9								
6,60	32,0	36,0		32,0	1,40	23	4,4								
6,80	96,0	117,0		96,0	2,47	39	2,6								
7,00	20,0	57,0		20,0	1,27	16	6,4								
7,20	91,0	110,0		91,0	1,07	85	1,2								
7,40	28,0	44,0		28,0	1,93	15	6,9								
7,60	23,0	52,0		23,0	2,93	8	12,7								
7,80	69,0	113,0		69,0	3,27	21	4,7								
8,00	71,0	120,0		71,0											

H = profondità	qc = resistenza punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	0.20 m sopra quota qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10,00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA	CPT	2
	Riferimento	098-2023
	Certificato	169B/2023
	n verb. acct.	169 del 31/05/23

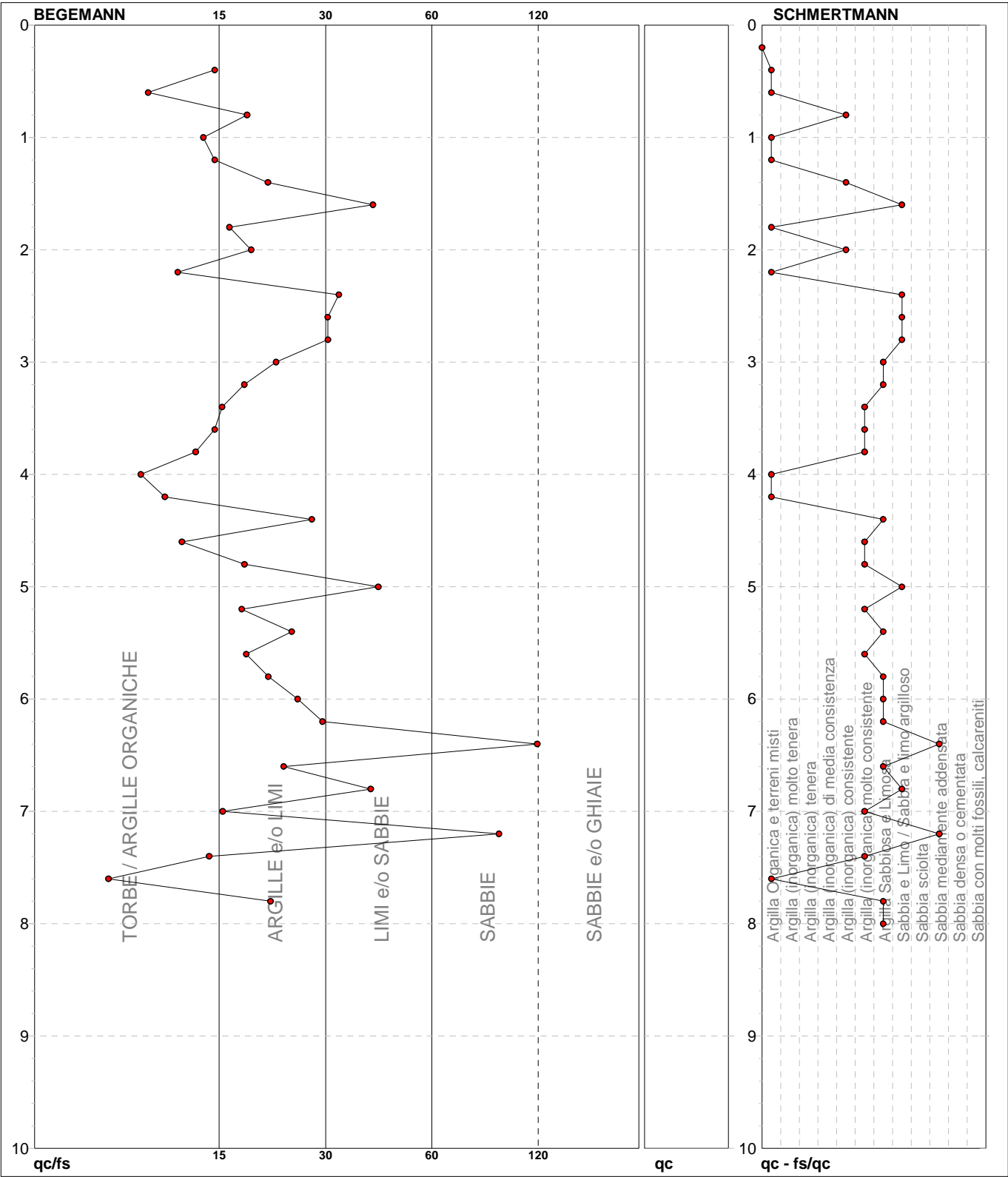
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data esec.	21/06/2023
Cantiere	Argine sinistro fiume Greve	Scala: 1:50	Data certificato	21/06/2023
Località	Firenze (FI)	Pagina 1	Quota inizio: Piano Campagna	
		Elaborato	Falda	Non rilevata



	Penetrometro: TG63-200	preforo m
	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
	Assistente:	Cod.ISTAT: 048017
		Cod. tip:

note: FON049

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA			CPT	2
DIAGRAMMI LITOLOGIA			Riferimento	098-2023
			Certificato	169B/2023
			n verb. acct.	169 del 31/05/23
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.:	kg/cm ²	Data eseg.
Cantiere	Argine sinistro fiume Greve	Scala:	1:50	Data certificato
Località	Firenze (FI)	Pagina	1	
			Elaborato	Falda
				Non rilevata



• 098-2023 [2] : 8,00 m

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI						CPT	2
						Riferimento	098-2023
						Certificato	169B/2023
						n verb. acct.	169 del 31/05/23

Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data eseg.	21/06/2023
Cantiere	Argine sinistro fiume Greve	Pagina 1	Data certificato	21/06/2023
Località	Firenze (FI)	Elaborato	Falda	Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	U.M.	m/s	U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0,20	--	--	?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	12,0	15,0	2	1,85	0,07	141	0,57	80,8	97,1	145,7	44,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	8,0	10,0	2	1,85	0,11	121	0,40	31,2	68,0	102,0	35,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	17,0	18,3	2	1,85	0,15	161	0,72	45,6	123,0	184,5	54,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	14,0	14,0	2	1,85	0,19	150	0,64	29,4	108,2	162,3	48,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	12,0	15,0	2	1,85	0,22	141	0,57	20,5	97,1	145,7	44,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	11,0	20,8	2	1,85	0,26	137	0,54	15,6	91,2	136,8	42,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	13,0	39,4	4	1,85	0,30	145	0,60	15,3	102,8	154,2	46,5	32	35	29	25	24	32	26	21,7	32,5	39,0	--	--
1,80	11,0	16,4	2	1,85	0,33	137	0,54	11,4	91,2	136,8	42,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	15,0	18,8	2	1,85	0,37	154	0,67	13,1	113,3	170,0	49,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	20,0	12,0	4	1,85	0,41	171	0,80	14,6	136,0	204,0	60,0	39	36	29	26	24	33	27	33,3	50,0	60,0	--	--
2,40	32,0	32,0	3	1,85	0,44	204	--	--	--	--	--	53	38	31	28	26	35	29	53,3	80,0	96,0	--	--
2,60	38,0	29,9	4	1,85	0,48	218	1,27	21,1	215,3	323,0	114,0	57	38	31	29	27	36	30	63,3	95,0	114,0	--	--
2,80	44,0	29,9	4	1,85	0,52	230	1,47	23,1	249,3	374,0	132,0	60	38	32	29	27	36	31	73,3	110,0	132,0	--	--
3,00	48,0	21,8	4	1,85	0,56	238	1,60	23,6	272,0	408,0	144,0	61	39	32	29	27	36	31	80,0	120,0	144,0	--	--
3,20	48,0	18,0	4	1,85	0,59	238	1,60	21,8	272,0	408,0	144,0	60	38	32	29	27	36	31	80,0	120,0	144,0	--	--
3,40	46,0	15,7	4	1,85	0,63	234	1,53	19,1	260,7	391,0	138,0	57	38	31	28	26	35	31	76,7	115,0	138,0	--	--
3,60	42,0	15,0	4	1,85	0,67	226	1,40	15,9	238,0	357,0	126,0	52	38	30	27	26	34	30	70,0	105,0	126,0	--	--
3,80	41,0	13,4	4	1,85	0,70	224	1,37	14,4	232,3	348,5	123,0	50	37	30	27	25	34	30	68,3	102,5	123,0	--	--
4,00	28,0	9,6	4	1,85	0,74	194	0,97	8,8	175,3	262,9	84,0	36	36	28	25	23	32	28	46,7	70,0	84,0	--	--
4,20	28,0	11,1	4	1,85	0,78	194	0,97	8,2	185,3	278,0	84,0	34	35	28	24	23	31	28	46,7	70,0	84,0	--	--
4,40	38,0	27,1	4	1,85	0,81	218	1,27	10,9	215,3	323,0	114,0	44	37	29	26	24	33	30	63,3	95,0	114,0	--	--
4,60	36,0	12,3	4	1,85	0,85	214	1,20	9,6	205,6	308,4	108,0	41	36	28	25	24	32	30	60,0	90,0	108,0	--	--
4,80	36,0	18,0	4	1,85	0,89	214	1,20	9,1	211,0	316,6	108,0	40	36	28	25	24	32	30	60,0	90,0	108,0	--	--
5,00	57,0	40,7	3	1,85	0,93	254	--	--	--	--	--	55	38	30	27	26	34	31	95,0	142,5	171,0	--	--
5,20	46,0	17,7	4	1,85	0,96	234	1,53	11,2	260,7	391,0	138,0	46	37	29	26	24	33	31	76,7	115,0	138,0	--	--
5,40	48,0	24,0	4	1,85	1,00	238	1,60	11,3	272,0	408,0	144,0	47	37	29	26	24	33	31	80,0	120,0	144,0	--	--
5,60	40,0	18,2	4	1,85	1,04	222	1,33	8,6	245,6	368,4	120,0	40	36	28	25	23	32	30	66,7	100,0	120,0	--	--
5,80	36,0	20,8	4	1,85	1,07	214	1,20	7,2	266,2	399,3	108,0	35	35	27	24	23	31	30	60,0	90,0	108,0	--	--
6,00	58,0	24,9	4	1,85	1,11	256	1,93	12,6	328,7	493,0	174,0	51	37	29	26	25	33	31	96,7	145,0	174,0	--	--
6,20	31,0	29,0	4	1,85	1,15	202	1,03	5,5	310,7	466,0	93,0	28	35	26	23	22	30	29	51,7	77,5	93,0	--	--
6,40	29,0	107,4	3	1,85	1,18	197	--	--	--	--	--	25	34	26	22	21	29	29	48,3	72,5	87,0	--	--
6,60	32,0	22,9	4	1,85	1,22	204	1,07	5,3	333,5	500,3	96,0	28	35	26	23	21	29	29	53,3	80,0	96,0	--	--
6,80	96,0	38,9	3	1,85	1,26	309	--	--	--	--	--	65	39	31	28	27	35	34	160,0	240,0	288,0	--	--
7,00	20,0	15,7	4	1,85	1,30	171	0,80	3,4	364,6	546,8	60,0	10	32	23	20	19	27	27	33,3	50,0	60,0	--	--
7,20	91,0	85,0	3	1,85	1,33	303	--	--	--	--	--	62	39	31	28	26	35	33	151,7	227,5	273,0	--	--
7,40	28,0	14,5	4	1,85	1,37	194	0,97	4,1	382,0	573,1	84,0	21	34	25	21	20	28	28	46,7	70,0	84,0	--	--
7,60	23,0	7,8	4	1,85	1,41	180	0,87	3,4	395,8	593,6	69,0	13	33	24	20	19	27	28	38,3	57,5	69,0	--	--
7,80	69,0	21,1	4	1,85	1,44	273	2,30	11,2	391,0	586,5	207,0	50	37	29	26	24	33	32	115,0	172,5	207,0	--	--
8,00	71,0	--	3	1,85	1,48	276	--	--	--	--	--	51	37	29	26	24	33	32	118,3	177,5	213,0	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	3
	Riferimento	098-2023
	Certificato	169C/2023
	n verb. acct.	169 del 31/05/23

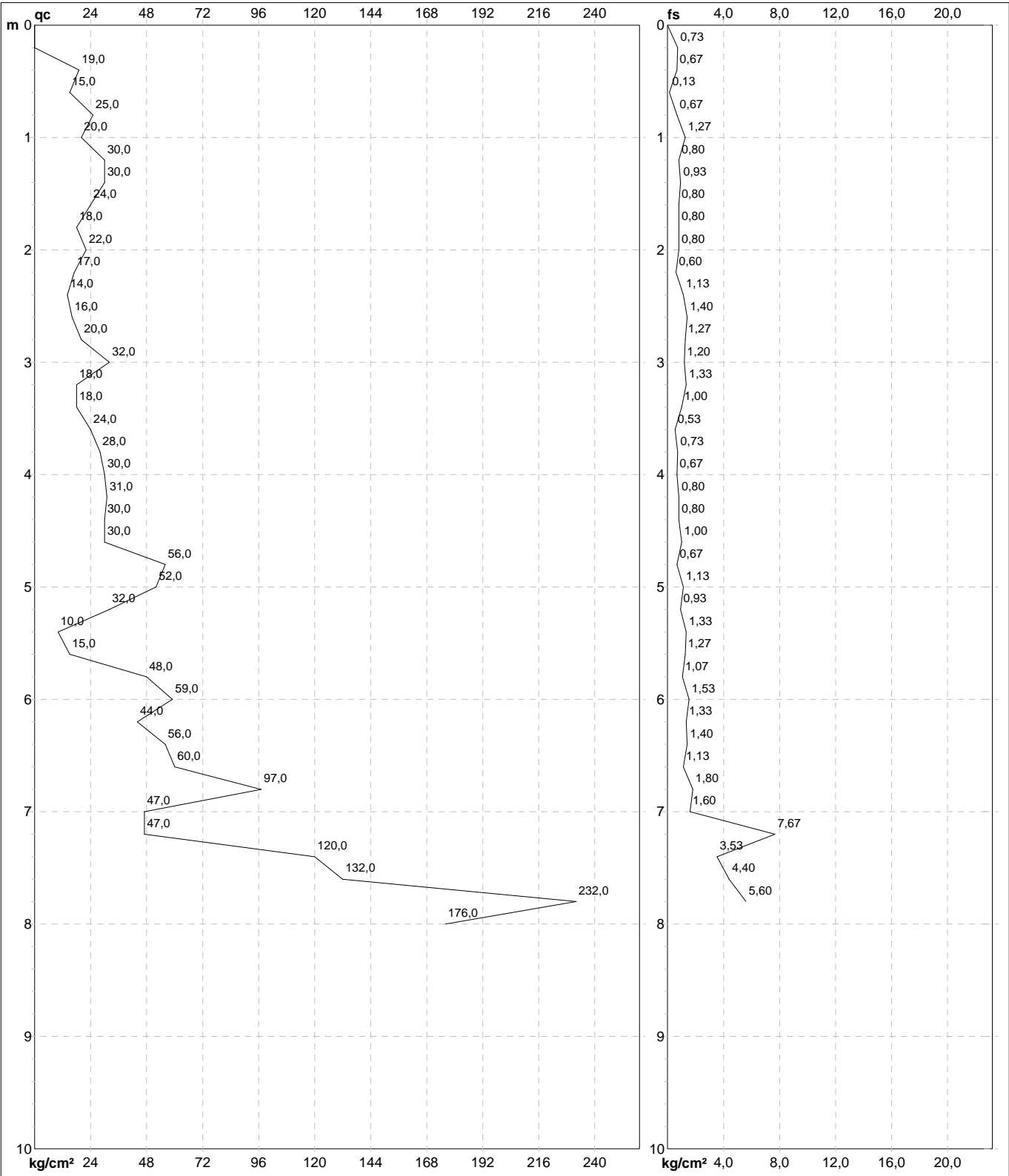
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data esec.	21/06/2023
Cantiere	Indagine geognostica	Pagina 1	Data certificato	21/06/2023
Località	Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)	Elaborato	Falda	Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,73	0									
0,40	19,0	30,0		19,0	0,67	28	3,5								
0,60	15,0	25,0		15,0	0,13	115	0,9								
0,80	25,0	27,0		25,0	0,67	37	2,7								
1,00	20,0	30,0		20,0	1,27	16	6,4								
1,20	30,0	49,0		30,0	0,80	38	2,7								
1,40	30,0	42,0		30,0	0,93	32	3,1								
1,60	24,0	38,0		24,0	0,80	30	3,3								
1,80	18,0	30,0		18,0	0,80	23	4,4								
2,00	22,0	34,0		22,0	0,80	28	3,6								
2,20	17,0	29,0		17,0	0,60	28	3,5								
2,40	14,0	23,0		14,0	1,13	12	8,1								
2,60	16,0	33,0		16,0	1,40	11	8,8								
2,80	20,0	41,0		20,0	1,27	16	6,4								
3,00	32,0	51,0		32,0	1,20	27	3,8								
3,20	18,0	36,0		18,0	1,33	14	7,4								
3,40	18,0	38,0		18,0	1,00	18	5,6								
3,60	24,0	39,0		24,0	0,53	45	2,2								
3,80	28,0	36,0		28,0	0,73	38	2,6								
4,00	30,0	41,0		30,0	0,67	45	2,2								
4,20	31,0	41,0		31,0	0,80	39	2,6								
4,40	30,0	42,0		30,0	0,80	38	2,7								
4,60	30,0	42,0		30,0	1,00	30	3,3								
4,80	56,0	71,0		56,0	0,67	84	1,2								
5,00	52,0	62,0		52,0	1,13	46	2,2								
5,20	32,0	49,0		32,0	0,93	34	2,9								
5,40	10,0	24,0		10,0	1,33	8	13,3								
5,60	15,0	35,0		15,0	1,27	12	8,5								
5,80	48,0	67,0		48,0	1,07	45	2,2								
6,00	59,0	75,0		59,0	1,53	39	2,6								
6,20	44,0	67,0		44,0	1,33	33	3,0								
6,40	56,0	76,0		56,0	1,40	40	2,5								
6,60	60,0	81,0		60,0	1,13	53	1,9								
6,80	97,0	114,0		97,0	1,80	54	1,9								
7,00	47,0	74,0		47,0	1,60	29	3,4								
7,20	47,0	71,0		47,0	7,67	6	16,3								
7,40	120,0	235,0		120,0	3,53	34	2,9								
7,60	132,0	185,0		132,0	4,40	30	3,3								
7,80	232,0	298,0		232,0	5,60	41	2,4								
8,00	176,0	260,0		176,0											

H = profondità	qc = resistenza punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	0.20 m sopra quota qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10,00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA	CPT	3
	Riferimento	098-2023
	Certificato	169C/2023
	n verb. acct.	169 del 31/05/23

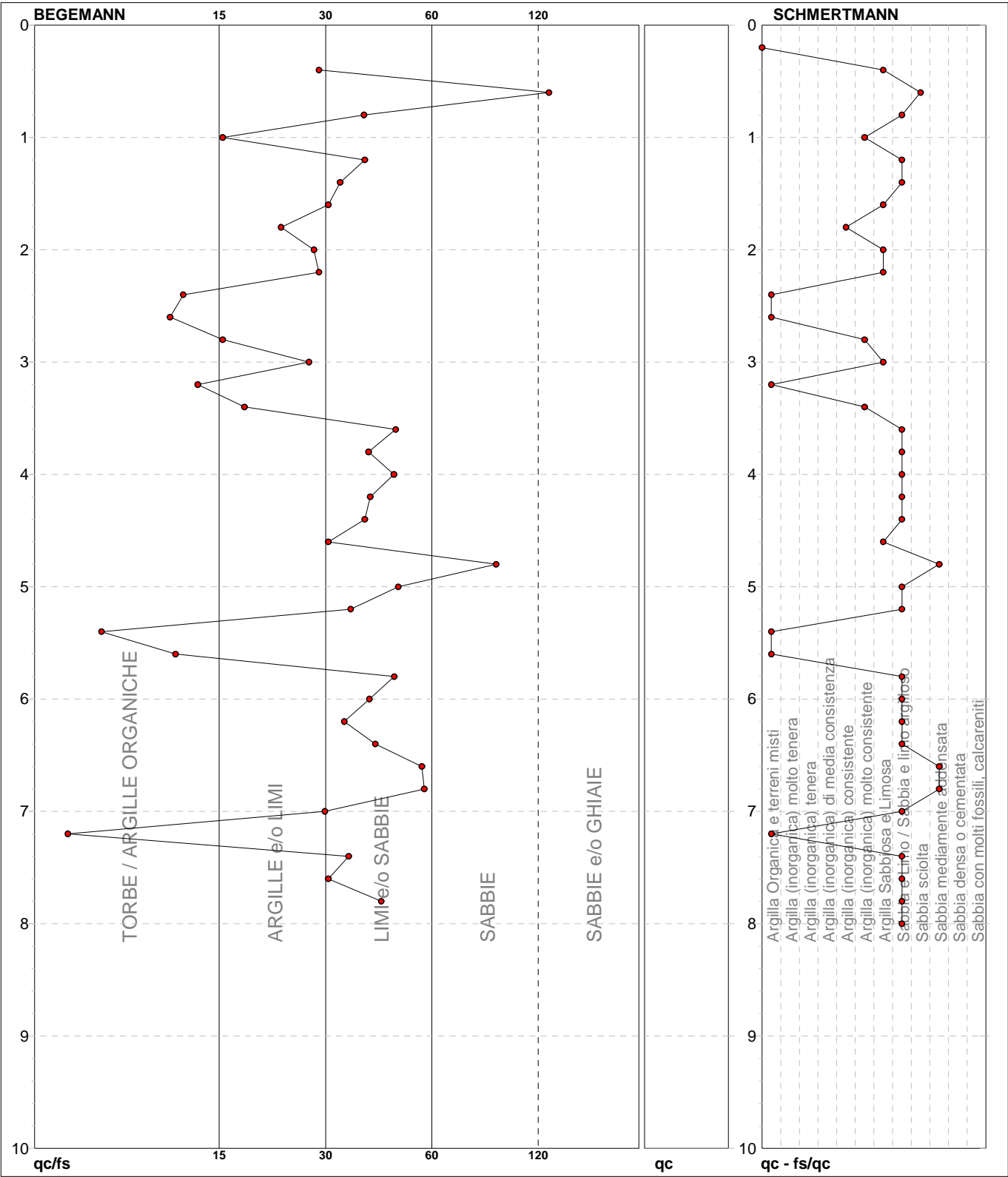
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data esec.	21/06/2023
Cantiere	Indagine geognostica	Scala: 1:50	Data certificato	21/06/2023
Località	Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)	Pagina 1	Quota inizio: Piano Campagna	
		Elaborato	Falda	Non rilevata



Penetrometro: TG63-200	preforo m
Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod.ISTAT: 048017
	Cod. tip:

note: FON049

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA			CPT	3
DIAGRAMMI LITOLOGIA			Riferimento	098-2023
			Certificato	169C/2023
			n verb. acct.	169 del 31/05/23
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.:	kg/cm ²	Data esec.
Cantiere	Indagine geognostica	Scala:	1:50	Data certificato
Località	Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)	Pagina	1	Falda
			Elaborato	Non rilevata



● 098-2023 [3] : 8,00 m

note:

FON049

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI						CPT	3
						Riferimento	098-2023
						Certificato	169C/2023
						n verb. acct.	169 del 31/05/23

Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	21/06/2023
Cantiere	Indagine geognostica	Pagina	1	Data certificato	21/06/2023
Località	Via dell'Argingrosso - Firenze (FI)	Elaborato		Falda	Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	U.M.	m/s	U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0,20	--	--	?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	19,0	28,4	2	1,85	0,07	168	0,78	99,9	131,8	197,8	58,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	15,0	115,4	4	1,85	0,11	154	0,67	59,0	113,3	170,0	49,5	60	39	34	31	29	38	27	25,0	37,5	45,0	--	--
0,80	25,0	37,3	3	1,85	0,15	186	--	--	--	--	--	71	40	35	32	30	39	28	41,7	62,5	75,0	--	--
1,00	20,0	15,7	4	1,85	0,19	171	0,80	39,2	136,0	204,0	60,0	58	38	33	30	28	37	27	33,3	50,0	60,0	--	--
1,20	30,0	37,5	3	1,85	0,22	199	--	--	--	--	--	67	39	34	31	29	38	29	50,0	75,0	90,0	--	--
1,40	30,0	32,3	3	1,85	0,26	199	--	--	--	--	--	64	39	33	31	29	38	29	50,0	75,0	90,0	--	--
1,60	24,0	30,0	4	1,85	0,30	183	0,89	24,8	151,1	226,7	72,0	53	38	32	29	27	36	28	40,0	60,0	72,0	--	--
1,80	18,0	22,5	2	1,85	0,33	164	0,75	17,3	127,5	191,3	56,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	22,0	27,5	4	1,85	0,37	177	0,85	17,7	143,8	215,8	66,0	44	37	30	27	25	34	28	36,7	55,0	66,0	--	--
2,20	17,0	28,3	2	1,85	0,41	161	0,72	12,9	123,0	184,5	54,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	14,0	12,4	2	1,85	0,44	150	0,64	9,8	108,4	162,7	48,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	16,0	11,4	2	1,85	0,48	157	0,70	10,0	118,3	177,5	51,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	20,0	15,7	4	1,85	0,52	171	0,80	10,8	136,0	204,0	60,0	33	35	28	25	23	32	27	33,3	50,0	60,0	--	--
3,00	32,0	26,7	4	1,85	0,56	204	1,07	14,2	181,3	272,0	96,0	47	37	30	27	25	34	29	53,3	80,0	96,0	--	--
3,20	18,0	13,5	2	1,85	0,59	164	0,75	8,4	140,6	210,9	56,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	18,0	18,0	2	1,85	0,63	164	0,75	7,8	152,0	227,9	56,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	24,0	45,3	3	1,85	0,67	183	--	--	--	--	--	33	35	28	24	23	31	28	40,0	60,0	72,0	--	--
3,80	28,0	38,4	3	1,85	0,70	194	--	--	--	--	--	37	36	28	25	23	32	28	46,7	70,0	84,0	--	--
4,00	30,0	44,8	3	1,85	0,74	199	--	--	--	--	--	38	36	28	25	24	32	29	50,0	75,0	90,0	--	--
4,20	31,0	38,8	3	1,85	0,78	202	--	--	--	--	--	38	36	28	25	23	32	29	51,7	77,5	93,0	--	--
4,40	30,0	37,5	3	1,85	0,81	199	--	--	--	--	--	36	36	28	25	23	31	29	50,0	75,0	90,0	--	--
4,60	30,0	30,0	4	1,85	0,85	199	1,00	7,7	206,7	310,1	90,0	35	35	27	24	23	31	29	50,0	75,0	90,0	--	--
4,80	56,0	83,6	3	1,85	0,89	252	--	--	--	--	--	55	38	30	27	26	34	31	93,3	140,0	168,0	--	--
5,00	52,0	46,0	3	1,85	0,93	245	--	--	--	--	--	51	37	30	27	25	34	31	86,7	130,0	156,0	--	--
5,20	32,0	34,4	3	1,85	0,96	204	--	--	--	--	--	34	35	27	24	23	31	29	53,3	80,0	96,0	--	--
5,40	10,0	7,5	2	1,85	1,00	132	0,50	2,6	260,1	390,1	40,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	15,0	11,8	2	1,85	1,04	154	0,67	3,6	292,5	438,8	49,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,80	48,0	44,9	3	1,85	1,07	238	--	--	--	--	--	45	37	29	26	24	32	31	80,0	120,0	144,0	--	--
6,00	59,0	38,6	3	1,85	1,11	257	--	--	--	--	--	51	37	30	26	25	33	32	98,3	147,5	177,0	--	--
6,20	44,0	33,1	3	1,85	1,15	230	--	--	--	--	--	40	36	28	25	23	32	31	73,3	110,0	132,0	--	--
6,40	56,0	40,0	3	1,85	1,18	252	--	--	--	--	--	48	37	29	26	24	33	31	93,3	140,0	168,0	--	--
6,60	60,0	53,1	3	1,85	1,22	259	--	--	--	--	--	50	37	29	26	24	33	32	100,0	150,0	180,0	--	--
6,80	97,0	53,9	3	1,85	1,26	310	--	--	--	--	--	65	39	31	28	27	36	34	161,7	242,5	291,0	--	--
7,00	47,0	29,4	4	1,85	1,30	236	1,57	8,0	311,3	466,9	141,0	40	36	28	24	23	31	31	78,3	117,5	141,0	--	--
7,20	47,0	6,1	4	1,85	1,33	236	1,57	7,7	323,4	485,2	141,0	39	36	27	24	23	31	31	78,3	117,5	141,0	--	--
7,40	120,0	34,0	3	1,85	1,37	336	--	--	--	--	--	71	40	32	29	27	36	35	200,0	300,0	360,0	--	--
7,60	132,0	30,0	4	1,85	1,41	348	4,40	26,1	748,0	1122,0	396,0	73	40	32	29	28	37	35	220,0	330,0	396,0	--	--
7,80	232,0	41,4	3	1,85	1,44	431	--	--	--	--	--	92	42	35	32	30	39	39	386,7	580,0	696,0	--	--
8,00	176,0	--	3	1,85	1,48	388	--	--	--	--	--	82	41	34	31	29	38	37	293,3	440,0	528,0	--	--

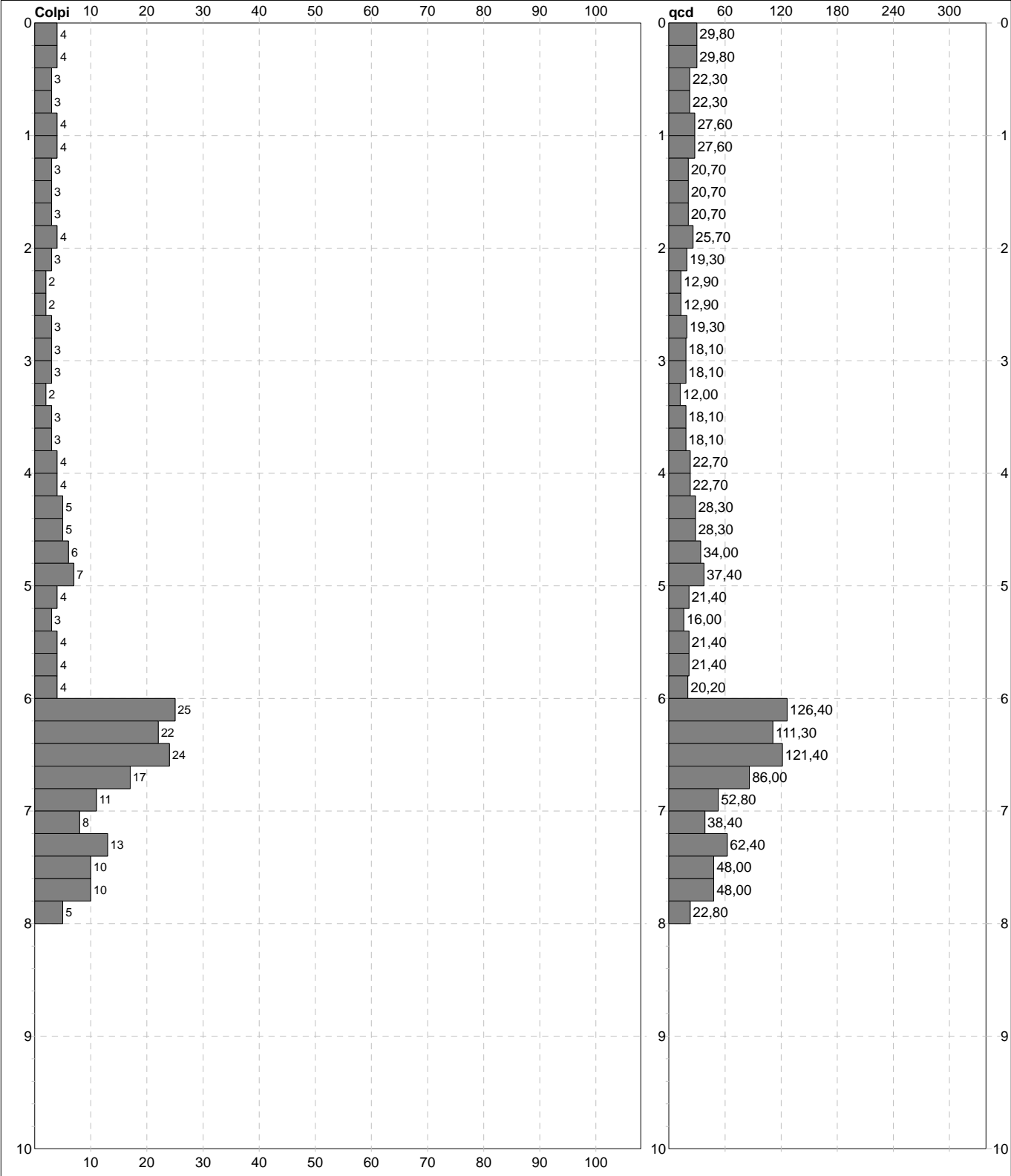
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI		DIN	4
		Riferimento	098-2023
		Certificato	169D/2023
		n verb. acct.	169 del 31/05/23
Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data esec. 21/06/2023
Cantiere	Indagine geognostica	Pagina 1	Data certificato 21/06/2023
Località	Via dell' Argingrosso - Firenze (FI)	Elaborato	Falda Non rilevata

H m	L1 n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²	H m	L1 n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²
0,20	1	4		29,8					
0,40	1	4		29,8					
0,60	2	3		22,3					
0,80	2	3		22,3					
1,00	2	4		27,6					
1,20	2	4		27,6					
1,40	2	3		20,7					
1,60	3	3		20,7					
1,80	3	3		20,7					
2,00	3	4		25,7					
2,20	3	3		19,3					
2,40	3	2		12,9					
2,60	4	2		12,9					
2,80	4	3		19,3					
3,00	4	3		18,1					
3,20	4	3		18,1					
3,40	4	2		12,0					
3,60	5	3		18,1					
3,80	5	3		18,1					
4,00	5	4		22,7					
4,20	5	4		22,7					
4,40	5	5		28,3					
4,60	6	5		28,3					
4,80	6	6		34,0					
5,00	6	7		37,4					
5,20	6	4		21,4					
5,40	6	3		16,0					
5,60	7	4		21,4					
5,80	7	4		21,4					
6,00	7	4		20,2					
6,20	7	25		126,4					
6,40	7	22		111,3					
6,60	8	24		121,4					
6,80	8	17		86,0					
7,00	8	11		52,8					
7,20	8	8		38,4					
7,40	8	13		62,4					
7,60	9	10		48,0					
7,80	9	10		48,0					
8,00	9	5		22,8					

H = profondità L1 L1 = L2 L2 = asta	qcd = punta
note:	
FON049	

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA	DIN	4
	Riferimento	098-2023
	Certificato	169D/2023
	n verb. acct.	169 del 31/05/23

Committente	Regione Toscana Genio Civile Valdarno Superiore	U.M.: kg/cm²	Data esec.	21/06/2023
Cantiere	Indagine geognostica	Scala: 1:50	Data certificato	21/06/2023
Località	Via dell' Argingrosso - Firenze (FI)	Pagina 1	Quota inizio: : Piano Campagna	
		Elaborato	Falda	Non rilevata



Penetrometro: DPSH (S. Heavy) 63,50 kg 0,75 m 0,20 m	Responsabile:: Assistente::	preforo m Corr.astine: : kg/ml Cod.ISTAT: 048017
--	--	---

169 del 31/05/23

Pagina	1
Elaborato	

Falda	Non rilevata
-------	--------------

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 6,00	Media	4	1,52	6	22	20	126	50	1,12	Coes./Gran.	
2	6,00 : 6,80	Media	22	1,52	33	111	100	213	197	5,56	Coes./Gran.	
3	6,80 : 7,80	Media	10	1,52	16	50	45	177	110	2,50	Coes./Gran.	
4	7,80 : 8,00	Media	5	1,52	8	23	22	159	63	1,14	Coes./Gran.	

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	0,00 : 6,00	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36	22	28	238	1,89	1,43	139	---
2	6,00 : 6,80	33	2,06	2,10	20,20	0,55	96	68	37	446	2,07	1,71	403	---
3	6,80 : 7,80	16	1,00	1,97	27,79	0,75	61	44	32	315	1,97	1,55	252	---
4	7,80 : 8,00	8	0,50	1,87	34,98	0,94	41	28	29	253	1,91	1,46	161	---

FON049

TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini
Via Mazzini, 18
52011 Soci (AR)
P.IVA 02024110518
info@trigeo.it

FIRENZE

Via Nino Bixio, 9
50131 Firenze
firenze@trigeo.it
T/F 055 400619
M 328 7213928

AREZZO

Via Trasimeno, 7
52100 Arezzo
arezzo@trigeo.it
T/F 0575 294500
M 339 2288117

RELAZIONE TECNICA

**“INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE
MEDIANTE GEORADAR STREAM C
MULTIARRAY DA 600 MHZ E GEORADAR
OPERA DUO MULTI-FREQUENZA 200-
600MHZ, DOTATI DI ANTENNA GPS, PER
LO STUDIO DI UN TRATTO DI ARGINE IN
VIA DELL'ARGINGROSSO - COMUNE DI
FIRENZE”**

COMMITTENTE:



Regione Toscana

DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO PROTEZIONE CIVILE – SETTORE GENIO CIVILE TOSCANA SUD

29 GIUGNO - 2023



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
P.IVA 02024110518
Tel/Fax 0575 294500 - 056 9902212
Cell. 339 3048117 - 328 7213928
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO	4
2.0 METODOLOGIA GEORADAR – CENNI TEORICI	6
3.0 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	8
4.0 SCHEMA OPERATIVO	9
5.0 CONSIDERAZIONI GENERALI - INTERPRETAZIONE SEZIONI	10
6.0 RISULTATI DELL'INDAGINE GEORADAR	10
ALLEGATI	12

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine geofisica eseguita mediante tecnica Georadar 3D, nel mese di **GIUGNO 2023** per conto della committenza lungo un tratto di argine in **VIA DELL'ARGINROSSO – COMUNE DI FIRENZE** (Figura 1), al fine di studiarne le caratteristiche.



Figura 1: Tracciato di intervento (in rosso): Via dell'Argingrosso – Comune Firenze.

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse si è programmato un rilievo Georadar di dettaglio, in prossimità delle aree indicate dalla committenza, al fine di acquisire informazioni sulla presenza di disomogeneità e/o manufatti.

L'indagine è stata eseguita con strumentazioni Stream C (multiantenna) e Opera Duo (Biantenna) e mediante l'utilizzo di un sistema GPS differenziale per la corretta georeferenziazione delle strisciate, quindi delle anomalie rilevate.

Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

1.0 SCHEMA OPERATIVO

Nella **Tavola 01** allegata, in scala 1:5.000, viene indicata l'area oggetto di indagine su base CTR 2K e le strisciate eseguite con entrambe le strumentazioni (Stream C ed Opera Duo).

Nelle **Tavole 02-11**, vengono riportate le planimetrie di dettaglio in scala 1:500, con riportate le anomalie rilevate all'interno dell'area d'indagine.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE:

- **Stream C della IDS**, dotato di sistema multi array con 32 antenne da 600 MHz: l'indagine è stata eseguita con l'impiego di una strumentazione radar innovativa che opera secondo un concetto tomografico consistente nell'acquisizione simultanea di multipli radargrammi paralleli, intervallati da distanze estremamente ridotte, variabili da 4 a 12 cm in funzione dei limiti imposti dal teorema di Nyquist-Shannon per un campionamento tridimensionale di segnali elettromagnetici che sia privo di *aliasing* spazio-temporale. Il *post-processing* dei dati è stato condotto combinando metodi d'analisi e filtraggio del segnale elettromagnetico con algoritmi di correlazione spaziale pesata sull'inverso della distanza e funzioni software di equalizzazione e bilanciamento delle immagini. Lo stesso ha portato all'elaborazione di una sequenza di mappe radar riferite a intervalli di profondità progressivamente crescente dette *GPR-time slices*, le quali mostrano l'organizzazione spaziale dei segnali e riproducono l'ubicazione e la geometria delle strutture/anomalie rilevate.



SPECIFICHE TECNICHE

MAX ACQUISITION SPEED:	6 km/h (3.7 mph)
RADAR POWER CONSUMPTION:	80 W
POSITIONING:	Integrated encoder and/or GPS / Total station
RADAR POWER SUPPLY:	SLA Battery 12VDC 24Ah
ENVIRONMENTAL:	IP65
ANTENNA FOOTPRINT:	120x57 cm
NUMBER OF CHANNELS:	32 (23VV+9HH)
ANTENNA CENTRAL FREQUENCY:	600 MHz
ANTENNA POLARIZATION:	HH and VV
SCAN WIDTH:	96 cm
CERTIFICATION:	CE, FCC, IC

L'utilizzo dello *Stream C* permette vantaggi in termini di produttività dell'indagine e di qualità dei risultati forniti. Gestendo 32 antenne con doppia polarizzazione (23VV+9HH) permette di "coprire", con un solo passaggio sul terreno, una porzione di sottosuolo di circa 1.0 m, acquisendo scansioni adiacenti è possibile ottenere una copertura totale (GPR 3D) dell'area.



- **Opera Duo della IDS**, dotato di un array di antenne Dual Frequency da 200 e 600 MHz: Il georadar *Opera Duo* possiede un'antenna a doppia frequenza che permette la localizzazione simultanea di target profondi e superficiali. L'ampia larghezza di banda offre la massima risoluzione e il sensore a doppia testa integra antenne a banda ultra larga (200 MHz e 600 MHz). Ha una velocità di scansione pari a 381 scansioni/sec con un intervallo di 42 scansioni/min.



L'impronta dell'antenna è pari a 40 x 50 cm ed ha una frequenza di 400 KHz. Grazie alla sua progettazione permette di effettuare rilievi GPR su ogni tipo di suolo.

SPECIFICHE TECNICHE

MAX. ACQUISITION SPEED	More than 10 kph (6 mph)
POWER CONSUMPTION	13.5 W
POSITIONING	2 integrated encoders and/or GPS - Total station
SCAN RATE PER CHANNEL (@512 SAMPLES/SCAN)	381 scans/sec
SCAN INTERVAL	42 scans/m
POWER SUPPLY	3LA Battery 12 VDC 12 AH
ENVIRONMENTAL	IP65
ANTENNA FOOTPRINT	40 x 50 cm [15.75 x 19.7 in]
NUMBER OF HARDWARE CHANNELS	2
ANTENNA CENTRAL FREQUENCIES	250 MHz and 700 MHz
ANTENNA ORIENTATION	Perpendicular, broadside
SAMPLING FREQUENCY	400 kHz

2.0 METODOLOGIA GEORADAR – CENNI TEORICI

Un'indagine georadar sfrutta l'interazione che viene a scaturire tra un'onda elettromagnetica e un oggetto (in senso lato) ubicato all'interno del mezzo indagato. Nella pratica, viene inviato un impulso EM nel semispazio esplorato tramite un'antenna trasmittente

(TX); la presenza di discontinuità e strutture all'interno del mezzo aventi differenti caratteristiche elettromagnetiche (permettività dielettrica, conducibilità elettrica ecc.), e la loro interazione con l'onda incidente favorirà fenomeni di riflessione determinando il ritorno in superficie di parte dell'energia inviata, captata successivamente dall'antenna di ricezione (RX). Con lo svolgimento dell'indagine lungo una determinata direzione di acquisizione, vengono a essere registrati diversi arrivi di onde riflesse dando luogo a un profilo georadar (radargramma) in cui, lungo la coordinata X (o Easting) è rappresentata la linea di scansione mentre in Y (o Northing) viene definito il tempo di percorso dell'onda (andata e ritorno, TWT) opportunamente convertibile in asse di profondità, una volta stimata la velocità di propagazione del segnale nel mezzo indagato.

I parametri misurati dal georadar comprendono l'ampiezza del segnale (A) ricevuto in superficie e il *tempo di ritardo* (δt) che intercorre tra trasmissione e ricezione dello stesso. Il primo è una misura del contrasto rilevato all'interfaccia tra due materiali che in quanto a valore di costante dielettrica (μ_0 , permeabilità magnetica m) e conduttività elettrica (s). Il secondo è funzione della velocità di propagazione del segnale elettromagnetico all'interno dei materiali investigati e della profondità a cui è ubicata la discontinuità. La costante dielettrica è il parametro che più condiziona la capacità del segnale radar di propagarsi del sottosuolo e rappresenta la capacità di un materiale di immagazzinare carica quando sottoposto a un campo elettromagnetico. Essa è data dal rapporto C^2/V^2 , dove C è la velocità dell'onda elettromagnetica nel vuoto e V quella all'interno del mezzo esplorato. Valori elevati di costante dielettrica implicano una ridotta velocità di propagazione del segnale. Il fattore di attenuazione è espresso in dB/m, descrive la perdita di energia che il segnale subisce mentre si propaga in profondità essendo direttamente proporzionale alla conducibilità elettrica del mezzo attraversato. Nella pratica, esiste una relazione diretta tra la granulometria del materiale investigato e la capacità di penetrazione del segnale, la quale è favorita lavorando con sedimenti grossolani quali sabbie e ghiaie mentre risulta fortemente limitata in presenza di limi argillosi e argille. In funzione della profondità e delle dimensioni degli obiettivi che s'intende rilevare, i georadar impiegano antenne che operano a frequenze comprese tra 100 e 2000 MHz, idonee a esplorare alla massima risoluzione profondità e spessori compresi tra 4-5 m e pochi decimetri. La relazione tra profondità d'indagine e frequenza impiegata è di proporzionalità inversa, mentre quella tra frequenza e risoluzione spaziale è di relazione diretta. Tipicamente, operando a 600 MHz in

contesti granulometrici medio-grossolani la profondità d'indagine si attesta attorno a 1.5/2.0 m da p.c.

I sistemi radar tradizionali impiegano antenne monocanale e forniscono un singolo profilo (radargramma) per ogni strisciata effettuata sulla superficie d'interesse. Quelli più avanzati (come lo *Stream C* IDS utilizzato nel presente lavoro) utilizzano schiere di dipoli affiancati e realizzano una scansione tomografica del sottosuolo a “copertura” totale, ovvero basata sull'acquisizione simultanea di più profili paralleli intervallati da distanze centimetriche.

3.0 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

I rilievi georadar sono stati condotti con i seguenti sistemi georadar:

- IDS *Opera Duo*: Il sistema è dotato di un array di antenne Dual Frequency da 200 e 600 MHz, unità di controllo (computer portatile), carrello manuale di trasporto;
- IDS *Stream-C* 600 MHz (*Subsurface Tomographic Radar Equipment for Asset Mapping*)

Le posizioni d'acquisizione delle strisciate georadar sono state acquisite con antenna GPS differenziale Leica Geosystems. Compatibilmente con le specifiche condizioni d'accessibilità dei settori investigati, i rilievi sono stati eseguiti realizzando strisciate giustapposte in modo tale da “coprire” integralmente le aree d'interesse. L'acquisizione dei dati è stata effettuata mediante il programma OneVision (stream C) e uNext (Opera Duo) di IDS adottando i seguenti parametri strumentali:

- passo di campionamento nella direzione d'acquisizione (*in-line resolution*): 2 cm
- finestra temporale di campionamento (*Time-window*): 128 ns
- numero di campioni per traccia (*Samples/scan*): 512.

I dati così acquisiti sono stati sottoposti ad un *post-processing* avanzato il cui scopo è stato quello di filtrare le interferenze prodotte da sorgenti esterne, amplificare i segnali d'interesse, ed eseguirne la correlazione spaziale. Nella pratica, i radargrammi sono stati filtrati attraverso il seguente flusso di lavoro: rettificazione del segnale (*dewow*) → correzione statica del primo arrivo → amplificazione (*gain*) → filtro passa banda (*band pass*) → rimozione del fondo (*background removal*) → trasformata di Hilbert (*Hilbert transform*). La velocità di propagazione del segnale elettromagnetico all'interno del mezzo, stimata sulla base dell'apertura dei riflettori iperbolici generati da sorgenti puntiformi (*hyperbola fitting method*), è

risultata pari 0.97 m/ns. Successivamente al filtraggio, i radargrammi sono stati ricampionati e correlati spazialmente attraverso un algoritmo d'interpolazione spaziale pesata sull'inverso della distanza, in modo da colmare le lacune esistenti tra profili contigui. Il risultato del *post-processing* è stato l'elaborazione, per ciascuno dei settori investigati, di una sequenza di mappe radar riferite a profondità progressivamente crescenti (*GPR Time/depth slices – o Time slices*) le quali illustrano l'organizzazione spaziale dei segnali al variare della profondità d'indagine. Il trattamento dei dati è stato eseguito con il software **GRED(HD)** di IDS.

4.0 SCHEMA OPERATIVO

L'indagine georadar è stata effettuata presso un tratto di argine indicato dalla committenza. Complessivamente i materiali hanno presentato una discreta attitudine alla propagazione delle onde elettromagnetiche, permettendo di spingere le indagini fino alle profondità di 1.5-2.0 m. Il lavoro si è svolto in più fasi; in primo luogo, oltre alle opportune tarature strumentali, è stato eseguito un primo rilievo di alcune parti dell'area con settaggi differenti; ciò ha permesso, dopo una prima analisi sommaria delle sezioni raccolte, di stabilire le amplificazioni più appropriate all'intervento e la miglior scala di profondità (in tempi) da usare nel corso del rilievo vero e proprio.

Con tali caratteristiche di rilievo si ha la garanzia di aver colto, con ottimo potere risolutivo, grazie anche ad una mirata ubicazione dei profili georadar, le discontinuità elettromagneticamente anomale presenti.

Complessivamente sono stati acquisiti **ca. 8.610 m²**.



Figura 3: Fase di acquisizione durante rilievo Via dell'Argingrosso - Comune di Firenze

5.0 CONSIDERAZIONI GENERALI - INTERPRETAZIONE SEZIONI

Prima di descrivere i risultati ottenuti è necessario richiamare l'attenzione su alcuni aspetti inerenti la lettura delle sezioni stesse.

In generale è necessario notare che le sezioni georadar ottenute sono sempre delle sezioni con scala verticale in tempi. Per convertire i tempi in profondità bisogna moltiplicare questi per la velocità caratteristica del mezzo attraversato; vi sono vari metodi che permettono di ricavare tale velocità in modo indiretto, così come si hanno numerosi valori tabulati di velocità per i vari mezzi.

Nel caso, è stata utilizzata una costante dielettrica tabulata media caratteristica per i materiali presenti.

Per quanto riguarda quindi il rilievo, le informazioni qualitative sulla natura e lo stato dei materiali attraversati sono costituite e messe in evidenza dall'intensità degli eventi riflessi, dalla loro quantità, diffusione od assenza. L'intensità degli eventi riflessi è direttamente legata al contrasto di impedenza fra i diversi materiali incontrati. I livelli di riflessione marcati, nelle sezioni interpretate allegate, corrispondono a forti contrasti, mentre le riflessioni diffuse sono più caratteristiche di materiali fessurati o bagnati. L'assenza, o meglio la scarsità di echi, indica invece delle zone costituite da materiale omogeneo.

6.0 RISULTATI DELL'INDAGINE GEORADAR

Nel presente lavoro, come detto, lo scopo dell'indagine georadar era quello di indagare un tratto di argine sito in Via dell'Argingrosso nel Comune di Firenze.

L'indagine ha individuato una discontinuità continua (in blu) che si estende nella parte est dell'argine. Le coordinate di inizio-fine discontinuità vengono riportate di seguito (e nelle tavole allegate):

INIZIO

X: 677607.4472

y: 4850007.4642

FINE

X: 678035.9057

y: 4849959.7712

Sono inoltre presenti delle tubazioni trasversali (in rosso) e delle disomogeneità nel terreno (in nero) (**Tavole 02-11**).

Nella parte più ad ovest la discontinuità sopra descritta non è stata individuata; non è da escludere che in questa porzione di argine la discontinuità si possa trovare a profondità superiori a 1.5/2.0 m, limite sotto il quale la strumentazione non è riuscita ad arrivare.

Di seguito vengono riportati due radargrammi esplicativi che mostrano come oltre 1.50 m di profondità il segnale georadar mostra una forte attenuazione (figura 5).

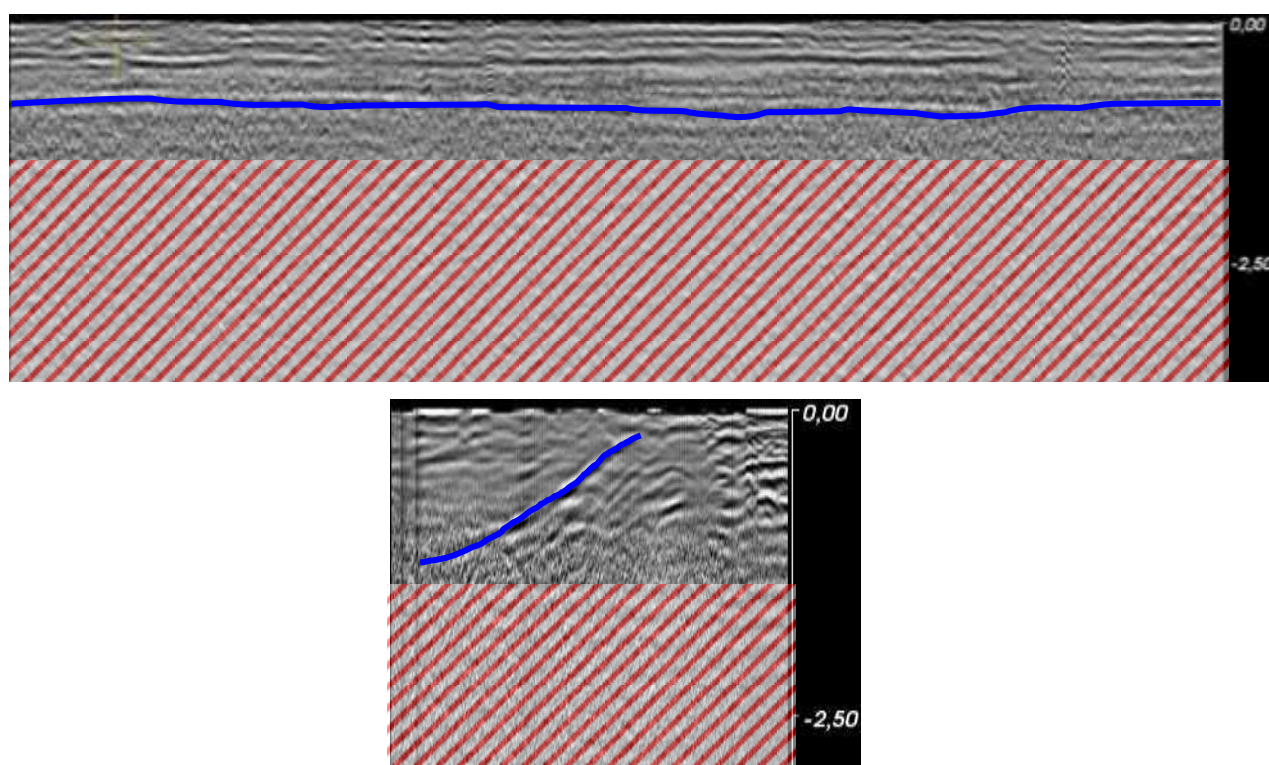


Figura 5: radargrammi esplicativi. In alto il radargramma longitudinale: in blu la discontinuità ed in rosso il segnale disturbato. In basso il radargramma trasversale: in blu la discontinuità ed in rosso il segnale disturbato.

Dai radargrammi di Figura 5 è ben visibile la discontinuità sia nella sezione longitudinale che in quella trasversale. La campitura rossa, identifica la porzione di radargramma oltre il quale il segnale subisce una forte attenuazione.

Arezzo, lì 29 Giugno 2023

TRI+GEO S.r.l.
di Nencetti Andrea & Bonifazi Benedetta
Via Mazzini n°10 - 50011 - SOGI (AR)
P.IVA 02028110516
Tel/Fax 0573 25480 - 056 999212
Cell. 339 9266117 - 339 7813923
www.trigeo.it

Trigeo snc

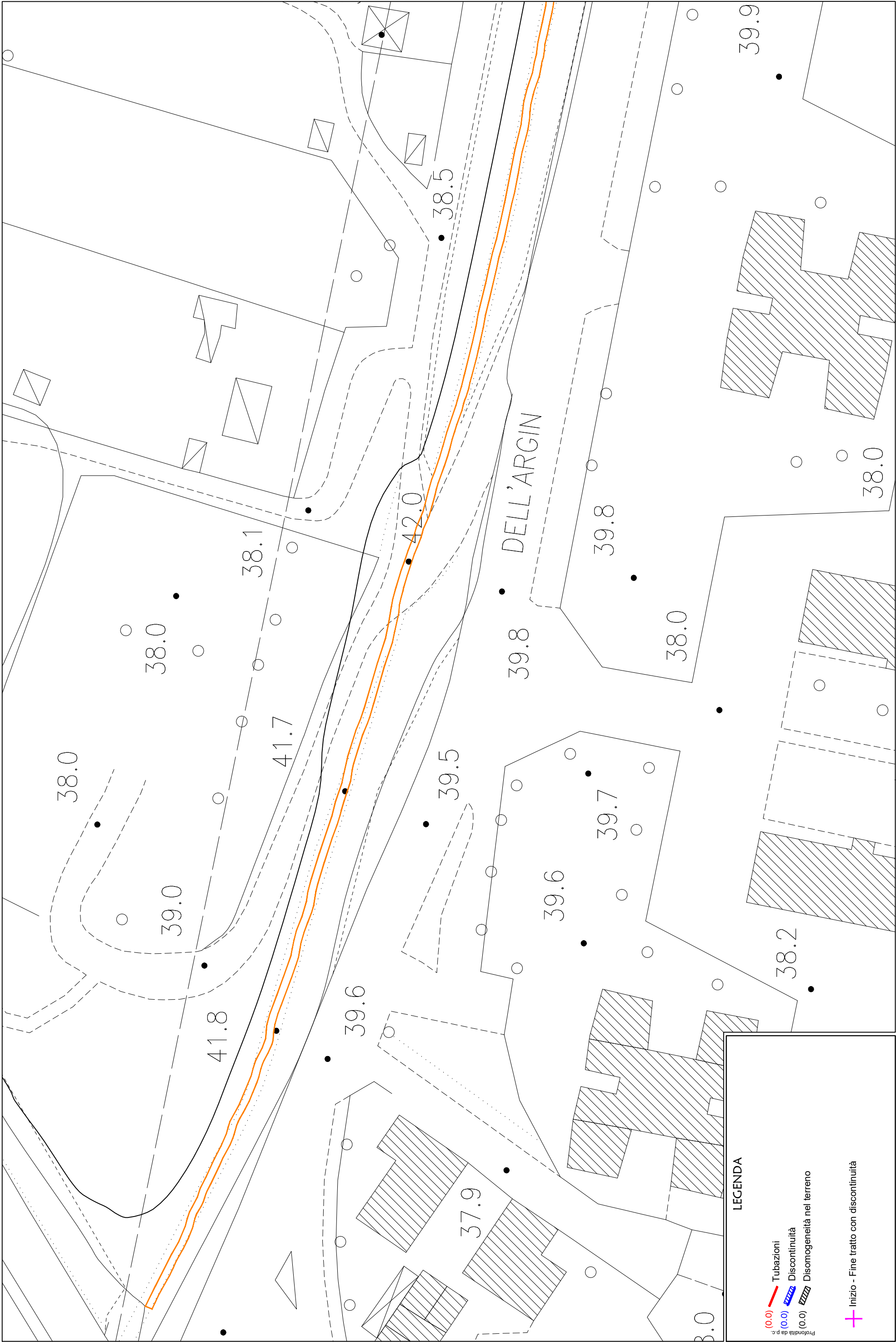
ALLEGATI



LEGENDA

Aree d'indagine

Swath eseguite mediante Opera Duo e Stream C

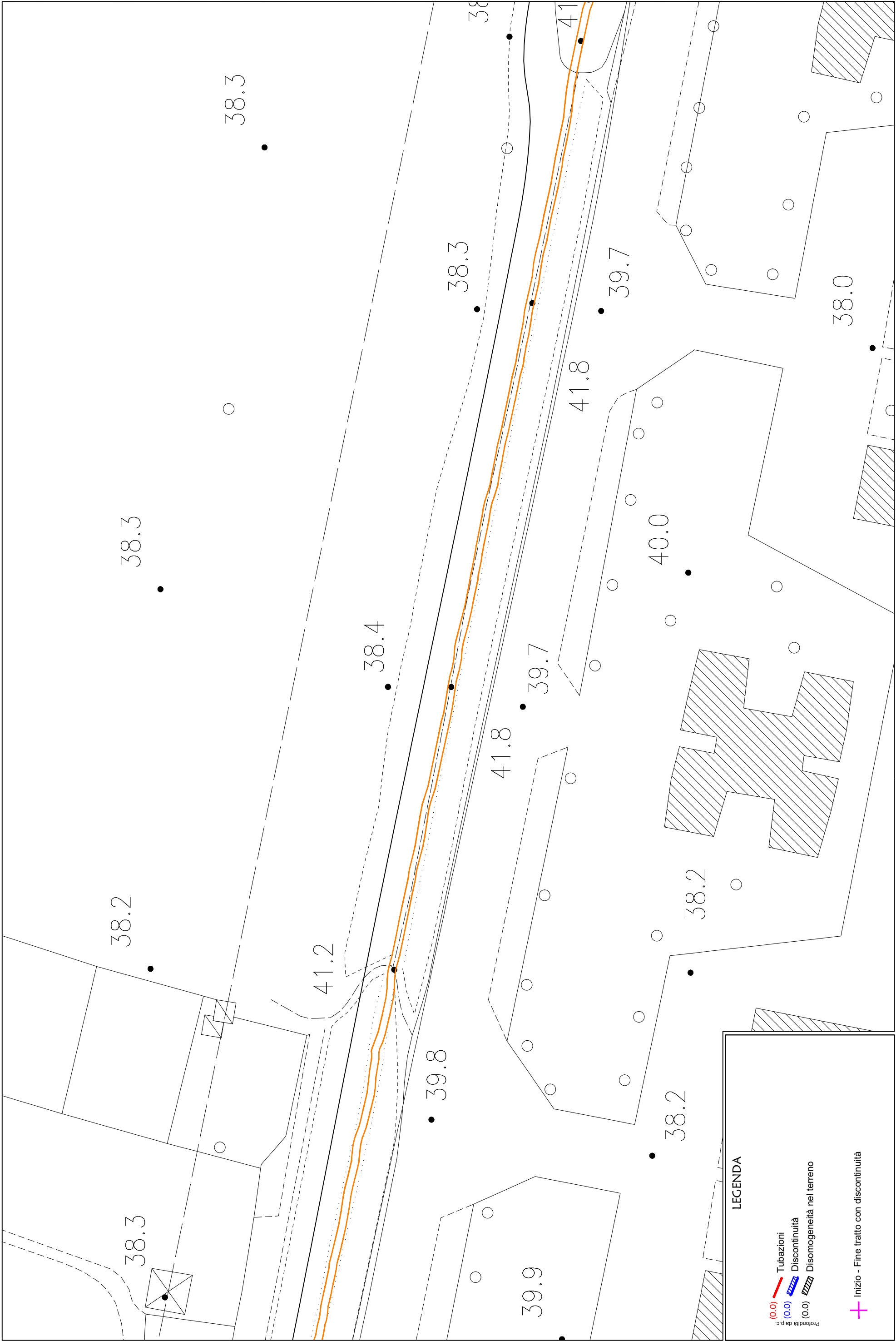


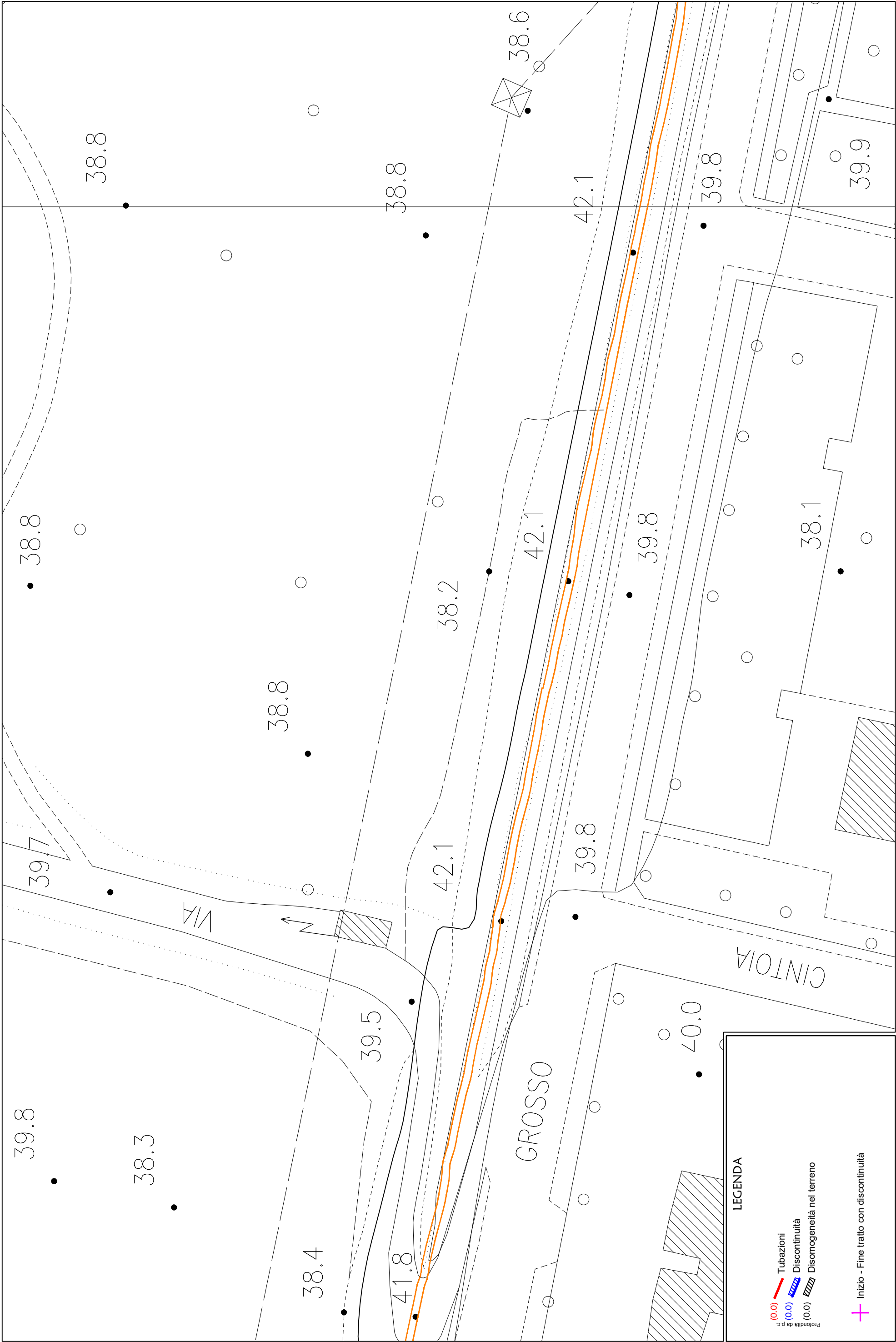
LEGENDA

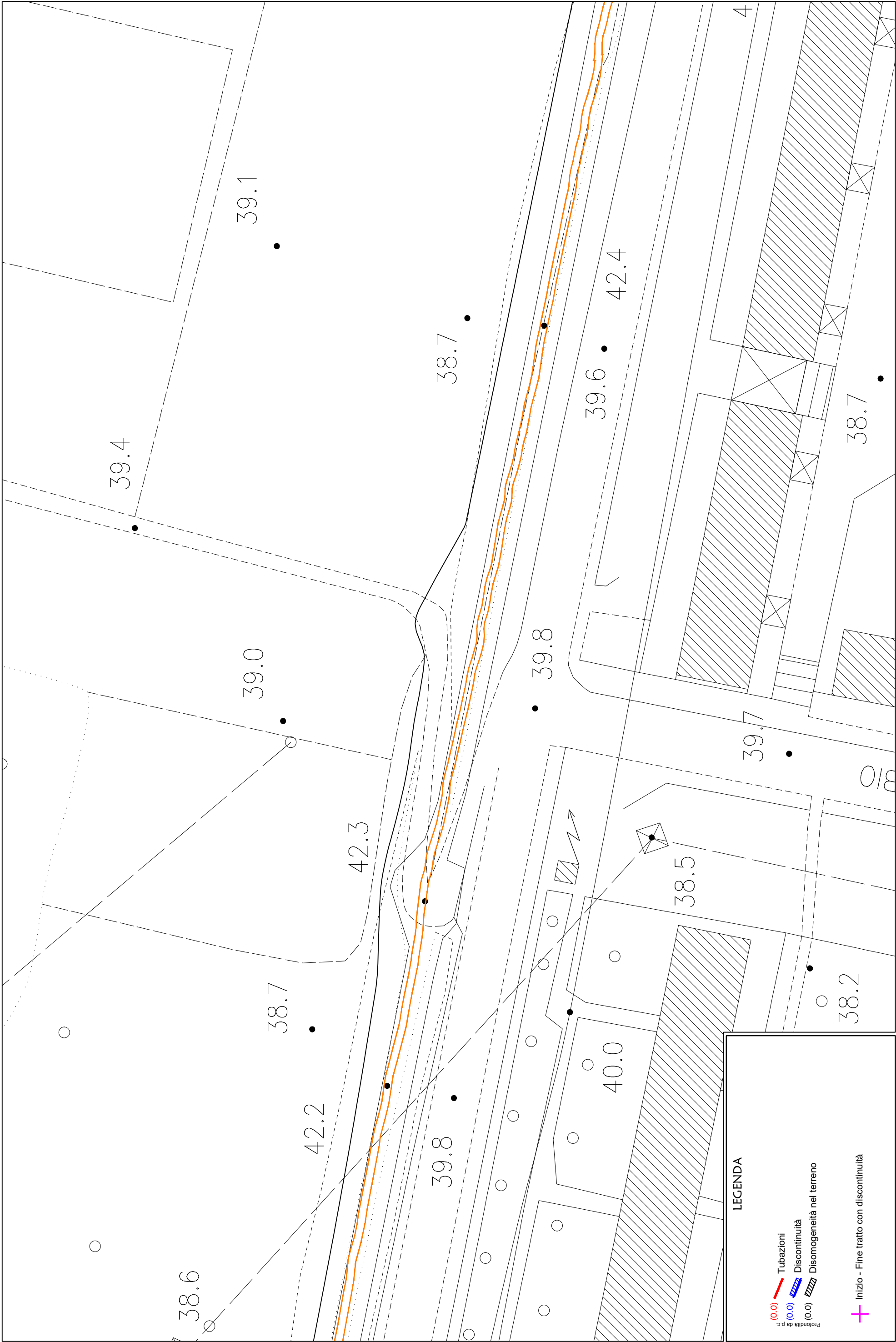
Tubazioni
 Discontinuità
 Disomogeneità nel terreno

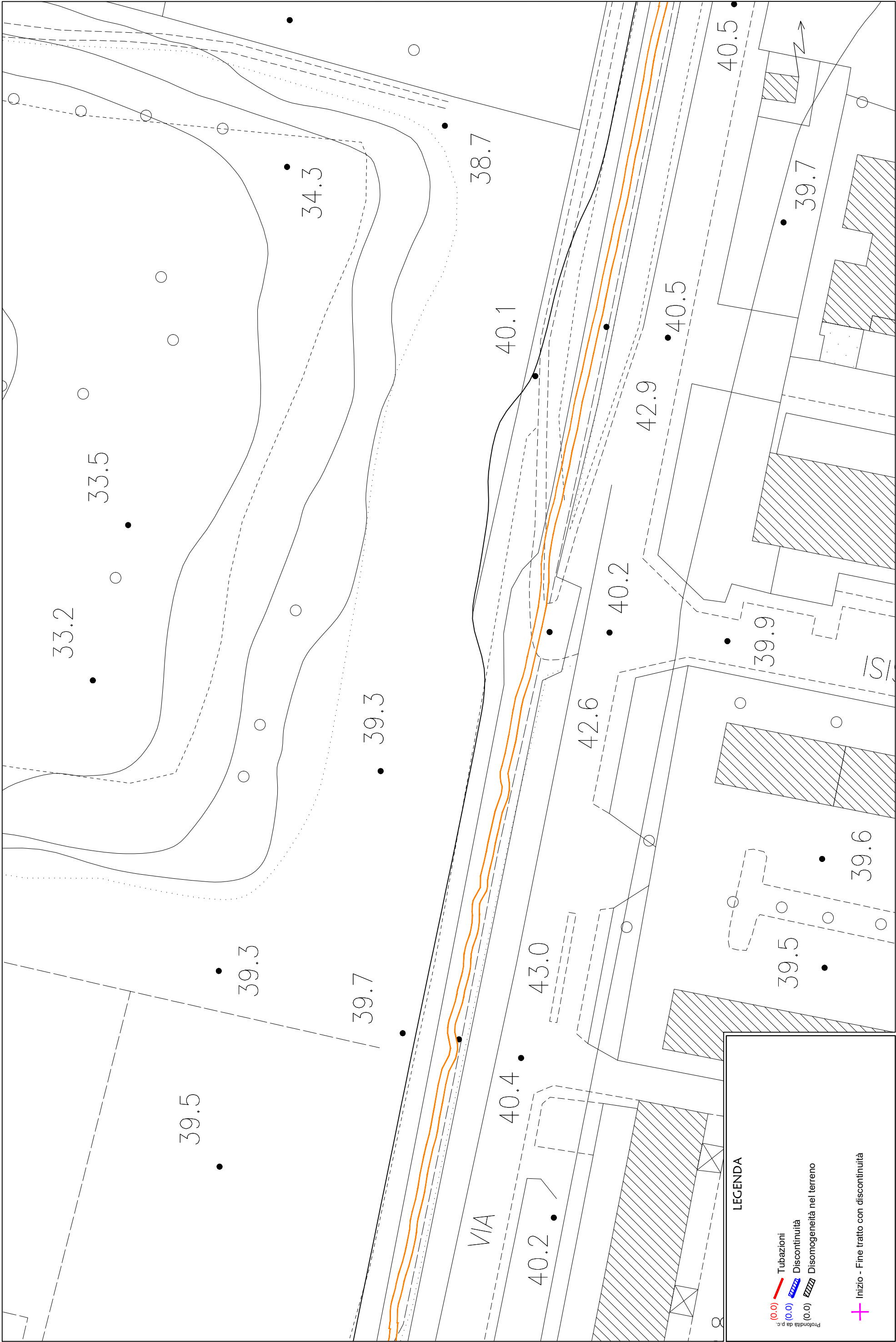
+ Inizio - Fine tratto con discontinuità

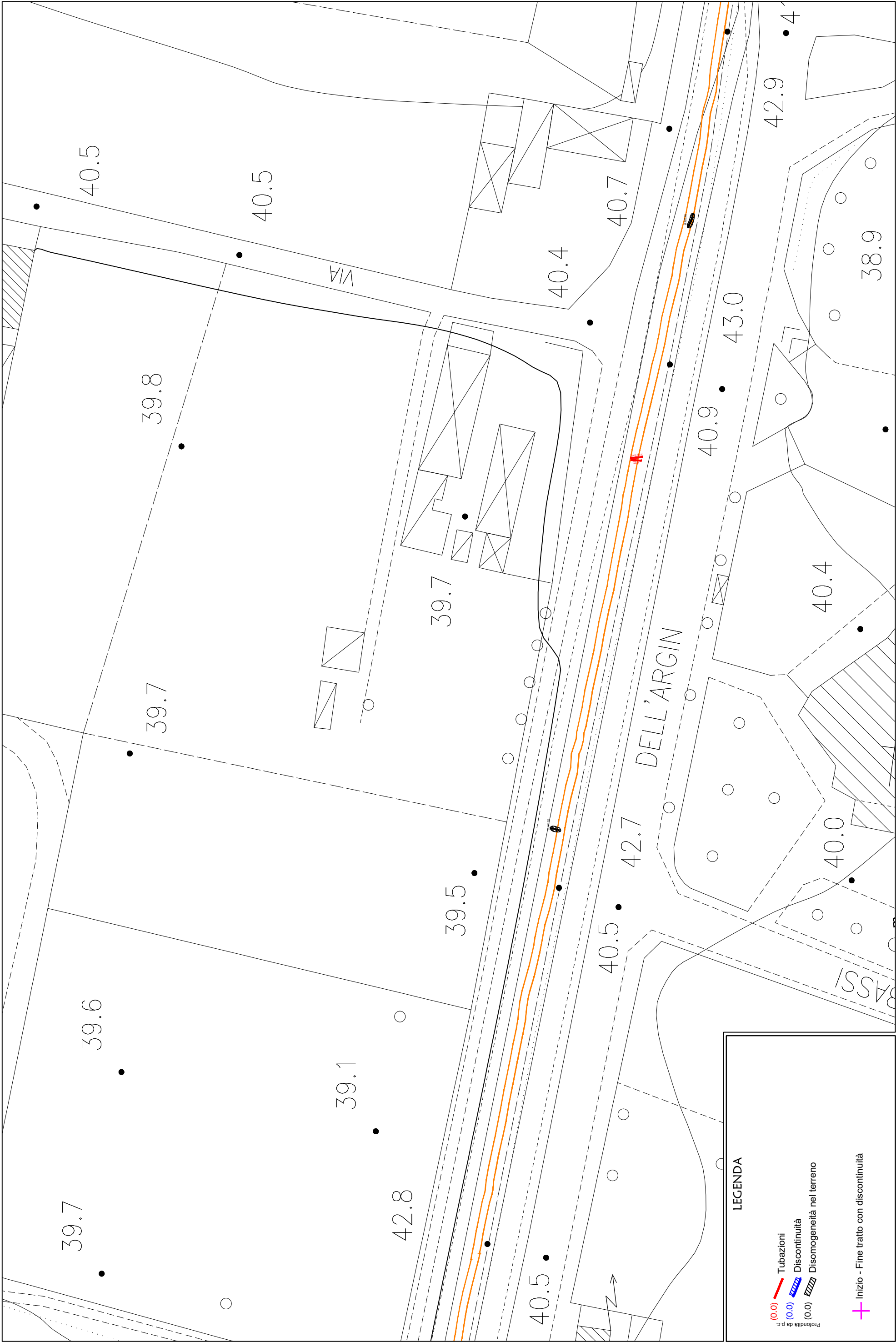
Profondità da p.c.







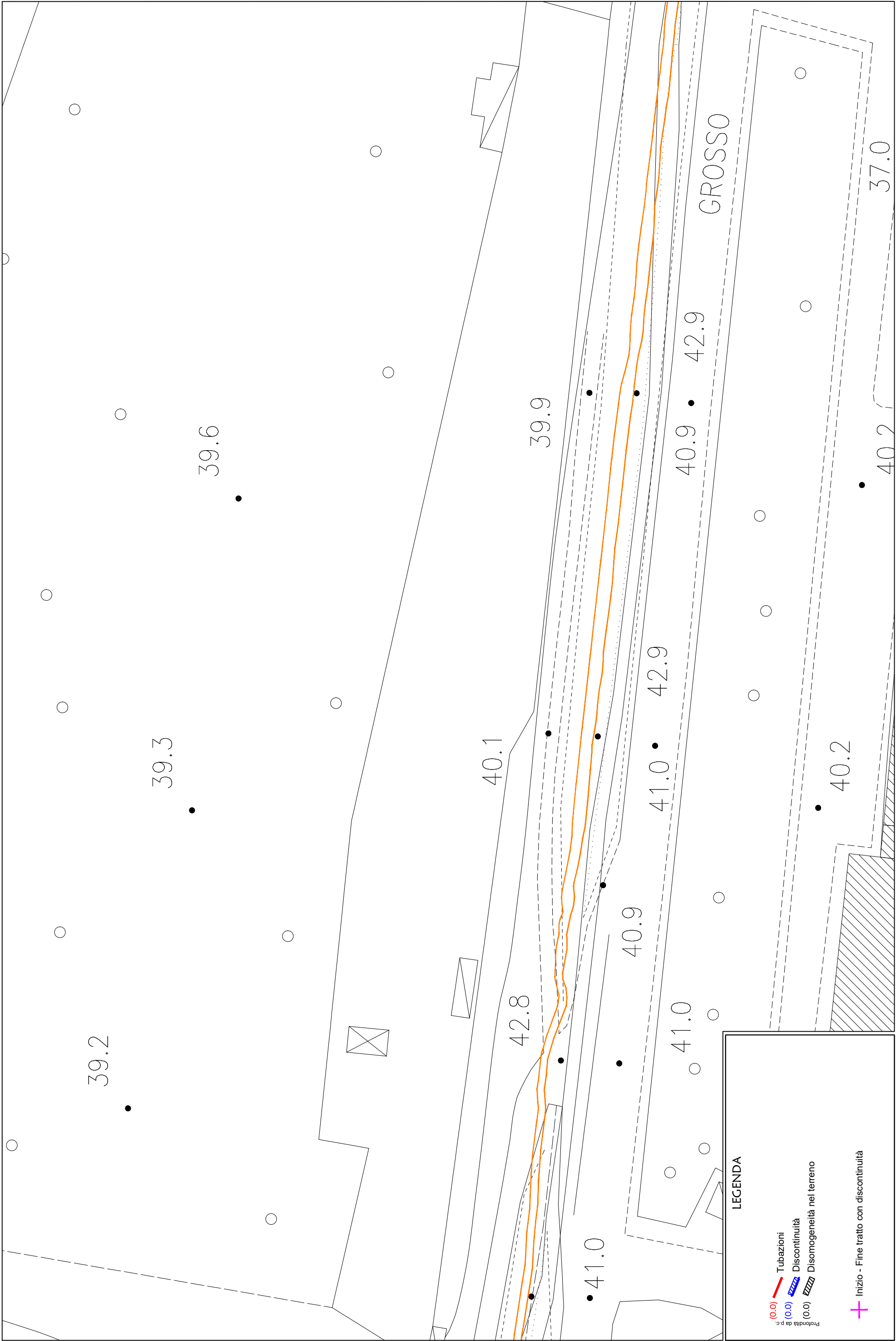


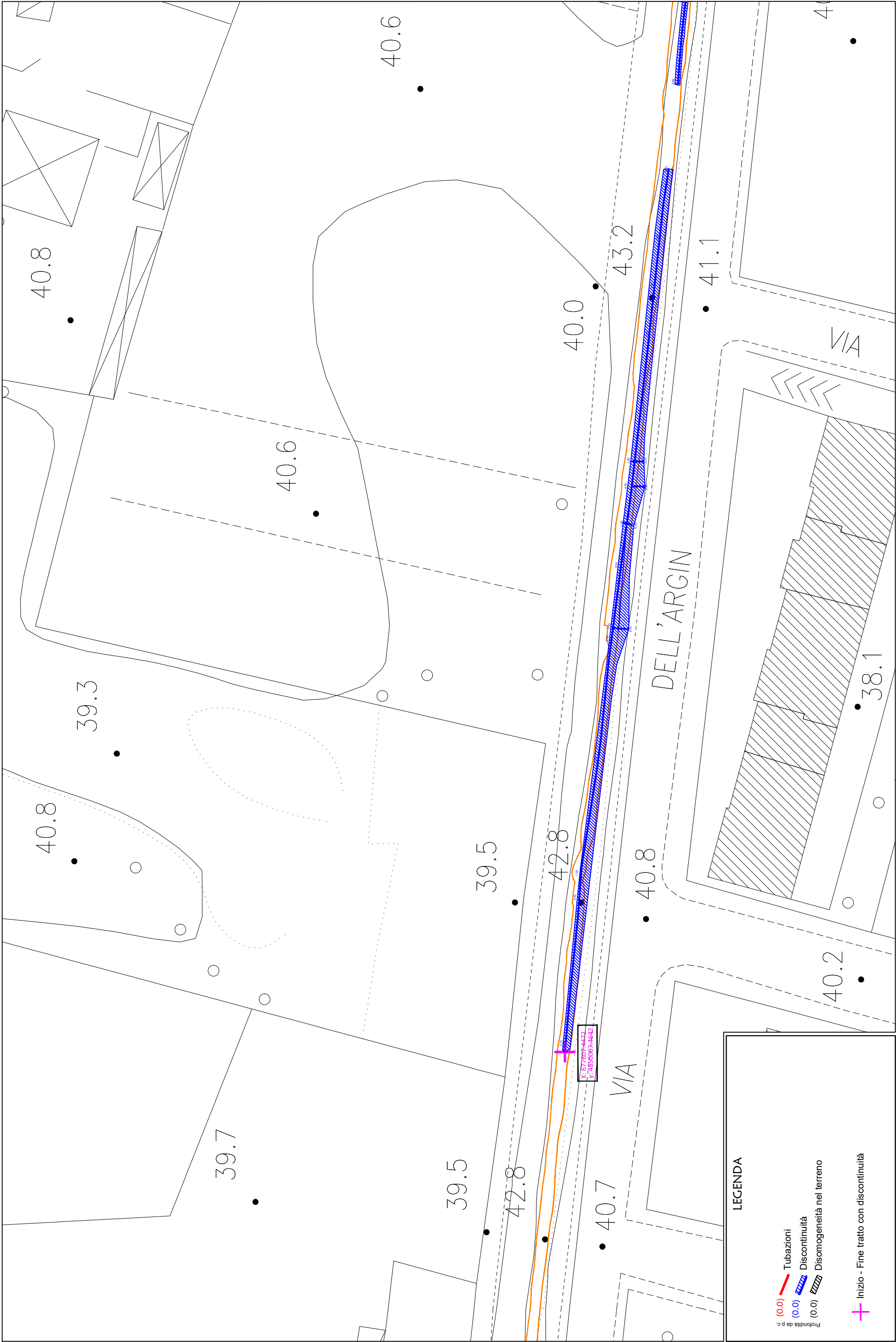


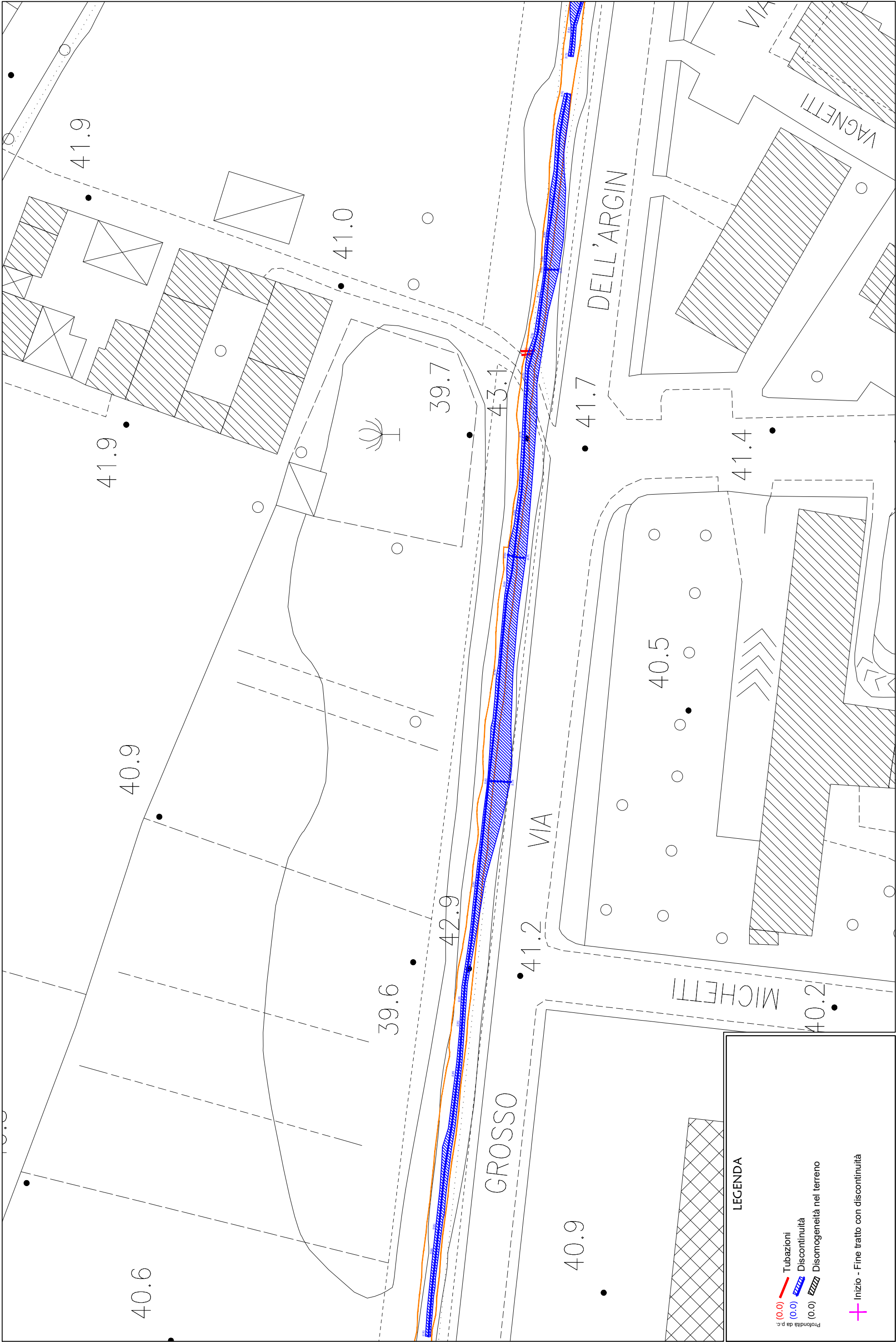
LEGENDA

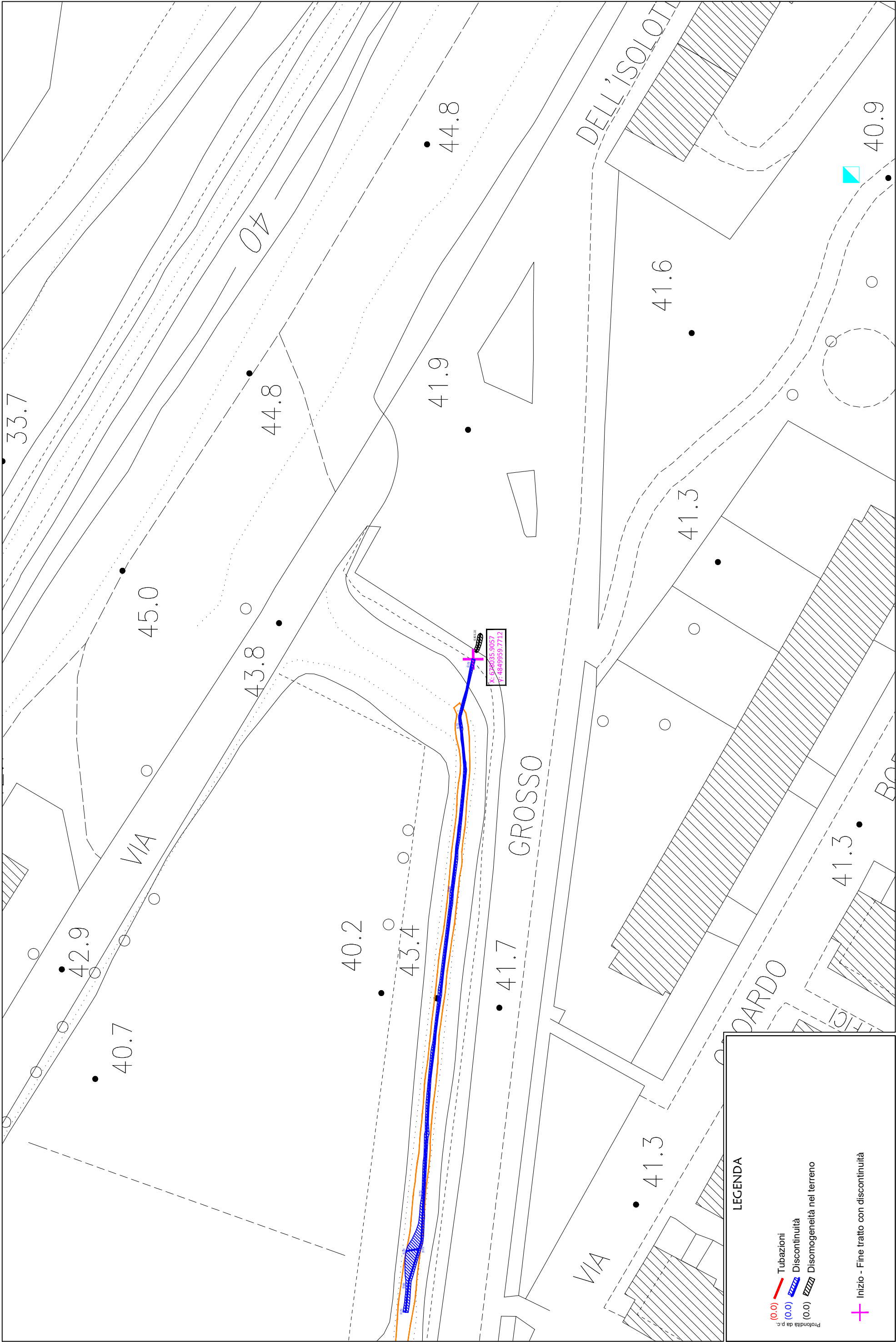
Tubazioni
 Discontinuità
 Disomogeneità nel terreno
 Inizio - Fine tratto con discontinuità

Profondità da p.c.









CITTA' METROPOLITANA DI FIRENZE
COMUNE DI FIRENZE



Indagine Geofisica attiva (MASW) svolta lungo argine in Via Carrara a Firenze.

Data esecuzione indagini: 21 Luglio 2023
Data stesura relazione tecnica: 31 Luglio 2023

EngeoProgetti Srl
via Pontevecchio 18 Barga
55051 - Lucca
Pec : engeoprogettisrl@pec.it
Mobile Phone: 3496608449 / 3476146353



INDICE RELAZIONE

1 – PREMESSA	2
1.1 UBICAZIONE AREA DI STUDIO	2
1.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE	2
1.3 STRUTTURA DELLA RELAZIONE	2
2 – LE ONDE DI SUPERFICIE	3
2.1 DESCRIZIONE DELLE ONDE DI SUPERFICIE	3
2.2 CENNI TEORICI	4
2.3 PROPRIETA' RIASSUNTIVE DELLE ONDE SUPERFICIALI	7
3 – INDAGINE SISMICA MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	9
3.1 ACQUISIZIONE DEI DATI MASW	11
3.1.1 PARAMETRI DI ACQUISIZIONE TEORICI ED UTILIZZATI	12
3.1.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	15
3.1.3 ESECUZIONE INDAGINE MASW	15
3.2 ELABORAZIONE (PROCESSING) ED INVERSIONE DEI DATI MASW	17
4 – COMMENTO AI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE SVOLTE	20
5 – BIBLIOGRAFIA	21

ALLEGATI

- ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONE INDAGINI SISMICHE ATTIVE MASW
- ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI

1 – PREMESSA

Il presente documento riguarda la descrizione, l'elaborazione e i risultati delle indagini geognostiche, di tipo geofisico, condotte lungo un argine in Via Carrara a Firenze.

1.1 – UBICAZIONE AREA DI STUDIO

Per la visualizzazione dell'ubicazione di ciascuna indagine geognostica svolta si rimanda alla cartografia tematica realizzata.

1.2 – INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

La caratterizzazione dal punto vista sismico del terreno è stata condotta mediante la realizzazione delle seguenti tipologie di prove geofisiche sia attive che passive:

n. 1 indagine sismica attiva MASW, per la determinazione del profilo delle onde di taglio.

1.3 – STRUTTURA DELLA RELAZIONE

La presente relazione descriverà i metodi di indagine utilizzati, illustrerà la metodologia di acquisizione, la strumentazione utilizzata, le tecniche e modalità di inversione/interpretazione, e verranno mostrati, in allegato, i risultati ottenuti dalla campagna geognostica svolta a supporto della caratterizzazione sismica del sottosuolo relativamente all'area di indagine.

Verranno quindi in un primo momento illustrate e descritte le varie tecniche di acquisizione dei dati, successivamente verranno riportate le modalità di elaborazione e infine mostrati i risultati ottenuti.

2 – LE ONDE DI SUPERFICIE

2.1 – DESCRIZIONE DELLE ONDE DI SUPERFICIE

Le onde superficiali si generano ogni qual volta esiste una superficie libera.

Vengono a crearsi quindi a causa dell'interazione delle onde di corpo con una superficie di discontinuità fisica, la più studiata delle quali è la superficie libera della Terra.

Queste onde si propagano solo lungo la superficie o nell'interfaccia tra due strati con proprietà fisiche diverse.

La velocità delle onde di superficie è inferiore alla velocità delle onde di volume, per cui il loro arrivo è successivo all'arrivo delle Onde P ed S.

Esistono due tipi di onde di superficie, chiamate coi nomi dei due fisici che per primi le studiarono: Onde di Rayleigh e Onde di Love.

- Onde di Rayleigh

Quando un'onda S (componente SV) assieme ad un'onda P incide sulla superficie libera dalla componente vettoriale delle due si generano onde superficiali che si propagano lungo la superficie stessa.

Queste onde esistono sia in semispazi omogenei (in questo caso la loro velocità è circa 0,92 volte la velocità delle onde S) che disomogenei (in cui risulta essere un'onda dispersa, ossia la sua velocità è anche funzione della sua frequenza).

Il loro moto è vincolato in uno spazio verticale contenente la direzione di propagazione dell'onda.

Si dimostra che una particella investita da questo tipo di onda vicina alla superficie, percorre un moto ellittico retrogrado lungo la direzione di propagazione (Fig. 1).

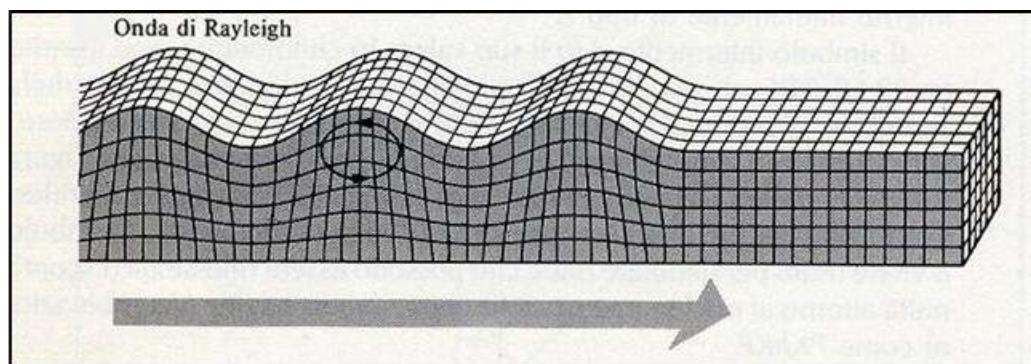


Fig. 1 - Schema di propagazione delle Onde di Rayleigh (fonte immagine www.ingv.it)

- Onde di Love

Le onde di Love sono onde superficiali, anch'esse generate dall'incontro delle Onde S (componente SH) con la superficie libera del terreno, ma vengono generate solo nei mezzi in cui la velocità delle Onde S aumenta con la profondità (un mezzo quindi disomogeneo) di conseguenza sono onde sempre disperse.

Le Onde di Love fanno vibrare il terreno sul piano orizzontale in direzione ortogonale rispetto alla direzione di propagazione dell'onda (Fig. 2).

La velocità delle onde di Love è maggiore di quella delle onde S negli strati più superficiali della crosta, ma minore della stessa negli strati più bassi.

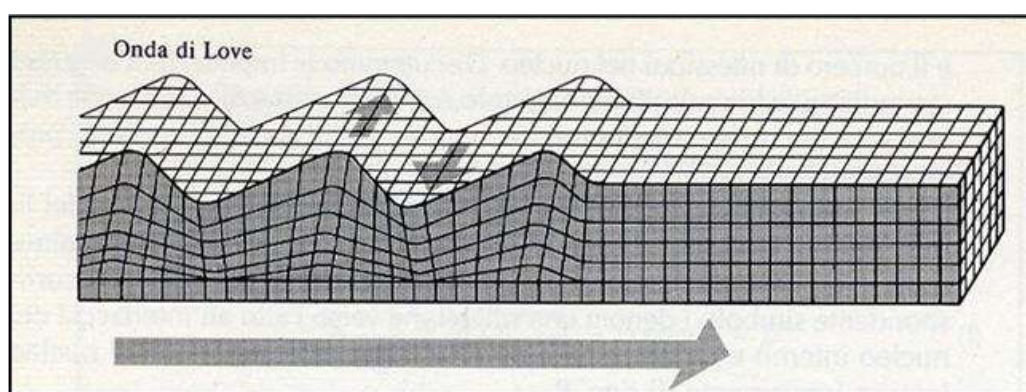


Fig. 2 - Schema di propagazione delle onde di Love (fonte immagine www.ingv.it)

2.2 – CENNI TEORICI

Nella maggior parte delle indagini sismiche di superficie, quando viene utilizzata una sorgente di onde di compressione, oltre due terzi del totale di energia sismica complessivamente generata è trasmessa mediante onde di Rayleigh.

Se consideriamo la variazione di velocità verticale in mezzi eterogenei noteremo che le onde di Rayleigh hanno un comportamento dispersivo, vale a dire che la velocità di gruppo non coincide con la velocità di fase di ciascuna frequenza.

Detto questo all'aumentare della lunghezza d'onda λ aumenta la profondità della parte interessata dalla perturbazione.

Sapendo che la lunghezza d'onda è legata al periodo T dell'onda mediante la relazione:

$$\lambda = V \cdot T$$

se ne deduce che, a parità di velocità (V), la profondità cresce all'aumentare del periodo e al diminuire della frequenza (si ricorda che $T = 1/f$ dove f è la frequenza).

In pratica, al crescere del periodo, aumenta la sensibilità dell'onda a caratteristiche del terreno sempre più profonde.

Il terreno inoltre agisce da filtro passa basso quindi le frequenze più alte possono essere indicative soltanto per gli strati più superficiali.

Nel caso delle onde Rayleigh, lo strato coinvolto nella perturbazione ha uno spessore dell'ordine di circa 0.5λ (Choon B.Park et al, 1997).

L'immagine sottostante (Fig. 3) riassume il concetto per cui considerando due componenti una ad alta frequenza e corta lunghezza d'onda (a sinistra) e una a bassa frequenza e quindi grande lunghezza d'onda (a destra), la velocità di propagazione della prima dipende dal materiale più superficiale (quindi dalle caratteristiche ad esempio del primo strato) mentre la seconda viaggerà ad una velocità che dipende da tutto il materiale fino in profondità (quindi dalle caratteristiche di tutti gli strati che compongono questo ipotetico modello).

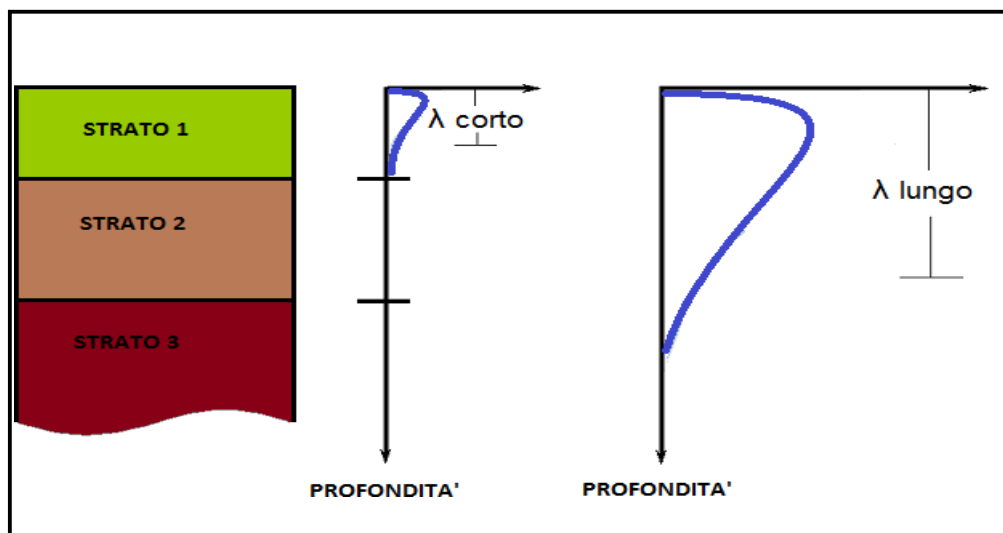


Fig. 3 - Corrispondenza tra lunghezza d'onda e profondità investigata

La distribuzione della velocità di fase in funzione della frequenza prende il nome di curva di dispersione.

E' chiaro quindi che più un modello di terreno è eterogeneo e maggiore sarà il grado di dispersione delle onde superficiali (Fig. 4).

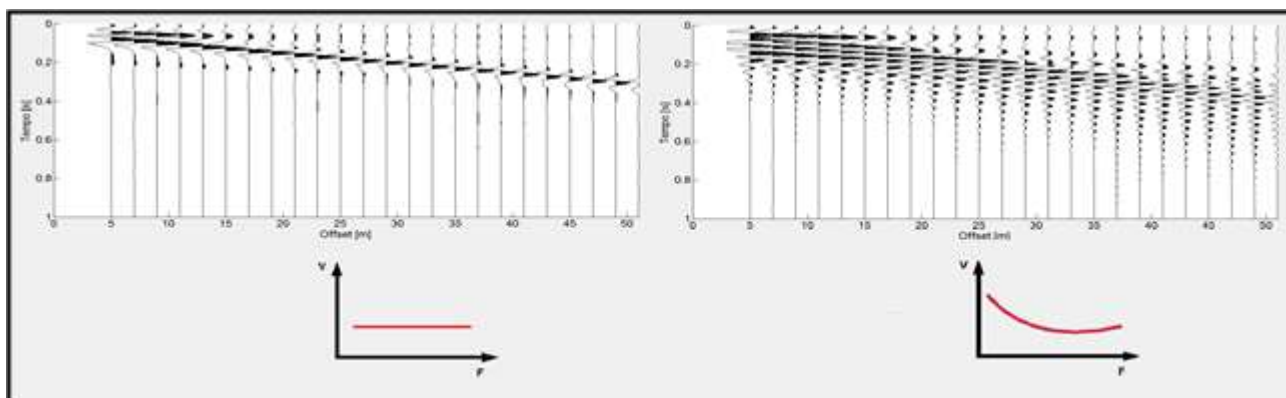


Fig. 4 - A sinistra, sismogramma risultante su terreno non dispersivo con sotto relativo andamento della curva di dispersione. A destra, sismogramma risultante su terreno dispersivo con sotto relativo andamento della curva di dispersione.

Un altro importante aspetto è connesso con la possibilità che questo tipo di onde, in presenza di eterogeneità verticali, manifestino anche una natura multimodale, vale a dire che la loro propagazione può avvenire, per una data frequenza, solo a determinate velocità (modi di propagazione).

Il modo che presenta la velocità di propagazione più bassa è detto modo fondamentale, mentre i restanti costituiscono i modi superiori.

In caso di strati eterogenei e con velocità crescenti il modo fondamentale è quello più energetico.

E' stato osservato che i modi superiori hanno origine in presenza di inversioni di velocità (Fig. 5) o di contrasti di velocità molto forti tra due strati (Cercato, 2008).

In questo caso i modi superiori sono caratterizzati da energia superiore rispetto al modo fondamentale.

Molto spesso può accadere che ci siano dei "salti di modo" tra il fondamentale e i superiori e viceversa quindi il solo basarsi sul modo fondamentale implica in alcuni casi una scorretta inversione dei dati.

I modi superiori vengono sempre più usati infatti il loro utilizzo nelle elaborazioni unitamente al modo fondamentale, può aiutare a vincolare meglio il modello Vs del sottosuolo, soprattutto in profondità. I più comuni software in commercio ne prevedono l'uso.

La dispersione delle onde superficiali quindi, elemento di disturbo negli altri tipi di indagini (sismica a rifrazione e a riflessione), risulta invece, grazie a questa sua proprietà, estremamente utile per calcolare le proprietà elastiche dei mezzi presenti in superficie.

Dalla curva di dispersione, in particolare dallo studio del modo fondamentale, infatti si può ricavare, attraverso l'operazione di inversione dei dati, il profilo di Velocità Vs e gli spessori degli strati indagati, parametri fondamentali sia in ingegneria sia in geofisica di esplorazione.

La stessa curva di dispersione inoltre può essere calcolata a partire dal sismogramma iniziale $x-t$ (offset-tempi) sia in forma generale in un diagramma $F-V$ (frequenze-velocità), sia in un diagramma $F-L$ (frequenze-lentezze dal momento che $L = 1/V$), sia in un diagramma $F-K$ (frequenze-numeri d'onda dal momento che $f=1/T$ quindi $V = \lambda f = 2\pi f / K$) sia in un diagramma $T-V$ o $T-L$ (tempi-velocità o tempi-lentezze).

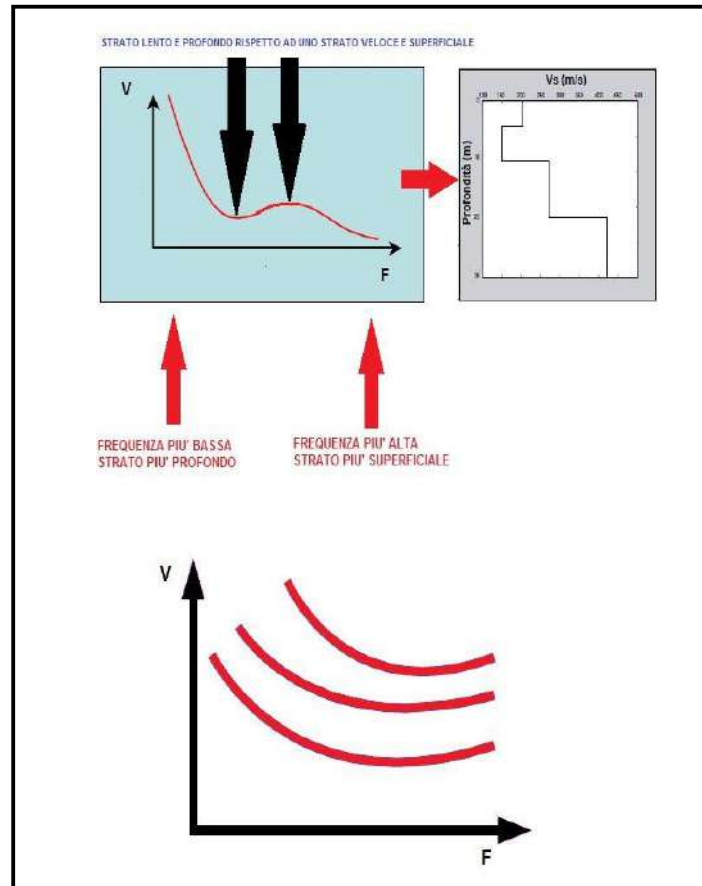


Fig. 5 - In alto, curva di dispersione con la presenza di inversione di velocità. In basso, andamento tipico della curva di dispersione (Modo Fondamentale e Modi Superiori); all'aumentare della frequenza diminuisce la velocità.

2.3 – PROPRIETÀ RIASSUNTIVE DELLE ONDE SUPERFICIALI

1. Circa il 67% dell'energia rilasciata da un qualsiasi tipo di sorgente genera onde di superficie.
2. L'ampiezza delle onde superficiali caratterizzate da un fronte d'onda cilindrico, la cui area risulta $2\pi xz$, è notevolmente maggiore rispetto alle onde di corpo che invece presentano fronte d'onda sferico.

Questo significa che per conservare l'energia (dal momento che l'energia è proporzionale al quadrato dell'ampiezza dell'onda) l'ampiezza dell'onda di superficie alla distanza X deve essere proporzionale a $1/X$. Il fronte d'onda delle onde di corpo invece è sferico (area relativa $4\pi x^2$) quindi

l'ampiezza alla distanza X è proporzionale a X^{-2} il che significa che decade molto più velocemente delle onde superficiali.

3. Lo studio delle onde superficiali non è limitato, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.

4. La propagazione delle onde di Rayleigh è influenzata prevalentemente da V_s e dallo spessore h degli strati mentre le velocità V_p e la densità possono essere trascurate. La velocità delle onde di Rayleigh è circa il 90 % della velocità delle V_s .

5. La proprietà della dispersività permette il calcolo della curva di dispersione dalla quale è possibile ricavare i parametri fondamentali del modello di terreno in superficie. Le indagini geofisiche nell'ambito della seguente relazione sono state svolte utilizzando un sismografo DOREMI prodotto dall'azienda SARA Electronic Instruments s.r.l.

3 – INDAGINE SISMICA MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Per le proprietà descritte precedentemente può risultare quindi conveniente l'utilizzo delle onde superficiali per la caratterizzazione di un determinato sito di indagine per stimare il profilo di V_s dalla velocità delle onde superficiali.

E' stato dimostrato ampiamente che la curva di dispersione delle onde superficiali è influenzata soprattutto dalla velocità delle onde S ma anche dallo spessore di ciascuno strato mentre risultano poco influenti le velocità delle onde P (totalmente nel caso delle onde di Love) e la densità di ciascuno strato.

E' quindi possibile stimare oltre al profilo di velocità delle onde S anche i diversi spessori degli strati.

La registrazione di tali forme d'onda viene effettuata mediante la tecnica MASW, l'acronimo sta per Multichannel Analysis of Surface Waves.

Bisogna precisare subito che la tecnica MASW non si basa solo ed esclusivamente sullo studio delle onde di Rayleigh in quanto anche le onde di Love sono onde superficiali anch'esse soggette al fenomeno della dispersione.

In questa specifica tecnica verranno però prese in considerazione solo le onde di Rayleigh.

Come è stato descritto in precedenza le onde di Rayleigh sono caratterizzate da una polarizzazione sul piano verticale e sono quindi registrabili lungo le due componenti verticale e radiale quindi possono essere registrate sia tramite geofoni verticali (per quanto riguarda la componente verticale) sia tramite geofoni orizzontali posti parallelamente allo stendimento (per quanto riguarda la registrazione della componente radiale).

Il tipo di sorgente dovrà comunque essere di tipo verticale per entrambe le componenti.

Questa precisazione è stata fatta perché molto spesso il solo utilizzo della componente verticale e/o orizzontale delle onde di Rayleigh, come unica tecnica MASW, senza avere dati geologici di base su un determinato sito, può non essere sufficiente per una corretta interpretazione dei diversi modi e la successiva inversione dei dati potrebbe dare qualche problematica.

LIMITAZIONI DEL METODO MASW

In generale è bene precisare che il metodo MASW presenta alcune limitazioni tra le quali:

1. Il modello di terreno deve essere a strati piani e paralleli viceversa la prova MASW perderebbe di attendibilità.
2. In riferimento a quanto previsto al precedente punto 1, non ci devono essere significative variazioni laterali del terreno.
3. La quota topografica dello stendimento dei geofoni non deve avere variazioni consistenti.

4. Le caratteristiche elastiche del terreno possono in alcuni casi attenuare completamente le onde superficiali rendendo quindi il metodo MASW inutilizzabile.

5. La profondità di investigazione è dipendente anche dalla lunghezza dello stendimento.

6. Poiché il profilo V_s finale viene calcolato mediante un processo di inversione, è possibile pervenire ad una curva di dispersione non univoca, ovvero quest'ultima soddisfa più modelli differenti di terreno (vedere seguito).

I metodi di prospezione sismica **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) quindi, consentono di ottenere un modello verticale delle VS a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale.

In particolare osservando le caratteristiche dispersive del sito e applicando opportune tecniche di inversione è possibile stimare alcune proprietà meccaniche del sottosuolo in condizioni di sollecitazione sismica.

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità, ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda.

Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità.

Questo comportamento viene definito dispersione in frequenza ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati sovrapposti con caratteristiche elastiche lineari.

Per ogni strato si devono definire quattro parametri: lo spessore H dello strato, ad esclusione dell'ultimo considerato infinito; la densità ρ dello strato; la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s all'interno dello strato; il coefficiente di Poisson.

A partire dai parametri del sottosuolo è quindi possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh, per il sito in esame.

Quanto detto rappresenta il problema diretto: quello cioè che a partire dalla conoscenza delle caratteristiche del terreno permette di descrivere la dispersione delle onde di Rayleigh.

Nella prospezione occorre invece affrontare il problema inverso: a partire dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi di seguito descritte in maniera semplificata:

Acquisizione: registrazione e osservazione dei dati sismici “grezzi” contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;

Processing: trattamento dei dati attraverso filtraggio e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza (Spettro FP) e operazione di *Picking* della Curva di dispersione ottenuta;

Inversione: uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed altri parametri in funzione della profondità riconducibile col minor scarto di errore possibile al *Picking* della Curva di dispersione sperimentale ottenuta.

3.1 – ACQUISIZIONE DEI DATI MASW

Le analisi della dispersione delle onde superficiali partono dall'acquisizione dei dati con una geometria di tipo off-end ovvero lo stendimento dei geofoni si trova allineato da una stessa parte rispetto alla sorgente (Fig. 6) oppure split-spread quando invece la sorgente è posta all'interno dello stendimento di geofoni.

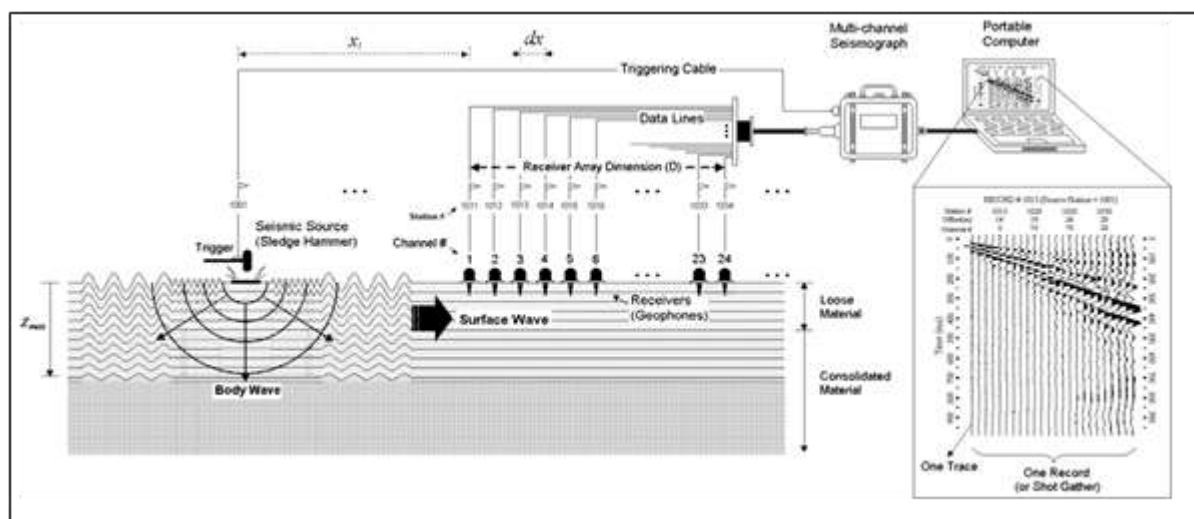


Fig. 6 - Schema di acquisizione delle Onde Superficiali (Fonte immagine www.kgs.ku.edu).

La strumentazione necessaria deve comprendere:

- Sismografo e suoi componenti (Cavi, Trigger, Sistema di acquisizione dati e inversione)
- Geofoni verticali e orizzontali
- Sorgente: martello, grave in caduta libera o fucile sismico
- Piastra per la battuta o traversina
- Appositi supporti per ciascun geofono in caso di presenza di asfalto o roccia

3.1.1 – PARAMETRI DI ACQUISIZIONE TEORICI ED UTILIZZATI

Ecco nel dettaglio i vari parametri necessari per un'acquisizione dati MASW:

1- Sorgente

Il tipo di sorgente utilizzata è stato di tipo verticale (martellata).

Qualora la registrazione fosse risultata problematica a causa della distanza e/o dell'attenuazione intrinseca del terreno è stato aumentato il numero di stack (ovvero il numero di colpi per registrazione). Ciò in generale tende a migliorare il rapporto segnale/rumore, la qualità delle registrazioni e quindi degli spettri di velocità su cui si andrà a fare il picking.

2 - Lunghezza dello stendimento Array Dimension (D)

Lo stendimento, in teoria, deve avere la lunghezza (D) maggiore possibile (in base alla disponibilità di spazio e di geofoni) in quanto dalla sua lunghezza derivano le frequenze più basse registrabili (λ_{\max}) e quindi di conseguenza, come descritto in precedenza, una maggiore profondità di investigazione (Z).

La sua lunghezza non deve comunque essere superiore a 46 m (la distanza tra geofoni deve essere pari a 2 m per un array di 24 geofoni). In caso di utilizzo di più geofoni possono essere comunque possibili anche lunghezze superiori.

Dalla lunghezza dello stendimento dipende inoltre la risoluzione dei vari spettri, maggiore è la lunghezza e maggiore è la risoluzione. Di conseguenza sarà più facile effettuare l'operazione di picking.

In prima approssimazione quindi, sempre in via teorica, $D \approx Z \approx \lambda_{\max}$ dove λ_{\max} è la lunghezza d'onda massima misurata (corrispondente alla minima frequenza).

3 – Distanza tra i geofoni (dx)

Dipende molto dal numero di geofoni (in questo caso 24), dalla lunghezza dello stendimento e quindi dalla disponibilità di spazio. Utilizzando 24 geofoni la dx deve essere massimo di 2 m.

A maggior ragione se venisse utilizzato lo spettro f-k per l'individuazione dei modi delle onde superficiali deve essere comunque sempre utilizzata una dx piccola (2 m massimo).

Questo a causa del problema dell'*aliasing spaziale* ovvero la non sufficientemente ridotta distanza tra geofoni non consente di campionare a sufficienza i segnali a più alta frequenza.

Tale problema si presenta qualsiasi spettro si utilizzi, ma nel caso $f - v$ è più facilmente individuabile e non compromette l'interpretazione del dato rispetto allo spettro $f - k$.

Dalla distanza tra i geofoni dipendono inoltre le frequenze più alte registrabili quindi le informazioni inerenti gli strati più superficiali.

Una dx troppo grande inoltre (utilizzando 24 geofoni) ridurrebbe la “ridondanza”, cioè quel fenomeno che permette di registrare la stessa frequenza da più stazioni e consente di avere un migliore rapporto segnale/rumore e quindi una migliore definizione della curva di dispersione ottimale.

In prima approssimazione quindi, in questo caso, la profondità minima di esplorazione $z \approx dx \approx \lambda_{\min}$, dove λ_{\min} è la lunghezza d'onda minima (massima frequenza).

4 - Distanza sorgente-primo ricevitore (offset minimo X_1)

Per quanto riguarda l'offset minimo bisogna tenere in considerazione il fatto che una sorgente troppo vicina causa problemi di *near offset* e non si rispetta la condizione di onda piana in quanto l'onda generata ha un fronte sferico.

La teoria prevede che un'onda può considerarsi piana ad una distanza circa la metà della massima lunghezza d'onda desiderata (se vogliamo ad esempio avere un profilo che interessa i primi 30 metri di profondità si deve considerare una lunghezza d'onda di circa 60-70 metri, quindi un offset minimo di 30-40 m).

In pratica molto spesso ciò non è possibile, ma buoni risultati si possono ottenere anche ad offset minimi inferiori.

E' necessario quindi effettuare registrazioni con diversi offset in modo da poter valutare, nella fase di elaborazione dati, diversi spettri di velocità derivanti da diverse configurazioni sorgente-ricevitori ed ottenere dal loro confronto un quadro più completo che agevoli il riconoscimento dei modi delle onde di Rayleigh effettivamente presenti, non essendo possibile stabilire a priori, in campagna, quale sia la migliore configurazione.

In questo modo si può avere inoltre un riscontro sulla conformazione 1D del sottosuolo (presenza o meno di variazioni laterali) ma anche risultati che interessino porzioni di terreno sempre più profonde.

5 - Tipo di geofoni

E' raccomandato per questo tipo di registrazioni l'utilizzo di geofoni in grado di registrare basse frequenze (4.5 Hz o inferiore).

I geofoni verticali vengono utilizzati per la misura della componente verticale delle onde di Rayleigh mentre quelli orizzontali, eventualmente, per la componente radiale delle onde di Rayleigh.

I geofoni vengono posizionati in maniera ben solidale al terreno; in presenza di roccia o di asfalto si utilizzano gli appositi supporti. Il numero di geofoni utilizzati in questa campagna è di 24.

6 – Intervallo di campionamento (dt)

Per quanto riguarda le onde superficiali si parla di onde che hanno un range di frequenze teoricamente <100 Hz per questo motivo è sufficiente utilizzare un passo di campionamento molto ampio (anche 4 ms).

7 – Tempo di registrazione

Il tempo di registrazione dipende molto dal tipo di terreno. Se omogeneo o quasi il fenomeno della dispersione non è molto accentuato, se invece è molto eterogeneo il “ventaglio” della dispersione è molto ampio.

Pertanto la lunghezza della registrazione deve essere di almeno 1-2 secondi.

Nella tabella successiva vengono riassunti i parametri indicativi appena descritti:

SORGENTE	Onde di Rayleigh: verticale (martellata)
LUNGHEZZA DELLO STENDIMENTO (D)	46 metri
DISTANZA TRA GEOFONI (dx)	2 m
OFFSET MINIMO (X ₁)	$\approx dx$ e $\approx D/2$
NUMERO DI SCOPPI	2
TIPO DI GEOFONI	4.5 Hz (verticali per la componente verticale delle onde di Rayleigh)
NUMERO DI GEOFONI	24
TEMPO DI REGISTRAZIONE	1-2 secondi
INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO (dt)	0.5 – 2 ms
NOTE	Le tracce non sono state filtrate e è stato aggiunto AGC (Automatic Gain Control)

3.1.2 – STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le indagini geofisiche nell'ambito della seguente campagna geofisica sono state svolte utilizzando un sismografo *DOREMI* prodotto dall'azienda SARA Electronic Instruments s.r.l.

Di seguito vengono elencate le caratteristiche tecniche:

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica

Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipunto

Lunghezza max rete: virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori

N. max canali per tratta: 255

Dimensioni elemento: 80x55x18 mm

Peso: 250 g (per elemento con cavo di 5 metri)

Cavo: per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato

Memoria: 60 kBytes (30000 campioni)

Frequenze selezionabili: da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)

Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)

Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale

Banda passante: 2Hz - 200Hz

Reiezione modo comune: >80dB

Diafonia (crosstalk): zero, la trasmissione è digitale

Dinamica del sistema Risoluzione: 7.6 μ V @ 27dB; 0.076 μ V @ 60dB

Dinamica di base: 96dB (16 bit) S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: >94dB (> 150dB con l'uso del PGA)

Alimentazione: batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc

Consumo di energia: Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA

3.1.3 – ESECUZIONE INDAGINE MASW

La geometria di acquisizione utilizzata è indicata nello schema sottostante.

E' bene precisare che una geometria di acquisizione "fissa" non esiste, poiché questa dipende dalle singole caratteristiche fisiche di ciascun sito indagato.

La geometria proposta, compatibilmente con le condizioni logistico-morfologiche, rappresenta il giusto compromesso tra pratica e teoria.

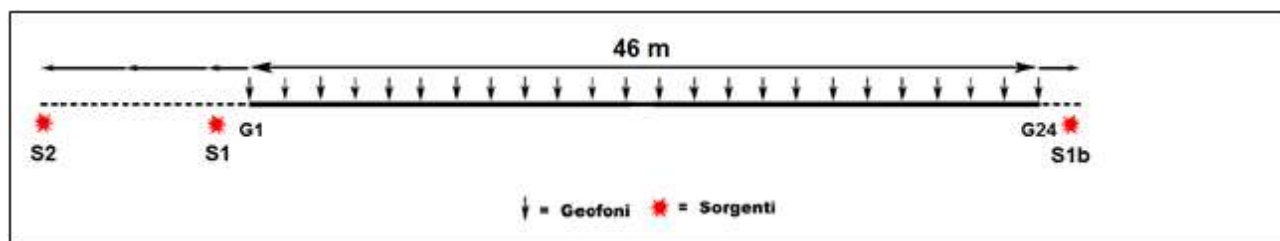


Fig. 7 - Geometria di acquisizione massima per le onde superficiali utilizzando 24 geofoni e $dx=2$.

S1: a distanza adeguata da G1.

S2: a distanza $D/2$ da G1 pari alla semi lunghezza dell'array di geofoni (D).

S1b: a distanza da G24 speculare rispetto a S1

La scelta di utilizzare due scoppi S1 e S2 di cui quest'ultimo a distanza, ove possibile, pari a $D/2$ è stata fatta per i seguenti motivi:

- Scoppi posti a distanza considerevole permettono di mettere in evidenza tutto il range di frequenze ottenibile dalla sorgente utilizzata, dalle più alte (S1) a quelle più basse (S2);
- I modi superiori, se presenti, sono maggiormente individuabili e discriminabili da quello fondamentale, il che in caso contrario porterebbe ad una interpretazione errata a seguito della fase di inversione dei dati;
- La similarità tra i due spettri F-V ricavabili dai due scoppi permette di stabilire se siamo in condizione di piani paralleli e/o assenza di variazioni laterali significative;
- In aggiunta al punto precedente, per verificare il parallelismo e l'omogeneità degli strati, in caso non ci sia lo spazio necessario per lo scoppio S2, eventualmente, ove possibile, è buona norma ricorrere ad uno scoppio (S1b) posto nella parte opposta dello stendimento in posizione geometricamente speculare allo scoppio S1.

Una volta stabilita la geometria di acquisizione si passa alla fase di montaggio della strumentazione in campagna.

I cavi sismici vengono stesi lungo la zona di interesse e ad essi vengono collegati i geofoni precedentemente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite.

L'energizzazione del terreno per generare onde elastiche di tipo P è stata effettuata mediante massa battente da 8 Kg: l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro posto in prossimità della piastra di battuta (trigger), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo.

La profondità di investigazione è, in linea teorica come descritto precedentemente, direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza dei punti di energizzazione esterni e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

3.2 – ELABORAZIONE (PROCESSING) E INVERSIONE DEI DATI MASW

L'analisi della dispersione delle onde superficiali (qualsiasi tipo esse siano) al fine di determinare il profilo delle Vs di un determinato sito è composta da due fasi fondamentali:

1 – Determinazione dello spettro di velocità (generalmente nel dominio $f - v$) dal quale vengono determinate le caratteristiche delle onde superficiali quindi le curve di dispersione.

2 – l'inversione, ovvero il passaggio dalle curve di inversioni al modello di terreno, dei diversi modi precedentemente individuati (in particolare il modo fondamentale). Una volta registrate le tracce seguendo la metodologia precedentemente descritta si ottiene il dataset dei dati nel dominio $x - t$ ovvero spazio – tempo. E' chiaramente impossibile lavorare in questo dominio quindi si deve passare al dominio $f - k$ (frequenze – numeri d'onda) oppure al dominio $f - v$ (frequenze – velocità) (Fig. 8).

Alcuni punti chiave da tenere in considerazione per il controllo di qualità dei dati sono:

1 – La registrazione corretta ben visibile in tutte le tracce.

2 – Spettro di velocità chiaro ed interpretabile.

3 – Attenzione ai modi superiori se presenti.

4 – Utilizzare come modello iniziale i dati geologici e/o i dati forniti dalla sismica a rifrazione. Trattandosi infatti di un problema inverso, la parametrizzazione del modello di riferimento deve essere adeguata rispetto all'informazione effettivamente disponibile (Foti, 2008).

5 - La corrispondenza tra curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione numerica relativa all'ultima iterazione del processo di inversione, minimizzando gli scarti, deve essere adeguata per tutto il campo di frequenza per il quale sono disponibili informazioni sperimentali (Foti, 2008).

6 – In caso di incertezze legate alla NON UNIVOCITA' DELLA SOLUZIONE è necessaria quindi una taratura mediante dati diretti di esplorazione del sottosuolo.

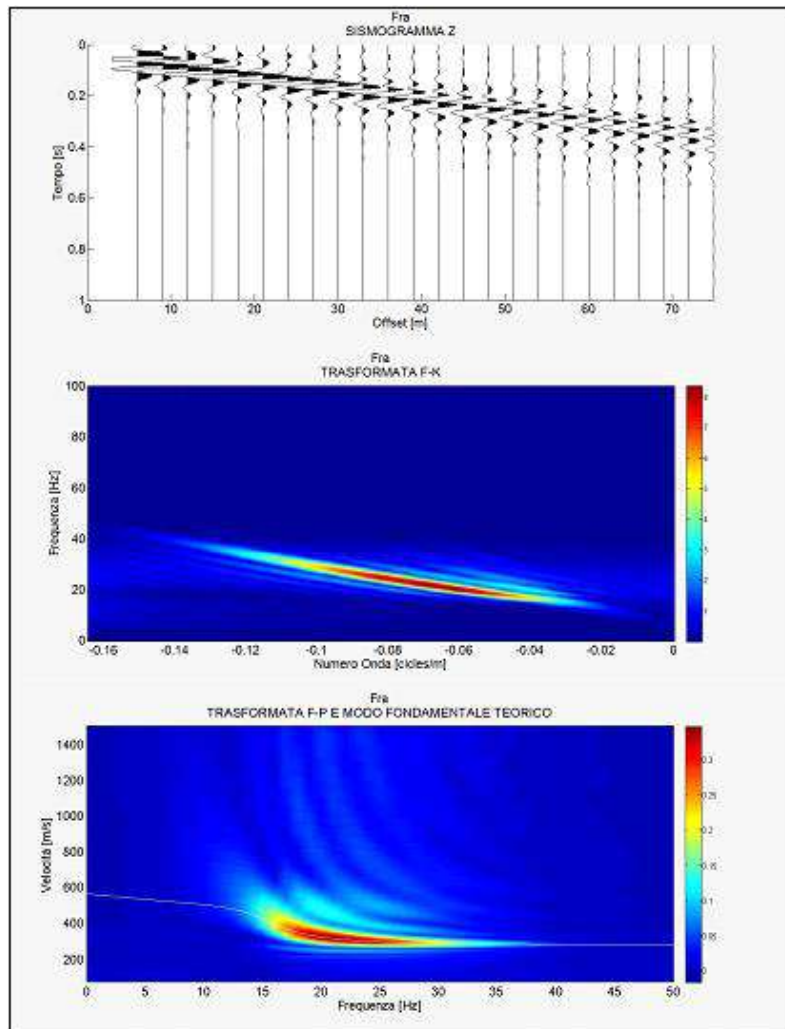


Fig. 8 - Semplice modello preso dalla letteratura composto da due strati a velocità crescente ($V_p = 650$ e 1400 m/s, $V_s = 300$ e 600 m/s, spessore h fino al semispazio di 8 m). Dall'alto al basso si può vedere il sismogramma sintetico (componente verticale), lo spettro f-k e lo spettro f-v (con modo fondamentale teorico).

Una volta calcolato lo spettro $f-v$ è buona norma verificare la profondità massima raggiunta dall'indagine (Fig. 9) in modo da meglio vincolare il modello da utilizzare nella fase di inversione, dopo di che si entra nella parte più delicata, ovvero il picking, l'individuazione cioè dei diversi modi.

La loro individuazione è quindi soggettiva (di contro all'oggettività dello spettro calcolato) e le scelte che si fanno devono essere ponderate con cura per non inficiare in maniera determinante il processo di inversione.

E' di uso comune interpretare il modo fondamentale come quello a più alta energia.

Questo non è sempre vero. In base infatti alla complessità del sito geologico i modi superiori potrebbero essere molto più energetici o addirittura talmente energetici che nello spettro il modo fondamentale non è visibile.

Non bisogna in maniera categorica basarsi sul picking e inversione automatica che molti software consentono di fare.

E' necessario quindi fare riferimento a prove invasive presenti nelle vicinanze (penetrometrie, carotaggi ecc.). Più dati si hanno a disposizione e maggiore è la probabilità di ricostruire, dalla curva di dispersione, il modello di terreno più veritiero che l'ha determinata, riducendo al minimo così i problemi di non univocità.

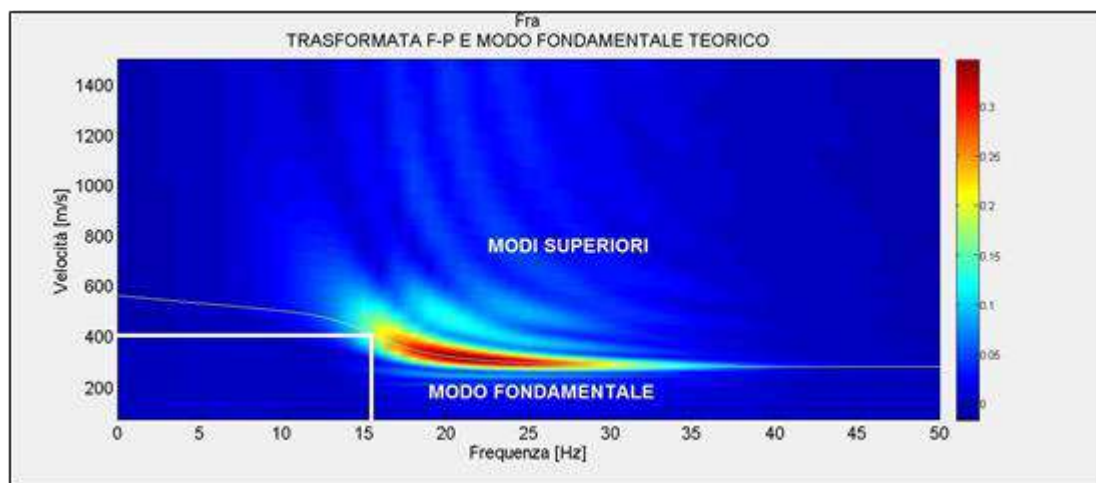


Fig. 9 - Calcolato lo spettro f-v per determinare in maniera approssimata la profondità massima raggiunta dalla prova si prendono le coordinate f-v dell'ultimo punto chiaramente visibile del modo fondamentale e si esegue la seguente formula: $Z = v / 2f$. In questo caso $v = 400$ m/s, $f = 15.5$ Hz quindi $Z = 400 / 31 = 12.9$ m

La geometria dello stendimento **MASW** utilizzata è stata di **12 geofoni** intervallati da una distanza di **5 m** (Lunghezza stendimento pari quindi a **55 m**) mentre i parametri di acquisizione sono stati settati in maniera consona a questo tipo di indagine (tempo di registrazione più lungo e bassa frequenza di campionamento).

In base alle indagini sismiche effettuata quindi, è stato possibile ricavare più sequenze sismo-stratigrafiche relativamente all'area d'indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali, nei primi 30 metri di profondità ed oltre (**Vs30/Vseq**).

4 – COMMENTO AI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE SVOLTE

Dalle indagini svolte nell'ambito del presente studio (*vedi Tavola Ubicazione Indagini*) sono emersi i seguenti risultati:

L'indagine **MASW** mostra un andamento crescente delle velocità delle onde di taglio fino alla profondità significativa di 30 m da piano campagna.

La media delle Vs30 è risultata pari a circa **290 m/sec**.

Secondo la recente normativa sismica (**OPCM n.3274** del 20/03/03, **D.M.14/09/05** e succ. **D.M. 22/03/18**) il suolo di fondazione da considerare è di tipo **C**.

In allegato vengono mostrati gli elaborati finali completi.

5 – BIBLIOGRAFIA

C. Park, R. Miller, J. Xia. Multichannel Analysis of Surface Waves, *Geophysics*, 64(3), 800-808, 1999.

C. Park, R. Miller, J. Xia and J. Ivanov. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) – active and passive methods, *The Leading Edge* (January 2007).

M. Cercato. Addressing non-uniqueness in linearized multichannel surface wave inversion, *Geophysical Prospecting*, 00, 1-21, 2008.

S. Foti, F. Santucci de Magistris, F. Silvestri, C. Eva. Valutazione degli standard di esecuzione e dell'efficacia delle indagini di sismica attiva e passiva, 2008.

D. Albarello, S. Castellaro. Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola *Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n. 2 – 2011*.

M. Bour*, D. Fouissac, P. Dominique & C. Martin. On the use of microtremor recordings in seismic microzonation (1998).

SESAME European research project. Guidelines for implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations, measurements, processing and interpretation (2004).

ALLEGATI

- **ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA ATTIVA MASW**
- **ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI**

- **ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA ATTIVA MASW**

INDAGINE SISMICA ATTIVA MASW

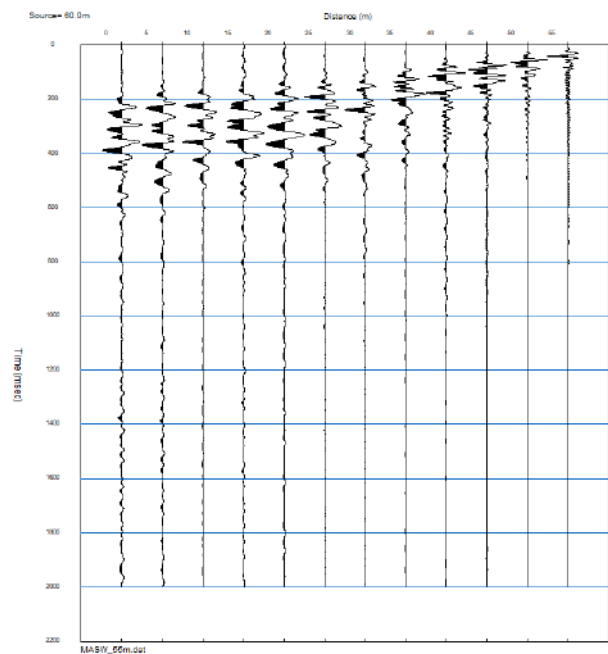
Geometria dello stendimento MASW

Numero Geofoni: 12

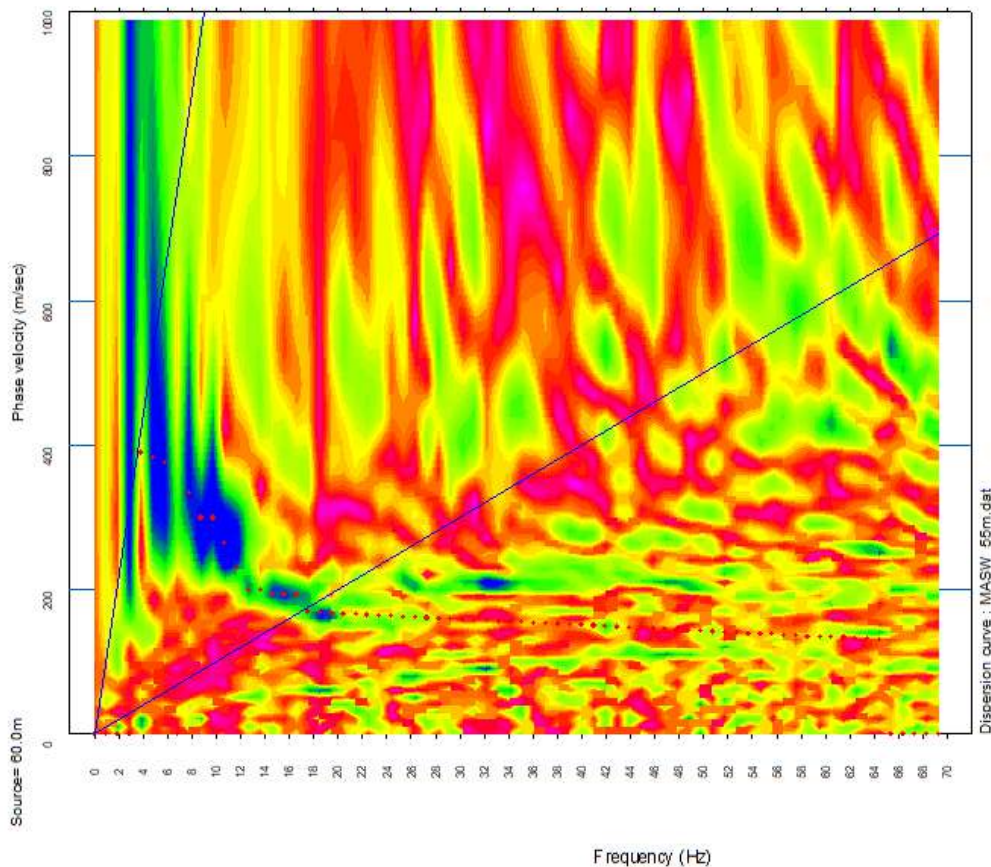
Intervallo (m): 5 m

Lunghezza Stendimento (m): 55 m

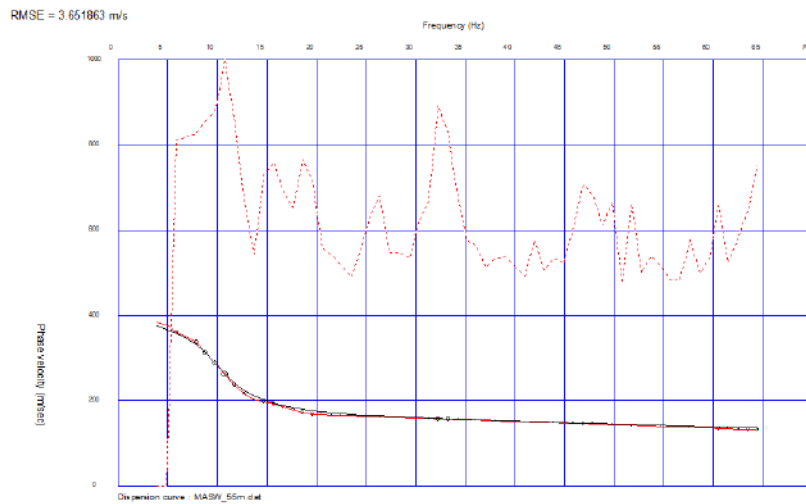
Sismogramma MASW



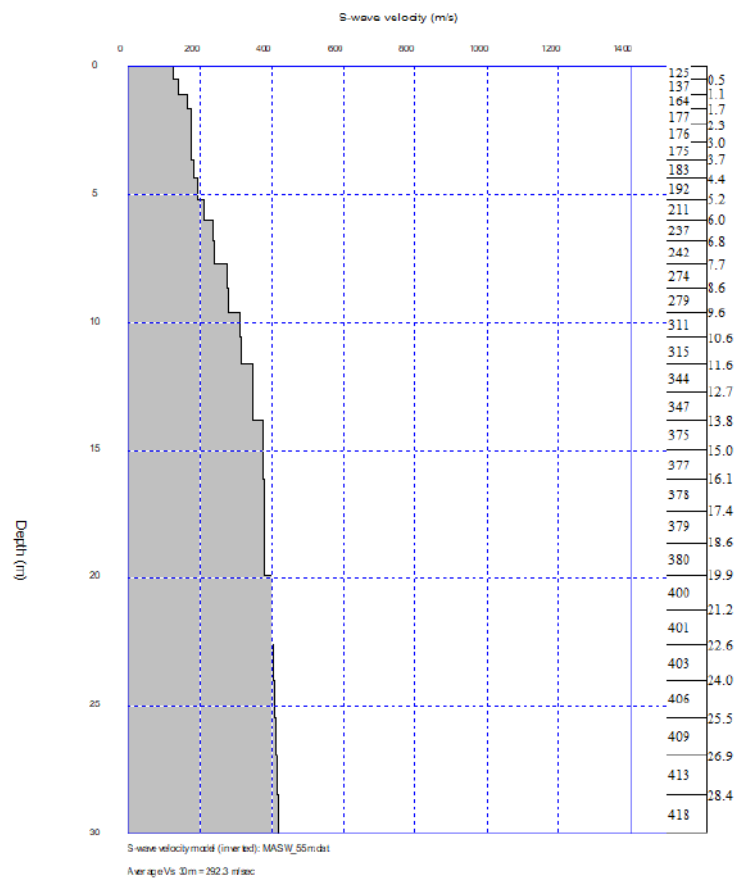
Curva Dispersione MASW



Curva Teorica e Sperimentale MASW



Profilo Vs Inversione MASW



La media delle Vs30 ricavata dall'inversione MASW è pari a circa **290 m/sec**.

Secondo la recente normativa sismica (**OPCM n.3274** del 20/03/03, **D.M.14/09/05** e succ. **D.M. 22/03/18**), il suolo di fondazione da considerare è di tipo **C**.

Documentazione Fotografica



Foto – Indagine sismica attiva MASW

- **ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI**

Scala 1:2.000

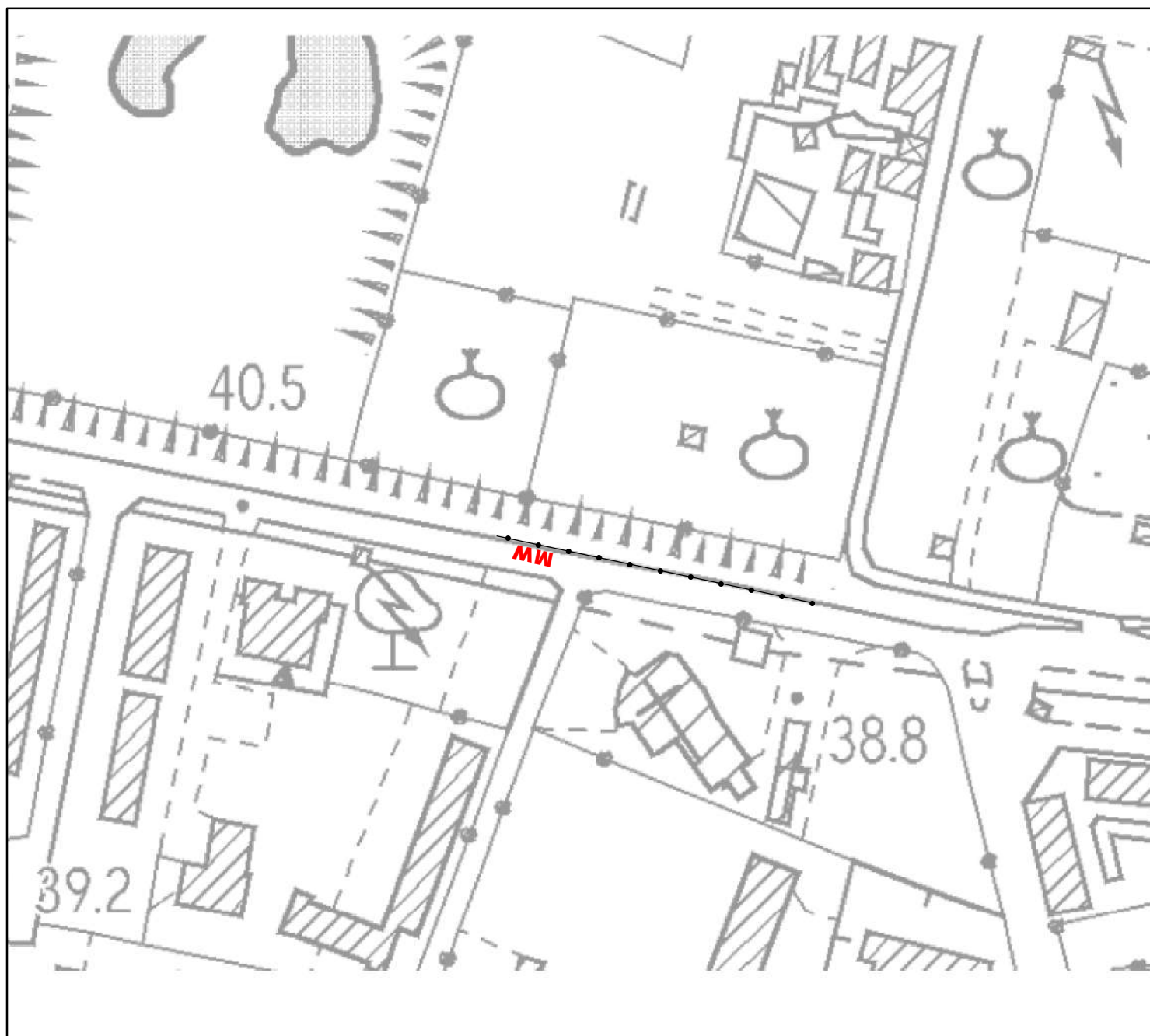


MW — Prova sismica attiva MASW

Esecutori indagini geofisiche:

Dott. Geol. Cristian Pieroni

Dott. Geol. Francesco Puccetti



ALLEGATO 2

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018

Richiami teorici

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

Se il muro è in calcestruzzo armato: Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

Se il muro è a gravità: Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione e verifica in diverse sezioni al ribaltamento, allo scorrimento ed allo schiacciamento.

Calcolo della spinta sul muro

Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali γ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e incrementati i soli carichi variabili.

Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume efficace

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione esercitata dall'acqua.

Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parete pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta \quad \beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h . In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2 \beta \cos \theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente A si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{IH} = k_h W \quad F_{IV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi. Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r .

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza:

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s .

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito

terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \tan \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_r , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_r pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione:

c	coesione del terreno in fondazione
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione
γ	peso di volume del terreno in fondazione
B	larghezza della fondazione
D	profondità del piano di posa
q	pressione geostatica alla quota del piano di posa
N	fattori di capacità portante
d	fattori di profondità del piano di posa
i	fattori di inclinazione del carico

Fattori di capacità portante		$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$	$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$	$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$
Fattori di forma	$\phi = 0$	$s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B'}{L'}$	$s_q = 1$	$s_\gamma = 1$
	$\phi > 0$	$s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B'}{L'}$	$s_q = 1 + 0.1 K_p \frac{B'}{L'}$	$s_\gamma = 1 + 0.1 K_p \frac{B'}{L'}$
Fattori di profondità	$\phi = 0$	$d_c = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$	$d_q = 1$	$d_\gamma = 1$
	$\phi > 0$	$d_c = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$	$d_q = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$	$d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$
Fattori di inclinazione del carico	$\phi = 0$	$i_c = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$i_\gamma = 0$
	$\phi > 0$	$i_c = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

Riduzione per eccentricità del carico

Nel caso in cui il carico al piano di posa della fondazione risulta eccentrico, Bowles propone di moltiplicare la capacità portante ultima per i termini B' ed L' (area ridotta della fondazione) al posto di B ed L dove:

$$B' = B - 2.0 e_x \quad L' = L - 2.0 e_y$$

essendo e_x ed e_y le eccentricità del carico.

La portanza espressa nell'unità di misura delle forze diventa:

$$P_u = q_u B' L'$$

Riduzione per effetto piastra

Per valori elevati di B (dimensione minore della fondazione), Bowles propone di utilizzare un fattore correttivo r_γ del solo termine sul peso di volume ($0.5 B \gamma N_\gamma$) quando B supera i 2 m.

$$r_\gamma = 1.0 - 0.25 \log \frac{B}{2.0}$$

Il termine sul peso di volume diventa:

$$0.5 B \gamma N_\gamma r_\gamma$$

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro.
Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^n \left[\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i}{m} \right]}{\sum_{i=0}^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\tan \varphi_i \tan \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e φ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η . Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Dati**Materiali****Simbologia adottata**

n°	Indice materiale
Descr	Descrizione del materiale
Calcestruzzo armato	
C	Classe di resistenza del cls
A	Classe di resistenza dell'acciaio
γ	Peso specifico, espresso in [kg/mc]
R_{ck}	Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kg/cm ²]
E	Modulo elastico, espresso in [kg/cm ²]
ν	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc	Coeff. di omogenizzazione cls tesoro/compresso

Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	γ	R_{ck}	E	ν	n	ntc
				[kg/mc]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]			
1	Cls Armato	C25/30	B450C	2500.00	305.91	320666	0.30	15.00	0.50

Acciai

Descr	f_{yk}	f_{uk}
	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
B450C	4588.00	5506.00

Geometria profilo terreno a monte del muro**Simbologia adottata**

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	0.00	0.00	0.000
2	0.05	0.00	0.000
3	10.80	0.00	0.000

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.000 [°]

Falda**Simbologia adottata**

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-5.00	-1.50	0.000
2	-0.01	-1.50	0.000
3	0.00	-1.50	0.000
4	11.00	-1.50	0.000

Geometria muro**Geometria paramento e fondazione**

Lunghezza muro 10.00 [m]

ParamentoMateriale Cls Armato
Altezza paramento 1.20 [m]

Altezza paramento libero	1.20	[m]
Spessore in sommità	0.20	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.20	[m]
Inclinazione paramento esterno	0.00	[°]
Inclinazione paramento interno	0.00	[°]

Fondazione

Materiale	Clas Armato	
Lunghezza mensola di valle	0.60	[m]
Lunghezza mensola di monte	0.00	[m]
Lunghezza totale	0.80	[m]
Inclinazione piano di posa	0.00	[°]
Spessore	0.20	[m]
Spessore magrone	0.10	[m]

Descrizione terreni**Parametri di resistenza****Simbologia adottata**

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm ²]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]
Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix	
Cesp	Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
τ_l	Tensione tangenziale limite, espressa in [kg/cm ²]

n°	Descr	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ²]	c_a [kg/cm ²]	Cesp	τ_l [kg/cm ²]
1	Livello B	1800.00	1900.00	25.000	16.670	0.01	0.00	---	---
2	Orizzonte B	1800.00	2100.00	37.000	24.667	0.02	0.01	---	---
3	Orizzonte C	2190.00	2500.00	38.400	25.600	0.00	0.00	---	---
4	Acqua	1000.00	1000.00	60.000	40.000	10.00	5.00	---	---

Stratigrafia**Simbologia adottata**

n°	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
α	Inclinazione espressa in [°]
Terreno	Terreno dello strato
Per calcolo pali (solo se presenti)	
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Cesp	Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')

Kst_{star} Kst_{sis} Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H [m]	α [°]	Terreno	Kw [Kg/cm ²]	Ks	Cesp	Kst _{sta}	Kst _{sis}
1	1.50	0.000	Acqua	---	---	---	---	---
2	7.30	0.000	Livello B	---	---	---	---	---

Condizioni di carico**Simbologia adottata**

Carichi verticali positivi verso il basso.	
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.	
Momento positivo senso antiorario.	
X	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
F _x	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kg]
F _y	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kg]
M	Momento espresso in [kgm]
X _i	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
X _f	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Q _i	Intensità del carico per x=X _i espressa in [kg]
Q _f	Intensità del carico per x=X _f espressa in [kg]

Condizione n° 1 (Condizione 1) - ECCEZIONALECarichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	F _x [kg]	F _y [kg]	M [kgm]	X _i [m]	X _f [m]	Q _i [kg]	Q _f [kg]
1	Distribuito	Paramento					-1.20	0.00	1200.00	0.00

Condizione n° 2 (Condizione 2) - VARIABILECoeff. di combinazione $\Psi_0=1.00$ - $\Psi_1=1.00$ - $\Psi_2=1.00$ NormativaNormativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (D.M. 17.01.2018) + Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7**Coeff. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto		Combinazioni statiche				Combinazioni sismiche		
			UPL	EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1,fav}$	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G1,sfav}$	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2,fav}$	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00
Permanenti non strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G2,sfav}$	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Q,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevoli	$\gamma_{Q,sfav}$	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{OT,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevoli	$\gamma_{OT,sfav}$	1.50	1.35	1.35	1.15	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan(\alpha')}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Peso nell'unità di volume	γ_f	1.00	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Capacità portante	--	--	1.40	--	--	1.20
Scorrimento	--	--	1.10	--	--	1.00
Resistenza terreno a valle	--	--	1.40	--	--	1.20
Ribaltamento	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Descrizione combinazioni di carico

Con riferimento alle azioni elementari prima determinate, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2} + \gamma_{Q3} Q_{k3} + \dots$$

I valori dei coeff. $\Psi_{0,j}$, $\Psi_{1,j}$, $\Psi_{2,j}$ sono definiti nelle singole condizioni variabili.I valori dei coeff. γ_G e γ_Q , sono definiti nella tabella normativa.

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni:

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione
 Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Dati sismici

Comune	Carrara
Provincia	Massa-Carrara
Regione	Toscana
Latitudine	44.056250
Longitudine	10.068710
Indice punti di interpolazione	18710 - 18488 - 18487 - 18709
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	II
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	50 anni

	Simbolo	U.M.		SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]		1.097	0.422
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]		0.112	0.043
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0			2.472	2.538
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*			0.270	0.233
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.200	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000	

Stato limite ...	Coeff. di riduzione β_m	kh [%]	kv [%]
Ultimo	1.000	13.414	6.707
Ultimo - Ribaltamento	1.000	13.414	6.707
Esercizio	1.000	5.162	2.581

Nel calcolo non è stato portato in conto il sisma verticale

Forma diagramma incremento sismico **Rettangolare**

Opzioni di calcolo

Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Culmann
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Meyerhof
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna
Larghezza fondazione nel terzo termine della formula del carico limite ($0.5B\gamma N_{\gamma}$)	Larghezza effettiva (B)
Fattori di forma e inclinazione del carico	Solo i fattori di inclinazione
Se la fondazione ha larghezza superiore a 2.0 m viene applicato il fattore di riduzione per comportamento a piastra	

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

Altro

Partecipazione spinta passiva terreno antistante	100.00
Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione	100.00
Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni	SI
Considera terreno sulla fondazione di valle	NO
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle	SI

Spostamenti

Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti

Cedimenti

Non è stato richiesto il calcolo dei cedimenti

Specifiche per le verifiche nelle combinazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU)

	SLU	Eccezionale
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione	1.50	1.00
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15	1.00
Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00	1.00

COMBINAZIONE DI CALCOLO: PIENA ARNO**Risultati per inviluppo**Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kg]
C _x , C _y	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kg]
P _x , P _y	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kg]	I [°]	C _x [kg]	C _y [kg]	P _x [m]	P _y [m]
1	Spinta statica	0	0.00	0	0	0.00	0.00
	Peso/Inerzia muro			0	1000/0	-0.22	-0.88
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0	0.00	-1.40
	Resistenza passiva terreno antistante			-149561			
	Risultante forze sul muro			720	0	--	--

Verifiche geotecniche*Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
S	Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
FS _{SCO}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
FS _{RIB}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
FS _{QLIM}	Coeff. di sicurezza a carico limite
FS _{STAB}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale
FS _{HYD}	Coeff. di sicurezza a sifonamento
FS _{UPL}	Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS _{SCO}	FS _{RIB}	FS _{QLIM}	FS _{STAB}	FS _{HYD}	FS _{UPL}
1 - STR (A1-M1-R3)		239.722		51.708			
2 - GEO (A2-M2-R2)					17.326		
3 - EQU (A1-M1-R3)			1.343				

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kg]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kg]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kg]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kg]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kg]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kg]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa [kg]	Rpt [kg]	Rps [kg]	Rp [kg]	Rt [kg]	R [kg]	T [kg]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	23039	149561	0	--	--	172600	720	239.722

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N	Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kg]
Qu	carico limite del terreno, espresso in [kg]
Qd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limite e carico agente al piano di posa)

n°	N [kg]	Qu [kg]	Qd [kg]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	1000	51708	36935	51.708

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Nc, Nq, Ny	Fattori di capacità portante
ic, iq, iy	Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, dy	Fattori di profondità del piano di posa

gc, gq, g_γ Fattori di inclinazione del profilo topografico
 bc, bq, b_γ Fattori di inclinazione del piano di posa
 sc, sq, s_γ Fattori di forma della fondazione
 pc, pq, p_γ Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
 Re Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
 Ir, Irc Indici di rigidezza per punzonamento secondo Vesic
 r_γ Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B\gamma N_\gamma$ viene moltiplicato per questo fattore
 D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
 B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
 H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
 γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kg/mc]
 φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
 c Coesione del terreno medio, espresso in [kg/cm^q]
 Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

n°	Nc N _q N _γ	ic iq i _γ	dc dq d _γ	gc gq g _γ	bc bq b _γ	sc sq s _γ	pc pq p _γ	Ir	Irc	Re	r _γ
1	30.260 18.506 15.801	0.363 0.363 0.036	1.087 1.043 1.043	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	--	1.000

n°	D [m]	B' [m]	H [m]	γ [°]	φ [kg/mc]	c [kg/cm ^q]
1	0.20	0.80	0.69	914	30.05	1.45

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n° Indice combinazione
 Ms Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
 Mr Momento ribaltante, espresso in [kgm]
 FS Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)
 La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kgm]	Mr [kgm]	FS
3 - EQU (A1-M1-R3)	580	432	1.343

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic Indice/Tipo combinazione
 C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
 R Raggio, espresso in [m]
 FS Fattore di sicurezza

Ic	C [m]	R [m]	FS
2 - GEO (A2-M2-R2)	-5.00; 0.00	5.20	17.326

Dettagli strisce verifiche stabilità

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
 Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
 Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
 W peso della striscia espresso in [kg]
 Q_y carico sulla striscia espresso in [kg]
 Q_f carico acqua sulla striscia espresso in [kg]
 α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
 φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cm^q]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cm^q]
 T_x; T_y Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cm^q]

n°	W [kg]	Q _y [kg]	Q _f [kg]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cm ^q]	u [kg/cm ^q]	T _x ; T _y [kg]
1	829	0	0	0.20 - 0.41	78.536	20.458	0.01	0.000	
2	962	0	0	0.41	62.212	20.458	0.01	0.092	
3	1415	0	0	0.41	53.541	20.458	0.01	0.158	
4	1747	0	0	0.41	46.443	20.458	0.01	0.208	
5	2051	0	0	0.41	40.193	20.458	0.01	0.247	
6	2297	0	0	0.41	34.482	20.458	0.01	0.278	
7	2496	0	0	0.41	29.143	20.458	0.01	0.304	
8	2658	0	0	0.41	24.072	20.458	0.01	0.325	
9	2785	0	0	0.41	19.195	20.458	0.01	0.341	
10	2882	0	0	0.41	14.460	20.458	0.01	0.353	
11	2952	0	0	0.41	9.825	20.458	0.01	0.362	
12	2994	0	0	0.41	5.254	20.458	0.01	0.368	
13	3011	0	0	0.41	0.717	20.458	0.01	0.370	
14	3002	0	0	0.41	-3.816	20.458	0.01	0.369	
15	2968	0	0	0.41	-8.373	20.458	0.01	0.364	
16	2907	0	0	0.41	-12.985	20.458	0.01	0.357	

n°	W [kg]	Qy [kg]	Qf [kg]	b [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cmq]	u [kg/cmq]	Tx; Ty [kg]
17	2819	0	0	0.41	-17.684	20.458	0.01	0.345	
18	2701	0	0	0.41	-22.511	20.458	0.01	0.330	
19	2551	0	0	0.41	-27.514	20.458	0.01	0.311	
20	2364	0	0	0.41	-32.759	20.458	0.01	0.287	
21	2134	0	0	0.41	-38.338	20.458	0.01	0.258	
22	1850	0	0	0.41	-44.393	20.458	0.01	0.221	
23	1494	0	0	0.41	-51.174	20.458	0.01	0.176	
24	1025	0	0	0.41	-59.212	20.458	0.01	0.115	
25	324	0	0	-10.07 - 0.41	-69.683	20.458	0.01	0.026	

Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° Indice della sezione
X Posizione della sezione, espresso in [m]
N Sforzo normale, espresso in [kg]. Positivo se di compressione.
T Taglio, espresso in [kg]. Positivo se diretto da monte verso valle
M Momento, espresso in [kgm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)
La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

Paramento

n°	X [m]	N _{min} [kg]	N _{max} [kg]	T _{min} [kg]	T _{max} [kg]	M _{min} [kgm]	M _{max} [kgm]
1	0.00	0	0	0	0	0	0
2	-0.10	50	50	5	5	0	0
3	-0.20	100	100	20	20	1	1
4	-0.30	150	150	45	45	5	5
5	-0.40	200	200	80	80	11	11
6	-0.50	250	250	125	125	21	21
7	-0.60	300	300	180	180	36	36
8	-0.70	350	350	245	245	57	57
9	-0.80	400	400	320	320	85	85
10	-0.90	450	450	405	405	122	122
11	-1.00	500	500	500	500	167	167
12	-1.10	550	550	605	605	222	222
13	-1.20	600	600	720	720	288	288

Fondazione

n°	X [m]	N _{min} [kg]	N _{max} [kg]	T _{min} [kg]	T _{max} [kg]	M _{min} [kgm]	M _{max} [kgm]
1	-0.80	0	0	0	0	0	0
2	-0.71	0	0	306	306	14	14
3	-0.63	0	0	537	537	50	50
4	-0.54	0	0	694	694	104	104
5	-0.46	0	0	777	777	167	167
6	-0.37	0	0	785	785	235	235
7	-0.29	0	0	743	743	300	300
8	-0.20	0	0	700	700	362	362

Verifiche strutturali

Verifiche a flessione

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° indice sezione
B larghezza sezione espresso in [cm]
H altezza sezione espressa in [cm]
Afi area ferri inferiori espresso in [cmq]
Afs area ferri superiori espressa in [cmq]
M momento agente espressa in [kgm]
N sforzo normale agente espressa in [kg]
Mrd momento resistente espresso in [kgm]
Nrd sforzo normale resistente espresso in [kg]
FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kgm]	N [kg]	Mrd [kgm]	Nrd [kg]	FS
1	100	20	5.65	6.79	0	0	0	0	100000.000
2	100	20	5.65	6.79	0	0	0	0	100000.000
3	100	20	5.65	6.79	1	100	3731	279840	2798.405

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kgm]	N [kg]	Mrd [kgm]	Nrd [kg]	FS
4	100	20	5.65	6.79	5	150	6845	228171	1521.142
5	100	20	5.65	6.79	11	200	9019	169114	845.569
6	100	20	5.65	6.79	21	250	9959	119505	478.020
7	100	20	5.65	6.79	36	300	8697	72479	241.597
8	100	20	5.65	6.79	57	350	7112	43543	124.408
9	100	20	5.65	6.79	85	400	6244	29269	73.172
10	100	20	5.65	6.79	122	450	5705	21128	46.951
11	100	20	5.65	6.79	167	500	5350	16049	32.098
12	100	20	5.65	6.79	222	550	5114	12680	23.054
13	100	20	5.65	6.79	288	600	4949	10310	17.183

Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kgm]	N [kg]	Mrd [kgm]	Nrd [kg]	FS
1	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000
2	100	20	5.65	5.65	14	0	3606	0	264.273
3	100	20	5.65	5.65	50	0	3606	0	71.660
4	100	20	5.65	5.65	104	0	3606	0	34.794
5	100	20	5.65	5.65	167	0	3606	0	21.566
6	100	20	5.65	5.65	235	0	3606	0	15.368
7	100	20	5.65	5.65	300	0	3606	0	12.014
8	100	20	5.65	5.65	362	0	3606	0	9.962

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

n° (o Is)	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
A _{sw}	area ferri a taglio espresso in [cmq]
cotθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
V _{Rcd}	resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg]
V _{Rsd}	resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg]
V _{Rd}	resistenza di progetto a taglio espresso in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A _{sw} >0.0) V _{Rd} =min(V _{Rcd} , V _{Rsd}).
T	taglio agente espressa in [kg]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	A _{sw} [cmq]	cotθ	V _{Rcd} [kg]	V _{Rsd} [kg]	V _{Rd} [kg]	T [kg]	FS
1	100	20	0.00	--	0	0	11027	0	100.000
2	100	20	0.00	--	0	0	11033	5	2206.672
3	100	20	0.00	--	0	0	11040	20	551.987
4	100	20	0.00	--	0	0	11046	45	245.469
5	100	20	0.00	--	0	0	11052	80	138.156
6	100	20	0.00	--	0	0	11059	125	88.471
7	100	20	0.00	--	0	0	11065	180	61.474
8	100	20	0.00	--	0	0	11072	245	45.190
9	100	20	0.00	--	0	0	11078	320	34.619
10	100	20	0.00	--	0	0	11084	405	27.369
11	100	20	0.00	--	0	0	11091	500	22.181
12	100	20	0.00	--	0	0	11097	605	18.342
13	100	20	0.00	--	0	0	11103	720	15.422

Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	A _{sw} [cmq]	cotθ	V _{Rcd} [kg]	V _{Rsd} [kg]	V _{Rd} [kg]	T [kg]	FS
1	100	20	0.00	--	0	0	10682	0	100.000
2	100	20	0.00	--	0	0	10682	-306	34.912
3	100	20	0.00	--	0	0	10682	-537	19.877
4	100	20	0.00	--	0	0	10682	-694	15.385
5	100	20	0.00	--	0	0	10682	-777	13.754
6	100	20	0.00	--	0	0	10682	-785	13.616
7	100	20	0.00	--	0	0	10682	-743	14.380
8	100	20	0.00	--	0	0	10682	-700	15.260

COMBINAZIONE DI CALCOLO: SISMA

Risultati per inviluppo

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kg]
C _x , C _y	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kg]
P _x , P _y	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kg]	I [°]	C _x [kg]	C _y [kg]	P _x [m]	P _y [m]
1	Spinta statica	69	16.67	66	20	0.60	-1.24
	Incremento di spinta sismica		31	29	9	0.60	-1.10
	Peso/Inerzia muro			134	1000/0	0.02	-0.88
	Peso/Inerzia terrapieno			63	468/0	0.28	-0.96
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0	0.00	0.00
	Resistenza passiva terreno antistante			-44			
1	Spinta statica	69	16.67	66	20	0.60	-1.24
	Incremento di spinta sismica		31	29	9	0.60	-1.10
	Peso/Inerzia muro			134	1000/0	0.02	-0.88
	Peso/Inerzia terrapieno			63	468/0	0.28	-0.96
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0	0.00	0.00
	Resistenza passiva terreno antistante			-44			

Risultanti globali

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kg]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kg]
M _r	Momento ribaltante, espresso in [kgm]
M _s	Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kg]	T [kg]	M _r [kgm]	M _s [kgm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	1497	292	116	467	0.166
2 - GEO (A2-M2-R2)	1497	292	116	467	0.166
3 - EQU (A1-M1-R3)	1497	292	116	467	0.166

Verifiche geotecniche

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
S	Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
FS _{SCO}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
FS _{RIB}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
FS _{QLIM}	Coeff. di sicurezza a carico limite
FS _{STAB}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale
FS _{HYD}	Coeff. di sicurezza a sifonamento
FS _{UPL}	Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS _{SCO}	FS _{RIB}	FS _{QLIM}	FS _{STAB}	FS _{HYD}	FS _{UPL}
1 - STR (A1-M1-R3)	H	1.781		1.873			
2 - GEO (A2-M2-R2)	H				2.157		
3 - EQU (A1-M1-R3)	H		4.014				

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kg]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kg]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kg]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kg]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kg]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kg]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa [kg]	Rpt [kg]	Rps [kg]	Rp [kg]	Rt [kg]	R [kg]	T [kg]	FS
1 - STR (A1-M1-R3) H	476	44	0	--	--	521	292	1.781

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N	Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kg]
Qu	carico limite del terreno, espresso in [kg]
Qd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limite e carico agente al piano di posa)

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kg]	[kg]	[kg]	
1 - STR (A1-M1-R3) H	1497	2803	2336	1.873

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Nc, Nq, Ny	Fattori di capacità portante
ic, iq, iy	Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, dy	Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, gy	Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, by	Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, sy	Fattori di forma della fondazione
pc, pq, py	Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
Re	Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
Ir, Irc	Indici di rigidezza per punzonamento secondo Vesic
ry	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B_y N_y$ viene moltiplicato per questo fattore
D	Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B'	Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H	Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
γ	Peso di volume del terreno medio, espresso in [kg/mc]
φ	Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c	Coesione del terreno medio, espresso in [kg/cm ^q]
Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).	

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	Ir	Irc	Re	ry
1	20.721 10.662 6.766	0.770 0.770 0.311	1.078 1.039 1.039	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	--	1.000

n°	D	B'	H	γ	φ	c
	[m]	[m]	[m]	[°]	[kg/mc]	[kg/cm ^q]
1	0.20	0.80	0.63	1760	25.00	0.01

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kgm]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)
La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione	

n°	Ms	Mr	FS
	[kgm]	[kgm]	
3 - EQU (A1-M1-R3) H	467	116	4.014

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
C	Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R	Raggio, espresso in [m]
FS	Fattore di sicurezza

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
2 - GEO (A2-M2-R2) H	-0.50; 1.00	2.65	2.157

Dettagli strisce verifiche stabilità

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte	
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto	
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)	
W	peso della striscia espresso in [kg]
Qy	carico sulla striscia espresso in [kg]

Q_f carico acqua sulla striscia espresso in [kg]
 α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
 ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
 $T_x; T_y$ Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cmq]

n°	W [kg]	Q _y [kg]	Q _f [kg]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cmq]	u [kg/cmq]	T _x ; T _y [kg]
1	16	0	0	1.46 - 0.14	42.337	25.000	0.01	0.000	
2	46	0	0	0.14	41.397	25.000	0.01	0.000	
3	75	0	0	0.14	37.522	25.000	0.01	0.000	
4	99	0	0	0.14	33.841	25.000	0.01	0.000	
5	121	0	0	0.14	30.312	25.000	0.01	0.000	
6	140	0	0	0.14	26.907	25.000	0.01	0.000	
7	171	0	0	0.14	23.602	25.000	0.01	0.000	
8	189	0	0	0.14	20.379	25.000	0.01	0.000	
9	201	0	0	0.14	17.222	25.000	0.01	0.000	
10	211	0	0	0.14	14.118	25.000	0.01	0.000	
11	393	0	0	0.14	11.056	25.000	0.01	0.000	
12	539	0	0	0.14	8.026	25.000	0.01	0.000	
13	112	0	0	0.14	5.019	25.000	0.01	0.000	
14	111	0	0	0.14	2.025	25.000	0.01	0.000	
15	112	0	0	0.14	-0.963	25.000	0.01	0.000	
16	110	0	0	0.14	-3.954	25.000	0.01	0.000	
17	107	0	0	0.14	-6.956	25.000	0.01	0.000	
18	102	0	0	0.14	-9.977	25.000	0.01	0.000	
19	95	0	0	0.14	-13.027	25.000	0.01	0.000	
20	86	0	0	0.14	-16.114	25.000	0.01	0.000	
21	75	0	0	0.14	-19.251	25.000	0.01	0.000	
22	62	0	0	0.14	-22.449	25.000	0.01	0.000	
23	46	0	0	0.14	-25.723	25.000	0.01	0.000	
24	29	0	0	0.14	-29.090	25.000	0.01	0.000	
25	8	0	0	-2.00 - 0.14	-28.920	25.000	0.01	0.000	

Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° Indice della sezione
 X Posizione della sezione, espresso in [m]
 N Sforzo normale, espresso in [kg]. Positivo se di compressione.
 T Taglio, espresso in [kg]. Positivo se diretto da monte verso valle
 M Momento, espresso in [kgm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)
 La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

Paramento

n°	X [m]	N _{min} [kg]	N _{max} [kg]	T _{min} [kg]	T _{max} [kg]	M _{min} [kgm]	M _{max} [kgm]
1	0.00	0	0	0	0	0	0
2	-0.10	50	50	8	8	0	0
3	-0.20	101	101	16	16	2	2
4	-0.30	151	151	24	24	3	3
5	-0.40	202	202	33	33	6	6
6	-0.50	253	253	43	43	10	10
7	-0.60	304	304	54	54	15	15
8	-0.70	355	355	65	65	20	20
9	-0.80	407	407	76	76	27	27
10	-0.90	459	459	89	89	35	35
11	-1.00	510	510	102	102	45	45
12	-1.10	562	562	115	115	55	55
13	-1.20	615	615	129	129	67	67

Fondazione

n°	X [m]	N _{min} [kg]	N _{max} [kg]	T _{min} [kg]	T _{max} [kg]	M _{min} [kgm]	M _{max} [kgm]
1	0.00	0	0	-2	-2	-92	-92
2	0.09	0	0	-101	-101	-88	-88
3	0.17	0	0	-191	-191	-75	-75
4	0.26	0	0	-236	-236	-57	-57
5	0.34	0	0	-237	-237	-36	-36
6	0.43	0	0	-193	-193	-18	-18
7	0.51	0	0	-105	-105	-4	-4
8	0.60	0	0	0	0	0	0

Verifiche strutturali*Verifiche a flessione*Elementi calcolati a traveSimbologia adottata

n°	indice sezione
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kgm]
N	sforzo normale agente espressa in [kg]
Mrd	momento resistente espresso in [kgm]
Nrd	sforzo normale resistente espresso in [kg]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kgm]	N [kg]	Mrd [kgm]	Nrd [kg]	FS
1	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000
2	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000
3	100	20	5.65	5.65	2	101	4095	274798	2727.960
4	100	20	5.65	5.65	3	151	5701	249772	1651.390
5	100	20	5.65	5.65	6	202	6983	225302	1115.611
6	100	20	5.65	5.65	10	253	7960	201589	797.224
7	100	20	5.65	5.65	15	304	8671	179327	589.904
8	100	20	5.65	5.65	20	355	9167	159075	447.694
9	100	20	5.65	5.65	27	407	9510	141302	347.327
10	100	20	5.65	5.65	35	459	9696	125345	273.373
11	100	20	5.65	5.65	45	510	9518	108421	212.431
12	100	20	5.65	5.65	55	562	9006	91356	162.430
13	100	20	5.65	5.65	67	615	8372	76293	124.121

Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kgm]	N [kg]	Mrd [kgm]	Nrd [kg]	FS
1	100	20	5.65	5.65	-92	0	-3606	0	39.206
2	100	20	5.65	5.65	-88	0	-3606	0	40.893
3	100	20	5.65	5.65	-75	0	-3606	0	47.839
4	100	20	5.65	5.65	-57	0	-3606	0	63.501
5	100	20	5.65	5.65	-36	0	-3606	0	99.540
6	100	20	5.65	5.65	-18	0	-3606	0	205.836
7	100	20	5.65	5.65	-4	0	-3606	0	804.654
8	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000

*Verifiche a taglio*Simbologia adottata

n° (o Is)	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
A _{sw}	area ferri a taglio espresso in [cmq]
cotθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
V _{Rcd}	resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg]
V _{Rsd}	resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg]
V _{Rd}	resistenza di progetto a taglio espresso in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A _{sw} >0.0) V _{Rd} =min(V _{Rcd} , V _{Rsd}).
T	taglio agente espressa in [kg]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	A _{sw} [cmq]	cotθ	V _{Rcd} [kg]	V _{Rsd} [kg]	V _{Rd} [kg]	T [kg]	FS
1	100	20	0.00	--	0	0	10682	0	100.000
2	100	20	0.00	--	0	0	10689	8	1363.011
3	100	20	0.00	--	0	0	10695	16	674.115
4	100	20	0.00	--	0	0	10701	24	440.486
5	100	20	0.00	--	0	0	10708	33	321.032
6	100	20	0.00	--	0	0	10714	43	248.604
7	100	20	0.00	--	0	0	10721	54	200.097
8	100	20	0.00	--	0	0	10727	65	165.746
9	100	20	0.00	--	0	0	10734	76	140.397
10	100	20	0.00	--	0	0	10741	89	120.968
11	100	20	0.00	--	0	0	10747	102	105.639
12	100	20	0.00	--	0	0	10754	115	93.272

n°	B [cm]	H [cm]	A _{sw} [cmq]	cotθ	V _{Rcd} [kg]	V _{Rsd} [kg]	V _{Rd} [kg]	T [kg]	FS
13	100	20	0.00	--	0	0	10761	129	83.114

Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	A _{sw} [cmq]	cotθ	V _{Rcd} [kg]	V _{Rsd} [kg]	V _{Rd} [kg]	T [kg]	FS
1	100	20	0.00	--	0	0	10682	-2	4511.131
2	100	20	0.00	--	0	0	10682	-101	106.019
3	100	20	0.00	--	0	0	10682	-191	56.052
4	100	20	0.00	--	0	0	10682	-236	45.297
5	100	20	0.00	--	0	0	10682	-237	45.167
6	100	20	0.00	--	0	0	10682	-193	55.461
7	100	20	0.00	--	0	0	10682	-105	102.152
8	100	20	0.00	--	0	0	10682	0	100.000

COMBINAZIONE DI CALCOLO: STATICA CON SOVRACCARICO MEZZO 20t**Risultati per inviluppo**Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kg]
C _x , C _y	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kg]
P _x , P _y	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kg]	I [°]	C _x [kg]	C _y [kg]	P _x [m]	P _y [m]
1	Spinta statica	337	16.67	323	97	0.60	-1.25
	Peso/Inerzia muro			0	1000/0	0.02	-0.88
	Peso/Inerzia terrapieno			0	468/0	0.28	-0.96
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0	0.00	0.00
	Resistenza passiva terreno antistante			-44			

Risultanti globali

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kg]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kg]
M _r	Momento ribaltante, espresso in [kgm]
M _s	Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kg]	T [kg]	M _r [kgm]	M _s [kgm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	1565	323	49	521	0.098
2 - STR (A1-M1-R3)	2005	323	49	654	0.098
3 - GEO (A2-M2-R2)	1557	372	64	515	0.110
4 - EQU (A1-M1-R3)	1565	323	49	521	0.098

Verifiche geotecniche*Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
S	Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
FS _{SCO}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
FS _{RIB}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
FS _{QLIM}	Coeff. di sicurezza a carico limite
FS _{STAB}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale
FS _{HYD}	Coeff. di sicurezza a sifonamento
FS _{UPL}	Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS _{SCO}	FS _{RIB}	FS _{QLIM}	FS _{STAB}	FS _{HYD}	FS _{UPL}
1 - STR (A1-M1-R3)		1.688		2.231			
2 - STR (A1-M1-R3)		2.096		2.003			
3 - GEO (A2-M2-R2)					1.425		
4 - EQU (A1-M1-R3)			10.607				

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kg]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kg]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kg]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kg]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kg]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kg]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa [kg]	Rpt [kg]	Rps [kg]	Rp [kg]	Rt [kg]	R [kg]	T [kg]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	501	44	0	--	--	545	323	1.688

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N	Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kg]
Qu	carico limite del terreno, espresso in [kg]
Qd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limie e carico agente al piano di posa)

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kg]	[kg]	[kg]	
2 - STR (A1-M1-R3)	2005	4015	2868	2.003

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Nc, Nq, Ny	Fattori di capacità portante
ic, iq, iy	Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, dy	Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, gy	Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, by	Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, sy	Fattori di forma della fondazione
pc, pq, py	Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
Re	Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
Ir, Irc	Indici di rigidità per punzonamento secondo Vesic
ry	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B_y N_y$ viene moltiplicato per questo fattore
D	Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B'	Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H	Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
γ	Peso di volume del terreno medio, espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c	Coesione del terreno medio, espresso in [kg/cm ^q]
Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).	

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	Ir	Irc	Re	ry
2	20.721 10.662 6.766	0.807 0.807 0.402	1.078 1.039 1.039	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	--	1.000

n°	D	B'	H	γ	ϕ	c
	[m]	[m]	[m]	[°]	[kg/mc]	[kg/cm ^q]
2	0.20	0.80	0.63	1760	25.00	0.01

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kgm]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)
La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione	

n°	Ms	Mr	FS
	[kgm]	[kgm]	
4 - EQU (A1-M1-R3)	521	49	10.607

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
C	Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R	Raggio, espresso in [m]
FS	Fattore di sicurezza

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
3 - GEO (A2-M2-R2)	0.00; 1.00	2.48	1.425

Dettagli strisce verifiche stabilità

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte	
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto	
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)	
W	peso della striscia espresso in [kg]
Qy	carico sulla striscia espresso in [kg]
Qf	carico acqua sulla striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cm ^q]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cm ^q]
Tx; Ty	Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cm ^q]

n°	W [kg]	Qy [kg]	Qf [kg]	b [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cm²]	u [kg/cm²]	Tx; Ty [kg]
1	10	302	0	1.73 - 0.12	38.222	20.458	0.01	0.000	
2	29	302	0	0.12	38.693	20.458	0.01	0.000	
3	47	302	0	0.12	35.338	20.458	0.01	0.000	
4	63	302	0	0.12	32.118	20.458	0.01	0.000	
5	78	302	0	0.12	29.008	20.458	0.01	0.000	
6	90	302	0	0.12	25.990	20.458	0.01	0.000	
7	101	78	0	0.12	23.047	20.458	0.01	0.000	
8	111	0	0	0.12	20.168	20.458	0.01	0.000	
9	119	0	0	0.12	17.341	20.458	0.01	0.000	
10	131	0	0	0.12	14.557	20.458	0.01	0.000	
11	148	0	0	0.12	11.807	20.458	0.01	0.000	
12	152	0	0	0.12	9.085	20.458	0.01	0.000	
13	156	0	0	0.12	6.384	20.458	0.01	0.000	
14	158	0	0	0.12	3.697	20.458	0.01	0.000	
15	199	0	0	0.12	1.018	20.458	0.01	0.000	
16	423	0	0	0.12	-1.659	20.458	0.01	0.000	
17	278	0	0	0.12	-4.339	20.458	0.01	0.000	
18	55	0	0	0.12	-7.029	20.458	0.01	0.000	
19	52	0	0	0.12	-9.735	20.458	0.01	0.000	
20	47	0	0	0.12	-12.463	20.458	0.01	0.000	
21	41	0	0	0.12	-15.220	20.458	0.01	0.000	
22	34	0	0	0.12	-18.013	20.458	0.01	0.000	
23	25	0	0	0.12	-20.852	20.458	0.01	0.000	
24	15	0	0	0.12	-23.746	20.458	0.01	0.000	
25	4	0	0	-1.17 - 0.12	-22.197	20.458	0.01	0.000	

Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° Indice della sezione

X Posizione della sezione, espresso in [m]

N Sforzo normale, espresso in [kg]. Positivo se di compressione.

T Taglio, espresso in [kg]. Positivo se diretto da monte verso valle

M Momento, espresso in [kgm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

Paramento

n°	X [m]	N _{min} [kg]	N _{max} [kg]	T _{min} [kg]	T _{max} [kg]	M _{min} [kgm]	M _{max} [kgm]
1	0.00	0	0	0	0	0	0
2	-0.10	50	65	0	0	0	0
3	-0.20	100	130	1	1	0	0
4	-0.30	150	195	2	2	0	0
5	-0.40	200	260	4	4	0	0
6	-0.50	250	325	7	7	1	1
7	-0.60	300	390	11	11	2	2
8	-0.70	350	455	16	16	3	3
9	-0.80	400	520	22	22	5	5
10	-0.90	450	585	29	29	8	8
11	-1.00	500	650	37	37	11	11
12	-1.10	550	715	47	47	15	15
13	-1.20	600	780	58	58	20	20

Fondazione

n°	X [m]	N _{min} [kg]	N _{max} [kg]	T _{min} [kg]	T _{max} [kg]	M _{min} [kgm]	M _{max} [kgm]
1	0.00	0	0	49	229	-37	-1
2	0.09	0	0	2	134	-40	-18
3	0.17	0	0	-64	27	-37	-24
4	0.26	0	0	-104	-46	-30	-23
5	0.34	0	0	-118	-85	-20	-18
6	0.43	0	0	-105	-91	-11	-10
7	0.51	0	0	-66	-62	-3	-3
8	0.60	0	0	0	0	0	0

Verifiche strutturali*Verifiche a flessione*Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n°	indice sezione
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kgm]
N	sforzo normale agente espressa in [kg]
Mrd	momento resistente espresso in [kgm]
Nrd	sforzo normale resistente espresso in [kg]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kgm]	N [kg]	Mrd [kgm]	Nrd [kg]	FS
1	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000
2	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000
3	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000
4	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000
5	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000
6	100	20	5.65	5.65	1	325	858	275328	847.164
7	100	20	5.65	5.65	2	390	1346	275328	705.970
8	100	20	5.65	5.65	3	455	1966	275328	605.117
9	100	20	5.65	5.65	5	520	2718	275328	529.478
10	100	20	5.65	5.65	8	585	3605	275328	470.647
11	100	20	5.65	5.65	11	650	4521	268398	412.920
12	100	20	5.65	5.65	15	715	5390	254715	356.245
13	100	20	5.65	5.65	20	780	6249	239781	307.411

Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kgm]	N [kg]	Mrd [kgm]	Nrd [kg]	FS
1	100	20	5.65	5.65	-37	0	-3606	0	97.406
2	100	20	5.65	5.65	-40	0	-3606	0	89.590
3	100	20	5.65	5.65	-37	0	-3606	0	96.384
4	100	20	5.65	5.65	-30	0	-3606	0	120.202
5	100	20	5.65	5.65	-20	0	-3606	0	177.803
6	100	20	5.65	5.65	-11	0	-3606	0	342.531
7	100	20	5.65	5.65	-3	0	-3606	0	1197.872
8	100	20	5.65	5.65	0	0	0	0	100000.000

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

n° (o Is)	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
A _{sw}	area ferri a taglio espresso in [cmq]
cotθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
V _{Rcd}	resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg]
V _{Rsd}	resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg]
V _{Rd}	resistenza di progetto a taglio espresso in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A _{sw} >0.0) V _{Rd} =min(V _{Rcd} , V _{Rsd}).
T	taglio agente espressa in [kg]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	A _{sw} [cmq]	cotθ	V _{Rcd} [kg]	V _{Rsd} [kg]	V _{Rd} [kg]	T [kg]	FS
1	100	20	0.00	--	0	0	10682	0	100.000
2	100	20	0.00	--	0	0	10689	0	56648.876
3	100	20	0.00	--	0	0	10695	1	14170.666
4	100	20	0.00	--	0	0	10701	2	5495.245
5	100	20	0.00	--	0	0	10708	4	2666.331
6	100	20	0.00	--	0	0	10714	7	1526.273
7	100	20	0.00	--	0	0	10720	11	972.952
8	100	20	0.00	--	0	0	10727	16	671.259
9	100	20	0.00	--	0	0	10733	22	490.708

n°	B [cm]	H [cm]	A _{SW} [cmq]	cotθ	V _{Rcd} [kg]	V _{Rsd} [kg]	V _{Rd} [kg]	T [kg]	FS
10	100	20	0.00	--	0	0	10740	29	372.014
11	100	20	0.00	--	0	0	10746	37	289.339
12	100	20	0.00	--	0	0	10752	47	230.314
13	100	20	0.00	--	0	0	10759	58	187.086

Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	A _{SW} [cmq]	cotθ	V _{Rcd} [kg]	V _{Rsd} [kg]	V _{Rd} [kg]	T [kg]	FS
1	100	20	0.00	--	0	0	10682	229	46.737
2	100	20	0.00	--	0	0	10682	134	79.529
3	100	20	0.00	--	0	0	10682	-64	166.355
4	100	20	0.00	--	0	0	10682	-104	102.362
5	100	20	0.00	--	0	0	10682	-118	90.521
6	100	20	0.00	--	0	0	10682	-105	101.576
7	100	20	0.00	--	0	0	10682	-66	162.272
8	100	20	0.00	--	0	0	10682	0	100.000