



CITTA' METROPOLITANA DI FIRENZE

Direzione Viabilità

ACCORDO QUADRO PER SERVIZI DI INGEGNERIA
RELATIVI A NUOVE OPERE E MANUTENZIONE DEL
PATRIMONIO STRADALE DI PROPRIETA' E IN GESTIONE
ALLA CITTA' METROPOLITANA DI FIRENZE

LOTTO 2 "ZONA 2 MUGELLO EST E VALDARNO"

INTERVENTO N.5 - S.P. 91 Km 0+000, loc. Scopeti Miglioramento dell'intersezione a T tra la S.P. 91 e la S.S 67

PROGETTO DEFINITIVO

REL
B.1

Relazione geologica

Data emissione:
Aprile 2023

CODICE
ELABORATO

Anno	Commessa	Progetto	Tipologia	Elaborato n°
2020	039	D	SPE	B010

LIVELLO

LIVELLO	Numero	Data	Stesura	Controllo	Approvazione
Prima stesura	01	04/2022	NB	LG	LG

Responsabile unico del procedimento Arch. Giuseppe Biancamano

Raggruppamento temporaneo di professionisti

INGEO

Studio *INGEO*
Ingegneri e Geologi Associati

FLORENTECNICA S.R.L.

FLORENTECNICA SRL
SOCIETA' DI INGEGNERIA

ing. Simone Martinelli
ing. Laura Bibolini

I Progettisti

ing. Enrico Favilla

ing. Paolo Barsotti

II C.S.P.

ing. Paolo Viagi

Consulenza geologica

geol. Luigi Giammattei

I collaboratori ing. Paolo Toschi, ing. Luca Martini, ing. Marco Del Carlo, geol. Marianna Genovesi, geol Nicola Bertocchini

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO DELL’AREA	2
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE	2
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	3
3	INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
3.1	INQUADRAMENTO SOVRACOMUNALE	5
3.2	INQUADRAMENTO COMUNALE	7
3.2.1	REGOLAMENTO URBANISTICO (COMUNE DI RUFINA)	7
4	INQUADRAMENTO SISMICO	7
4.1	PERICOLOSITÀ SISMICA DI RIFERIMENTO PER IL TERRITORIO NAZIONALE	7
4.2	ZONAZIONE SISMICA	9
4.3	AZIONE SISMICA DELL’AREA DI PROGETTO	9
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO	10
5.1	PROVE PENETROMETRICHE	11
5.1.1	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPER PESANTE (DPSH)	11
5.2	INDAGINE SISMICA	12
6	LOCALIZZAZIONE SISMICA E CALCOLO AZIONE SISMICA	13
7	MODELLO GEOTECNICO	13
8	LIQUEFAZIONE	15
9	CONCLUSIONI	15

ALLEGATI

- All. 1 – Relazione sulle indagini
- All. 2 - Tabulati di calcolo dei parametri e coefficienti sismici (azione sismica)
- All. 3 – Verifica liquefazione

TAVOLE

- Tav. 1 – Sezione stratigrafica e geotecnica

1 PREMESSA

Per incarico ricevuto dalla Città Metropolitana di Firenze nell’ambito dell’accordo quadro per servizi di ingegneria relativi a nuove opere e manutenzione del patrimonio stradale di proprietà e in gestione alla città Metropolitana di Firenze Lotto 2 – Zona 2 Mugello est e Valdarno, il sottoscritto geol. Luigi Giammattei esegue il presente elaborato riportante le valutazioni di carattere geologico, geomorfologico e idrogeologico per il progetto denominato “Intervento n.5 - Miglioramento dell’intersezione tra la SP 91 e la SS 67 – OdS 2.8.2” da effettuare in Loc. Scopeti nel Comune di Rufina. Tali interventi si rendono necessari a causa di alcuni fattori che incidono negativamente sulla funzionalità dell’intersezione stradale e determinano scarse condizioni di sicurezza per gli utenti.

2 INQUADRAMENTO DELL’AREA

2.1 Inquadramento generale

L’area in oggetto è ubicata nel Comune di Rufina a nord-est della Città Metropolitana di Firenze, all’intersezione tra la strada statale SS 67 e la strada provinciale SP 91 al km 0+000 in Loc. Scopeti alla quota altimetrica di ca. 144 m s.l.m., poco più a nord dell’abitato di Rufina (Figura 2-1).

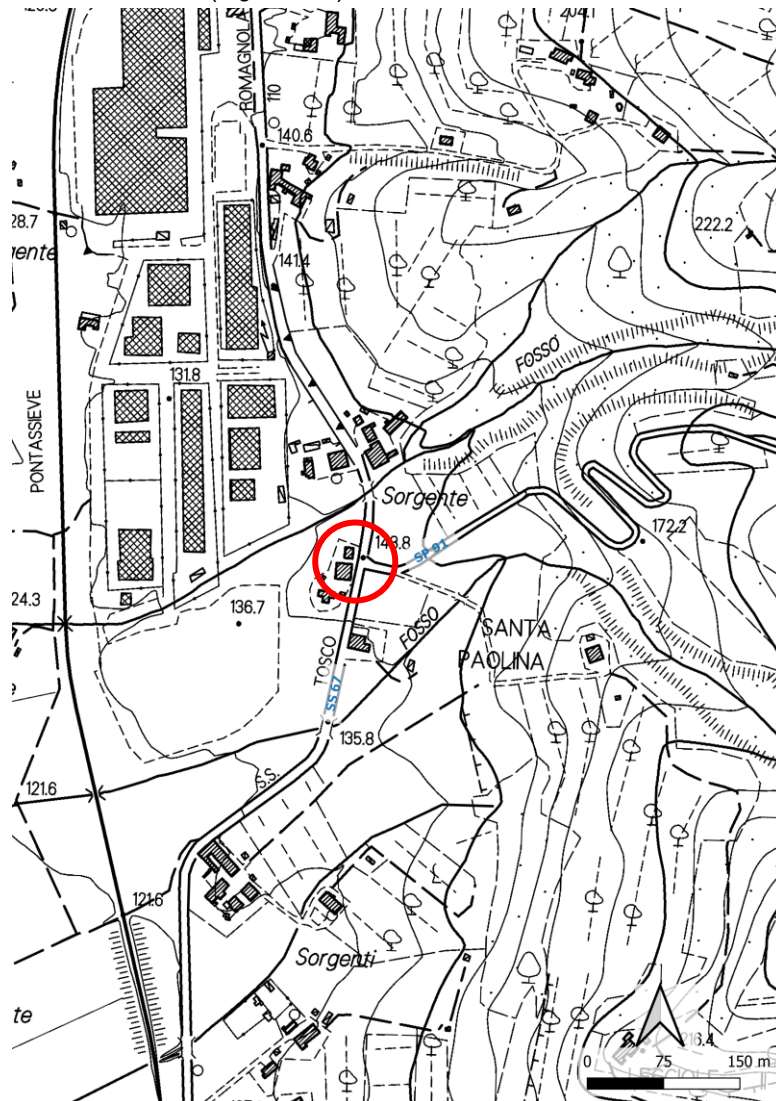


Figura 2-1 - Corografia con ubicazione area in oggetto.

L’intersezione oggetto del presente elaborato è situata in un tratto in cui la S.S. 67 è rettilinea, l’asse della S.P. 91 è ortogonale a quest’ultima e presenta una curva a circa 25 metri di distanza dall’intersezione.

La S.P. 91 presenta una sezione in trincea con muri di contenimento sia in destra che in sinistra ed una pendenza del tracciato piuttosto elevata già a partire dall’intersezione; inoltre i raggi di curvatura per le manovre di svolta, in entrambe le direzioni, sono modesti.

A causa di questi fattori la visibilità dell’intersezione risulta ridotta e la scarsa funzionalità genera rallentamenti e potenziali situazioni di pericolo, motivo per cui è necessario intervenire per garantire adeguate condizioni di sicurezza,

L’area d’indagine non risulta soggetta a “vincolo idrogeologico” e non rientra nelle “aree boscate”, come istituito dal R.D. n°3267 del 30.12.1923. Inoltre non risulta inserito nell’area di tutela di 10 m del Fosso del Formicone inserito nel retico idrografico significativo regionale ai sensi della LR 79/2012 s.s.m.m. e i.i. (Figura 2-2).



Figura 2-2 – A sinistra, estratto Carta del Vincolo idrogeologico (da Regione Toscana – SITA); a destra, estratto classificazione del retico regionale ai sensi della L.R. 79/2012. In rosso l’area in esame.

2.2 Inquadramento geologico e geomorfologico

Il territorio comunale di Rufina appartiene alla zona nord-est della catena orogenica dell’Appennino settentrionale, parte integrante della fascia di deformazione peri-mediterranea sviluppatasi prevalentemente in tempi neogenici e costituita da una struttura complessa di falde e thrust formatasi in relazione a più fasi tettoniche, legate agli eventi verificatisi a partire dal Cretaceo superiore in seguito alla completa chiusura dell’Oceano Ligure-Piemontese ed alla successiva collisione continentale tra la placca europea e quella adriatica.

In tale contesto si distinguono una fase oceanica (limite tra il Cretaceo inferiore ed il Cretaceo superiore), in cui si ha la formazione di un prisma di accrezione costruito dall'impilamento per sottoscorrimento verso W delle coperture oceaniche e di parte del loro basamento, che andranno così a costituire le cosiddette Unità Liguri, ed una fase intracontinentale dell'orogenesi appenninica (Eocene medio-superiore), dovuta alla collisione tra il margine continentale europeo e quello adriatico, con lo sviluppo di una tettonica a thrust e falde.

Da un punto di vista regionale questa complessa storia tettonica ha portato prima (Cretaceo superiore-Eocene) allo sradicamento delle Unità Liguri dal loro substrato oceanico e al loro impilamento su se stesse secondo un ordine tettonico-geometrico che vede in alto le unità più interne e in basso le più esterne. Tutto questo complesso di Unità Liguri sovrasta tettonicamente l'Unità di Canetolo (Eocene-Oligocene). Successivamente, dopo la messa in posto della Falda Toscana (Dominio Toscano interno), le Unità Liguri si sono rimosse, per mettersi in posto prima sopra la Falda Toscana, e poi sopra l'Unità Cervarola-Falterona. Successivamente alla loro prima messa in posto, i principali accavallamenti sono stati rimobilizzati e riattivati secondo sovrascorrimenti minori interni alle varie unità, dando localmente geometrie molto complesse con sovrascorrimenti precedentemente tagliati e ripiegati da quelli successivi. Tali fasi compressive sono riferibili principalmente al Messiniano, al Pliocene inferiore e nei settori più esterni al Pliocene superiore.

Nel frattempo erano cominciati nelle aree più occidentali i movimenti disgiuntivi che hanno portato, attraverso una serie di faglie normali principali immergenti verso W, allo smembramento della catena a falde, precedentemente costituita, con lo sviluppo di depressioni tettoniche a semi graben (bacini intermontani) sempre più giovani da W verso E, tra cui ricordiamo il bacino del Valdarno superiore, sviluppatosi a partire dal Pliocene superiore, e i bacini di Firenze-Pistoia, del Mugello e del Casentino, attivi dal Pleistocene inferiore.

Nel dettaglio dell'area in oggetto affiorano i terreni appartenenti ai *depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati Olocenici (bna)* caratterizzati da ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali. Nei rilievi collinari immediatamente ad est rispetto all'area di intervento affiora invece l'Unità di M. Cervarola, rappresentata dal membro arenaceo pelitico di Montalto (FAL3) appartenente alla formazione delle Arenarie di M. Falterona (Figura 2-3).

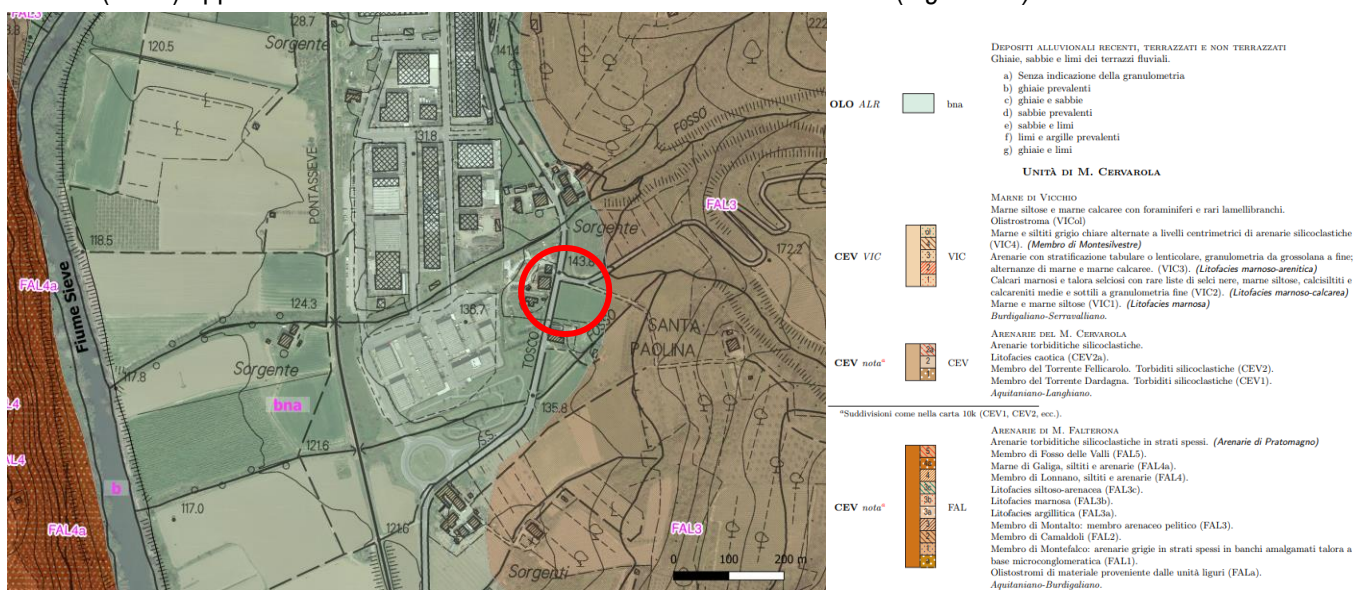


Figura 2-3 - Estratto Carta geologica dal Database della Regione Toscana. In rosso l'area in esame.

Dal punto di vista geomorfologico, consultando la carta geomorfologica redatta per il Piano Strutturale del Comune di Rufina, si evince come non ci siano criticità di carattere geomorfologico nell’area d’intervento. Nei pressi della suddetta area è segnalata solo la presenza di erosione superficiale diffusa all’interno dell’alveo del Fosso del Pieve (Figura 2-4).

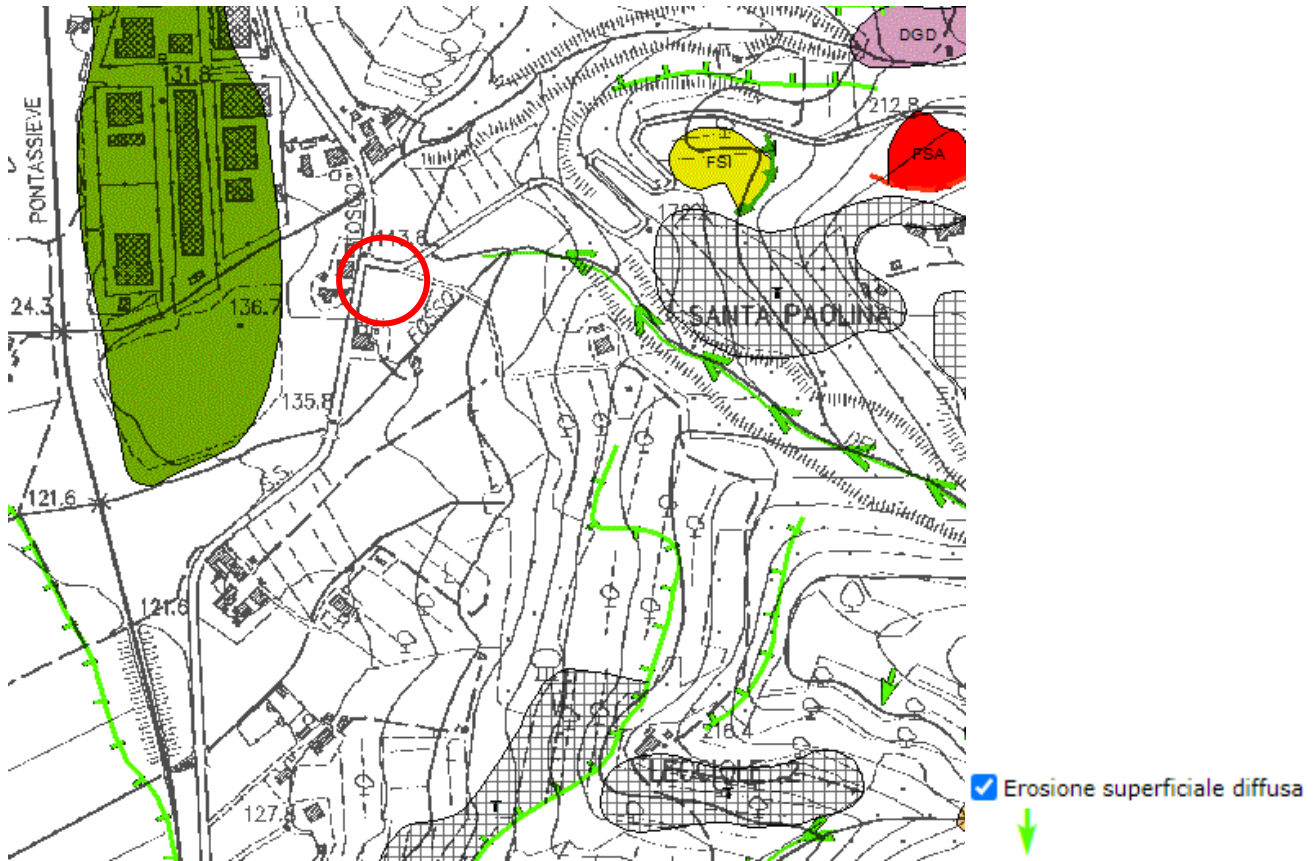


Figura 2-4 - Estratto della Carta Geomorfologica del PS comunale. In rosso l’area in esame.

3 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Di seguito viene riportato il quadro normativo relativo agli strumenti di pianificazione e gestione del territorio in cui si inserisce l’intervento in oggetto.

3.1 Inquadramento sovracomunale

Dal 17 febbraio 2017 risultano soppresse, per espressa disposizione di legge (rif. art. 51 comma 4 della legge n. 221/2015), tutte le Autorità di Bacino di cui alla legge 183/1989 sostituite dall’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale che, ai sensi della legge n. 221/2015, comprende, oltre al bacino del Serchio e dell’Arno, anche i bacini liguri, il bacino del Magra, e tutti i bacini toscani dal Carrione all’Albegna.

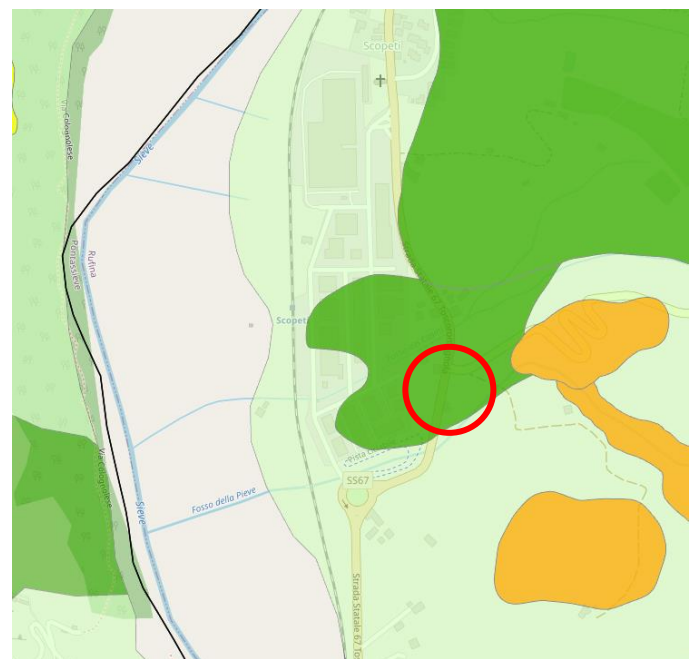
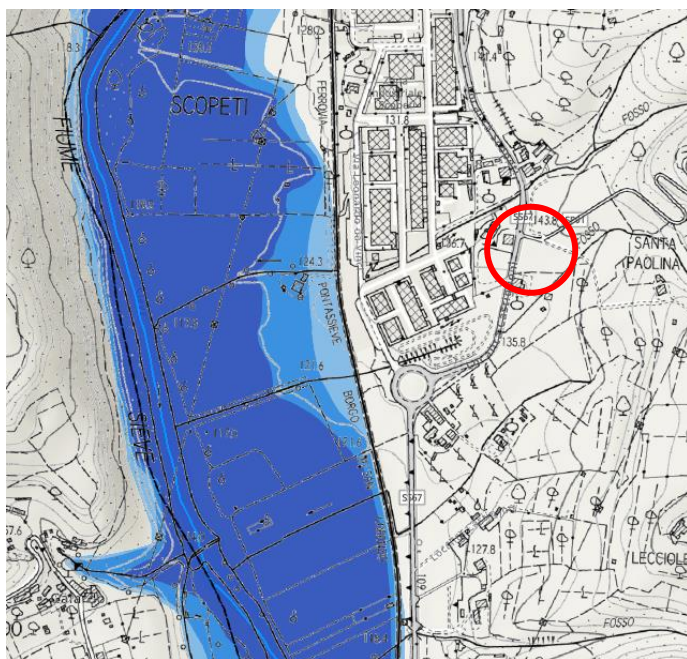
Secondo la cartografia del Piano di Gestione del Rischio da Alluvioni (PGRA), approvato in data 03/03/2016 con delibera del Comitato Istituzionale n. 184, che sostituisce le “vecchie” cartografie di piano relative al rischio idraulico, l’area d’intervento non risulta inserita in alcuna area a pericolosità idraulica.

Secondo quanto riportato nella cartografia tematica prodotta dal Progetto di Piano PAI “dissesti geomorfologici” del Bacino del Fiume Arno adottato con delibera della Conferenza Istituzionale Permanente n.20 del 20 dicembre 2019

e pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 9 del 13.01.2020, l’area in esame è inserita in **aree con pericolosità da frana MEDIA (PF2)** per la quale valgono le disposizioni riportate nell’art.12 delle norme di Piano relative alla pericolosità da frana (Figura 3-1):

Art. 12

Nelle aree P.F. 2 è consentita ogni tipologia di intervento prevista dagli strumenti di governo del territorio purché l’intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell’area e nella zona potenzialmente interessata dall’opera e dalle sue pertinenze. Nelle aree P.F.2 e P.F.1 si persegue l’obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni, mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 di programmi di previsione e prevenzione.



PGRA Pericolosità

Pericolosità Dominio Costiero

- P2
- P3

Pericolosità Dominio Fluviale

- P1
- P2
- P3

Piano di Bacino dell’Arno - Vigente (Map image layer)

Aree con pericolosità da frana

- PF2 - media
- PF3 - elevata
- PF4 - molto elevata

Aree con propensione al dissesto

- PF1 - bassa
- PF2 - media

Figura 3-1- A sinistra, estratto carta PGRA; a destra, estratto PAI Arno. In rosso l’area in oggetto

3.2 Inquadramento comunale

3.2.1 Regolamento Urbanistico (Comune di Rufina)

Dalla consultazione delle tavole allegate alla Variante 4 del Regolamento Urbanistico approvata con deliberazione C.C. n. 42 del 21.07.2015 e divenuto efficace a seguito di pubblicazione sul B.U.R.T. n. 36 del 09.09.2015, si evince, per l'area di intervento:

- **Pericolosità geologica BASSA- 2** (Figura 3-2)

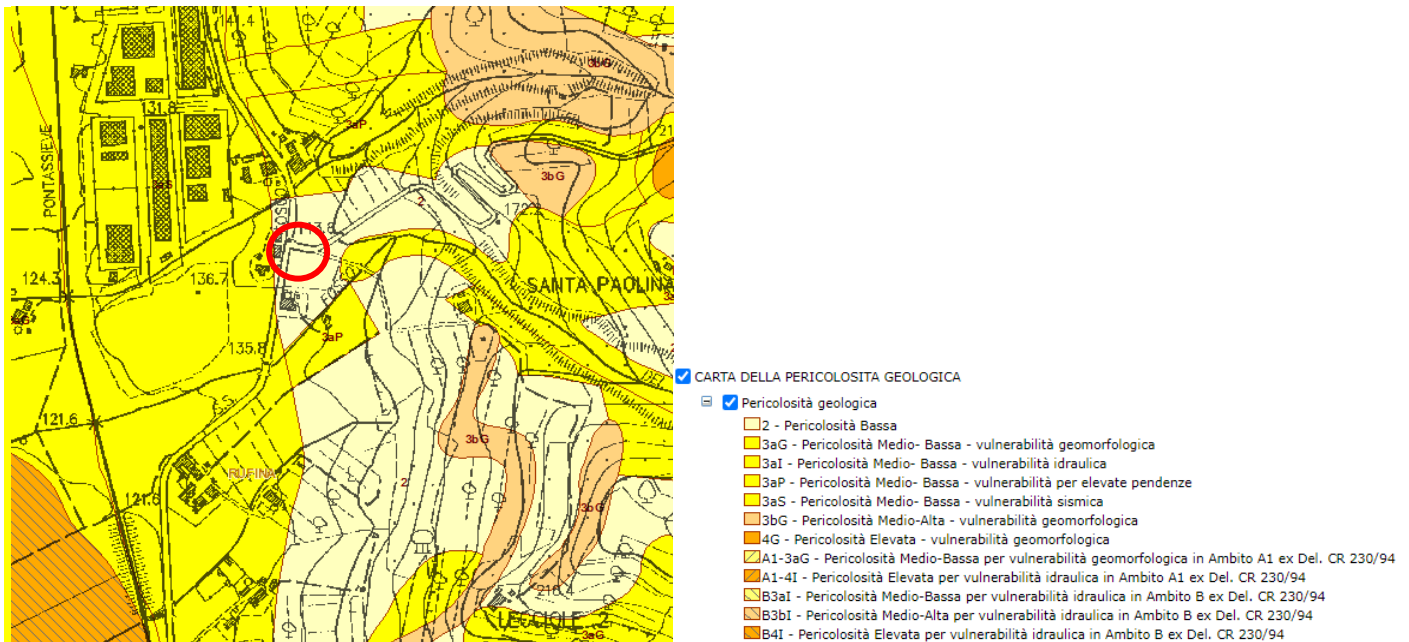


Figura 3-2 - Estratto carta della pericolosità geologica comunale. In rosso l'area in esame.

4 INQUADRAMENTO SISMICO

4.1 Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale

La pericolosità sismica è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

A seguito dell'Ordinanza PCM 3274/2003 (GU n.108 dell'8 maggio 2003) l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha realizzato la Mappa di Pericolosità sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante. Dopo la sua approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006) (Figura 4-1).

A seguito di tale classificazione il territorio del Comune di Rufina era stato inserito in zona 2. Basandosi sui valori di accelerazione proposti dalla mappa di pericolosità sismica MPS04, a seguito all'Ordinanza PCM 3519/2006, le

Regioni e le Province Autonome hanno potuto aggiornare le pericolosità del proprio territorio per individuare le soglie che definiscono il limite tra una zona sismica e un'altra.

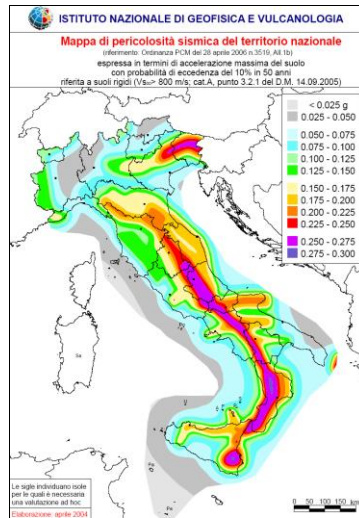


Figura 4-1- La Mappa di Pericolosità sismica 2004 (MPS04).

A tal proposito la Regione Toscana con delibera di GRT n° 431 del 19.06.06, approvava la riclassificazione sismica del territorio regionale, applicando (prima fra tutte le regioni italiane) i criteri nazionali riportati nel suddetto O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 e attualmente aggiornata con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, per la quale il Comune di Rufina risulta classificato sismico e collocato in “**zona 2**”, riprendendo la precedente classificazione del 2003-2006.

La classificazione sismica nazionale aggiornata al 2015, consultabile sul sito del Dipartimento della Protezione Civile, è riportata nella Figura 4-2 sottostante.

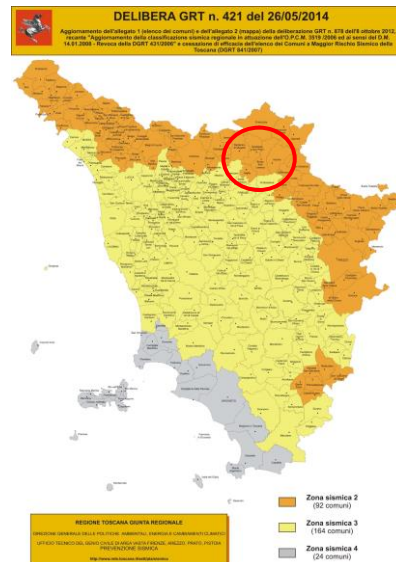


Figura 4-2-Classificazione sismica nazionale aggiornata al 2015 secondo le normative regionali sismiche; Figura 4-3- Classificazione sismica Regione Toscana.

4.2 Zonazione sismica

Nell'ambito della realizzazione della Mappa di Pericolosità MPS04, l'INGV ha realizzato una nuova zonizzazione sismogenetica, denominata ZS9, a partire da una sostanziale rivalutazione della precedente zonizzazione ZS4 realizzata da Meletti et alii. nel 2000, alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni.

Le zone sismogenetiche individuate con la ZS9 sono 36 (da 9 01 a 9 36) (Figura 4-4) ed in particolare il territorio comunale di Rufina di nostro interesse, rientra nella zona sismogenetica 15 (915) – Garfagnana-Mugello per la quale è stata osservata una magnitudo massima di 6.60 e una magnitudo “cautelativa” di 6.60 (Figura 4-5).

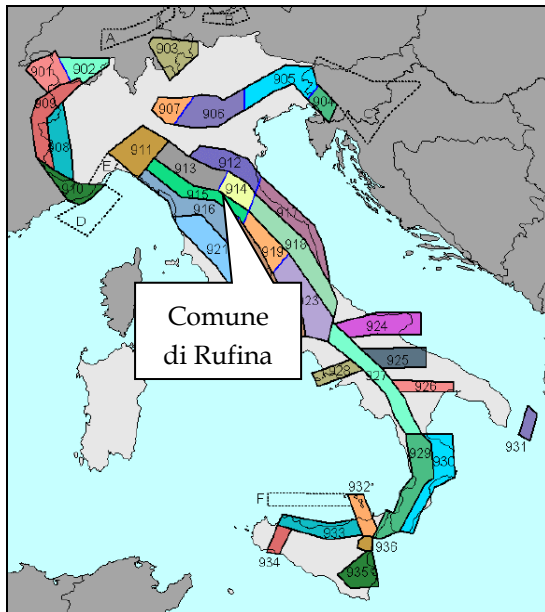


Figura 4-4– Zonazione sismogenetica ZS9.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2	
Savoia	901		5.79	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+2(d)	6.14	
Vallese	902		6.10	6.14	6.14		6.14		6.14	
Grigioni-Valtellina	903		5.79	5.68	5.22	+3(b)	5.91	+4(d)	6.14	
Trieste -Monte Nevoso	904		5.71	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14	
Friuli -Veneto Orientale	905	6.4	6.66	6.60	6.60		6.60		6.60	
Garda-Veronese	906	6.2	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60	
Bergamasco	907	5.9	5.67	5.68	5.68	G	5.91	+2(d)	6.14	
Piemonte	908		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14	
Alpi Occidentali	909		5.54	5.45	5.45	+1(a)	5.68	+3(d)	6.14	
Nizza-Sanremo	910	6.3	6.29	6.37	6.37		6.37		6.37	
Tortona-Bobbio	911		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14	
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14	
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14	
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14	
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60	
Versilia-Chianti	916		5.52	5.45	5.45	+1(c)	5.68	+3(d)	6.14	
Rimini-Ancona	917	6.1	5.94	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14	
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918		6.23	6.14	6.14	+1(a)	6.37	+1(a)	6.37	
Appennino Umbro	919	6.0	6.33	6.37	6.37		6.37		6.37	
Val di Chiana-Ciociaria	920		5.57	5.68	5.45	+1(b)	5.68	+3(d)	6.14	

Figura 4-5- Tabella riassuntiva di Mmax (Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici).

Mmax1 – magnitudo “osservata; Mmax2 – magnitudo “cautelativa”.

4.3 Azione sismica dell'area di progetto

Come già indicato, l'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, approvata con Del. GRT n° 421 del 26/05/2014 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014), inserisce il territorio comunale di Rufina in “Zona 2”.

La valutazione dell'azione sismica di progetto va definita, secondo il nuovo DM 17.01.2018 (NTC18), attraverso specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab 3.2. Il delle norme, è possibile fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

I valori di Vs sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni compresi nel volume significativo.

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>

La classificazione del sottosuolo 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 (3.2.1 delle NTC18):

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

CON:

h_i spessore dell’i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

Per caratterizzare i terreni oggetto del presente elaborato dal punto di vista geotecnico e sismico, e ricostruire l’andamento stratigrafico e litologico del sottosuolo, è stata realizzata una specifica campagna geognostica composta da (Figura 5-1):

- N.2 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH)
- N.1 indagine sismica tipo MASW

Tutte le indagini geognostiche sono state realizzate dalla ditta Sidercem s.r.l., istituto di Ricerca e Sperimentazione di Caltanissetta in possesso dell’attestazione SOA categoria OS 20-B - Indagini geognostiche.

L’ubicazione delle indagini è riportata in Figura 5-1 seguente.



Figura 5-1 – Ubicazione indagini geognostiche eseguite

La descrizione delle indagini eseguite e i risultati ottenuti sono riportati nel dettaglio nei successivi paragrafi.

5.1 Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche sono state effettuate mediante un Penetrometro statico-dinamico modello Pagani TG-63/200 da 20 tonnellate di spinta, con maglio di 63,5 Kg.

5.1.1 Prova penetrometrica dinamica super pesante (DPSH)

La prova penetrometrica di tipo dinamico super pesante (DPSH) consiste nell'infiggere a percussione una punta troncoconica standardizzata nel terreno, valutando ogni 20 cm il numero di colpi (N_{20}) necessari all'avanzamento; successivamente, in base al numero di colpi N_{20} equiparati al valore standardizzato NSPT (mediante un coefficiente correttivo che nel caso specifico risulta pari a $\beta t = 1,521$), viene calcolato il valore dei principali parametri geomeccanici.

Di seguito si riportano i dati acquisiti con le prove penetrometriche DPSH1 e DPSH2.

DPSH1

Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	3	32,49	-	1	da 1,00 a 1,20	14	139,05	-	2
da 0,20 a 0,40	25	270,75	-	1	da 1,20 a 1,40	24	238,38	-	2
da 0,40 a 0,60	33	357,39	-	1	da 1,40 a 1,60	14	139,05	-	2
da 0,60 a 0,80	27	292,41	-	1	da 1,60 a 1,80	36	357,56	-	2
da 0,80 a 1,00	15	162,45	-	1	da 1,80 a 2,00	100	993,23	-	2

DPSH2

Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	5	54,15	-	1	da 5,00 a 5,20	15	111,89	-	8
da 0,20 a 0,40	22	238,26	-	1	da 5,20 a 5,40	17	126,80	-	8
da 0,40 a 0,60	20	216,60	-	1	da 5,40 a 5,60	15	111,89	-	8
da 0,60 a 0,80	13	140,79	-	1	da 5,60 a 5,80	14	104,43	-	8
da 0,80 a 1,00	17	164,11	-	1	da 5,80 a 6,00	14	104,43	-	8
da 1,00 a 1,20	11	109,26	-	2	da 6,00 a 6,20	14	98,31	-	7
da 1,20 a 1,40	18	178,78	-	2	da 6,20 a 6,40	17	119,37	-	7
da 1,40 a 1,60	13	129,12	-	2	da 6,40 a 6,60	10	70,22	-	7
da 1,60 a 1,80	20	188,85	-	2	da 6,60 a 6,80	12	84,26	-	7
da 1,80 a 2,00	35	347,63	-	2	da 6,80 a 7,00	11	77,24	-	7
da 2,00 a 2,20	15	137,58	-	3	da 7,00 a 7,20	12	79,60	-	8
da 2,20 a 2,40	25	229,30	-	3	da 7,20 a 7,40	12	79,60	-	8
da 2,40 a 2,60	16	146,75	-	3	da 7,40 a 7,60	12	79,60	-	8
da 2,60 a 2,80	13	119,24	-	3	da 7,60 a 7,80	12	79,60	-	8
da 2,80 a 3,00	18	165,10	-	3	da 7,80 a 8,00	13	86,23	-	8
da 3,00 a 3,20	18	153,36	-	4	da 8,00 a 8,20	13	81,71	-	9
da 3,20 a 3,40	18	153,36	-	4	da 8,20 a 8,40	14	87,99	-	9
da 3,40 a 3,60	9	76,68	-	4	da 8,40 a 8,60	15	94,28	-	9
da 3,60 a 3,80	11	93,72	-	4	da 8,60 a 8,80	14	87,99	-	9
da 3,80 a 4,00	8	68,16	-	4	da 8,80 a 9,00	17	106,85	-	9
da 4,00 a 4,20	10	79,54	-	5	da 9,00 a 9,20	12	71,66	-	10
da 4,20 a 4,40	5	39,77	-	5	da 9,20 a 9,40	14	83,61	-	10
da 4,40 a 4,60	5	39,77	-	5	da 9,40 a 9,60	12	71,66	-	10
da 4,60 a 4,80	10	79,54	-	5	da 9,60 a 9,80	15	89,58	-	10
da 4,80 a 5,00	9	71,59	-	5	da 9,80 a 10,00	13	77,64	-	10

5.2 Indagine sismica

Il metodo di indagine MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che individua al centro dello stendimento il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

L’indagine MASW eseguita ha individuato il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s) alla profondità di 18,47 m e pertanto, ai sensi delle NTC18, la velocità equivalente V_{seq} equivale alla $V_{s18,47}$ che è risultata pari a **474,51 m/s**.

Ai sensi della classificazione riportata nella tabella 3.2. del DM 17.01.2018 il terreno in oggetto è pertanto classificabile in **categoria di sottosuolo B**: “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”.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla consultazione dell’allegato 1.

6 LOCALIZZAZIONE SISMICA E CALCOLO AZIONE SISMICA

L'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, approvato con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014 e pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, inserisce il territorio comunale di Rufina, in "Zona 2". Per il calcolo dell'azione sismica ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.17.01.2018) è necessario attribuire, oltre alla categoria di suolo, che nel nostro caso è risultata essere la B, anche la categoria topografica; per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale; per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione secondo la Tab. 3.2.IV delle NTC, che, nel caso del sito in esame prevede l'attribuzione ad una "categoria topografica T1", avente fattore St 1.0.

È necessario inoltre stabilire la "classe d'uso" dell'infrastruttura di progetto ai sensi delle NTC (e di conseguenza del coefficiente d'uso C_u , da Tab. 2.4.II NTC), e la "vita nominale" (Tab. 2.4.I NTC). Per la struttura in progetto è possibile attribuire una "classe d'uso" II (Coefficiente d'uso $C_u = 1.0$) e una vita nominale $V_n \geq 50$ anni.

Inserendo questi parametri nel software "Geostru PS – parametri sismici" (http://www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx), è stato possibile calcolare l'azione sismica di progetto, ricavando i coefficienti sismici per i vari Stati Limite, dei quali sono da prendere in considerazione quelli dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

Amax (accelerazione massima):	2.102 m/s ² ;
Kh (coefficiente sismico orizzontale):	0.051;
Kv (coefficiente sismico verticale):	0.026.

Per i dettagli si veda il relativo allegato (All.2).

7 MODELLO GEOTECNICO

In funzione dei dati acquisiti con la campagna geognostica specificatamente realizzata è stato possibile ricostruire l'andamento stratigrafico del sottosuolo e le relative caratteristiche geotecniche.

In particolare l'interpretazione delle due prove penetrometriche dinamiche super pesanti, unitamente alla consultazione della cartografia geologica inerente all'area di studio, ha portato all'individuazione, al di sotto di un primo strato superficiale centimetrico di terreno di riporto e/o terreno vegetale, di depositi di origine fluviale caratterizzati dalla presenza di strati che da granulari (sabbia e ghiaia prevalenti) passano gradualmente, di pari passo con l'aumento della profondità, a coesivi (limi e argille prevalenti).

Nella tabella seguente vengono riportate le unità litologiche riconosciute sulla base delle indagini svolte, con i rispettivi parametri geotecnici attribuiti secondo una stima ragionata e cautelativa in accordo a quanto richiesto dal D.M. 17.01.2018.

Unità litologiche	Profondità e Descrizione stratigrafica	Parametri geotecnici					
		γ (t/m ³)	ϕ (°)	C_u (kg/cm ²)	c^* (kg/cm ²)	D_r (%)	N_{spt} (media)
U.Lit.A	Da 0.0 a 0.2 m Terreno di riporto e/o vegetale	1.85	28.0	0.25	0.025	15	4
U.Lit.B	Da 0.2 a 3.4 m Sabbie da mediamente a molto addensate con ghiaie	1.95	32.0	1.00	0.100	50	21
U.Lit.C	Da 3.4 a 5.0 m Limi sabbiosi e sabbie limose da poco a mediamente addensati	1.90	29.0	0.50	0.075	28	8
U.Lit.D	> 5.0 m Limi argillosi e argille limose da mediamente a molto consistenti	2.10	-	2.00	0.200	73	38

γ è il peso di volume del terreno (tonn/m³), ϕ è l'angolo di attrito interno (°); C_u è la coesione non drenata (Kg/cm²); c^* è la coesione drenata, D_r è la densità relativa (%). *in assenza di dati diretti la coesione è stata considerata pari al 10% di quella non drenata individuata dalla prova.

Alla data di realizzazione delle prove geognostiche (28/07/2022) non è stata riscontrata la presenza di falda acquifera almeno fino alla profondità massima indagata di 10 m. Tuttavia, considerata la conformazione geologica dei terreni oggetto delle indagini, non si può escludere che, in occasione di eventi piovosi intensi e/o prolungati, i terreni superficiali a maggior componente granulare possano essere sede di locali circolazioni idriche.

La ricostruzione schematica dell'andamento stratigrafico del sottosuolo è riportata nella sezione di Tavola 1 di cui uno stralcio è riportato in Figura 7-1 seguente.

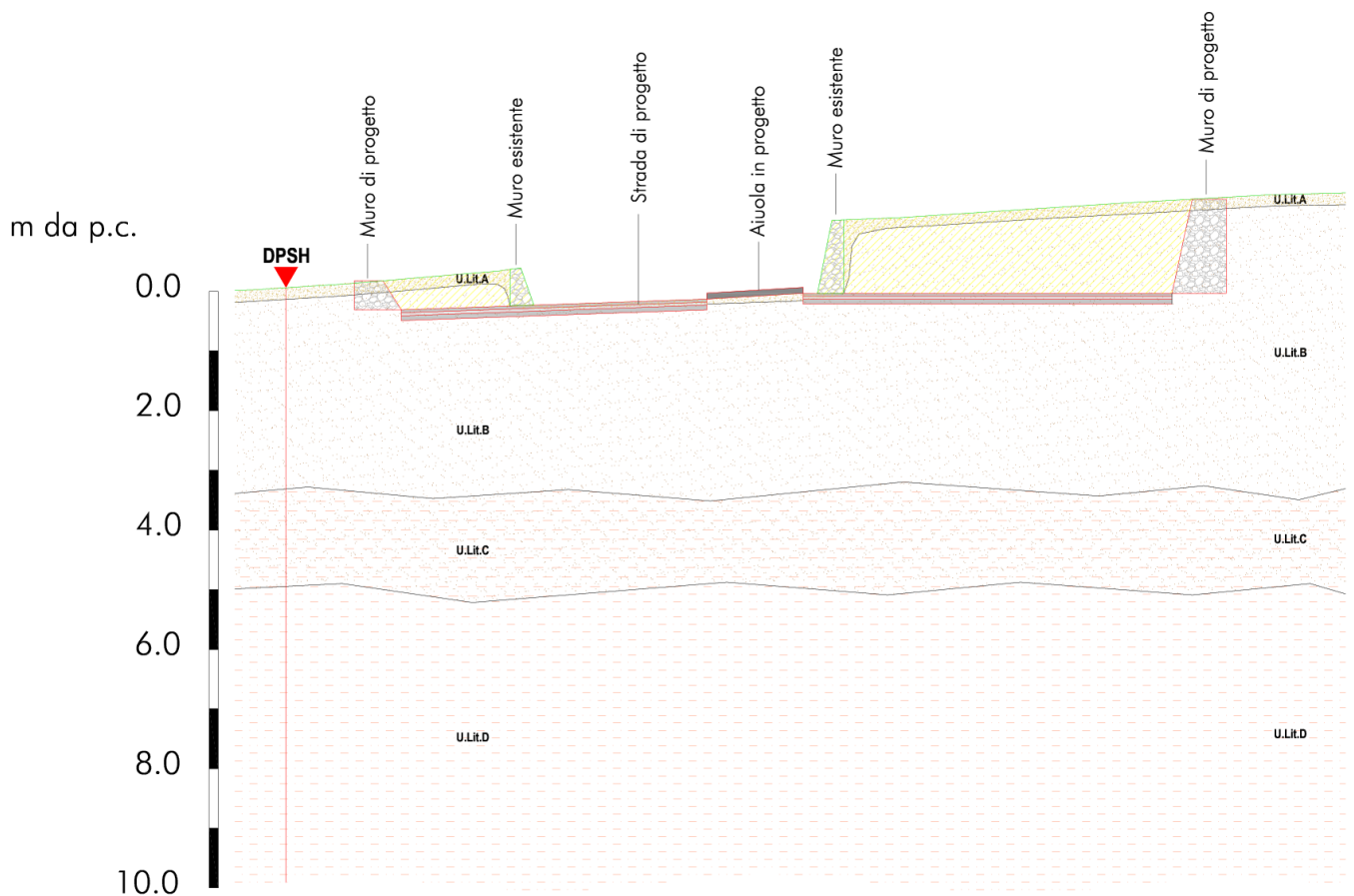


Figura 7-1 – Ricostruzione stratigrafica e geotecnica dell'area (estratta da Tavola 1 allegata)

8 LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione si manifesta sotto l'azione di carichi ciclici come quelli indotti da un sisma, quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci da cui dipende la resistenza al taglio si riducono a zero.

Deve pertanto essere verificata la suscettibilità alla liquefazione nei casi in cui il terreno oggetto d'intervento comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo argillosa.

La ricostruzione geologica dell'area in esame non ha permesso di escludere la presenza di spessori rilevanti di sabbie sciolte sotto falda e pertanto si è ritenuto opportuno eseguire il calcolo della suscettibilità dei terreni in oggetto alla liquefazione secondo il metodo dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) che considera i valori delle V_s .

Il metodo si basa sulla determinazione del fattore di sicurezza $F_s = CSR/CRR$, indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare. La metodologia, partendo da una parametrizzazione geomeccanica e sismica dei terreni costituenti l'area in esame, porta alla individuazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni costituenti i terreni di fondazione, analizzando strati dello spessore di 0.20 m al di sotto del livello di falda.

Per quanto concerne maggiori informazioni riguardanti la metodologia di calcolo, le relative tabelle e le sezioni schematiche prodotte, si rimanda all'All.3.

Per il calcolo sono stati inseriti i seguenti dati di input:

- la falda freatica non è stata rilevata durante le indagini, dunque per elaborare il modello di liquefazione, viste le caratteristiche geologiche del sito, si è deciso di considerare cautelativamente una falda acquifera sub-superficiale localizzata al contatto tra i terreni di riporto ed i sottostanti terreni granulari sabbioso-ghiaiosi, ad una profondità di - 0.20 m dal p.c.;
- sono stati inseriti i dati sismici ricavati nel cap. 6, considerando una Magnitudo massima cautelativa di 6.60 (colonna 10 della Tab.6, del Rapporto Conclusivo) derivante dalle mappe di pericolosità sismica redatte dall'INGV ai sensi dell'OPCM 20.03.2003 n. 3274, All.1, considerando che l'area in oggetto rientra nella Zona Sismogenetica n. 915 "Garfagnana-Mugello"(ZS9-15);
- i terreni sono stati considerati completamente privi della frazione fine.

Durante la fase di elaborazione, il programma ha analizzato la suscettibilità di liquefazione a partire dalla profondità di - 0.20 m dal p.c., con un passo di 0.20 metri.

Il calcolo, eseguito fino alla profondità di 15 m, ha prodotto un coefficiente di sicurezza sempre maggiore di 1,25 e pertanto, ai sensi delle NTC18, i terreni in gioco non sono suscettibili di liquefazione (All. 3).

9 CONCLUSIONI

Sulla base delle indagini svolte e dei dati raccolti si ritiene l'intervento fattibile dal punto di vista geologico, idraulico e sismico, ai sensi degli Strumenti Urbanistici vigenti, del P.A.I. Autorità di Bacino del Fiume Arno e del PGRA del Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

I dati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite, hanno permesso di ricostruire il modello geologico-geotecnico e sismico del sottosuolo oggetto di intervento sul quale l'ingegnere progettista dovrà necessariamente basarsi per i calcoli geotecnici (fondazione, cedimenti, eventuale sottospinta idraulica ecc).

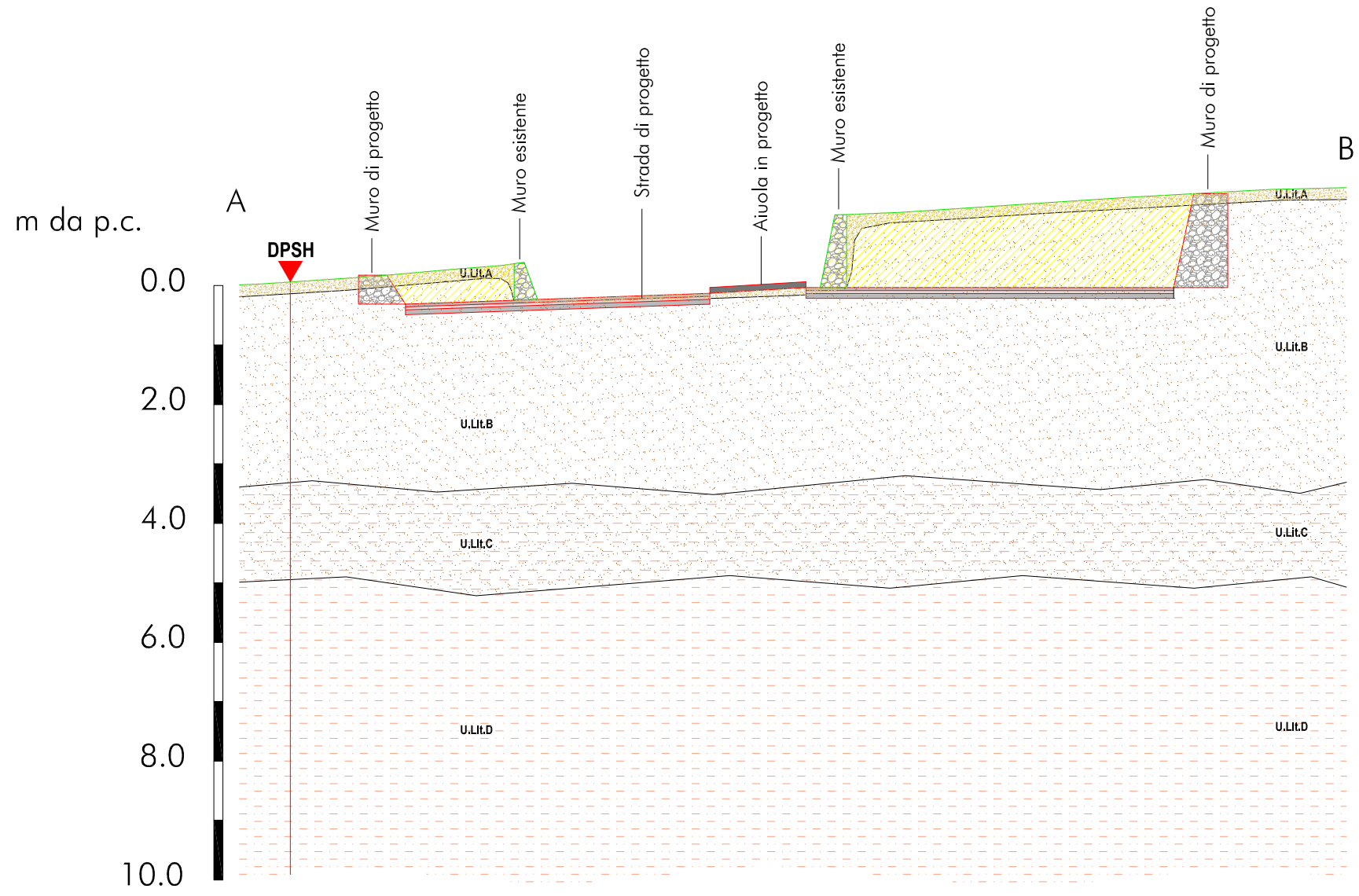
Per la realizzazione delle opere in progetto è previsto lo scavo e la relativa rimozione di terra di parte del poggio a sud e a nord dell’attuale attraversamento stradale. Come indicato dal progettista le terre in esubero, prodotte per la realizzazione del progetto, verranno portate in discarica.

Per quanto concerne la regimazione delle acque, sarà cura del progettista garantire un adeguato deflusso delle acque meteoriche ricadenti sulla nuova viabilità verso l’organo recettore più vicino, prevedendo dunque la realizzazione di idonee opere idrauliche.

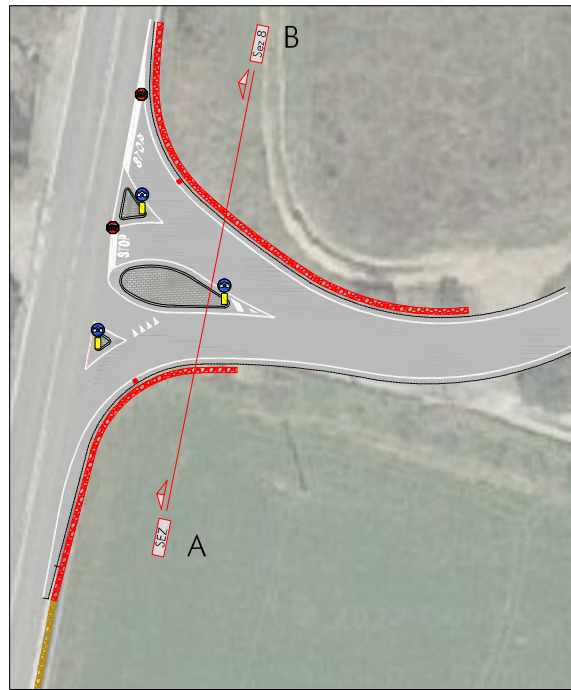
Infine, la verifica a liquefazione, eseguita secondo il metodo Eurocodice 8 (ENV 1998-5) che considera i valori delle Vs, ha stabilito la non liquefacibilità dei terreni in oggetto.

In fase esecutiva dei lavori si consiglia l’assistenza geologica di cantiere da parte di Tecnico abilitato al fine di verificare le ipotesi stratigrafiche, geologiche, idrogeologiche e progettuali fatte ed apporre se necessario le eventuali modifiche.

SEZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA
(Scala 1:100)



Ubicazione sezione su planimetria di progetto



Unità litologiche	Profondità e Descrizione stratigrafica	Parametri geotecnici					
		γ (t/m ³)	ϕ (°)	C_u (kg/cm ²)	c^* (kg/cm ²)	D_r (%)	N_{spt} (media)
U.Lit.A	Da 0.0 a 0.2 m Terreno di riporto e/o vegetale	1.85	28.0	0.25	0.025	15	4
U.Lit.B	Da 0.2 a 3.4 m Sabbie da mediamente a molto addensate con ghiaie	1.95	32.0	1.00	0.100	50	21
U.Lit.C	Da 3.4 a 5.0 m Limi sabbiosi e sabbie limose da poco a mediamente addensati	1.90	29.0	0.50	0.075	28	8
U.Lit.D	> 5.0 m Limi argillosi e argille limose da mediamente a molto consistenti	2.10	-	2.00	0.200	73	38

- DPSH Prova penetrometrica dinamica super pesante
- Sezione attuale
- Sezione di progetto
- Scavo

ALLEGATO 1
Indagini geognostiche



SIDERCEM
s.r.l.
ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE

P.I.V.A.: 01479620856
C.F. - Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.



Timbro a secco

Laboratorio: Via Libero Grassi,7
(Area Industriale Calderaro)
C.P. 287 - 93100 Caltanissetta
Tel.: 0934565012
Fax.: 0934575422
e-mail: info@sidercem.it
pec: sidercem@legalmail.it
web: www.sidercem.it



CITTÀ METROPOLITANA
DI FIRENZE

Città Metropolitana di Firenze

**Procedura aperta relativa all'appalto misto per
accordo quadro con un unico operatore economico, di
lavori per indagini geognostiche e servizi di
accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale**


Committente	Città metropolitana di Firenze
Ubicazione indagini	SP91 km 0+000 - SS67

Ordine di Lavoro	CIG
n° 1	Z81371CAAD




Commessa n°	Rev.	Periodo di indagine	Data Emissione	Redazione (RS)	Verifica (VRSQ)	Approvazione (RSQ)
555/7	0	dal 25/07/2022 al 26/07/2022	29/08/2022	dott. geol. Salvatore Manta	dott. geol. Giuseppe Scicolone	dott. ing. Vincenzo Arena


Il presente documento è autenticato dalla Sidercem s.r.l. mediante l'apposizione del timbro a secco visibile in alto. In assenza, originali e copie sono da ritenersi contraffatte. E' vietata la riproduzione anche parziale, senza l'autorizzazione.

 CITTÀ METROPOLITANA DI FIRENZE	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>
Rev. 0 Data esecuzione lavori: Luglio 2022	Rapporto Finale INDAGINI GEOGNOSTICHE

SOMMARIO

1.0 Premessa	2
2.0 ATTIVITA' ESEGUITE IN SITU.....	4
2.1 Prove penetrometriche	4
3.0 CAMPAGNA INDAGINE INDIRETTA	4
3.1 Prospezioni MASW.....	5
4.0 CONCLUSIONI - Sintesi dei dati rilevati	5


	INDAGINI GEOGNOSTICHE	Pagina 1 di 5
	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>	
<i>Il presente documento è autenticato dalla Sidercem s.r.l. di Caltanissetta mediante l'apposizione del timbro a secco visibile in alto. In assenza, originali e copie sono da ritenersi contraffatte. E' vietata la riproduzione anche parziale, senza l'autorizzazione scritta</i>		


 CITTÀ METROPOLITANA DI FIRENZE	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>
Rev. 0	Rapporto Finale INDAGINI GEOGNOSTICHE
Data esecuzione lavori: Luglio 2022	

1.0 Premessa

La scrivente *Sidercem s.r.l., Istituto di Ricerca e Sperimentazione*, su incarico di *Città metropolitana di Firenze*, ha eseguito una campagna di indagini del sottosuolo nell'ambito della

“Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 km 0+000 - CIG. Z81371CAAD”

	INDAGINI GEOGNOSTICHE	Pagina 2 di 5
<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>		
<p><i>Il presente documento è autenticato dalla Sidercem s.r.l. di Caltanissetta mediante l'apposizione del timbro a secco visibile in alto. In assenza, originali e copie sono da ritenersi contraffatte. E' vietata la riproduzione anche parziale, senza l'autorizzazione scritta</i></p>		

 CITTÀ METROPOLITANA DI FIRENZE	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>
Rev. 0 Data esecuzione lavori: Luglio 2022	Rapporto Finale INDAGINI GEOGNOSTICHE

Di seguito viene riportata la sintesi delle attività svolte nella campagna di indagine, cui si rimanda agli allegati specifici.


A - Prove penetrometriche


B - Indagini geofisiche di tipo MASW

La campagna di indagini ha previsto l'esecuzione di attività in situ, consistite in prove penetrometriche statiche (CPT) e dinamiche (DPSH) e in prospezioni geofisiche di MASW. Le ubicazioni di tali indagini sono state riportate in Figura 1.0.a.



Figura 1.0.a: Ubicazione indagini sulla SP91 km 0+000 - SS67

	INDAGINI GEOGNOSTICHE	Pagina 3 di 5
	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>	
<p><i>Il presente documento è autenticato dalla Sidercem s.r.l. di Caltanissetta mediante l'apposizione del timbro a secco visibile in alto. In assenza, originali e copie sono da ritenersi contraffatte. E' vietata la riproduzione anche parziale, senza l'autorizzazione scritta</i></p>		

 CITTÀ METROPOLITANA DI FIRENZE	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>
Rev. 0	Rapporto Finale INDAGINI GEOGNOSTICHE
Data esecuzione lavori: Luglio 2022	

2.0 ATTIVITA' ESEGUITE IN SITU

2.1 Prove penetrometriche

Nel piano di indagini fornito dalla Committenza è prevista l'esecuzione di n°2 prova penetrometrica a profondità di -10,0 m dal p.c. Di seguito, si riportano le specifiche tecniche della strumentazione usata (Figura 2.1.a) e il riepilogo delle prove eseguite (vedi Tabella 2.1.a).



Penetrometro: statico/dinamico PAGANI TG 63-200 da 20 ton, auto-ancorante
Sistema di ancoraggio: aste elicoidali di serie (mm) Ø100x750
Sistema di misura: cella di carico AEP con visualizzatore Pagani
Punta: conica meccanica Ø 35.7 mm, **angolo di apertura** $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)
Manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (Ø 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)


Figura 2.1.a: strumentazione utilizzata


Tipologia	Profondità (m)
DPSH1	Da -0,00 m a -2,00 m dal p.c.
DPSH2	Da -0,00 m a -10,00 m dal p.c.

Tabella 2.1.a: specifiche sulle prove eseguite

3.0 CAMPAGNA INDAGINE INDIRETTA

L'utilizzo di metodi geofisici permette di esplorare il sottosuolo con notevole precisione, fornendo indicazioni di elevato dettaglio, al fine di approfondire le conoscenze e costruire un modello realistico del sottosuolo indagato. Le prospezioni geofisiche sono

	INDAGINI GEOGNOSTICHE	Pagina 4 di 5
	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>	
<p><i>Il presente documento è autenticato dalla Sidercem s.r.l. di Caltanissetta mediante l'apposizione del timbro a secco visibile in alto. In assenza, originali e copie sono da ritenersi contraffatte. E' vietata la riproduzione anche parziale, senza l'autorizzazione scritta</i></p>		

 CITTÀ METROPOLITANA DI FIRENZE	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>
Rev. 0	Rapporto Finale INDAGINI GEOGNOSTICHE
Data esecuzione lavori: <i>Luglio 2022</i>	

condizionate da fattori non prevedibili in sede di progetto (campi elettrici e/o magnetici stazionari o temporanei, risposta locale, ecc).

L'interpretazione di dette prove è quell'insieme di operazioni analitiche che consentono di ricavare, dai dati di partenza rilevati sul terreno, una successione verticale, monodimensionale o bidimensionale in funzione del tipo di indagine eseguita, di orizzonti distinti per valori (di resistività, di velocità delle onde sismiche, di frequenza, di impulsi elettromagnetici, ecc) opportunamente classati e rappresentati.

3.1 Prospezioni MASW


La campagna di indagini ha previsto l'esecuzione di n° 1 prospezione sismica di tipo *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)*, realizzate secondo le ubicazioni fornite dalla *Committenza* (v. *Figura 4.2.a*). Il fine dell'indagine è quello di determinare un modello fisico-matematico unidimensionale in grado di descrivere la variazione della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, ai sensi della normativa sismica di cui al D.M. 17/01/2018. L'esecuzione della prova, utile all'acquisizione dei sismogrammi, ha previsto l'utilizzo di array di tipo lineare con shot e geofoni disposti lungo il medesimo asse, ad offset ed interasse concordati con la *Committenza*. Per i risultati delle indagini sismiche si rimanda agli specifici allegati.

4.0 CONCLUSIONI - Sintesi dei dati rilevati

La campagna di indagini geognostiche svolta mediante l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche e statiche e prospezioni geofisiche di tipo MASW, ha consentito di definire le stratigrafie dei siti esaminati e di indagare le caratteristiche dei terreni attraversati. Per un maggiore dettaglio delle operazioni svolte si rimanda agli allegati specifici.

A - Prove penetrometriche

B - Indagini geofisiche di tipo MASW

	INDAGINI GEOGNOSTICHE	Pagina 5 di 5
	<i>Procedura aperta relativa all'appalto misto per accordo quadro con un unico operatore economico, di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale - Ubicazione SP91 dal km 0+000 - CIG. Z81371CAAD</i>	
<i>Il presente documento è autenticato dalla Sidercem s.r.l. di Caltanissetta mediante l'apposizione del timbro a secco visibile in alto. In assenza, originali e copie sono da ritenersi contraffatte. E' vietata la riproduzione anche parziale, senza l'autorizzazione scritta</i>		



Città Metropolitana di Firenze

**Procedura aperta relativa all'appalto misto per
accordo quadro con un unico operatore economico, di
lavori per indagini geognostiche e servizi di
accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale**

Committente

Città metropolitana di Firenze

Ubicazione indagini

SP91 km 0+000 - SS67

Ordine di lavoro

CIG

n° 1

Z81371CAAD



A

Prove penetrometriche

B

Indagini MASW

Commessa n°

Rev.

Periodo di indagine

Data
Emissione

Redazione
(RS)

Verifica
(VRSQ)

Approvazione
(RSQ)

555/7

0

dal 25/07/2022
al 26/07/2022

29/08/2022

dott. geol.
Salvatore Manta

dott. geol.
Giuseppe Scicolone

dott. ing.
Vincenzo Arena



Città metropolitana di
Firenze

Accordo quadro con un unico operatore economico di lavori per indagini
geognostiche e servizi di accertamenti di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale
ODL n° 1
CIG Z94371CAE5

Rev.	0	Certificato Prove penetrometriche	C-GEO-A-1009 del 28/07/2022
Data:	Luglio 2022		C-GEO-C-3027 del 28/07/2022

Certificato prove penetrometriche

S.P.91 km 0+000

PROVA DPSH1

QUOTA INIZIO: PIANO CAMPAGNA

QUOTA FINE: 2.00 m (INDAGINE PROSEGUITA CON DPSH)

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Penetrometro: statico/dinamico PAGANI TG 63-200 da 20 ton, auto-ancorante

Sistema di ancoraggio: aste elicoidali di serie (mm) Ø100x750

Sistema di misura: cella di carico AEP con visualizzatore Pagani

Punta: conica meccanica Ø 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)

Manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (Ø 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)

Velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)

Spinta massima rilevabile dalla cella di carico 200 kN

Passo di lettura 0,20 m

Resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$Rpd = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A] M = peso massa battente (altezza caduta H)

e = infissione per colpo = δ / N P = peso totale aste e sistema battuta

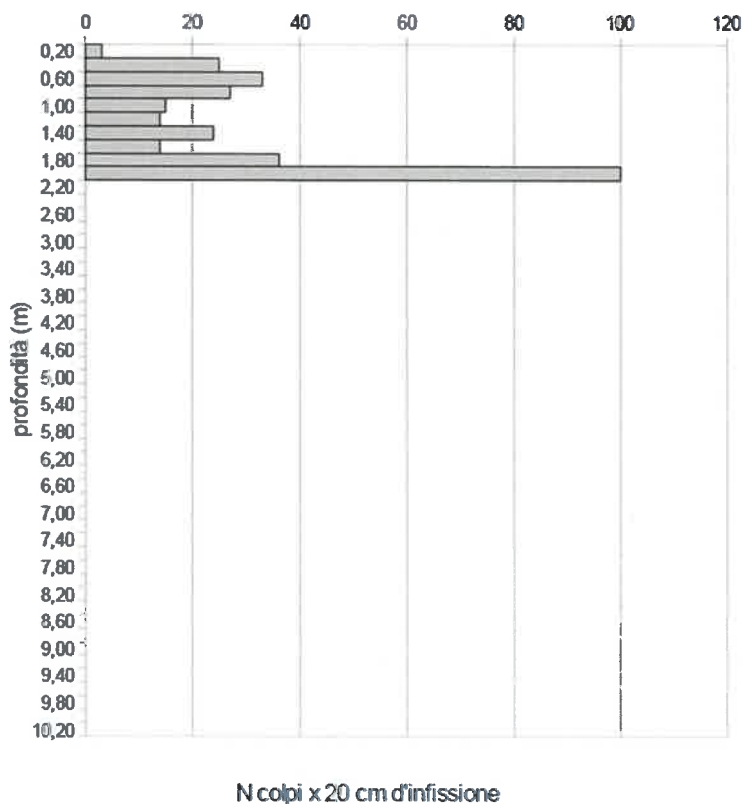
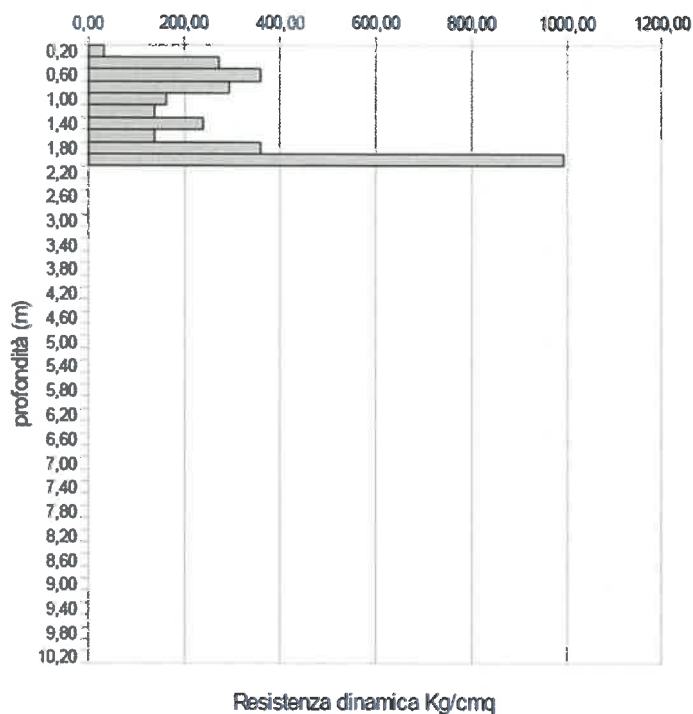
Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	3	32,49	-	1	da 1,00 a 1,20	14	139,05	-	2
da 0,20 a 0,40	25	270,75	-	1	da 1,20 a 1,40	24	238,38	-	2
da 0,40 a 0,60	33	357,39	-	1	da 1,40 a 1,60	14	139,05	-	2
da 0,60 a 0,80	27	292,41	-	1	da 1,60 a 1,80	36	357,56	-	2
da 0,80 a 1,00	15	162,45	-	1	da 1,80 a 2,00	100	993,23	-	2



Città metropolitana di
Firenze

Accordo quadro con un unico operatore economico di lavori per indagini
geognostiche e servizi di accertamenti di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale
ODL n° 1
CIG Z94371CAE5

Rev.	0	Certificato Prove penetrometriche	C-GEO-A-1009 del 28/07/2022
Data:	Luglio 2022		C-GEO-C-3027 del 28/07/2022





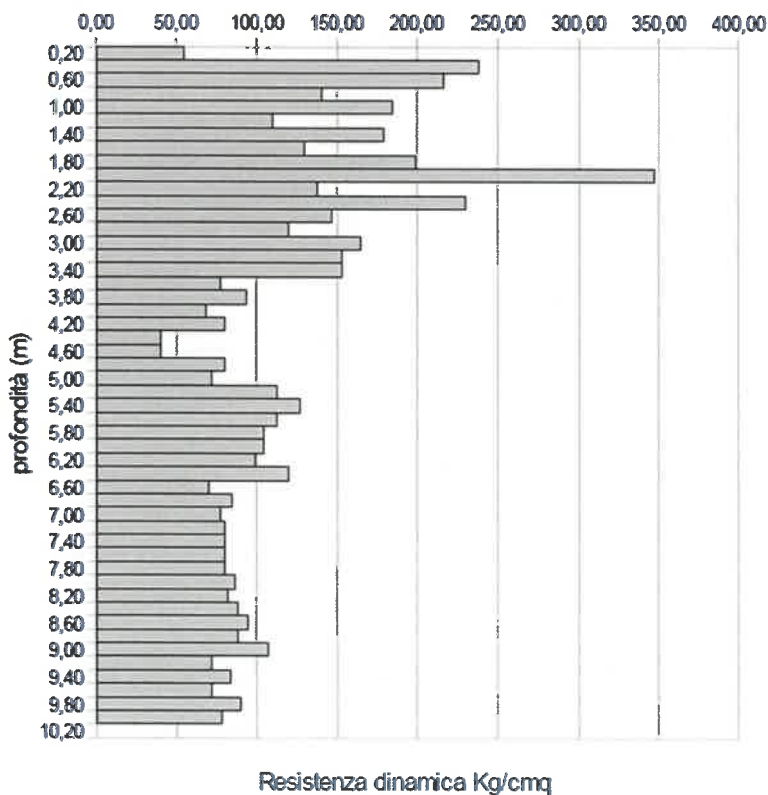
Città metropolitana di
Firenze

Accordo quadro con un unico operatore economico di lavori per indagini
geognostiche e servizi di accertamenti di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale
ODL n°1
CIG Z94371CAE5

Rev.	0	Certificato Prove penetrometriche	C-GEO-A-1009 del 28/07/2022
Data:	Luglio 2022		C-GEO-C-3027 del 28/07/2022

PROVA DPSH 2

Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	5	54,15	-	1	da 5,00 a 5,20	15	111,89	-	8
da 0,20 a 0,40	22	238,26	-	1	da 5,20 a 5,40	17	126,80	-	8
da 0,40 a 0,60	20	216,60	-	1	da 5,40 a 5,60	15	111,89	-	8
da 0,60 a 0,80	13	140,79	-	1	da 5,60 a 5,80	14	104,43	-	8
da 0,80 a 1,00	17	184,11	-	1	da 5,80 a 6,00	14	104,43	-	8
da 1,00 a 1,20	11	109,26	-	2	da 6,00 a 6,20	14	98,31	-	7
da 1,20 a 1,40	18	178,78	-	2	da 6,20 a 6,40	17	119,37	-	7
da 1,40 a 1,60	13	129,12	-	2	da 6,40 a 6,60	10	70,22	-	7
da 1,60 a 1,80	20	188,65	-	2	da 6,60 a 6,80	12	84,26	-	7
da 1,80 a 2,00	35	347,63	-	2	da 6,80 a 7,00	11	77,24	-	7
da 2,00 a 2,20	15	137,58	-	3	da 7,00 a 7,20	12	79,60	-	8
da 2,20 a 2,40	25	229,30	-	3	da 7,20 a 7,40	12	79,60	-	8
da 2,40 a 2,60	16	146,75	-	3	da 7,40 a 7,60	12	79,60	-	8
da 2,60 a 2,80	13	119,24	-	3	da 7,60 a 7,80	12	79,60	-	8
da 2,80 a 3,00	18	165,10	-	3	da 7,80 a 8,00	13	86,23	-	8
da 3,00 a 3,20	18	153,36	-	4	da 8,00 a 8,20	13	81,71	-	9
da 3,20 a 3,40	18	153,36	-	4	da 8,20 a 8,40	14	87,99	-	9
da 3,40 a 3,60	9	76,68	-	4	da 8,40 a 8,60	15	94,28	-	9
da 3,60 a 3,80	11	93,72	-	4	da 8,60 a 8,80	14	87,99	-	9
da 3,80 a 4,00	8	68,16	-	4	da 8,80 a 9,00	17	106,85	-	9
da 4,00 a 4,20	10	79,54	-	5	da 9,00 a 9,20	12	71,66	-	10
da 4,20 a 4,40	5	39,77	-	5	da 9,20 a 9,40	14	83,61	-	10
da 4,40 a 4,60	5	39,77	-	5	da 9,40 a 9,60	12	71,66	-	10
da 4,60 a 4,80	10	79,54	-	5	da 9,60 a 9,80	15	89,58	-	10
da 4,80 a 5,00	9	71,59	-	5	da 9,80 a 10,00	13	77,64	-	10

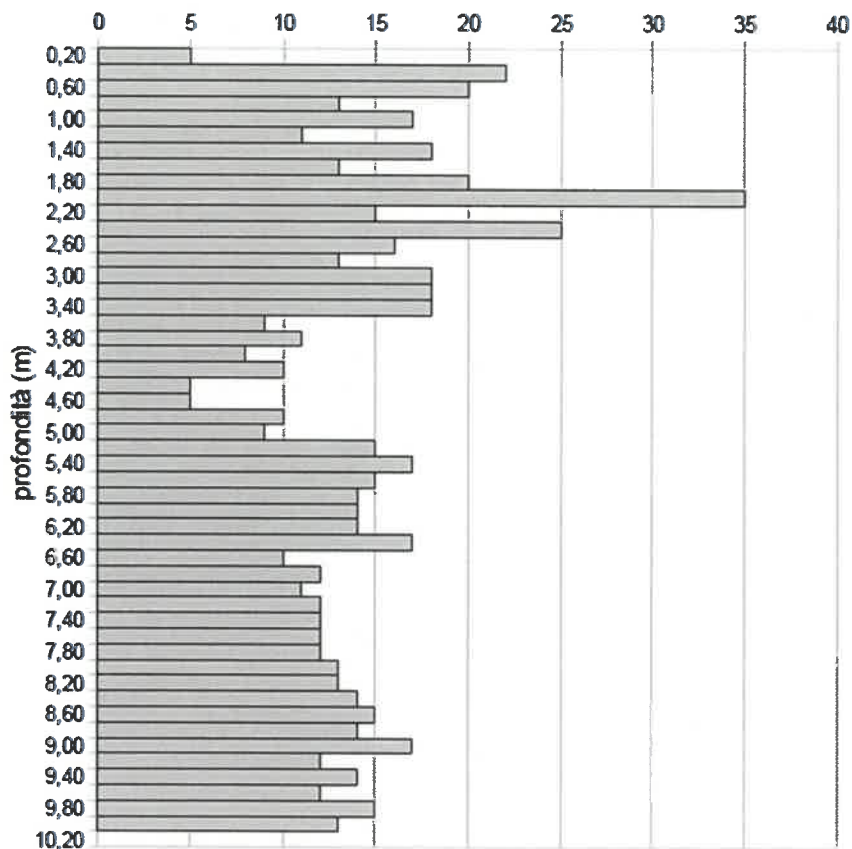




Città metropolitana di
Firenze

Accordo quadro con un unico operatore economico di lavori per indagini
geognostiche e servizi di accertamenti di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale
ODL n° 1
CIG Z94371CAE5

Rev.	0	Certificato Prove penetrometriche	C-GEO-A-1009 del 28/07/2022
Data:	Luglio 2022		C-GEO-C-3027 del 28/07/2022



N colpi x 20 cm d'infissione



Città metropolitana di
Firenze

Accordo quadro con un unico operatore economico di lavori per indagini
geognostiche e servizi di accertamenti di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale
ODL n°1
CIG Z94371CAE5

Rev.	0	Certificato Prove penetrometriche	C-GEO-A-1009 del 28/07/2022
Data:	Luglio 2022		C-GEO-C-3027 del 28/07/2022

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Esecuzione DPSH 1.



Città metropolitana di
Firenze

Accordo quadro con un unico operatore economico di lavori per indagini
geognostiche e servizi di accertamenti di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale
ODL n° 1
CIG Z94371CAE5

Rev.	0	Certificato Prove penetrometriche	C-GEO-A-1009 del 28/07/2022
Data:	Luglio 2022		C-GEO-C-3027 del 28/07/2022



Esecuzione DPSH 2.



Città Metropolitana di Firenze

**Procedura aperta relativa all'appalto misto per
accordo quadro con un unico operatore economico, di
lavori per indagini geognostiche e servizi di
accertamento di laboratorio da eseguirsi per opere
relative al proprio patrimonio stradale**

Committente	Città metropolitana di Firenze
Ubicazione indagini	SP91 km 0+000 - SS67

Ordine di lavoro	CIG
n° 1	Z81371CAAD



A	Prove penetrometriche
B	Indagini MASW

Commessa n°	Rev.	Periodo di indagine	Data Emissione	Redazione (RS)	Verifica (VRSQ)	Approvazione (RSQ)
555/7	0	dal 25/07/2022 al 26/07/2022	29/08/2022	dott. geol. Salvatore Manta	dott. geo. Giuseppe Scicolone	dott. ing. Vincenzo Arena

 <small>S.r.l. ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. - Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 I.v.</small>	Timbro a secco	Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
		Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
		Data esecuzione prova	25/07/2022

SP91 km 0+000 Certificato Prova MASW

1.0 Premessa

Nell'ambito dell' "Accordo quadro con un unico operatore economico di lavori per indagini geognostiche e servizi di accertamenti di laboratorio da eseguirsi per opere relative al proprio patrimonio stradale ODL n°1- CIG Z81371CAAD" è stata condotta una prova di sismica attiva di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), con i seguenti parametri di acquisizione:

MASW	Lunghezza stendimento (m)	Step - Geofoni (m)	*Offset (m)	Intervallo campionamento (msec)	Tempo di acquisizione (sec)
MASW 1	33.0	3.0	3.0	0.956	0.5

In Figura 1 viene riportata l'ubicazione delle indagini geofisiche effettuate.



Figura 1: Ubicazione indagini effettuate. Lo stendimento MASW è indicato con la linea rossa.

 <small>s.r.l.</small> ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE <small>C.F. - Iscr. C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01734820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	<i>Timbro a secco</i>	Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
		Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
		Data esecuzione prova	25/07/2022

2.0 DESCRIZIONE E FINALITA' DELLA METODOLOGIA DI INDAGINE "MASW"

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua (al centro dello stendimento) il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase, anche se influenzate dalla V_p (Velocità delle onde P) e della densità, esse sono strettamente correlate alla V_s (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito e negli studi di amplificazione dello scuotimento sismico).

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile dal fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

In questo metodo le onde superficiali generate in un punto, sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Che permettono di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 1Hz e 60Hz, dando così, informazioni sui primi 30 m-50 m di profondità di indagine, in funzione della rigidità del suolo.

2.1 Attrezzatura utilizzata e metodologia d'esecuzione

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati è un sismografo a 24 canali ECHO 12-24/2002 della "Ambrogeo", con n°12 geofoni verticali aventi un periodo proprio di 4,5 Hz, una mazza battente di 8 kg, a sua volta dotata di uno starter da accoppiare al circuito trigger del sismografo.

La prova è consistita nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali, per la generazione delle onde P, e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori (geofoni) a componente verticale (Fig. 2). Per ogni prova sono stati effettuati N° 2 energizzazioni, con un offset (distanza dal geofono n° 1) di 3.0 m e 6.0 m.

 SIDERCEM [®] <small>S.R.L.</small> <small>ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. - Iscr. C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01734820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 I.V.</small>	Timbro a secco	Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
		Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
		Data esecuzione prova	25/07/2022

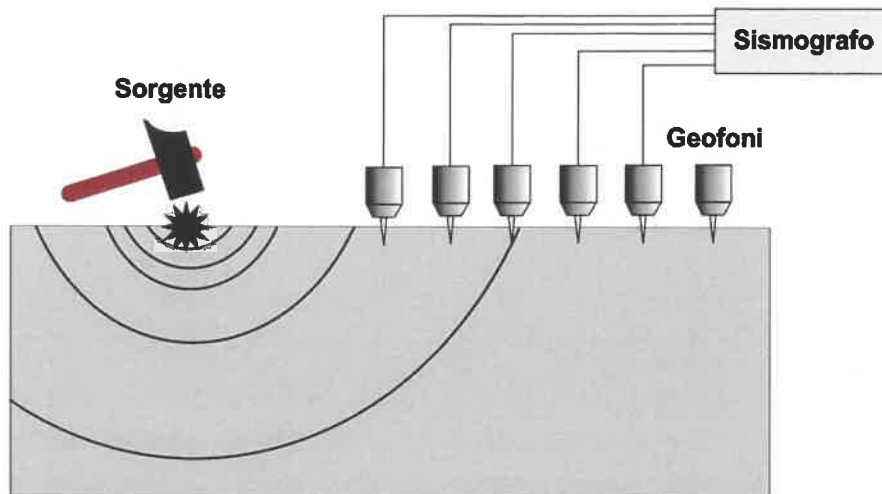


Figura 2: Sollecitazioni dinamiche verticali, per la generazione delle onde P e delle onde di Rayleigh

2.2 Elaborazione dati

L'analisi M.A.S.W. può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali mediante il metodo *phase-shift*, il quale consente di ottenere un grafico della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza e del contenuto di energia;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie $f-V_{\text{fase}}$ (*picking*) cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/s) - frequenza (Hz), oppure nella definizione di un modello stratigrafico teorico (variandone spessori, V_s e coefficiente di Poisson) in cui la curva di dispersione teorica approssima al meglio quella sperimentale osservata;
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s ;
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica; vengono variati opportunamente lo spessore H , la velocità delle onde di taglio V_s e la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino al raggiungimento di una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

 <small>S.R.L. ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE C.F. - Iscr. C.C.I.A.A. di Callianissetta: 01754620874 P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	<i>Timbro a secco</i>	Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
		Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
		Data esecuzione prova	25/07/2022

2.3 Calcolo parametro Vs30

L'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento attraverso la misura delle Vs30 o di altri parametri geotecnici (Tabella 1) rappresenta l'approccio semplificato per variare l'azione sismica individuata in prima analisi dai valori di accelerazione orizzontale massima ag (e dei parametri Fo, Tc* etc.) che permettono di definire gli spettri di risposta, ai sensi delle NTC 2018, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale (categ. A), in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (la rete nazionale è definita da nodi che non distano più di 10 km).

Tale variazione infatti tiene conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo del sito indagato e della morfologia della superficie. Questa modifica rappresenta la Risposta Sismica Locale (RSL).

Una volta definito il Modello Geologico di Riferimento, a seconda delle condizioni geologico - stratigrafiche, strutturali, dalla presenza di effetti di sito e in funzione dell'importanza del progetto, si dovrà optare per questo approccio semplificato o per un'analisi di risposta sismica locale (definizione degli specifici spettri di risposta di sito e di progetto).

In seguito all'emanazione in data 20 febbraio 2018 del nuovo quadro normativo ovvero del nuovo D.M. 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", la modalità di definizione della categoria di sottosuolo subisce delle modifiche. Tali modifiche si riferiscono alla profondità da utilizzare per la definizione della categoria di sottosuolo. In particolare secondo le nuove disposizioni normative la velocità delle onde di taglio VS non devono più essere riferite sempre alla profondità di 30 m da p.c., ma alla profondità (H) a cui si trova il substrato, di cui si dà in seguito definizione. Conseguentemente non si farà più riferimento alla Vs,30 ma alla Vs,eq, secondo la seguente formula:

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

dove:

hi = spessore dell'i-esimo strato

Vs,i= velocità delle onde di taglio dell'i-esimo strato

N= numero di strati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

 <small>S.R.L.</small> ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE <small>C.F. - Iscr.C.C.I.A.A. di ColfaniesteRr: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	Timbro a secco	Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
		Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
		Data esecuzione prova	25/07/2022

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Per depositi con profondità H del substrato superiori ai 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Ne consegue che secondo il D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", le categorie di sottosuolo sono classificate secondo la seguente tabella (Tab. 2.3):

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>Depositati 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>Depositati 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>

Tabella 2.3: Categorie di sottosuolo di fondazione (N.T.C. 2018)



Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
Data esecuzione prova	25/07/2022

3.0 RISULTATI DELL'INDAGINE GEOFISICA

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Easy MASW (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s).

Dall'analisi spettrale del segnale sismico acquisito mediante il metodo phase-shift è stato ricavato il grafico dell'ampiezza spettrale - velocità di fase - frequenza (Fig.3.0.a). Dal grafico si può osservare la curva di dispersione del modo fondamentale individuata dal modello teorico applicato per il caso in esame.

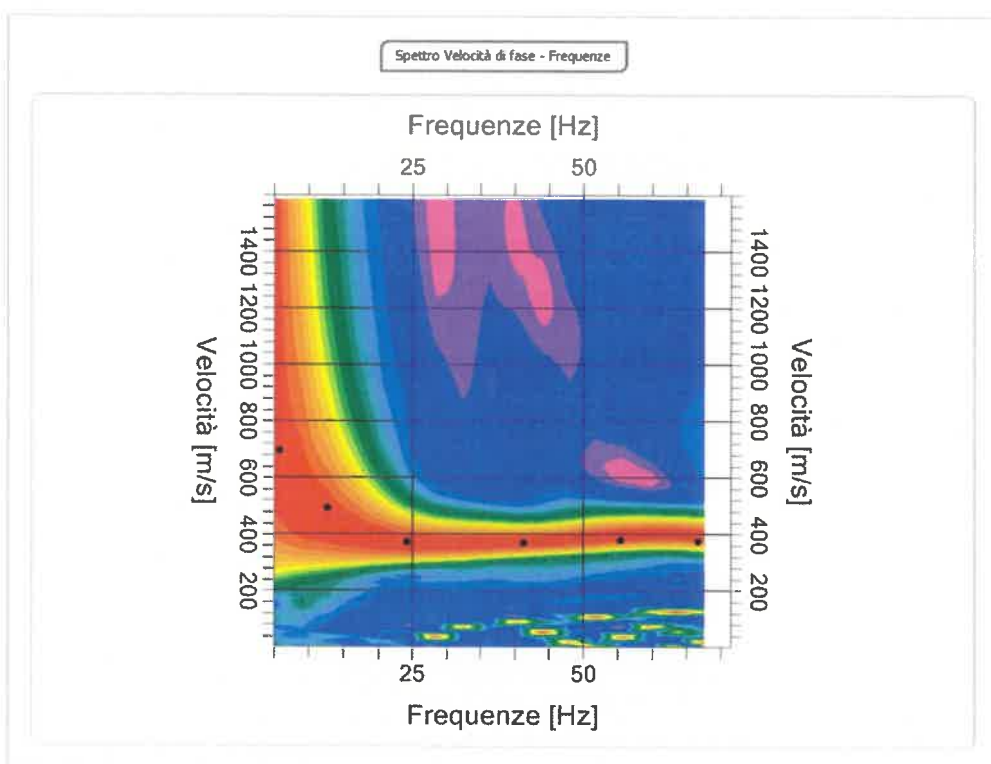


Figura 3.0.a: Grafico dello spettro in ampiezza della velocità di fase in funzione della frequenza

Il modello sismostratigrafico teorico utilizzato per l'inversione della curva di dispersione sperimentale consiste in n° 3 sismostrati sovrastanti un semispazio.

Di seguito vengono presentati i risultati dell'inversione che hanno mostrato la percentuale minima di errore con il grafico delle curve di dispersione teoriche ottenute (Fig.3.0.b), il profilo di velocità delle onde S nei primi 30 metri (Fig.3.0.c), il modello sismostratigrafico del sottosuolo (Fig.3.0.d) e due tabelle riassuntive con una stima dei parametri geotecnici medi per ciascun sismostrato (Tab.3.0.a) e con i risultati dell'indagine M.A.S.W. (Tab.3.0.b).



Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
Data esecuzione prova	25/07/2022

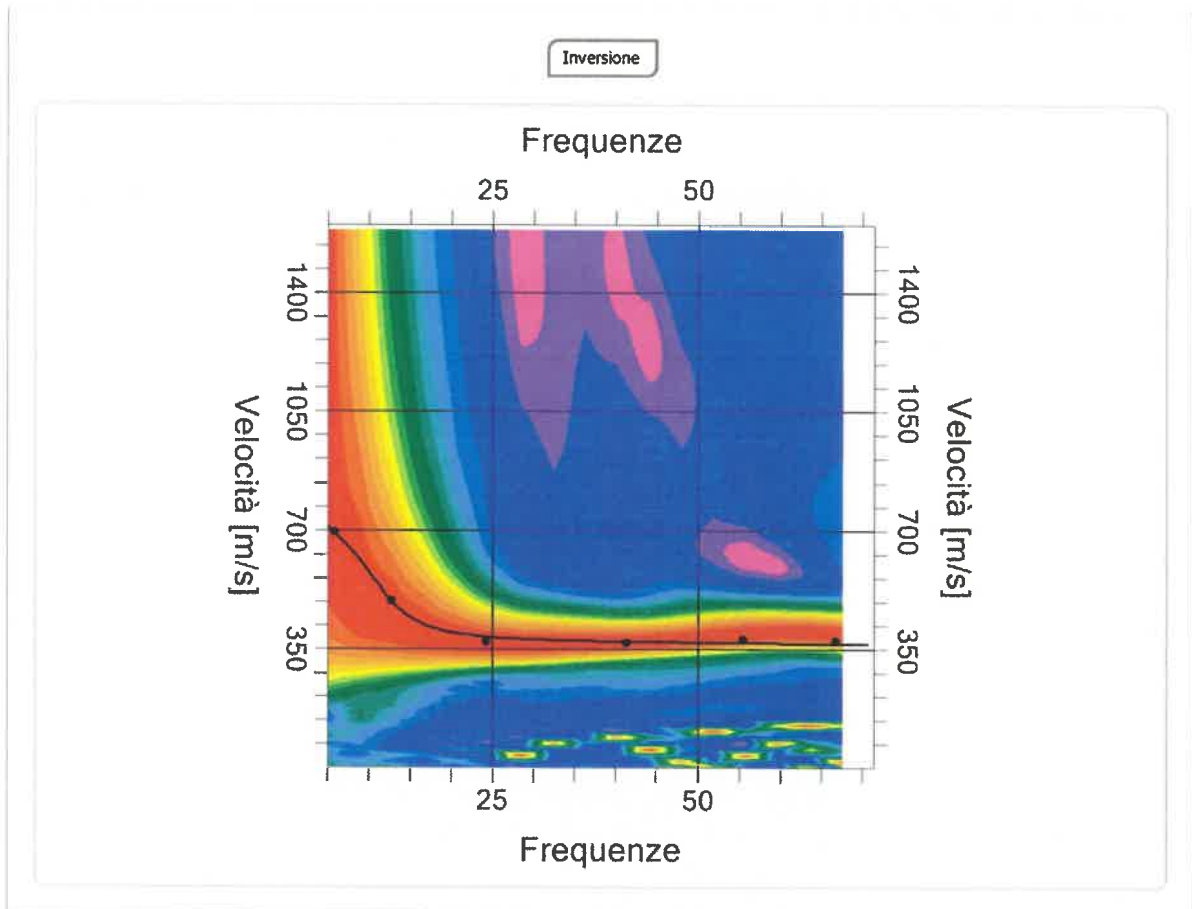


Figura 3.0.b: Curve di dispersione teoriche ottenute dal modello teorico del sottosuolo



Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
Data esecuzione prova	25/07/2022

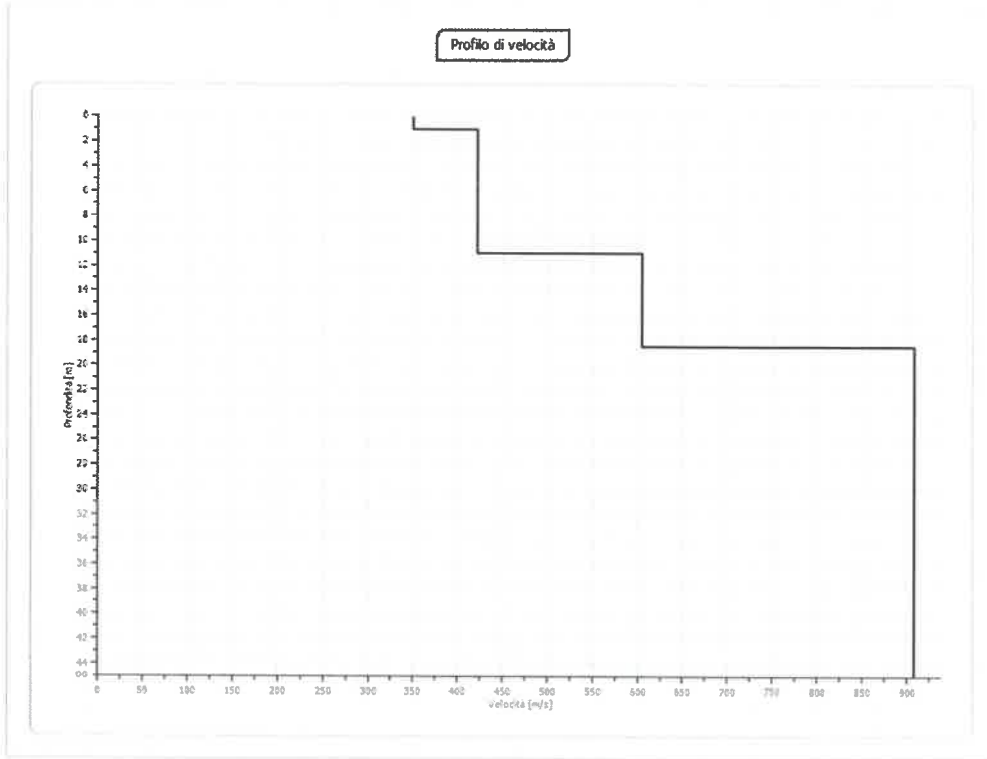


Figura 3.0.c: Profilo di velocità della Vs nei primi 30 metri (in nero)

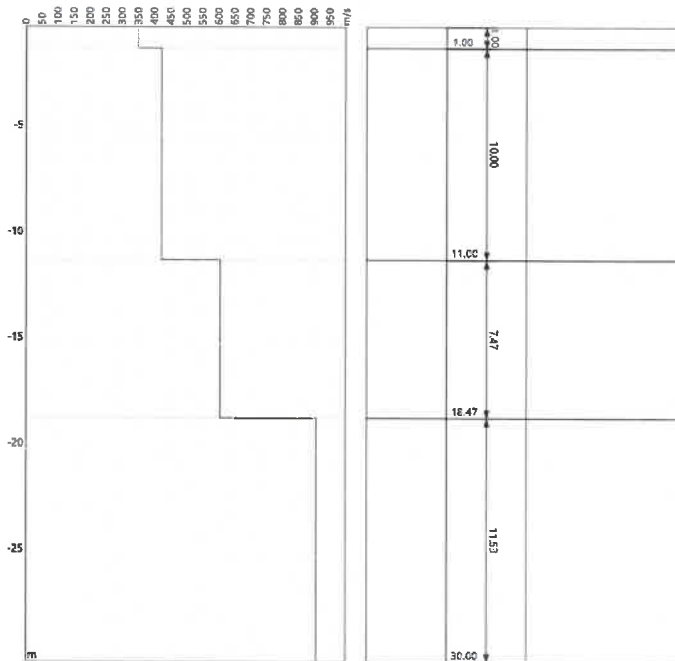


Figura 3.0.d: Modello sismostratigrafico del sottosuolo

 <small>S.I.L. ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. - Iscr. C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01734620874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	Timbro a secco	Protocollo accettazione	C-GFS-A 420 del 28/07/2022
		Certificato	C-GFS-C 611 del 04/08/2022
		Data esecuzione prova	25/07/2022

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.00	1.00	349.75	571.14	1800.00	0.20	220.18	587.16	293.58	528.44
2	11.00	10.00	421.72	688.66	1800.00	0.20	320.12	853.65	426.83	768.29
3	18.47	7.47	604.65	987.39	1800.00	0.20	658.08	1754.89	877.44	1579.40
4	-	-	908.25	1483.16	1800.00	0.20	1484.84	3959.58	1979.79	3563.62

Tabella 3.0.a: Parametri geotecnici medi (G0: Modulo di taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young)

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	V _{SH=18,47} [m/s]	Categoria di sottosuolo
1	1.00	1.00	349.75	571.14	474.51	B
2	11.00	10.00	421.72	688.66		
3	18.47	7.47	604.65	987.39		
4	-	-	908.25	1483.16		

Tabella 3.0.b: Risultati prova M.A.S.W.1

4. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha avuto come scopo quello definire il suolo tipo secondo la normativa sismica vigente (D.M. NTC 2018).

Il risultato ottenuto dall'indagine M.A.S.W. può così essere sintetizzato:

- *Il modello di velocità del sottosuolo è riconducibile a n.3 sismostrati sovrastanti un semispazio;*
- *L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vseq, risultato per il modello medio pari a $V_{SH=18,47} = 474.51$ m/s calcolata da -0,0 m dal p.c.;*

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. 2018) il sottosuolo ricade nella categoria B "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" per la prospezione eseguita.

ALLEGATO 2

Tabulati di calcolo dei parametri e coefficienti sismici (azione sismica)

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,840424

longitudine: 11,50184

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 19840 Lat: 43,8177 Lon: 11,4808 Distanza: 3038,694

Sito 2 ID: 19841 Lat: 43,8188 Lon: 11,5501 Distanza: 4554,164

Sito 3 ID: 19619 Lat: 43,8688 Lon: 11,5485 Distanza: 4897,474

Sito 4 ID: 19618 Lat: 43,8677 Lon: 11,4792 Distanza: 3531,326

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,058 g

Fo: 2,490

Tc*: 0,260 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,073 g

Fo: 2,464

Tc*: 0,270 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,179 g

Fo: 2,387

Tc*: 0,292 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]
ag: 0,228 g
Fo: 2,377
Tc*: 0,304 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,440
St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,679
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,430
St: 1,000
Kh: 0,017
Kv: 0,009
Amax: 0,856
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,000
Kh: 0,051
Kv: 0,026
Amax: 2,102
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,180
Cc: 1,400
St: 1,000
Kh: 0,075
Kv: 0,038
Amax: 2,633
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.839470

longitudine: 11.500862

ALLEGATO 3
Verifica Liquefazione

DATI GENERALI

Data 9/21/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 0.2 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.179

Fattore amplificazione 2.387

Tipo Suolo: B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti $V_{s30}=360-800$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.2

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (M_w) 6.6

Distanza epicentro 10 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.2148

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale f_s (KPa)	Velocità onde di taglio V_s (m/s)
1		0	0.2	18.5	19.5	0	0	0	0	350
2		0.2	3.4	19.5	20.5	0	0	0	0	420
3		3.4	5	19	20	0	0	0	0	420
4		5	15	21	22	0	0	0	0	600

Eurocodice 8 VS

Strato Nr.	Frazione limosa (%)	Frazione argillosa (%)	Indice di plasticità (%)	Tipo Suolo	Validità
1-	0	0	≤ 10	B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti $V_{s30}=360-800$	Valido
2-	0	0	≤ 10	B-Sabbie, ghiaie molto	Valido

					addensate, argille molto consistenti Vs30=360-800	
3-	0	0	<= 10	B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti Vs30=360-800	Valido	
4-	0	0	<= 10	B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti Vs30=360-800	Valido	

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	0.40	7.800	5.839	854.419	220.000	0.997	2.185	0.187	11.71	N.L.	0.018
2	0.60	11.900	7.977	790.287	220.000	0.995	1.868	0.208	8.97	N.L.	0.040
3	0.80	16.000	10.116	744.727	220.000	0.994	1.658	0.221	7.51	N.L.	0.070
4	1.00	20.100	12.255	709.862	220.000	0.992	1.506	0.229	6.58	N.L.	0.105
5	1.20	24.200	14.393	681.881	220.000	0.991	1.389	0.235	5.92	N.L.	0.146
6	1.40	28.300	16.532	658.670	220.000	0.989	1.295	0.239	5.42	N.L.	0.191
7	1.60	32.400	18.671	638.939	220.000	0.988	1.218	0.242	5.03	N.L.	0.241
8	1.80	36.500	20.809	621.849	220.000	0.986	1.154	0.245	4.71	N.L.	0.295
9	2.00	40.600	22.948	606.824	220.000	0.985	1.098	0.247	4.45	N.L.	0.353
10	2.20	44.700	25.087	593.456	220.000	0.983	1.050	0.249	4.22	N.L.	0.414
11	2.40	48.800	27.225	581.441	220.000	0.982	1.008	0.250	4.03	N.L.	0.479
12	2.60	52.900	29.364	570.552	220.000	0.980	0.970	0.252	3.86	N.L.	0.547
13	2.80	57.000	31.503	560.61	220.000	0.979	0.936	0.253	3.71	N.L.	0.619

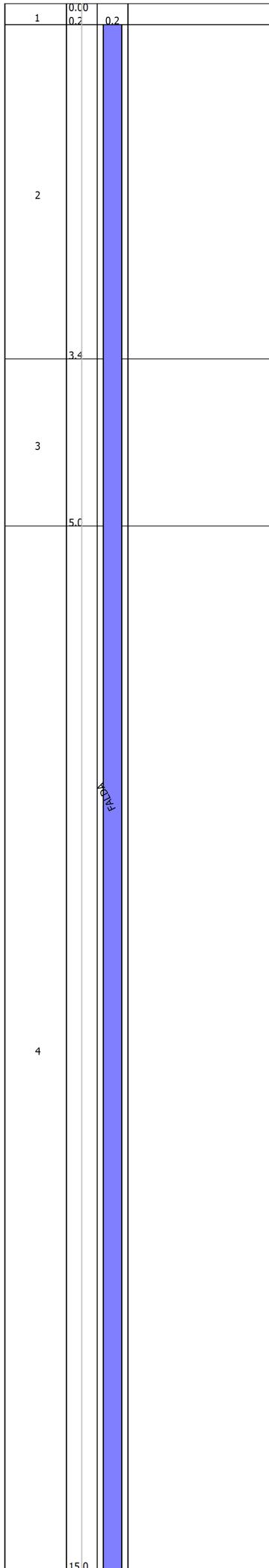
				2	0						
14	3.00	61.100	33.641	551.481	220.000	0.977	0.906	0.254	3.57	N.L.	0.693
15	3.20	65.200	35.780	543.049	220.000	0.976	0.878	0.254	3.45	N.L.	0.771
16	3.40	69.300	37.919	535.224	220.000	0.974	0.852	0.255	3.34	N.L.	0.851
17	3.60	73.300	39.957	528.263	220.000	0.972	0.830	0.256	3.24	N.L.	0.934
18	3.80	77.300	41.996	521.732	220.000	0.971	0.810	0.257	3.15	N.L.	1.020
19	4.00	81.300	44.035	515.585	220.000	0.969	0.790	0.258	3.07	N.L.	1.108
20	4.20	85.300	46.073	509.785	220.000	0.968	0.772	0.258	2.99	N.L.	1.199
21	4.40	89.300	48.112	504.296	220.000	0.966	0.756	0.259	2.92	N.L.	1.292
22	4.60	93.300	50.151	499.091	220.000	0.965	0.740	0.260	2.85	N.L.	1.387
23	4.80	97.300	52.189	494.144	220.000	0.963	0.725	0.260	2.79	N.L.	1.485
24	5.00	101.300	54.228	489.433	220.000	0.962	0.711	0.261	2.73	N.L.	1.586
25	5.20	105.700	56.667	691.543	220.000	0.960	1.429	0.260	5.49	N.L.	0.184
26	5.40	110.100	59.105	684.297	220.000	0.959	1.399	0.260	5.38	N.L.	0.196
27	5.60	114.500	61.544	677.415	220.000	0.957	1.371	0.260	5.28	N.L.	0.208
28	5.80	118.900	63.983	670.866	220.000	0.956	1.344	0.259	5.18	N.L.	0.220
29	6.00	123.300	66.421	664.621	220.000	0.954	1.319	0.259	5.09	N.L.	0.232
30	6.20	127.700	68.860	658.657	220.000	0.953	1.295	0.259	5.00	N.L.	0.245
31	6.40	132.100	71.299	652.951	220.000	0.951	1.273	0.259	4.92	N.L.	0.258
32	6.60	136.500	73.737	647.484	220.000	0.950	1.252	0.258	4.84	N.L.	0.271
33	6.80	140.900	76.176	642.239	220.000	0.948	1.231	0.258	4.77	N.L.	0.284
34	7.00	145.300	78.615	637.199	220.000	0.946	1.212	0.258	4.70	N.L.	0.298
35	7.20	149.700	81.053	632.351	220.000	0.945	1.193	0.258	4.63	N.L.	0.312
36	7.40	154.100	83.492	627.682	220.000	0.943	1.176	0.258	4.56	N.L.	0.326
37	7.60	158.500	85.931	623.18	220.000	0.942	1.159	0.258	4.50	N.L.	0.340

		0		1	0						
38	7.80	162.90 0	88.369	618.83 6	220.00 0	0.940	1.143	0.257	4.44	N.L.	0.354
39	8.00	167.30 0	90.808	614.63 9	220.00 0	0.939	1.127	0.257	4.38	N.L.	0.369
40	8.20	171.70 0	93.247	610.58 0	220.00 0	0.937	1.112	0.257	4.33	N.L.	0.384
41	8.40	176.10 0	95.685	606.65 2	220.00 0	0.936	1.098	0.257	4.27	N.L.	0.399
42	8.60	180.50 0	98.124	602.84 7	220.00 0	0.934	1.084	0.257	4.22	N.L.	0.414
43	8.80	184.90 0	100.56 3	599.15 9	220.00 0	0.933	1.071	0.257	4.17	N.L.	0.430
44	9.00	189.30 0	103.00 2	595.58 0	220.00 0	0.931	1.058	0.257	4.12	N.L.	0.446
45	9.20	193.70 0	105.44 0	592.10 6	220.00 0	0.928	1.045	0.256	4.08	N.L.	0.462
46	9.40	198.10 0	107.87 9	588.73 1	220.00 0	0.923	1.033	0.256	4.03	N.L.	0.478
47	9.60	202.50 0	110.31 8	585.45 0	220.00 0	0.918	1.022	0.256	3.99	N.L.	0.494
48	9.80	206.90 0	112.75 6	582.25 9	220.00 0	0.912	1.011	0.256	3.94	N.L.	0.511
49	10.00	211.30 0	115.19 5	579.15 3	220.00 0	0.907	1.000	0.256	3.90	N.L.	0.527
50	10.20	215.70 0	117.63 4	576.12 7	220.00 0	0.902	0.989	0.256	3.86	N.L.	0.544
51	10.40	220.10 0	120.07 2	573.18 0	220.00 0	0.896	0.979	0.256	3.83	N.L.	0.561
52	10.60	224.50 0	122.51 1	570.30 6	220.00 0	0.891	0.969	0.256	3.79	N.L.	0.578
53	10.80	228.90 0	124.95 0	567.50 2	220.00 0	0.886	0.959	0.256	3.75	N.L.	0.596
54	11.00	233.30 0	127.38 8	564.76 7	220.00 0	0.880	0.950	0.256	3.72	N.L.	0.614
55	11.20	237.70 0	129.82 7	562.09 6	220.00 0	0.875	0.941	0.256	3.68	N.L.	0.631
56	11.40	242.10 0	132.26 6	559.48 7	220.00 0	0.870	0.932	0.256	3.65	N.L.	0.649
57	11.60	246.50 0	134.70 4	556.93 7	220.00 0	0.864	0.924	0.255	3.62	N.L.	0.668
58	11.80	250.90 0	137.14 3	554.44 4	220.00 0	0.859	0.915	0.255	3.58	N.L.	0.686
59	12.00	255.30 0	139.58 2	552.00 7	220.00 0	0.854	0.907	0.255	3.55	N.L.	0.704
60	12.20	259.70 0	142.02 0	549.62 2	220.00 0	0.848	0.899	0.255	3.52	N.L.	0.723
61	12.40	264.10	144.45	547.28	220.00	0.843	0.892	0.255	3.49	N.L.	0.742

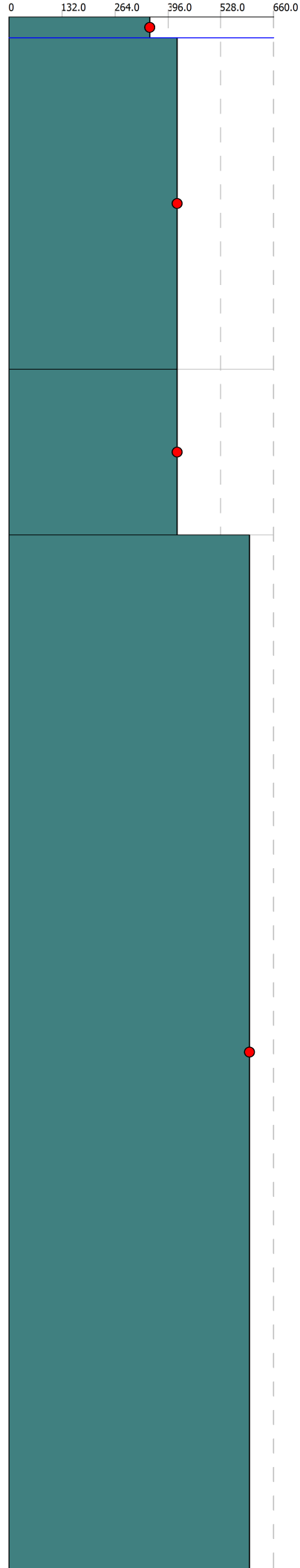
		0	9	7	0						
62	12.60	268.50 0	146.89 8	545.00 1	220.00 0	0.838	0.884	0.255	3.46	N.L.	0.761
63	12.80	272.90 0	149.33 6	542.76 3	220.00 0	0.832	0.877	0.255	3.44	N.L.	0.780
64	13.00	277.30 0	151.77 5	540.56 9	220.00 0	0.827	0.870	0.255	3.41	N.L.	0.800
65	13.20	281.70 0	154.21 4	538.41 9	220.00 0	0.822	0.863	0.255	3.38	N.L.	0.819
66	13.40	286.10 0	156.65 2	536.31 2	220.00 0	0.816	0.856	0.255	3.36	N.L.	0.839
67	13.60	290.50 0	159.09 1	534.24 4	220.00 0	0.811	0.849	0.255	3.33	N.L.	0.859
68	13.80	294.90 0	161.53 0	532.21 6	220.00 0	0.806	0.843	0.255	3.31	N.L.	0.879
69	14.00	299.30 0	163.96 8	530.22 6	220.00 0	0.800	0.836	0.255	3.28	N.L.	0.899
70	14.20	303.70 0	166.40 7	528.27 3	220.00 0	0.795	0.830	0.255	3.26	N.L.	0.919
71	14.40	308.10 0	168.84 6	526.35 5	220.00 0	0.790	0.824	0.255	3.23	N.L.	0.940
72	14.60	312.50 0	171.28 4	524.47 2	220.00 0	0.784	0.818	0.255	3.21	N.L.	0.961
73	14.80	316.90 0	173.72 3	522.62 1	220.00 0	0.779	0.812	0.255	3.19	N.L.	0.982
74	15.00	321.30 0	176.16 2	520.80 3	220.00 0	0.774	0.807	0.255	3.17	N.L.	1.003

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

Colonna stratigrafica



Vs (m/s)



Fattore di sicurezza Fs

