

COMUNE DI CASTIGLION FIORENTINO

Via del Filo – SP27

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

Oggetto:

**INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEL PONTE SUL CANALE
MAESTRO DELLA CHIANA LUNGO LA S.P. 27 DI CASTRONCELLO-
BROLIO – PROGETTO ESECUTIVO**

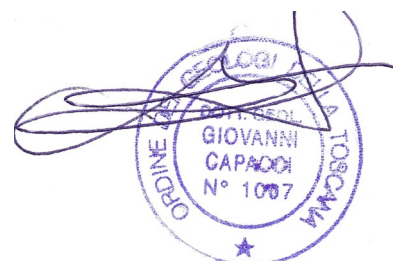
Committente:

Provincia di Arezzo - Settore Viabilità Lavori Pubblici Servizio Viabilità

**Progetto Strutturale:
Ing. Nicola Cappelletti**

Il Geologo

Maggio 2026



Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

CONTENUTO

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO	5
3	RELAZIONE GEOLOGICA	6
3.1	Inquadramento geomorfologico	6
3.1.1	Analisi delle Cartografie Tematiche relative al rischio geologico-idraulico.....	7
3.2	Inquadramento geologico	8
3.3	Inquadramento Idrogeologico.....	9
4	RELAZIONE GEOTECNICA.....	9
4.1	Esito prove penetrometriche.....	10
4.2	Esito indagine geofisica svolta nell'area di intervento	14
4.3	Modello Geotecnico del sito	15
5	CONCLUSIONI, PRESCRIZIONI E FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO.....	18

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

ALLEGATI

Allegato 2.1 Corografia Generale in scala 1:25.000

Allegato 3.1 Carta Geologica in scala 1:5.000

Allegato 3.2 Estratto delle Carte della Pericolosità relative allo strumento urbanistico Comunale di Castiglion Fiorentino (Regolamento Urbanistico, Piano Strutturale intercomunale)

Allegato 4.1 Carta dell'indagine geognostica

Allegato 4.2 Certificati delle prove penetrometriche

Allegato 4.3 Relazione geofisica

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dalla Provincia di Arezzo - Settore Viabilità Lavori Pubblici Servizio Viabilità - si procede a svolgere una relazione geologico-tecnica di supporto all'intervento di messa in sicurezza del ponte sul Canale Maestro della Chiana lungo la S.P. 27 di Castroncello-Brolio, Comune di Castiglion Fiorentino.

Il Progettista strutturale incaricato dalla Provincia di Arezzo è l'Ing. Nicola Cappelletti.

Lo studio effettuato verrà svolto in ottemperanza della normativa di seguito sinteticamente elencata:

- *NTC 2018 – D.M. 17 Gennaio 2018;*
- *Esperienze maturate in ambito applicativo dell'ex D.M. 14 gennaio 2008: Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.*

Nella presente relazione tecnica saranno analizzate le Cartografie tematiche disponibili inerenti al rischio idraulico e geologico-sismico.

L'area non risulta sottoposta a Vincolo Idrogeologico ai sensi del *RDL 30.12.1923 n. 3267*).

Per quanto riguarda la cartografia che perimetra le aree boscate si segnala che la Cartografia del PIT con valenza di Piano Paesaggistico della Regione Toscana non segnala zone boscate nel sito in esame - aggiornamento DCR 93/2018 (si veda lo stralcio riportato in calce).

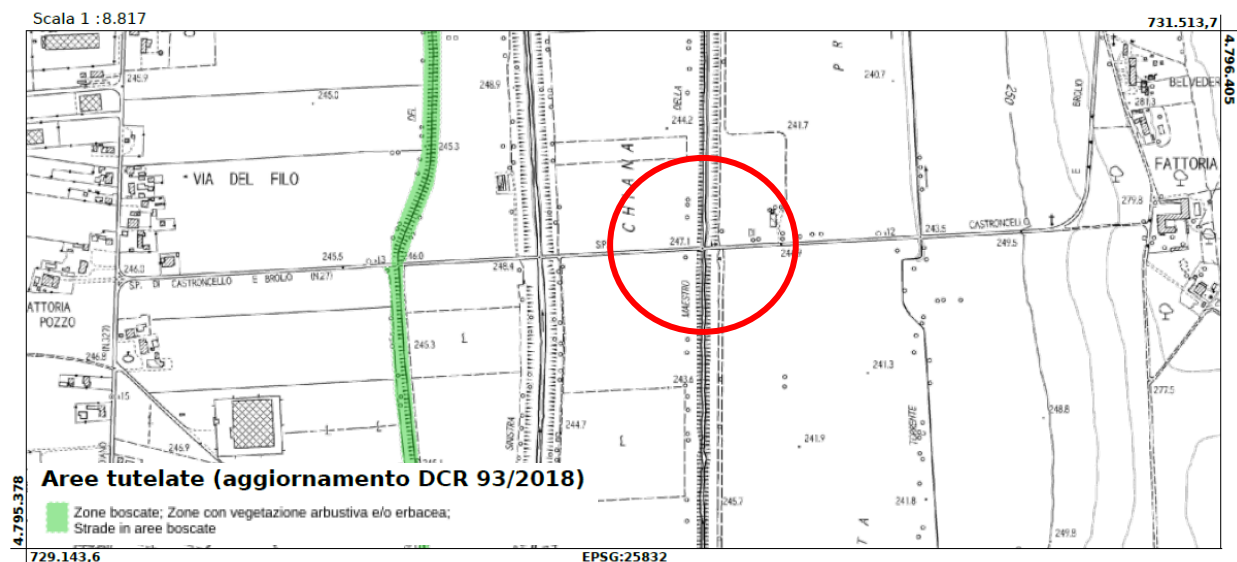


Regione Toscana



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI

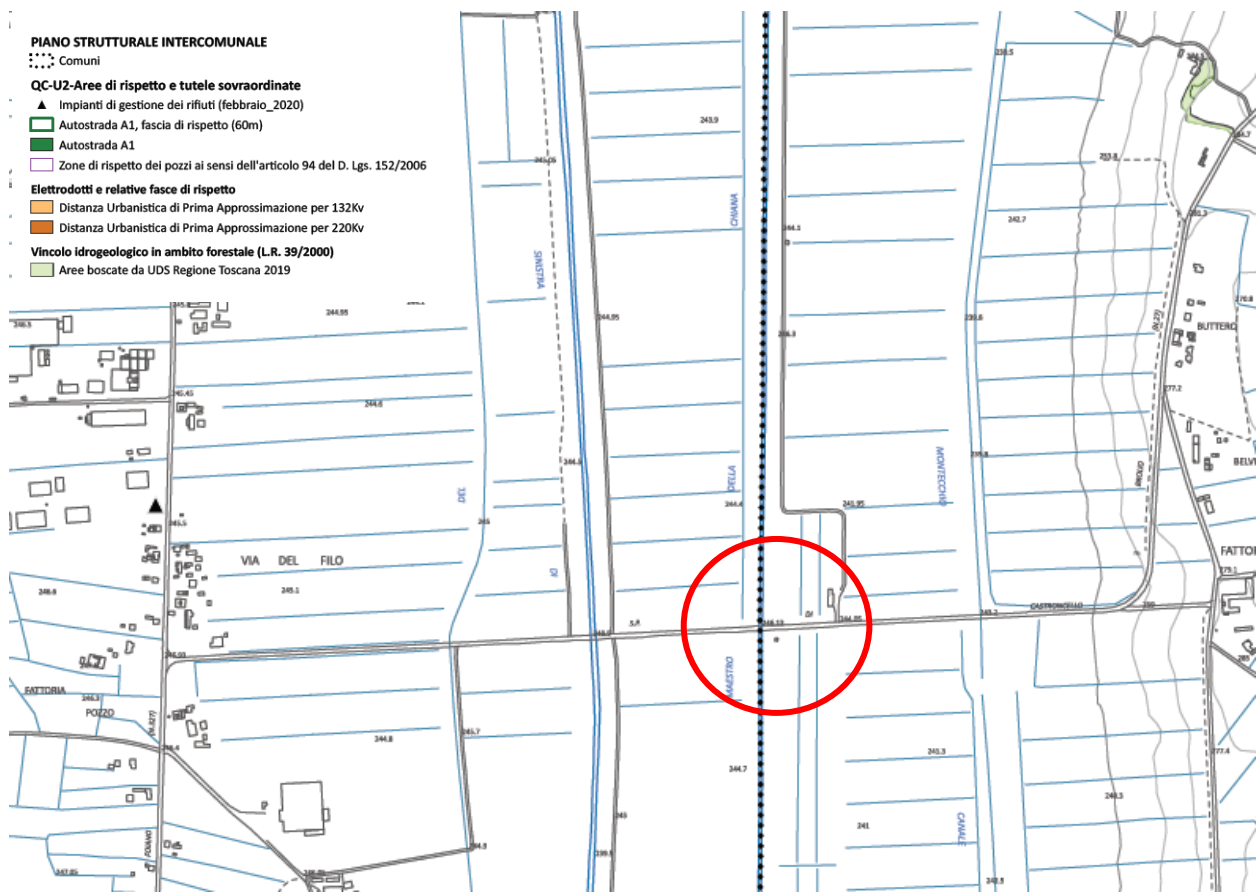
Cartografia del PIT con valenza di Piano Paesaggistico



Cartografia del PIT con valenza di Piano Paesaggistico della Regione Toscana

La Carta delle aree di rispetto e tutele sovraordinate del Piano Strutturale intercomunale non evidenzia anch'essa nel sito aree boscate da UDS Regione Toscana 2019 e Vincolo Idrogeologico in ambito Forestale (L.R. 39/2000).

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci



Carta delle aree di rispetto e tutele sovraordinate del Piano Strutturale intercomunale

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO

L'area di intervento giace all'interno della Val di Chiana aretina, a confine tra il territorio comunale di Foiano della Chiana, con quello di Castiglion Fiorentino ricadendo all'interno di quest'ultimo.

Il ponte da consolidare è posto sopra il Canale Maestro della Chiana, e contiene il tracciato stradale della SP27, importante viabilità che collega il Comune di Foiano e la S.P. n.327 (Via Cassia) con Brolio, e quindi con Castiglion Fiorentino.

Il Canale Maestro della Chiana drena le proprie acque verso Nord, verso la città di Arezzo ed il Fiume Arno.

Ad occidente e con corso parallelo alla Chiana defluisce il Torrente Esse, tributario del Canale Maestro della Chiana stesso.

Ad Occidente dell'Esse scorre sempre con il medesimo allineamento N-S il Fosso del Terchio (La Fossetta), anch'esso appartenente al reticolo idrografico del Canale Maestro della Chiana e tributario del Torrente Esse stesso. Il Fosso del Terchio va ad innestarsi in quello dell'Esse a Nord dell'area in esame, dopo aver subito la confluenza del Rio della Pescaia.

Le coordinate in gradi decimali dell'area di intervento risultano le seguenti:



3 RELAZIONE GEOLOGICA

3.1 Inquadramento geomorfologico

Allo scopo di evidenziare le caratteristiche geologiche-geomorfologiche del sito è stato eseguito un rilevamento di dettaglio che ha interessato un'ideale zona circostante l'area in studio.

Il sito si colloca ad una quota che approssima i 246 mslm in un contesto clivometrico caratterizzato da pendenze modeste.

Per ciò che concerne la Categoria Topografica ai sensi delle NTC 2018 potrà essere adottata la T1.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Categorie Topografiche ai sensi delle NTC2018

Il Canale Maestro occupa ad oggi il centro della Val di Chiana con un corso regolarizzato e rettilineo, secondo un asse che approssima come già espresso quello NS, seguito parallelamente dal corso dell'Esse.

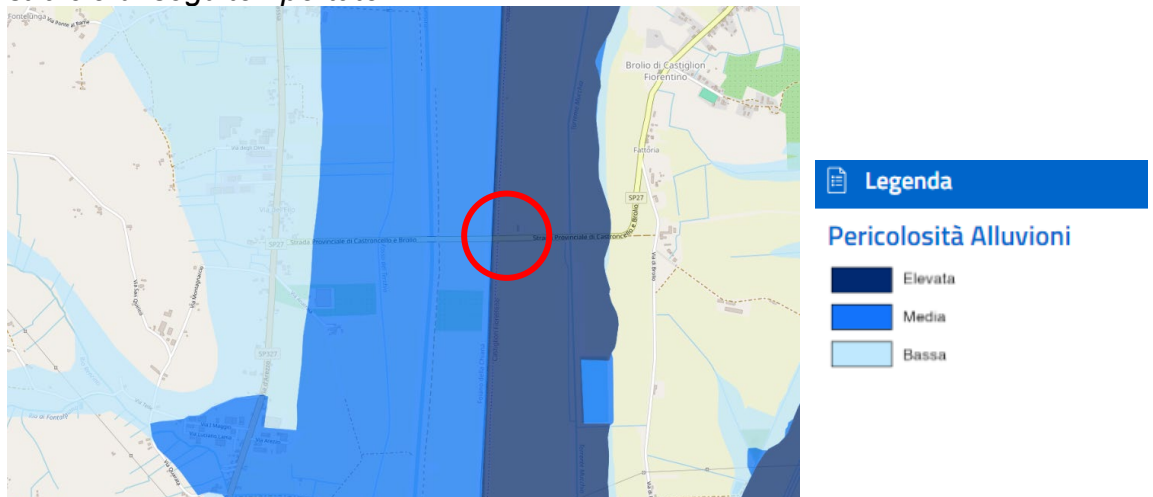
La Chiana ed il Torrente Esse presentano un corso ben inciso nella pianura alluvionale e delimitato da un efficace sistema di argini, e drenano efficacemente verso Nord le proprie acque.

Il ripiegamento ad uncino verso Nord dei tributari della Chiana (Torrente Esse), poco prima di immettersi nel corso del Fiume principale, è testimonianza dell'inversione di drenaggio subita in epoca storica dal Canale Maestro, che se un tempo drenava le

- *Carta della Pericolosità geologica relativa al Regolamento Urbanistico Comunale di Castiglion Fiorentino: Pericolosità elevata, Classe G3 – si veda lo stralcio allegato.*
- *Carta della Fattibilità relativa al R.U. di Castiglion Fiorentino: Classi di pericolosità non espresse.*
- *Carta delle aree a pericolosità geologica Relativa al Piano Strutturale intercomunale: Pericolosità elevata G3 – si veda lo stralcio allegato.*
- *Banca dati Frane Regione Toscana (IFFI): Nessuna frana attiva e/o quiescente è segnalata nel lotto in esame.*

Dal punto di vista del rischio idraulico la Cartografia relativa evidenzia quanto segue:

- *Carta della Pericolosità Idraulica relativa al Regolamento Urbanistico di Castiglion Fiorentino: Pericolosità molto elevata (Classe I.4) – si veda lo stralcio allegato.*
- *Carta delle aree a pericolosità da alluvione Relativa al Piano Strutturale intercomunale: area esterna agli areali di studio – si veda estratto allegato.*
- *Ispra (Idrogeo) Pericolosità da alluvioni: Pericolosità elevata – si veda lo stralcio di seguito riportato.*



Ispra (Idrogeo) Pericolosità da alluvioni

Le opere dovranno ottemperare alle prescrizioni e specifiche previste dalla L.R. 24 Luglio 2018, n.41, e dalla normativa idraulica vigente.

3.2 Inquadramento geologico

Nell'area sono presenti gli affioramenti dell'Unità dei "Depositi di colmata", (Olocene – simbolo **h5** nella allegata Carta geologica).

Si tratta essenzialmente di alternanze di limi sabbiosi argillosi e sabbie limoso argillose.

Sono depositi legati ai processi di bonifica della vallata sedimentati in epoca recente e costituenti la testimonianza deposizionale più recente dell'area.

Durante il sopralluogo non è stata rilevata la presenza di faglie, né di sistemi di fratture o strutture sedimentarie particolari.

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

3.3 Inquadramento Idrogeologico

Dal punto di vista della natura Idrogeologica dei terreni affioranti questi risultano dotati di permeabilità primaria, legata alla porosità dei sedimenti, proprietà singenetica con la deposizione dei terreni stessi.

Si rileva in sintesi come nel sito in esame sia presente una tavola d'acqua che giace a modeste quote, con verso di deflusso che procede in direzione dei corsi d'acqua locali (Fosso del Terchio, Torrente Esse e Canale Maestro della Chiana), i quali si comportano da assi di drenaggio principali delle acque di sottosuolo.

Il livello statico locale rispetto al piano strada è stimabile pari a circa 11.00 m.

Al fine di qualificare l'area dal punto di vista della Stratigrafia locale si è provveduto a ricercare all'interno del Data Base ISPRA (Servizio Geologico Nazionale) le stratigrafie dei pozzi realizzati nelle immediate vicinanze dell'area, che vengono ubicate nella allegata Corografia generale in scala 1:25.000.

La successione dei terreni è risultata la seguente:

Pozzo 1 - Codice ISPRA: 184053.

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	6,00	6,00		LIMI SABBIOSO-ARGILLOSI
2	6,00	9,00	3,00		SABBIE
3	9,00	18,00	9,00		LIMI SABBIOSI E ARGILLOSI
4	18,00	82,00	64,00		LIMI ARGILLOSI
5	82,00	114,00	32,00		ALTERNANZA DI SABBIE E LIMI SABBIOSI
6	114,00	120,00	6,00		ARGILLE

La stratigrafia evidenzia la natura dei terreni posti nei primi 120 m e l'assenza del bedrock sismico.

Pozzo 2 - Codice ISPRA: 183974.

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE
2	1,00	4,00	3,00		SABBIE LIMOSE SCIOLTE
3	4,00	5,00	1,00		SABBIE CON ACQUA
4	5,00	20,00	15,00		ARGILLE E LIVELLI SABBIOSI
5	20,00	23,00	3,00		GHIAIE E SABBIE CON ACQUA
6	23,00	55,00	32,00		ARGILLE E SABBIE

4 RELAZIONE GEOTECNICA

Al fine di caratterizzare il sottosuolo dell'area sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Esito di n. 2 prove penetrometriche (paragrafo 4.1)
- Esito di una prova MASW (paragrafo 4.2);

L'ubicazione dei siti di indagine è riportata nella allegata Carta dell'indagine geognostica.

Il complesso dei dati a disposizione ha permesso di risalire al modello geotecnico locale di sottosuolo, documentato nel paragrafo 4.3.

4.1 Esito prove penetrometriche

Sono state svolte n. 2 prove penetrometriche dinamiche superpesanti.

Il penetrometro dinamico utilizzato è di tipo DPSH (S. Heavy), con una massa battente di 63.50 kg, un'altezza di caduta $H=0.75$ m, peso sistema battuta $M_s=30.00$ kg, diametro punta conica $D=50.50$ mm, area base della punta conica $A=20.00$ cmq, angolo di apertura della punta $\alpha=90^\circ$, avanzamento punta $\delta=0.20$ m ed un numero di colpi misurato (N) relativo all'avanzamento di 20 cm.

L'elaborazione del numero di colpi rilevato ha portato alla trasformazione del valore di N in N_{spt} tramite l'applicazione di un coefficiente teorico di energia β_t e l'utilizzo della relazione, $N_{sptm}=\beta_t \times N_m$ e $N_{sptk}=\beta_t \times N_k$, dove $\beta_t=1.52$ per il penetrometro utilizzato, N_m è il valore medio dei colpi e N_k quello caratteristico.

Misure freatiche all'interno del foro di prova non hanno evidenziato acqua di sottosuolo in entrambi i fori di prova.

Le prove sono state svolte dalla Ditta TECNA di Arezzo.

Le penetrometrie sono state svolte entrambe sulla pavimentazione stradale della SP27, in prossimità delle due spalle del ponte da mettere in sicurezza (si veda la allegata Carta dell'indagine geognostica).

In particolare la prova n.2 è stata svolta nella spalla gravante nell'area di intervento (Comune di Castiglion Fiorentino).

Entrambe le prove sono state spinte sino alla profondità massima di -12.0 m rispetto al piano strada.

Per un maggior dettaglio dei risultati si rimanda agli allegati certificati di prova.

Lungo entrambe le verticali di prova sono stati rilevati n. 8 Orizzonti geotecnici (TR, A, B, C, D, E, F, G).

All'interno dei singoli livelli è stato determinato il valore medio N_m ed attribuito quello caratteristico N_k .

Lungo la Verticale di prova di **DP1** (prova 1) è stato rilevato in sintesi quanto segue.

Tra **0.0-0.6 m (Orizzonte TR)** è stato individuato un livello superficiale antropico, o riporto, dovuto alla pavimentazione stradale ed alla sottostante massicciata.

Il Range del numero di colpi rilevato risulta contenuto dall'intervallo $N=9-65$ ($N_m=28.67$)

A seguire tra **0.6-2.4 m (Orizzonte A)** viene intercettato un livello connotato da resistenza modesta, con un numero di colpi compreso tra $N=1-4$ ($N_m=2.56$, $N_k=1.55$).

Tra **2.4-3.8 m (Orizzonte B)** è presente un livello di terreno caratterizzato da una caduta dei valori di resistenza con un numero di colpi costante pari a $N=1$.

A seguire tra **3.8-6.2 m (Orizzonte C)** è rilevata una modesta risalita dei valori di resistenza con il numero di colpi misurato che ricade tra $N=2-5$ ($N_m=2.92$, $N_k=2.14$).

Il trend di risalita continua tra **6.2-8.8 m (Orizzonte D)**, $N=4-7$ ($N_m=5.38$, $N_k=4.08$).

L'innalzamento dei valori di compattezza prosegue in profondità con i sottostanti livelli più profondi:

Orizzonte E (8.8-9.8 m): $N=6-10$, $N_m=8.4$, $N_k=6.26$;

Orizzonte F (9.8-11.4 m): $N=8-14$, $N_m=11.38$, $N_k=8.43$;

Orizzonte G (11.4-12.0 m): $N=13-20$, $N_m=16.67$, $N_k=12.9$.



Dettaglio fotografico dell'esecuzione della prova 1

Lungo la Verticale di prova di **DP2** (prova 2) è stato rilevato in sintesi quanto segue.
Tra **0.0-1.0 m (Orizzonte TR)** è stato individuato il livello superficiale di materiale dovuto alla pavimentazione stradale ed alla sottostante massiccata (Terreno di riporto). Il Range del numero di colpi rilevato risulta contenuto dall'intervallo $N=11-132$ ($N_m=76.2$)

A seguire tra **1.0-3.0 m (Orizzonte A)** viene intercettato un livello connotato da resistenza modesta, con un numero di colpi compreso tra $N=2-3$ ($N_m=2.40$, $N_k=1.91$).

Tra **3.0-4.0 m (Orizzonte B)** è rilevata una caduta dei valori di resistenza che divengono ancora più bassi, con un numero di colpi rilevato che permane racchiuso tra $N=1-2$.

A seguire tra **4.0-5.8 m (Orizzonte C)** è rilevata una limitata risalita dei valori di resistenza con il numero di colpi misurato che ricade tra $N=2-6$ ($N_m=3.44$, $N_k=2.37$).

Il trend di risalita continua tra **5.8-8.4 m (Orizzonte D)**, ove si rileva $N=4-6$ ($N_m=5.08$, $N_k=3.95$).

Come nella prova 1 la risalita dei valori di compattezza prosegue in profondità con i sottostanti livelli più profondi:

Orizzonte E (8.4-10.0 m): $N=8-12$, $N_m=9.63$, $N_k=7.66$;

Orizzonte F (10.0-11.4 m): $N=8-13$, $N_m=10.14$, $N_k=7.89$;

Orizzonte G (10.0-12.0 m): $N=14-18$, $N_m=16.33$, $N_k=13.18$.



Dettaglio fotografico dell'esecuzione della prova 2

L'esito delle due prove è stato analogo sia per quanto riguarda i valori di resistenza rilevati nei singoli orizzonti, che per lo spessore degli orizzonti geotecnici stessi presenti nel sottosuolo di entrambe le penetrometrie.

In ciascuna delle prove è stato rilevato al di sotto della pavimentazione stradale un livello di terreno dalle modeste caratteristiche geotecniche presente nella prova 1 tra 0.6-6.2 (in particolare tra 2.4-3.8 m) e nella prova 2 tra 1.0-5.8 m (particolarmente tra 3.0-4.0 m)

Al di sotto di tale livello è stata rilevato un progressivo miglioramento con la profondità dei valori di resistenza dei terreni.

Per ciò che concerne infine il dettaglio delle prove si rimanda infine ai certificati della Ditta TECNA allegati.

Al fine di ricostruire il modello geotecnico locale i dati acquisiti sul sottosuolo locale verranno analizzati mediante le seguenti formule:

Angolo di attrito interno ϕ a partire da N_{sptk} :

- "Japanese National Railway":

$$\phi = 0.3N_{spt} + 27$$

- "Peck-Hanson & Thornburn"

$$\phi = 27.2 + 0.28N_{spt}$$

- "Road Bridge Specification"

$$\phi = [\sqrt{(15 \times N_{spt})}] + 15$$

- "Ohsaki 1959"

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

- “Sowers 1961”	$\varphi = [\sqrt{(20 \times N_{spt})}] + 25$
- “Muromachi 1974”	$\varphi = (0,28 \times N_{spt}) + 28$
	$\varphi = 3,5 \times (N_{spt}^{0,5}) + 20$

Per quanto attiene il parametro C_u (coesione non drenata) sono state utilizzate le seguenti espressioni:

Coesione non drenata C_u
<ul style="list-style-type: none">TERZAGHI & PECK: questa correlazione è valida solo per le argille di media plasticità. La coesione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi N_{spt} ed è espressa in kg/cm^2. $c_u = 0.067 \cdot N_{spt}$DESIGN MANUAL FOR SOIL MECHANICS: questa correlazione è valida per le argille a bassa, media ed alta plasticità. La coesione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi N_{spt} ed è espressa in kg/cm^2. Per le argille a bassa plasticità $\Rightarrow c_u = 0.038 \cdot N_{spt}$ Per le argille a media plasticità $\Rightarrow c_u = 0.074 \cdot N_{spt}$ Per le argille ad alta plasticità $\Rightarrow c_u = 0.125 \cdot N_{spt}$SANGLERAT: questa correlazione è valida solo per le argille di bassa e media plasticità. La coesione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi N_{spt} ed è espressa in kg/cm^2. Per le argille a media plasticità $\Rightarrow c_u = 0.125 \cdot N_{spt}$ Per le argille limose $\Rightarrow c_u = 0.100 \cdot N_{spt}$ Per le argille limo-sabbiose $\Rightarrow c_u = 0.067 \cdot N_{spt}$SHIOI & FUKUI: questa correlazione è valida solo per le argille di media ed alta plasticità. La coesione non drenata è calcolata in funzione del numero di colpi N_{spt} ed è espressa in kg/cm^2. Per le argille a media plasticità $\Rightarrow c_u = 0.025 \cdot N_{spt}$ Per le argille ad alta plasticità $\Rightarrow c_u = 0.050 \cdot N_{spt}$

Per il modulo di deformazione drenata E si è tenuto conto di quanto riportato in “Elementi di Tecnica delle Fondazioni (Giuseppe Ricceri)”.

Per derivare il **Modulo edometrico** dal valore di N_{spt} , sono state utilizzate le quattro espressioni di “Menzebach e Malcev” e quella di “Farret”, che legano lo stesso modulo al valore di N_{spt} .

$$\begin{aligned} M &= 10.46 \times N_{spt} + 38 \text{ (M.&M. Sabbia fine)} \\ M &= 4.46 \times N_{spt} + 38 \text{ (M.&M. Sabbia media)} \\ M &= 10.46 \times N_{spt} + 38 \text{ (M.&M. Sabbia e ghiaia)} \\ M &= 11,84 \times N_{spt} + 38 \text{ (M.&M. Sabbia ghiaiosa)} \\ M &= 7.1 \times N_{spt} \text{ (Farret 1963)} \end{aligned}$$

Per quanto riguarda i valori di Coesione drenata sono stati attribuiti ai singoli livelli valori minimi, del tutto cautelativi, tenendo conto di quanto riportato in “Metodi per stimare le proprietà geotecniche dei Terreni” (Giulio Riga), e di quanto rilevato nel contesto di indagini geognostiche ed esami di laboratorio su terreni caratterizzati dalla medesima geologia rispetto a quelli affioranti.

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

4.2 Esito indagine geofisica svolta nell'area di intervento

L'indagine geofisica MASW è stata svolta con sismografo di proprietà dello studio tecnico.

La strumentazione utilizzata è stata la seguente:

- Sismografo Doremi (SARA electronic instruments);
- Numero dei canali 12;
- Geofoni verticali da 4.5 hz.

Come sistema di energizzazione per rilievo MASW è stata utilizzata una massa battente (mazza da 8 kg).

I dati acquisiti sono poi stati trattati tramite software "Winmasw" (Eliosoft).

La prospezione MASW non ha rilevato la presenza nel sottosuolo locale del bedrock sismico ($v_s > 800$ m/s) a profondità significative.

Tale fatto è confermato dalle stratigrafie dei pozzi della zona che evidenziano uno spessore della coltre alluvionale che riposa sopra il substrato litoide pari ad almeno a 120 m (si veda la relazione geologica).

La prova è stata eseguita sull'argine fluviale di destra idrografica prospiciente alla strada, ad una quota che approssima quella del piano strada stesso.

Nella sottostante tabella si riportano le caratteristiche di profondità, spessore e velocità delle onde S dei 2 sismostrati intercettati:

Modello Geofisico Significativo Locale				
SISMOSTRATI	NATURA GEOLOGICA/SISMICA	PROFONDITA'	SPESSORE	VELOCITA' Vs
STRATO I	Coltre alluvionale	0.0 ÷ 5.9 m	5.9 m	135 m/s
STRATO II	Coltre alluvionale	5.9 ÷ 30.0 m	24.1 m	234 m/s

Si evidenzia che la coltre alluvionale esibisca velocità che progressivamente si innalzano da 135 m/s in superficie sino a 234 m/s a partire da -5.9 m.

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

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

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

La $V_{s,eq}$ della coltre tra 0-30 m risulta pari a 205 m/s.

È ipotizzata la realizzazione di una paratia in pali che sostenga il terrapieno costituito dal terreno retrostante le due spalle del ponte.

Le NTC2018 al punto 3.2.2 (Categorie di sottosuolo) evidenziano che nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Anche nel caso di fondazioni su pali il piano di riferimento è la quota della testa pali.

Visto quanto espresso è attribuibile ai sensi delle NTC 2018 la Categoria di sottosuolo C.

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

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

Per un maggior dettaglio sulla esecuzione della prova ed analisi dei dati si rimanda alla lettura della relazione geofisica riportata in allegato.



Dettaglio fotografico dell'esecuzione della prova MASW

4.3 Modello Geotecnico del sito

Si riportano di seguito i modelli geotecnici dei siti di esecuzione delle singole prove.

A livello di modellazione per gli interventi gravanti nel territorio Comunale di Castiglion Fiorentino si consiglia di utilizzare il modello relativo alla Prova 2, svolta in coincidenza dell'area oggetto del presente intervento.

PROVA 1

Orizzonti geotecnici	Terreno	Parametri Geomeccanici caratteristici	Profondità dal p.c. (metri)
TR	Terreno riporto	$\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 31^\circ$	0.00÷0.60
A		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 26^\circ$ $C' = 0.01 \text{ kg/cmq}$ $Cu = 0.18 \text{ kg/cmq}$ $Mo = 59 \text{ kg/cmq}$ $E = 60 \text{ kg/cmq}$	0.60÷2.40
B		$\gamma = 1.65 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.70 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 25^\circ$	2.40÷3.80

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

		$C'=0.01 \text{ kg/cmq}$ $Cu=0.11 \text{ kg/cmq}$ $Mo=40 \text{ kg/cmq}$ $E=40 \text{ kg/cmq}$	
C	Coltre alluvionale: Alternanze di limi sabbiosi argillosi e sabbie limoso argillose	$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi'=27^\circ$ $C'=0.01 \text{ kg/cmq}$ $Cu=0.24 \text{ kg/cmq}$ $Mo=64 \text{ kg/cmq}$ $E=65 \text{ kg/cmq}$	3.80÷6.20
D		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi'=29^\circ$ $C'=0.02 \text{ kg/cmq}$ $Cu=0.46 \text{ kg/cmq}$ $Mo=92 \text{ kg/cmq}$ $E=95 \text{ kg/cmq}$	6.20÷8.80
E		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi'=31^\circ$ $C'=0.02 \text{ kg/cmq}$ $Cu=0.70 \text{ kg/cmq}$ $Mo=126 \text{ kg/cmq}$ $E=130 \text{ kg/cmq}$	8.80÷9.80
F		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi'=32^\circ$ $C'=0.02 \text{ kg/cmq}$ $Cu=0.90 \text{ kg/cmq}$ $Mo=160 \text{ kg/cmq}$ $E=165 \text{ kg/cmq}$	9.80÷11.4
G		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi'=35^\circ$ $C'=0.02 \text{ kg/cmq}$ $Cu=1.40 \text{ kg/cmq}$ $Mo=220 \text{ kg/cmq}$ $E=300 \text{ kg/cmq}$	11.4÷12.0

PROVA 2

Orizzonti geotecnici	Terreno	Parametri Geomeccanici caratteristici	Profondità dal p.c. (metri)
TR	Terreno riporto	$\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi'=32^\circ$	0.00÷1.00
A		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi'=27^\circ$ $C'=0.01 \text{ kg/cmq}$ $Cu=0.22 \text{ kg/cmq}$ $Mo=58 \text{ kg/cmq}$	1.00÷3.00

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

		$E=60 \text{ kg/cmq}$	
B	Coltre alluvionale: Alternanze di limi sabbiosi argillosi e sabbie limoso argillose	$\gamma = 1.65 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.70 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 26^\circ$ $C' = 0.01 \text{ kg/cmq}$ $Cu = 0.14 \text{ kg/cmq}$ $Mo = 50 \text{ kg/cmq}$ $E = 50 \text{ kg/cmq}$	3.00÷4.00
C		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 27^\circ$ $C' = 0.01 \text{ kg/cmq}$ $Cu = 0.27 \text{ kg/cmq}$ $Mo = 70 \text{ kg/cmq}$ $E = 70 \text{ kg/cmq}$	4.00÷5.80
D		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 29^\circ$ $C' = 0.02 \text{ kg/cmq}$ $Cu = 0.45 \text{ kg/cmq}$ $Mo = 88 \text{ kg/cmq}$ $E = 90 \text{ kg/cmq}$	5.80÷8.40
E		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 32^\circ$ $C' = 0.02 \text{ kg/cmq}$ $Cu = 0.87 \text{ kg/cmq}$ $Mo = 140 \text{ kg/cmq}$ $E = 140 \text{ kg/cmq}$	8.40÷10.0
F		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 32^\circ$ $C' = 0.02 \text{ kg/cmq}$ $Cu = 0.89 \text{ kg/cmq}$ $Mo = 146 \text{ kg/cmq}$ $E = 150 \text{ kg/cmq}$	10.0÷11.4
G		$\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$ $\gamma_s = 1.90 \text{ t/mc}$ $\varphi' = 35^\circ$ $C' = 0.02 \text{ kg/cmq}$ $Cu = 1.49 \text{ kg/cmq}$ $Mo = 216 \text{ kg/cmq}$ $E = 300 \text{ kg/cmq}$	11.4÷12.0

Livello statico: -11.00 m rispetto al piano strada dove sono state svolte le prove

Legenda:

γ = peso di volume del terreno naturale;

γ_s = peso di volume del terreno saturo;

φ' = Angolo di attrito interno efficace;

C' = Coesione drenata

Cu = Coesione non drenata;

M = Modulo edometrico;

E = modulo di deformazione drenata (Modulo di Young).

5 CONCLUSIONI, PRESCRIZIONI E FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO

Su incarico ricevuto dalla Provincia di Arezzo - Settore Viabilità Lavori Pubblici Servizio Viabilità – è stata svolta la relazione geologico-tecnica di supporto all'intervento di messa in sicurezza del ponte sul Canale Maestro della Chiana lungo la S.P. 27 di Castroncello-Brolio, Comune di Castiglion Fiorentino.

Il Progettista strutturale incaricato dalla Provincia di Arezzo è l'Ing. Nicola Cappelletti.

Sono state svolte n.2 prove penetrometriche statiche di tipo DPSH (prova 1 e prova 2) ed una prova geofisica di tipo MASW.

Le opere di intervento ricadono nel territorio comunale di Castiglion Fiorentino in adiacenza del sito di prova n.2, al quale modello ricostruito all'interno del paragrafo 4.3 si rimanda per l'intervento in esame.

La Categoria di sottosuolo attribuita ai sensi delle NTC 2018 è quella C, mentre quella topografica è la T1.

L'indagine in esame ha mostrato la fattibilità dell'intervento dal punto di vista geologico con le prescrizioni espresse nella presente relazione tecnica.

La natura del sottosuolo dovrà essere controllata in maniera puntuale e definitiva al momento dell'apertura dei lavori di scavo, così da essere certi dell'omogeneità delle caratteristiche geotecniche dei terreni direttamente interessati dalle opere.

In tale fase se a nostro avviso si ritenesse necessario, sarà ancora possibile svolgere un approfondimento di indagine geognostica e variare in via cautelativa i parametri tecnici riportati nella perizia.

La Validità delle ipotesi di progetto dovrà cioè essere controllata durante la costruzione considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

Si ricorda in fine che:

- il controllo e la gestione delle opere sarà sotto la responsabilità del Direttore dei Lavori, al quale si rimanda incondizionatamente per quanto riguarda la corretta esecuzione del progetto e la rigorosa osservanza delle indicazioni contenute nella presente relazione.
- al Progettista strutturale spetterà la scelta della tipologia e/o la verifica del dimensionamento dei pali e le verifiche in fondazione previste dalle NTC2018 allo SLU (SLV) e SLE.

Come specifiche si ritiene necessario quanto segue:

- rispetto integrale di quanto previsto dalla L.R. 41/2018;
- verificare nel tempo che il corso d'acqua risulti pulito, privo di vegetazione infestante o di materiale di qualsiasi natura che ne limiti la sezione, ed ostacoli il libero deflusso delle acque;
- durante l'esecuzione dei lavori dovrà essere accertata in loco la rispondenza delle indagini geologiche e delle previsioni di progetto con le caratteristiche effettive dei terreni e dovrà essere adottato ogni ulteriore accorgimento necessario ad assicurare la

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

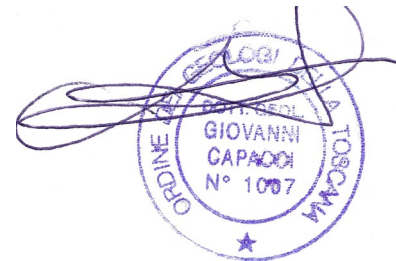
compatibilità dell'intervento con le caratteristiche geomorfologiche e la circolazione idrica;

- il materiale di risulta, se non utilizzato in loco, dovrà essere prontamente asportato dall'area oggetto di intervento e smaltito secondo i termini di legge. In particolare dovrà essere evitato in ogni maniera il colamento di materiale di risulta, o terroso, nel corso d'acqua.

- La presente relazione non si occupa della gestione delle terre e rocce da scavo, e delle verifiche preliminari mediante analisi di laboratorio per determinare la compatibilità ambientale del riutilizzo delle stesse sul posto, o il trasferimento in idoneo sito, per la quale si rimanda alle disposizioni del progettista.

Arezzo, 26.05.2026

Dott. Geologo
Giovanni Capacci



Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

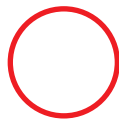
Allegato 2.1



Comune di Castiglion Fiorentino

Via del Filo - SP27

Corografia generale scala 1:25.000



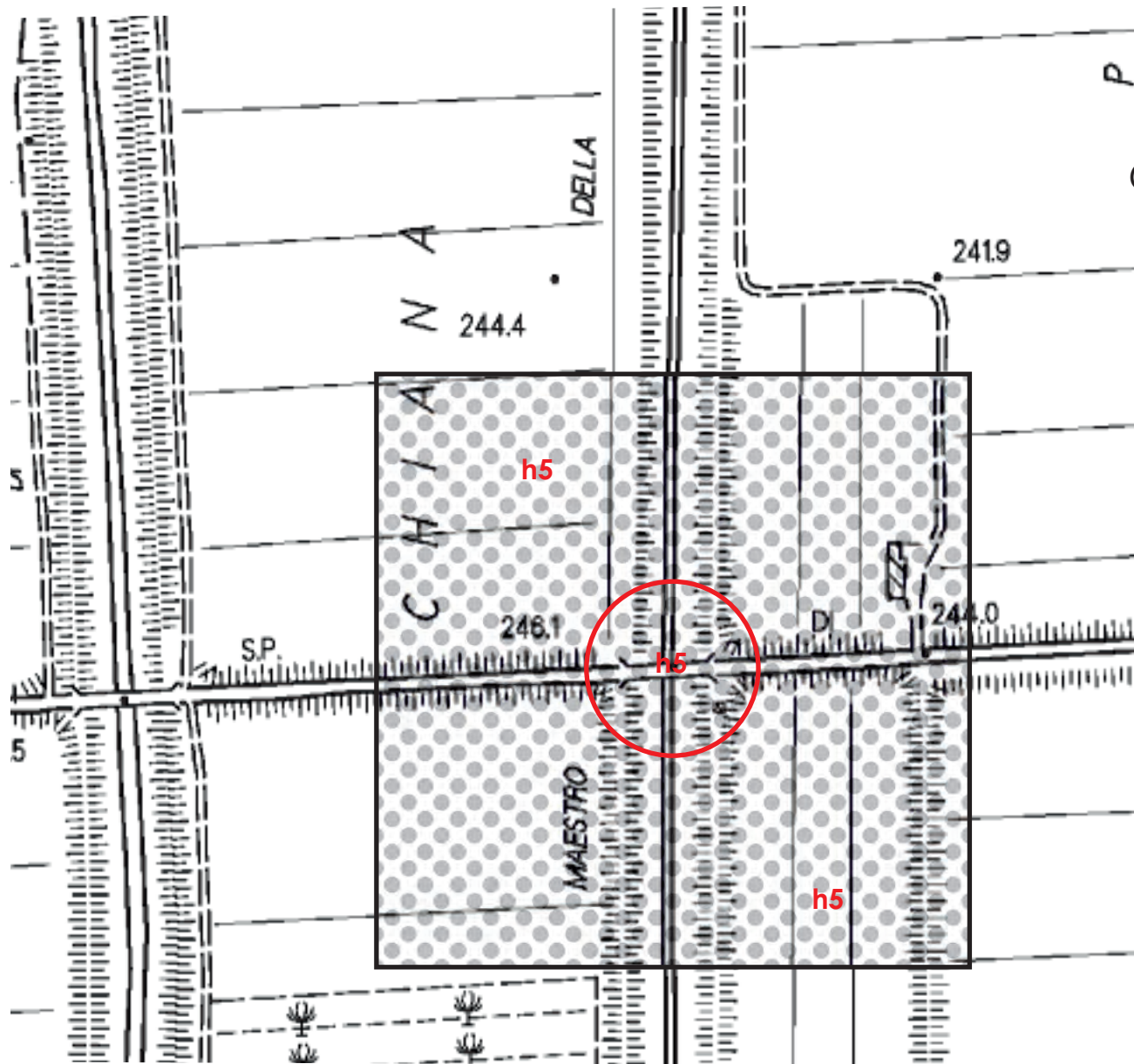
Area interessata dall'intervento



Ubicazione pozzo con stratigrafia nota
riportata nella relazione geologico-tecnica

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 3.1



COMUNE DI CASTIGLIONE FIORENTINO

Via del Filo (SP 27)

CARTA GEOLOGICA

Scala 1:5.000



Area interessata dall'intervento

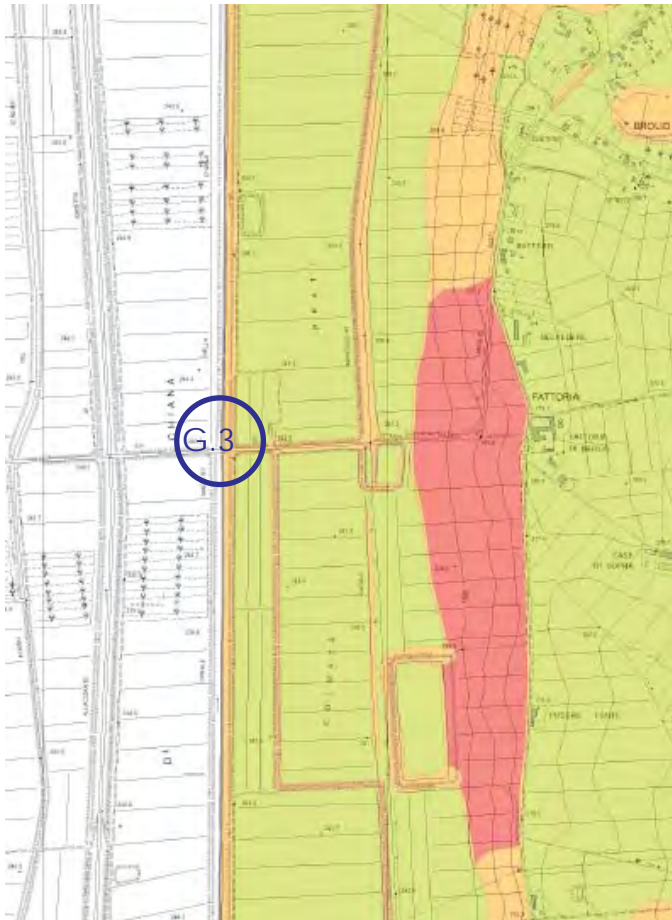


Depositi di colmata (Olocene)

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

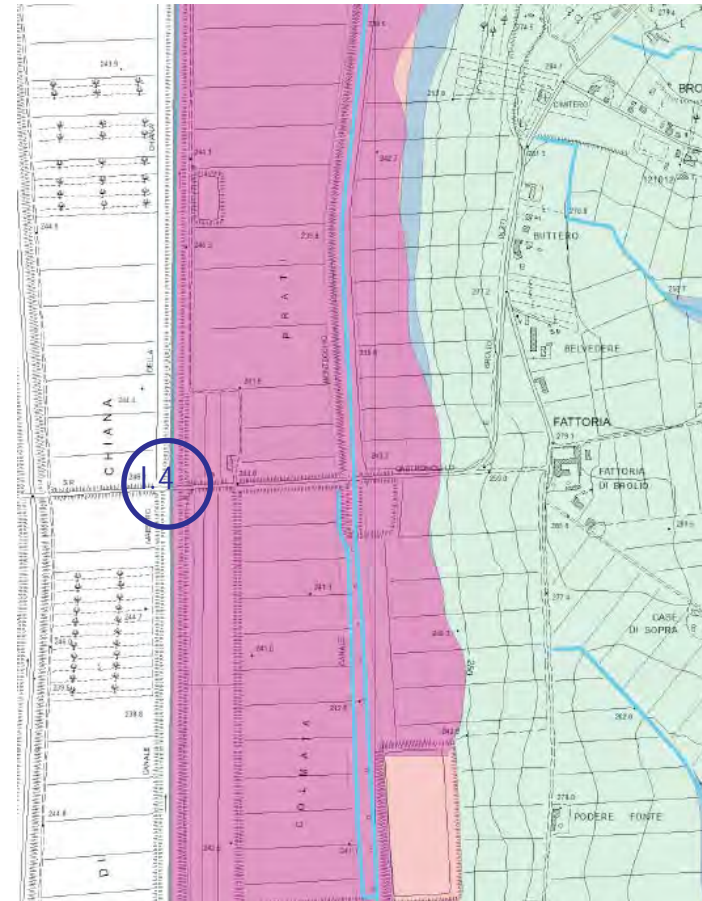
Allegato 3.2

Carta delle aree a pericolosità geologica
Relativa al Regolamento Urbanistico Comunale
di Castiglion Fiorentino



G.3. Pericolosità Geologica elevata

Carta della pericolosità idraulica
Relativa al Regolamento Urbanistico Comunale
di Castiglion Fiorentino



I.4 Pericolosità Idraulica molto elevata

Carta delle aree a pericolosità geologica Relativa al Piano Strutturale intercomunale



Legenda

AREE A PERICOLOSITA' GEOLOGICA

- **G.4 - Pericolosità geologica molto elevata**
Aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione ed aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo
- **G.3 - Pericolosità geologica elevata**
Aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di microdinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi
- **G.2 - Pericolosità geologica media**
Aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti inferiori a 15 gradi

G.3. Pericolosità Elevata

Carta delle aree a pericolosità da alluvione Relativa al Piano Strutturale intercomunale



Legenda

- Limiti comunali
- Area di studio oggetto di modellazione idraulica
- Sezioni idrauliche oggetto di modellazione
- Aree a pericolosità da alluvione**
 - P1 - aree a pericolosità per alluvioni rare (200 anni < Tr ≤ 500 anni)
 - P2 - aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (30 anni < Tr ≤ 200 anni)
 - P3 - aree a pericolosità per alluvioni frequenti (Tr ≤ 30 anni)

Sito esterno ad area di studio modellazione idraulica

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 4.1



Comune di Foiano della Chiana/Castiglion Fiorentino - Via del Filo - SP 27
CARTA DELL'INDAGINE GEOGNOSTICA



Ubicazione prove dinamiche (DPSH)

MW



Rilievo geofisico MASW

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 4.2

TECNA SrlVia Achille Grandi, 51 - AREZZO
tel. 0575-323501, fax 0575-1979797**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE****DIN****1**

riferimento

041-2019

certificato n°

196/2019

n° verb. accett.

107 del 15/04/19

Committente: **Provincia di Arezzo**
Cantiere: **Indagine geognostica**
Località: **Via del Filo - Foiano della Chiana - AR**U.M.: **MPa**
Pagina: 1/17
Elaborato:Data esec.: 10/04/2019
Data certificato: 17/04/2019
Falda: Assente

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m ²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m ²
0,20	1	65		47,5					
0,40	1	12		4,5					
0,60	2	9		3,4					
0,80	2	4		1,5					
1,00	2	1		0,4					
1,20	2	4		1,5					
1,40	2	2		0,8					
1,60	3	2		0,8					
1,80	3	3		1,1					
2,00	3	3		1,1					
2,20	3	2		0,8					
2,40	3	2		0,8					
2,60	4	1		0,4					
2,80	4	1		0,4					
3,00	4	1		0,4					
3,20	4	1		0,4					
3,40	4	1		0,4					
3,60	5	1		0,4					
3,80	5	1		0,4					
4,00	5	3		1,1					
4,20	5	2		0,8					
4,40	5	2		0,8					
4,60	6	5		1,9					
4,80	6	5		1,9					
5,00	6	3		1,1					
5,20	6	2		0,8					
5,40	6	2		0,8					
5,60	7	2		0,8					
5,80	7	3		1,1					
6,00	7	3		1,1					
6,20	7	3		1,1					
6,40	7	4		1,5					
6,60	8	4		1,5					
6,80	8	6		2,3					
7,00	8	7		2,6					
7,20	8	6		2,3					
7,40	8	4		1,5					
7,60	9	4		1,5					
7,80	9	4		1,5					
8,00	9	4		1,5					
8,20	9	7		2,6					
8,40	9	7		2,6					
8,60	10	6		2,3					
8,80	10	7		2,6					
9,00	10	9		3,4					
9,20	10	10		3,8					
9,40	10	8		3,0					
9,60	11	6		2,3					
9,80	11	9		3,4					
10,00	11	14		5,3					
10,20	11	13		4,9					
10,40	11	14		5,3					
10,60	12	13		4,9					
10,80	12	9		3,4					
11,00	12	8		3,0					
11,20	12	9		3,4					
11,40	12	11		4,1					
11,60	13	13		4,9					
11,80	13	17		6,4					
12,00	13	20		7,5					

H = profondità
L1 = prima lettura (colpi punta)
L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)qcd = resistenza dinamica punta
Asta = numero di asta impiegata

nota:

FON049

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

e-mail: tecna@geognostica.it - tecna@micropali.com

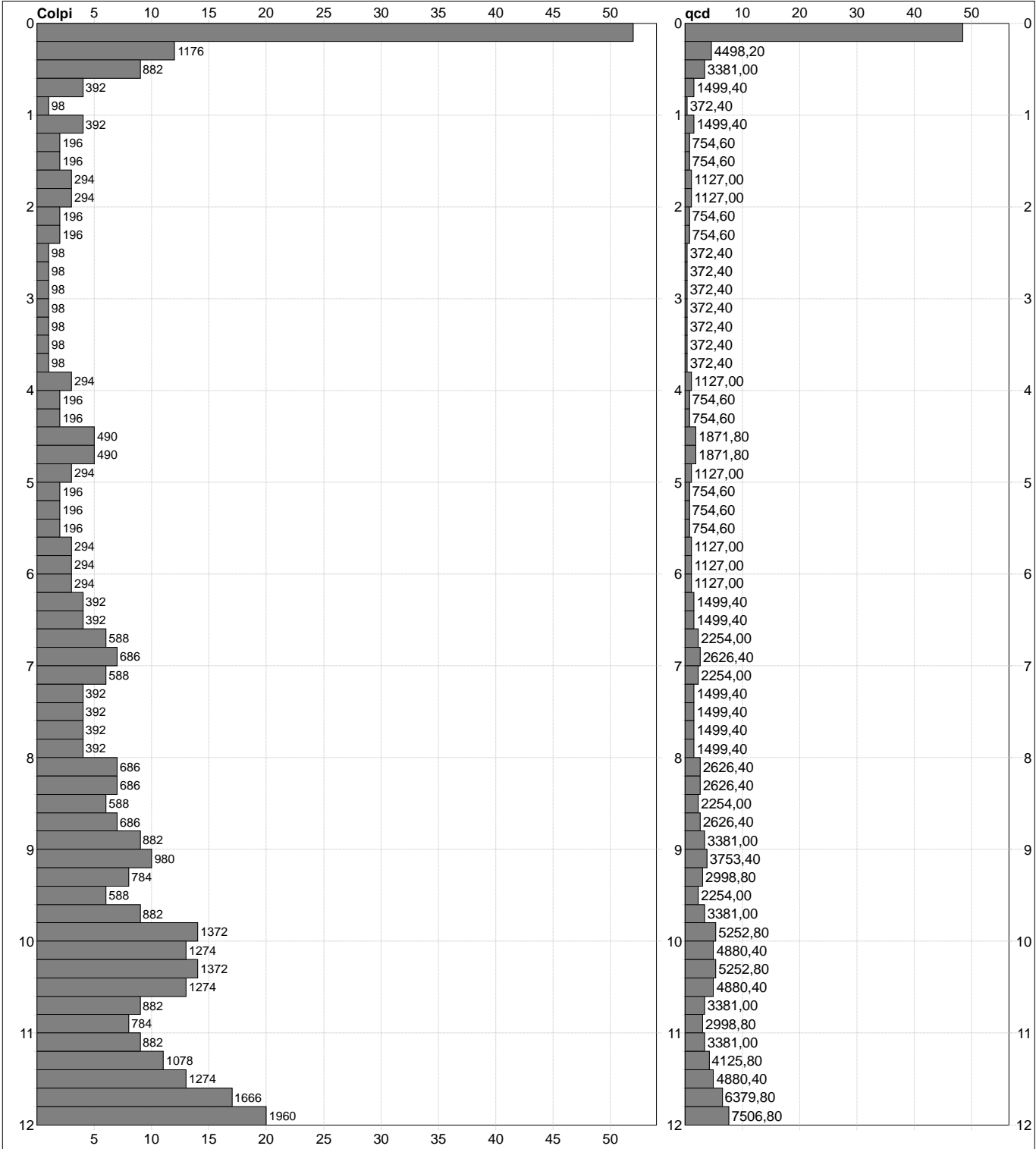
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA

DIN	1
riferimento	041-2019
certificato n°	196/2019
n° verb.accett.	107 del 15/04/19

Committente: **Provincia di Arezzo**
 Cantiere: **Indagine geognostica**
 Località: **Via del Filo - Foiano della Chiana - AR**

U.M.: **MPa** Data eseg.: 10/04/2019
 Scala: 1:60 Data certificato: 17/04/2019
 Pagina: 2/17 Quota inizio: Piano Campagna
 Elaborato: Falda: Assente



Penetrometro: DPSH (S. Heavy)
 Massa battente: 63,50 kg
 Altezza caduta: 0,75 m
 Avanzamento: 0,20 m

Responsabile:
 Assistente:

Preforo: m
 Corr.astine: kN/ml
 Cod.ISTAT: 051018

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE

DIN	2
riferimento	041-2019
certificato n°	197/2019
n° verb. accett.	107 del 15/04/19

Committente: Provincia di Arezzo	U.M.: MPa	Data esec.: 10/04/2019
Cantiere: Indagine geognostica	Pagina: 1/17	Data certificato: 17/04/2019
Località: Via del Filo - Foiano della Chiana - AR	Elaborato:	Falda: Assente

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m ²		H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m ²
0,20	1	132		96,4						
0,40	1	185		69,4						
0,60	2	40		15,0						
0,80	2	11		4,1						
1,00	2	13		4,9						
1,20	2	3		1,1						
1,40	2	3		1,1						
1,60	3	2		0,8						
1,80	3	2		0,8						
2,00	3	2		0,8						
2,20	3	2		0,8						
2,40	3	2		0,8						
2,60	4	2		1,3						
2,80	4	3		1,9						
3,00	4	3		1,8						
3,20	4	2		1,2						
3,40	4	2		1,2						
3,60	5	2		1,2						
3,80	5	2		1,2						
4,00	5	1		0,6						
4,20	5	3		1,7						
4,40	5	6		3,3						
4,60	6	5		2,8						
4,80	6	3		1,7						
5,00	6	3		1,6						
5,20	6	3		1,6						
5,40	6	2		1,0						
5,60	7	3		1,6						
5,80	7	3		1,6						
6,00	7	4		2,0						
6,20	7	4		2,0						
6,40	7	5		2,5						
6,60	8	5		2,5						
6,80	8	5		2,5						
7,00	8	5		2,4						
7,20	8	5		2,4						
7,40	8	5		2,4						
7,60	9	6		2,8						
7,80	9	4		1,9						
8,00	9	6		2,7						
8,20	9	6		2,7						
8,40	9	6		2,7						
8,60	10	8		3,6						
8,80	10	10		4,5						
9,00	10	10		4,3						
9,20	10	11		4,7						
9,40	10	12		5,1						
9,60	11	8		3,4						
9,80	11	9		3,8						
10,00	11	9		3,7						
10,20	11	12		4,9						
10,40	11	8		3,3						
10,60	12	12		4,9						
10,80	12	13		5,3						
11,00	12	8		3,1						
11,20	12	9		3,5						
11,40	12	9		3,5						
11,60	13	14		5,5						
11,80	13	17		6,6						
12,00	13	18		6,8						

H = profondità
L1 = prima lettura (colpi punta)
L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)

qcd = resistenza dinamica punta
Asta = numero di asta impiegata

nota:

FON049

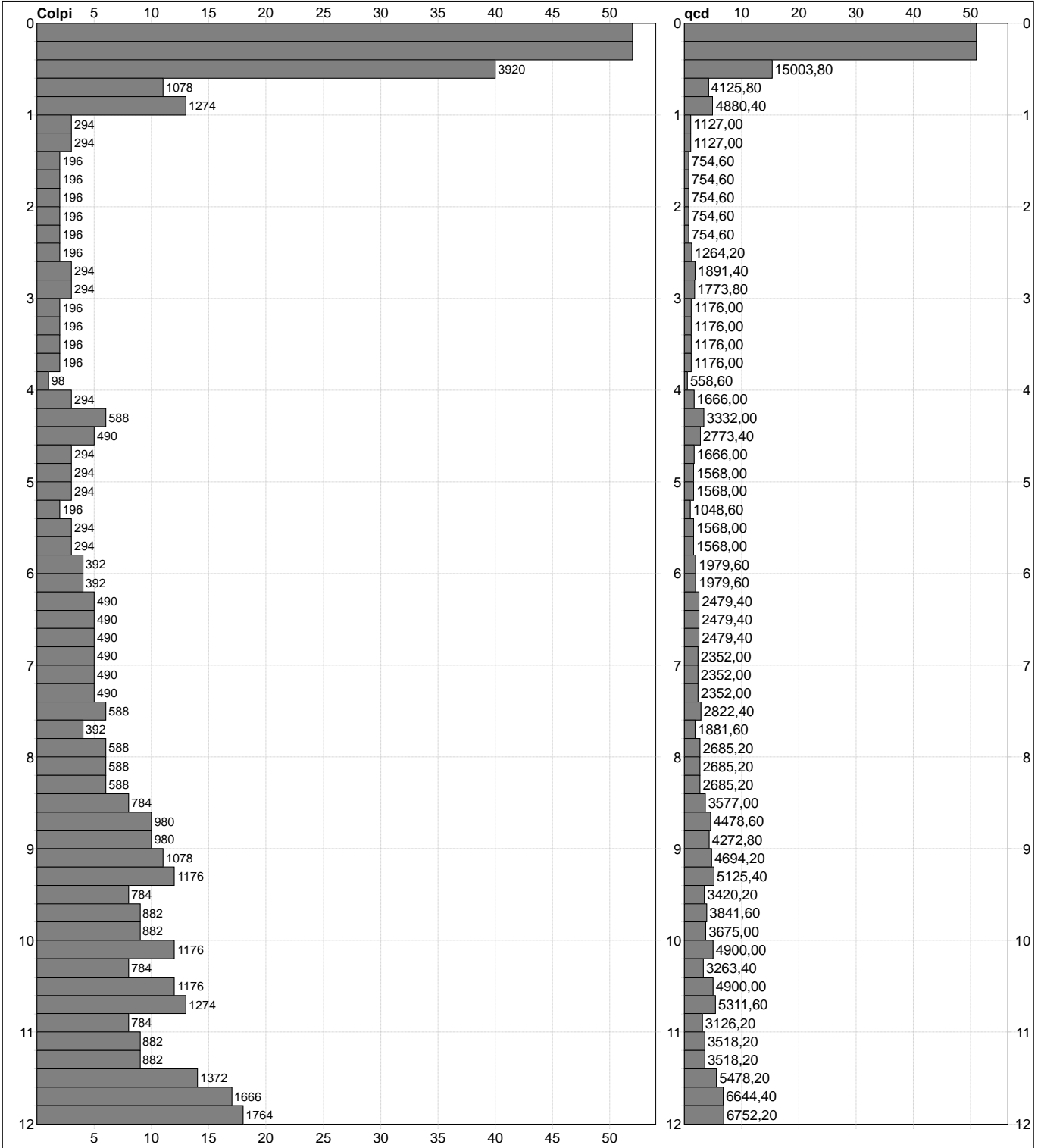
Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA**

DIN	2
riferimento	041-2019
certificato n°	197/2019
n° verb.accett.	107 del 15/04/19

Committente: **Provincia di Arezzo**
Cantiere: **Indagine geognostica**
Località: **Via del Filo - Foiano della Chiana - AR**

U.M.: **MPa** Data eseg.: 10/04/2019
Scala: 1:60 Data certificato: 17/04/2019
Pagina: 2/17 Quota inizio: Piano Campagna
Elaborato: Falda: Assente



Penetrometro: DPSH (S. Heavy)
Massa battente: 63,50 kg
Altezza caduta: 0,75 m
Avanzamento: 0,20 m

Responsabile:
Assistente:

Preforo: m
Corr.astine: kN/ml
Cod.ISTAT: 051018

nota:

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 4.3

COMUNE DI FOIANO DELLA CHIANA-CASTIGLION FIORENTINO
Via del Filo (SP27)

RELAZIONE GEOFISICA
INDAGINE SISMICA MASW: RILIEVO INTERPRETATIVO



Aprile 2019

Il Geologo incaricato

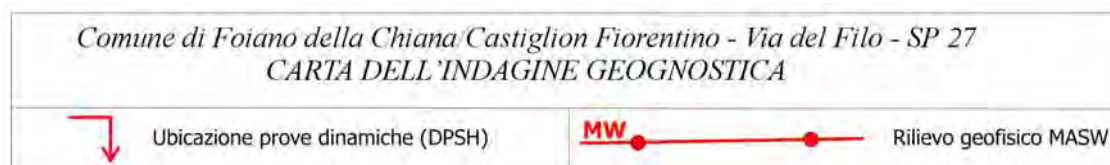
CONTENUTO

1	PREMESSA	3
2	INDAGINE GEOFISICA DI TIPO MASW – CENNI TEORICI.....	3
3	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E METODOLOGIA DI INDAGINE.....	6
4	GEOMETRIA DELLO STENDIMENTO ED ELABORAZIONE	7
5	RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA: MODELLO GEOFISICO LOCALE	8
6	CONCLUSIONI	11

1 PREMESSA

La presente relazione documenta lo studio geofisico di tipo MASW svolto su incarico della Provincia di Arezzo, in relazione all'intervento di messa in sicurezza del ponte sul Canale Maestro della Chiana lungo la s.p. 27 di Castroncello-Brolio, a confine dei Comuni di Foiano della Chiana e Castiglion Fiorentino.

E' stata condotta una prospezione di tipo MASW che viene ubicata nella foto aerea riportata in calce con ubicazione dell'intervento, unitamente alle prove penetrometriche svolta in situ.



Lo studio ha avuto come scopo quello di studiare il sottosuolo dell'area sia dal punto di vista geofisico che geotecnico, individuando i diversi orizzonti geologici con diverse caratteristiche geologiche e sismiche.

Di tali orizzonti ne sono state definiti gli spessori, le velocità di propagazione delle onde elastiche V_s ed è stata attribuita la categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 in tutti e tre gli stendimenti.

La prospezione è stata mirata anche ad evidenziare la presenza di livelli nel sottosuolo configurabili per velocità sismica come bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s), o fattori di amplificazione sismica locale di tipo stratigrafico.

2 INDAGINE GEOFISICA DI TIPO MASW – CENNI TEORICI

MASW è l'acronimo di Multi-channel Analysis of Surface Waves (Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999).

Il fenomeno che viene analizzato è la propagazione delle onde di superficie.

Più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie, ovvero: frequenze diverse - cioè lunghezze d'onda diverse - viaggiano a velocità diversa.

Il principio base è piuttosto semplice: le varie componenti (frequenze) del segnale sismico che si propaga, viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

Più specificatamente: le lunghezze d'onda più ampie (cioè le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda (in altre termini avvertono gli strati più profondi), mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale.

Poiché tipicamente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità, ciò si rifletterà nel fatto che le frequenze più basse (delle onde di superficie) viaggeranno ad una velocità maggiore rispetto le frequenze più alte.

La MASW classica/standard consiste nella registrazione della propagazione di una classe di onde di superficie (specificatamente delle onde di Rayleigh). Più in dettaglio: le onde di Rayleigh vengono generate da una sorgente ad impatto verticale (la classica martellata) o da un cannoncino.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

*Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama **dispersione**.*

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

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- la costruzione di un grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza (*curva di dispersione*);
- l'*inversione* della curva di dispersione per ottenere il **profilo verticale delle V_s** .

Per ottenere un profilo V_s occorre produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione sono necessari dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità, che vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La *velocità di fase* e la *frequenza* sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione. Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione.

Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione.

L'indagine MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza ($<10\text{Hz}$).

3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E METODOLOGIA DI INDAGINE

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018)

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s).

L'analisi geofisica è stata mirata a definire spessori, geometrie e velocità sismiche dei terreni e a valutare l'eventuale presenza di un bedrock sismico superficiale.

I dati acquisiti sono poi stati trattati tramite software "Winmasw" (Eliosoft).

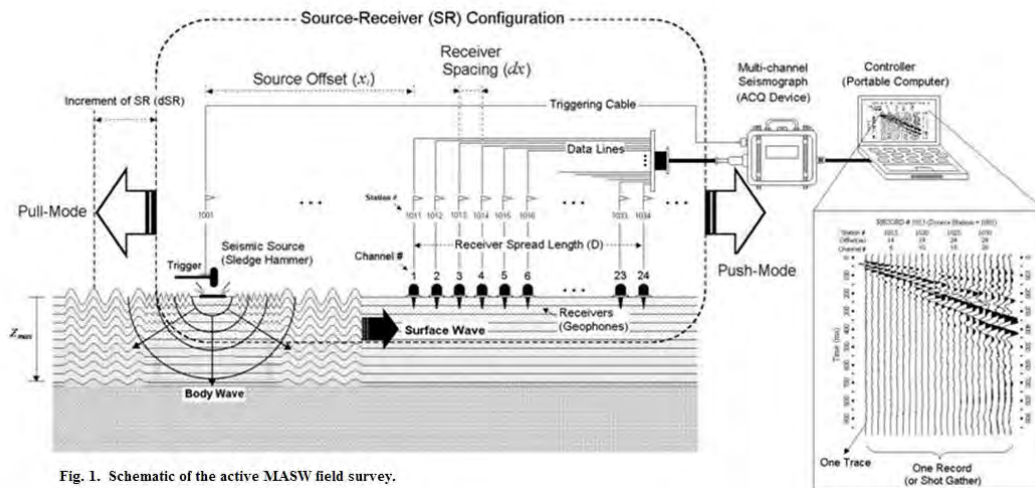
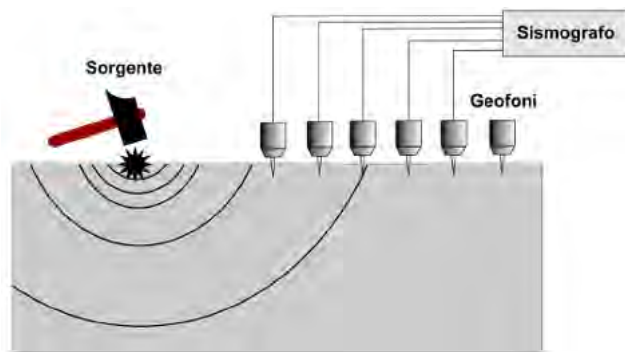


Fig. 1. Schematic of the active MASW field survey.

Descrizione schematica della procedura MASW

La Strumentazione utilizzata è stata le seguente:

- Sismografo Doremi (SARA electronic instruments);
- Numero dei canali 12;
- Geofoni verticali da 4.5 hz;
- Come sistema di energizzazione per rilievo MASW è stata utilizzata una Massa battente (mazza da 8 kg).
- Sono state effettuate registrazioni di 2 sec.



Schema esemplificativo della procedura MASW



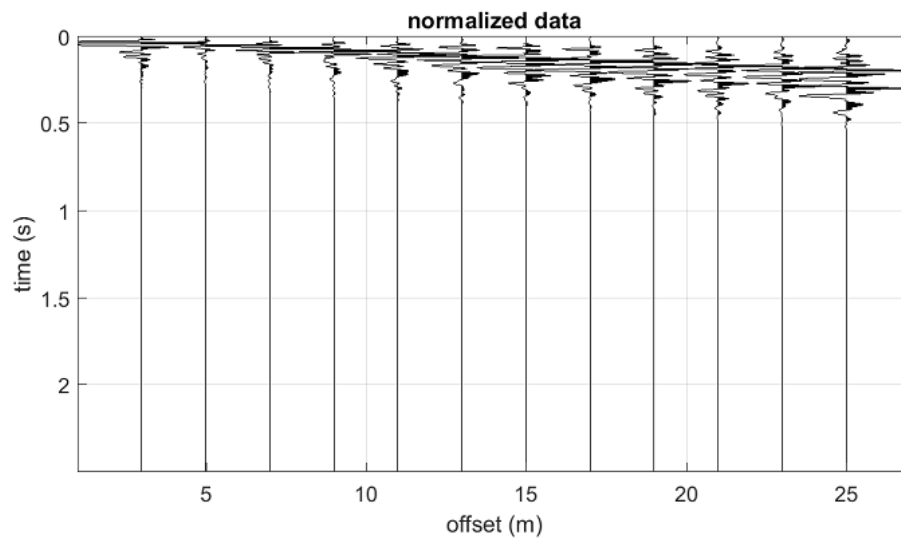
Attrezzatura sismica utilizzata per l'indagine

4 GEOMETRIA DELLO STENDIMENTO ED ELABORAZIONE

E' stata svolta una prospezione MASW, secondo la seguente geometria: i 12 geofoni da 4,5 hz sono stati disposti alla interdistanza $D=2.0$ m ("geophone spacing") ed un "minimum offset" pari ad $A=3.0$ m, ottenendo quindi una traccia complessiva ($A+D$) pari a $22+3.0$ m, uguale a 25 m.



Documentazione fotografica della prova MASW



Sismogramma relativo alla prospezione MASW

Il tutto ha contribuito alla ricostruzione del modello sismico locale, che verrà dettagliato nel paragrafo successivo.

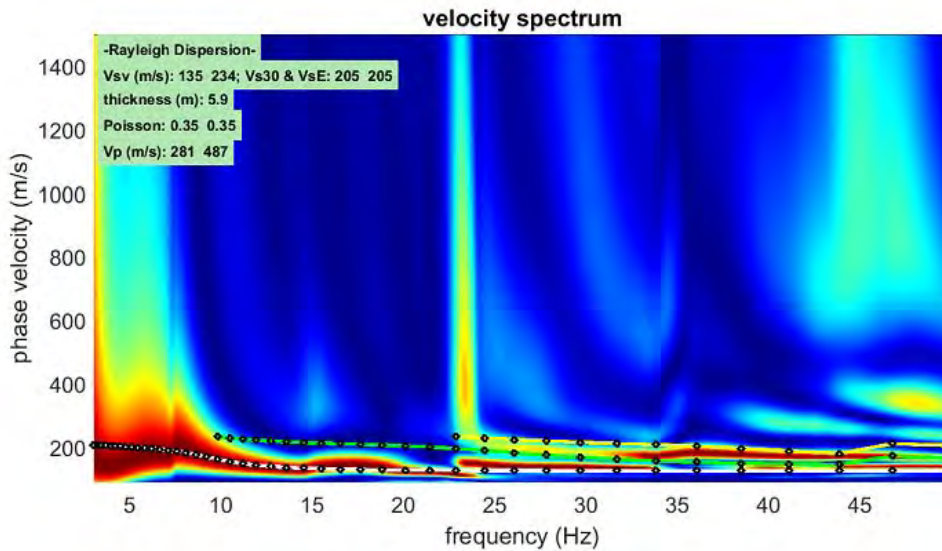
5 RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA: MODELLO GEOFISICO LOCALE

La prospezione MASW non ha rilevato la presenza nel sottosuolo locale del bedrock sismico ($v_s > 800 \text{ m/s}$) a profondità significative.

Tale fatto è confermato dalle stratigrafie dei pozzi della zona che evidenziano uno spessore della coltre alluvionale che riposa sopra il substrato litoide pari ad almeno a 120 m (si veda la relazione geologica).

Nella sottostante tabella si riportano le caratteristiche di profondità, spessore e velocità delle onde S dei 2 sismostrati intercettati:

Modello Geofisico Significativo Locale				
SISMOSTRATI	NATURA GEOLOGICA/SISMICA	PROFONDITA'	SPESSORE	VELOCITA' Vs
STRATO I	Coltre alluvionale	0.0 ÷ 5.9 m	5.9 m	135 m/s
STRATO II	Coltre alluvionale	5.9 ÷ 30.0 m	24.1 m	234 m/s



Risultati della elaborazione della prospezione svolta mediante software Winmasw

Si evidenzia che la coltre alluvionale esibisce velocità che progressivamente si innalzano da 135 m/s in superficie sino a 234 m/s a partire da -5.9 m.

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

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

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

La V_{seq} della coltre tra 0-30 m risulta pari a 205 m/s.

E' prevista la realizzazione di una paratia in pali che sostenga il terrapieno costituito dal terreno retrostante le due spalle del ponte.

Le NTC2018 al punto 3.2.2 (Categorie di sottosuolo) evidenziano che nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Anche nel caso di fondazioni su pali il piano di riferimento è la quota della testa pali. Entrambe le quote menzionate approssimano quella di esecuzione della prova geofisica MASW.

Visto quanto espresso è attribuibile ai sensi delle NTC 2018 la Categoria di sottosuolo C.

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

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

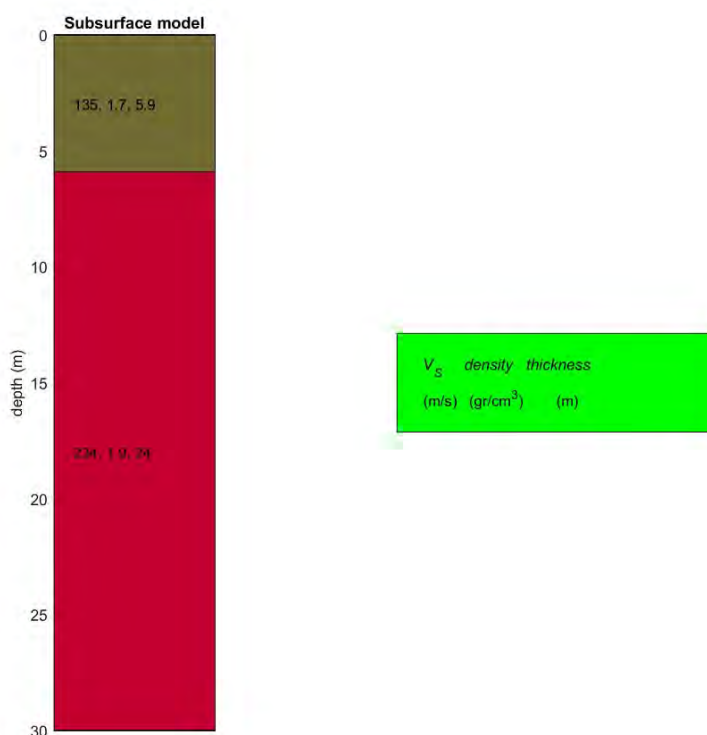
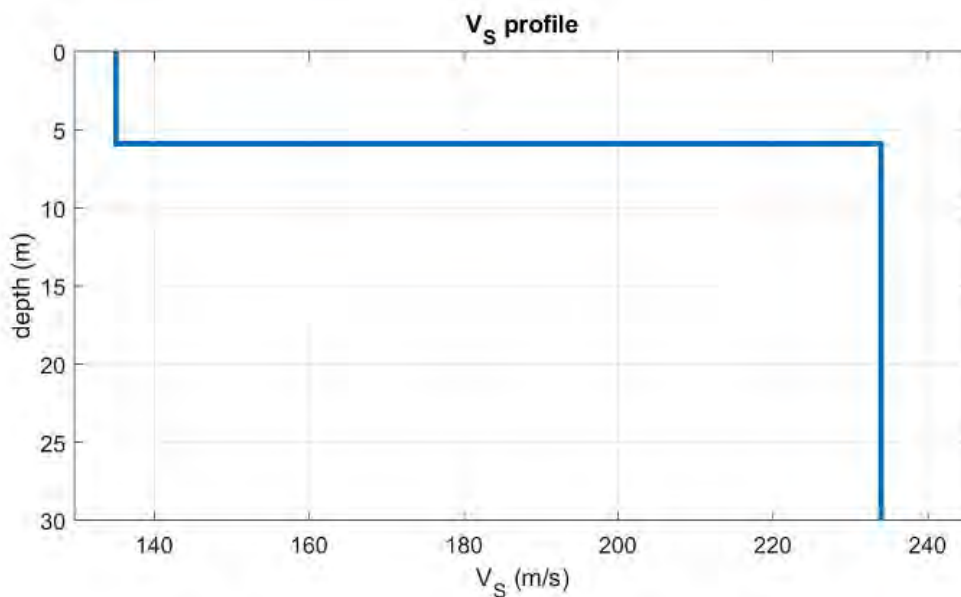


Diagramma sismico-stratigrafico relativo alla prospezione svolta



Schema sintetico rappresentativo della variazione delle vs con la profondità di sottosuolo

6 CONCLUSIONI

La presente relazione ha documentato lo studio geofisico di tipo MASW svolto su incarico della Provincia di Arezzo, in relazione all'intervento di messa in sicurezza del ponte sul Canale Maestro della Chiana lungo la s.p. 27 di Castroncello-Brolio, a confine dei Comuni di Foiano della Chiana e Castiglion Fiorentino.

Lo studio ha avuto come scopo quello di studiare il sottosuolo dell'area sia dal punto di vista geofisico, individuando i diversi orizzonti geologici con diverse caratteristiche sismiche.

Non sono stati individuati fattori di amplificazione sismica locale significativi.

La Prospezioni geofisica ha permesso di attribuire la Categoria di Sottosuolo C ai sensi delle NTC 2018.

Arezzo, 11.04.2019

Dott. Geologo Giovanni Capacci