

Comune di : BONORVA
Provincia di : SASSARI
Regione : SARDEGNA



SOLARSAP UNO SRL

Via di Selva Candida, 452
00166 ROMA (RM)
P.I. 17164341004

RICHIESTA DI CONNESSIONE ALLA RTN DI TERNA SpA

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE
RINNOVABILE AGRIVOLTAICA DI POTENZA NOMINALE PARI A
42.334,64 kWp E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE RTN

"SOLARE BONORVA S'ENA 'E SUNIGO"

TITOLO ELABORATO :

Relazione Geologica, Idrogeologica e Sismica

DATA : 20/09/2023

N°/CODICE ELABORATO :

SCALA : ---

Tipologia : EL (ELABORATI)

REL 011

PROGETTISTI:

CONSULENZA SPECIALISTICA:

I TECNICI



EDILSAP s.r.l.
Via di Selva Candida, 452
00166 ROMA
Ing. Fernando Sonnino
Project Manager



ALMA CIVITA SRL

Via della Provvidenza snc
01022 Civita di Bagnoregio (VT)

Arch. Massimo Fordini Sonnino
Arch. Alessandra Rocchi

Collaboratori:
Arch. Marco Musei
Arch. Federico Cuzzolini
Dott. Arch. Michela Fiore
Dott. Arch. Alessia Fulvi
Geom. Andrea Ippoliti



STUDIO GEOLOGICO

Piazza del Poggetto, 7
01024 Castiglione in Teverina (VT)

Dott. Geol. Leonardo Paganelli

Collaboratori:
GEO-PAG di Paganelli Brunelli
Dott. Geol. Luca Costantini



00	202203491	Emissione per Progetto Definitivo - Istanza di VIA e A.U.	EDILSAP srl	Ing. Fernando Sonnino	Ing. Fernando Sonnino
N° REVISIONE	Cod. STMG	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

Sommario

1. Premessa	3
2. Inquadramento geografico	11
3. Inquadramento geologico	14
4. Inquadramento geomorfologico e Pericolosità Idraulica	19
5. Inquadramento idrogeologico	27
6. Inquadramento sismico	30
7. Modalità di esecuzione delle indagini sui terreni	34
7.1. Prova penetrometrica DPSH	
7.2. Prova sismica MASW	
8. Elaborazione e risultati delle indagini sui terreni	42
8.1. Risultato prove penetrometriche DPSH	
8.2. Risultato prove sismiche MASW	
9. Individuazione dell'azione sismica locale	61
9.1. Premessa	
9.2. Pericolosità sismica di base	
9.3. Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche	
9.4. Analisi di stabilità nei confronti della liquefazione	
10. Definizione dei parametri geotecnici medi	64
11. Conclusioni	65

Bibliografia

Allegati

Documentazione fotografica

Cartografia CTR 1:5000

Ubicazioni delle Indagini e della sezione geologico - tecnica

Sezioni geologico tecniche

Fascicolo delle indagini

1. Premessa

Il presente elaborato riguarda il Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto AGRIVOLTAICO, proposto dalla Società SOLARSAP UNO s.r.l., con sede in Via di Selva Candida, 452 – 00166 Roma (RM), su terreni agricoli nella disponibilità della proponente di un'estensione pari a 63,6611 ettari, ubicati in agro del Comune di BONORVA (SS). Il presente progetto ha come obiettivo l'uso delle tecnologie solari finalizzate alla realizzazione del presente impianto AGRIVOLTAICO denominato **“SOLARE BONORVA S'ENA 'E SUNIGO”** da **42,344 MWp di potenza nominale in DC**, a cui corrisponde una **potenza massima in immissione in AC di 40,00 MW**, come da preventivo STMG di Terna, codice pratica 202203491, ripartito in un unico lotto di terreno agricolo:

Descrizione	Comune	Località	Area (ha)	Potenza nominale (kWp)	Latitudine	Longitudine	Altitudine media (m)
Impianto AFV	Bonorva (SS)	S'Ena 'E Sunigo	63,6611	42.344,64	40,449722°N	8,80°E	340
SE TERNA	Bonorva (SS)	Moretta			40,470278°N	8,827778°E	350

L'impianto in oggetto, realizzato in area agricola, viene definito a tutti gli effetti **“ IMPIANTO AGRIVOLTAICO”** in quanto si caratterizza per un impianto fotovoltaico che adotta soluzioni volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione attualmente presenti, rispettando i requisiti minimi **A, B e D2** introdotti dalla **Linee Guida** in materia di **Impianti Agrivoltaici** alla **Parte II art. 2.2, 2.3, 2.4 e 2.6, pubblicati dal MITE nel giugno 2022.**

Nel presente studio, dall'analisi combinata dello stato di fatto delle componenti ambientali e socioeconomiche e delle caratteristiche progettuali, sono stati identificati e valutati gli impatti che la realizzazione, l'esercizio e la dismissione dell'impianto possono avere sul territorio interessato dall'installazione dell'impianto e su quello circostante, in particolare su tutte le componenti ambientali successivamente analizzate.

Tale analisi è stata condotta principalmente sulla base della conoscenza del territorio e dei suoi caratteri ambientali, consentendo di individuare le principali relazioni tra tipologia dell'opera e caratteristiche ambientali.

Obiettivo del presente elaborato è dunque l'individuazione delle matrici ambientali sociosanitarie, quali fattori antropici, naturalistici, climatici, paesaggistici, culturali ed agricoli su cui insiste il progetto di IMPIANTO AGRIVOLTAICO e l'analisi del rapporto delle attività previste con le matrici stesse.



Il sito

Il sito ove si prevede di realizzare l'IMPIANTO AGRIVOLTAICO è localizzato nella Regione Sardegna, in provincia di Sassari, Comune di Bonorva, in Località "S'Ena e Sunigo" e "Pala de Suizagas". L'area prevista per la realizzazione dell'impianto (e di tutte le opere necessarie alla connessione alla rete elettrica di E-Distribuzione), è situata a circa 52,06 km da Sassari (mentre la distanza in linea retta è invece di 38,81 km) a Sud Est dalla Città di Sassari, a 5km in linea d'aria a Nord Est dall'abitato del Comune di Bonorva.

I terreni su cui l'impianto verrà installato sono distinti in catasto al Comune Censuario di Bonorva (SS), censiti al **Foglio 17, p.lle 2, 3, 5, 26, 27, 29,30, 43, 44, 45**, e al **Foglio 28, p.lle 2,8,10,19,20,21,24,39,40,58, 81, 82, 118,119,120**.

L'agro oggetto di intervento è caratterizzato da tre aziende agricole distinte così come di seguito identificate:

Azienda "Società Agricola F.Ili Sussarellu S.S."

COMUNE censuario	FOGLIO	MAPP.	SUPERFICIE CATASTALE	QUALITA'	CLASSE	REDDITI	
						DOMENICALE €.	AGRARIO €.
Bonorva	17	43	16.09.22	Seminativo	2 [^]	623,32	332,44
Bonorva	28	2	03.06.60	Seminativo	4 [^]	31,67	39,59
Bonorva	28	8	01.90.10	Seminativo	4 [^]	19,64	24,54

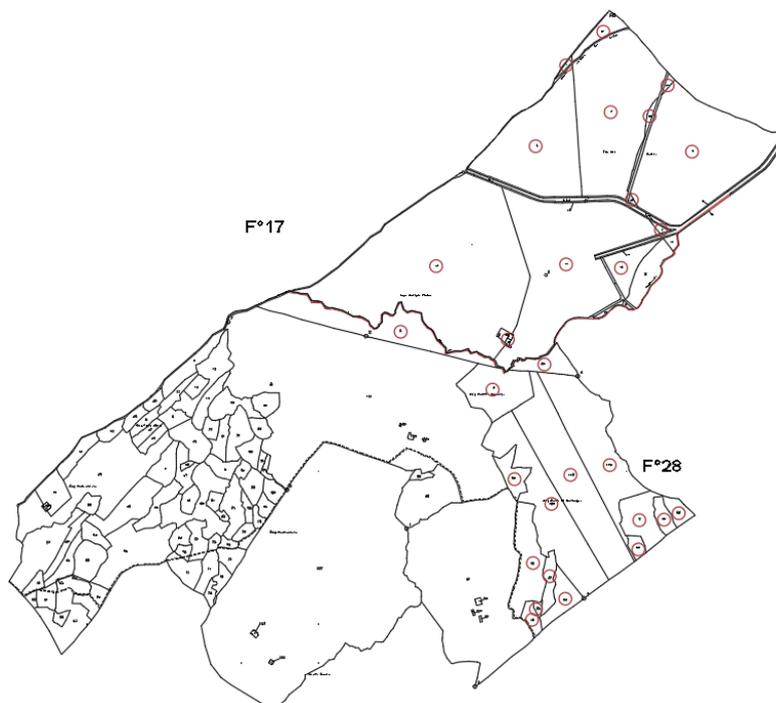
Bonorva	28	10	00.19.28	Seminativo	4 [^]	1,99	2,49
			00.00.62	Pascolo	4 [^]	0,05	0,03
Bonorva	28	19	00.28.08	Seminativo	1 [^]	13,78	6,53
			00.00.29	Pascolo	4 [^]	0,02	0,01
Bonorva	28	20	00.06.70	Seminativo	4 [^]	0,69	0,87
Bonorva	28	21	00.43.65	Pascolo	4 [^]	3,38	2,25
Bonorva	28	39	00.56.55	Seminativo	4 [^]	5,84	7,30
			00.02.62	Pascolo	4 [^]	0,20	0,14
Bonorva	28	40	00.02.07	Seminativo	4 [^]	0,21	0,27
			00.31.04	Pascolo	4 [^]	2,40	1,60
Bonorva	28	58	00.33.77	Seminativo	4 [^]	3,49	4,36
Bonorva	28	118	04.86.15	Seminativo	4 [^]	50,22	62,77
Bonorva	28	119	03.94.29	Seminativo	4 [^]	40,73	50,91
			00.09.46	Pascolo Arb	U	0,73	0,64
Bonorva	28	120	04.25.52	Seminativo	4 [^]	43,95	54,94
TOTALI			36.46.01			842,31	591,68

Azienda Agricola "Sussarellu Antonio Maria"

COMUNE censuario	FOGLIO	MAPP.	SUPERFICIE CATASTALE	QUALITA'	CLASSE	REDDITI	
						DOMENICALE €.	AGRARIO €.
Bonorva	17	2	07.37.65	Seminativo	2 [^]	285,72	152,39
Bonorva	17	26	00.03.01	Seminativo	2 [^]	1,17	0,62
Bonorva	17	27	00.07.00	Seminativo	2 [^]	2,71	1,45
			00.00.57	Pascolo	4 [^]	0,04	0,03
Bonorva	17	29	00.06.22	Seminativo	2 [^]	2,41	1,28
Bonorva	17	30	00.81.89	Seminativo	2 [^]	31,72	16,92
Bonorva	17	44	09.50.77	Seminativo	2 [^]	368,27	196,41
Bonorva	17	45	00.50.95	Seminativo	2 [^]	19,74	10,53
Bonorva	28	24	00.72.30	Seminativo	4 [^]	7,47	9,33
TOTALI			19.10.36			719,25	388,96

Altri terreni

COMUNE censuario	FOGLIO	MAPP.	SUPERFICIE CATASTALE	QUALITA'	CLASSE	REDDITI	
						DOMENICALE €.	AGRARIO €.
Bonorva	17	3	00.01.22	Seminativo	2 [^]	0,47	0,25
			00.04.38	Pascolo	4 [^]	0,34	0,23
Bonorva	17	5	05.53.40	Pascolo	4 [^]	42,87	28,58
Bonorva	28	81	01.65.98	Seminativo	4 [^]	17,14	21,43
			00.12.66	Pascolo	4 [^]	0,98	0,65
Bonorva	28	82	00.72.10	Seminativo	4 [^]	7,45	9,31
TOTALI			08.09.74			69,25	60,45



Si può accedere all'area d'impianto sia dal lato NORD-EST, sia dal lato NORD- OVEST percorrendo le strade provinciali SP43 e SP21, queste sono direttamente collegate mediante la SP83, dalla quale, poi, percorrendo una Strada Comunale, ci si addentra all'interno di aree completamente immerse nella vegetazione arboreo arbustiva autoctona.

La soluzione di connessione alla RTN descritta e riportata nel presente documento fa riferimento alla Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), che la Società Terna ha elaborato per l'allacciamento alla RTN, ai sensi dell'art.21 dell'allegato A alla deliberazione ARG/ELT/99/08 dell'ARERA ss.mm.ii.

La STMG emessa da TERNA prevede che l'IMPIANTO AGRIVOLTAICO oggetto della presente relazione venga collegato in antenna a 36kV sulla sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica della RTN a 220/36 kV da inserire in entra – esce alla linea 220 kV “**Codrongianos – Ottana**”, nel Comune di Bonorva (SS), su terreni distinti in catasto al Foglio 9 Particelle 3 e 11, in **località MORETTE**, ad un'altitudine media di circa 350 slm, Latitudine 40,470278° N - Longitudine 8,827778° E.

La connessione con la RTN sarà realizzata con un **cavidotto** interrato a 36kV della lunghezza di circa **4.500 m**.

Il percorso del cavidotto di connessione a 36 kV parte dalla Cabina di Consegna CC nell'area sud dell'impianto e si svilupperà interamente su viabilità pubblica, per un tracciato di circa **4.500 m** lungo la **Strada Provinciale n. 83**, fino all'accesso nella Nuova SE 220/36 kV di TERNA, che risulta ubicata parallelamente alla S.P.83.

Il tracciato del cavidotto andrà ad intersecare quattro canali e corsi d'acqua; in particolare nella prima tratta della S.P. 83 compresa tra l'impianto e l'incrocio con la S.P. 21, interesserà:

- un corso d'acqua minore sulla SP n.83 circa 800 m dopo i confini dell'area di progetto;
- un corso d'acqua minore sulla SP n.83 circa 200 m dopo;
- il RIU LADU sulla SP n.83 circa 180 m dopo;
- il RIU CASTEDDU sulla SP n.83 circa 280 m dopo;

Gli attraversamenti dei corsi d'acqua saranno tutti realizzati con la tecnologia T.O.C. Trivellazione Orizzontale Controllata (vedi elab. EL022)

L'esercizio dell'impianto agri-voltaico come configurato nel progetto, oggetto di tale relazione, consentirà di contribuire al raggiungimento degli obiettivi stabiliti dalla politica energetica europea

e nazionale, mantenendo una produzione agricola di tipo sostenibile destinata all'alimentazione umana ed animale, in quanto considerata la potenza complessiva dell'impianto denominato **"SOLARE BONORVA S'ENA 'E SUNIGO"** da **42,344 MWp di potenza nominale in DC**, a cui corrisponde una **potenza massima in immissione in AC di 40,00 MW**, come da preventivo STMG di Terna, codice pratica 202203491, al netto dei consumi ausiliari prevede una **producibilità annua di energia immessa in rete di 78,00 GWh**, con un risparmio di emissioni in atmosfera di **879.500 ton di CO2, considerando** come fattore di conversione il coeff. 0,4455 kg CO2/kWh¹.

Il progetto interessa un area agricola disponibile totale di 63,6611 ettari, ubicata in agro del Comune di BONORVA (SS), che ha come obiettivo l'uso delle tecnologie solari finalizzata alla realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato **"SOLARE BONORVA S'ENA 'E SUNIGO"** da **42,344 MWp** di potenza nominale in DC, a cui corrisponde una potenza massima in immissione in AC di **40,00 MW**, come da preventivo STMG di Terna, codice pratica 202203491, ripartito in un unico lotto di terreno agricolo:

Descr.	Comune	Località	Area (ha)	Potenza nominale (kWp)	Latitudine	Longitudine	Altitudine media (m)
Impianto AFV	Bonorva (SS)	S'Ena 'E Sunigo	63,6611	42.344,64	40,449722°N	8,80°E	340
SE TERNA	Bonorva (SS)	Moretta			40,470278°N	8,827778°E	350

L'impianto in oggetto realizzato in area agricola può essere definito "agrivoltaico" in quanto si tratta di un impianto fotovoltaico che adotta soluzioni volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione, e rispetta i requisiti minimi A, B e D2 introdotti dalla Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici alla Parte II art. 2.2, 2.3, 2.4 e 2.6, pubblicati dal MITE nel giugno 2022.

Caratteristiche impianto

MODULI FOTOVOLTAICI: marca **JINKO** modello **Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV** con una potenza unitaria di **580 Wp**, bifacciali in silicio monocristallino, montati in configurazione bifilare con Pitch = 8,50 m su strutture ad inseguimento solare monoassiale 2Px12, ognuna a formare una stringa elettrica.

¹ISPRA,2019: *Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei*, A.Caputo (acuradi),Roma Edizione 2019, pag.29.

CABINE DI CAMPO (Conversione e Trasformazione): Sono previste 16 Cabine prefabbricate modulari marca SMA MV POWER STATION modello SUNNY CENTRAL 2500-EV equipaggiate ognuna con **1 inverter SUNNY CENTRAL 2500-EV** e **1 trasformatore BT/36kV da 2.500MVA** – dimensioni 7,06 x 3,34 m. Le Cabine di campo sono accoppiate in maniera suddividere l’impianto in 8 sottocampi da circa 5 MW.

CONTROL ROOM: 1 Cabina prefabbricata– dimensioni 4,25 x 3,5 m

CABINA DI CONSEGNA: 1 Cabina prefabbricata – dimensioni 7,0 x 3,5 m

Il collegamento elettrico tra i sottocampi prevede di accoppiare gruppi di 4 POWER STATION che si collegano direttamente con la cabina di consegna.

CAVIDOTTO a 36 kV			
Cabine Power Station (CPS _n) e consegna (CC)		Lunghezza Tratta(m)	Sezione cavi (mmq) e formazione terne
Partenza	Arrivo		
CPS ₁₋₂₋₃₋₄	CC	2.721	1x(3x1x185)
CPS ₅₋₆₋₇₋₈	CC	2.151	1x(3x1x185)
CPS ₉₋₁₀₋₁₁₋₁₂	CC	1.276	1x(3x1x185)
CPS ₁₃₋₁₄₋₁₅₋₁₆	CC	267	1x(3x1x185)
CC	SE 36/220 kV	4.500	2x(3x1x630)

La STMG emessa da TERNA prevede che l’impianto agrivoltaico oggetto della presente relazione venga collegato in antenna a 36kV sulla sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica della RTN a 220/36 kV da inserire in entra – esce alla linea 220 kV “Codrongianos – Ottana”, che è previsto nel Comune di Bonorva (SS), al Foglio 9 Particelle 3 e 11, in località MORETTE, ad un’altitudine media di circa 350 slm, Latitudine 40,470278° N - Longitudine 8,827778° E.

La connessione con la RTN sarà realizzata con un cavidotto interrato a 36kV della lunghezza di circa **4.500 m**.

Il percorso del cavidotto di connessione a 36 kV parte dalla Cabina di Consegna CC nell’area sud dell’impianto e si sviluppa interamente sulla viabilità pubblica, per circa 4.500 m lungo la Strada Provinciale n. 83, 3fino all’accesso nella Nuova SE 220/36 kV di TERNA, che risulta ubicata proprio parallelamente alla S.P.83.

Il tracciato del cavidotto interseca 4 volte canali e corsi d'acqua, nella prima tratta della S.P. 83 compresa tra l'impianto e l'incrocio con con la S.P. 21:

- un corso d'acqua minore sulla SP n.83 circa 800 m dopo i confini dell'area di progetto
- un corso d'acqua minore sulla SP n.83 circa 200 m dopo
- il RIU LADU sulla SP n.83 circa 180 m dopo
- il RIU CASTEDDU sulla SP n.83 circa 280 m dopo

Gli attraversamenti dei corsi d'acqua saranno realizzati con la tecnologia T.O.C. Trivellazione Orizzontale Controllata.

TABELLA RIEPILOGATIVA IMPIANTO "SOLARE BONORVA S'ENA 'E SUNIGO"											
DESCRIZIONE	COMUNE	SUPERFICIE CATASTALE (Ettari)	Numero Tracker	Numero Pannelli	SUPERFICIE CAPTANTE (mq)	SUPERFICIE RECINTATA (Ettari)	LUNGHEZZA RECINZIONE (m)	LUNGHEZZA STRADE DI SERVIZIO (m)	SUPERFICIE STRADE DI SERVIZIO (mq)	SUPERFICIE FASCIA MITIGAZIONE PERIMETRALE (mq)	Numero di ACCESSI
			2x12								
IMPIANTO AFV	BONORVA (SS)	63,6611	3.042	73.008	188.598	58,17	6.720	6.708	26.833	25.800	3
DESCRIZIONE	COMUNE	TRATTA	Viabilità Pubblica	STRADA	FOGLIO/Part.lla	Lunghezza Tratta (m)					
CAVIDOTTO DI CONNESSIONE con la RTN 36kV	BONORVA (SS)	1	SI	SP83	n.a.	4.500					
NUOVA SE TERNA 220/36 kV	BONORVA (SS)				F.9 - P.lle 3, 11						

Lo scopo di questo elaborato è quello di fornire informazioni sull'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area in esame; attraverso prove geotecniche di sito e prove sismiche di sito, sono stati calcolati i parametri geotecnici medi permettendo la ricostruzione del modello geologico – tecnico e del modello sismico del sottosuolo, utile alla progettazione dell'opera.

Per entrare in possesso dei necessari parametri geotecnici e sismici, utili per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo, sono state svolte le seguenti attività ed indagini:

- *Rilevamento geologico, geomorfologico e idrogeologico*
- *N. 9 Prove penetrometriche dinamiche DPSH*
- *N. 5 Prove sismiche tipo MASW*

Allegati alla presente relazione sono riportati: una planimetria con la posizione delle indagini eseguite; le sezioni geologico – tecniche; la documentazione fotografica.

Tutte le fasi del programma d'indagine sono state eseguite in conformità: alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" - A.G.I. (1977); all'eventuale

legislazione e normativa tecnica, inerente alle singole prove, redatta dagli organi internazionali, American Society for Testing and Materials (norme ASTM), Deutsches Institut für Normung (norme DIN), International Organization for Standardization (norme ISO), Associazione Geotecnica Internazionale (norme ISSMFE). L'elaborazione dei risultati delle prove e la loro presentazione è effettuata nel pieno rispetto delle normative tecniche vigenti: *Indagini sui terreni e sulle rocce, e la realizzazione di scavi e di fondazioni sia superficiali che profonde* - D.M. LL. PP. n. 47 del 11 Marzo 1988; *Progettazione geotecnica - Eurocodice 7* della Normativa Internazionale UNI - ENV 1997; "Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 17.01.2018"; "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018" Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Circolare 21 Gennaio 2019

2. Inquadramento geografico

Il sito in esame è individuato nel Foglio n. 193 “Bonorva” scala 1:100.000 della Carta d’Italia I.G.M., nella Tavoleta 193 II-NO “Bonorva” scala 1:25000 della Carta d’Italia I.G.M., negli elementi 480100 e 480140 della Carta Tecnica Regionale 1: 10000 (fig. 2).

Coordinate geografiche punto centrale impianto (sistema di riferimento WGS84)

40.448227°

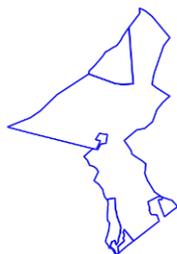
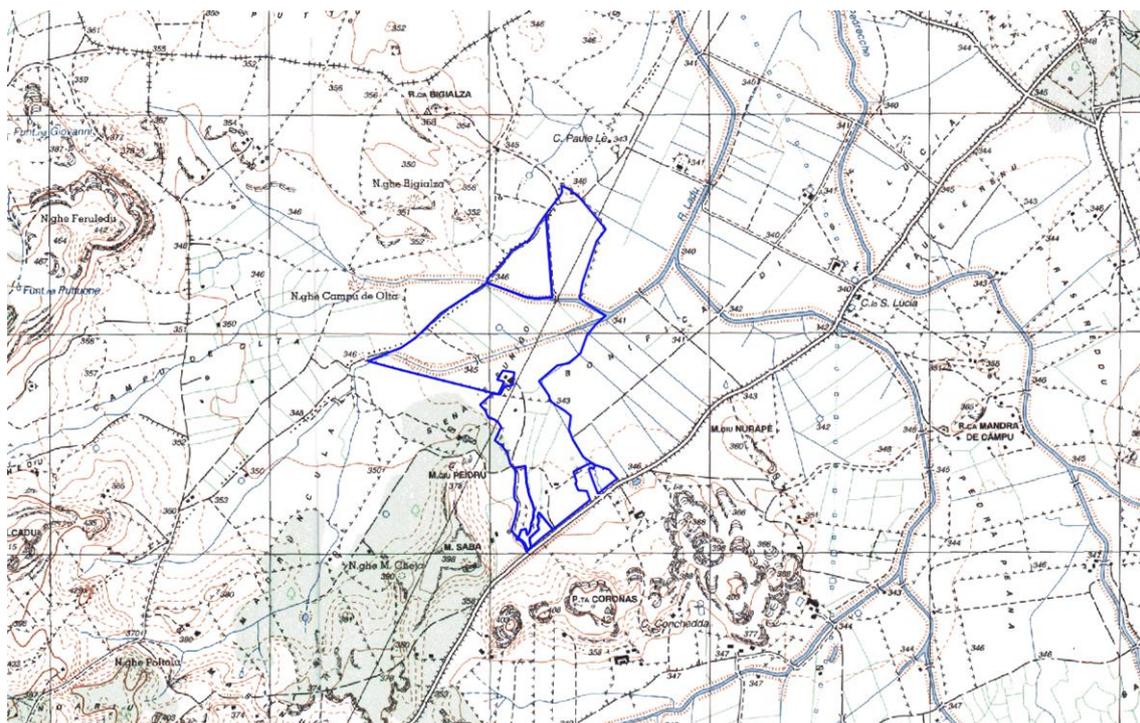
8.800722°

Coordinate geografiche centrale impianto (sistema di riferimento ED50)

40.449278°

8.801707°

L’area di studio si colloca nel settore centrale del territorio comunale di Bonorva, in Loc. Pala de Surzagas, a quote comprese tra 340 e 348 m s.l.m.; distinta ai Fogli catastali n° 17, 18 e 28.



Area impianto FV

Figura 1: stralcio Carta d’Italia I.G.M. Tavoleta 193 II-NO “Bonorva” (scala 1:25000)

3. Inquadramento geologico

L'area di studio è riportata nel Foglio n. 193 "Bonorva", della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. Nel presente lavoro si fa riferimento alla "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000" e la "Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000", messe a disposizione dalla Regione Sardegna

Il passato geologico della Sardegna ha attraversato vari periodi di evoluzione, ciascuno dei quali ha portato a significativi cambiamenti strutturali fino a raggiungere la configurazione attuale dell'isola. Le rocce più antiche, risalenti al Precambriano e al Paleozoico superiore, mostrano metamorfismo che va dal grado alto a quello basso e deformazioni che si sono verificate durante le orogenesi caledoniana e ercinica, avvenute rispettivamente circa 490-390 milioni e 350-250 milioni di anni fa. Durante il tardo Paleozoico, la collisione tra le placche continentali di Laurasia e Gondwana ha causato l'orogenesi ercinica, che ha influenzato anche la Sardegna a partire dal Carbonifero inferiore fino al Permiano.

Nella parte meridionale dell'isola, le rocce paleozoiche sono state soggette a compressione, piegatura, ribaltamento e sovrapposizione, generando metamorfismo e acquisendo una tessitura scistosa. Durante l'orogenesi ercinica, si sono verificate importanti deformazioni tettoniche e intensa attività magmatica di tipo intrusivo ed effusivo, contribuendo al metamorfismo termico delle rocce di contatto. La presenza di vaste aree di rocce magmatiche nella Sardegna costituisce circa un terzo della superficie dell'isola e indica la formazione di un arco insulare durante il Carbonifero-Permiano.

Le rocce sedimentarie e vulcaniche che si sono accumulate successivamente alla fase ercinica rappresentano le coperture post-erciniche, queste sono state solo debolmente deformate durante le fasi collisionali dell'ultima orogenesi alpina ed appenninica, e durante il processo di rifting che ha portato all'apertura del Bacino Balearico e del Mar Tirreno con la "rotazione del blocco sardo-corso".

La Sardegna è caratterizzata da differenti zone del basamento ercinico: una Zona esterna nell'Iglesiente-Sulcis, una Zona a falde (interne ed esterne), dall'Arburese al Sarrabus-Gerrei e alla Sardegna centro-settentrionale, ed una Zona assiale coincidente con la Sardegna settentrionale. Le strutture fondamentali del basamento della Sardegna e della Corsica appartengono alla zolla europea e avevano una continuità con le strutture presenti in Provenza e Catalogna prima di separarsi dall'Europa nel Miocene inferiore (Burdigaliano).

L'orogenesi ercinica ha coinvolto l'intero basamento della Sardegna, causando intense deformazioni, metamorfismo e un significativo magmatismo post-collisionale. Il movimento di rotazione del blocco sardo-corso ha influenzato la formazione degli Appennini ancestrali e ha spostato una parte della catena alpina verso Est, contribuendo alla formazione della Calabria e dei monti Peloritani in Sicilia.

In generale, la struttura geologica della Sardegna è caratterizzata principalmente da plutoni granitiche e rocce metamorfiche paleozoiche, con formazioni vulcaniche e sedimentarie post-erciniche presenti in minor quantità. Le caratteristiche geologico-strutturali dell'area di interesse oggetto dello studio derivano da diversi e complessi eventi geologici che hanno interessato l'intera isola, in particolare durante l'Era paleozoica, ma anche durante l'Era mesozoica e cenozoica.

Nella storia geologica della Sardegna, l'Eocene medio segna l'inizio di un periodo di notevole instabilità tettonica che comporta un significativo accorciamento della crosta (Carmignani et al., 1992). Durante questa fase turbolenta, si sono depositati abbondanti sedimenti di origine prevalentemente continentale, di natura sia sedimentaria che magmatica, che emergono in modo evidente nell'area del progetto in questione. Questa sequenza sedimentaria si è formata contemporaneamente a un'intensa attività vulcanica calcalkalina, che ha prodotto una vasta gamma di materiali vulcanici esplosivi ed effusivi, con composizioni che variano da basaltico-andesitiche a riolitiche. Le datazioni radiometriche delle rocce vulcaniche indicano che la maggior parte delle eruzioni è avvenuta durante il Burdigaliano, tra circa 28 e 15 milioni di anni fa.

Questo potente complesso vulcano-sedimentario è in parte associato a una rilevante attività tettonica lungo faglie, responsabile delle strutture tettoniche più evidenti presenti nell'area. Le faglie trascorrenti sinistre, orientate NE-SW, sono diffuse in tutta la zona centrale e settentrionale della Sardegna e si intersecano con un sistema di faglie destre meno significative, orientate E-W. Questi sistemi di faglie trascorrenti, in parte ereditati dalle discontinuità meccaniche dell'orogenesi ercinica, indicano una direzione di accorciamento con andamento meridiano.

Il vulcanismo oligo-miocenico della Sardegna rappresenta uno degli eventi geologici più importanti del Mediterraneo occidentale. Nel contorno dell'area di progetto, ci sono evidenze di un'alternanza di rocce andesitiche e andesiti basaltiche, con composizioni che vanno da basica a intermedia ("Serie andesitica"), e di rioliti, riodaciti e daciti, con composizioni che variano da intermedia ad acida ("Serie ignimbratica"). In alcune zone, la successione vulcanica è attraversata da sistemi di filoni.

A partire dal Burdigaliano superiore, si verifica un'importante fase di estensione tettonica che dà origine a una serie di faglie tettoniche con andamento sub-meridiano; queste faglie danno luogo a un'ampia trasgressione marina, con sedimenti di origine silicoclastica e carbonatica, che si estende fino al Serravalliano ("2° ciclo" sedimentario miocenico). Questa successione inizia con conglomerati e arenarie e prosegue con sedimenti silicoclastici e carbonatici, principalmente di origine marina. La fase di trasgressione è seguita da un ritiro del mare e da una nuova fase di trasgressione caratterizzata dalla sedimentazione di depositi carbonatici di acque basse, che va dal Tortoniano al Messiniano ("3° ciclo" miocenico). L'estensione tettonica continua anche durante il Pliocene e il Pleistocene, testimoniata principalmente dai grandi affioramenti di basalti interplacca del periodo plio-pleistocenico. Questi prodotti vulcanici sono principalmente costituiti da lave basaltiche, alcaline e alcaline-transizionali e sub-alcaline, che si trovano abbondantemente nell'area del progetto. Il Quaternario è rappresentato in gran parte da coperture superficiali di origine continentale, come antiche alluvioni o sedimenti di fondovalle, e costituisce il terreno affiorante nell'area di cantiere (Fig. 6).

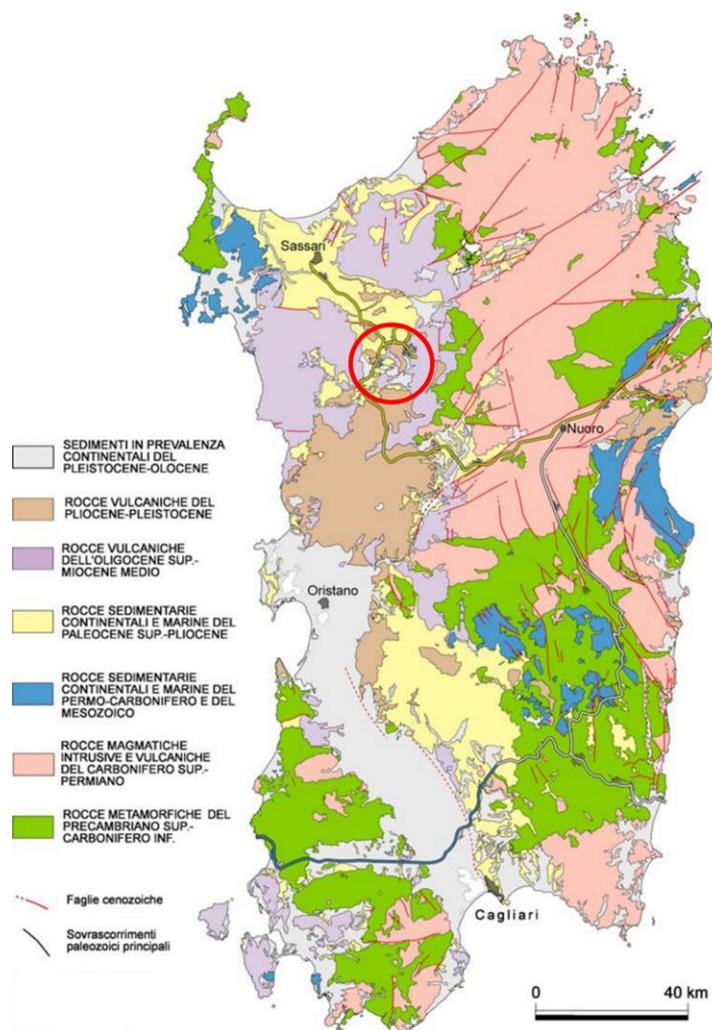


Fig. 6 Schema geologico della Sardegna (da Carmignani et al.,2001)

La "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000", messa a disposizione dalla Regione, è una carta geologica omogenea ed estesa a tutta l'Isola, adeguata agli obiettivi di pianificazione del Piano Paesaggistico Regionale (PPR) e conforme alle indicazioni del Servizio Geologico d'Italia, pertanto, sono stati accorpati all'interno di diversi complessi geologici, di natura da sedimentaria marina a continentale a vulcanica, a loro volta comprendenti diverse unità formazionali, che coprono un intervallo di tempo che va dal Cambriano all'Attuale.

Nella "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000", in corrispondenza dell'area di studio, sono segnalati, in affioramento le **Coltri eluvio-colluviali (b2)**. Sabbie e ghiaie detritiche immerse in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica (OLOCENE);

(Fig. 7) dal rifiuto strumentale della prova DPSH 2 a -3.4 m dal PC, e possibile ipotizzare uno spessore della coltre eluvio colluviale-detritica compreso tra 3.5 m a 6/7 m. A Nord e Sud dell'area di cantiere affiora **l'Unità di Chilivani (HVN)**, del **Distretto vulcanico di Bonorva**: Depositi da flusso piroclastico pomiceo-cineritici in facies ignimbratica, debolmente saldati, spesso argillificati, ricchi in pomici, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Am; la componente clastica è poligenica ed eterometrica (BURDIGALIANO); mentre a Nord dell'area affiora la **Subunità di Monte Poddighe (BGD5)** dei **Basalti del Logudoro**: Basalti transizionali e subordinati basalti alcalini, afirici, ipocristallini, con noduli peridotitici, in limitate colate (0,2 Ma: Beccaluva et alii, 1981)(PLEISTOCENE MEDIO);

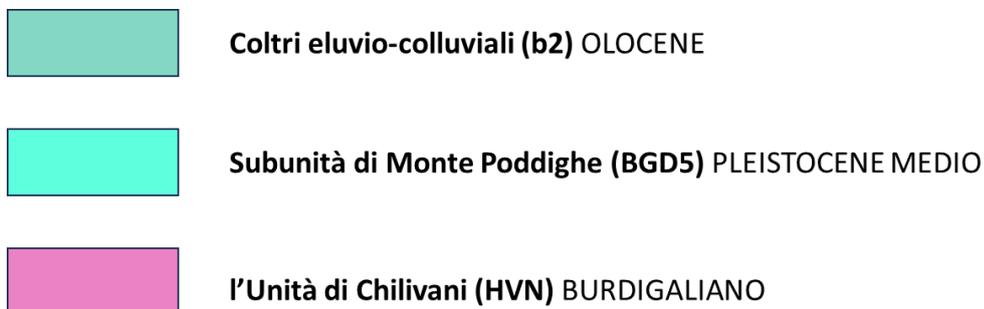
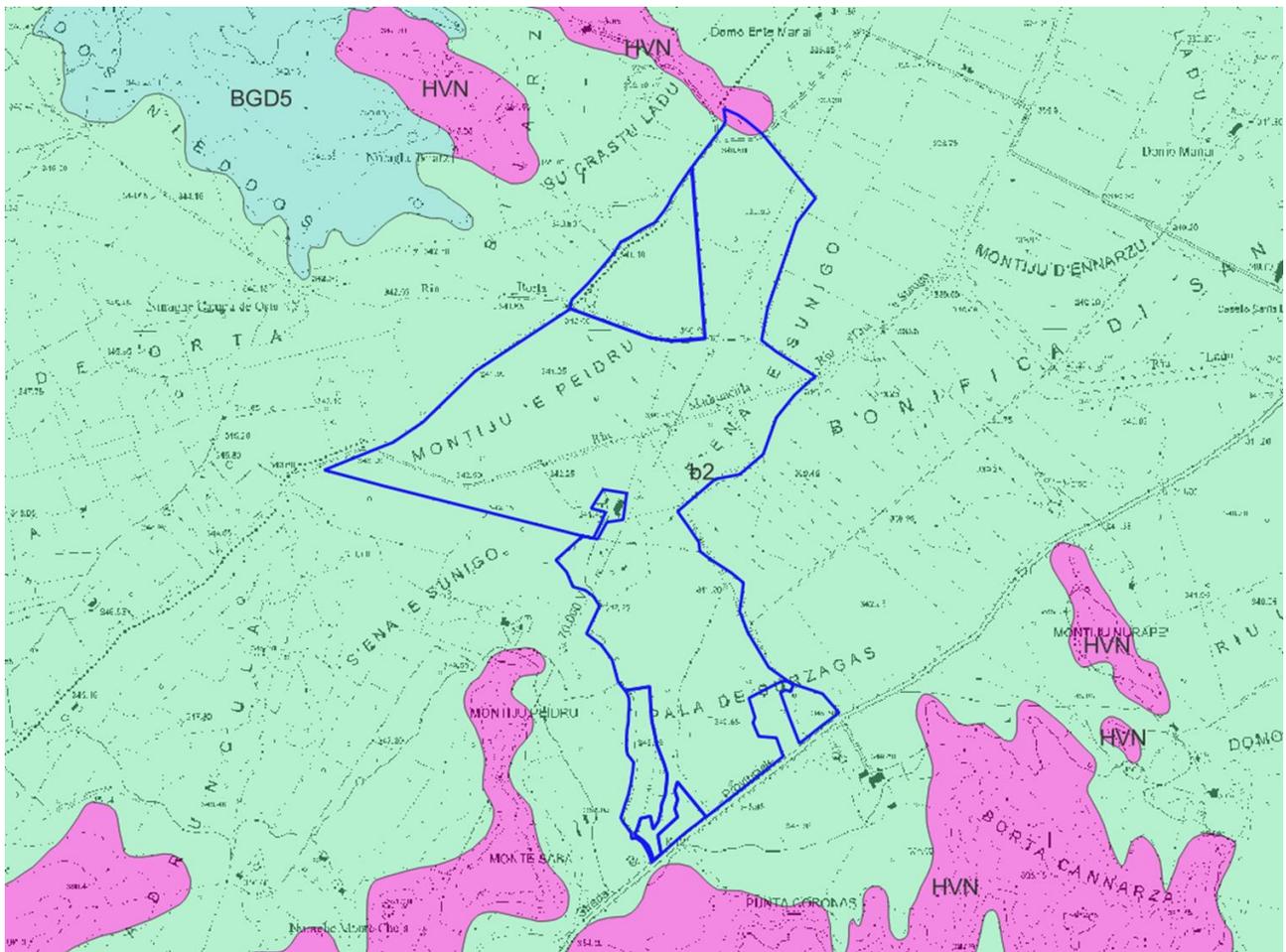


Figura 7: "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000" digitalizzata su CTR 1:10000

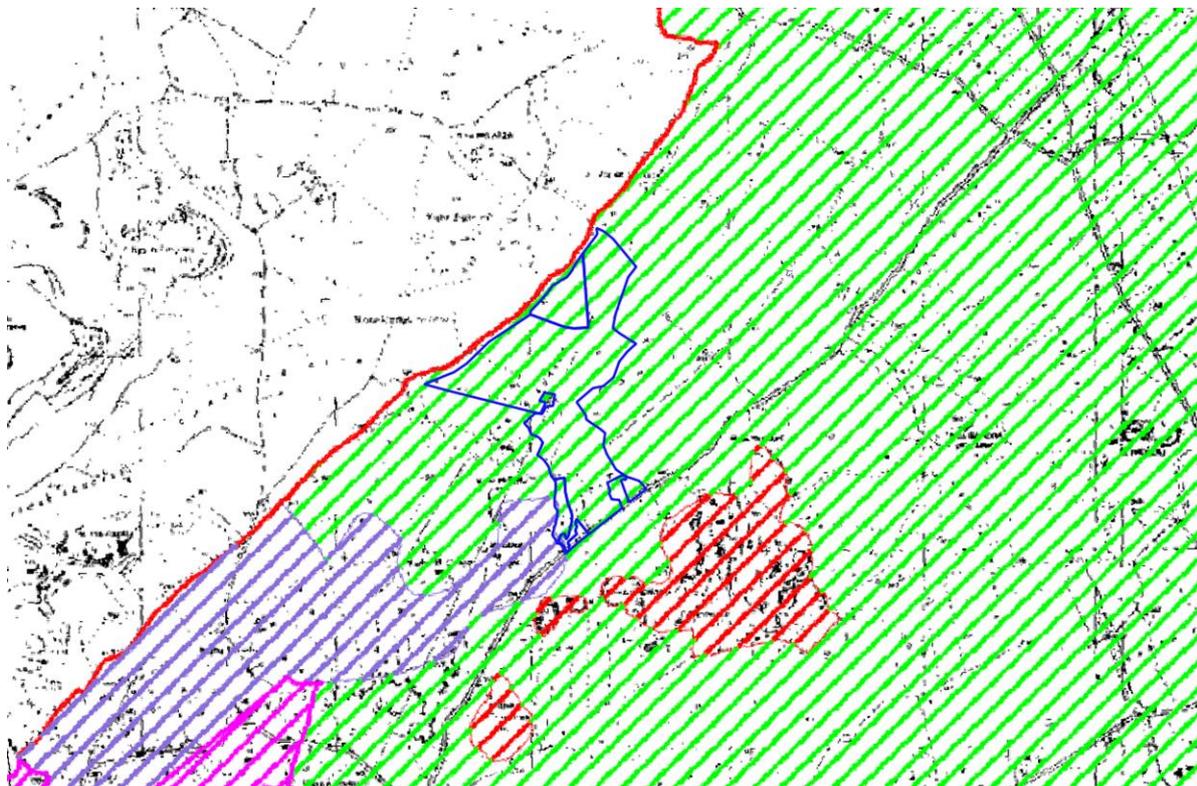
4. Inquadramento geomorfologico e Pericolosità Idraulica

Il comune di Bonorva si trova nella regione storica del Logudoro, nella sub-regione del Meilogu, a circa 47 km a sud-est di Sassari e a circa 35 km dalla costa NW della Sardegna. Il territorio è caratterizzato dall'altopiano di Campeda e presenta un profilo irregolare con significative variazioni altimetriche, con altitudini che vanno da 314 m s.l.m a 791 m s.l.m. Il centro abitato si trova lungo un pendio ripido a 509 m s.l.m., con l'Altopiano di Campeda a monte e la fertile piana di Santa Lucia a valle.

Da un punto di vista geomorfologico l'area del comune di Bonorva può essere distinta in due principali zone:

- Zona del Plateau basaltico: riconducibile all'Altopiano di Campeda nel settore SE del Comune; in questo tratto il substrato basaltico è sub-affiorante e la morfologia sub-pianeggiante, per cui sono assenti, in ragione dell'assenza di energia del rilievo, condizioni morfologiche potenzialmente innescanti fenomeni di instabilità.
- Zona del Terminazione meridionale del bacino del Logudoro: riconducibile al settore NW del Comune di Bonorva. Quest'area è caratterizzata principalmente da rilievi collinari e zone sub-pianeggianti; la morfologia di questo ambito territoriale, unitamente alla natura dei terreni sub-affioranti (calcareniti e siltiti, comporta, essenzialmente, la presenza di processi superficiali di alterazione/denudazione del substrato, che coinvolgono la coltre eluvio-colluviale.

L'area di studio si colloca nel settore centrale del territorio comunale di Bonorva, in Loc. Pala de Surzagas, a quote comprese tra 340 e 348 m s.l.m., in un contesto morfologicamente regolare e una pendenza del 5-10% verso NE, come dimostrato dalla "Carta dell'Altimetria" del Piano di Emergenza Comunale (PEC) e dalla "Carta dell'Acclività" del Piano Urbanistico Comunale (PUC) (Fig. 8-9). Sotto il profilo geomorfologico, come risulta dalla consultazione dei Piani di Bacino redatti dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA), ed in particolare delle "Carta del pericolo geomorfologico" e "Carta del rischio geomorfologico", l'area risulta priva di segni di manifestazioni attive o potenziali di instabilità, oltre che esente da processi di erosione da ruscellamento o ristagno di acque meteoriche, il sito risulta quindi stabile ed esente da problematiche di evoluzione geomorfologica (Fig. 10-11).



LEGENDA

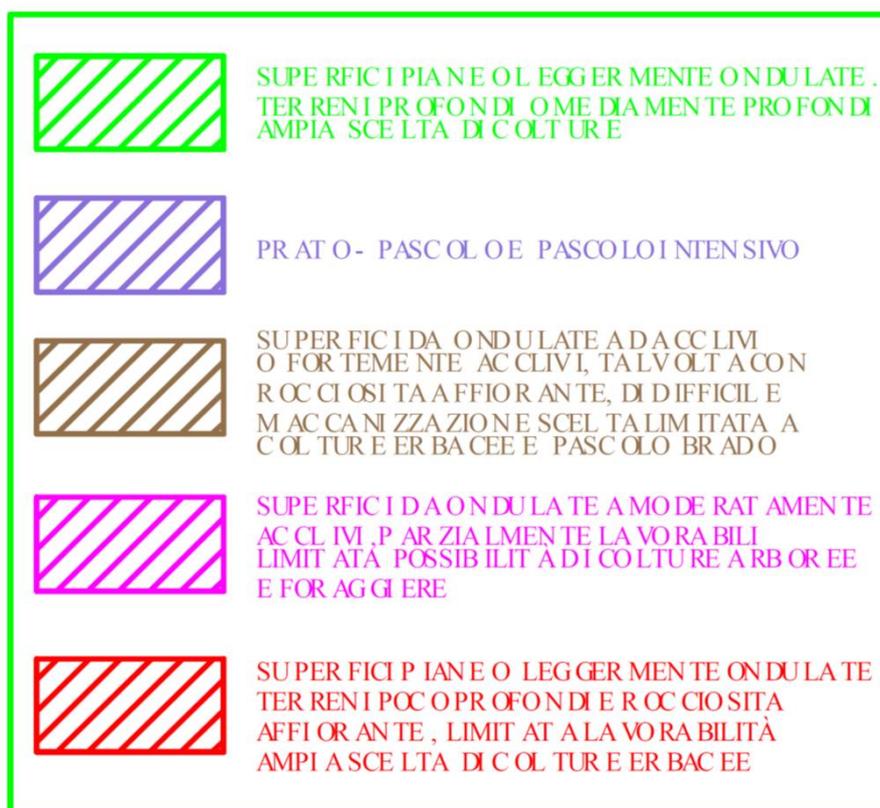
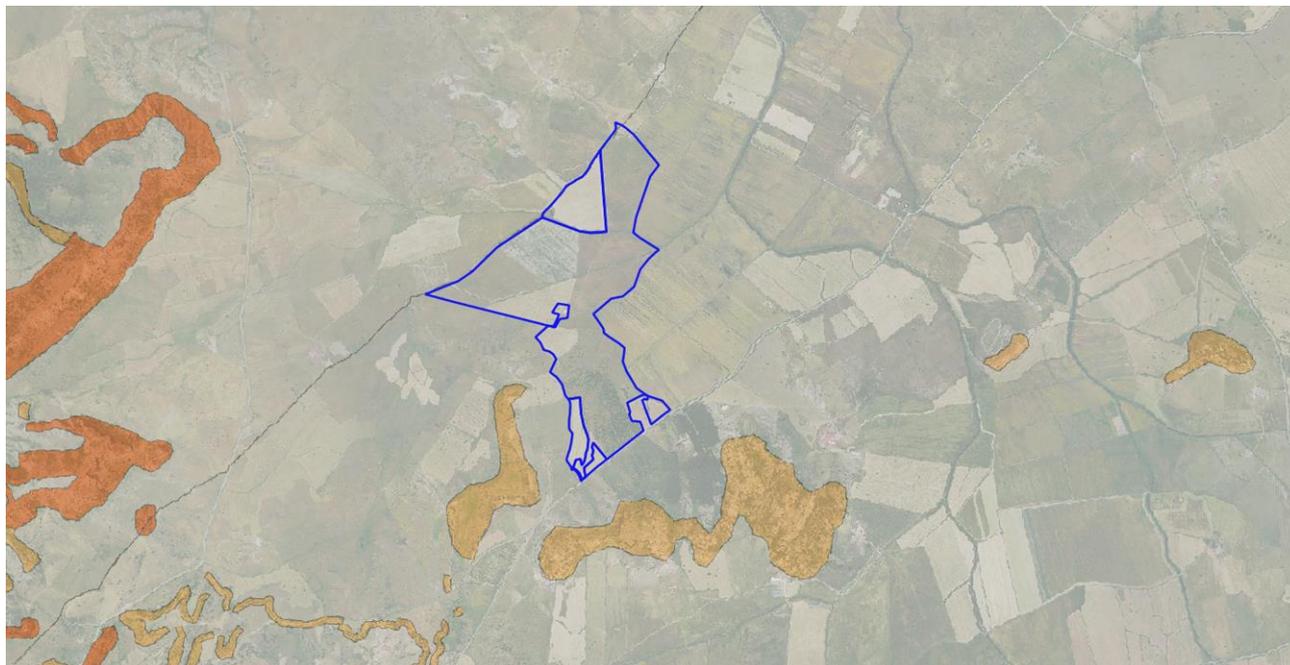
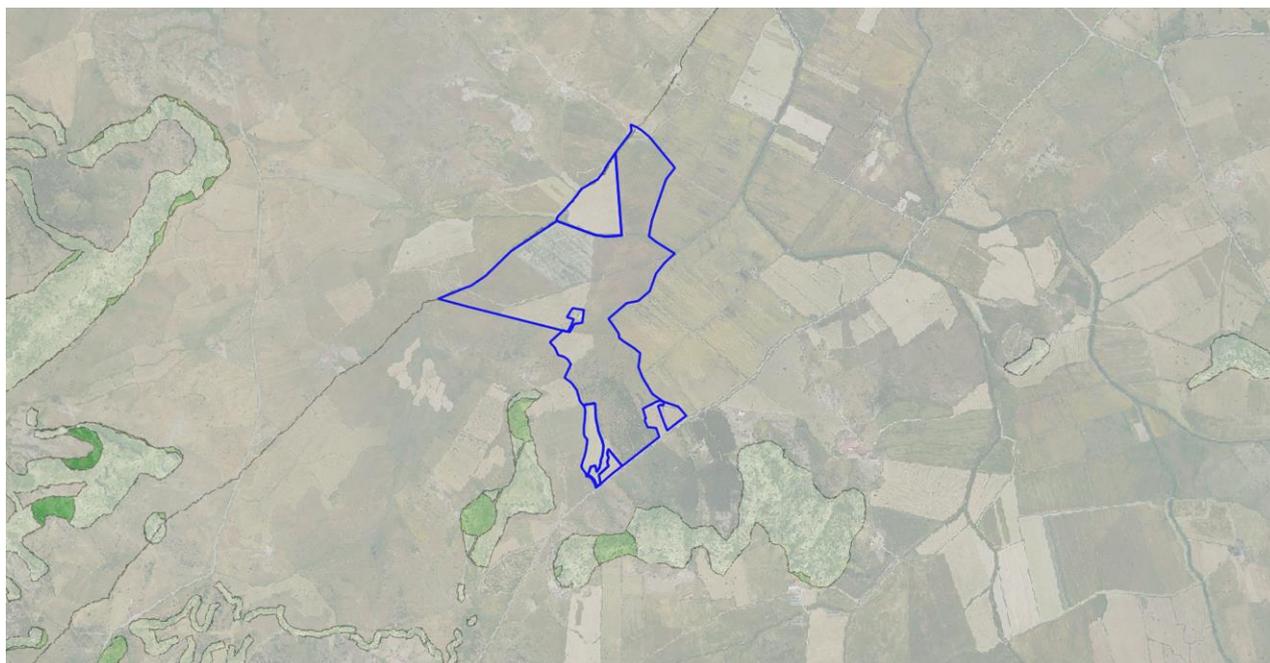


Figura 9: "Carta dell'Acclività" del Piano Urbanistico Comunale (PUC)

**Pericolo Geomorfologico (Rev. Dic_22)**

- Hg0 - (Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi)
- Hg1 - (Aree a pericolosità da frana Moderata)
- Hg2 - (Aree a pericolosità da frana Media)
- Hg3 - (Aree a pericolosità da frana Elevata)
- Hg4 - (Aree a pericolosità da frana Molto elevata)

Figura 10: "Carta del pericolo geomorfologico" dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA)



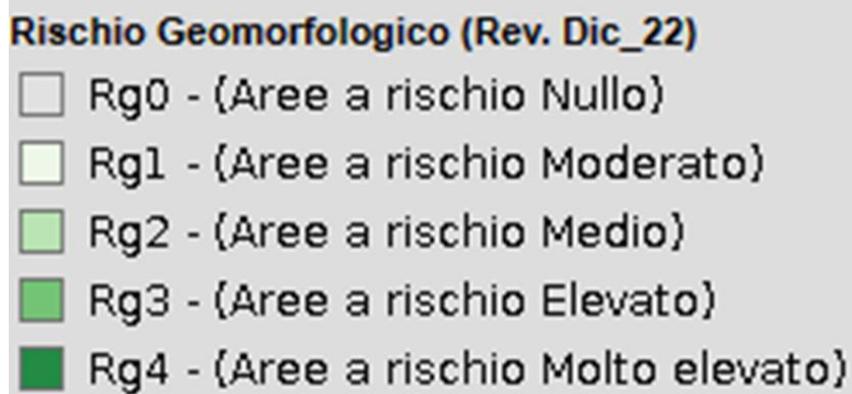


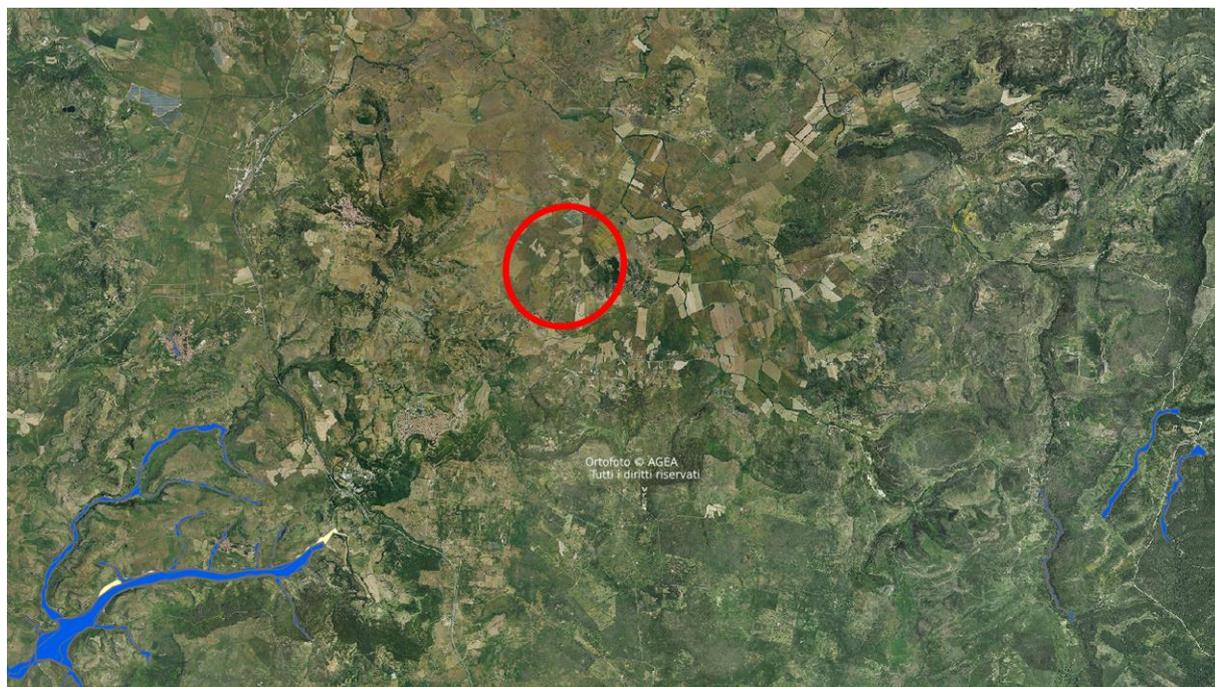
Figura 11: “Carta del rischio geomorfologico” dall’Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA)

Pericolosità Idraulica

Le varie documentazioni relative al rischio idraulico dall’Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA) indicano che l’area interessata dall’intervento in passato non è stata colpita da eventi alluvionali.

L’area interessata dal progetto, come dimostrato dalla “Carta del pericolo Idraulico” e segnata in zona a “**Pericolosità nulla Hi0 - P0**” – e nella “Carta del rischio Idraulico” e segnata in zona a “**Rischio nullo Rio**” (Fig. 12-13).

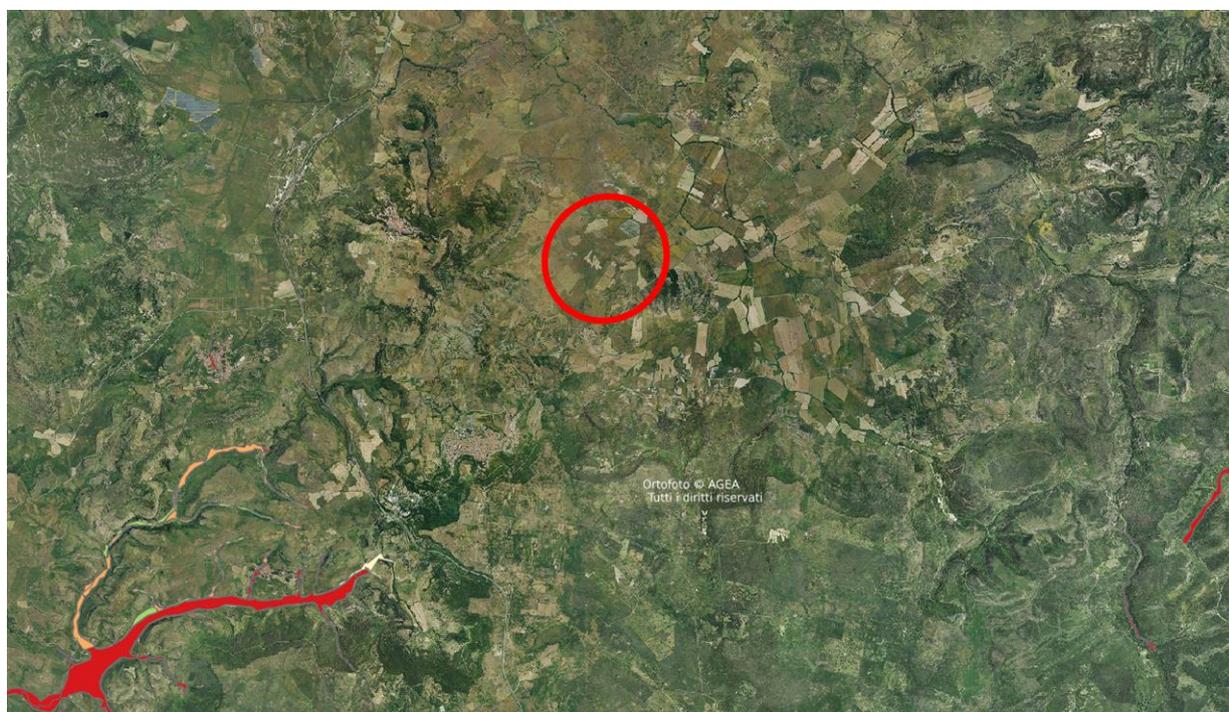
L’Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA) ha realizzato anche la “Carta del danno potenziale”, secondo cui l’area di interesse è segnalata in zona **D2 = Danno potenziale Medio** (Fig. 14-15).



Pericolo Idraulico (Rev. Dic_22)

- Hi* - (Aree da modellazione 2D con $V_p \leq 0,75$)
- Hi0 - P0 (Tratto studiato nel quale la piena risulta contenuta all'interno delle sponde per tutti i Tr)
- Hi1 - P1 (Aree a pericolosità idraulica Moderata o Fascia geomorfologica)
- Hi2 - P2 (Aree a pericolosità idraulica Media)
- Hi3 - P2 (Aree a pericolosità idraulica Elevata)
- Hi4 - P3 (Aree a pericolosità idraulica Molto elevata)

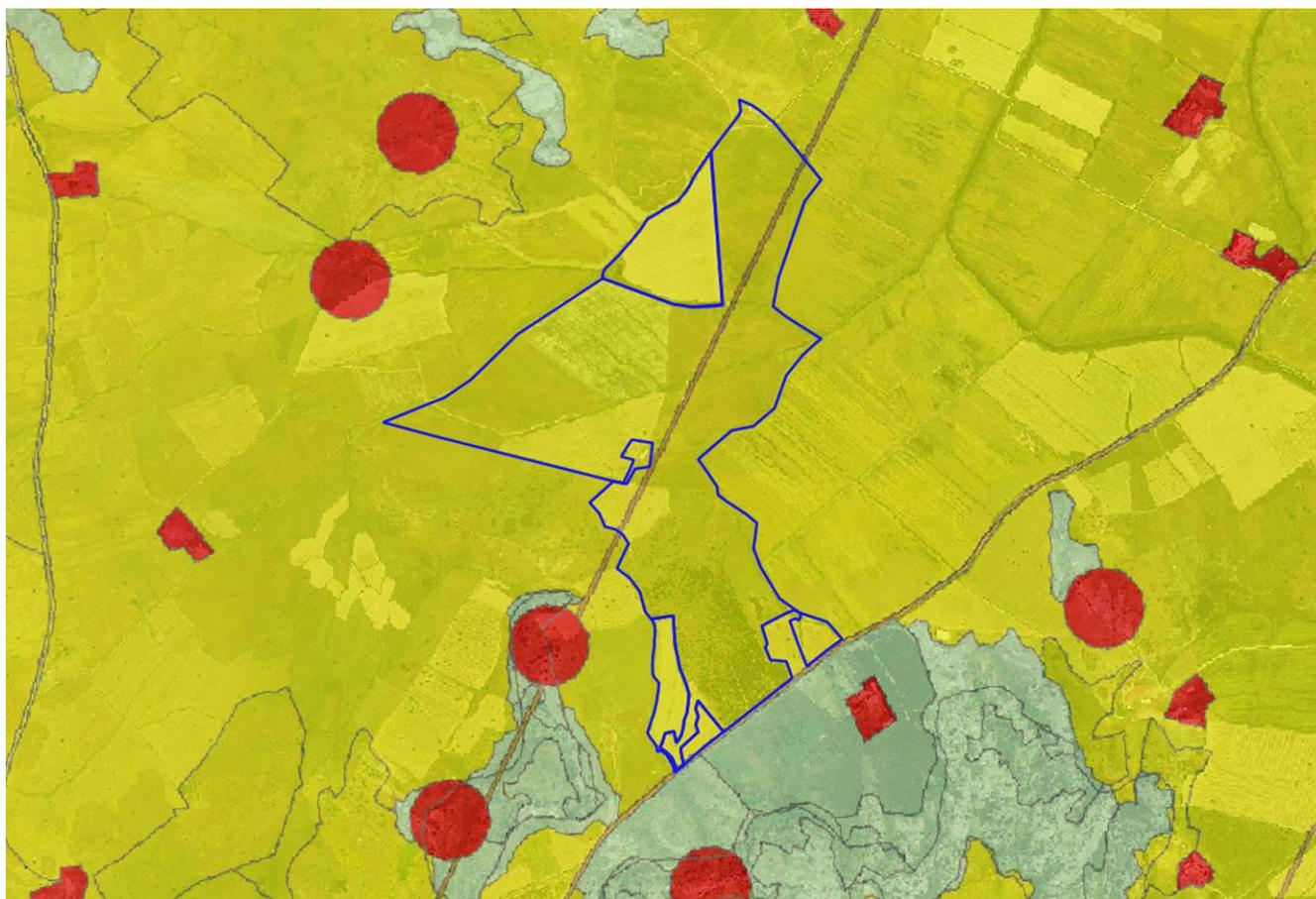
Figura 12: "Carta del pericolo Idraulico" dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA)



Rischio Idraulico (Rev. Dic_22)

- Ri0 - {Aree a rischio Nullo}
- Ri1 - {Aree a rischio Moderato}
- Ri2 - {Aree a rischio Medio}
- Ri3 - {Aree a rischio Elevato}
- Ri4 - {Aree a rischio Molto elevato}

Figura 13: "Carta del rischio Idraulico" dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA)

**Danno Potenziale (Rev. Dic_22)**

- D1
- D2
- D3
- D4

Figura 14: "Carta del danno potenziale" dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA)

Danno Potenziale (Rev. Dic_22)	
Name ▲	Value
classe_d	D2
classe_e	E2
codice	6a
descrizion	Seminativi in aree non irrigue
elemento	Superfici agricole seminate
fonte	UDS - RAS
macrocat	Zone agricole, zone umide, corpi idrici
oggetto	Variante generale e revisione del P.A.I. della RAS, di cui all'art.37 com...
peso	0.500000000000
revisione	36
rif_norm	Delibera di Comitato Istituzionale n. 1 del 16.06.2015
shape_area	3121859.8484
shape_leng	20007.1500
shape_le_1	20006.81550670000
v	1
verifica	Macrocat 6=Ok

ortofoto 2019

Figura 15: Tabella del danno potenziale dell'area - Autorità di Bacino della Regione Sardegna (PAI-PGRA)

5. Inquadramento idrogeologico

Per quanto riguarda il sistema idrografico superficiale, si osservano vaste aree con una rete di corsi d'acqua relativamente semplice, costituiti principalmente da piccoli torrenti come il "Rio S'ena e Sunigo" e il "Rio Ladu", appartenenti al Bacino idrografico del Fiume Coghinas, che fungono da naturale sistema di drenaggio per l'acqua piovana proveniente dalle precipitazioni. L'andamento di questi torrenti è principalmente influenzato dalla presenza di fratture strutturali e, in misura limitata, da fenomeni erosivi (Fig. 16).

Dal punto di vista idrogeologico, i complessi idrogeologici presenti nell'area di interesse possono essere suddivise in tre complessi con caratteristiche diverse:

- **Complesso degli strati olocenici di materiale eluvio-colluviale e detritico:** Questo complesso include terreni costituiti da uno strato sottile di materiali eterogenei, come ciottoli e blocchi immersi in una matrice prevalentemente composta da sabbia e limo. Le caratteristiche granulometriche di questi depositi portano a una permeabilità variabile con una trasmissività limitata dovuta alla scarsa profondità del livello d'acqua satura. La permeabilità primaria stimata varia tra 1×10^{-1} m/s e 1×10^{-3} m/s.
- **Complesso di rocce basaltiche plio-pleistoceniche:** Questo complesso è costituito da rocce basaltiche fessurate e porose, che offrono una permeabilità secondaria dovuta alle fratture, con un valore complessivo che varia da medio-basso a medio, localmente a medio-alto. Le rocce presenti includono basalti fessurati e porosi, trachifonoliti, ignimbriti, rioliti, trachiti e tufi pomiceo-cinertici, con una permeabilità stimata tra 1×10^{-5} m/s e 1×10^{-7} m/s.
- **Complesso calcareo oligo-miocenico:** Questo complesso può essere suddiviso in due sottocomplessi: uno è costituito da calcari bioclastici e calcareniti mediamente fratturati o carsificati, offrendo una permeabilità secondaria da media a medio-alta, principalmente a causa delle fratture e/o fenomeni di carsismo, con un valore stimato tra 1×10^{-3} m/s e 1×10^{-5} m/s. L'altro sottocomplesso è costituito da marne poco fratturate, comprese marne con presenza di siltite e marne arenacee e calcaree, caratterizzate da una bassa a bassissima permeabilità per fratturazione, con un valore approssimato tra 1×10^{-8} m/s e 1×10^{-10} m/s.

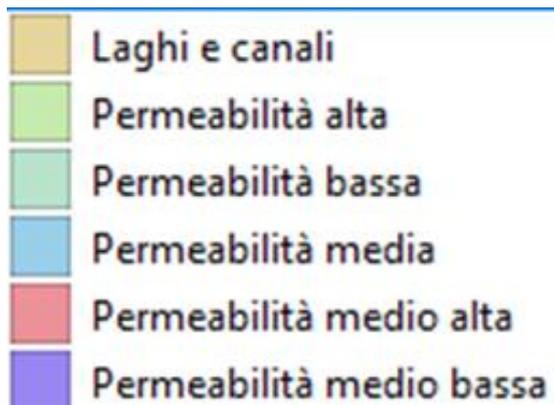
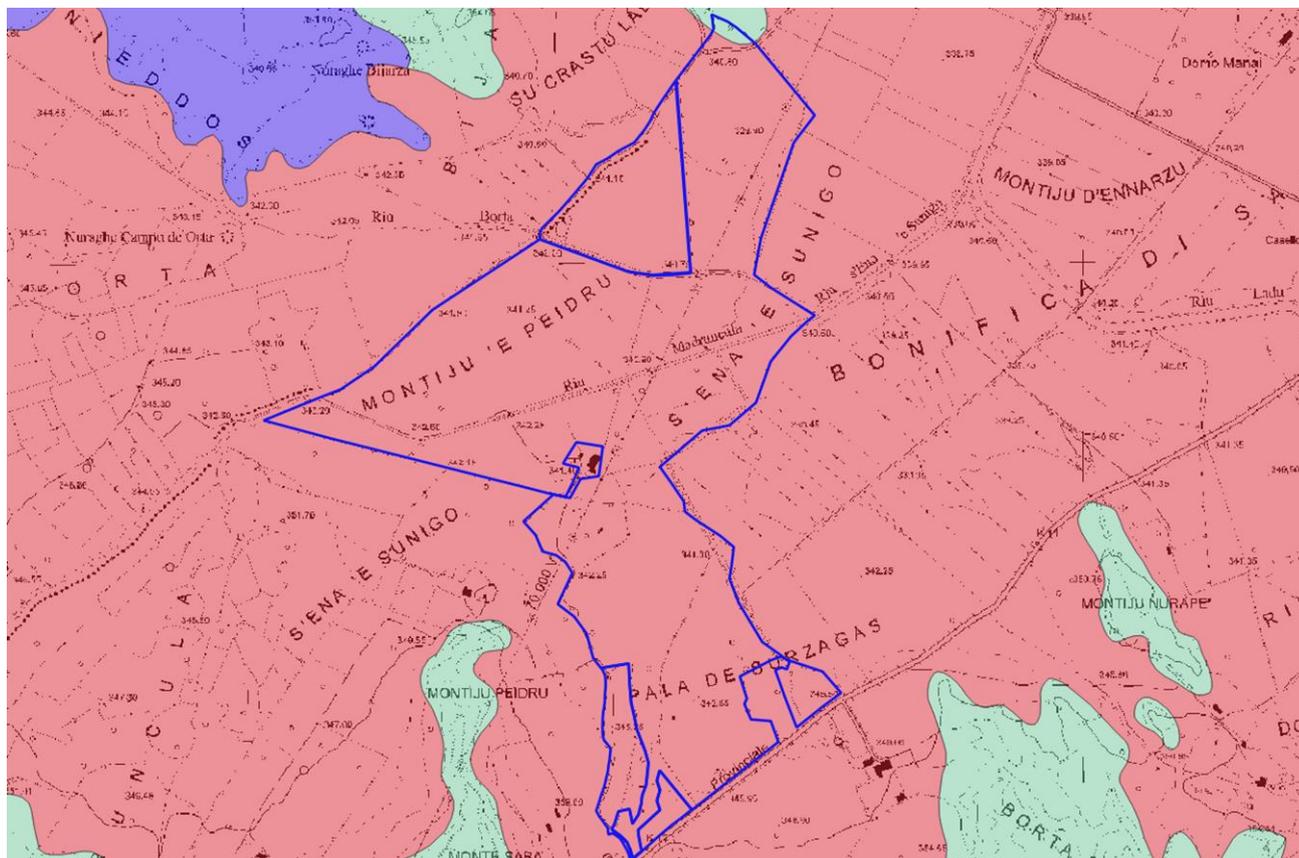


Figura 17: "Carta delle permeabilità della Regione Sardegna in scala 1:25.000"

6. Inquadramento sismico

Con OPCM 3519/06 lo Stato ha definito i criteri nazionali con il quale ogni Regione deve aggiornare la classificazione sismica del proprio territorio, questo ha portato a valutare la classificazione sismica del territorio con parametri sismogenetici svincolati dal solo criterio amministrativo utilizzato in precedenza. L'ordinanza PCN n. 3519/06 è stata recepita attraverso la Del. GRT n. 878 del 8/10/2012 e successivamente aggiornata dalla Del. GRT n. 421 del 26/05/2014.

In conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 3274 del 2003 con la quale si stabiliscono i nuovi criteri per la classificazione sismica del territorio italiano, e la delibera della Regione Sardegna n° 15/31 del 20 marzo 2004, l'Isola è classificata come zona 4. Tale tipologia di rischio si può quindi considerare di entità moderata.

ZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Tabella 1 : Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)

la Protezione Civile ha realizzato, nel 2014, una Carta delle zone sismiche del territorio nazionale, con indicati i limiti comunali, e a ciascuna di loro ha assegnato un valore di pericolosità compreso, in senso decrescente, tra da 1 e 4, confermando il territorio comunale di Bonorva (SS), in cui è sita l'area di studio, nella **zona sismica 4** (Fig. 18).



Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della protezione civile
 Ufficio rischio sismico e vulcanico



Classificazione sismica al 2014

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3201.
 Atti di recepimento al 1° giugno 2014. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DCR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 11/11/04, n. 3477.
 Emilia Romagna: DGR 21/7/03, n. 1435. Friuli Venezia Giulia: DGR 6/5/10, n. 845. Lazio: DGR 22/5/09, n. 387. Liguria: DGR 19/11/10, n. 1362. Lombardia: DGR 7/11/03, n. 14964.
 Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molise: DGR 2/8/06, n. 1171. Piemonte: DGR 12/12/11, n. 4-3084. Puglia: DGR 2/3/04, n. 153. Sardegna: DGR 30/3/04, n. 15/31.
 Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 8/10/12, n. 878. Trentino Alto Adige: Bolzano, DGP 6/11/06, n. 4047; Trento, DGP 27/12/12, n. 2919. Umbria: DGR 18/9/12, n. 1111.
 Veneto: DCR 3/12/03, n. 67. Valle d'Aosta: DGR 30/12/03, n. 5130.

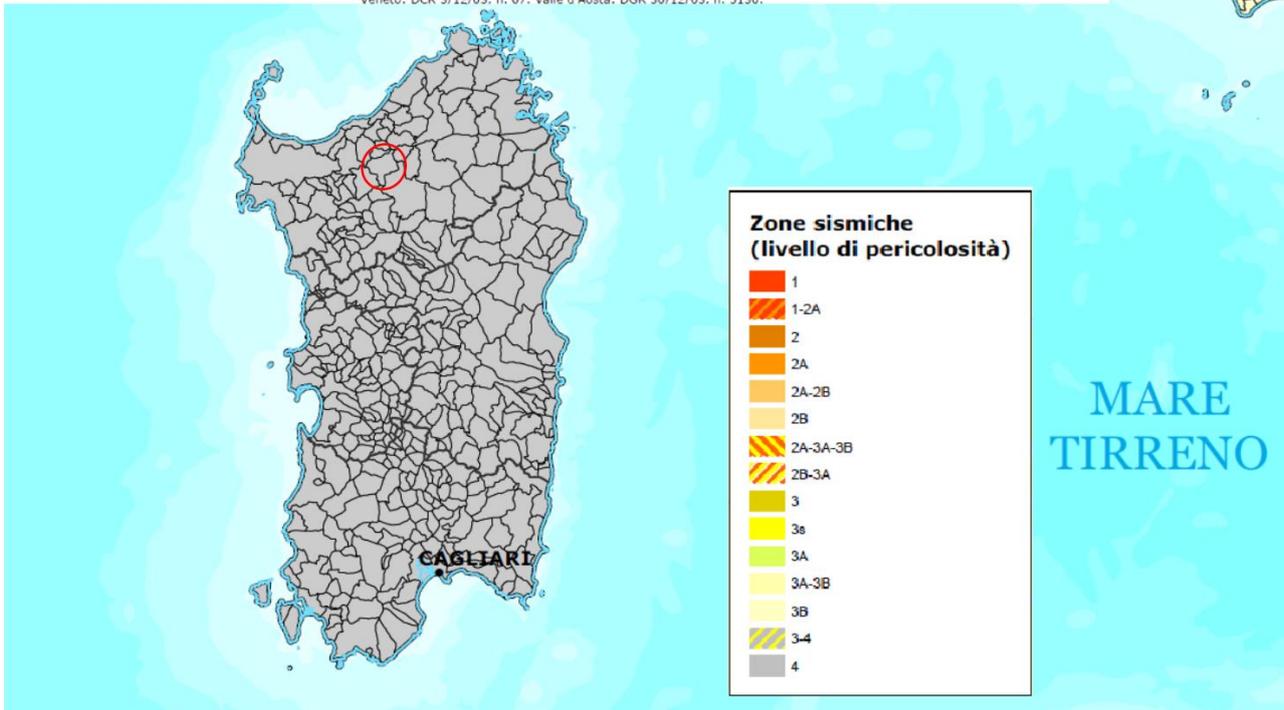
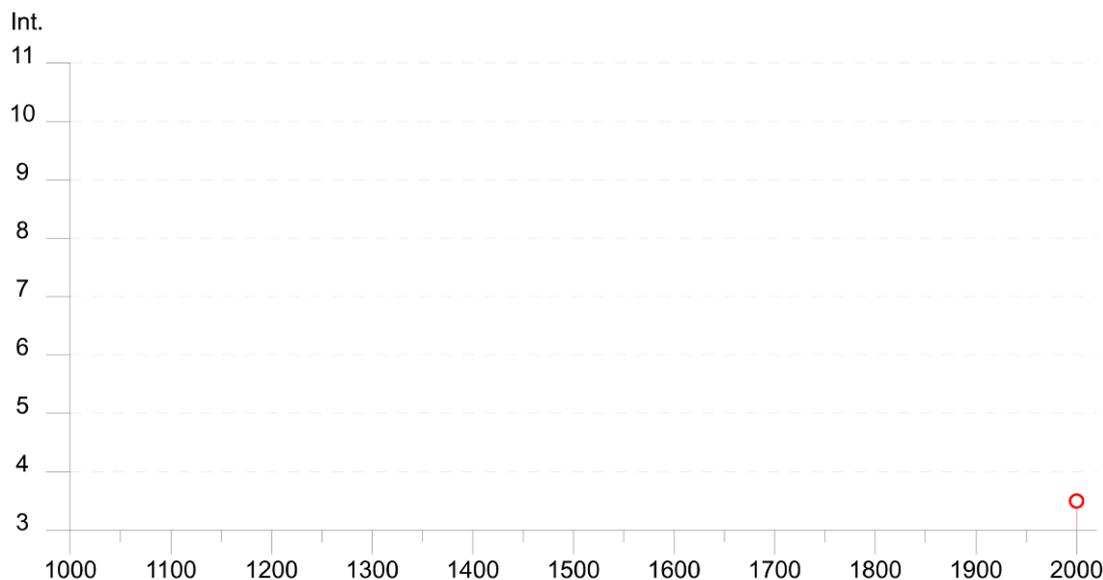


Figura 18: Classificazione Sismica della Sardegna (2014)

Studi riguardanti la distribuzione delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>) indicano, per il Comune di Bonorva (SS), come principali eventi sismici che hanno avuto un grande risentimento fino al 2015, quelli riportati nella tabella di seguito riportata con: I - Intensità sismica al sito (MCS); Data - Anno mese giorno e orario; Ax Zona epicentrale; Np - numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io - Intensità sismica epicentrale (MCS); Mw - Magnitudo momento.

Bonorva

PlaceID	IT_68156
Coordinates (lat, lon)	40.418, 8.768
Municipality (ISTAT 2015)	Bonorva
Province	Sassari
Region	Sardegna
No. of reported earthquakes	1



Effects		Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw	
3-4	2000	04	26	13	37	4	Tirreno centrale	265		4.77	

Closest localities (within 10km) with reported macroseismic observations

Place name	EQs	Distance (km)
Giave	2	4
Cossoine	1	5
Pozzomaggiore	1	9

Tabella 2: Sismicità storica del Comune di Bonorva (SS) (<http://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/>)

Dalla Carta dei Valori di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale (Fig. 19), si osserva che l'accelerazione orizzontale massima del suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi, è compresa per la zona d'esame nell'intervallo 0.025 ÷ 0.050.

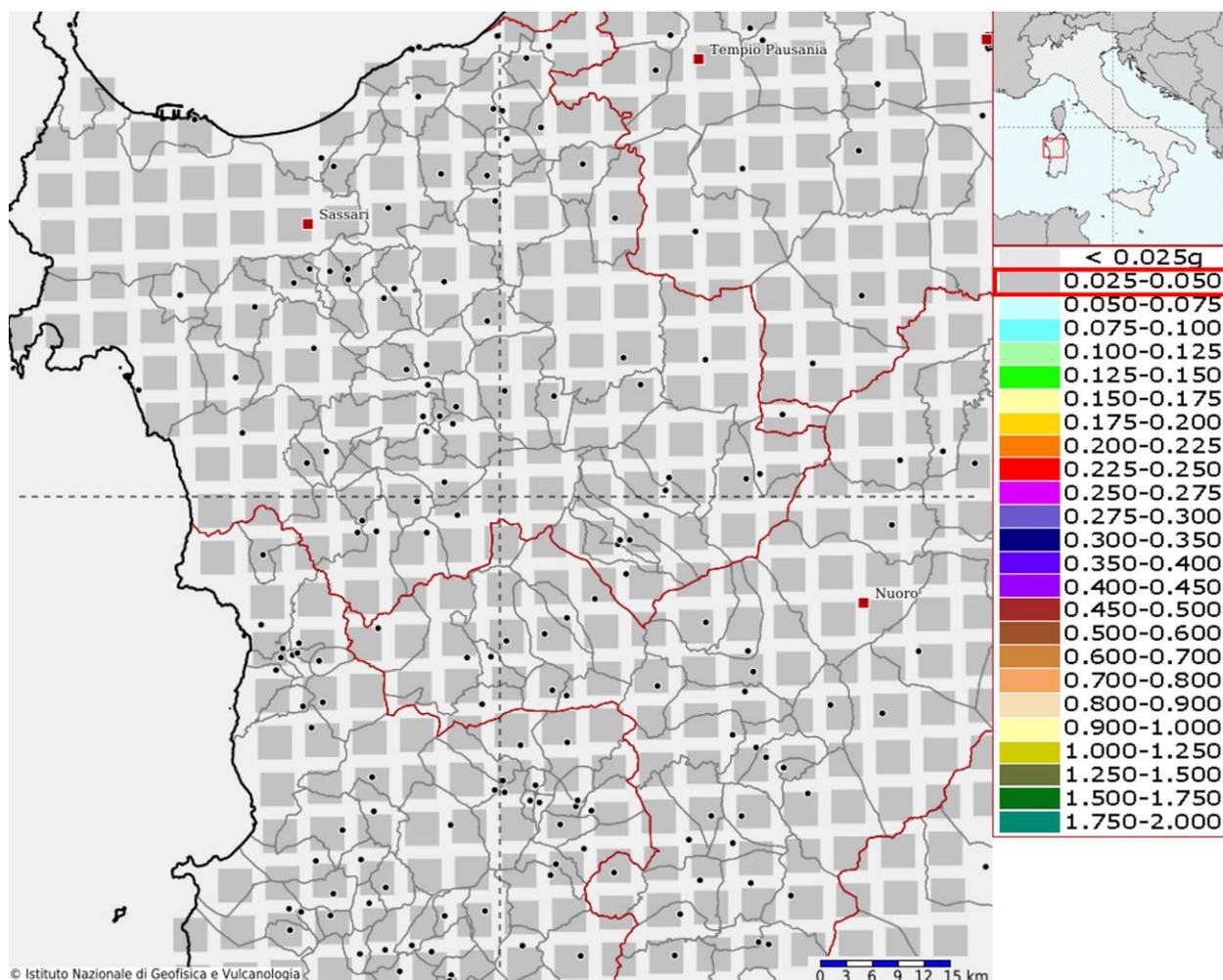


Figura 19: Stralcio carta dei valori di pericolosità sismica per territorio del Comune di Bonorva (SS)

Per quanto riguarda il livello di pericolosità sismica e la definizione degli elementi per la valutazione degli effetti locali e di sito per la riduzione del rischio sismico, va segnalato che non è stato eseguito uno studio di microzonazione sismica in quanto il Comune di Bonorva è stato inserito in zona sismica 4, ed in zona 4 non è prevista l'obbligatorietà della Microzonazione sismica.

7. Modalità di esecuzione delle indagini sui terreni

Le indagini svolte per la caratterizzazione geotecnica e sismica dei litotipi affioranti sul sito di riferimento possono essere riassunte in:

- N. 9 Prova penetrometrica dinamica DPSH
- N. 5 Prova sismica tipo MASW

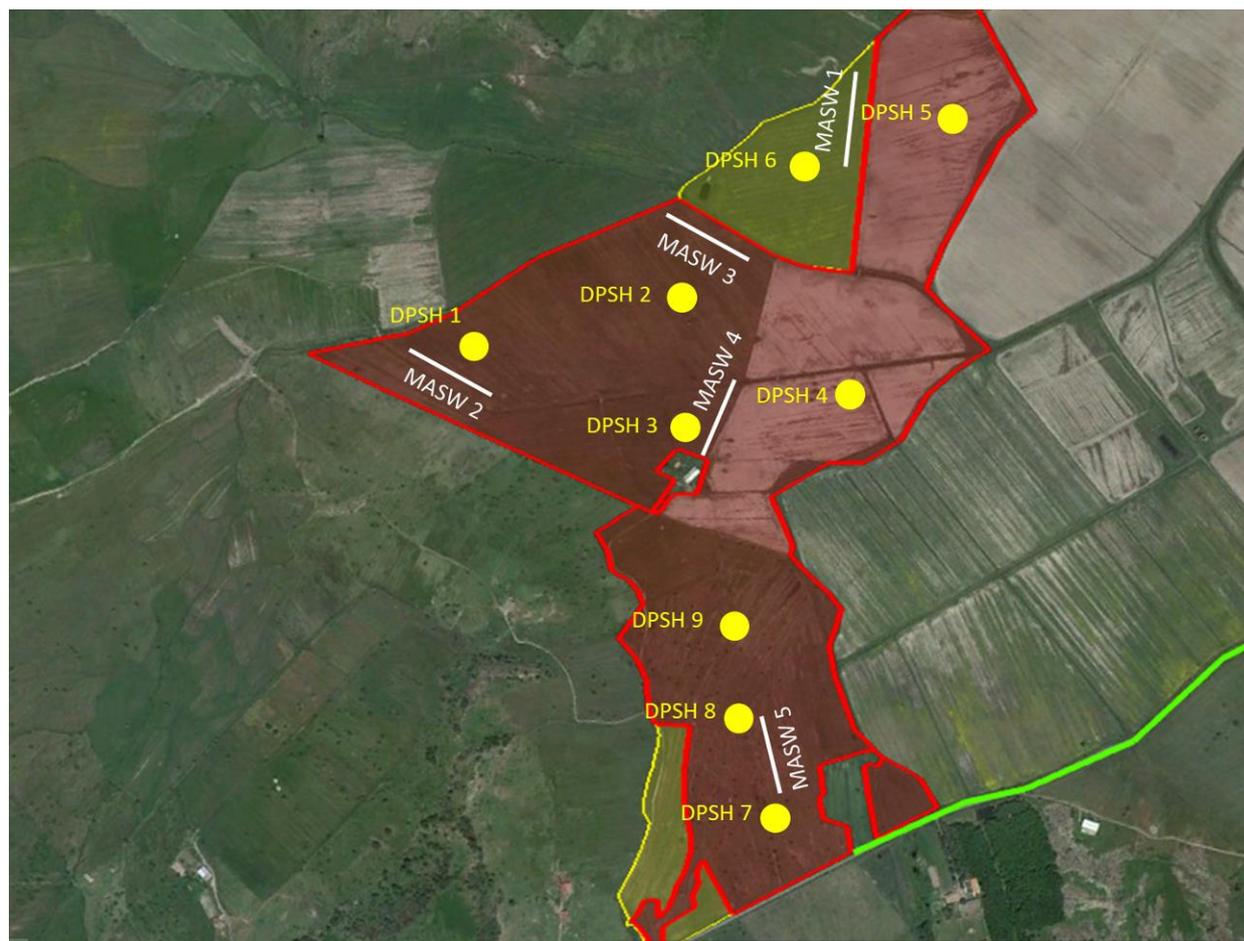


Figura 20: Ubicazioni indagini geognostiche e sismiche

L'ubicazione delle suddette indagini è consultabile nell'**Allegato 3**

7.1. Prove penetrometriche dinamiche DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica misurando il numero di colpi N necessari. Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D , area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella 2 sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)

- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa	Prof. Max. indagine (m)
Leggero	DPL (Light)	$M < 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 < M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M > 60$	25

Tabella 3: Classificazione ISS MFE Penetrometri dinamici



Figura 21: Penetrometro Super Pesante Pagani Tg 63-100

Correlazione con *Nspt*

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti

riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (\bar{e}/N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N1)60

(N1)60 è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$(N1)60 = CN \times N60$ con $CN = \sqrt[3]{Pa/\bar{e}^3vo}$ $CN < 1.7$ $Pa = 101.32$ kPa (Liao e Whitman 1986)

$N60 = NSPT \times (ER/60) \times Cs \times Cr \times Cd$

ER/60: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

Cs: Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

Cd: Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

Cr: Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

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

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali

litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare, consente di ottenere informazioni su:

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

7.2. Prove sismiche tipo MASW

Per la classificazione sismica dei terreni sono state eseguite n.5 indagini sismiche, con metodo "MASW" ovvero *Multichannel Analysis of Surface Waves*, per la determinazione delle V_{seq} , ai fini della valutazione dell'azione sismica sulle strutture in progetto, come previsto dalle N.T.C. 2018.

La V_{seq} è il parametro geofisico che rappresenta meglio la variabilità geotecnica dei materiali presenti nel sottosuolo; è un parametro elastico essenziale per la caratterizzazione geomeccanica di un terreno (Modulo di taglio).

La V_{seq} rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S al di sopra del bed-rock sismico e si calcola mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = S / \sum h_i / V_i$$

dove:

V_i = velocità onde S dello strato i-esimo; h_i = spessore (m) strato i-esimo;

N = numero strati nei primi 30 m.

Il parametro V_{seq} può essere acquisito con:

- prove in foro (Down hole÷Cross hole)
- profili sismici (Riflessione o Rifrazione)
- modellazione del sottosuolo mediante analisi delle onde di Rayleigh (MASW-SASW, ReMI).

Le onde sismiche che si propagano nel suolo sono essenzialmente di due tipi:

- onde di corpo: onde di volume(P) e onde di Taglio (SV e SH)
- onde di superficie: onde di Rayleigh (P+SV), onde di Love (SH), onde di Lamb.

Si tende a considerare l'onde di superficie perché la percentuale di energia convertita in onde Rayleigh è di gran lunga predominante rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P e S come evidenziato nella seguente tabella.

Tipo di onda	Percentuale di totale energia
RAYLEIGH	67%
S	26%
P	7%

Tabella 4: Energia convertita in onda sismica

La propagazione delle onde Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità è innanzitutto funzione della V_s , parametro di fondamentale nella caratterizzazione geotecnica di un sito e negli studi di amplificazione dello scuotimento sismico.

La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è pari a circa il 90% delle onde di Taglio (V_s). Il metodo è basato sulla dispersione delle onde superficiali il cui studio è particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi. La dispersione delle onde superficiali non è limitata, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità e consente una buona risoluzione, a differenza del metodo a riflessione. Inoltre, permette la ricostruzione della distribuzione verticale della velocità delle onde di Taglio (S), fondamentale per la caratterizzazione geotecnica del sito.

Nel caso specifico, per la valutazione della velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità, a partire dal piano di campagna, è stata impiegata la tecnica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Si tratta di una tecnica di tipo attivo in cui la generazione delle onde superficiali si ottiene mediante energizzazione artificiale; così facendo si genera nel terreno un treno di onde complesso comprendente le onde di Rayleigh.

La tecnica MASW si basa sulla registrazione dei primi arrivi delle onde superficiali prodotte, simultaneamente sui 12 o più canali (geofoni). Così facendo si ottiene per ogni stendimento geofisico un profilo verticale del valore della velocità di taglio e di conseguenza il valore della V_{s30} da cui si evince la categoria sismica.

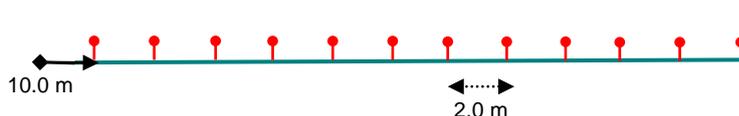
L'indagine geofisica è stata eseguita con un sismografo DOREMI della Sara Electronic Instruments (figura 22).



Figura 22: Sismografo DOREMI della Sara Electronic Instruments

Durante le prove sono stati utilizzati 12 geofoni da 4.5 Hz posizionati a distanza intergeofonica di 2 metri; l'energizzazione è stata effettuata utilizzando una mazza da 8 kg ed è stata ripetuta con "minimun offset" di 5 m.

Configurazione tipo dei rilievi sismici MASW acquisiti presso il PV



I geofoni che registrano i tempi di arrivo delle onde sono stati posizionati per infissione nel terreno; la scelta del metodo di acquisizione è sempre dipendente dalla litologia dei terreni localmente incontrati.

Per l'elaborazione dei dati è stata utilizzato il programma EASY MASW che ha permesso l'elaborazione della Vseq relativamente alle prove geofisiche eseguite, rendendo così possibile la determinazione della categoria sismica come da norma di legge (NTC 17/01/2018).

8. Elaborazione e risultati delle indagini sui terreni

8.1. Risultati prove penetrometriche DPSH

Nel presente paragrafo è riassunto l'assetto stratigrafico emerso dai rilievi eseguiti in situ ed estesi alle aree limitrofe. Considerando i valori di resistenza del terreno indagato attraverso le prove penetrometriche è emerso che l'area è caratterizzata da terreno vegetale, sabbioso limoso di origine fluviale e vulcanica per i primi 0.6/1.0 m dal p.c., ed in profondità da sabbie e ghiaie detritiche immerse in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica, sempre di origine fluviale e vulcanica. Dal rifiuto strumentale della prova DPSH 2 a -3.4 m dal PC, è possibile ipotizzare uno spessore della coltre eluvio colluviale-detritica, compreso tra 3.5 m a 6/7 m. È stato possibile attraverso le caratteristiche geotecniche suddividere il terreno investigato in 3 livelli litotecnici, riconducibili a depositi di natura fluviale e vulcanica.

Per le schede di elaborazione e i log penetrometrici consultare **l'allegato 5**

- **Livello litotecnico 1:** terreno vegetale, sabbioso limoso debolmente argilloso di origine fluviale e vulcanica, da sciolto a moderatamente addensato, di colore marrone scuro, asciutto

È presente da **0.0 m a 0.6/1.0 m** dal piano campagna, l'andamento del numero di colpi individua un terreno prevalentemente di natura granulare con una componente coesiva.

Il numero di colpi medio uniformato alle prove SPT è:

$$1 < N_{SPT} \text{ colpi (30 Cm)} < 11$$

Da cui:

Terreno granulare con una componente coesiva, da poco a moderatamente addensato

- **Livello litotecnico 2:** Depositi sabbioso limosi di origine fluviale e vulcanica, da poco a moderatamente addensati, di colore marrone chiaro, **saturo a partire da - 1.0 m (DPSH 2) a - 3.8 (DPSH 7) dal PC.**

È presente da **0.6/1.0 m a 2.2/5.0 m** dal piano campagna, l'andamento del numero di colpi individua un terreno prevalentemente di natura granulare con una componente coesiva.

IL numero di colpi medio uniformato alle prove SPT è:

$$2 < N_{SPT} \text{ colpi (30 Cm)} < 23$$

Da cui:

Terreno granulare, da sciolto ad addensato

- **Livello litotecnico 3 (presente nelle prove DPSH 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9):** Depositi sabbiosi debolmente limosi di origine fluviale e vulcanica, da sciolti ad addensati, di colore marrone chiaro, **saturo a partire da - 1.0 m (DPSH 2) a - 3.8 (DPSH 7) dal PC.** Nella prova DPSH 2 a - 3.4 m dal PC è stato riscontrato il rifiuto strumentale per la probabile presenza del bedrock vulcanico.

È presente da **2.2/5.0 m a 5.0 m** dal piano campagna, l'andamento del numero di colpi individua un terreno prevalentemente di natura granulare.

IL numero di colpi medio uniformato alle prove SPT è:

$$2 < N_{SPT} \text{ colpi (30 Cm)} < 41$$

Da cui:

Terreno granulare, moderatamente addensato

		Prova penetrometrica dinamica				
		DPSH 1	DPSH 2	DPSH 3	DPSH 4	
Livello Litotecnico	1	Profondità (m)	0.6	0.8	0.6	0.8
		Spessore (m)	0.6	0.8	0.6	0.8
		Peso di volume saturo γ_{sat} (t/m ³)	1.88	1.87	1.86	1.87
		Peso di volume naturale (t/m ³)	1.49	1.41	1.37	1.45
		Angolo di attrito (°)	29	29	28	29
		Coesione non drenata C_u (Kg/Cm ²)	0.24	0.14	0.09	0.18
		Modulo edometrico (Kg/Cm ²)	35	32	30	33
	2	Profondità (m)	3.2	2.2	5.0	5.0
		Spessore (m)	2.6	1.4	4.4	4.2
		Peso di volume saturo γ_{sat} (t/m ³)	1.89	1.90	1.88	1.89
		Peso di volume naturale (t/m ³)	1.56	1.63	1.51	1.54
		Angolo di attrito (°)	30	30	29	29
		Coesione non drenata C_u (Kg/Cm ²)	0.34	0.45	0.27	0.31
		Modulo edometrico (Kg/Cm ²)	39	42	36	38
	3	Profondità (m)	5.0	3.4	-	-
		Spessore (m)	1.8	1.2	-	-
		Peso di volume saturo γ_{sat} (t/m ³)	1.91	2.50	-	-
		Peso di volume naturale (t/m ³)	1.71	2.11	-	-
		Angolo di attrito (°)	31	36	-	-
		Modulo edometrico (Kg/Cm ²)	47	84	-	-

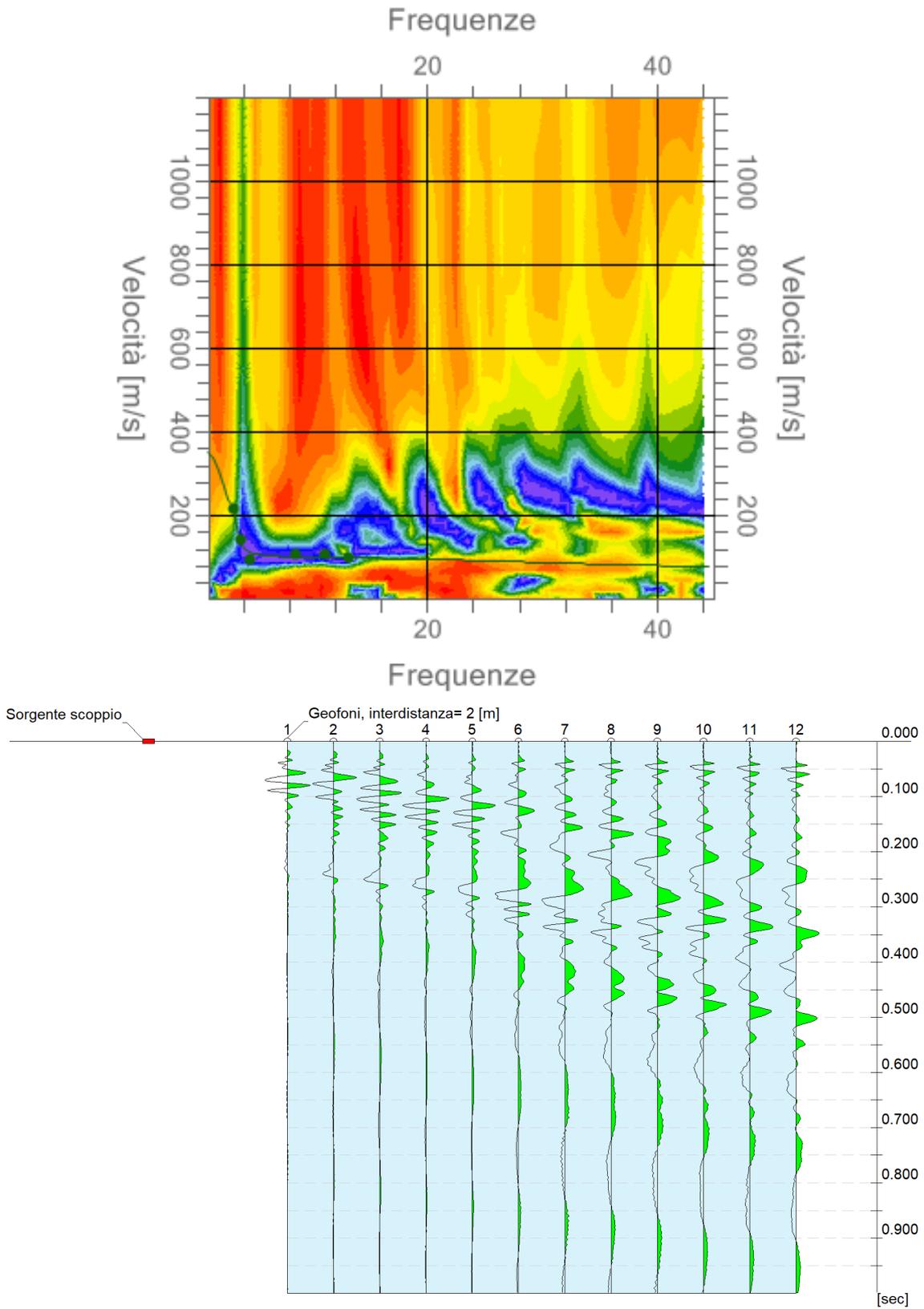
Tabella 5: Caratteristiche geotecniche della Prove Penetrometriche DPSH 1, DPSH 2, DPSH 3, DPSH 4.

			Prova penetrometrica dinamica				
			DPSH 5	DPSH 6	DPSH 7	DPSH 8	DPSH 9
Livello Litotecnico	1	Profondità (m)	0.8	0.8	1.0	0.8	0.6
		Spessore (m)	0.8	0.8	1.0	0.8	0.6
		Peso di volume saturo γ_{sat} (t/m ³)	1.87	1.87	1.92	1.87	1.87
		Peso di volume naturale (t/m ³)	1.39	1.45	1.75	1.45	1.45
		Angolo di attrito (°)	29	29	31	29	29
		Coesione non drenata c_u (Kg/Cm ²)	0.11	0.18	-	-	-
		Modulo edometrico (Kg/Cm ²)	31	33	50	33	33
	2	Profondità (m)	3.4	3.2	2.8	2.4	2.4
		Spessore (m)	2.6	2.4	1.8	1.6	1.8
		Peso di volume saturo γ_{sat} (t/m ³)	1.89	1.90	2.44	1.91	1.90
		Peso di volume naturale (t/m ³)	1.57	1.65	2.03	1.69	1.65
		Angolo di attrito (°)	30	30	34	30	30
		Coesione non drenata c_u (Kg/Cm ²)	0.36	0.48	-	-	-
		Modulo edometrico (Kg/Cm ²)	39	43	73	46	44
	3	Profondità (m)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
		Spessore (m)	1.6	1.8	2.2	2.6	2.6
		Peso di volume saturo γ_{sat} (t/m ³)	1.90	1.87	1.89	1.89	1.89
		Peso di volume naturale (t/m ³)	1.63	1.44	1.57	1.58	1.55
Angolo di attrito (°)		30	29	30	30	30	
Modulo edometrico (Kg/Cm ²)		42	33	40	40	38	

Tabella 6: Caratteristiche geotecniche da Prove Penetrometriche DPSH 5, DPSH 6, DPSH 7, DPSH 8, DPSH 9.

8.2. Risultati indagine sismica MASW

MASW 1



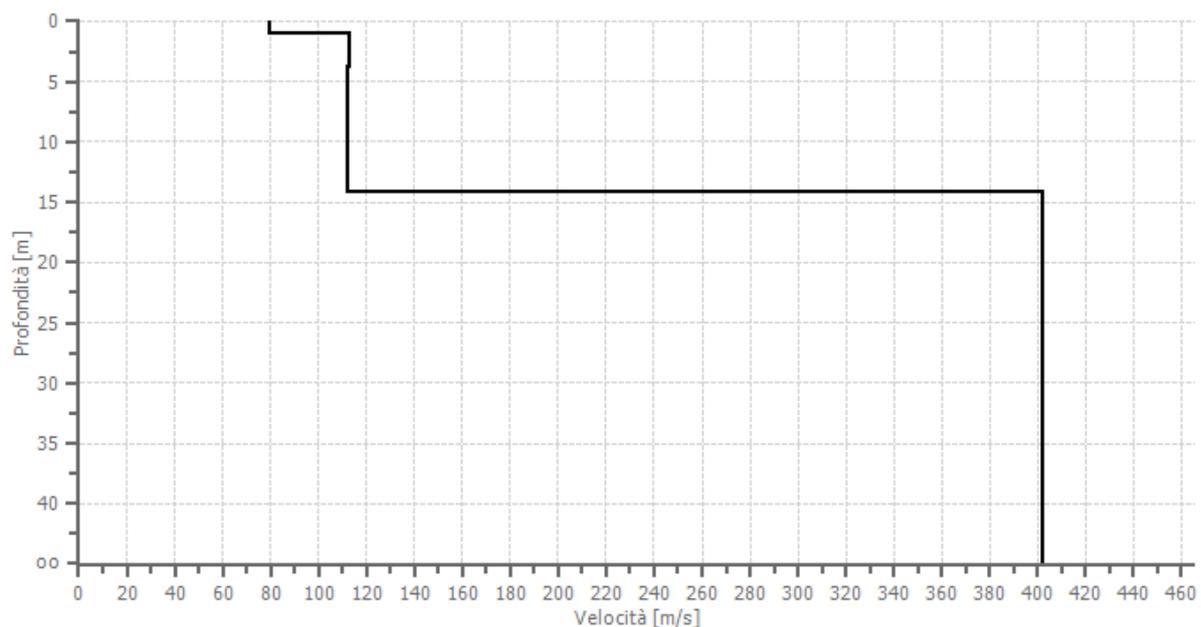


Figura 23: Acquisizione ed elaborazione dati MASW

Profondità piano di posa	0 [m]
Vs30	177.49 [m/s]
Categoria del suolo	D
<input type="checkbox"/> Sito suscettibile di liquefazione o costituito da argilla sensitiva.	
<input type="checkbox"/> Probabile suolo di tipo E	

	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]
1	1.00	1.00	79.29	148.34	1800.00	0.30	11.32
2	3.80	2.80	112.88	211.18	1800.00	0.30	22.94
3	14.16	10.36	112.34	210.16	1800.00	0.30	22.71
4	oo	oo	402.34	752.70	1800.00	0.30	291.37

Tabella 7: Sismostrati individuati con la prova MASW

Profondità di riferimento: 30,0 m
Vs eq: 177.49 m/s

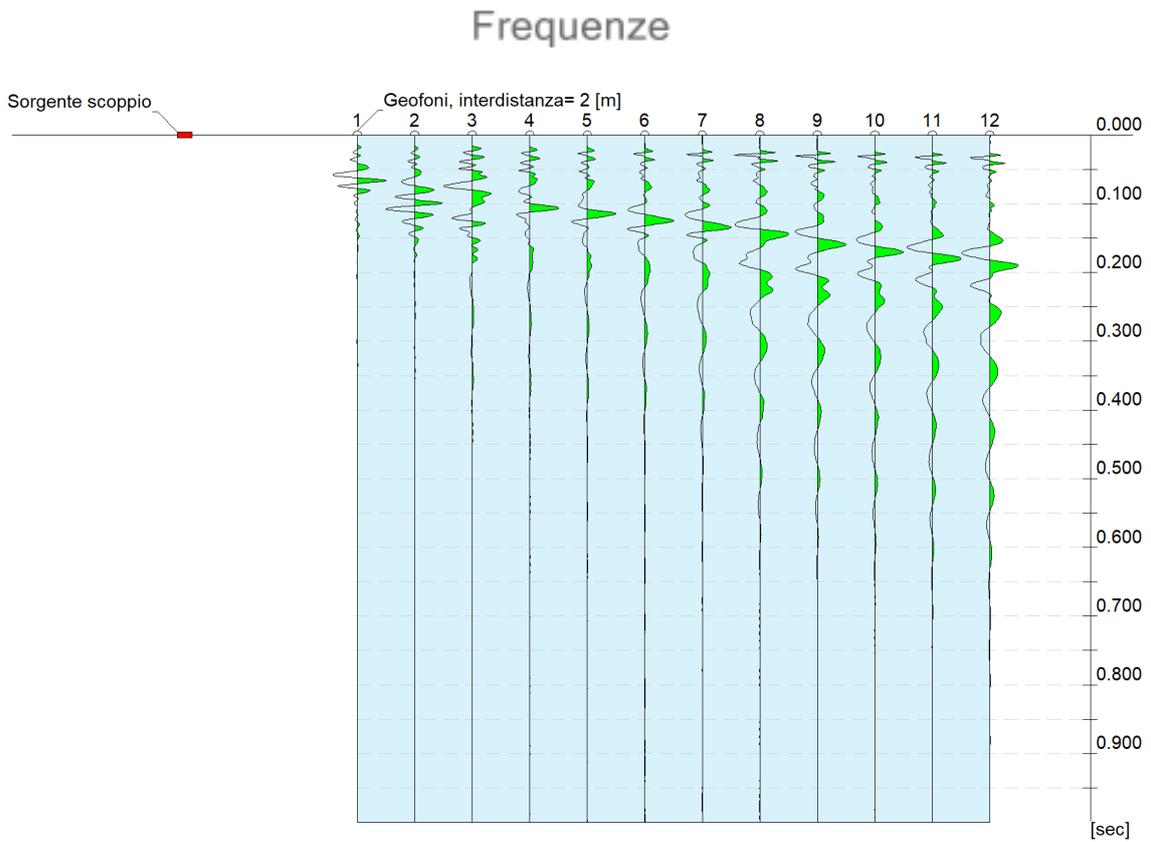
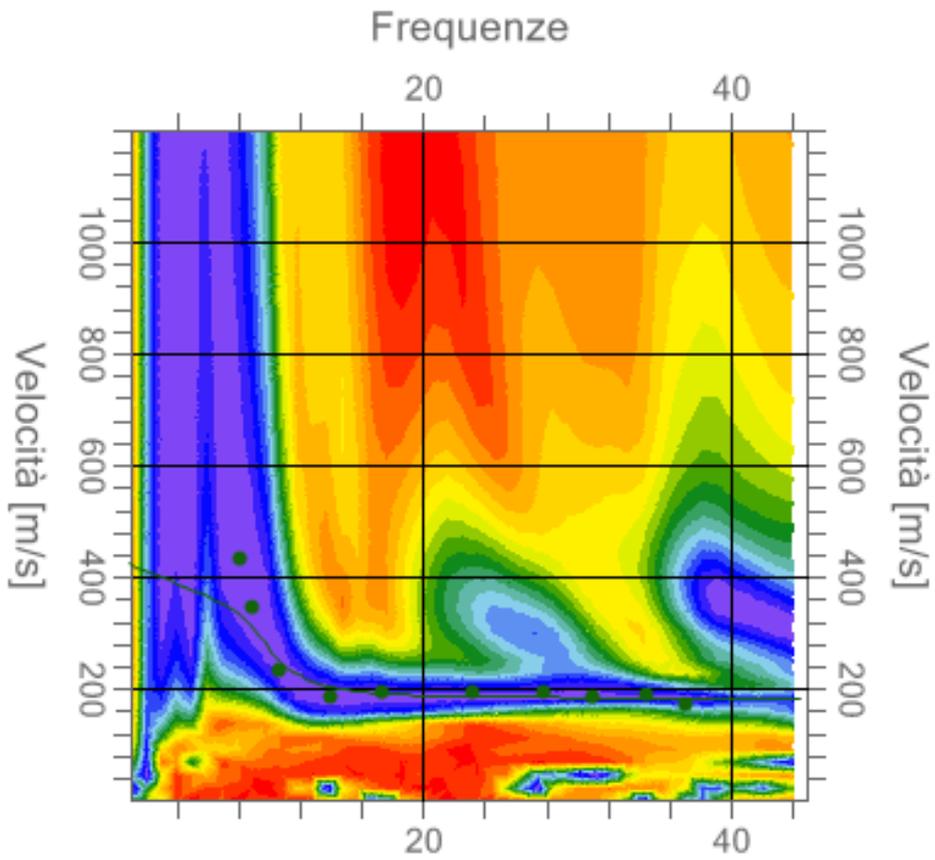
Le Vs medie sono state calcolate tramite la seguente formula:

$$V_{sH} \equiv \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

L'elaborazione delle indagini Masw ha permesso di individuare un modello sismico, costituito da 4 sismostrati, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella 7.

Il parametro V_{seq} riconosciuto è pari a **177 m/s**, di conseguenza, la categoria di sottosuolo secondo la normativa vigente (modifiche del D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018) è **D**: 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 m/s e 180 m/s.

MASW 2



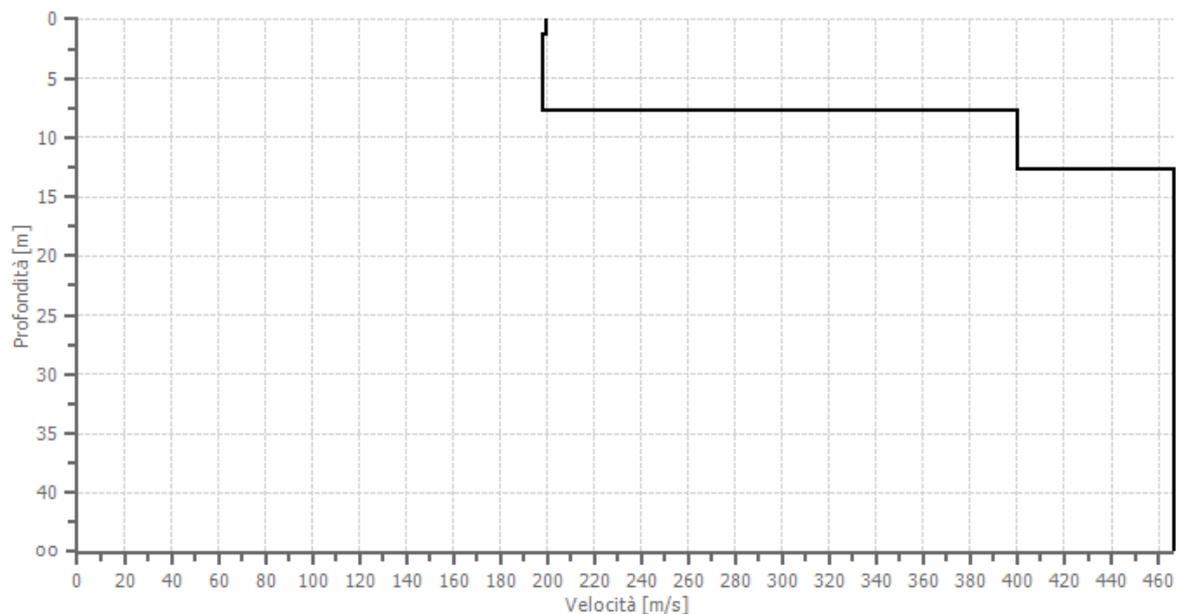


Figura 24: Acquisizione ed elaborazione dati MASW

Definizione del profilo stratigrafico							
Profondità piano di posa	0 [m]						
Vs30	338.15 [m/s]						
Categoria del suolo	C						
<input type="checkbox"/>	Sito suscettibile di liquefazione o costituito da argilla sensitiva.						
<input type="checkbox"/>	Probabile suolo di tipo E						
Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	
1	1.34	1.34	199.57	373.37	1800.00	0.30	71.69
2	7.78	6.43	197.62	369.71	1800.00	0.30	70.29
3	12.78	5.00	399.83	748.02	1800.00	0.30	287.76
4	oo	oo	466.48	872.71	1800.00	0.30	391.69

Tabella 8: Sismostrati individuati con la prova MASW

Profondità di riferimento: 30,0 m
Vs eq: 338.15 m/s

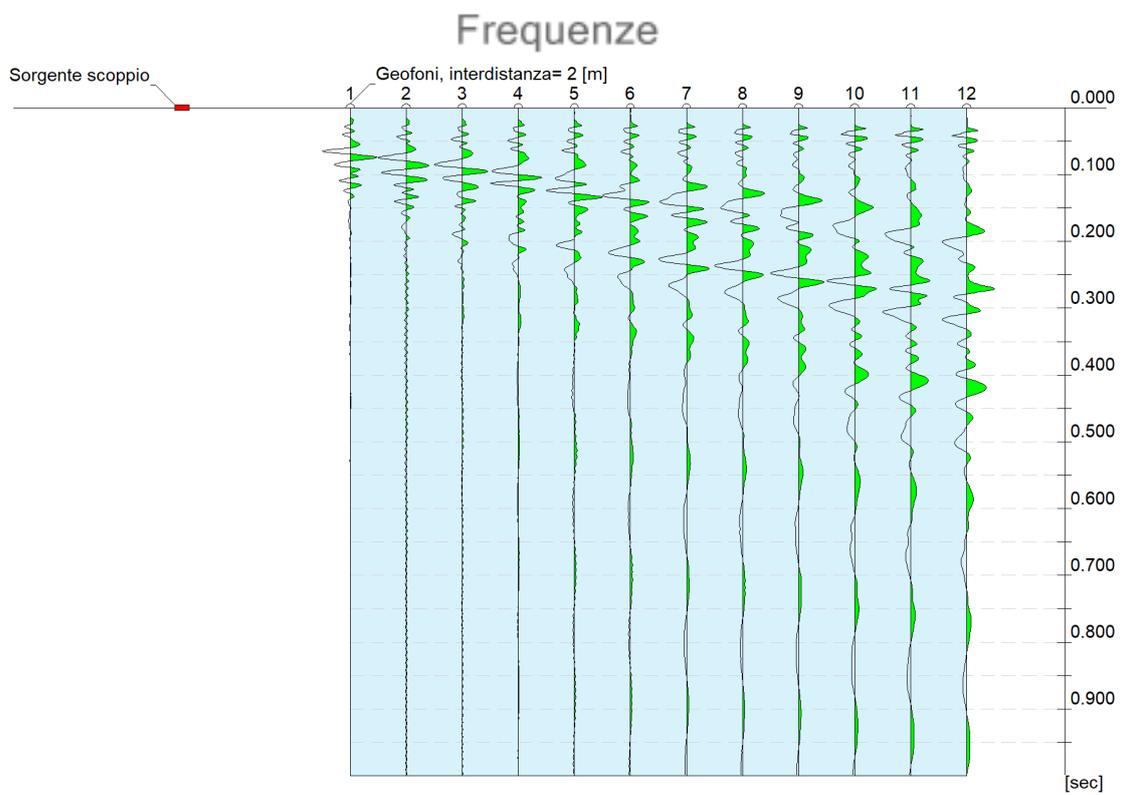
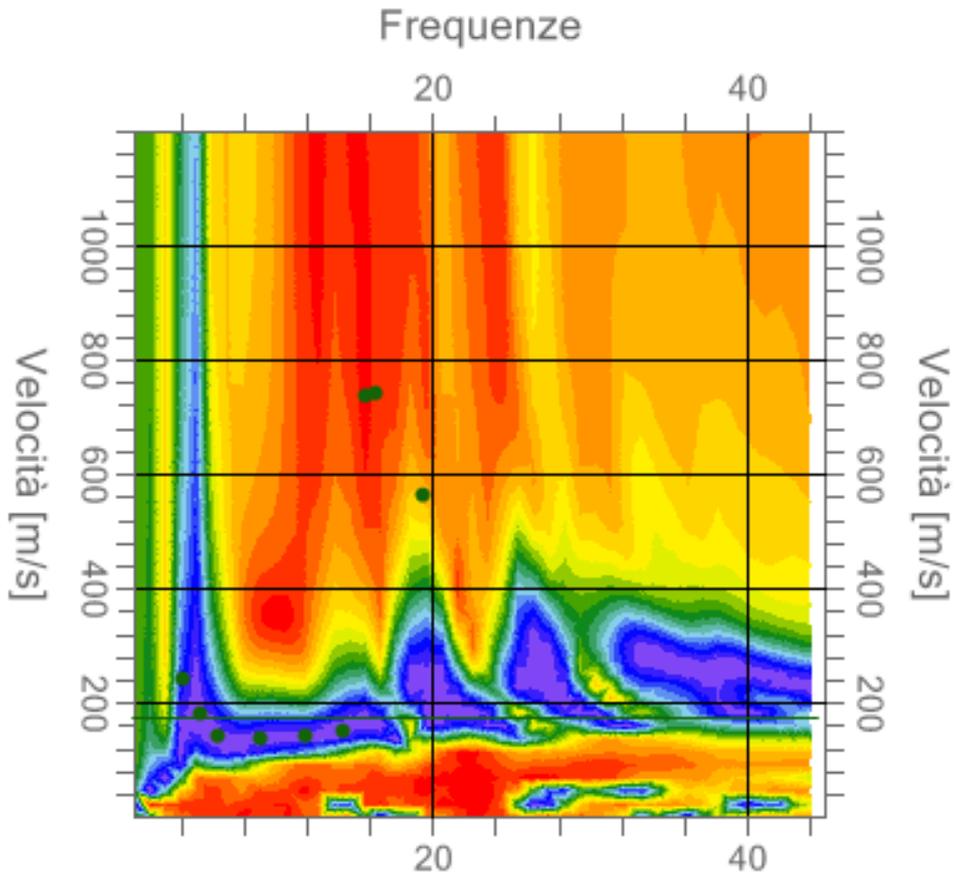
Le Vs medie sono state calcolate tramite la seguente formula:

$$V_{sH} \equiv \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

L'elaborazione delle indagini Masw ha permesso di individuare un modello sismico, costituito da 4 sismostrati, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella 8.

Il parametro V_{seq} riconosciuto è pari a **338 m/s**, di conseguenza, la categoria di sottosuolo secondo la normativa vigente (modifiche del D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018) è **C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del sub strato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

MASW 3



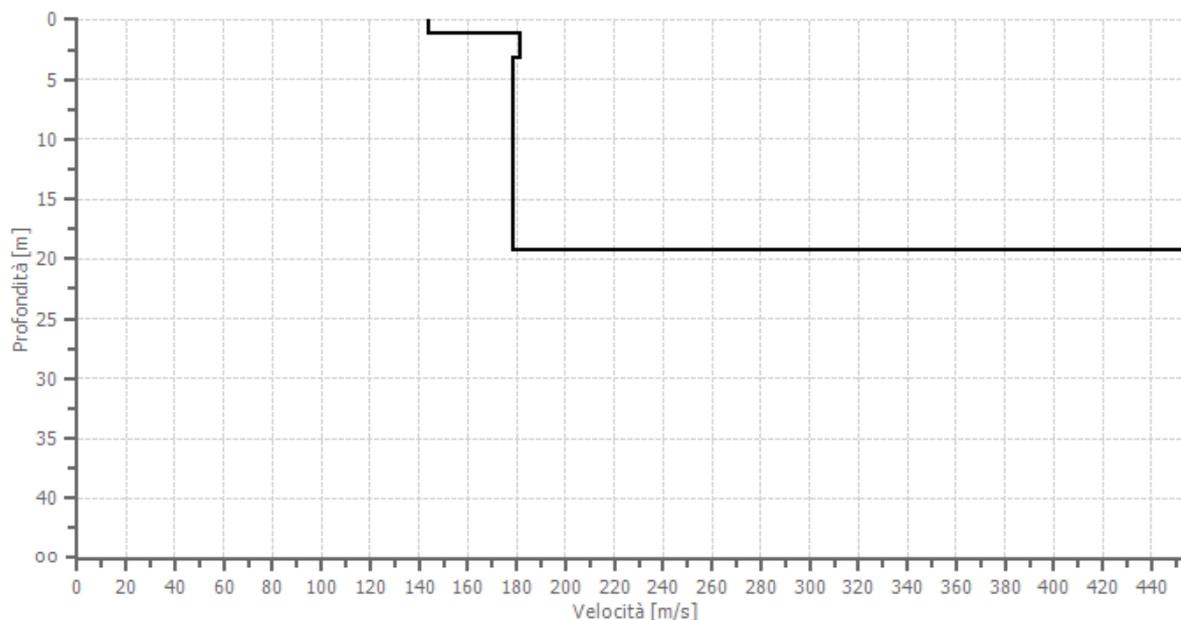


Figura 25: Acquisizione ed elaborazione dati MASW

Profondità piano di posa	0 [m]
Vs30	225.57 [m/s]
Categoria del suolo	C
<input type="checkbox"/>	Sito suscettibile di liquefazione o costituito da argilla sensitiva.
<input type="checkbox"/>	Probabile suolo di tipo E

	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]
1	1.16	1.16	144.12	269.62	1800.00	0.30	37.39
2	3.20	2.04	181.13	338.87	1800.00	0.30	59.06
3	19.33	16.14	178.58	334.09	1800.00	0.30	57.40
4	oo	oo	456.83	854.64	1800.00	0.30	375.64

Tabella 9: Sismostrati individuati con la prova MASW

Profondità di riferimento: 30,0 m
Vs eq: 225.57 m/s

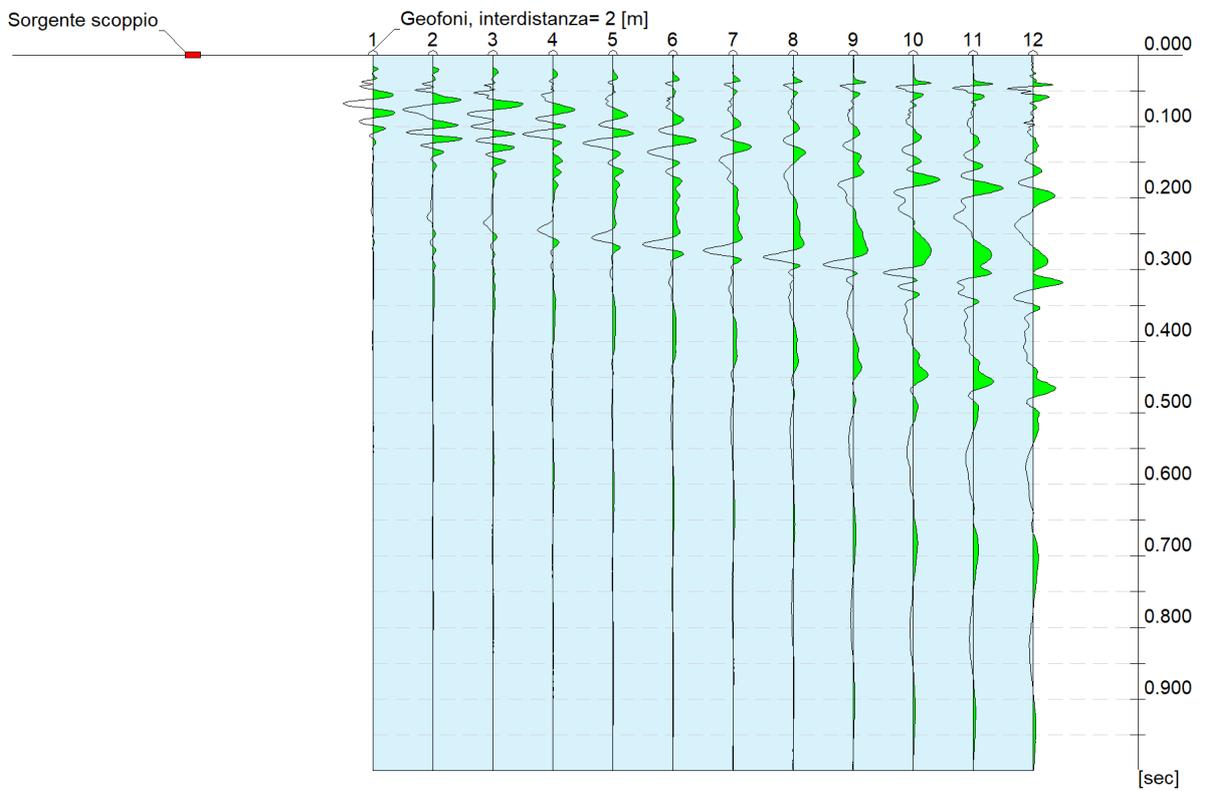
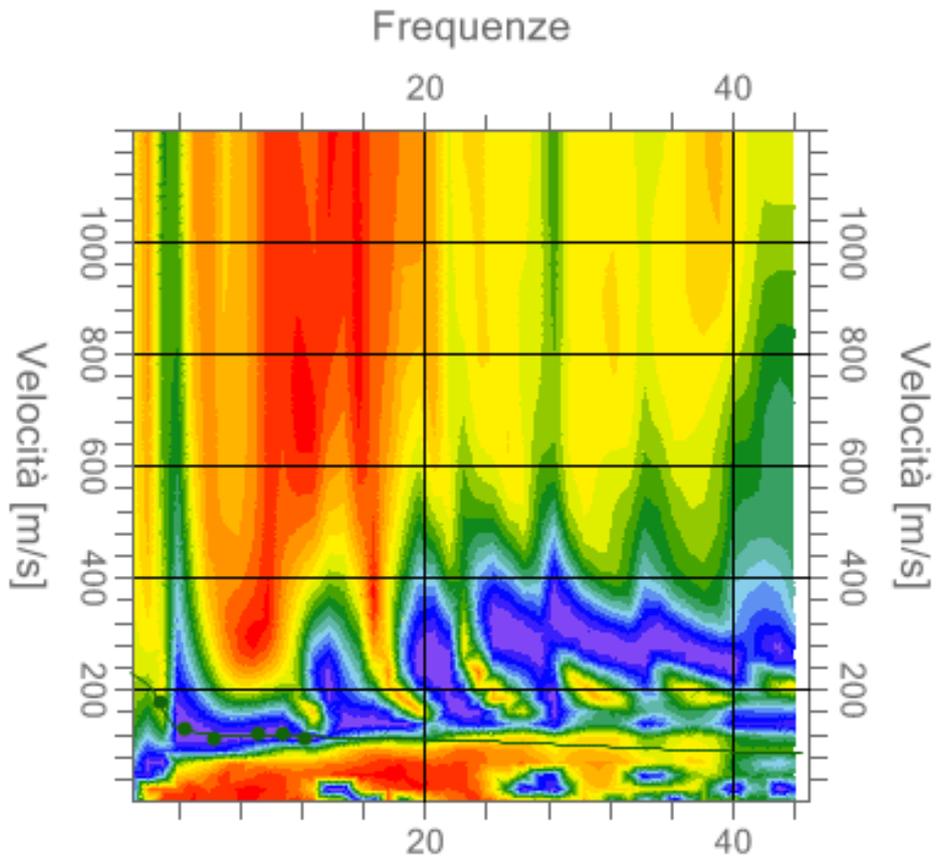
Le Vs medie sono state calcolate tramite la seguente formula:

$$V_{sH} \equiv \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

L'elaborazione delle indagini Masw ha permesso di individuare un modello sismico, costituito da 4 sismostrati, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella 9.

Il parametro V_{seq} riconosciuto è pari a **225 m/s**, di conseguenza, la categoria di sottosuolo secondo la normativa vigente (modifiche del D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018) è **C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del sub strato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

MASW 4



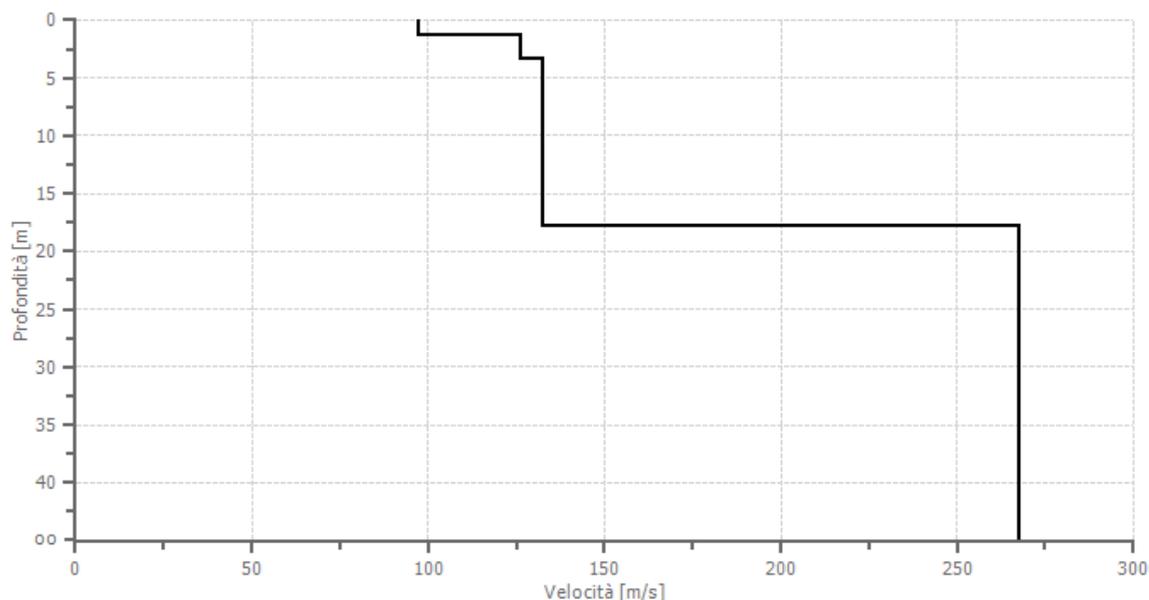


Figura 26: Acquisizione ed elaborazione dati MASW

Definizione del profilo stratigrafico							
Profondità piano di posa	0 [m]						
Vs30	162.29 [m/s]						
Categoria del suolo	D						
<input type="checkbox"/>	Sito suscettibile di liquefazione o costituito da argilla sensitiva.						
<input type="checkbox"/>	Probabile suolo di tipo E						
Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	
1	1.34	1.34	97.07	181.60	1800.00	0.30	16.96
2	3.39	2.05	126.20	236.09	1800.00	0.30	28.67
3	17.85	14.46	132.24	247.40	1800.00	0.30	31.48
4	00	00	267.36	500.19	1800.00	0.30	128.67

Tabella 10: Sismostrati individuati con la prova MASW

Profondità di riferimento: 30,0 m
Vs eq: 162.29 m/s

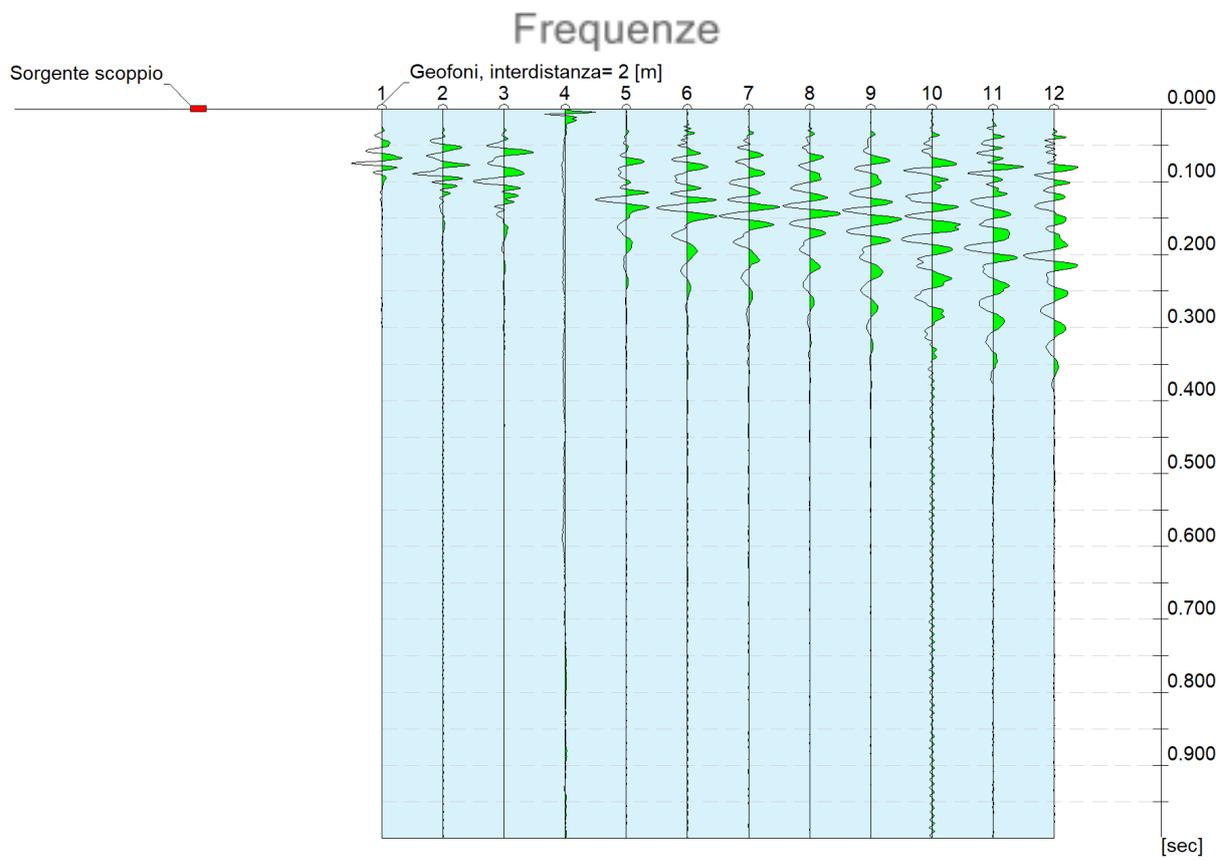
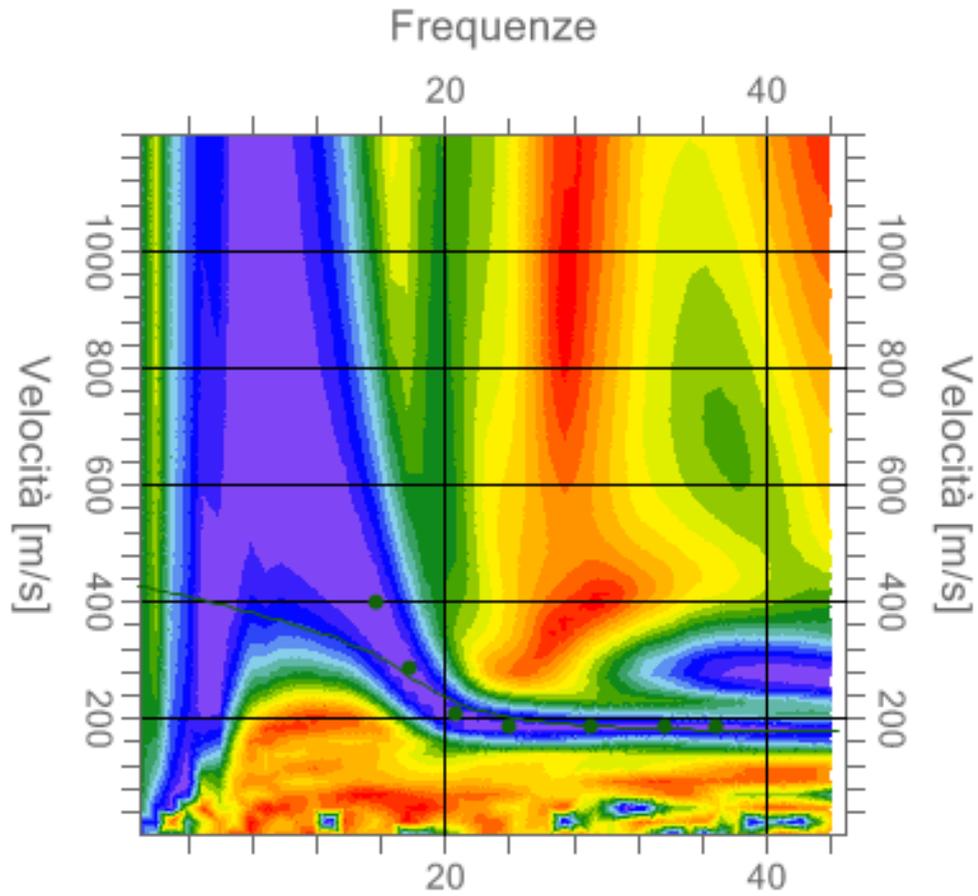
Le Vs medie sono state calcolate tramite la seguente formula:

$$V_{sH} \equiv \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

L'elaborazione delle indagini Masw ha permesso di individuare un modello sismico, costituito da 4 sismostrati, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella 10.

Il parametro V_{seq} riconosciuto è pari a **162 m/s**, di conseguenza, la categoria di sottosuolo secondo la normativa vigente (modifiche del D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018) è **D**: 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 m/s e 180 m/s.

MASW 5



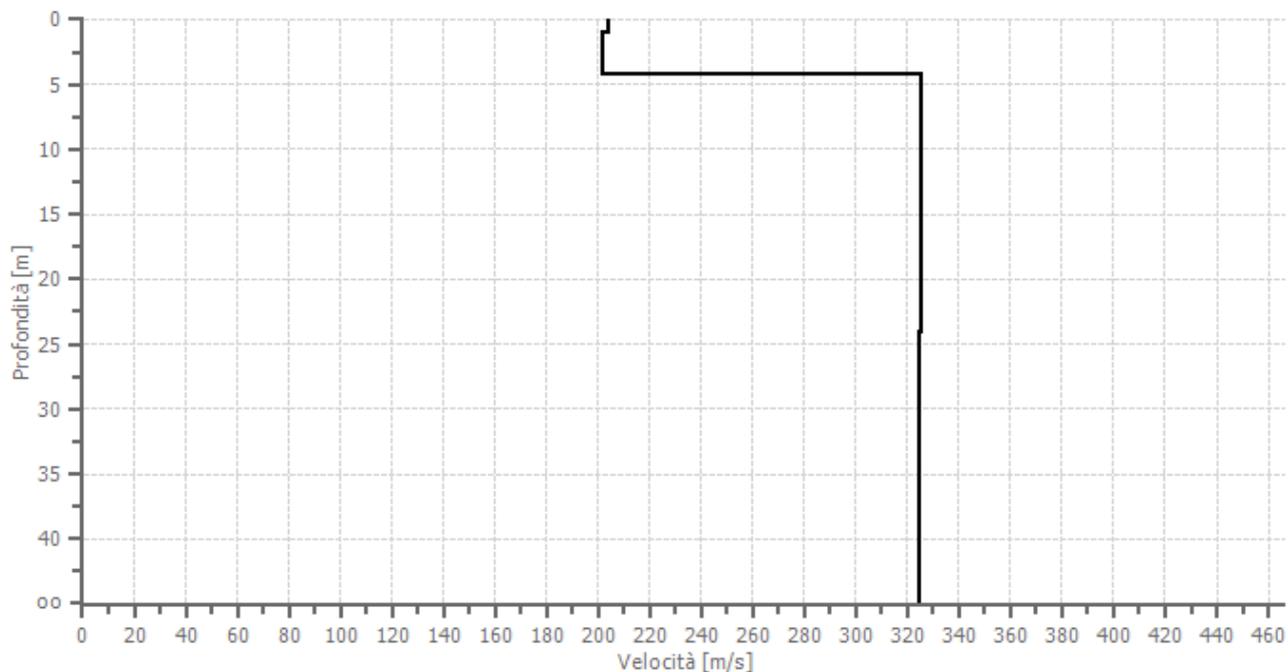


Figura 27: Acquisizione ed elaborazione dati MASW

Definizione del profilo stratigrafico							
Profondità piano di posa	0 [m]						
Vs30	299.81 [m/s]						
Categoria del suolo	C						
<input type="checkbox"/>	Sito suscettibile di liquefazione o costituito da argilla sensitiva.						
<input type="checkbox"/>	Probabile suolo di tipo E						
Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	
1	1.05	1.05	203.82	381.32	1800.00	0.30	74.78
2	4.17	3.12	201.55	377.07	1800.00	0.30	73.12
3	24.17	20.00	325.31	608.60	1800.00	0.30	190.49
4	oo	oo	324.69	607.44	1800.00	0.30	189.76

Tabella 11: Sismostrati individuati con la prova MASW

Profondità di riferimento: 30,0 m
Vs eq: 299.81 m/s

Le Vs medie sono state calcolate tramite la seguente formula:

$$V_{sH} \equiv \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

L'elaborazione delle indagini Masw ha permesso di individuare un modello sismico, costituito da 4 sismostrati, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella 11.

Il parametro V_{seq} riconosciuto è pari a **299 m/s**, di conseguenza, la categoria di sottosuolo secondo la normativa vigente (modifiche del D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018) è **C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del sub strato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

9. Individuazione azione sismica locale

9.1. Premessa

La normativa di riferimento in materia sismica viene di seguito riportata

- **Ordinanza PCM n. 3274 del 20 Marzo 2003**, definisce i *primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*.
- **Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006** *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*.
- **Norme Tecniche per le Costruzioni Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture**, in vigore dal 11 febbraio 2019.

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) hanno come obiettivo il controllo del livello di danneggiamento della costruzione, a fronte di un terremoto che può verificarsi nel sito di costruzione.

Tali norme riprendono in parte quanto riportato nell'Ordinanza Ministeriale del 3274 del 20 Marzo 2003, riguardo l'azione sismica di progetto, ma introducono un'importante novità: il concetto di **stato limite**.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

La NTC individua 4 stati limite.

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione, nel suo complesso, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significative.

- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione, nel suo complesso, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile, pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici; significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

9.2. Pericolosità sismica di base

La **pericolosità sismica di base**, del sito di costruzione, è il punto di partenza per poter determinare l'**azione sismica di progetto**, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite.

La pericolosità sismica è descritta in termini di valore di a_g : accelerazione massima orizzontale attesa e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta, ai sensi delle NTC, su un sito di riferimento rigido (Cat. A – vedi Categorie di sottosuolo di seguito riportate) e superficie topografica orizzontale.

I parametri che definiscono le forme spettrali sono:

a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri, sul territorio italiano, sono calcolati secondo un reticolo di riferimento con una maglia di circa 10 km di lato (Allegato B della NTC), la loro definizione è determinata sulla base delle coordinate geografiche medie della struttura in esame, che sono le seguenti:

lat. 40.449278° N - long. 8.801707° E (sistema di riferimento ED50).

9.3. Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sulla base dell'approccio semplificato (NTC 2018 - Paragrafo 3.2.2), che si basa sulle categorie di sottosuolo e condizioni topografiche, è possibile definire che:

in base alla velocità delle onde di taglio presenti fino alla profondità di 30 m dal piano campagna, individuata sulla base di specifiche indagini sismiche pari ad una media di: **$V_{s30} = 240 \text{ m/s}$ (Media MAWS 1, 2, 3, 4, 5)** di conseguenza anche per una scelta cautelativa, la categoria di sottosuolo secondo la normativa vigente (modifiche del D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018) è **C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del sub strato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s*

In base all'analisi della topografia dell'area la categoria di condizioni topografiche è la **T1 "Pendii con inclinazione media $i < 15^\circ$ "**.

9.4. Analisi di stabilità nei confronti della liquefazione

In riferimento ai livelli litologici individuati nel sottosuolo della zona d'indagine, è possibile affermare quanto segue: per tutti i livelli litologici individuati, può essere omessa la verifica a liquefazione, in quanto, è stato verificato che sussistono almeno le condizioni di esclusione del punto 1 al Capitolo 7.11.3.4 delle NTC2018, ovvero, accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g.

10. Definizione dei parametri geotecnici medi

In base all'elaborazione dei risultati delle indagini effettuate è possibile definire, in relazione ai livelli litologici individuati, il valore medio dei parametri geotecnici.

Il valore medio è definito semplicemente dalla media aritmetica dei dati a disposizione, relativi al parametro in esame. I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Livello Litologico	Peso di volume naturale γ_{n_m} (t/m ³)	Peso di volume saturo γ_{sat_m} (t/m ³)	Parametri in termini di tensioni efficaci (condizioni drenate)		Parametri in termini di tensioni totali (condizioni non consolidata non drenate)	Modulo edometrico
			c'_m (kPa)	ϕ'_m (°)	c_{u_m} (kg/cm ²)	E_{ed} (kg/cm ²)
1	1.46	1.87	-	29	0.15	34
2	1.64	1.95	-	30	0.36	44
3	1.65	1.97	-	31	-	46

Tabella 12: Parametri geotecnici valori medi (m)

11. Conclusioni

Come richiesto dalle N.T.C. (cfr. D.M. 17.01.2018), sulla base delle indagini geognostiche e sismiche effettuate è stato possibile individuare il modello geologico e la caratterizzazione sismica del sottosuolo, al fine di individuare le caratteristiche necessarie alla progettazione dell'opera.

MODELLO GEOLOGICO

Dall'esecuzione delle prove penetrometriche DPSH è stato possibile stimare le caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione fino alla profondità di 5.0 m dal piano campagna. Considerando i valori di resistenza del terreno indagato attraverso le prove penetrometriche è emerso che l'area è caratterizzata da terreno vegetale, sabbioso limoso di origine fluviale e vulcanica per i primi 0.6/1.0 m dal p.c., ed in profondità da sabbie e ghiaie detritiche immerse in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica, sempre di origine fluviale e vulcanica. Dal rifiuto strumentale della prova DPSH 2 a -3.4 m dal PC, è possibile ipotizzare uno spessore della coltre eluvio colluviale-detritica, compreso tra 3.5 m a 6/7 m.

È stato possibile attraverso le caratteristiche geotecniche suddividere il terreno investigato in 3 livelli litotecnici, riconducibili a depositi di natura fluviale e vulcanica.

Di seguito è riportata la descrizione dei principali caratteri per ogni livello litotecnico riconosciuto, le quote sono riferite in m dal piano campagna.

- **Livello litotecnico 1:** terreno vegetale, sabbioso limoso debolmente argilloso di origine fluviale e vulcanica, da sciolto a moderatamente addensato, di colore marrone scuro, asciutto
È presente da **0.0 m a 0.6/1.0 m** dal piano campagna, l'andamento del numero di colpi individua un terreno prevalentemente di natura granulare con una componente coesiva.

I valori medi dei parametri geotecnici sono i seguenti:

PESO DI VOLUME NATURALE	= 1.46 t/m³
PESO DI VOLUME SATURO	= 1.87 t/m³
ANGOLO ATTRITO INTERNO	= 19°
COESIONE NON DRENATA CU	= 0.15 KG/CM²
MODULO EDOMETRICO	= 34 KG/CM²

Da cui:

Terreno granulare con una componente coesiva, da poco a moderatamente addensato

- **Livello litotecnico 2:** Depositi sabbioso limosi di origine fluviale e vulcanica, da poco a moderatamente addensati, di colore marrone chiaro, **saturo a partire da - 1.0 m (DPSH 2) a - 3.8 (DPSH 7) dal PC.**
È presente da **0.6/1.0 m a 2.2/5.0 m** dal piano campagna, l'andamento del numero di colpi individua un terreno prevalentemente di natura granulare con una componente coesiva.

I valori medi dei parametri geotecnici sono i seguenti:

PESO DI VOLUME NATURALE	= 1.64 t/m³
PESO DI VOLUME SATURO	= 1.95 t/m³
ANGOLO ATTRITO INTERNO	= 30°
COESIONE NON DRENATA CU	= 0.36 KG/CM²
MODULO EDOMETRICO	= 44 KG/CM²

Da cui:

Terreno granulare, da sciolto ad addensato

- **Livello litotecnico 3 (presente nelle prove DPSH 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9):** Depositi sabbiosi debolmente limosi di origine fluviale e vulcanica, da sciolti ad addensati, di colore marrone chiaro, **saturo a partire da - 1.0 m (DPSH 2) a - 3.8 (DPSH 7) dal PC.** Nella prova DPSH 2 a - 3.4 m dal PC è stato riscontrato il rifiuto strumentale per la probabile presenza del bedrock vulcanico.

È presente da **2.2/5.0 m a 5.0 m** dal piano campagna, l'andamento del numero di colpi individua un terreno prevalentemente di natura granulare.

I valori medi dei parametri geotecnici sono i seguenti:

PESO DI VOLUME NATURALE = **1.65 t/m³**

PESO DI VOLUME SATURO = **1.97 t/m³**

ANGOLO ATTRITO INTERNO = **31°**

MODULO EDOMETRICO = **46 Kg/cm²**

Da cui:

Terreno granulare, moderatamente addensato

Dalla "Carta delle permeabilità della Regione Sardegna in scala 1:25.000" (Fig. 17), l'area di interesse è cartografata come un'area a **Permeabilità Medio-Alta per porosità MA.P.**

In generale si rileva che nell'area in oggetto, appartenente al complesso degli strati olocenici di materiale eluvio-colluviale e detritico, i depositi presentano una permeabilità primaria medio-elevata e quindi possono essere sede di falde sospese e temporanee a quote superficiali, laddove essi poggiano su terreni impermeabili (bedrock vulcanico).

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche DPSH 2, 4, 6, 7, 8 e 9, spinte fino alla profondità di 5,0 m dal piano campagna, è stata riscontrata una falda superficiale da -1.0 m a -3.8 m dal PC.

AZIONE SISMICA

In conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 3274 del 2003 con la quale si stabiliscono i nuovi criteri per la classificazione sismica del territorio italiano, e la delibera della

Regione Sardegna n° 15/31 del 20 marzo 2004, l'Isola è classificata come **zona 4**. Tale tipologia di rischio si può quindi considerare di entità moderata.

I parametri dell'azione sismica di progetto andranno definiti rispetto alla pericolosità sismica di base, individuata in base alle coordinate geografiche (ED 50) medie della zona indagata, che sono: *lat. 40.449278° N - long. 8.801707° E (sistema di riferimento ED50)*.

I terreni presenti al di sotto dal piano di base della fondazione, della struttura in esame, sulla base delle caratteristiche di $V_{s_{eq}}$ determinate, sono riconducibili alla **Categoria di sottosuolo C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del sub strato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s*

In base all'analisi della topografia dell'area la categoria di condizioni topografiche è la **T1 "Pendii con inclinazione media i <15°"**.

In riferimento ai livelli litologici individuati nel sottosuolo della zona d'indagine, è possibile affermare quanto segue: per tutti i livelli litologici individuati, può essere omessa la verifica a liquefazione, in quanto, è stato verificato che sussistono almeno le condizioni di esclusione del punto 1 al Capitolo 7.11.3.4 delle NTC2018, ovvero, accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g.

Castiglione in Teverina, 20/09/2023

Il geologo

Dott. Geol. Leonardo Paganelli



Bibliografia e sitografia

- Foglio n. 193 "Bonorva", della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.
- Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000"
- "Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000"
- PEC Comune di Bonorva
- PUC Comune di Bonorva
- *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*" - HOEPLI (Milano)
- *Prove geotecniche in sito*" - ed. GEO-GRAPH s.n.c. (Segrate)

Siti consultati

<http://emidius.mi.ingv.it>

<http://sgi1.isprambiente.it>

<http://titano.sede.enea.it>

<http://www.pcn.minambiente.it>.

Allegati

- **Documentazione fotografica**
- **Cartografia CTR 1:5000**
- **Ubicazioni delle Indagini e delle sezioni geologico – tecniche**
- **Sezioni geologico tecniche**
- **Fascicolo delle indagini**
- **Certificato prove di laboratorio**

Documentazione fotografica



Figure 1: Postazione prova penetrometrica DPSH 1



Figure 2: Postazione prova penetrometrica DPSH 2



Figure 3: Postazione prova penetrometrica DPSH 3

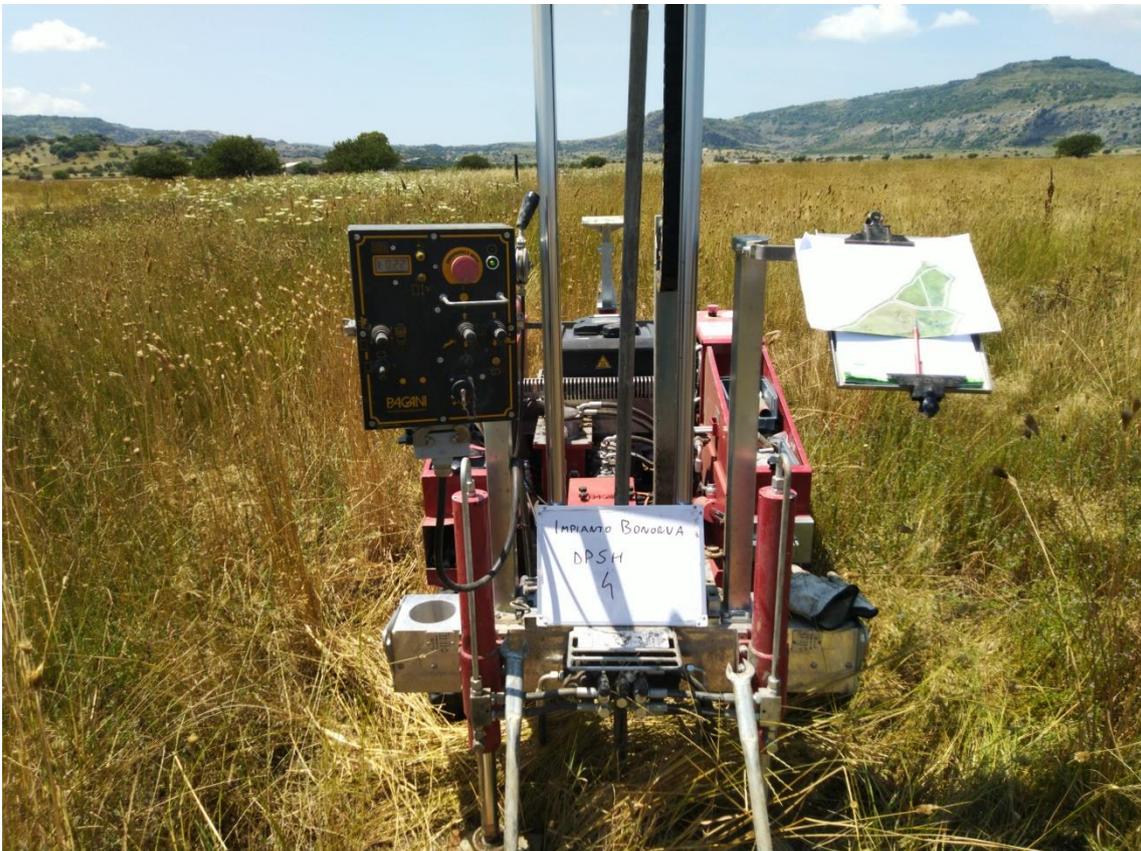


Figure 4: Postazione prova penetrometrica DPSH 4



Figure 5: Postazione prova penetrometrica DPSH 5



Figure 6: Postazione prova penetrometrica DPSH 6



Figure 7: Postazione prova penetrometrica DPSH 7



Figure 8: Postazione prova penetrometrica DPSH 8



Figure 9: Postazione prova penetrometrica DPSH 9



Figure 10: Postazione prova sismica MASW 1



Figure 11: Postazione prova sismica MASW 2



Figure 12: Postazione prova sismica MASW 3

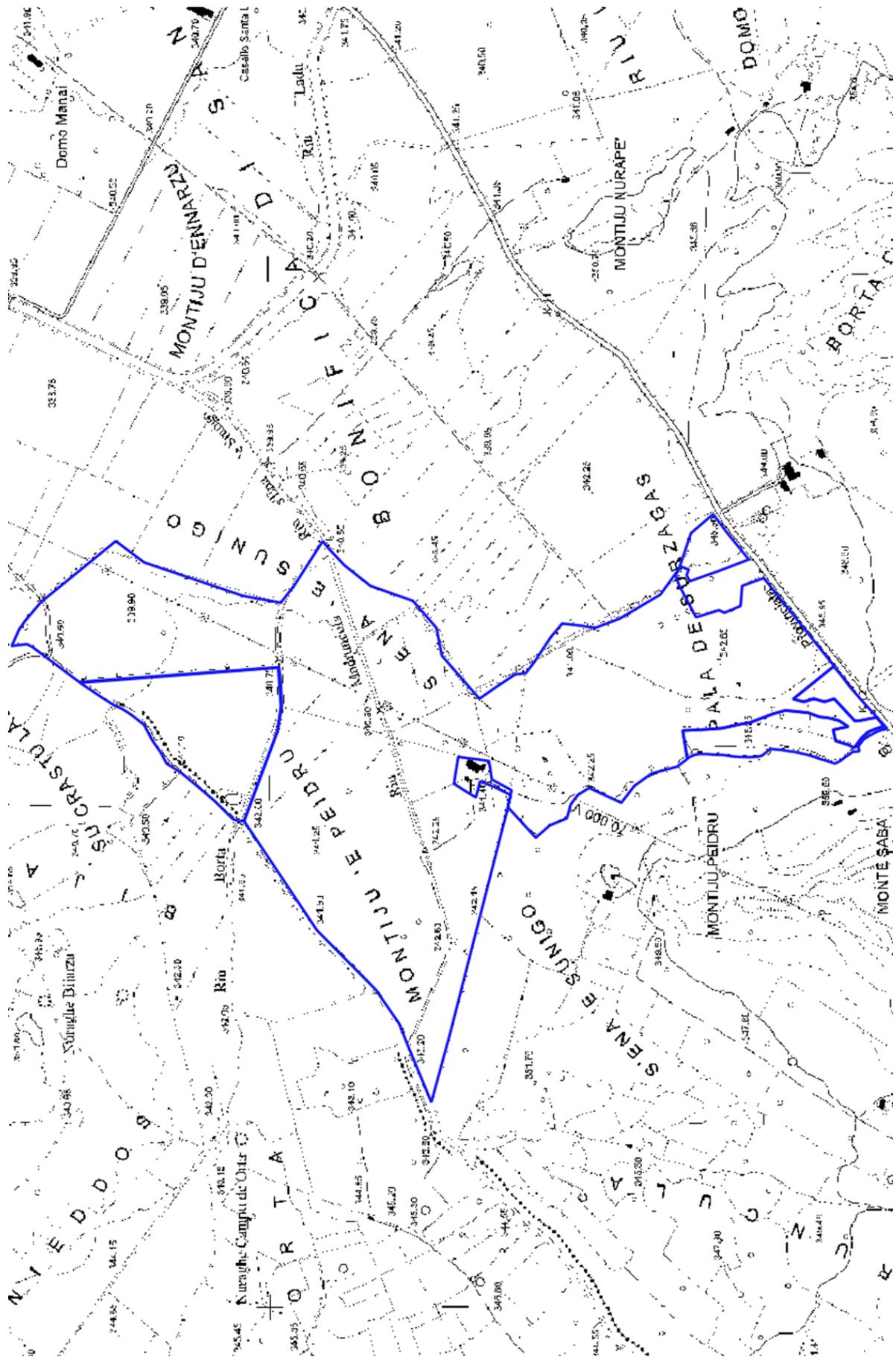


Figure 13: Postazione prova sismica MASW 4

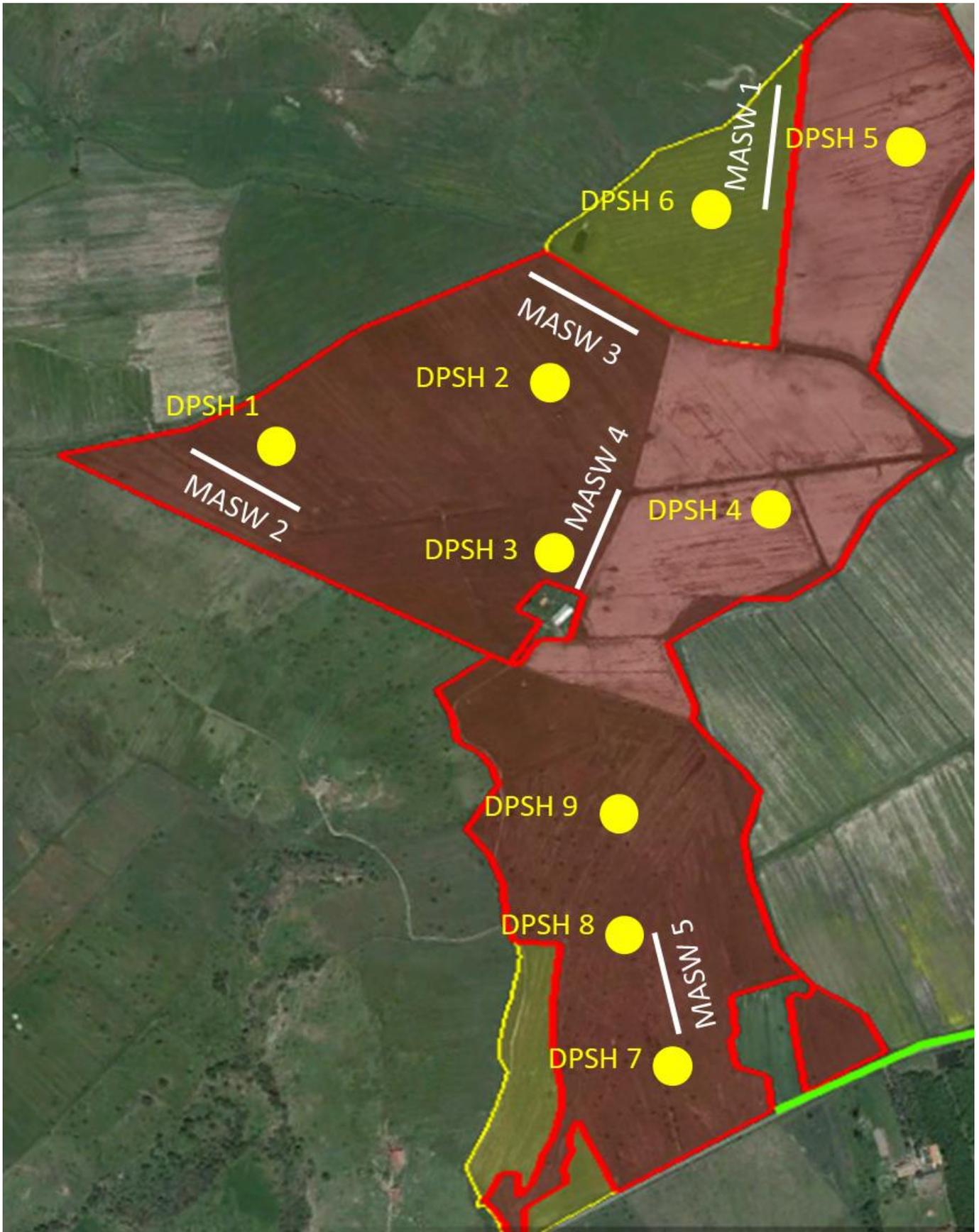


Figure 14: Postazione prova sismica MASW 5

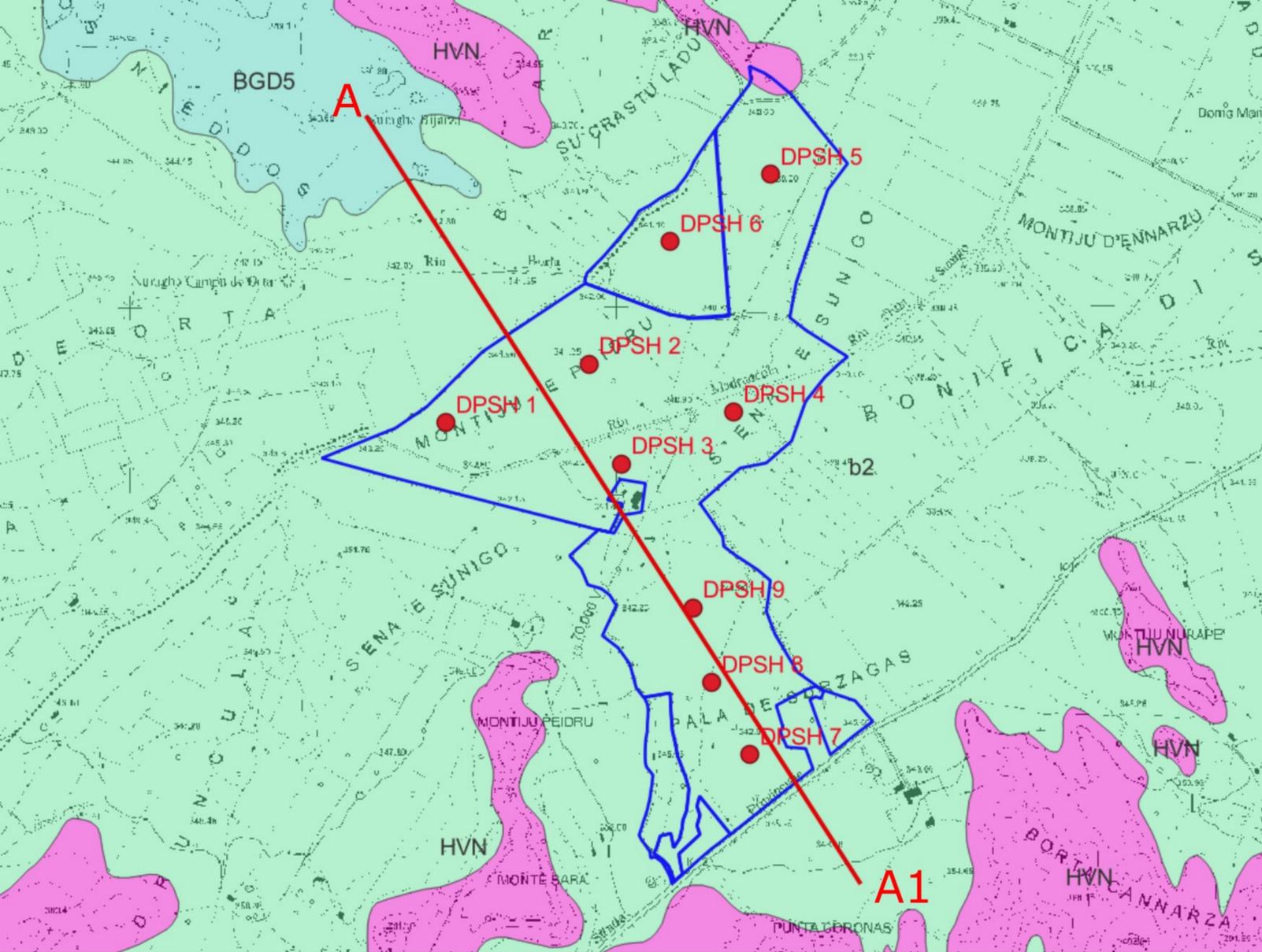
Cartografia CTR 1:5000



Ubicazioni delle Indagini e delle sezioni geologico – tecniche



SEZIONE STRATIGRAFICA A-A1



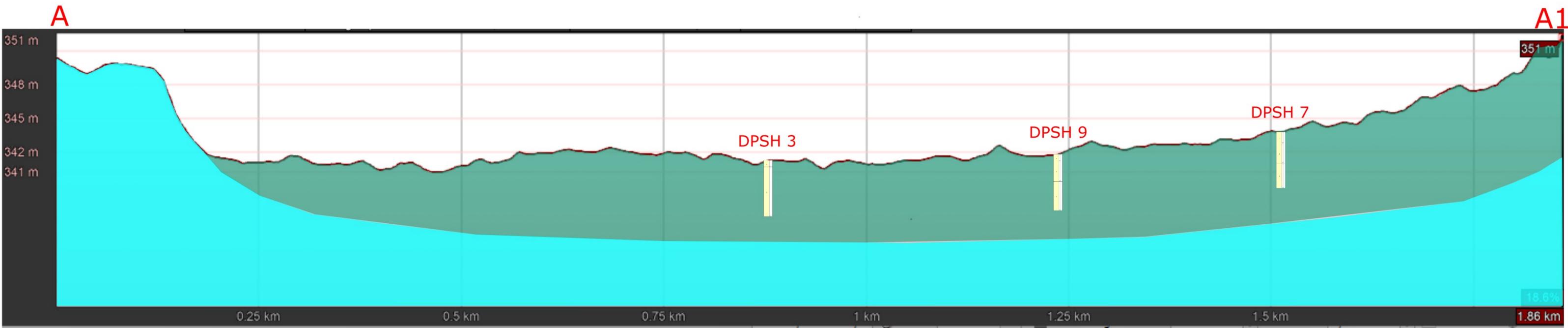
Coltri eluvio-colluviali (b2) OLOCENE



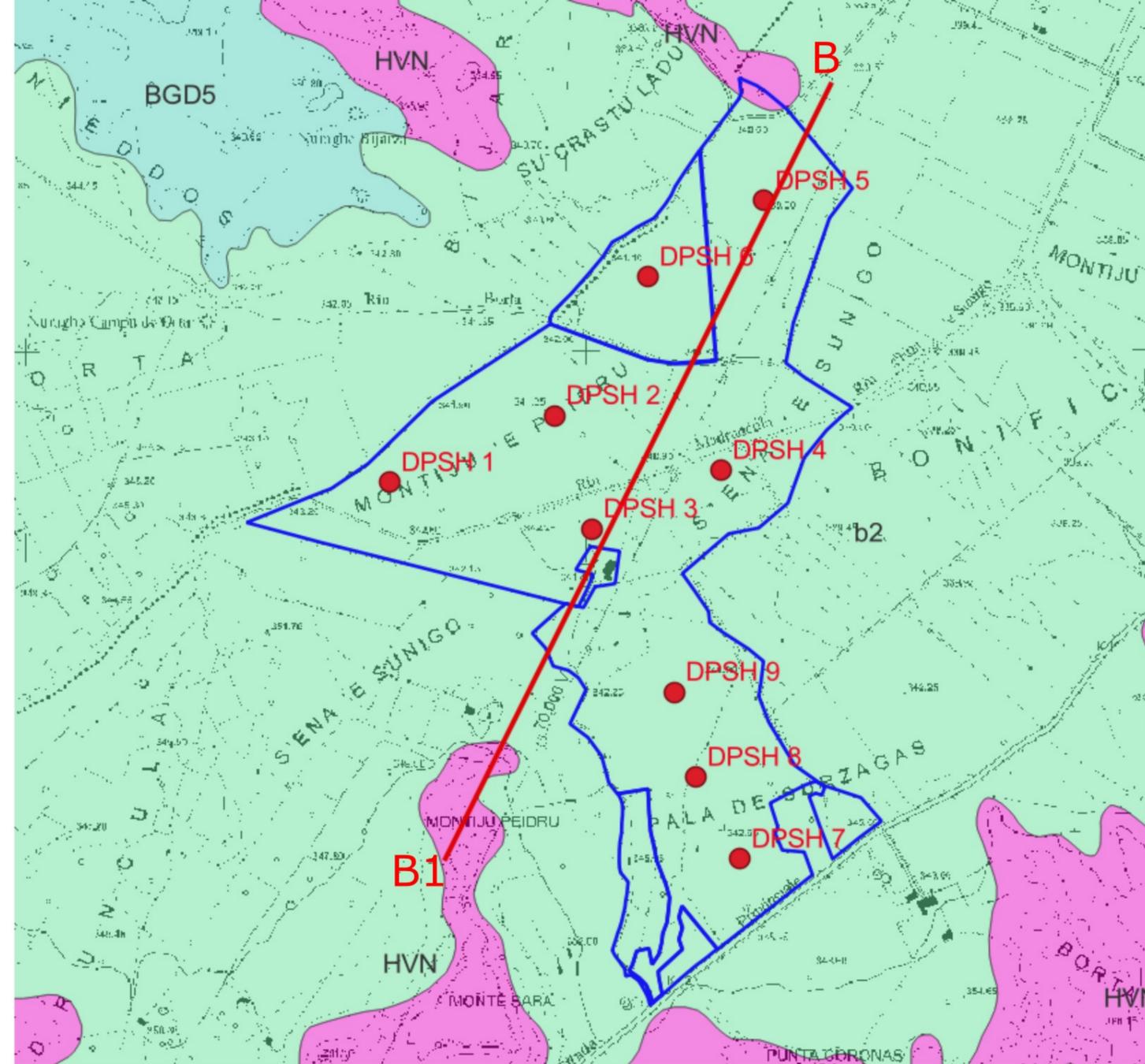
Subunità di Monte Poddighe (BGD5) PLEISTOCENE MEDIO



l'Unità di Chilivani (HVN) BURDIGALIANO



SEZIONE STRATIGRAFICA B-B1



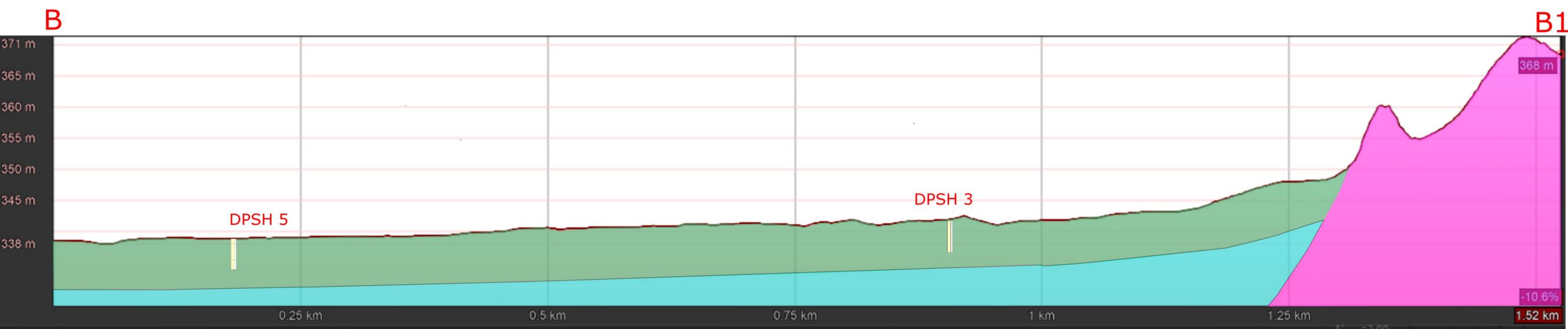
Coltri eluvio-colluviali (b2) OLOCENE



Subunità di Monte Poddighe (BGD5) PLEISTOCENE MEDIO



l'Unità di Chilivani (HVN) BURDIGALIANO



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 1

TERRENI COESIVI I

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - Strato	3,9	0,60	Terzaghi-Peck	0,24
[2] - Strato	5,43	3,20	Terzaghi-Peck	0,34

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	3,9	0,60	Robertson (1983)	7,80
[2] - Strato	5,43	3,20	Robertson (1983)	10,86

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
[1] - Strato	3,9	0,60	Stroud e Butler (1975)	17,89
[2] - Strato	5,43	3,20	Stroud e Butler (1975)	24,91

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
[1] - Strato	3,9	0,60	Apollonia	39,00
[2] - Strato	5,43	3,20	Apollonia	54,30

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Strato	3,9	0,60	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - Strato	5,43	3,20	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Strato	3,9	0,60	Meyerhof ed altri	1,69
[2] - Strato	5,43	3,20	Meyerhof ed altri	1,78

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Strato	3,9	0,60	Meyerhof ed altri	1,87
[2] - Strato	5,43	3,20	Meyerhof ed altri	1,88

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Gibbs & Holtz 1957	21,31
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Gibbs & Holtz 1957	22,23
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Gibbs & Holtz 1957	27,17

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Sowers (1961)	29,09
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Sowers (1961)	29,52
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Sowers (1961)	30,65

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	35,48
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	38,62
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	46,94

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Meyerhof ed altri	1,49
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Meyerhof ed altri	1,56
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Meyerhof ed altri	1,71

Peso unità di volume saturo

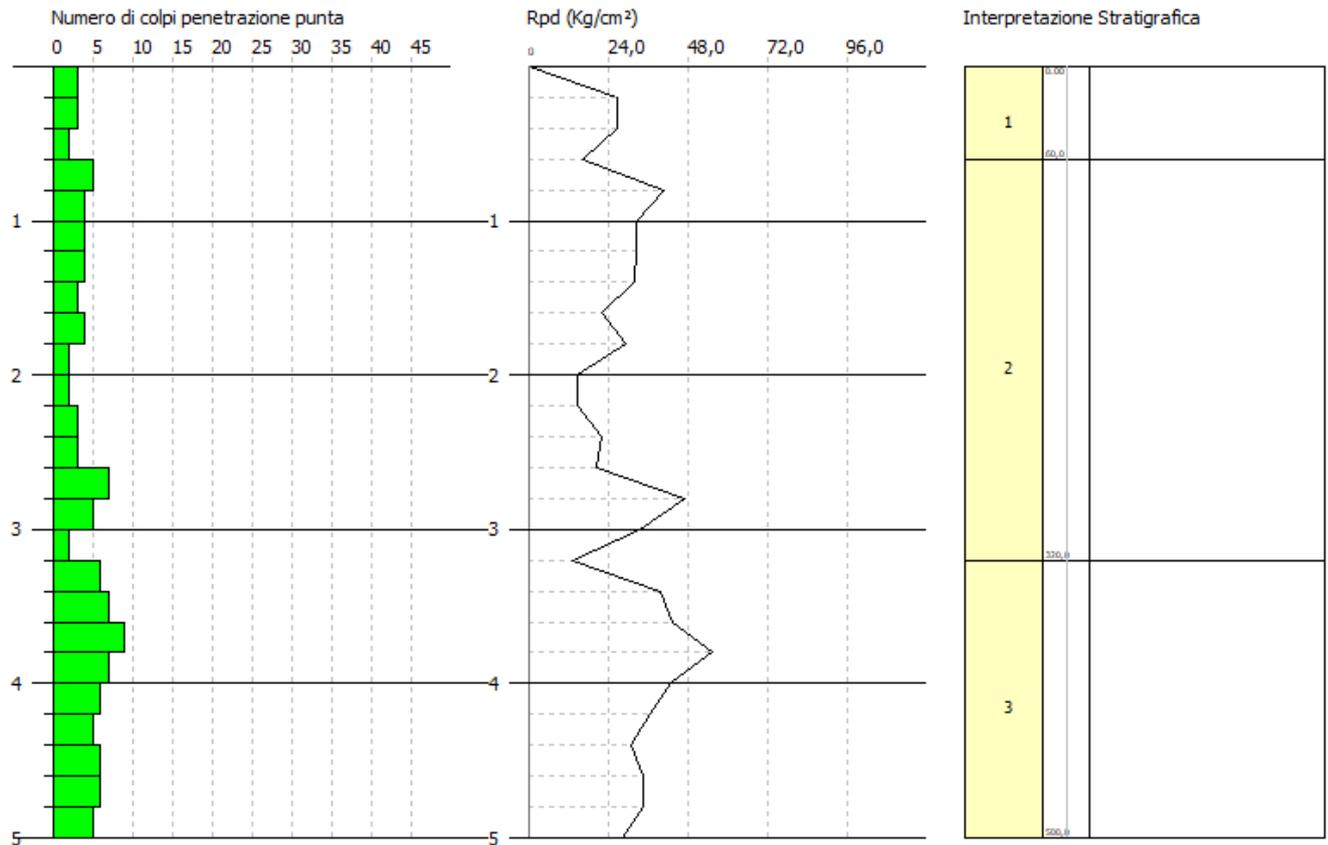
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,88
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Navfac 1971-1982	0,73
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Navfac 1971-1982	1,09
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Navfac 1971-1982	1,99

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	3,9	0,60	3,9	Robertson 1983	7,80
[2] - Strato	5,43	3,20	5,43	Robertson 1983	10,86
[3] - Strato	9,48	5,00	9,48	Robertson 1983	18,96



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 2

TERRENI COESIVI I

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,19	0,80	Terzaghi-Peck	0,14
[2] - Strato	7,15	2,20	Terzaghi-Peck	0,45

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,19	0,80	Robertson (1983)	4,38
[2] - Strato	7,15	2,20	Robertson (1983)	14,30

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,19	0,80	Stroud e Butler (1975)	10,05
[2] - Strato	7,15	2,20	Stroud e Butler (1975)	32,80

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,19	0,80	Apollonia	21,90
[2] - Strato	7,15	2,20	Apollonia	71,50

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Strato	2,19	0,80	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - Strato	7,15	2,20	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Strato	2,19	0,80	Meyerhof ed altri	1,58
[2] - Strato	7,15	2,20	Meyerhof ed altri	1,87

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Strato	2,19	0,80	Meyerhof ed altri	1,85
[2] - Strato	7,15	2,20	Meyerhof ed altri	1,90

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Gibbs & Holtz 1957	11,31
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Gibbs & Holtz 1957	29,66
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Gibbs & Holtz 1957	67,61

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Sowers (1961)	28,61
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Sowers (1961)	30
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Sowers (1961)	35,74

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Bowles (1982) Sabbia Media	213,28

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	31,96
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	42,15
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	84,27

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Meyerhof ed altri	1,41
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Meyerhof ed altri	1,63
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Meyerhof ed altri	2,11

Peso unità di volume saturo

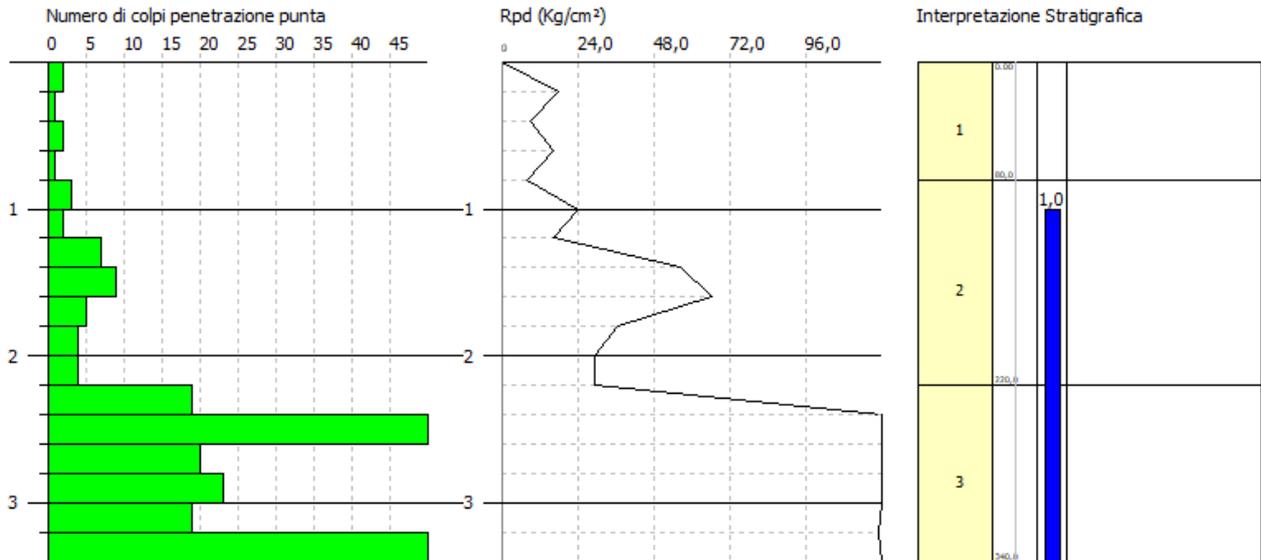
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Navfac 1971-1982	0,32
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Navfac 1971-1982	1,48
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Navfac 1971-1982	5,28

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,19	0,80	2,19	Robertson 1983	4,38
[2] - Strato	7,15	2,20	7,15	Robertson 1983	14,30
[3] - Strato	40,31	3,40	27,655	Robertson 1983	55,31



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 3

TERRENI COESIVI I

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,46	0,60	Terzaghi-Peck	0,09
[2] - Strato	4,3	5,00	Terzaghi-Peck	0,27

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,46	0,60	Robertson (1983)	2,92
[2] - Strato	4,3	5,00	Robertson (1983)	8,60

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,46	0,60	Stroud e Butler (1975)	6,70
[2] - Strato	4,3	5,00	Stroud e Butler (1975)	19,73

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,46	0,60	Apollonia	14,60
[2] - Strato	4,3	5,00	Apollonia	43,00

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Strato	1,46	0,60	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
[2] - Strato	4,3	5,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Strato	1,46	0,60	Meyerhof ed altri	1,52
[2] - Strato	4,3	5,00	Meyerhof ed altri	1,72

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Strato	1,46	0,60	Meyerhof ed altri	1,85
[2] - Strato	4,3	5,00	Meyerhof ed altri	1,87

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Gibbs & Holtz 1957	5,46
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Gibbs & Holtz 1957	16,13

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Sowers (1961)	28,41
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Sowers (1961)	29,2

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	30,46
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	36,30

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Meyerhof ed altri	1,37
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Meyerhof ed altri	1,51

Peso unità di volume saturo

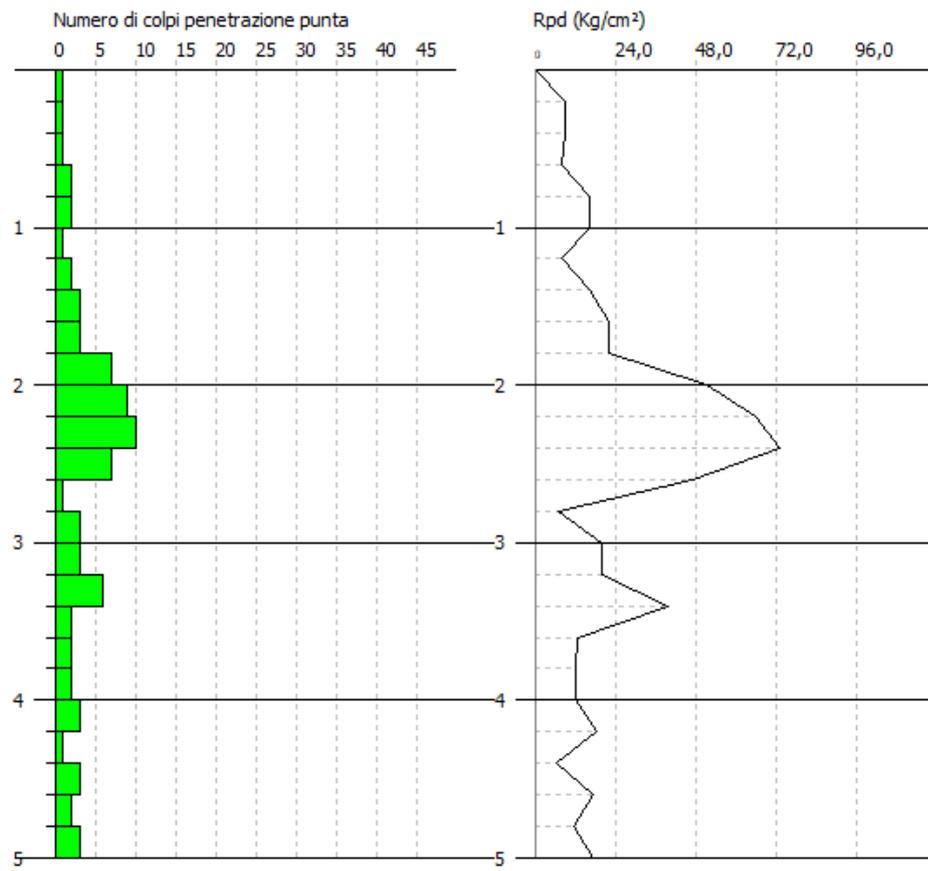
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,86
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,88

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Navfac 1971-1982	0,14
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Navfac 1971-1982	0,82

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,46	0,60	1,46	Robertson 1983	2,92
[2] - Strato	4,3	5,00	4,3	Robertson 1983	8,60



Interpretazione Stratigrafica

1	0,00 60,0	
2	50,0	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 4

TERRENI COESIVI I

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	Terzaghi-Peck	0,18
[2] - Strato	4,94	5,00	Terzaghi-Peck	0,31

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	Robertson (1983)	5,84
[2] - Strato	4,94	5,00	Robertson (1983)	9,88

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	Stroud e Butler (1975)	13,40
[2] - Strato	4,94	5,00	Stroud e Butler (1975)	22,67

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	Apollonia	29,20
[2] - Strato	4,94	5,00	Apollonia	49,40

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Strato	2,92	0,80	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - Strato	4,94	5,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	Meyerhof ed altri	1,63
[2] - Strato	4,94	5,00	Meyerhof ed altri	1,76

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	Meyerhof ed altri	1,86
[2] - Strato	4,94	5,00	Meyerhof ed altri	1,88

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Gibbs & Holtz 1957	15,98
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Gibbs & Holtz 1957	18,46

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Sowers (1961)	28,82
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Sowers (1961)	29,38

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	33,46
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	37,61

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Meyerhof ed altri	1,45
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Meyerhof ed altri	1,54

Peso unità di volume saturo

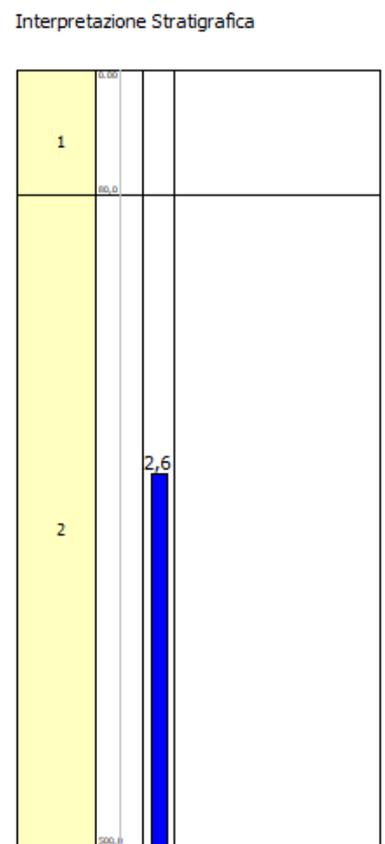
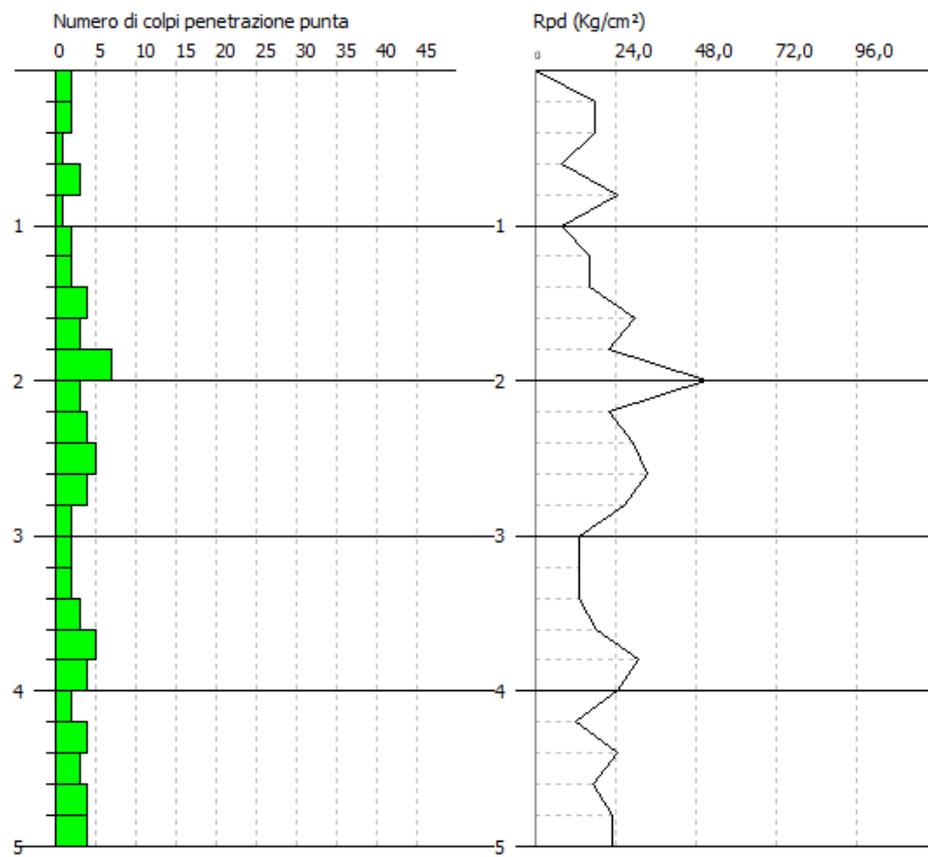
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Navfac 1971-1982	0,49
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Navfac 1971-1982	0,97

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Robertson 1983	5,84
[2] - Strato	4,94	5,00	4,94	Robertson 1983	9,88



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 5

TERRENI COESIVI I

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,83	0,80	Terzaghi-Peck	0,11
[2] - Strato	5,81	3,40	Terzaghi-Peck	0,36

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,83	0,80	Robertson (1983)	3,66
[2] - Strato	5,81	3,40	Robertson (1983)	11,62

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,83	0,80	Stroud e Butler (1975)	8,40
[2] - Strato	5,81	3,40	Stroud e Butler (1975)	26,66

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,83	0,80	Apollonia	18,30
[2] - Strato	5,81	3,40	Apollonia	58,10

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Strato	1,83	0,80	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
[2] - Strato	5,81	3,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Strato	1,83	0,80	Meyerhof ed altri	1,55
[2] - Strato	5,81	3,40	Meyerhof ed altri	1,80

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Strato	1,83	0,80	Meyerhof ed altri	1,85
[2] - Strato	5,81	3,40	Meyerhof ed altri	1,89

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Gibbs & Holtz 1957	8,55
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Gibbs & Holtz 1957	23,07
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Gibbs & Holtz 1957	21,75

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Sowers (1961)	28,51
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Sowers (1961)	29,63
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Sowers (1961)	29,99

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	31,22
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	39,40
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	42,09

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Meyerhof ed altri	1,39
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Meyerhof ed altri	1,57
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Meyerhof ed altri	1,63

Peso unità di volume saturo

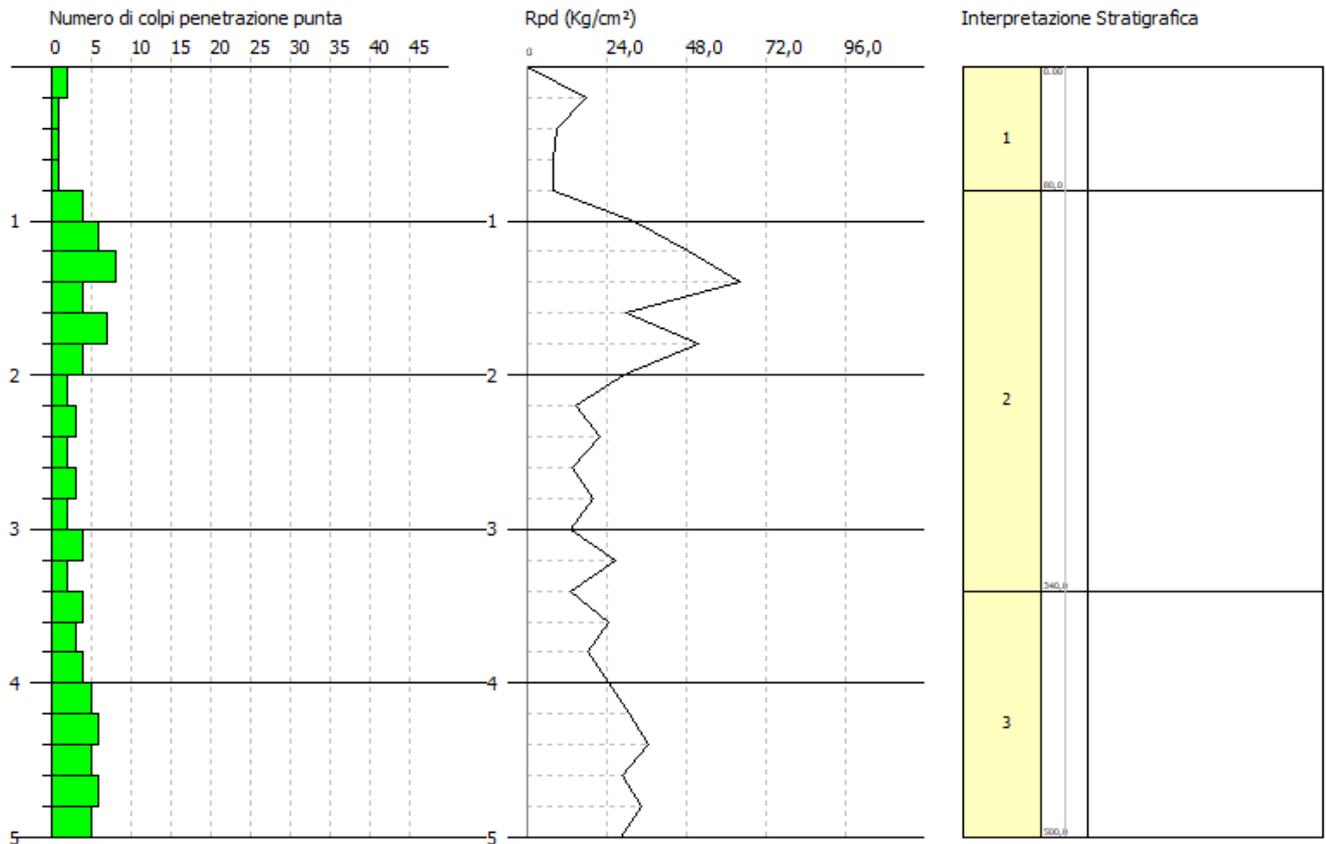
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Navfac 1971-1982	0,23
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Navfac 1971-1982	1,17
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Navfac 1971-1982	1,47

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	1,83	0,80	1,83	Robertson 1983	3,66
[2] - Strato	5,81	3,40	5,81	Robertson 1983	11,62
[3] - Strato	7,12	5,00	7,12	Robertson 1983	14,24



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 6

TERRENI COESIVI I

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	Terzaghi-Peck	0,18
[2] - Strato	7,73	3,20	Terzaghi-Peck	0,48

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	Robertson (1983)	5,84
[2] - Strato	7,73	3,20	Robertson (1983)	15,46

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	Stroud e Butler (1975)	13,40
[2] - Strato	7,73	3,20	Stroud e Butler (1975)	35,47

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	Apollonia	29,20
[2] - Strato	7,73	3,20	Apollonia	77,30

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Strato	2,92	0,80	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - Strato	7,73	3,20	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	Meyerhof ed altri	1,63
[2] - Strato	7,73	3,20	Meyerhof ed altri	1,89

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	Meyerhof ed altri	1,86
[2] - Strato	7,73	3,20	Meyerhof ed altri	1,90

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Gibbs & Holtz 1957	15,98
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Gibbs & Holtz 1957	28,52
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Gibbs & Holtz 1957	8,24

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Sowers (1961)	28,82
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Sowers (1961)	30,16
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Sowers (1961)	28,79

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	33,46
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	43,34
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	33,28

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Meyerhof ed altri	1,45
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Meyerhof ed altri	1,65
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Meyerhof ed altri	1,44

Peso unità di volume saturo

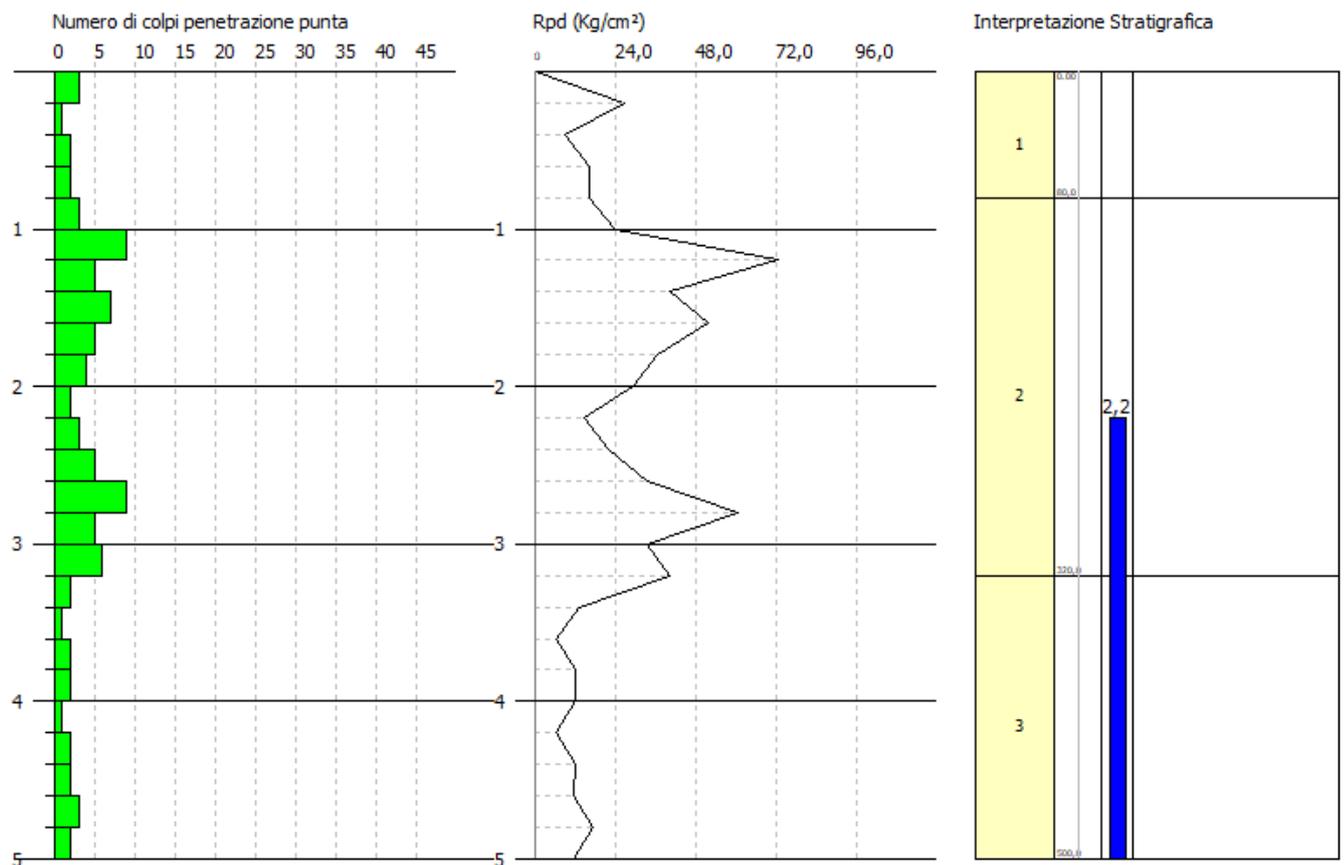
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Navfac 1971-1982	0,49
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Navfac 1971-1982	1,61
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Navfac 1971-1982	0,47

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Robertson 1983	5,84
[2] - Strato	7,73	3,20	7,73	Robertson 1983	15,46
[3] - Strato	2,83	5,00	2,83	Robertson 1983	5,66



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 7

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Gibbs & Holtz 1957	40,58
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Gibbs & Holtz 1957	51,73
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Gibbs & Holtz 1957	18,39

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Sowers (1961)	30,97
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Sowers (1961)	34,18
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Sowers (1961)	29,63

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Bowles (1982) Sabbia Media	127,95
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Bowles (1982) Sabbia Media	185,40
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	49,22
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	72,82
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	39,44

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Meyerhof ed altri	1,75
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Meyerhof ed altri	2,03
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Meyerhof ed altri	1,57

Peso unità di volume saturo

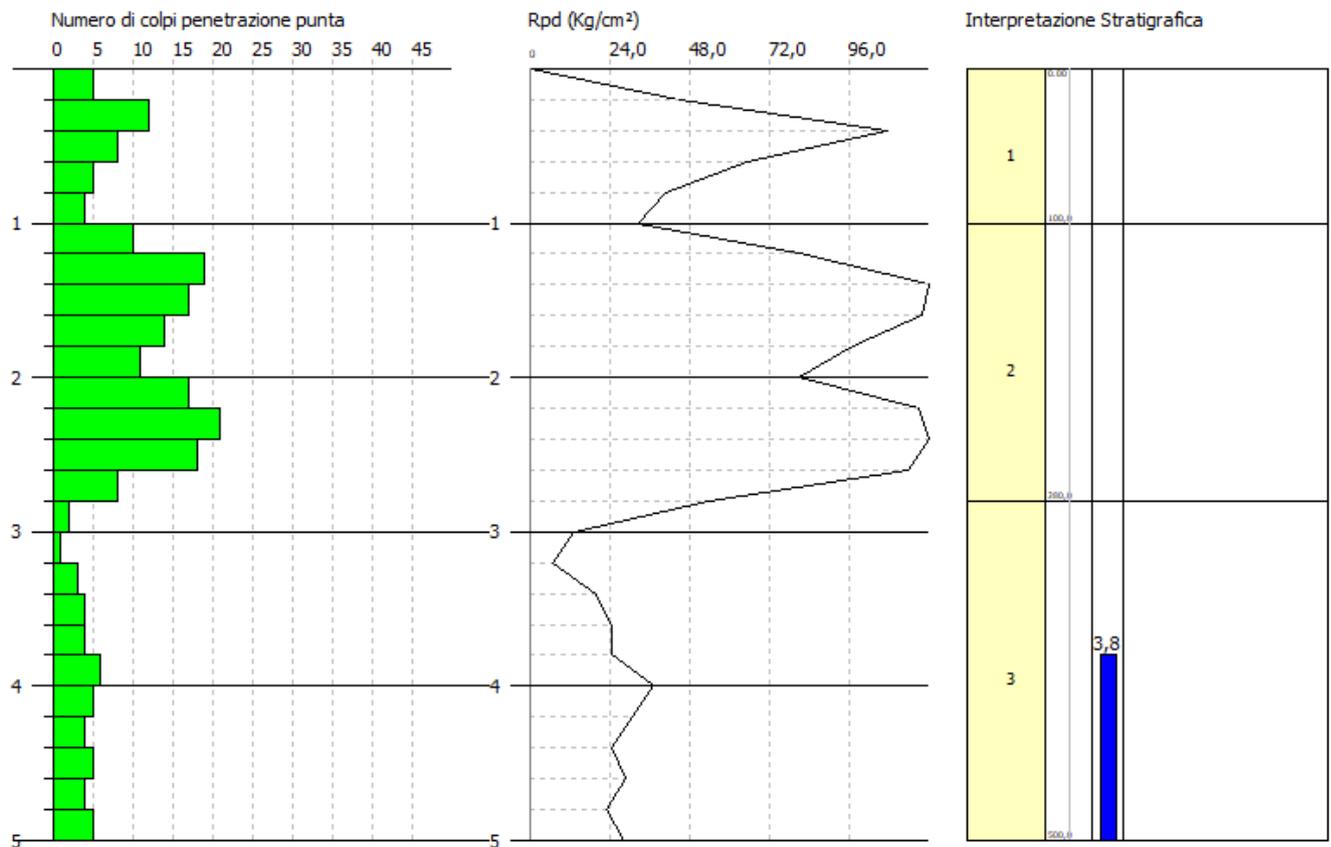
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,44
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Navfac 1971-1982	2,23
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Navfac 1971-1982	4,40
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Navfac 1971-1982	1,18

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - Strato	10,59	1,00	10,59	Robertson 1983	21,18
[2] - Strato	22,08	2,80	22,08	Robertson 1983	44,16
[3] - Strato	5,83	5,00	5,83	Robertson 1983	11,66



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 8

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Gibbs & Holtz 1957	16,11
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Gibbs & Holtz 1957	33,42
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Gibbs & Holtz 1957	22,46

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Sowers (1961)	28,82
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Sowers (1961)	30,47
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Sowers (1961)	29,67

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	33,46
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	45,60
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	39,71

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Meyerhof ed altri	1,45
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Meyerhof ed altri	1,69
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Meyerhof ed altri	1,58

Peso unità di volume saturo

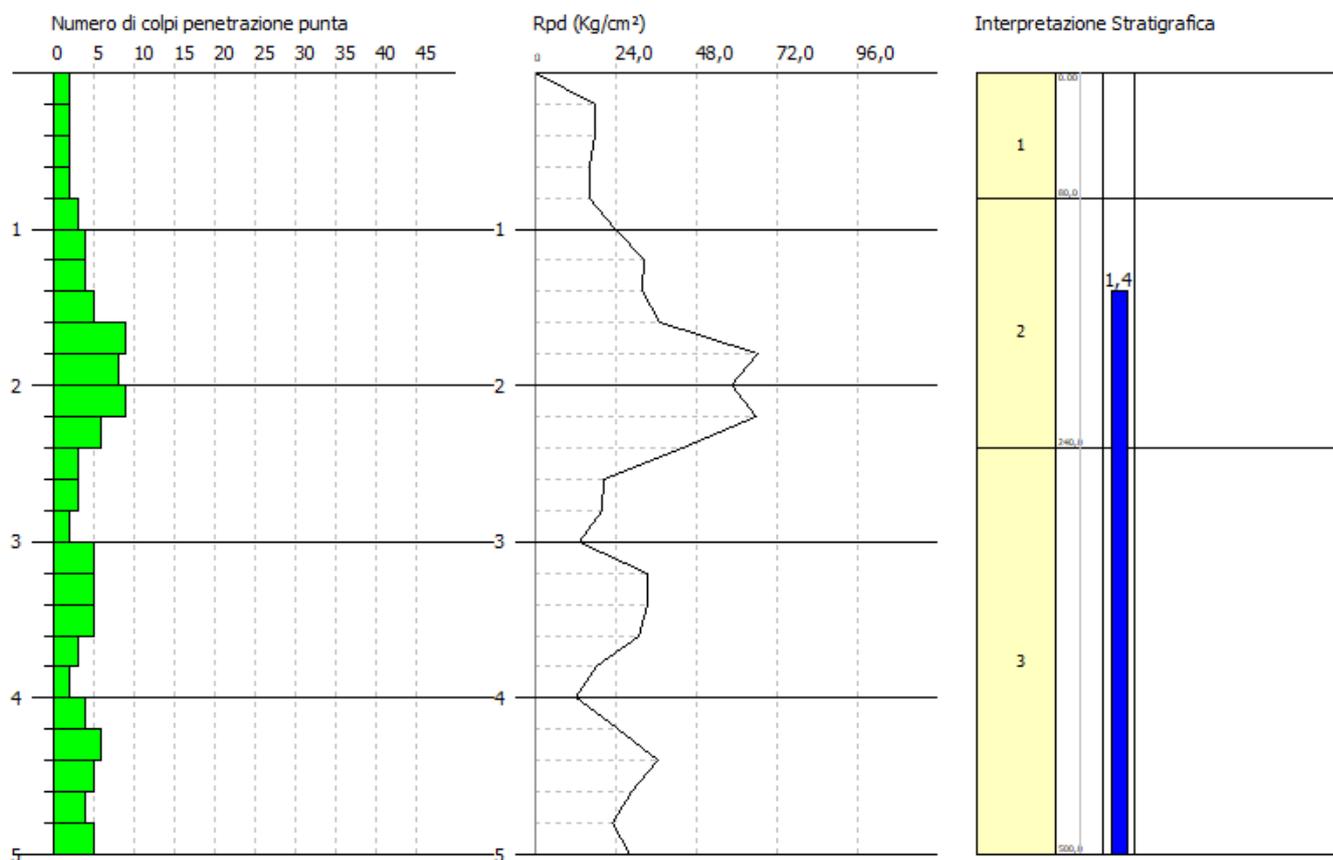
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Navfac 1971-1982	0,49
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Navfac 1971-1982	1,85
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Navfac 1971-1982	1,21

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - Strato	2,92	0,80	2,92	Robertson 1983	5,84
[2] - Strato	8,83	2,40	8,83	Robertson 1983	17,66
[3] - Strato	5,96	5,00	5,96	Robertson 1983	11,92



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 9

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Gibbs & Holtz 1957	16,51
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Gibbs & Holtz 1957	30,99
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Gibbs & Holtz 1957	18,47

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Sowers (1961)	28,82
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Sowers (1961)	30,2
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Sowers (1961)	29,46

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	33,50
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	43,57
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	38,15

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Meyerhof ed altri	1,45
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Meyerhof ed altri	1,65
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Meyerhof ed altri	1,55

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Navfac 1971-1982	0,50
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Navfac 1971-1982	1,63
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Navfac 1971-1982	1,03

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - Strato	2,94	0,60	2,94	Robertson 1983	5,88
[2] - Strato	7,84	2,40	7,84	Robertson 1983	15,68
[3] - Strato	5,2	5,00	5,2	Robertson 1983	10,40

