



MARZO 2024

ECENERGY SOLAR PARK 1 S.R.L.
IMPIANTO AGRIVOLTAICO COLLEGATO ALLA RTN
POTENZA NOMINALE 51,86 MW

COMUNE DI ZERFALIU (OR)

Montagna

PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO
AGRIVOLTAICO

Relazione geologica e geotecnica

Progettista

Ing. Laura Maria Conti n. ordine Ing. Pavia 1726

Coordinamento

Corrado Pluchino

Paola Scaccabarozzi

Marco Corrà

Codice elaborato

3016_5461_SV_VIA_R05_Rev0_Relazione geologica e geotecnica

Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
3016_5461_SV_VIA_R03_Rev0_Relazione descrittiva generale	03/2024	Prima emissione	GdL	PSc	L.Conti

Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Maria Conti	Progettista	Ordine Ing. Pavia 1726
Corrado Pluchino	Responsabile Tecnico Operativo	Ord. Ing. Milano A27174
Riccardo Festante	Progettazione Elettrica, Rumore e Comunicazioni	Tecnico acustico/ambientale n. 71
Paola Scaccabarozzi	Project Manager	
Marco Corrà	Coordinamento ambientale -Architetto	
Fabio Lassini	Ingegnere Idraulico	Ordine Ing. Milano A29719
Mauro Aires	Ingegnere strutturista	Ordine Ing. Torino 9583J
Sergio Alifano	Architetto	
Andrea Delussu	Ingegnere Elettrico	
Luca Morelli	Ingegnere Ambientale	
Raffaella Bertolini	Naturalista	
Graziella Cusmano	Architetto	
Matthew Piscedda	Perito Elettrotecnico	
Vincenzo Ferrante	Ingegnere strutturista	
Daniele Moncecchi	Ingegnere Ambientale	Ordine Ing. Sondrio A986

Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156
Cap. Soc. 600.000,00 €

www.montanambiente.com





Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Elisa Reposo	Ingegnere Ambientale	
Michele Dessì	Ingegnere Elettrico	
Stefano Corrà	Ingegnere Strutturista	
Giancarlo Carboni	Studio di Geologia Tecnica e Ambientale	
Leonardo Cuscito	Perito Agrario laureato	Periti Agrari della provincia di Bari, n° 1371
Eliana Santoro	Agronomo	
Emanuela Gaia Forni	Dott.ssa Scienze e Tecnologie Agrarie	
Chiara Caltagirone		
Federico Miscali	Tecnico competente in Acustica	iscritto al n. 145 dell'elenco regionale della Sardegna dei tecnici competenti in acustica e al n. 4017 dell'elenco nazionale ENTECA
Michele Barca	Tecnico competente in Acustica	Dott. Ing. Michele Barca iscritto al n. 337 dell'elenco regionale della Sardegna dei tecnici competenti in acustica e al n. 4180 dell'elenco nazionale ENTECA.
Stefano di Stefano	Archeologo di I Fascia	n. 4421 elenco MIC Archeologo I fascia abilitato redazione VPIA
Alessandro de Leo	Archeologo	

INDICE

1. PREMESSA	6
1.1 DATI GENERALI DI PROGETTO	6
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO	8
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	12
3.1 DESCRIZIONE LITO-STRATIGRAFICA	12
3.1.1 Depositi sedimentari palustri – Laghi (L)	13
3.1.2 Depositi alluvionali terrazzati (bn)	13
3.1.3 Sintema di Portovesme (PVM2a)	13
3.1.4 Subunità di Dualchi (BPL2)	13
3.2 GEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO	16
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	17
5. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	18
6. IDROGEOLOGIA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA	19
6.1 CARATTERI GENERALI	19
6.1.1 Idrologia superficiale	19
6.1.2 Idrogeologia sotterranea	21
7. INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO	22
7.1 TEMPERATURE E PRECIPITAZIONI	22
7.2 VENTI AL SUOLO	22
7.3 GELO E PRECIPITAZIONI NEVOSE	23
8. CONSIDERAZIONI SUL PERICOLO GEOLOGICO	24
8.1 PERICOLO GEOMORFOLOGICO	24
8.2 PERICOLO IDRAULICO	24
9. RISPOSTA SISMICA DI BASE	26
9.1 SISMICITÀ STORICA	26
9.1.1 Tracce di paleosismicità	27
9.1.2 Sismicità storica della Sardegna centro settentrionale	27
9.2 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA	30
9.2.1 Faglie attive e capaci (ITHACA)	31
10. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	33
10.1 RISULTATI DELLA INDAGINE SISMICA MASW	33
10.2 APPLICABILITÀ DEL METODO SEMPLIFICATIVO	34
10.3 VS EQUIVALENTE	35
10.4 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	35
10.4.1 Parametrizzazione sismica e Azione sismica	36
11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO	39
11.1 PROVE PENETROMETRICHE	39
11.1.1 Sintesi parametri geotecnici da prova penetrometrica	40
11.1.2 Coordinate punti di esecuzione prove penetrometriche	40
11.1.3 Fotografie esecuzione prove penetrometriche	41



11.2 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE MASW.....	41
11.3 CORRELAZIONI GEOTECNICHE DA INDAGINE SISMICA MASW	42
11.3.1 Correlazione ϕ -Vs.....	42
11.3.2 Correlazione Cu-Vs.....	42
11.3.3 Portanza.....	42
11.4 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DA SISMICA A RIFRAZIONE	43
11.5 SCAVABILITÀ DEL SUBSTRATO	45
11.5.1 Fotografie esecuzione prove sismiche.....	46
12. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	47
12.1 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	47
12.2 STRATIGRAFIA SCHEMATICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA	48
12.3 STRATIGRAFIA AREA DI SEDIME TIPICA	48
12.4 PIANO DI INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA	50
12.5 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE PREVISTE	52
13. CONCLUSIONI	53
13.1 APPENDICE	53
13.1.1 Indagini sismiche MASW.....	53
13.1.2 Indagini con prove penetrometriche	61
14. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	83



1. PREMESSA

Il progetto in questione prevede la realizzazione, attraverso la società di scopo Eenergy Solar Park 1 S.r.l., di un impianto solare agrivoltaico in alcuni terreni a nord-est del territorio comunale di Zerfaliu (OR) di potenza pari a 51,86 MW su un'area catastale di circa 76,37 ettari complessivi di cui circa 65,95 ha recintati. Il presente documento costituisce la **Relazione geologica e geotecnica** del progetto in esame.

Eenergy Solar Park 1 S.r.l è una società italiana con sede legale in Italia nella città di Milano (MI). Le attività principali del gruppo sono lo sviluppo, la progettazione e la realizzazione di impianti di medie e grandi dimensioni per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il progetto in esame è in linea con quanto previsto dal: "Pacchetto per l'energia pulita (Clean Energy Package)" presentato dalla Commissione europea nel novembre 2016 contenente gli obiettivi al 2030 in materia di emissioni di gas serra, fonti rinnovabili ed efficienza energetica e da quanto previsto dal Decreto 10 novembre 2017 di approvazione della Strategia energetica nazionale emanato dal Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo infisso nel terreno.

Le strutture saranno posizionate in maniera da conferire in modo funzionale un carattere agrivoltaico all'impianto. I pali di sostegno delle strutture tracker sono posizionati distanti tra loro di 10,50 metri, compresa l'interfila in cui è collocata la viabilità di campo, la cui ampiezza è pari a 3,50 metri. Tali distanze sono state applicate per garantire la corretta integrazione fra pratiche agricole ed installazioni fotovoltaiche. Sarà utilizzata una tipologia di strutture, in configurazione 2P (two-in-portrait), composte rispettivamente da 12 (tipo 1) e 24 (tipo 2) moduli.

La corrente elettrica prodotta dai moduli fotovoltaici sarà convertita e trasformata tramite l'installazione di inverter di stringa e di 14 Cabine di Campo. Infine, l'impianto fotovoltaico sarà allacciato, con soluzione in cavo interrato di lunghezza pari a circa 7,1 km, con tensione pari a 36 kV alla rete di Distribuzione tramite la realizzazione di una nuova Stazione Elettrica della RTN a 220/36 kV da inserire in entra-esce alla linea 220 kV "Codrongianos-Oristano".

1.1 DATI GENERALI DI PROGETTO

Nella tabella seguente sono riepilogate in forma sintetica le principali caratteristiche tecniche dell'impianto di progetto.

Tabella 1.1: Dati di progetto

ITEM	DESCRIZIONE
Richiedente	ECONERGY SOLAR PARK 1 S.r.l.
Luogo di installazione:	ZERFALIU (OR)
Denominazione impianto:	SANTA VITTORIA
Potenza di picco (MW _p):	51,86 MWp
Informazioni generali del sito:	Sito ben raggiungibile, caratterizzato da viabilità esistente per lo più costituita da strade bianche ben praticabili. La morfologia è piuttosto regolare.
Connessione:	Interfacciamento alla rete mediante soggetto privato nel rispetto delle norme CEI
Tipo strutture di sostegno:	Strutture metalliche in acciaio zincato tipo Tracker fissate a terra su pali.
Moduli per struttura:	n. 12 Tipo 1 (6x2)
	n. 24 Tipo 2 (12x2)
Inclinazione piano dei moduli:	+55°/- 55°
Azimut di installazione:	0°
Sezioni sito:	n. 8 denominate A, B, C, D, E ,F ,G ,H
Cabine di Campo:	n. 14 distribuite all'interno delle sezioni dell'impianto agrivoltaico
Inverter:	n. 145 Sungrow SG350HX-20A-Preliminary
Cabine di Smistamento:	n. 1 interna alla sezione A, posizionata lungo la recinzione
Cabine di Connessione:	n. 1 esterna all'impianto, posizionata in prossimità della nuova SE
Rete di collegamento:	36 kV
Coordinate (Cabina di Smistamento):	Latitudine 39.97387° N;
	Longitudine 8.70885° E

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

Zerfaliu è un comune italiano di 992 abitanti della provincia di Oristano in Sardegna, nella regione del Campidano di Oristano. Il paese è un importante centro di produzione di agrumi e vini di qualità (vernaccia).

Il parco fotovoltaico in progetto si estende nel territorio comunale di Zerfaliu, in un territorio con morfologia leggermente ondulata adibita a pascolo e opere di rimboschimento con pini.

L'area è compresa nel foglio 1:50.000 n°529 "Samugheo", nella Tavoletta I.G.M. in scala 1:25.000 n° 529 Sez. IV "Solarussa" e nei Fogli 1: 10.000 della Carta Tecnica Regionale Numerica della Sardegna n° 529 090.

- Agro settentrionale di Zerfaliu – comune di Zerfaliu (OR).
- Cartografia: I.G.M. 1:50.000 - Foglio n° 529 "Samugheo".
- I.G.M. 1:25.000 - Tavoletta n° 529 Sez. IV "Solarussa". C.T.R. 1:10.000 - Sezione n° 529 090.
- Quota m s.l.m.: 25,4 m quota minima - 50,00 m quota massima.

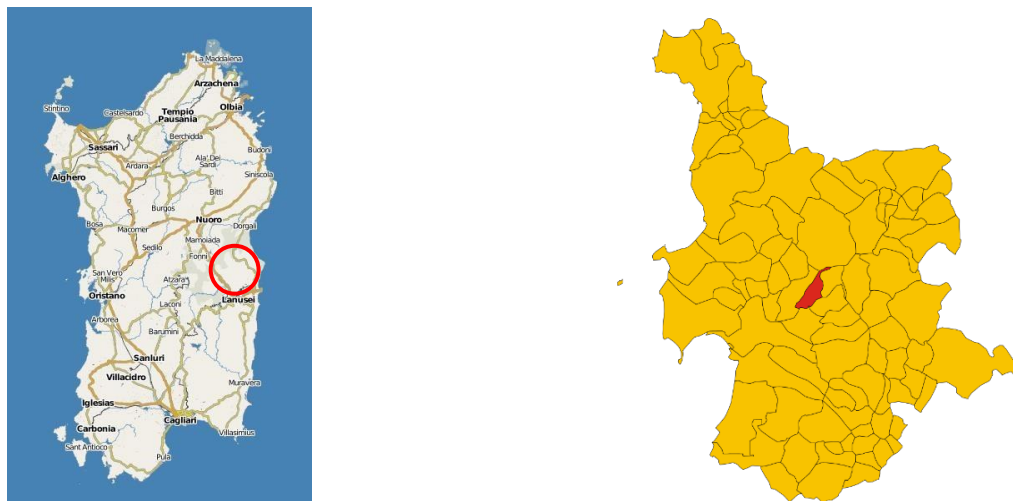


Figura 2.1: Inquadramento su scala regionale (a sinistra) e del territorio comunale (a destra)

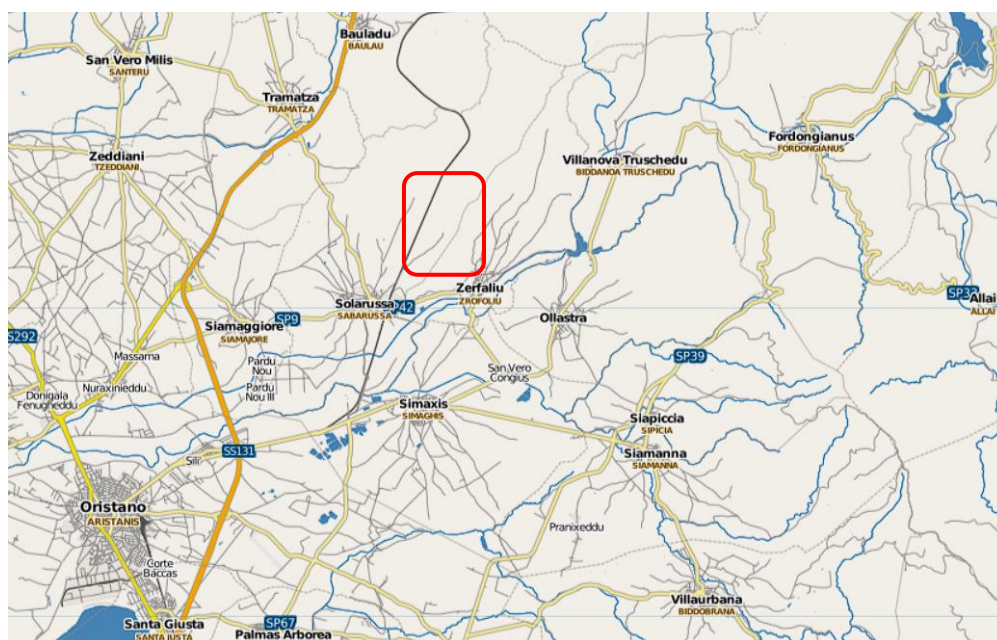


Figura 2.2: Inquadramento su corografia a scala comunale

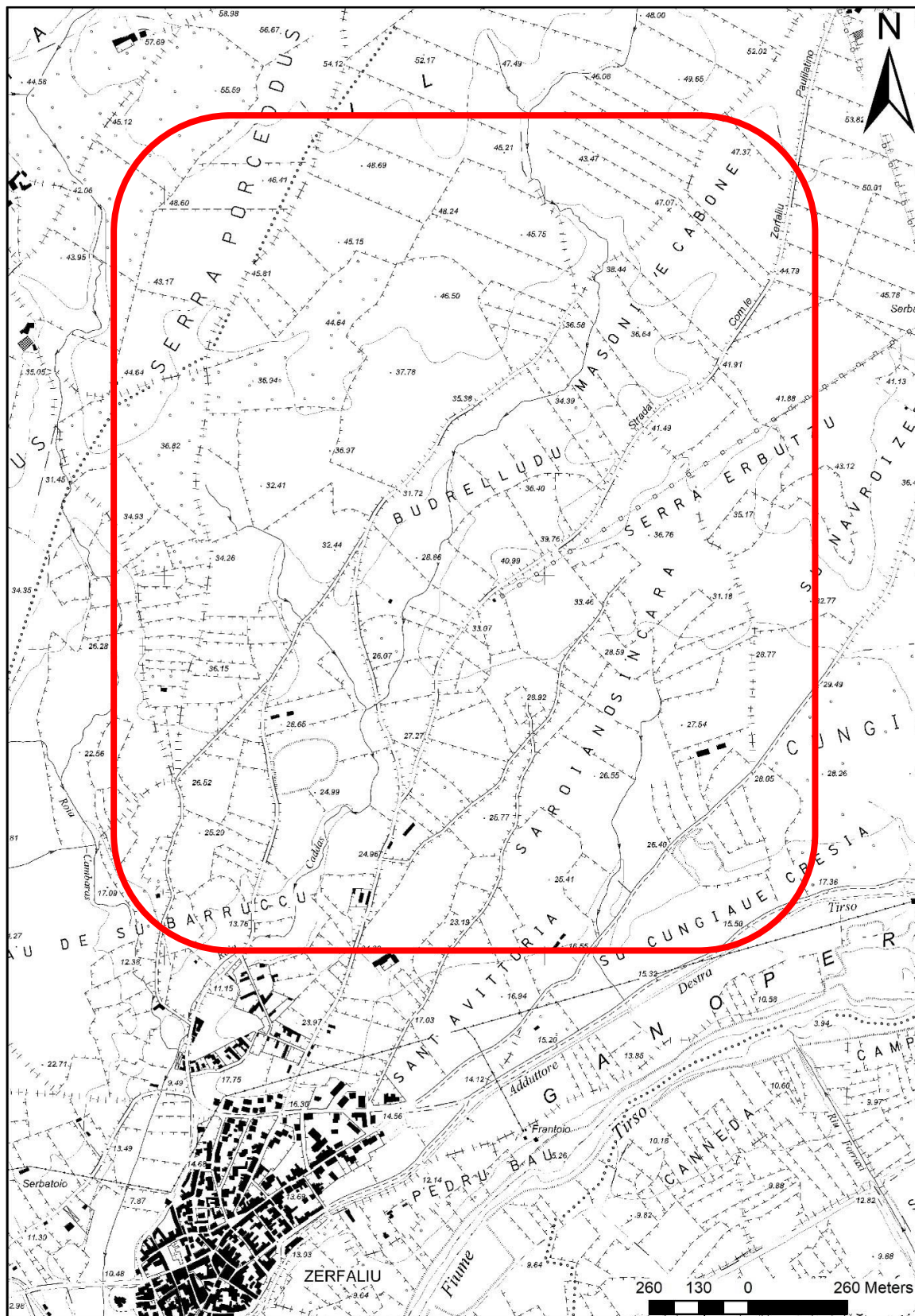


Figura 2.4: Inquadratura topografica su cartografia CTR.



Figura 2.5: Inquadramento su corografia a scala comunale.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La conoscenza delle caratteristiche geologiche del territorio è di fondamentale importanza per qualsiasi attività o intervento che si voglia realizzare nello stesso. Questo capitolo si caratterizza con l'inquadramento geologico generale del settore vicinale della grande conoide del Tirso, con riferimento all'area vasta del Geologia generale dell'area vasta.

L'assetto geologico-strutturale dell'area in studio deriva dal risultato di quei processi che, a partire dall'Oligocene e per tutto il Miocene ed il Pliocene, a seguito della fase geodinamica di profondo mutamento orogenico e paleogeografico del Mare Mediterraneo, hanno portato all'evoluzione del rift Sardo, al suo vulcanismo e alla trasgressione marina miocenica e pliocenica (Lecca et alii, 1997 e sua bibliografia).

Alla fine dell'Oligocene e inizio Miocene (Rupeliano- Cattiano) inizia a formarsi il rift sardo, conseguente a una tettonica di tipo estensionale – trastensionale che porterà alla separazione del blocco sardo-corso dalla placca iberica. In questa prima fase vengono riattivate delle faglie già in precedenza formatesi nella fase Ercinica che porteranno a una rototraslazione del blocco sardocorso di circa 35° verso S-SE fino a stabilirsi nella posizione attuale. La rototraslazione dura all'incirca 10 M. A. In questa prima fase inizia a formarsi un sistema di rift che attraversa tutta la Sardegna da Sud a Nord. Tale rift alla base è riempito da una sequenza vulcanica di tipo andesitico di età compresa tra i 33 e i 26 Ma associata a una tettonica estensionale. Alla fine del Burdigaliano e l'inizio del Langhiano superiore il blocco sardo-corso va a collidere con il dominio continentale della placca Apula che porterà a una tettonica di tipo compressionale e transpressiva causando le varie genesi del rift come, il bacino di Chilivani-Berchidda (Oggiano et alii, 1995). Dal Serravalliano si ha fino al Pliocene medio si ha un periodo di stasi in cui le formazioni andranno a riempire il rift. Le principali formazioni che riempiono le varie parti del Rift Sardo non sono uguali per le varie zone della Sardegna e non hanno tutte lo stesso spessore.

Dal Pliocene medio inizia una nuova fase tettonica a seguito dell'apertura del Mar Tirreno in cui si avrà la formazione di una nuova fossa che si formerà da Oristano a Cagliari. Questo periodo porterà alla formazione di due importanti complessi vulcanici, ovvero quello di Monte Arci e del Montiferru. La nuova fossa formatasi nel Pliocene tutt'oggi è ancora in fase di riempimento.

Il settore in studio ricade nel settore centro-settentrionale della piana del Campidano di Oristano, come precedentemente descritto, formatasi a seguito da differenti eventi tettonici e geodinamici il quale, successivamente è stato riempito da una serie di depositi sedimentari.

3.1 DESCRIZIONE LITO-STRATIGRAFICA

In particolare, una piccola parte del settore settentrionale dell'area oggetto di studio è caratterizzata da litologie vulcaniche del pliocene, le quali rappresentano la base stratigrafica. Tutti gli altri settori invece sono caratterizzati da una fascia territorio costituita da litologie che, durante il Quaternario antico e più recente, in parte hanno riempito il graben del campidano di Oristano e hanno modellato il paesaggio che oggi osserviamo durante l'olocene. Tali litologie sedimentarie si sono originate per la deposizione progressiva di una spessa coltre di detriti alluvionali, di conoide, fluviali e palustri, deposti al variare del livello marino di base, in stretta correlazione con l'andamento climatico del Quaternario. Tali depositi sono la testimonianza di una evoluzione del reticolo idrografico, in parte differente da quello attuale che, durante il quaternario ha modellato il paesaggio dell'area la quale è caratterizzata da ampi terrazzi di origine fluviale e alluvionale, di età riconducibile al quaternario antico e recente.

Da un'analisi cartografica e dal sopralluogo effettuato le formazioni affioranti sono riconducibili alle seguenti litologie che partendo dall'alto verso il basso stratigrafico, possono essere rappresentate dai seguenti litotipi:

- Depositi sedimentari palustri - Laghi (L)
- Depositi alluvionali (b) - Olocene;

- Depositi alluvionali terrazzati (bn) Olocene;
- Sintema di Portovesme (PVM2a) – Pleistocene sup;
- Subunità di Dualchi - basalti della Palanargia -Campeda (BPL2) Pliocene.

3.1.1 Depositi sedimentari palustri – Laghi (L)

Questi depositi derivano dalla sedimentazione in ambiente lacustre e palustre nel quaternario più recente e attuale, si depositano in generale nei bordi e nel centro delle paludi e stagni. È stato possibile cartografarli a seguito delle bonifiche degli stagni e paludi e alla canalizzazione delle acque eseguite a metà del 1900.

3.1.2 Depositi alluvionali terrazzati (bn)

Nel settore meridionale dell'area in studio sono presenti i depositi alluvionali terrazzati dell'olocene, i quali derivano da un ambiente di piana alluvionale.

Essi poggiano in sequenza stratigrafica con il Sintema di Portoscuso e sono ricoperti dai depositi alluvionali attuali e dalle arenarie eoliche.

In generale questi sedimenti costituiti da livelli sabbiosi a stratificazione incrociata concava in alternanza con limi sabbiosi. Lo spessore massimo osservato in affioramento è di circa 5m e si presentano come depositi conglomeratici a cementazione variabile in matrice sabbiosa o argillosa con ciottoli arrotondati costituiti in prevalenza da elementi di quarzo, da rocce metamorfiche e subordinatamente da granitoidi e vulcaniti del terziario che, presentano diffusi fenomeni di alterazione, si disgregano sotto l'azione del trasporto idrico e a causa dei fenomeni pedogenetici, con il tipico colore rossastro dovuto alla ferrettizzazione per i fenomeni di ossidazione della frazione argillosa in ambiente subaereo con formazione di ematite ferrosa.

3.1.3 Sintema di Portovesme (PVM2a)

Su gran parte dell'area in studio, compresa il settore sull'area in cui ricadono le opere in progetto, affiorano le successioni sedimentarie alluvionali più antiche, facenti parte del Subsintema di Portovesme, con spessori che raggiungono anche i 35m. Sono costituite generalmente da ghiaie grossolane e a elementi eterometrici e poligenici, sino alla taglia dei blocchi, a spigoli

subangolosi e sub arrotondati costituiti in prevalenza da vulcaniti riolitiche ed in misura minore, di lave dacitiche e basaltiche, immersi in una matrice ghiaio-sabbiosa limosa a matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, di colore generalmente giallastro-arancio con intercalate lenti e/o strati limoso- argillosi e ghiaie in matrice sabbiosa di spessore da decimetrico a metrico. I sedimenti più fini sono sempre subordinati e si presentano in lenti e/o livelli intercalati alle ghiaie. Il grado di addensamento di questi depositi è generalmente elevato e in giacitura caotica. In corrispondenza di tali depositi, incisi più volte dai corsi d'acqua, si sono impostati i ripiani più alti dei terrazzi fluviali.

3.1.4 Subunità di Dualchi (BPL2)

In minima parte sul settore più settentrionale dell'area in studio, affiorano le andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx, Opx, Ol; in estesi espandimenti. Trachibasalti e basalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx.

Di seguito viene rappresentata la carta geologica con la relativa legenda delle successioni affioranti nell'area in studio.






Legenda	
	L - Laghi
	b - Depositi alluvionali. OLOCENE
	bn - Depositi alluvionali terrazzati. OLOCENE
	PVM2a - Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.
	BPL2 - Subunità di Dualchi (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA) Andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx, Opx, Ol; in estesi espandimenti. Trachibasalti e basalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli. PLIOCENE

Figura 3.1: Legenda dello stralcio della Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000, curata dalla RAS.

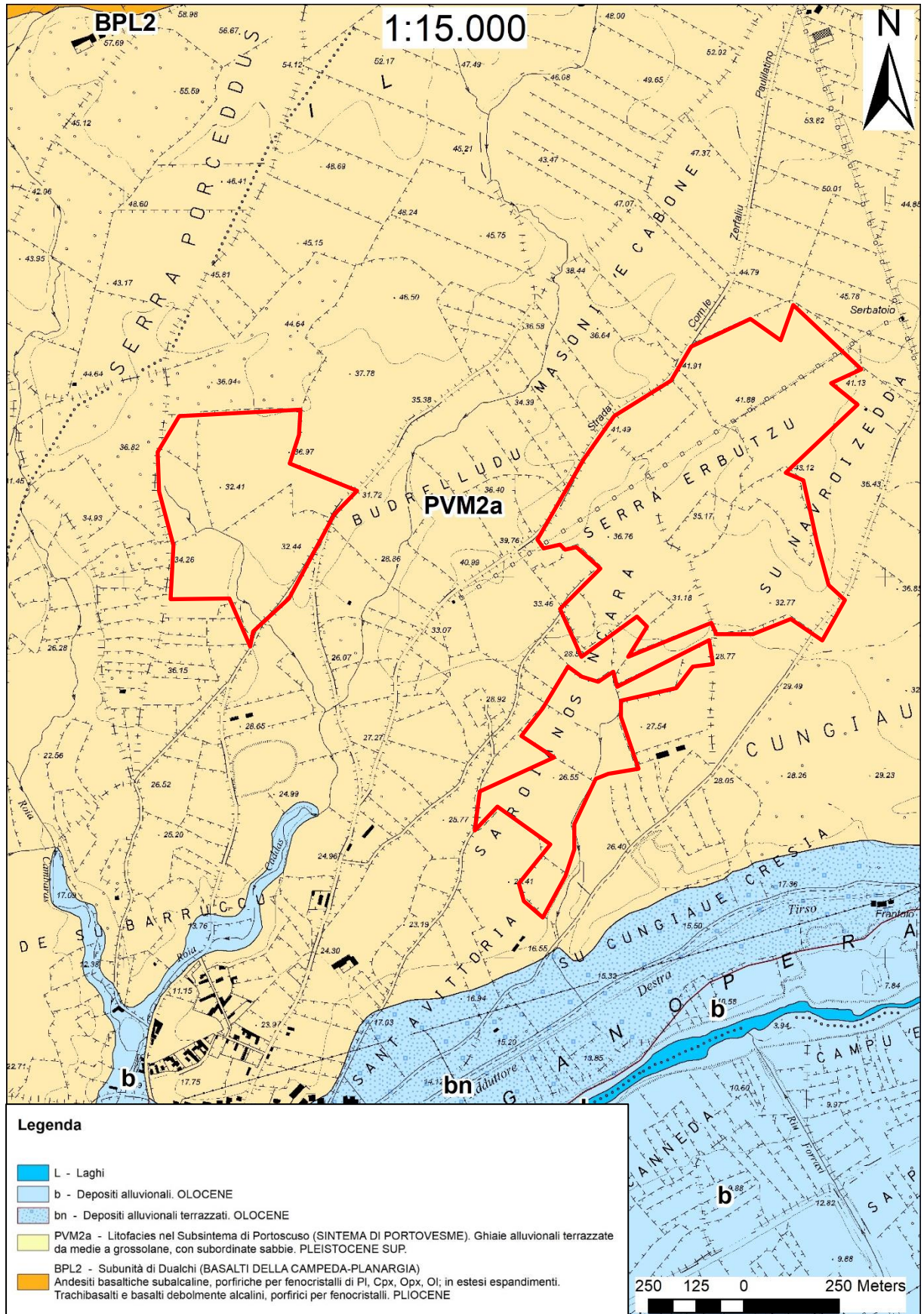


Figura 3.2: Stralcio Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000, curata dalla RAS.

3.2 GEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO

Praticamente la totalità del sito in studio è costituito da coltri alluvionali pleistoceniche attribuite al subsistema di Portoscuso, in particolare si ritiene che nel sito siano presenti depositi di ambiente alluvionale (PVM_{2a}), dai rilievi effettuati parrebbe che sia presente a tratti anche una copertura di sabbie alluvionali rimaneggiate dal vento, quindi di ambiente eolico (PVM_{2b}), non indicate in carta in quanto molto discontinue, scarsamente rilevabili e quindi di difficile determinazione cartografica.

È ben visibile attraverso tutta una serie di fronti di cava che si estendono dalla frazione di Sili fin oltre il comune di Simaxis, occupando così la parte nord-orientale delle "alluvioni terrazzate Auct."

Si presentano con una facies prevalentemente ciottolosa con intercalati livelli sabbiosi. I ciottoli sono eterometrici e poligenici (quarzo, basalto, metamorfiti, trachiti) di dimensioni da centimetriche a decimetriche, ben arrotondati e levigati. I livelli sabbiosi compresi entro le bancate ciottolose-ghiaiose non sono molto comuni, hanno uno spessore limitato a circa 1 m, sono alquanto arrossati e cementati dagli ossidi dei Fe e Al e dalla frazione argillosa presente, mostrano una discreta classazione, sono quarzo prevalenti e talvolta mostrano delle laminazioni di ciottoli diagnostiche del verso di direzione della corrente.

La scarsa selezione di questi depositi, la loro grossolanità, l'elevata elaborazione dei ciottoli e la loro natura litologica tipiche di zone alquanto distanti dal punto di osservazione indicano una deposizione tipicamente di barra fluviale.

Nei fronti di cava gli spessori di tali depositi superano i 10 m, e tale coltre di materiale alluvionale trova giustificazione solo ammettendo la loro messa in posto nell'arco di più cicli alluvionali, con alternanza quindi di depositi grossolani nei momenti a grande energia del fiume seguita dalla deposizione più fine nei momenti di stasi; dei depositi fini sono rimasti pochi resti perché più facilmente asportabili dall'erosione fluviale.

Questa unità segna il lato sinistro del grande terrazzo della sponda idrografica sinistra del Tirso, i ciottoli in essa presenti non si mostrano generalmente alterati, solo i ciottoli trachitici e, in misura minore, quelli basaltici mostrano una leggera patina di alterazione superficiale, la quota dei depositi oscilla tra i 5 e i 10 m circa.

Tenendo conto della strutturazione complessa che la conoide ha avuto in un ambiente di tipo subsidente, il fatto che tali depositi si mostrino oggi terrazzati e ad una quota non trascurabile fa presumere per questa unità un'età tra le più antiche tra i corpi alluvionali che formano la conoide del Tirso.



Figura 3.3: Fronte di cava a 2,3 Km a W-SW di Simaxis dove sono ben visibili le coltri di materiale ciottoloso in matrice sabbiosa, leggermente arrossata.



4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il settore studiato si trova al limite orientale della grande fascia di pianura del Campidano di Oristano, in posizione limitrofa al Fiume Tirso.

La pianura, che deriva dal colmamento di una fossa tettonica, s'interpone tra i rilievi paleozoici e terziari, riempita successivamente da sedimenti in successione cronologica.

Le alluvioni terrazzate antiche appaiono in posizione sopraelevata rispetto al resto della piana con un andamento più mosso e pendenze accentuate. I processi fluviali hanno influenzato alquanto i caratteri dei sedimenti alluvionali, originando durante i periodi climatici caratterizzati da elevata piovosità (dal Villafranchiano all'interglaciale Riss-Wurm) depositi ciottoloso-sabbiosi molto potenti, con elementi litoidi provenienti da rocce paleozoiche della media e alta valle del Tirso, talora notevolmente cementati; i periodi mediamente piovosi (post Wurm) hanno dato luogo a depositi arealmente abbastanza estesi, legati all'ultima fase del processo di riempimento della fossa Oristanese, costituiti da termini meno cementati e più classati.

Sulla base delle altezze topografiche sono stati riconosciuti tre ordini di terrazzi, situati nel settore orientale del territorio di Oristano, nella zona che funge da fascia di raccordo ai rilievi miocenici e vulcanici, affioranti immediatamente fuori il limite amministrativo di Oristano. I terrazzi sono distinguibili solo per il criterio altimetrico, mancano infatti differenze di natura litologica se si eccettua la presenza di crostoni carbonatici negli orizzonti superficiali dei terrazzi più elevati.

Ai margini delle alluvioni recenti si dispongono terrazzamenti lievemente ondulati, formati da sedimenti quaternari; sopra di questi si succedono coni di deiezione più o meno ampi formati dalle ghiaie e dalle sabbie trascinate a valle dai fiumi e dai torrenti nel settore orientale della piana.

5. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

Il rilevamento pedologico si basa sull'esame dei rapporti tra morfologia del suolo, paesaggio, clima e substrato allo scopo di individuare le interazioni esistenti tra i caratteri superficiali ed i caratteri del profilo del suolo in una determinata area.

Il substrato pedogenetico, per la sua natura petrografica e geologica, è uno dei fattori più importanti per la pedogenesi, esso condiziona la distribuzione dei suoli e determina direttamente le caratteristiche chimico fisiche dei terreni. La pedogenesi è nettamente influenzata non solo dai caratteri climatici, biologici e del substrato litologico ma anche dalla morfologia del rilievo; infatti, le varie forme di paesaggio influenzano nettamente il tipo di pedogenesi attraverso numerosi fattori quali pendenza, esposizione, regime idrologico, erosione, ecc.

Nell'area in studio si riscontrano pochi tipi di suolo ed anzi si può dire che il panorama pedologico è piuttosto monotono. Si passa da tipi pedologici ad evoluzione molto spinta e che hanno quindi subito una lunga pedogenesi, a suoli assai più giovani con differenziazione degli orizzonti poco pronunciata e di modesta evoluzione.

In sintesi, il principale gruppo pedologico riscontrato nell'area studiata è, secondo lo schema tassonomico della Soil Taxonomy, quello degli Alfisuoli, in particolare Typic Palexeralfs.

Questo gruppo di suoli, caratterizzato da un arricchimento di argilla negli orizzonti inferiori e da un'alterazione notevole dei minerali primari, è assai diffuso nell'area. Esso si trova infatti sui depositi piroclastici che costituiscono la piana. Qualunque sia la natura della roccia madre dalla quale derivano, tutti gli Alfisuoli dell'area in esame sono caratterizzati da un profilo ove sono stati eliminati tutti i carbonati e che presenta netti orizzonti argillosi profondi causati da un processo di illuviazione. Tale processo è talmente marcato da far presupporre un lungo periodo di pedogenesi: siamo cioè di fronte a suoli molto evoluti, con limitate capacità d'uso ai fini agricoli.



6. IDROGEOLOGIA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

6.1 CARATTERI GENERALI

Tutte le acque dolci che si trovano in Sardegna sono da collegarsi direttamente con la caduta di piogge il cui quantitativo non è scarso, essendo pari in media a quasi 19 miliardi di m³ all'anno. Una considerevole aliquota di dette acque è però destinata a ritornare rapidamente all'atmosfera per effetto dell'evapotraspirazione che, in Sardegna, è particolarmente elevata, dati gli alti valori raggiunti dalla temperatura, l'elevata percentuale dei giorni sereni e la frequenza con cui soffiano i venti. Un'altra frazione considerevole viene trattenuta direttamente dalla vegetazione.

Ciononostante, l'acqua restante rappresenta almeno la metà di quella originariamente pervenuta, o scorre sulla superficie emersa dell'isola e si infiltra nel sottosuolo alimentando le falde acquifere.

A causa di tale regime di precipitazioni i corsi d'acqua in Sardegna non possono essere considerati dei fiumi veri e propri, in quanto anche i principali hanno un carattere nettamente torrentizio con portate minime o nulle per la maggior parte dell'anno, brevi e violente piene nel periodo piovoso.

6.1.1 Idrologia superficiale

Sull'area in studio scorrono diversi corsi d'acqua di cui il corso principale è rappresentato dal fiume Tirso, il quale inoltre è anche il fiume più importante della Sardegna, per la lunghezza e l'ampiezza del bacino, mentre i due corsi d'acqua minori sono il rio Roia Caddus e il rio Roia Cambaras.

Il fiume Tirso nasce sull'altopiano di Buddusò presso Punta Pinedda a circa 985 m s.l.m. il corso principale ha una lunghezza di circa 152 km e scorre da Est verso Ovest per poi sfociare nel golfo di Orsitano. Lungo il suo percorso riceve numerosi apporti idrici da diversi affluenti la confluenza del Rio Mannu con il Rio Flumineddu in zona NarboniMannu a Sud Est dell'abitato di Mogoro, inoltre in questo primo tratto prende il nome di Rio Mogoro Diversivo. Scorre per lo più su litologie marnose nel territorio della Marmilla, l'asta principale misura circa 25 km e lungo il suo corso riceve apporti idrici da diversi torrenti secondari come il rio Tortu, che nasce dalla catena del Goceano, il rio di Bolotana, il rio Murtatzolu, il rio Mannu etc... La portata medio annua è di 16 m³/s e il bacino idrografico misura circa 3 375 km².

Il rio Roia Caddus nasce in località *Il comunale*, a circa 53 m s.l.m. a N rispetto all'area in studio. L'asta principale misura circa 3,50 km e in località Su Bracciu, a S del centro abitato di Zerfaliu, diventa affluente destro del fiume Tirso. Dallo studio del reticolo e del bacino idrografico dai pochi dati presenti per questo torrente risulta quasi sempre in secca e che scorra con portate non eccezionali solo in periodi di abbonanti piogge.

Il rio Roia Cambaras nasce in località "Pauli Manna" a circa 45,12 m s.l.m. a N rispetto all'area in studio. L'asta principale misura circa 3,31 m e in prossimità della periferia N del centro abitato di Zerfaliu, diventa affluente sinistro del rio Roia Caddus. Anch'esso Dallo studio del reticolo e del bacino idrografico risulta quasi sempre in secca e che scorra con portate non eccezionali solo in periodi di abbonanti piogge.

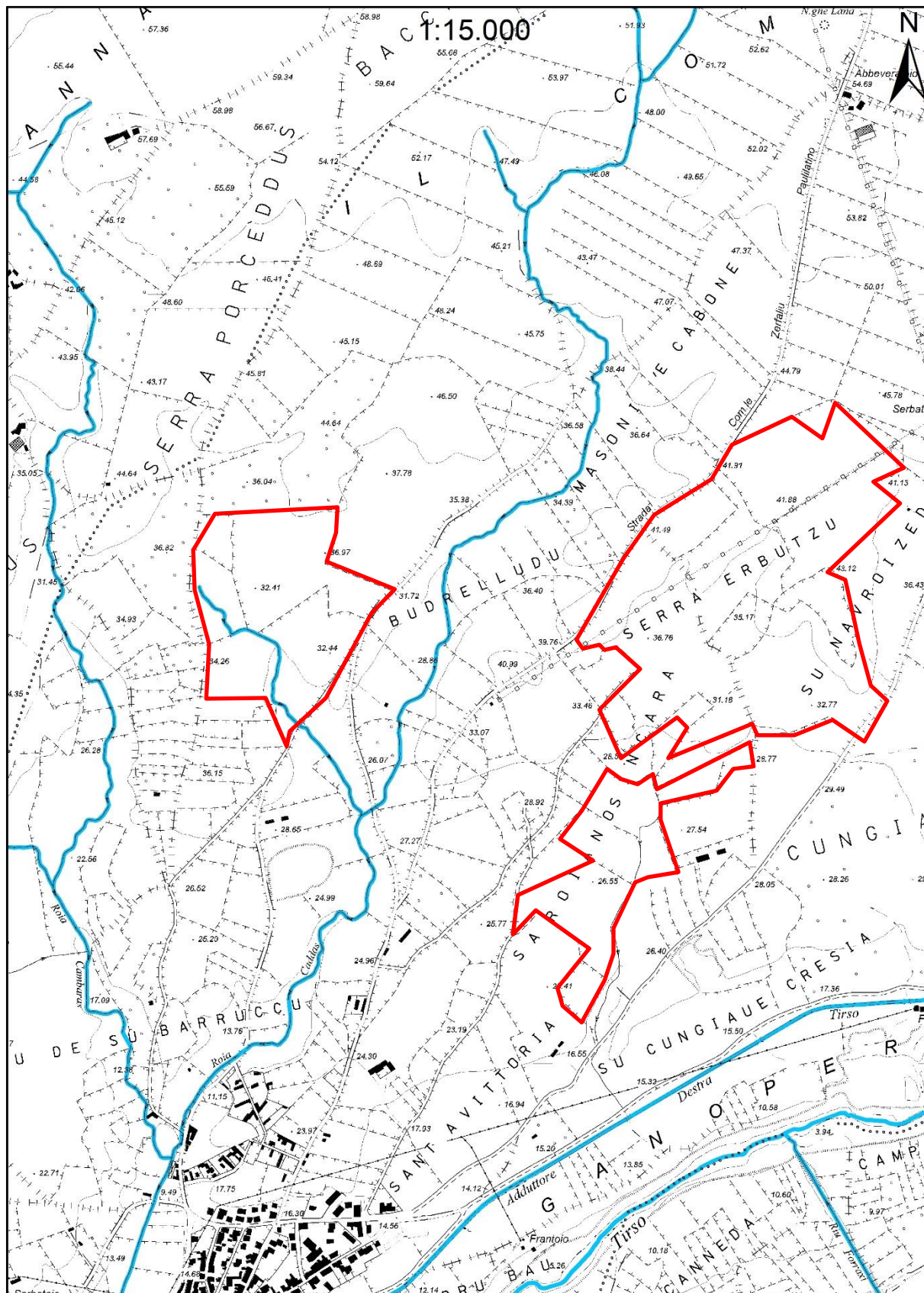


Figura 6.1: Schema idrografico locale.

6.1.2 Idrogeologia sotterranea

Nel territorio in esame si individua un unico complesso idrogeologico costituito dalle litologie alluvionali pleistoceniche.

Il grado di addensamento delle coperture alluvionali pleistoceniche varia da medio ad alto, fanno sì che gli acquiferi superficiali sia poco diffusi e poco consistenti, anche a seguito degli importanti interventi di bonifica, tra cui la realizzazione della Grande diga del Tirso nel 1924.

Si tratta di un acquifero multistrato in cui livelli sabbioso-ghiaiosi di elevata permeabilità si intercalano a strati argilloso-limosi (più raramente arenacei) impermeabili o semipermeabili. Si tratta della parte sommitale del complesso alluvionale pleistocenico che colma il Graben del Campidano, la cui potenza è dell'ordine di 150 m (C.A.S. MEZ, 1984a). Il limite inferiore dell'acquifero multistrato non è ben definito e passa gradualmente ad un sottostante complesso argilloso che include alcuni strati sabbioso-ghiaiosi sovente permeati da acque salmastre.

Talora le cave di inerti presenti nella zona hanno fatto emergere una falda freatica a circa 10 m di profondità.

Nel sito in studio non si hanno evidenze di falde freatiche sub superficiali, poiché gli interventi in progetto incideranno in maniera assai limitata nel terreno, con pali in acciaio per un massimo di 2 m di profondità dal p.c. e le fondazioni superficiali delle opere accessorie. Pertanto, non avranno alcuna interferenza con il sistema idrogeologico locale.

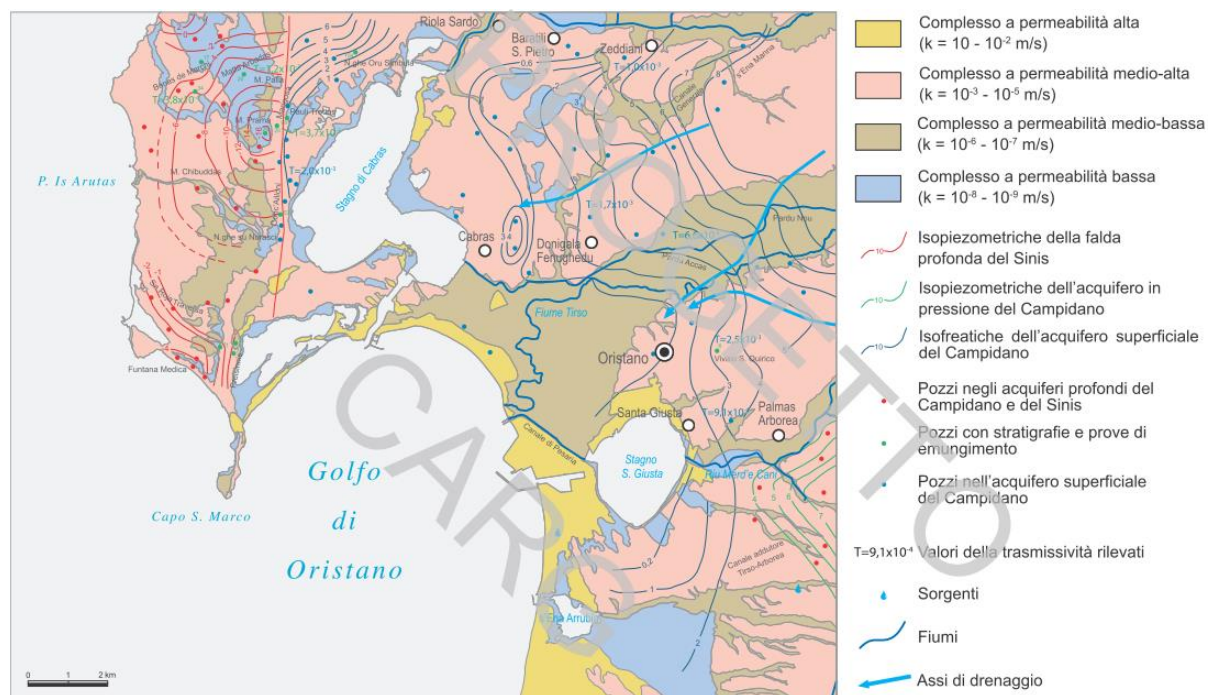


Figura 6.2: Schema idrogeologico estratto dalle note illustrative CARG (Foglio 528 Oristano).

7. INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO

Una descrizione di dettaglio degli elementi climatici esula dallo scopo del presente lavoro, ciononostante è necessario sapere come le condizioni climatiche incidano nel territorio.

7.1 TEMPERATURE E PRECIPITAZIONI

L'elaborazione di tali dati mostra come le temperature medie diurne si attestino su valori leggermente più bassi rispetto al resto della Sardegna.

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	8.3	8.4	10.8	13.7	17.6	22.2	24.9	25	21.3	17.9	13	9.6
Temperatura minima (°C)	4.7	4.5	6.5	9	12.3	16.2	18.8	19	16.5	13.6	9.6	6.2
Temperatura massima (°C)	12	12.3	15.3	18.4	22.5	27.6	30.6	30.9	26.3	22.6	16.8	13.3
Precipitazioni (mm)	69	65	66	74	52	21	5	11	37	65	99	83
Umidità(%)	82%	79%	76%	75%	69%	60%	55%	56%	65%	73%	80%	81%
Giorni di pioggia (g.)	7	7	7	8	5	3	1	2	4	6	9	8
Ore di sole (ore)	5.2	6.0	7.6	9.1	10.6	12.1	12.5	11.7	9.7	8.0	6.0	5.4

Figura 7.1: Medie mensili delle temperature e precipitazioni

La media delle temperature minime dei mesi più freddi è di circa 7.5 gradi, quella dei mesi più caldi può arrivare a 24 gradi, mentre la media annuale è di circa 14 gradi.

Per quanto riguarda le precipitazioni in generale l'Isola riceve circa 780 mm di pioggia l'anno. Risulta evidente come le precipitazioni nella stazione di Chilivani non siano particolarmente abbondanti, pari ad una media annuale di 536 mm distribuite nell'arco di circa 70-80 giorni piovosi all'anno.

I valori della tabella mostrano che, durante un lungo intervallo di tempo compreso tra giugno e agosto, le precipitazioni non sono rilevanti. Tuttavia, nei mesi invernali da novembre a febbraio, le temperature medie (attorno ai 6-9 °C) consentirebbero comunque una certa evapotraspirazione che tende a limitare nel tempo la presenza di acqua nel terreno. Tale dato ovviamente è funzione anche delle specie vegetali eventualmente presenti e della capacità drenante del suolo.

Si tratta di un clima che può essere definito come sub-umido, dove la temperatura media annua segna una notevole diminuzione rispetto alle aree costiere; il grado di umidità è elevato, ma rimane sempre marcata la siccità d'estate.

7.2 VENTI AL SUOLO

Com'è noto il vento rappresenta la velocità dell'aria, ed è una grandezza vettoriale bidimensionale in quanto se ne considera solo la componente misurata su una superficie parallela a quella terrestre, poiché si trascura quella verticale. Di conseguenza il dato si compone di due fattori: una direzione e una velocità. Quanto al verso si considera quello di provenienza, per esempio 90° è vento da est, mentre 270° è da ovest.

È necessario tenere presente che il vento al suolo è determinato, oltre che dalla situazione sinottica generale, cioè dalla situazione dinamica e termodinamica di una notevole porzione del nostro emisfero, anche dalla geografia del luogo dove viene fatta la misura, tanto più in una regione dall'orografia complessa come la Sardegna.

La circolazione dei venti nel Mediterraneo occidentale, e quindi sulla Sardegna, può venire schematizzata in base al comportamento della media delle pressioni atmosferiche nel corso dell'anno. Di solito, durante l'inverno, si crea una depressione a debole gradiente orizzontale centrata tra la Sardegna e il Mar Tirreno, compresa tra i due anticicloni atlantico ed asiatico. Tale depressione tende ad accentuarsi ulteriormente a causa delle alte temperature delle acque superficiali. In estate si espande l'anticiclone atlantico, mentre quello asiatico scompare; il Mediterraneo occidentale cade allora sotto



l'influenza dell'anticiclone atlantico, con campo di pressione relativamente alta ed un debole gradiente barico orizzontale.

In media la Sardegna viene a trovarsi in una zona depressionaria a cui si associa una determinata circolazione troposferica. Il susseguirsi di questi eventi climatici nel corso dell'anno, fa sì che durante i mesi invernali prevalgano i venti orientali e nord-orientali, mentre nei mesi estivi prevalgono quelli occidentali e nord-occidentali. In generale, nella maggior parte dell'anno, sulla Sardegna prevalgono correnti troposferiche con direzione ovest nord-ovest ed est sud-est.

Generalmente nel corso dell'anno vi è una prevalenza dei venti provenienti da ovest con una frequenza complessiva di circa il 50%, soprattutto Ponente (35%) e Libeccio (15%).

Raggiungono un'intensità, in genere compresa tra i 5 e i 15 m/s in oltre il 45% dei casi, le punte superiori ai 20 m/s sono minori dell'1% durante l'anno, le giornate di calma (vento minore di 1,5 m/s) sino intorno al 20 % nel corso dell'anno.

7.3 GELO E PRECIPITAZIONI NEVOSE

Nel quadro delle condizioni termiche di una località può essere utile conoscere le condizioni di gelo, cioè quando la temperatura scende o è pari a 0 °C.

Sulla base dei dati editi in genere le giornate di gelo sono meno di 10 giorni l'anno e le precipitazioni nevose si verificano con una frequenza di 2-3 giorni all'anno, generalmente concentrate nei mesi di gennaio-febbraio, con una permanenza di neve sul terreno che in media non supera i 4 giorni l'anno.

8. CONSIDERAZIONI SUL PERICOLO GEOLOGICO

Gli studi effettuati non hanno evidenziato condizioni di pericolosità geologiche per il settore in studio, così come già indicata nella relativa cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico dove non si indicano condizioni di rischio per l'area in oggetto.

Nel caso del territorio in studio, per effetto della collocazione geografica sono da escludere, come noto, fenomeni meteorologici propri di certi ambienti climatici estranei alla realtà geografica locale.

Le caratteristiche geologico-tecniche dei terreni, poi, fanno escludere il verificarsi di fenomeni di subsidenza, peraltro, mai segnalati né da ricerche scientifiche né dall'esperienza pratica.

Ma il pericolo preminente, per la frequenza con la quale può tornare a verificarsi, più che la entità della magnitudo, ovvero per la violenza con la quale può manifestarsi è quello delle alluvioni.

Queste ultime si correlano ad eventi pluviometrici eccezionali, peraltro ricorrenti con tempi ormai abbastanza ravvicinati nell'Isola.

Occorre a questo punto chiarire che in un sistema geofisico un certo evento viene definito eccezionale quando devia sostanzialmente dalla media dei valori misurati per quel fenomeno.

8.1 PERICOLO GEOMORFOLOGICO

L'area interessata è quella di terrazzi alluvionali, caratterizzata da un andamento sub pianeggiante con una acclività modesta.

Dai sopralluoghi effettuati non si sono riscontrati fenomeni franosi, sia inattivi che stabilizzati (naturalmente o artificialmente), ne vengono segnalati nella cartografia PAI del portale geografico regionale aree a pericolo geomorfologico.

In generale il contesto geomorfologico litologico e giaciturale dell'area di valle fanno sì che vi sia una molto bassa propensione al dissesto. Pertanto, non si rilevano criticità per quanto riguarda un eventuale rischio frana in quest'area.

8.2 PERICOLO IDRAULICO

In questo paragrafo si vuole studiare attraverso la bibliografia nota, l'interpretazione delle foto aeree, le informazioni ottenute dal sito SardegnaGeoportale e dai dati ricavati dalle osservazioni di terreno la probabilità che un certo fenomeno di dissesto geologico (naturale o indotto dall'uomo) si verifichi nell'area in studio in un intervallo di tempo legato alla vita delle opere in oggetto.

Per la definizione dello schema geologico della regione, l'area studiata è stata estesa oltre i limiti esclusivamente interessati dal progetto.

Si è provveduto a stilare uno studio attraverso un'indagine di dettaglio dell'assetto geologico, idrologico, idrogeologico e morfologico dell'area di interesse.

I parametri geologici sono stati rilevati da pubblicazioni esistenti e sono stati confrontati mediante l'effettuazione di uno studio geologico di dettaglio sul terreno, integrati dai dati ottenuti da indagini qualitative e quantitative eseguite attraverso l'interpretazione di fotografie aeree e dalla cartografia esistente. Con deliberazione n° 54/33 del 30/12/2004 della Regione Sardegna è stato approvato il Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico (P.A.I.) e relative Norme di Salvaguardia.

In particolare, il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico ha individuato aree a rischio idrogeologico nel Comune di Oristano.

Le aree d'interesse per il presente Studio non ricadono in siti classificati a pericolo idraulico.

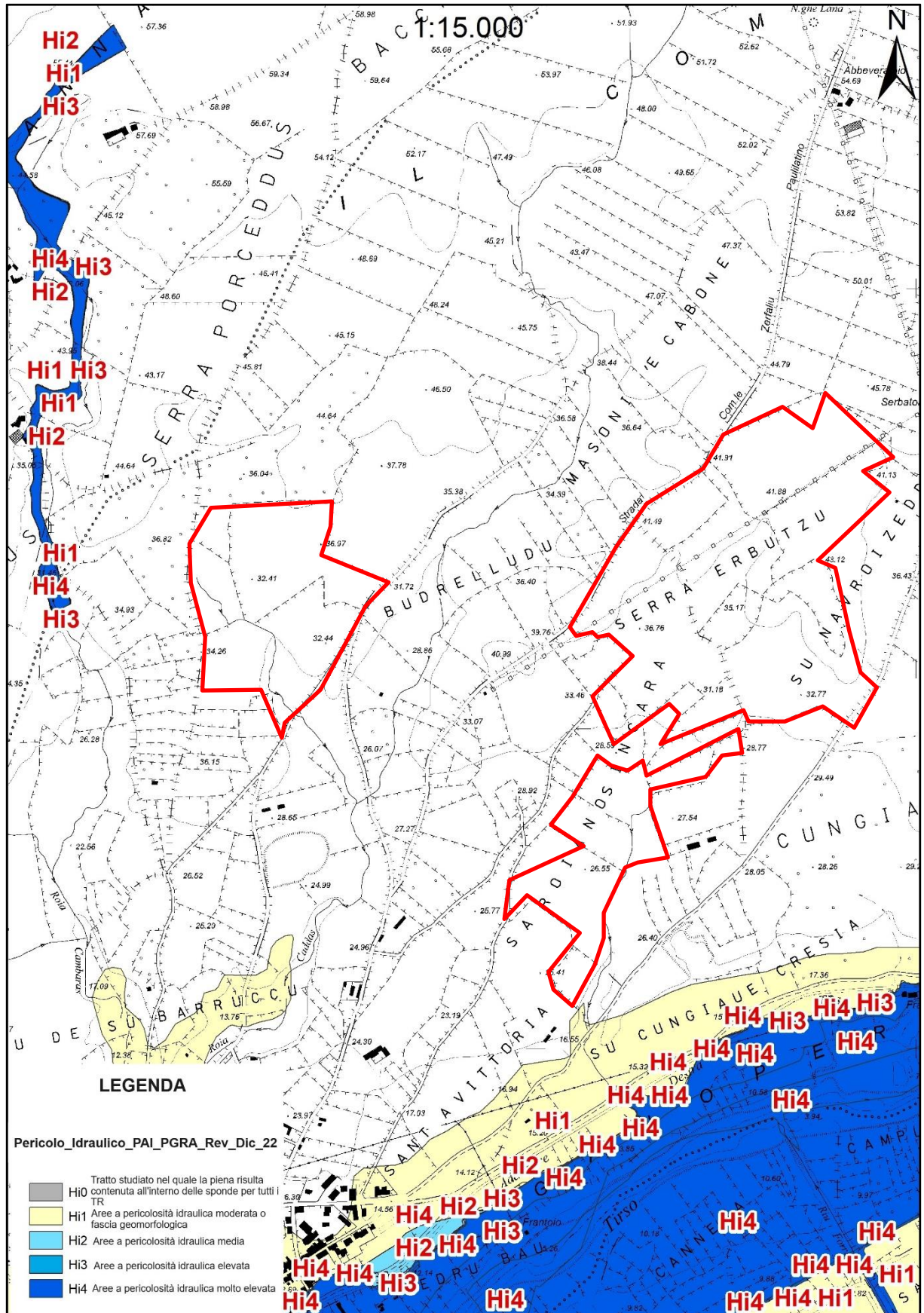


Figura 8.1: Stralcio della carta del pericolo alluvionale (SardegnaGeoportale).



9. RISPOSTA SISMICA DI BASE

Le NTC 2018 fissa i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e aggiorna le norme tecniche per le costruzioni nelle medesime zone.

L'art. 2 dell'Ordinanza OPCM 3274 del 2003 prevede che siano le Regioni, sulla base dei Criteri generali indicati dallo Stato ad individuare, formare ed aggiornare l'elenco delle zone sismiche.

Le Zone Sismiche sono fissate in numero di quattro, in funzione di quattro valori significati delle accelerazioni sismiche di progetto. Tutta la Sardegna appartiene alla Zona Sismica 4. L'assegnazione a tutto il territorio regionale della Sardegna a questa zona è stata in seguito confermata nell'Ordinanza del 2006 (OPCM 3519).

9.1 SISMICITÀ STORICA

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

Attualmente la sismicità di una certa porzione di territorio italiano viene definita sulla base di determinati coefficienti organizzati e definiti sulla base di alcune leggi che hanno cercato di dare ordine ad un insieme disordinato e pur vasto di un insieme di elementi che non sempre permettevano di esprimere con esattezza e completezza la sismicità di un certo territorio. Questa è in funzione della distribuzione geografica dei terremoti, frequenza, intensità, energia, natura, e la loro correlazione con gli elementi geologici. L'acquisizione e l'elaborazione di tutti questi fattori rimane assai difficile e complessa; quindi, l'elemento principale su cui ci si basa per definire la sismicità di un territorio è l'attitudine di una regione ad essere soggetta ai terremoti in relazione agli effetti prodotti dalle scosse.

Una ricostruzione su base storica della sismicità di una certa regione presenta dei limiti tangibili, in particolar modo per la Sardegna dove gli eventi tettonici si sono susseguiti su scale di tempo sicuramente molto più dilatate rispetto ad altre zone d'Italia o del Mediterraneo. A ciò si lega la scarsità di fonti documentarie, le quali essendo fondamentalmente legate all'uso della scrittura, non possono essere pertanto testimoniati dai popoli nuragici; pertanto, eventuali eventi anche disastrosi non hanno lasciato testimonianze dirette. La sismologia storica in Sardegna si scontra quindi con difficoltà notevoli, ciononostante recenti studi archeologici sui crolli delle torri nuragiche evidenziano tracce di paleo sismicità lungo alcune principali direttrici tettoniche, a ulteriore testimonianza di come la grossolana definizione della Sardegna come "terra asismica" si scontri con evidenti tracce di una certa vivacità tettonica, passata ma anche recente. In parte testimoniata dalla cartografia prodotta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), uno dei Gruppi Nazionali di ricerca scientifica di cui si avvale il Servizio Nazionale della Protezione Civile, in una carta prodotta nel 1996, sulla base degli eventi sismici descritti nei cataloghi nazionali parte della Sardegna settentrionale veniva indicata come soggetta a scosse del V grado M.C.S. con tempi di ritorno $T=475$ anni.

Anche la carta della "Massima intensità macrosismica risentita in Italia" del 1995 viene indicata parte della Gallura settentrionale come soggetta ad eventi sismici passati del VI grado M.C.S.

Vediamo come gli studi basati sulla sismicità storica, per quanto parziali e incompleti sulla Sardegna quantomeno individuano nell'Isola settori soggetti a possibili eventi tellurici di una certa consistenza, ma in tempi più recenti sia con l'emanazione dell'O.P.C.M. 3274, e ora con il D.M. 14 gennaio 2008 la Sardegna viene nella sua totalità classificata in zona 4, pur non essendo stato effettuato uno studio specifico sul picco di accelerazione PGA atteso.

In tempi più recenti la disponibilità di fonti storiche di vario tipo permette la ricostruzione di una cronistoria di una serie di eventi sismici.



9.1.1 *Tracce di paleosismicità*

Sporadici studi sono stati compiuti in tal senso, per lo più concentrati nella Sardegna settentrionale, ritenuta come più “promettente” dal punto di vista di eventuali tracce di una paleosismicità per via della sua relativamente recente attività effusiva Plio-Quaternaria, le ultime della Sardegna, fenomeni diagnostici di una possibile attività tettonica ancora in corso. La ricerca ha riguardato lo studio di tracce in crolli, dislocamenti e torsioni nei caratteristici monumenti megalitici sardi (Nuraghi e Domus de Janas)

Le analisi condotte fino a questo momento hanno evidenziato un certo riscontro tra la distribuzione di danneggiamenti strutturali e trend omogenei nell’orientazione dei crolli di torri nuragiche e la loro disposizione lungo faglie di importanza regionale, correlata ad attività vulcanica Plio-Quaternaria relativamente recente.

Gli studi noti allo scrivente hanno interessato la Sardegna settentrionale e nello specifico parte del Logudoro e del Goceano; pertanto, non possono essere efficacemente rappresentative del territorio regionale, ciononostante è evidente come uno studio sistematico potrebbe rivelare notevoli informazioni dal punto di vista dell’attività tettonica regionale, ancora oggi sottovalutata.

La Sardegna meridionale è una delle zone dell’isola maggiormente soggette a fenomeni sismici; infatti, sono stati registrati diversi terremoti storici.

9.1.2 *Sismicità storica della Sardegna centro settentrionale*

1616 – Il primo terremoto storico noto in Sardegna, venne avvertito a Cagliari il 4 giugno del 1616, testimoniato da una piccola iscrizione marmorea nel Duomo: “A.D. 4 juni terremotus factus est 1616”.

Recenti studi hanno dimostrato come l’evento abbia interessato un’area piuttosto vasta, che si estendeva nel settore sud-orientale della Sardegna l’evento colpì il litorale di Villasimius, il golfo di Cagliari, le torri di Cala Pira, San Luigi, l’Isola di Serpentara, di Porto Giunco, l’Isola dei Cavoli, di Cala Caterina, di Capo Boi, di Cala Regina fino a Monte Fenugu.

Testimonianze dell’epoca riferiscono veri e propri momenti di panico tra la popolazione dell’hinterland cagliaritano.

Il sisma creò danni a strutture esistenti, infatti recenti studi basati sul ritrovamento di documenti datati tra agosto e dicembre del 1616 testimoniano la necessità di dover procedere al restauro di otto torri difensive, “resosi necessario per le lesioni determinate da una scossa di terremoto avvenuta appunto nel giugno precedente”.

Dai dati noti è possibile ipotizzare una scossa piuttosto forte, con una intensità compresa tra il 6° e il 7° grado della scala Mercalli (magnitudo ~ 6.1) .

L’ubicazione dell’epicentro rimane incerta, a seconda degli studiosi viene indicato nei pressi di Siliqua nella zona di Acquafredda, più recentemente lo si ipotizza in mare aperto, non distante dalla costa. In questo caso il sisma sarebbe quindi una conseguenza della dinamica del bacino del Tirreno meridionale.

1838 – avvertito il 2 febbraio alle ore 22.30 nei pressi di Sant’Antonio di Gallura, magnitudo 4.83. È il primo terremoto riportato dall’Istituto Nazionale di Geofisica per la Sardegna.

1855 – la letteratura ci tramanda assai pochi dati a proposito di questo evento sismico: sentito leggermente a Sanluri e Gergei, con probabile epicentro nella zona di Sardara, dove vi è una faglia molto estesa (magnitudo ~ 3.5).

1870 – un episodio di cronaca cita una scossa sismica del 5° grado della scala Mercalli (magnitudo ~ 4.8) di due secondi avvertita a Bitti il 4 luglio 1870, creò un po’ di panico tra la popolazione. L’epicentro è collocato dai cataloghi sismici presso Ittireddu (Ozieri), in una zona geologicamente complessa e disturbata.

1887 – a Sassari ed Alghero venne avvertito un terremoto la mattina del 23 febbraio 1887, con scosse in senso ondulatorio, in coincidenza di un fenomeno analogo registrato in Liguria. L'epicentro dovrebbe essere in mare ad una distanza di 30-35 Km dalla costa (3°-4° Mercalli, magnitudo ~ 4.2-4.5).

1924 – scosse sismiche vengono registrate nella Sardegna nord-occidentale.

1948 – questo è il primo sisma di cui si dispongono dati strumentali di molte stazioni sismiche italiane ed europee, nonché di notizie macrosismiche più precise e abbondanti.

L'evento interessò la Sardegna settentrionale ed in particolare in alcuni paesi della Gallura venne avvertito un terremoto del 6° grado della scala Mercalli il 13 novembre 1948 alle 9.52. Produسه danni agli edifici situati nei paesi circostanti la zona di Tempio Pausania: particolarmente colpiti risultarono Aggius, Trinità d'Agultu e Badesi. Dal 13 novembre in poi vennero avvertite una ventina di repliche con intensità decrescente. Le più intense furono quelle del 16 alle 22.55, del 21 alle 22.02 e dell'8 dicembre alle 4.35 ed alle 13.15, con intensità valutata sul 4° o al massimo del 5° grado della scala Mercalli. L'epicentro era in mare, a poca distanza dalla costa.

Dall'esame dell'andamento degli effetti nei vari centri interessati dal sisma si riscontra un andamento piuttosto regolare nella propagazione dell'energia, salvo nella zona di Giave e Ittireddu, ove l'irregolarità può essere causata dal passaggio delle onde sismiche dal basamento granitico alla copertura sedimentaria. Questa considerazione spiega come la scossa abbia prodotto effetti del 4° Mercalli a Bono, mentre a Florinas e a Sassari non ha superato il 3°, nonostante siano decisamente più vicine all'epicentro. La natura sedimentaria dei sedimenti su cui fondano queste ultime, pur esaltando le sollecitazioni all'ingresso della coltre sedimentaria, determinano successivamente un notevole assorbimento di energia per trasformazione del lavoro in attrito.

In base alle registrazioni strumentali si è calcolato una magnitudo pari a 5, e confrontando questo dato con la scala Mercalli si ottiene che all'epicentro la scossa è stata del 7°. Tenendo conto della posizione dell'epicentro in mare, a poca distanza dalla costa, si ha una conferma della valutazione per i paesi della Gallura di una intensità massima pari al 6°.

1960 – terremoto di 5° grado della scala Mercalli (magnitudo ~ 4.8) con epicentro nei dintorni di Tempio.

2000 – il 26 Aprile 2000 alle 15.30 vengono percepite delle scosse sismiche nella Sardegna nord occidentale. Si tratta di due scosse in mare aperto con epicentro al largo di Posada, 20 miglia a est, di magnitudo 4.0 e 4.5.

2004 – tra il 12 e il 18 dicembre 2004, una sequenza sismica di moderata energia (con massima magnitudo pari a 4.5) ha interessato un'area posta al largo della costa nord-orientale sarda, di fronte ai comuni di Siniscola, San Teodoro e Olbia.

2009 – il 5 febbraio 2009 è stata avvertita una scossa sismica dalla popolazione sulla costa nord occidentale della Sardegna. L'epicentro è stato localizzato nel Mar Tirreno centrale, circa a 50 km ad Ovest rispetto al comune di Olbia.

Dalle verifiche effettuate dalla Sala Situazione Italia del Dipartimento della Protezione Civile non risultano danni a persone o cose.

Secondo i rilievi l'evento sismico è stato registrato alle ore 16.02, con una magnitudo di 4.3 e si colloca ad una profondità di circa 30 km.

2010 – il 10 novembre 2010 è stata avvertita una scossa di terremoto di magnitudo 4.1 nelle città di Sassari e Porto Torres intorno alle 19. L'epicentro è stato localizzato a circa 200 chilometri dalla costa, fra Porto Torres e la Francia occidentale.

La scossa è stata segnalata dal "Bureau central sismologique francais" ma non dall'Istituto nazionale di geofisica, essendo avvenuta in acque territoriali francesi. Secondo l'istituto il sisma si è verificato alle 19.23 al largo in mare a sud est di Tolone. L'onda sismica ha poi raggiunto anche la costa nord della

Sardegna, facendosi sentire in particolare a Sassari e Porto Torres dove, a parte l'allarme della popolazione, non ha avuto nessuna ripercussione su persone o cose.

2011 - alle 19,21 del 7 luglio del 2011, a 100 chilometri a ovest di Ajaccio si era verificato un terremoto di magnitudo 5,3 che è stato avvertito anche nella Sardegna settentrionale. Non sono stati segnalati problemi alle persone o alle cose.

2012 - Un terremoto di magnitudo 4,6 è stato registrato alle ore 04,37 italiane del 4 marzo 2012, in mare, al largo della costa occidentale della Corsica a 88 chilometri al largo di Ajaccio. Il terremoto è stato rilevato a una profondità di due chilometri ed è stato avvertito distintamente anche in Sardegna.

Al centralino dei vigili del fuoco di Sassari è arrivata qualche telefonata che chiedeva informazioni circa il terremoto. Telefonate di persone curiose più che preoccupate che chiamavano da Alghero. A Sassari città e in altri centri della regione, invece, nessuno si è accorto del sisma, o quantomeno, nessuno si è preoccupato tanto da fare telefonate ai vigili del fuoco.

Le verifiche effettuate dalla sala situazione Italia del Dipartimento della Protezione civile hanno confermato che non ci sono stati danni. La scossa è stata avvertita anche in Corsica e a Marsiglia e nel sud della Francia.

Allo stato attuale per lo studio della sismicità storica ci si avvale anche dei seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.
- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

In Figura è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna e altri noti da studi storici locali, riassunti dallo scrivente in fig. 9.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo due eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ (1924 e 1948). In occasione dell'evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della Sardegna Nord-Occidentale. I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di $M_w < 5$ e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (Fig. 3/A) e dal database DBMI15 (Fig. 3/B), dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

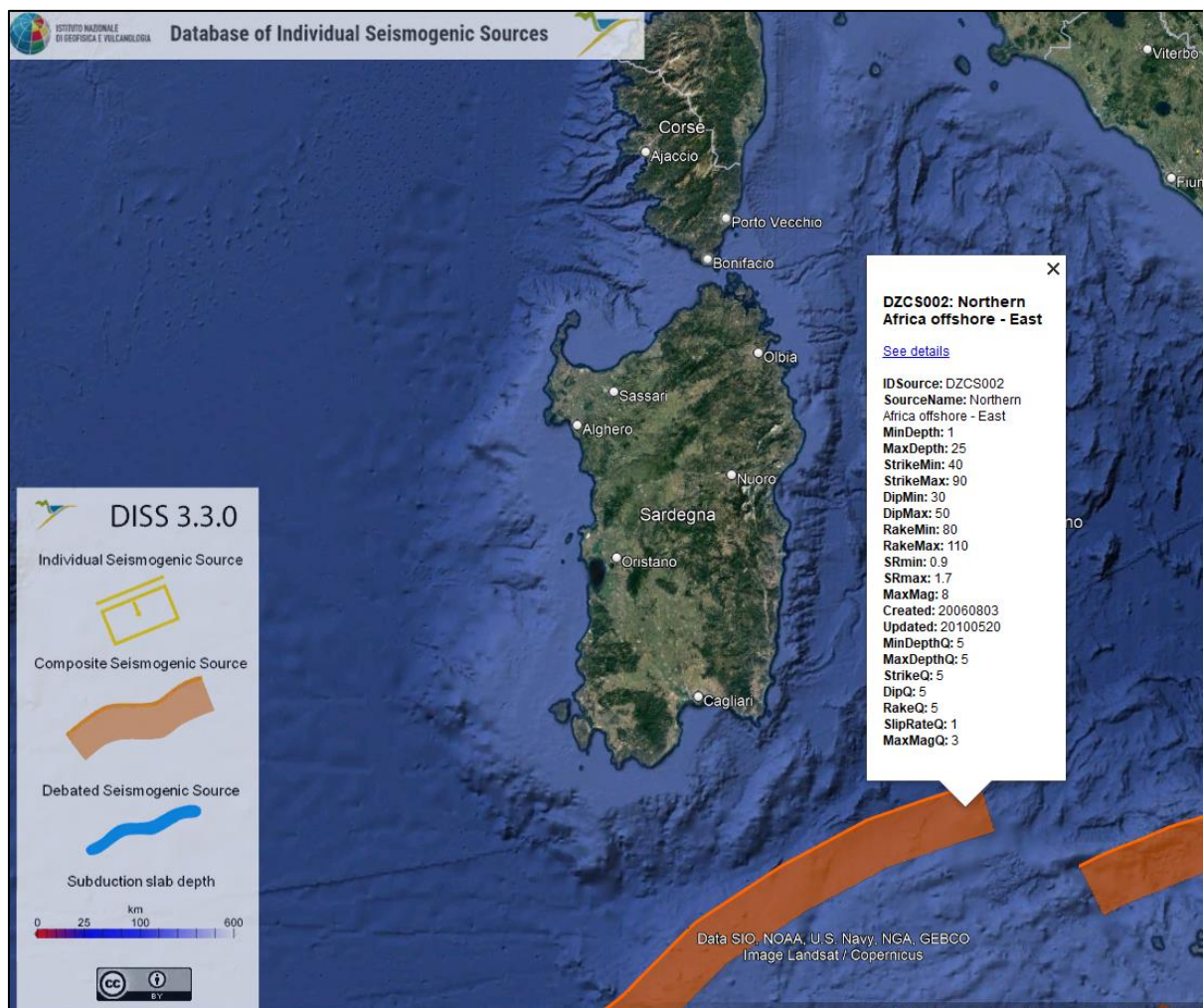


Figura 9.2: Stralcio mappa di pericolosità sismica

9.2.1 Faglie attive e capaci (ITHACA)

ITHACA (Italy HAZards from CAPable faults) costituisce il Catalogo delle faglie capaci in Italia. Il Catalogo ITHACA colleziona le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano sulla base di una revisione critica della letteratura disponibile.

Il territorio di Zerfaliu è interessato dalla presenza della faglia bordiera campidanese di Baratili.

Faglia di Baratili

La Faglia di Baratili è una faglia secondaria situata nel settore assiale del Campidano Graben, un bacino tettonico originatosi dallo sprofondamento della porzione meridionale della Fossa Sarda (Cherchi & Montadert, 1982; Assorgia et al., 1997; Funedda et al., 2000; Carmignani et al., 2001; Casula et al., 2001; Oggiano et al., 2009) è culminato nel Plio-Quaternario, con una fase estensionale legata all'evoluzione del bacino tirrenico meridionale (Casula et al., 2001; Cocco, 2013 e riferimenti ivi contenuti). Il graben è stato riempito da una successione vulcano-sedimentaria (Formazione di Samassi, Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969) di età Pliocene superiore/Pleistocene, il cui fondo si estende a profondità variabili da 900 m (settor meridionale) a 1100 m (settor settentrionale) (Cocco, 2013). La traccia della faglia è stata mappata seguendo l'interpretazione di Cocco (2013), che la considera una struttura secondaria attiva nel settore assiale del Campidano Graben, la cui evoluzione durante il Plio-Quaternario è stata in gran parte controllata dalle faglie principali lungo il suo margine occidentale (Casula et al., 2001; Funedda et al., 2009). La traccia di faglia proposta da Cocco (2013) non corrisponde a quella di

Casula et al. (2001) e del foglio CARG 528-Oristano. Secondo Cocco (2013), la faglia sposta la superficie di erosione datata Pliocene medio, situata alla base della Formazione Samassi, estendendosi ad una profondità di circa 130 m dalla superficie. L'attività della faglia è stata riferita ad un generico Pleistocene. Nonostante la sua terminazione superiore a una profondità di oltre 100 m nei sedimenti del Pliocene superiore, la bassa risoluzione dell'imaging del sottosuolo non consente di escludere la sua estensione più vicina alla superficie topografica. Di conseguenza, questo difetto ha un supporto di dati molto limitato e la sua considerazione in qualsiasi applicazione pratica dovrebbe avvenire solo dopo un'analisi dettagliata dedicata.

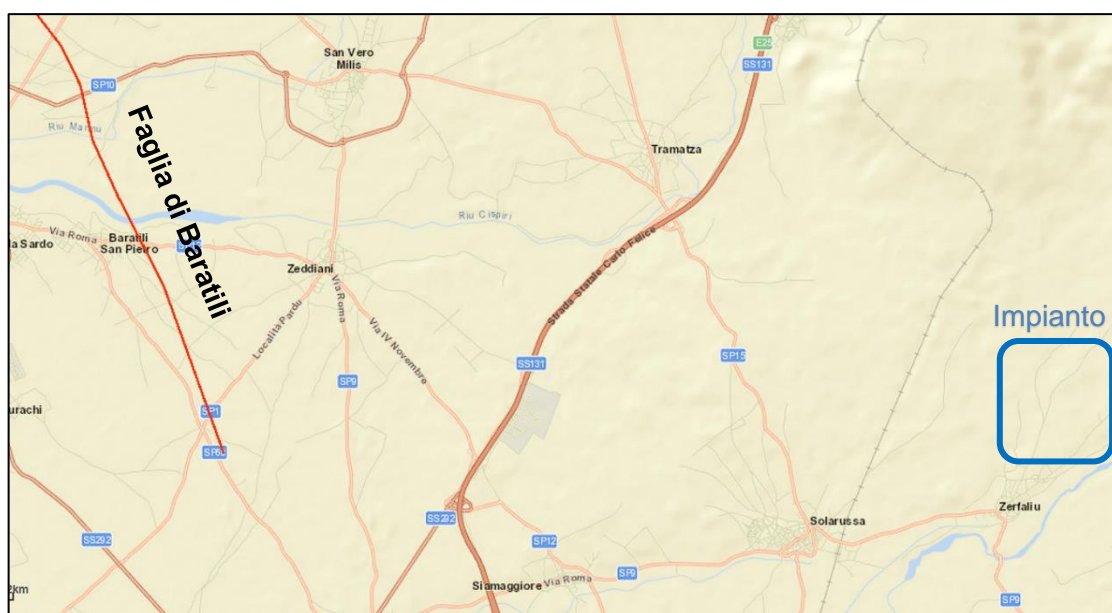


Figura 9.3: Ubicazione faglia di Baratili

10. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) già con il D.M. 14/01/2008, recentemente sostituito dal DM del 17/01/2018, si introduceva il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La “pericolosità sismica di base”, nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC 2018 suddivide l’intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell’azione sismica di progetto:

- a_g accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in $g/10$);
- 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 (espresso in s).

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell’opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (a_g) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l’opera.

In particolare, la classificazione sismica del territorio nazionale è articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

La Sardegna è classificata come categoria 4.

I valori convenzionali di a_g espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

Tabella 10.1: Valori massimi di a_g attesi per zona sismica.

ZONA	VALORE DI A_g
1	0.35 g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

10.1 RISULTATI DELLA INDAGINE SISMICA MASW

L’analisi del profilo sismico per il calcolo delle V_s equivalenti è stata effettuata utilizzando un modello composto da sismostrati come di seguito rappresentati in tabella.

Tabella 10.2. Risultati indagine sismica MASW 1.

STRATIGRAFIA Vs MASW 1								
Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione	Vs (m/s)	γ^1 (kN/m ³)	R (kPa)	F (Hz)	T (s)
1	1,7	1,7	Alluvioni addensate	317	18,1	5752	135	0,021
2	3,8	2,1		336	18,4	6186	176	0,025
3	6,3	2,5		397	19,2	7620	248	0,025
4	9,2	2,9	Alluvioni molto addensate	450	19,8	8912	326	0,026
5	12,5	3,3		735	22,4	16456	606	0,018
6	16,2	3,7	Substrato lapideo massivo	1010	24,2	24483	934	0,015
7	-	-		1041	24,4	25426	-	-

Tabella 10.3: Risultati indagine sismica MASW 2.

STRATIGRAFIA Vs MASW 2								
Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione	Vs (m/s)	γ^2 (kN/m ³)	R (kPa)	F (Hz)	T (s)
1	1,7	1,7	Alluvioni molto addensate	372	18,9	7025	158	0,018
2	3,8	2,1		370	18,9	6978	194	0,023
3	6,3	2,5		371	18,9	7001	232	0,027
4	9,2	2,9		395	19,2	7572	286	0,029
5	12,5	3,3		446	19,8	8813	368	0,030
6	16,2	3,7		552	20,8	11505	511	0,027
7	20,4	4,2		643	21,7	13923	675	0,026
8	25	4,6		749	22,5	16849	861	0,025
9	-	-	Substrato lapideo massivo	887	23,5	20815	-	-

10.2 APPLICABILITÀ DEL METODO SEMPLIFICATIVO

Le NTC 2018 prescrivono che il metodo semplificato basato sulle categorie di sottosuolo precedentemente descritte, possa essere applicato solo in assenza del fenomeno noto come “inversione delle velocità”, ovvero quando si verificano contemporaneamente le seguenti 4 condizioni secondo le indicazioni sperimentali “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (ICMS):

- un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto Vs rig./Vs sof. superiore a 1,5;
- la differenza tra le Vs dei due terreni è maggiore di 200 m/s;
- lo spessore dello strato a velocità minore è maggiore di 5 m;
- la Vs dello strato più rigido è maggiore o uguale a 500 m/s.

Le indagini sismiche MASW hanno sempre riscontrato la presenza di un substrato con velocità delle Vs sempre maggiore di 100 m/s senza riscontrano significativi fenomeni di inversione delle velocità delle VS; pertanto, sulla base dei riscontri ottenuti finora nell’area interessata dal progetto è possibile applicare la procedura semplificata ai sensi delle NTC 2018.

¹ Keceli (2012) $\gamma = 4,3 \cdot Vs^{0,25}$

² Keceli (2012) $\gamma = 4,3 \cdot Vs^{0,25}$

10.3 V_s EQUIVALENTE

L'indagine MASW ha individuato la presenza di un substrato rigido superficiale con $V_s > 800$ m/s entro i primi 30 m di profondità, per poi diminuire rapidamente a 651 m/s; pertanto, la velocità della V_s equivalente è stata calcolata utilizzando le V_s misurate dal piano di campagna fino al substrato rigido con $V_s > 800$ m/s attribuito al basamento terziario ($V_s > 1000$ m/s).

Resta sempre in capo al progettista l'utilizzo della categoria di sottosuolo di riferimento da utilizzare in funzione delle scelte progettuali.

Tabella 10.4: V_s equivalente e categoria di sottosuolo misurata

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO		
MASW1	433 m/s	Cat. B
MASW2	489 m/s	Cat. B

10.4 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_r) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r).

Il periodo di riferimento dell'opera (V_r) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_n), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (C_u), funzione della Classe d'uso della costruzione.

Pertanto, per l'opera in oggetto in questo studio sono stati assunti i seguenti parametri:

- Vita Nominale (VN) di 50 anni;
- Cautelativamente si è utilizzata la Classe d'uso più gravosa IV;
- Categoria topografica: T1 in corrispondenza aree sub-pianeggianti.

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato.

La sismicità della regione Sardegna risulta molto bassa, sia i dati storici che quelli strumentali non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base, pertanto, nelle NTC 2018 (cfr. Allegato B, Tabella 2) si ritiene ragionevole assumere per l'intera isola un valore uniforme di accelerazione orizzontale massima al bedrock (a_g).

Il territorio in argomento e tutta la Sardegna, come sopra riportato, è classificato in Zona 4 come zona sismica di riferimento, caratterizzata da un valore a_g dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di superamento al 10% in 50 anni pari a $a_g = 0.05g$.

E' tuttavia importante sottolineare che le suddette valutazioni delle possibilità amplificative sono di tipo monodimensionale e non tengono conto delle caratteristiche morfologiche dei siti, (valli strette, versanti acclivi, creste, cucuzzoli etc.) che possono invece indurre importanti effetti amplificativi, soprattutto a causa dei fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche.

L'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali ed una verticale

A seconda delle diverse categorie di suolo ed in ordine all'amplificazione stratigrafica sono da considerare i seguenti Coefficienti S_s e S_c :

Tabella 10.5: Componenti orizzontali S_s e C_c per categorie di sottosuolo

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T^*c)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T^*c)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T^*c)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T^*c)^{-0.40}$

I valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico per il calcolo delle azioni sismiche orizzontali secondo le Norme tecniche per le costruzioni sono quelli di seguito indicati:

Tabella 10.6: Valori caratteristici dello spettro di risposta

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	S	T_B	T_C	T_D
A B C D E	1.00	0.05	0.15	1.00

dove S è il fattore amplificativo e T_B , T_C e T_D sono i tempi (durate) relativi ai vari tratti dello spettro di risposta corrispondente a ciascuna categoria di profilo stratigrafico.

La normativa sismica vigente evidenzia, per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_{sh} all'interno delle coperture.

I valori dei parametri che definiscono la forma dello spettro di risposta al sito dovrebbero derivare da accurate indagini di risposta sismica locale: in mancanza di tali studi nelle Norme tecniche per le costruzioni si definiscono per questo aspetto cinque indicate con le lettere A, B, C, D, E (non sono più contemplate le S1 ed S2), categorie di suolo di fondazione a diversa rigidità sismica caratterizzate da velocità V_{s30} (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti.

I terreni presenti nell'area investigata rientrano nella Categoria di sottosuolo "B".

10.4.1 Parametrizzazione sismica e Azione sismica

Le NTC 2018 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si stabiliscono in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g su roccia (suolo tipo A) e del corrispondente spettro di risposta elastico.

Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una probabilità PVR di essere superato in un periodo di riferimento VR (ad esempio molti codici considerano la probabilità del 10% in 50 anni come riferimento per il progetto).

L'azione sismica, per il sito di edificazione e per la tipologia di costruzione definita (vita nominale, coefficiente d'uso), deve essere valutata relativamente allo Stato Limite da considerare.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate in tabella:

Tabella 10.7: PVR per i diversi stati limite

STATI LIMITE	PVR	
	PROBABILITA' DI SUPERAMENTO NEL PERIODO DI RIFERIMENTO V_R	
Stati limite di esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Fissata la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR per ciascun Stato Limite considerato, va determinato il periodo di ritorno dell'evento sismico da considerare.

A tal fine si utilizza la seguente formula e la relativa tabella:

$$TR = -VR / \ln(1-PVR) = - C, VR / \ln (1-PVR)$$

A seconda dei diversi stati limite si ottengono i seguenti tempi di ritorno TR in funzione del tipo di costruzione e classe d'uso. Secondo quanto indicato dal progettista vengono indicati: Vita nominale > 50 anni (fabbricato di tipo 2) e di Classe IV (opere strategiche).

In corrispondenza dei diversi stati limite si riportano di seguito i valori dei parametri:

PERIODI DI RITORNO E PARAMETRI SISMICI PER I DIVERSI STATI LIMITE						
Stati limite		P _{VR}	Periodo di ritorno (anni)	a _g (g)	F ₀	T* _c (sec)
SLE	SLO	81%	60	0,254	2,69	0,301
	SLD	63%	100	0,313	2,73	0,307
SLU	SLV	10%	949	0,599	2,98	0,370
	SLC	5%	1950	0,707	3,06	0,393

Nell'area interessata dal progetto si riscontra la presenza di una sottile copertura alluvionale o ignimbratica ricoprente un substrato roccioso da mediamente a piuttosto massivo della Formazione del Cixerri, tendente a diventare sempre più massivo e compatto in profondità.

Vista la tipologia del substrato, può essere omessa la verifica alla liquefazione dei terreni.

Per quanto attiene all'amplificazione determinata dalle condizioni morfologiche del sito considerato che:

- L'area in studio è pianeggiante;
- Le fondazioni in progetto poggeranno su di un substrato lapideo piuttosto fratturato in superficie e massivo in profondità;
- L'andamento delle Vs misurate indica che la rigidità del substrato cresce più o meno costantemente al crescere della profondità;
- Le condizioni stratigrafiche e morfologiche consentono l'utilizzo del metodo semplificato;
- La categoria di sottosuolo dell'area può essere indicata in via preliminare come "B";

La normativa in queste condizioni prevede che debba essere considerato un possibile effetto d'amplificazione dell'onda sismica, anche se contenuto, ma visto l'assetto topografico si ritiene che la morfologia possa attuare dei limitati fenomeni di d'amplificazione topografica di categoria "T1": $S_T=1,0$.

PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO								
		S	TB	TC	TD	Fv	Cc	Ss
SLE	SLO	1,20	0,141	0,422	1,702	0,580	1,398	1,200
	SLD	1,20	0,143	0,428	1,725	0,652	1,393	1,200
SLU	SLV	1,20	0,166	0,497	1,840	0,983	1,341	1,200
	SLC	1,20	0,174	0,522	1,883	1,099	1,326	1,200

L'azione sismica di progetto tenuto conto dell'effetto morfologico presenterà un'amplificazione limitata rispetto al valore massimo atteso agli stati limite sarà quindi:

Tabella 8 – Azione sismica di progetto a_gT

SLO	$a_gT = S \cdot a_g \cdot S_T =$	1,2	·	0,254	·	1,0	=	0,305	g	=	3,0	m/s ²
SLD	$a_gT = S \cdot a_g \cdot S_T =$	1,2	·	0,313	·	1,0	=	0,376	g	=	3,8	m/s ²
SLV	$a_gT = S \cdot a_g \cdot S_T =$	1,2	·	0,599	·	1,0	=	0,719	g	=	7,2	m/s ²
SLC	$a_gT = S \cdot a_g \cdot S_T =$	1,2	·	0,707	·	1,0	=	0,848	g	=	8,5	m/s ²

Ai sensi della normativa (articolo 3.2.3.3 "Spostamento orizzontale e velocità orizzontale del terreno") si ottengono i valori massimi dello spostamento (d_g) e della velocità orizzontali (v_g) del suolo, previsti a livello del piano di fondazione attraverso le espressioni:

Tabella 9 – Spostamento orizzontale massimo al suolo d_g

SLO	$d_g = 0,025 \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot a_gT =$	0,025	·	1,2	·	0,422	·	1,7	·	3,0	=	0,07	cm
SLD	$d_g = 0,025 \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot a_gT =$	0,025	·	1,2	·	0,428	·	1,7	·	3,8	=	0,08	cm
SLV	$d_g = 0,025 \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot a_gT =$	0,025	·	1,2	·	0,497	·	1,8	·	7,2	=	0,20	cm
SLC	$d_g = 0,025 \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot a_gT =$	0,025	·	1,2	·	0,522	·	1,8	·	8,5	=	0,24	cm

Tabella 10 – Velocità orizzontale massima al suolo v_g

SLO	$v_g = 0,16 \cdot S \cdot T_C \cdot a_gT =$	0,16	·	1,2	·	0,422	·	3,0	=	0,2	cm/s
SLD	$v_g = 0,16 \cdot S \cdot T_C \cdot a_gT =$	0,16	·	1,2	·	0,428	·	3,8	=	0,3	cm/s
SLV	$v_g = 0,16 \cdot S \cdot T_C \cdot a_gT =$	0,16	·	1,2	·	0,497	·	7,2	=	0,7	cm/s
SLC	$v_g = 0,16 \cdot S \cdot T_C \cdot a_gT =$	0,16	·	1,2	·	0,522	·	8,5	=	0,9	cm/s

In prospettiva sismica, l'area a livello di superficie della area della cantina e dell'agriturismo sono da ritenersi in osservanza dell'Ordinanza P.C.M. N.3274 e del DM 14/09/05, ad incremento sismico molto basso.

11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Data la semplicità della stratigrafia riscontrata durante il rilevamento e dato il modesto impatto nel terreno di fondazione delle strutture in progetto, si è ritenuto opportuno procedere all'acquisizione delle caratteristiche geotecniche dell'area interessata dai lavori di costruzione dell'impianto fotovoltaico mediante l'esecuzione di indagini geotecniche in situ con prove penetrometriche dinamiche continue (DIN), dalle quali sono state estrapolate i parametri geotecnici fondamentali delle terre, nonché da indagini sismiche MASW con la quale si è potuto definire la stratigrafia locale fino a decine di metri di profondità.

Nel punto di esecuzione della MASW 2 è stata anche eseguita una indagine sismica a rifrazione, allo scopo di fornire ulteriori elementi di verifica della stratigrafia locale.

11.1 PROVE PENETROMETRICHE

L'esecuzione delle quattro prove penetrometriche ha indicato la presenza di un suolo di spessore variabile, compreso tra 0,6 m e circa 1 m, costituito da sabbie li9mose poco addensate. Si è misurato un numero medio di N_{10} mediamente compreso tra 2 e 6 colpi. Più in profondità l' N_{10} misurato tende a salire piuttosto repentinamente, indicando un punto di rifiuto all'infissione della punta sulle alluvioni pleistoceniche molto addensate. Si rimanda allo specifico allegato per eventuali approfondimenti.

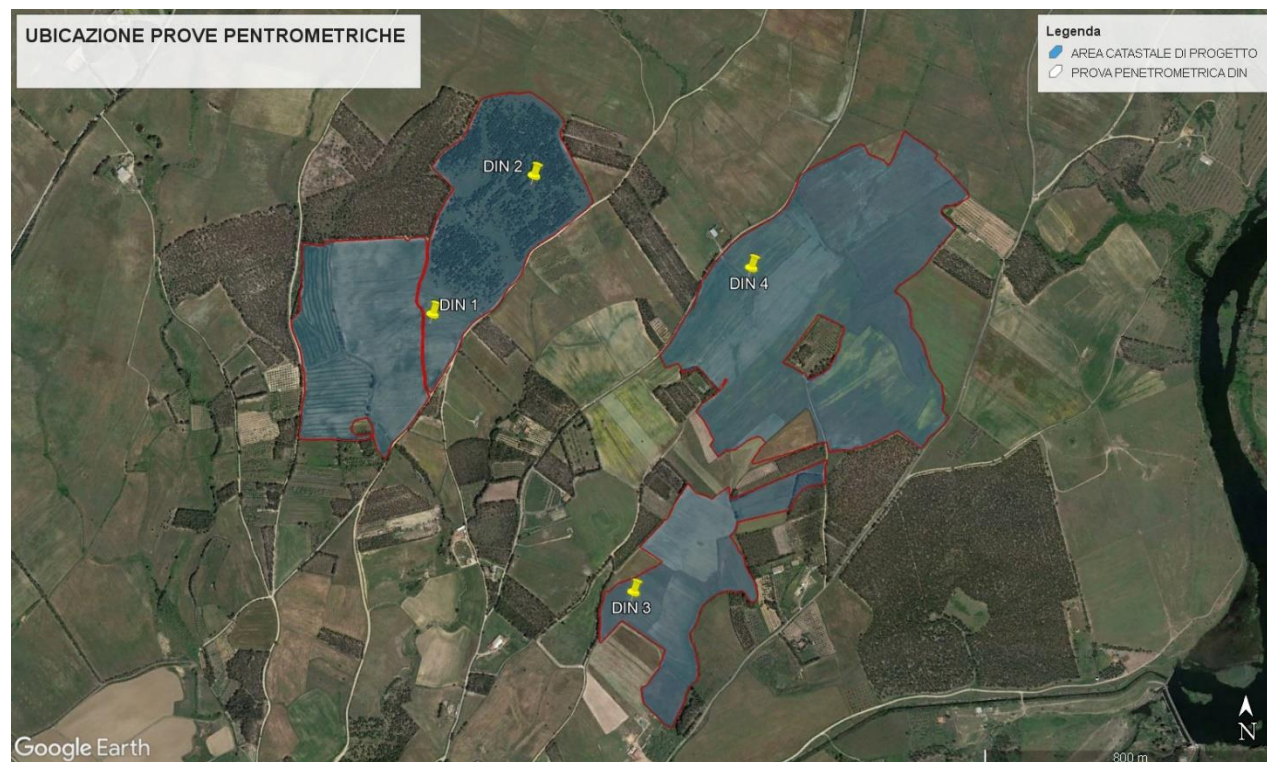


Figura 11.1: Ubicazione delle prove penetrometriche effettuate

11.1.1 Sintesi parametri geotecnici da prova penetrometrica

DIN 1

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.8	8.0	Coesivo	1.41	1.88	0	0.54	36.7	80.0	0	0
2	1.0	76.0	Incoerente	2.5	2.5	48.71	0	183.57	455.0	0.2	3809.59

DIN 2

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.6	6.0	Coesivo	1.41	1.88	0	0.38	27.53	60.0	0	
2	0.9	58.0	Incoerente	2.27	2.5	43.57	0	146.6	365.0	0.24	2954.8

DIN 3

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.2	1.0	Coesivo	1.33	1.83	0	0.06	4.59	10.0	0	0
2	0.8	16.0	Incoerente	1.91	1.96	31.57	0	60.33	155.0	0.32	880.62
3	1.3	69.0	Incoerente	2.38	2.5	46.71	0	414.0	420.0	0.21	3478.82

DIN 4

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.3	7.0	Coesivo	1.41	1.88	0	0.44	32.12	70.0	0	0
2	0.8	15.0	Incoerente	1.88	1.95	31.29	0	58.28	63.0	0.32	828.78
3	2.2	41.0	Incoerente	2.21	2.5	38.71	0	246.0	280.0	0.27	2132.7
4	2.5	95.0	Incoerente	2.5	2.5	54.14	0	570.0	550.0	0.16	4698.65

11.1.2 Coordinate punti di esecuzione prove penetrometriche

Tabella 11: Ubicazione prove penetrometriche DIN

COORDINATE UTM IN FORMATO WGS84 FUSO 32S			
Sito in studio	Coordinate Est (m)	Coordinate Nord (m)	Quota (m s.l.m.)
DIN 1	475505	4425199	35
DIN 2	475797	4425557	43
DIN 3	475930	4424364	31
DIN 4	475267	4245347	46

11.1.3 Fotografie esecuzione prove penetrometriche



Figura 11.2: Esecuzione prova DIN 1



Figura 11.3: Esecuzione prova DIN 2



Figura 11.4: Esecuzione prova DIN 3



Figura 11.5: Esecuzione prova DIN 4

11.2 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE MASW

Nell'area interessata dal progetto sono state eseguite due indagini sismiche con metodologia MASW per la determinazione della stratigrafia sulla base delle Vs misurate per verificare l'applicabilità del metodo semplificato e, nel caso, la categoria del sottosuolo ai sensi delle NTC 2018.

La prova è stata ubicata in modo da poter investigare un settore geologicamente rappresentativo dell'area in studio.

Tabella 12: Ubicazione prova sismica MASW

COORDINATE UTM IN FORMATO WGS84 FUSO 32S			
Sito in studio	Coordinate Est (m)	Coordinate Nord (m)	Quota (m s.l.m.)
MASW 1	475811	4425555	43
MASW 2	476290	4425325	45



Figura 11.6: Ubicazione delle indagini MASW

11.3 CORRELAZIONI GEOTECNICHE DA INDAGINE SISMICA MASW

In via assolutamente preliminare e puramente indicativa è possibile utilizzare i valori di velocità delle Vs per estrapolare dei parametri geotecnici. Utili in una prima fase di dimensionamento e verifica delle opere³.

11.3.1 Correlazione ϕ -Vs

La correlazione per il calcolo dell'angolo di resistenza al taglio direttamente in funzione di Vs, valore normalizzato per la pressione litostatica, è ripresa da Uzielli et al. (2013) e Mayne (2014) e consente di definire il range dei valori di picco:

$$\begin{aligned} \text{limite superiore:} & \quad \phi = 3,9 \cdot Vs^{0,44} \\ \text{limite inferiore:} & \quad \phi = 3,9 \cdot (Vs^{0,44}) - 6,2 \end{aligned}$$

11.3.2 Correlazione Cu-Vs

La correlazione per il calcolo della coesione non drenata (Cu in kPa) può essere calcolata con la formula di Dickenson (1990) valida per argille tenere:

$$Cu = (Vs/23)^{1,0,475}$$

11.3.3 Portanza

La capacità portante dei terreni di fondazione (qult in kPa) in funzione di Vs si può calcolare secondo Keceli (2012):

$$q_{ult} = 0,43 \cdot Vs^{1,25}$$

³ Tratto da "Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata" di Roccaforte-Cucinotta – Ed. Dario Flaccovio

il carico ammissibile si stima in base ad un fattore di sicurezza F_s applicato nella formula precedente che porta:

$$q_{amm} = 0,123 \cdot V_s^{1,25} \quad \text{per } V_s < 400 \text{ m/s}$$

$$q_{amm} = 0,143 \cdot V_s^{1,25} \quad \text{per } 400 \text{ m/s} < V_s < 700 \text{ m/s}$$

Tabella 13: Parametri geotecnici da indagini sismiche MASW 1

PARAMETRI GEOTECNICI DA VS MASW 1						
P [m]	Vs [m/s]	ϕ_{min} [°]	ϕ_{max} [°]	Cu kPa	q _{ult} [kN/m ²]	q _{amm} [kN/m ²]
1,7	317	43,0	49,2	250	575	165
3,8	336	44,2	50,4	283	619	206
6,3	397	48,1	54,3	402	762	253
9,2	450	51,1	57,3	523	891	296
12,5	735	65,0	71,2	1471	1646	547
16,2	1010	75,6	81,8	2871	2448	814
-	1041	76,7	82,9	3060	2543	846

Tabella 14: Parametri geotecnici da indagini sismiche MASW 2

PARAMETRI GEOTECNICI DA VS MASW 1						
P [m]	Vs [m/s]	ϕ_{min} [°]	ϕ_{max} [°]	Cu kPa	q _{ult} [kN/m ²]	q _{amm} [kN/m ²]
1,7	372	46,5	52,7	351	703	201
3,8	370	46,4	52,6	347	698	232
6,3	371	46,5	52,7	349	700	233
9,2	395	47,9	54,1	398	757	252
12,5	446	50,9	57,1	514	881	293
16,2	552	56,5	62,7	805	1151	383
20,4	643	60,9	67,1	1110	1392	463
25	749	65,6	71,8	1530	1685	560
-	887	71,1	77,3	2185	2081	692

11.4 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DA SISMICA A RIFRAZIONE

Allo scopo di poter avere una più affidabile ricostruzione della stratigrafia locale è stata eseguita una indagine sismica a rifrazione⁴, la quale ha consentito di poter individuare la geometria della copertura terrigena.

Le Vp con velocità comprese tra 300 e 600 m/s individuano la copertura terrigena poco addensata, sono sempre comprese entro 0.5 m di profondità, confermando la loro distribuzione subsuperficiale, probabilmente a seguito dei lavori agrari dell'area.

La velocità delle Vp cresce costantemente al crescere della profondità, passando da 600 m/s a 1000 m/s nell'arco di un paio di metri di profondità. Queste alluvioni hanno un andamento discontinuo per tutta la lunghezza dello stendimento.

⁴ Sismografo 24 bit DoReMi della SARA Instrumentns, 12 geofoni da 14 Hz, elaborazione con software Rayfract



Figura 11.7: Ubicazione sismica a rifrazione

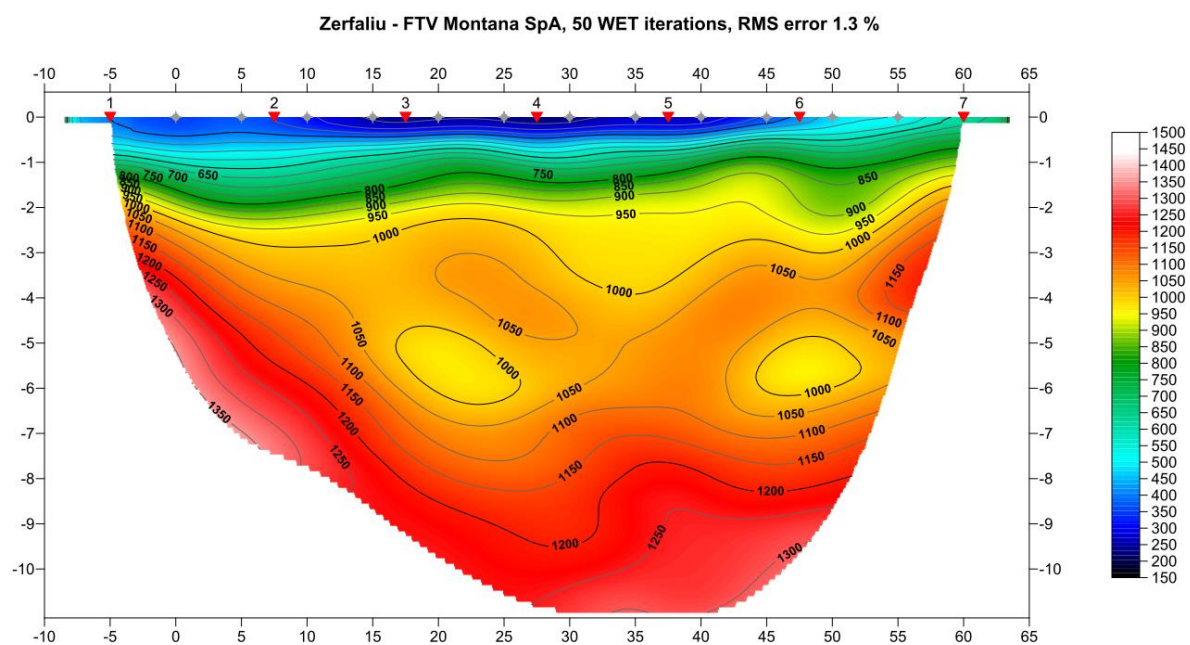


Figura 11.8: Sezione di tomografia sismica su stendimento MASW2

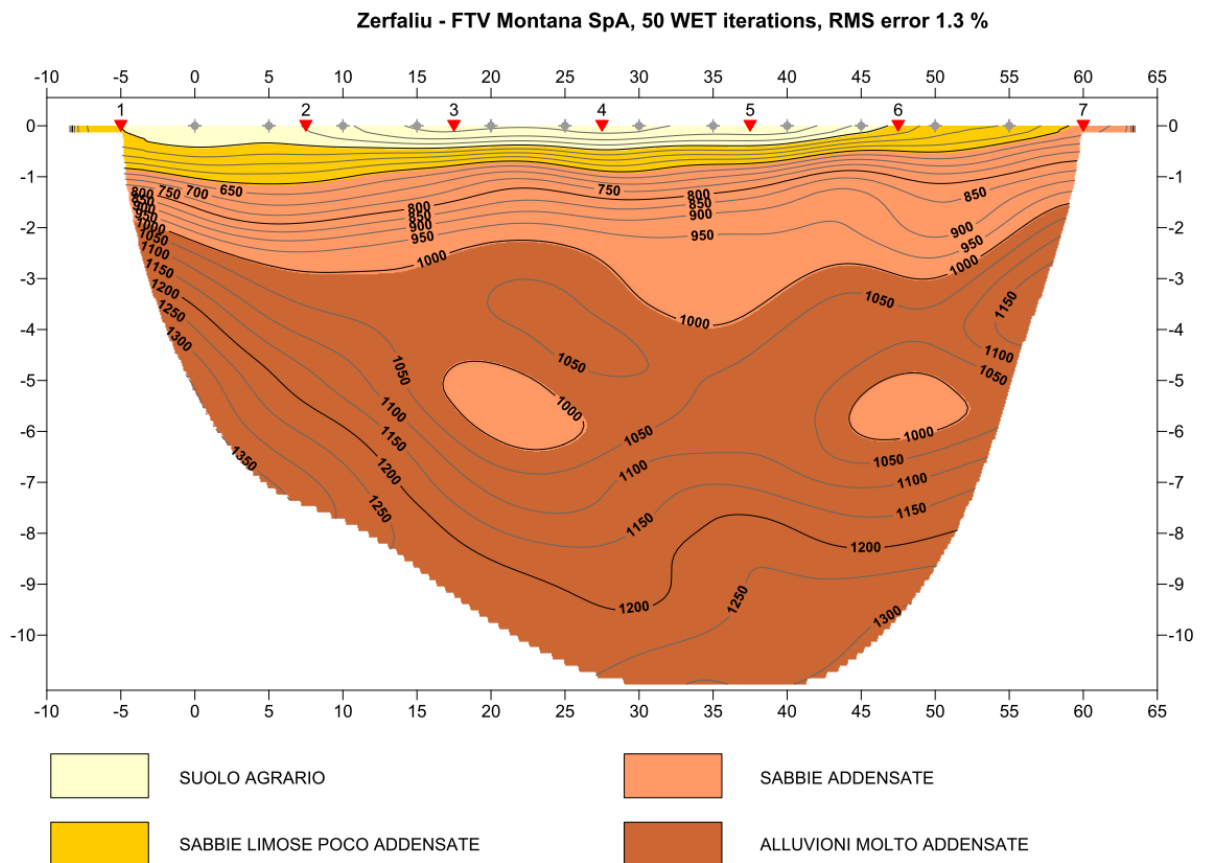


Figura 11.9: Sezione di tomografia sismica interpretata

11.5 SCAVABILITÀ DEL SUBSTRATO

Attraverso l'utilizzo di tabelle note in letteratura, che correlano la velocità delle onde P e il grado di rippabilità e scavabilità delle formazioni si può determinare il grado di approfondimento senza l'ausilio di esplosivo. Esiste una significativa correlazione tra la velocità con cui le onde sismiche attraversano la roccia e l'efficienza di scavo delle macchine utilizzate.

La figura mostra un diagramma per determinare l'efficienza di scavo (volume scavato in $m^3/20 \text{ min}$) in relazione alla velocità delle onde di compressione (Shimoto et alii, 1970, da OYO Corporation 1978). La comparazione mostra che l'efficienza di scavo di una pala o del ripper diminuisce in funzione dell'aumento di velocità delle onde di compressione.

Con l'utilizzo di un escavatore con pala a cucchiaio la scavabilità dei terreni è possibile, indipendentemente dalla formazione per quei sismo-strati che hanno velocità massime di 900 m/sec. Al di sopra di questa velocità e per valori massimi di 1.400 m/sec si deve far utilizzo di martelloni pneumatici.

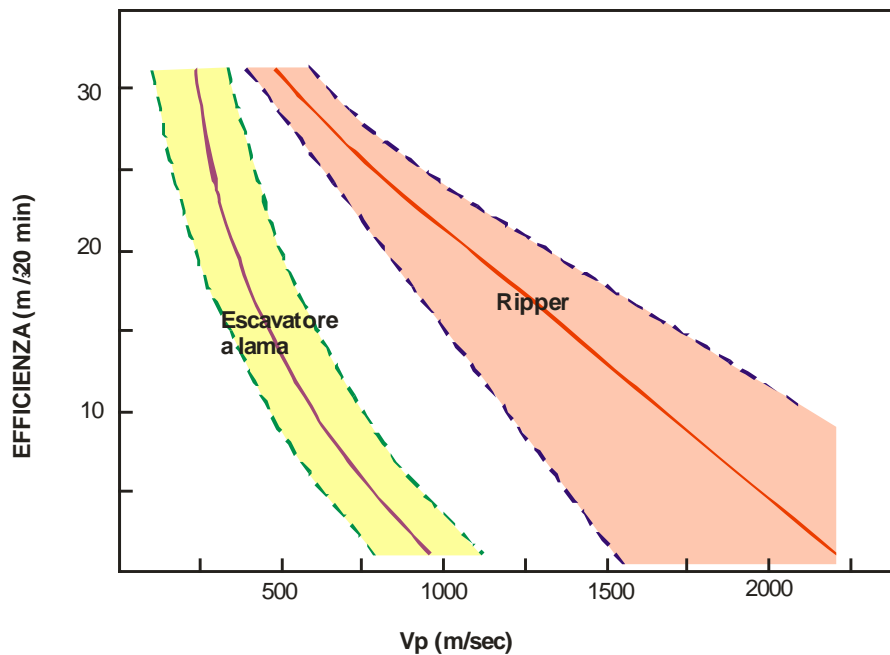


Figura 11.10: Grafico sui limiti di scavabilità dei terreni da onde Vp

11.5.1 Fotografie esecuzione prove sismiche



Figura 11.11: Esecuzione prova MASW 1



Figura 11.12: Esecuzione prova MASW 2 + rifrazione

12. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Sulla base della stratigrafia locale generale nota da dati di letteratura supportata dall'esecuzione di specifiche indagini, hanno permesso la definizione del modello geologico di dettaglio locale atto a definire il volume significativo di terreno influenzato dalle fondazioni delle opere in progetto.

I valori geotecnici indicati sono basati sull'osservazione dell'andamento delle indagini eseguite in un determinato sito, e precedentemente descritte.

I valori geotecnici di riferimento indicati in stratigrafia sono stati mediati dallo scrivente, eventualmente ridotti rispetto a quanto ottenuto dalle correlazioni empiriche precedentemente illustrate al fine di poter ottenere un modello geotecnico veritiero, ma ragionevolmente cautelativo del sito studiato.

12.1 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

La definizione dell'assetto geologico-stratigrafico locale di dettaglio si basa sull'esecuzione di quattro prove penetrometriche dinamiche continue nell'area interessata dal progetto e da due indagini geofisiche con metodologia sismica MASW e una sismica a rifrazione, le quali hanno consentito la verifica diretta della stratigrafia di dettaglio delle terre fino al raggiungimento del substrato alluvionale pleistocenico molto addensato, ad una profondità compresa tra circa 0.6 m e oltre 2 m, ed una stratigrafia di minor dettaglio con metodi sismici fino alla profondità di circa 30 m.

In particolare, la prova penetrometrica ha individuato un substrato costituito da un livello superficiale di sottili suoli argillosi poco consistenti di spessore molto variabile.

Le indagini eseguite e la stratigrafia locale generale nota da dati di letteratura, hanno permesso la definizione del modello geologico di dettaglio locale atto a definire il volume significativo di terreno influenzato dalle fondazioni della struttura in progetto.

Le indagini hanno fondamentalmente individuato due tipologie stratigrafiche leggermente differenti fra loro, una è indicata come settore occidentale, individuato dalle prove penetrometriche DIN 1 e DIN 2 e dalla sismica MASW1, l'altro è quello orientale, caratterizzato dalle prove penetrometriche DIN 3 e DIN 4 e dalla sismica MASW 2, nonché dalla sismica a rifrazione.

Settore occidentale:

- 0.0 – ~0.6 m: terreno vegetale poco consistente. OLOCENE
- ~0.6 m – ~16 m: alluvioni molto addensate del Subsistema di Portoscuso. PLEISTOCENE
- ~16 m – ~20 m: lave andesitiche?. AQUITANIANO

Settore orientale:

- 0.0 – ~0.5 m: terreno vegetale poco consistente. OLOCENE
- ~0.5 m – ~1.5 m: sabbie mediamente addensate. OLOCENE
- ~1.5 m – ~2.5 m: sabbie piuttosto addensate. OLOCENE
- ~2.5 m – ~25 m: alluvioni molto addensate del Subsistema di Portoscuso. PLEISTOCENE
- ~25 m – ~35 m: lave andesitiche?. AQUITANIANO

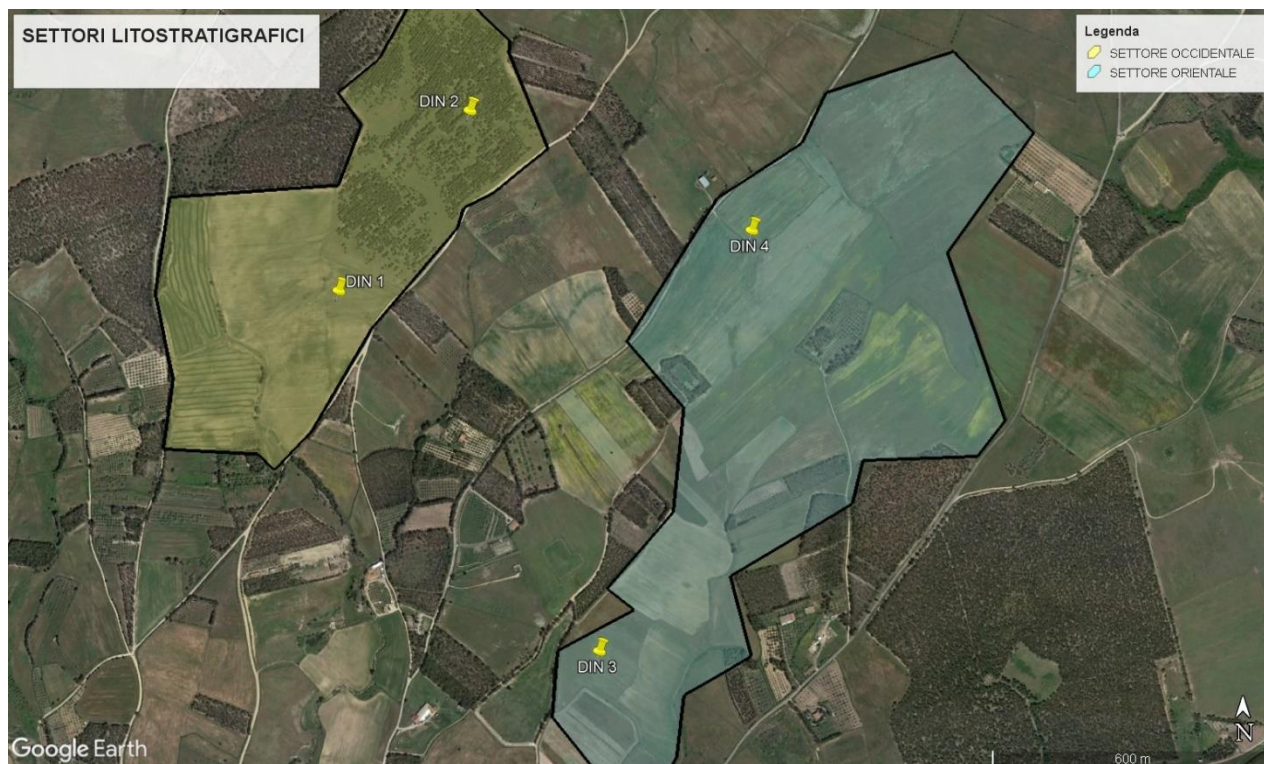


Figura 12.1: Rappresentazione schematica del settore orientale e del settore occidentale

12.2 STRATIGRAFIA SCHEMATICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Nelle tabelle sottostanti viene rappresentata la ricostruzione stratigrafica con parametrizzazione geotecnica dei siti interessati dalle opere in progetto.

I parametri rappresentati nelle tabelle sono:

- P: profondità strato (tetto-letto)
- γ : Peso unità di volume (kg/m^3);
- ϕ : Angolo di attrito ($^\circ$);
- C: Coesione (kg/m^3);
- C_u : Coesione non drenata (kg/m^3);
- E_d : Modulo Edometrico (kg/m^3);
- E_y : Modulo Elastico (kg/m^3);

12.3 STRATIGRAFIA AREA DI SEDIME TIPICA

L'analisi combinata delle prove penetrometriche, della sismica ad onde di superficie MASW e a rifrazione ha permesso, tramite specifiche correlazioni empiriche, di poter fornire una stratigrafia di dettaglio e una parametrizzazione geotecnica di massima del substrato.

Pertanto, sulla base di quanto premesso, la litostratigrafia e la relativa parametrizzazione geotecnica ha il solo scopo di verificare che il terreno tipo di sedime che ospiterà l'agrivoltaico possa essere effettivamente in grado di poter sostenere i carichi indotti dalle fondazioni, senza cedimenti tali da poter comprometterne la stabilità.

In caso di progettazione definitiva si provvederà a svolgere una esaustiva campagna di indagini per ogni sito in modo da poter procedere ad una puntuale ed accurata caratterizzazione stratigrafica e geotecnica.

I parametri geotecnici indicati nella tabella sottostante, sono stati ottenuti utilizzando i valori caratteristici, in alcuni casi ulteriormente ridotti in via cautelativa dallo scrivente, in modo da poter essere ragionevolmente certi che i valori utilizzati nella progettazione strutturale siano ampiamente verificati.

Per il livello alluvionale si è cautelativamente posto coesione nulla, trattando le terre come esclusivamente incoerenti.

Per il substrato lapideo si sono utilizzati in via cautelativa dei valori ridotti rispetto a quanto ottenute con le formule empiriche precedentemente illustrate.

Tabella 15: Stratigrafia litotecnica di massima del settore occidentale

STRATO	PARAMETRI		VALORI CARATTERISTICI
Suolo argilloso da 0 a 0.6 m	peso di volume	γ	14 kN/mc
	Coesione	c'	25 kPa
	Angolo attrito	φ'	0.0°
	Coesione non drenata	C_u	50 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	2.5 MPa
	Modulo Elastico	E_y	3.5 MPa
Alluvioni pleistoceniche da 0.6 m a ~16 m	peso di volume	γ	23 kN/mc
	Coesione	c'	0.0 kPa
	Angolo attrito	φ'	35°
	Coesione non drenata	C_u	0.0 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	15 MPa
	Modulo Elastico	E_y	18 Mpa
Lave andesitiche ? da ~16 m a ~30 m	peso di volume	γ	25 kN/mc
	Coesione	c'	600 kPa
	Angolo attrito	j'	45°
	Coesione non drenata	C_u	1000 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	1200 MPa
	Modulo Elastico	E_y	1600 Mpa

Tabella 16: Stratigrafia litotecnica di massima del settore orientale

STRATO	PARAMETRI		VALORI CARATTERISTICI
Suolo argilloso da 0 a 0.5 m	peso di volume	γ	14 kN/mc
	Coesione	c'	25 kPa
	Angolo attrito	φ'	0.0°
	Coesione non drenata	C_u	50 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	2.5 MPa
	Modulo Elastico	E_y	3.5 MPa
Sabbie mediamente addensate da 0.5 m a 1.5 m	peso di volume	γ	18.5 kN/mc
	Coesione	c'	0.0 kPa
	Angolo attrito	φ'	30°
	Coesione non drenata	C_u	0.0 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	5 MPa
	Modulo Elastico	E_y	7 Mpa
Sabbie piuttosto addensate da 1.5 m a 2.5 m	peso di volume	γ	22 kN/mc
	Coesione	c'	0.0 kPa
	Angolo attrito	j'	33°
	Coesione non drenata	C_u	0.0 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	18 MPa
	Modulo Elastico	E_y	22 Mpa
Alluvioni pleistoceniche da 1.5 m a 2.5 m	peso di volume	γ	23 kN/mc
	Coesione	c'	0.0 kPa
	Angolo attrito	j'	38°
	Coesione non drenata	C_u	0.0 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	35 MPa
	Modulo Elastico	E_y	45 Mpa
Lave andesitiche ? da 2.5 m a ~25 m	peso di volume	γ	25 kN/mc
	Coesione	c'	600 kPa
	Angolo attrito	j'	45°
	Coesione non drenata	C_u	1000 kPa
	Modulo Edometrico	E_d	1200 MPa
	Modulo Elastico	E_y	1600 Mpa

12.4 PIANO DI INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Come riportato nelle premesse di questa relazione preliminare, i caratteri geolitologici, geotecnici e la configurazione stratigrafica del sito d'intervento, che hanno rivestito forma preliminare ed il più possibile verosimile in questa fase, sulla base delle fonti a disposizione e delle indagini eseguite, saranno ulteriormente definiti, e con maggior dettaglio, a seguito dei risultati di indagini geognostiche e geotecnico, da eseguirsi in sito ed in laboratorio.

La tipologia di lavorazioni e di opere da realizzarsi, che in termini di carichi trasmessi al terreno possono essere correlati essenzialmente alla realizzazione dei pali di fondazione dei tralicci dei pannelli fotovoltaici e delle opere infrastrutturali connesse (cabine elettriche di trasformazione, distribuzione, ecc.), indicano che la profondità da indagare in maniera diretta attraverso la realizzazione di sondaggi geognostici da ubicare uniformemente distribuiti nell'area interessata dalla realizzazione dell'agrivoltaico, possa essere estesa ad una profondità compresa tra 5 e 10 m dal piano di campagna,

con prelievo di campioni negli orizzonti attraversati più significativi, da esaminare in laboratorio e verificare l'eventuale presenza di una falda freatica

Si presume che le fondazioni andranno a poggiare su di un substrato costituito da sabbie oloceniche molto addensate o alluvioni pleistoceniche estremamente addensate, la caratterizzazione geotecnica si basa pertanto su prove adatte a terre.

I suoli hanno uno spesso estremamente variabile, spesso con spessore talmente esiguo e caratteristiche geotecniche molto scadenti, che non potranno costituire il substrato di fondazione.

Nel caso in cui il sondaggio intercetti una falda superficiale, si provvederà ad allestire un piezometro per il monitoraggio della stessa al fine di definire eventuali interazioni con la fondazione stessa.

Risulta necessario, a supporto della predisposizione della relazione sismica (definizione della categoria del sottosuolo secondo le NTC 2018), oltre che per una più completa caratterizzazione e distinzione geostatigrafica del sottosuolo, la realizzazione una campagna di indagini sismiche a onde di superficie per caratterizzare con adeguato dettaglio la risposta sismica del sito.

Al fine di definire l'andamento stratigrafico con adeguato dettaglio dell'intera area di sedime, nonché avere una più efficace correlazione delle indagini geognostiche, verranno eseguite delle sezioni sismiche in modalità tomografica ed estendere così il valore puntuale della perforazione a carotaggio.

Per il corretto dimensionamento degli impianti di messa a terra si provvederà ad eseguire delle indagini geoelettriche con configurazione Wenner, atte a poter misurare la resistività del terreno. Per quanto riguarda la misura della resistività dei suoli si propone che vengano eseguite sempre con la configurazione di Wenner ma in modalità tomografica a 24 elettrodi. In questo modo vengono eseguite in automatico circa 60 misure con, le quali sono poi elaborate con specifico software in grado di restituire non solo la resistività del suolo ma anche una stratigrafia 2D, utili nella definizione dell'assetto geologico di dettaglio dei siti d'interesse. Se alle misure di resistività vengono abbinate anche delle misure di caricabilità (Polarizzazione Indotta) si possono avere anche ulteriori informazioni sull'assetto idrogeologico locale. La profondità d'indagine presunta per questo tipo di indagine è di circa 10 m per una lunghezza dello stendimento geofisico di circa 60 m.

Per il raggiungimento degli obiettivi sopra esposti, si prevede, pertanto, di impostare il seguente piano di indagini:

- Realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo (diam. 101 mm): realizzazione di perforazioni con profondità minima di 5 m dal piano di campagna;
- Eventuali prove di laboratorio su terre (set minimo):
 - esecuzione di prove di taglio diretto con scatola di Casagrande;
 - prove edometriche su campioni coesivi;
 - determinazione dei limiti di Atterberg con analisi granulometrica;
- Prove in sito:
 - esecuzione di indagini sismiche a rifrazione con modalità tomografica;
 - esecuzione di indagini geoelettriche per la definizione della resistività dei suoli.

Tale lista costituisce un elenco indicativo e non esaustivo, ci si riserva di aggiornare le indagini proposte sulla base delle risultanze che si avranno dalle perforazioni a carotaggio.



12.5 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE PREVISTE

- IMPIANTO DI CANTIERE PER INDAGINI GEOGNOSTICHE; compreso l'approntamento in deposito delle attrezzature, degli accessori, dei ricambi e dei consumi; compreso il carico su automezzo, lo scarico in cantiere, il montaggio, lo smontaggio a lavori ultimati, il carico su automezzo e lo scarico in deposito; compreso il trasporto dal deposito al cantiere di lavoro, compreso il ritorno a vuoto; o trasporto delle stesse da cantiere a deposito, compresa l'andata a vuoto; compreso il trasferimento del personale
- PERFORAZIONE; ad andamento verticale o con inclinazione fino ad un massimo di 15° dalla verticale, eseguita a rotazione a carotaggio continuo, con carotieri di diametro da 85 mm fino a 101 mm, in terreno a granulometria fine quali argille, limi sabbiosi e rocce tenere; compreso l'onere dell'estrazione delle carote e la loro conservazione in apposite cassette catalogatrici queste escluse e compensate a parte; compresa la tubazione di rivestimento del foro; per le seguenti profondità, misurate a partire dal piano campagna, comprese tra: m 0,00 e m 15,00 massimo
- PERFORAZIONI; sia a carotaggio continuo sia a distruzione di nucleo, eseguite in rocce dure che richiedono l'impiego di corone diamantate; per profondità fino a m 40,00 e per i seguenti diametri della corona diametro fino a mm 145
- PRELIEVO DI CAMPIONE INDISTURBATO; compatibilmente con la natura dei terreni, nel corso di sondaggi, con l'impiego di campionatore a parete sottile spinto a pressione; compreso l'onere della fornitura di fustella zincata, della paraffinatura per eseguire la sigillatura e del trasporto al laboratorio di analisi indicato dal committente; per le profondità seguenti dal piano di campagna: da m 0,00 a m 15,00
- PROVA SISMICA ATTIVA TIPO MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave); per la determinazione di curve di dispersione delle onde superficiali di tipo Rayleigh generate con idonei sistemi, e registrate con 24 geofoni verticali aventi periodo di oscillazione 4.5 Hz disposti secondo geometria lineare con "offset" non inferiore a 2 volte il G-spacing e collegati ad un sismografo multicanale a memoria incrementale. Compreso l'analisi dei dati nel dominio FK (frequency-wave number) per la determinazione di curve di dispersione delle onde superficiali di tipo Rayleigh redatti in grafici Vfase – Hz, l'inversione del modello di rigidità del sottosuolo fino a raggiungimento del miglior "fitting" tra i dati sperimentali e teorici, la relazione riepilogativa contenente: - le procedure di esecuzione della prova, - grafici di acquisizione (serie temporali), Vfase – Hz, - eventuale restituzione di profili Vs del sottosuolo, - calcolo del valore di Vs,eq ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018. - approntamento e trasporto delle attrezzature e loro installazione c/o ciascuna linea di sondaggio sismico MASW per ogni sondaggio MASW, comprensivo di relazione, grafici e misura del parametro Vs30. Compreso trasporto, installazione e smontaggio attrezzature
- PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE; eseguito con apparecchiatura elettronica digitale ad alta precisione a 24 canali, stesa dei cavi, undici punti di energizzazione con massa battente, lettura dei primi arrivi, analisi diretta ed inversa delle onde longitudinali mediante software di tomografia sismica in grado di individuare i diversi rifrattori, il calcolo delle velocità apparenti, la definizione dei diversi strati in spessori e velocità, la costruzione di dettaglio delle relative sismosezioni, relazione riepilogativa e quanto altro occorra per dare il lavoro finito.

13. CONCLUSIONI

Lo studio geologico evidenzia come le fondazioni delle strutture atte a sostenere i pannelli fotovoltaici in progetto si inseriscano in un contesto geologico caratterizzato da suoli argilloso limosi poco consistenti, con spessore compreso tra circa 0.5 m e 1 m circa, che ricoprono un substrato costituito generalmente da alluvioni pleistoceniche da molto a estremamente addensate, con uno spessore presunto che può arrivare alle decine di metri.

La stratigrafia litotecnica di riferimento dell'area è stata ottenuta mediante l'esecuzione di quattro prove penetrometriche dinamiche continue e di due indagini sismiche MASW, lungo lo stendimento della MASW 2 è stata anche eseguita ad una sismica a rifrazione in modalità tomografica. L'analisi combinata di queste metodologie di indagine ha permesso di investigare con elevato dettaglio fino a circa 0.5-2 m, e avere una parametrizzazione geotecnica di massima del substrato lapideo mediante l'utilizzo di formule empiriche utilizzando le velocità delle Vs, nonché di avere una indicazione dell'andamento stratigrafico tipico dell'area in esame (anche ai fini della definizione della risposta sismica) fino a circa 30 m di profondità.

L'area in studio è data da terrazzi alluvionali con andamento sub pianeggiante, con bordi generalmente poco acclivi. Il substrato tende a diventare sempre più addensato e massivo in profondità.

L'analisi del pericolo geologico del sito ha evidenziato un contesto geomorfologico stabile rispetto a fenomeni di dissesto gravitativo, inoltre non si rilevano possibili future alterazioni del deflusso delle acque di scorrimento superficiale.

L'assetto idrogeologico sotterraneo non si ritiene che potrà essere alterato dalla realizzazione delle opere, poiché non si sono avuti riscontri della presenza di acquiferi superficiali che possano essere interessati dai pali di fondazione, ad ogni modo si dovrà avere la massima attenzione affinché eventuali emergenze idriche vengano verificate durante l'esecuzione della campagna di indagini geognostiche.

Sulla base di quanto precedentemente esposto, il substrato destinato ad ospitare le fondazioni dei tralicci atti a sostenere i pannelli fotovoltaici si presenta, nel suo complesso, in grado di poter sostenere i carichi indotti dalla struttura senza deformazioni o cedimenti.

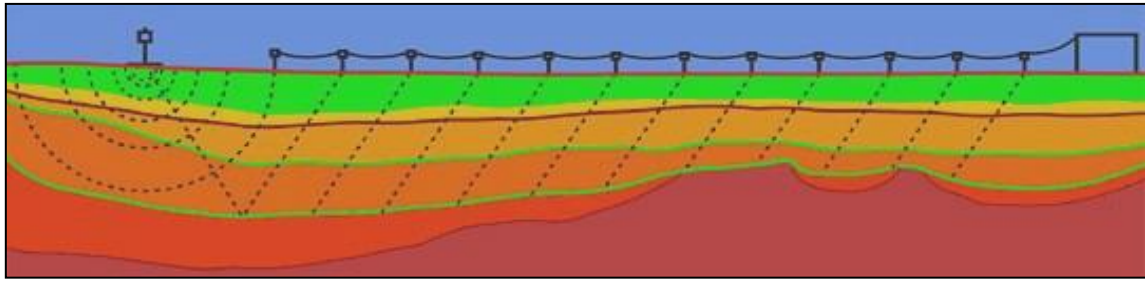
Nel complesso non si riscontrano elementi ostativi per quanto riguarda l'esecuzione del progetto in esame.

13.1 APPENDICE

13.1.1 Indagini sismiche MASW

L'esecuzione di indagini sismiche ha lo scopo di ottenere informazioni di tipo geotecnico sul comportamento fisico-meccanico dei corpi geologici investigati, attraverso la determinazione dei relativi parametri, ed informazioni di tipo geologico sui caratteri strutturali e stratigrafici del volume del sottosuolo indagato.

Si tratta di uno dei metodi attualmente più utilizzati per l'esplorazione in profondità del sottosuolo e consiste nel creare delle onde artificiali nel terreno (energizzazione) battendo una piastra poggiata a terra con una mazza. Le indagini geognostiche che utilizzano le metodologie sismiche sfruttano le proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle onde sismiche a diversa velocità; questa dipende da molti fattori, quali la natura mineralogica della roccia, il grado di cementazione e di fatturazione, la porosità, il contenuto in acqua o in gas, ecc.



Rappresentazione schematica di una tipica prospezione sismica

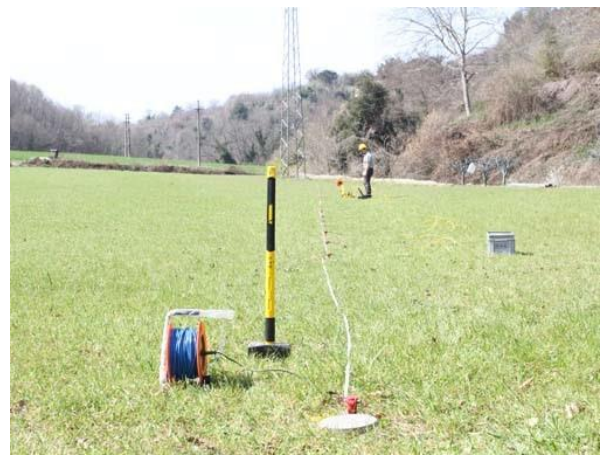
Caratteristiche strumentali

La strumentazione utilizzata è costituita da un Sismografo DOREMI (SARA Instruments, Italia) con convertitore A/D a 24 bit, numero di canali da 3 a 24, ampio range dinamico 144db, output dei dati in SEG-Y, SEG-2 o ASCII, opzione per test dei geofoni ed accelerometri, lunghezza di registrazione fino a 4 mld di campioni, intervalli di campionamento: 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 ms. L'intero sistema di acquisizione è conforme alle specifiche ASTM D5777-00 (2006) (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation); l'energizzazione del terreno è stata effettuata mediante l'utilizzo di una massa battente (mazza di 8 kg con starter su piattello di battuta).

Per la ricezione delle onde longitudinali (P), durante l'indagine sismica, sono stati usati geofoni verticali a lungo periodo (4.5 Hz).

La strumentazione utilizzata è costituita da un Sismografo DOREMI (SARA Instruments, Italia) con convertitore A/D a 24 bit, numero di canali da 3 a 24, ampio range dinamico 144db, output dei dati in SEG-Y, SEG-2 o ASCII, opzione per test dei geofoni ed accelerometri, lunghezza di registrazione fino a 4 mld di campioni, intervalli di campionamento: 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 ms. L'intero sistema di acquisizione è conforme alle specifiche ASTM D5777-00 (2006) (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation); l'energizzazione del terreno è stata effettuata mediante l'utilizzo di una massa battente (mazza di 8 kg con starter su piattello di battuta).

Per la ricezione delle onde longitudinali (P), durante l'indagine sismica, sono stati usati geofoni verticali a lungo periodo (4.5 Hz).



Generalità sulle indagini sismiche mediante onde di superficie

La necessità dettata dalle NTC 2018 di fornire una solida stima della velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo ha dato un forte slancio alla diffusione di tecniche basate sull'analisi della dispersione delle onde di superficie (Rayleigh e Love). La dispersione rappresenta una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. In un mezzo stratificato le varie componenti (lunghezza d'onda, quindi frequenza $\lambda = v/f$ del segnale sismico) si propagano ad una velocità diversa in funzione delle caratteristiche del mezzo. Le componenti a frequenza minore (lunghezza d'onda maggiore) penetrano più in profondità e sono quindi influenzate dagli strati più profondi rispetto a quelle a frequenza maggiore (lunghezza d'onda minore) che risentono delle proprietà fisiche dei livelli superficiali, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Metodologia MASW

La tecnica MASW consente di misurare la velocità delle onde di taglio V_s sfruttando il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato.

La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore.

È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

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

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

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

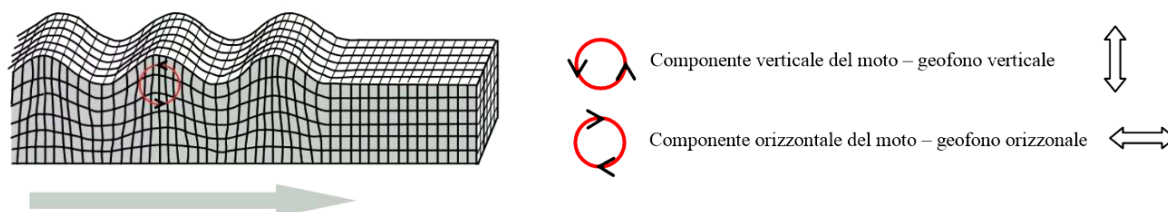
Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5 Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di X punti di energizzazione effettuati tipicamente ad una distanza compresa fra 2 m e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh), che a causa della stratificazione del mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate alla velocità delle onde di taglio S.

L'acquisizione delle onde di Rayleigh può essere fatta mediante geofoni verticali (come nel nostro caso), oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello).

Rayleigh Wave



Schema operativo acquisizioni MASW

Sulla base delle caratteristiche morfologiche del sito, è stato posizionato lo stendimento sismico, in parte nell'area d'ingombro della struttura. L'analisi è stata eseguita adottando la seguente configurazione:

- N° geofoni: 12 con frequenza propria di risonanza 4,5 Hz;
- Distanza intergeofonica: 5.0 m per complessivi 55 m di stendimento;
- Offset di battuta: n° 1 battuta disposta a -8.0 m dal primo geofono.

Per quanto riguarda l'acquisizione sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

- Tempo di acquisizione: 2.0 s;
- Frequenza di campionamento: 1000 Hz;
- Periodo di campionamento: 1.0 ms.

L'analisi dei dati acquisiti dalla metodologia avviene attraverso le seguenti fasi:

1. Calcolo dello spettro di velocità; 2. Individuazione del modo fondamentale e degli eventuali superiori; 3. Calcolo della curva di dispersione mediante modellazione diretta, cioè attribuzione degli spessori e delle velocità relative, sulla base di dati riguardanti il sito acquisiti precedentemente tramite indagini dirette o bibliografia. In alternativa picking della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere ad un determinato modo; 4. Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs.

Gli spettri di velocità risultano dominati dal modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

Nella Tabella e nelle Figure sottostanti vengono riportati: l'andamento del profilo di velocità; gli spessori; le relative velocità Vs (dalle onde di Rayleigh) e la densità stimati, ricordando che, come in tutti i metodi geofisici, può essere ottenuta solo una stima del modello sismostratigrafico a causa del problema della non univocità.

La rappresentazione grafica dei risultati dell'indagine Masw viene rappresentata attraverso i diagrammi dello spettro di dispersione, il quale indica come le onde di superficie si disperdono nel terreno individuando anche i "modi superiori", dovuti generalmente alla presenza di discontinuità stratigrafiche.

L'andamento stratigrafico delle Vs viene rappresentato con un digramma dove sono indicate alle diverse profondità investigate le rispettive velocità Vs a cui si sovrappone l'andamento della curva di dispersione data da una successione di pallini verdi.

Rigidità sismica (R)

La rigidità sismica è un parametro legato all'amplificazione sismica locale; tanto più alto risulta R tanto minore sarà l'incidenza del danno dovuto al sisma;

$$R = \gamma \cdot V_s$$

In cui: γ = peso di volume naturale
 V_s = velocità di taglio.

Frequenza fondamentale di Nakamura (F_o)

$$F_o = \frac{V_s}{4 \cdot H}$$

In cui: H = spessore dello strato
 V_s = velocità delle onde longitudinali

Categorie del sottosuolo di fondazione

Nei paragrafi che si riportano nel seguito sono riassunti i dati medi principali desunti dall'indagine. Nel calcolo della "Velocità equivalente" $V_{s_{eq}}$ si è tenuto conto di tutti gli strati rilevati nei profili completi riportati in precedenza. La $V_{s_{eq}}$ rappresenta la media ponderata della distribuzione delle velocità di taglio per una profondità H sotto il piano di fondazione e si ottiene applicando la seguente formula:

$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h_{(strato)}}{V_{s_{(strato)}}}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h_{(strato)}$ e dalla velocità delle onde $V_{s_{(strato)}}$.

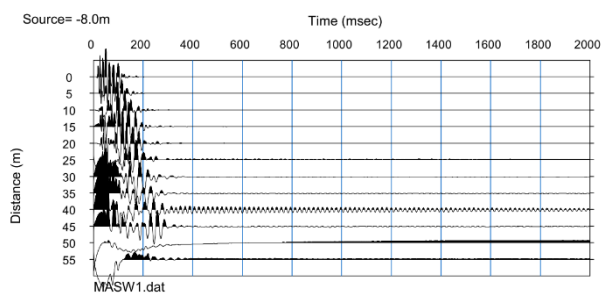
Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

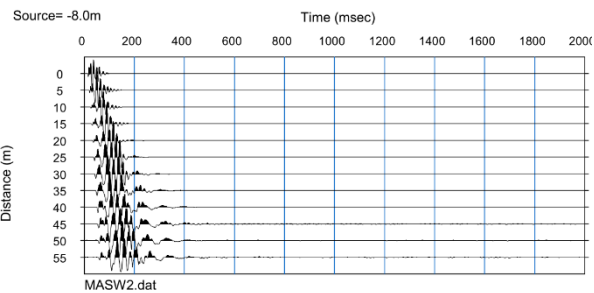
Il parametro $V_{s_{eq}}$ consente di stabilire la classe di suolo come stabilito alle NTC del 2018 e sono riportate nella tabella che segue.

Tabella 17: Categorie di sottosuolo di fondazione secondo le NTC del 2018

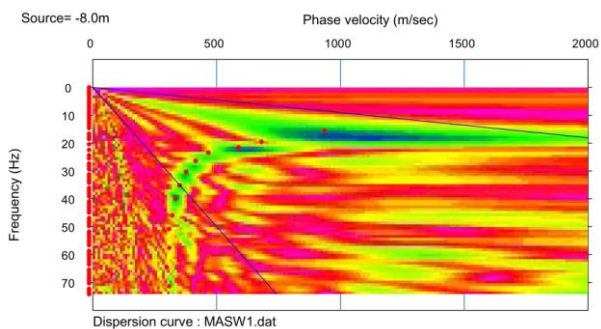
CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
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.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.



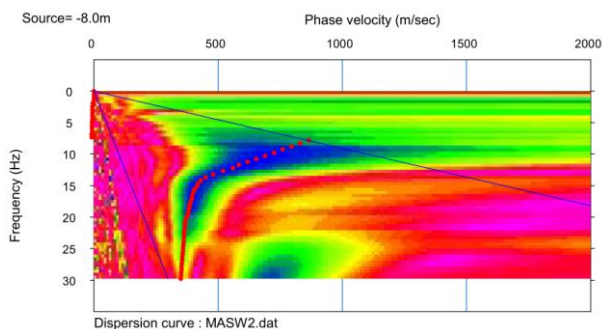
Sismogramma MASW1



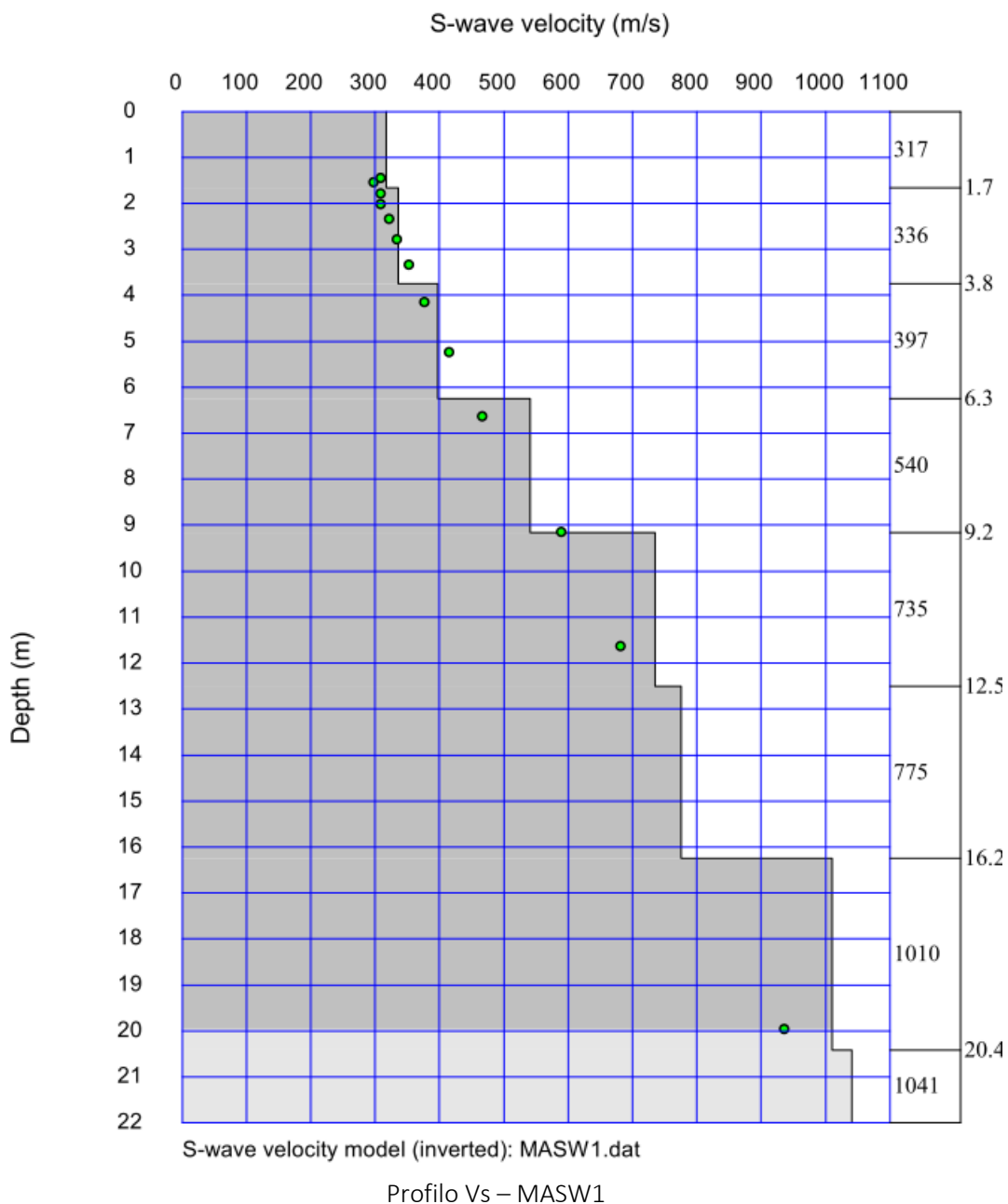
Sismogramma MASW1

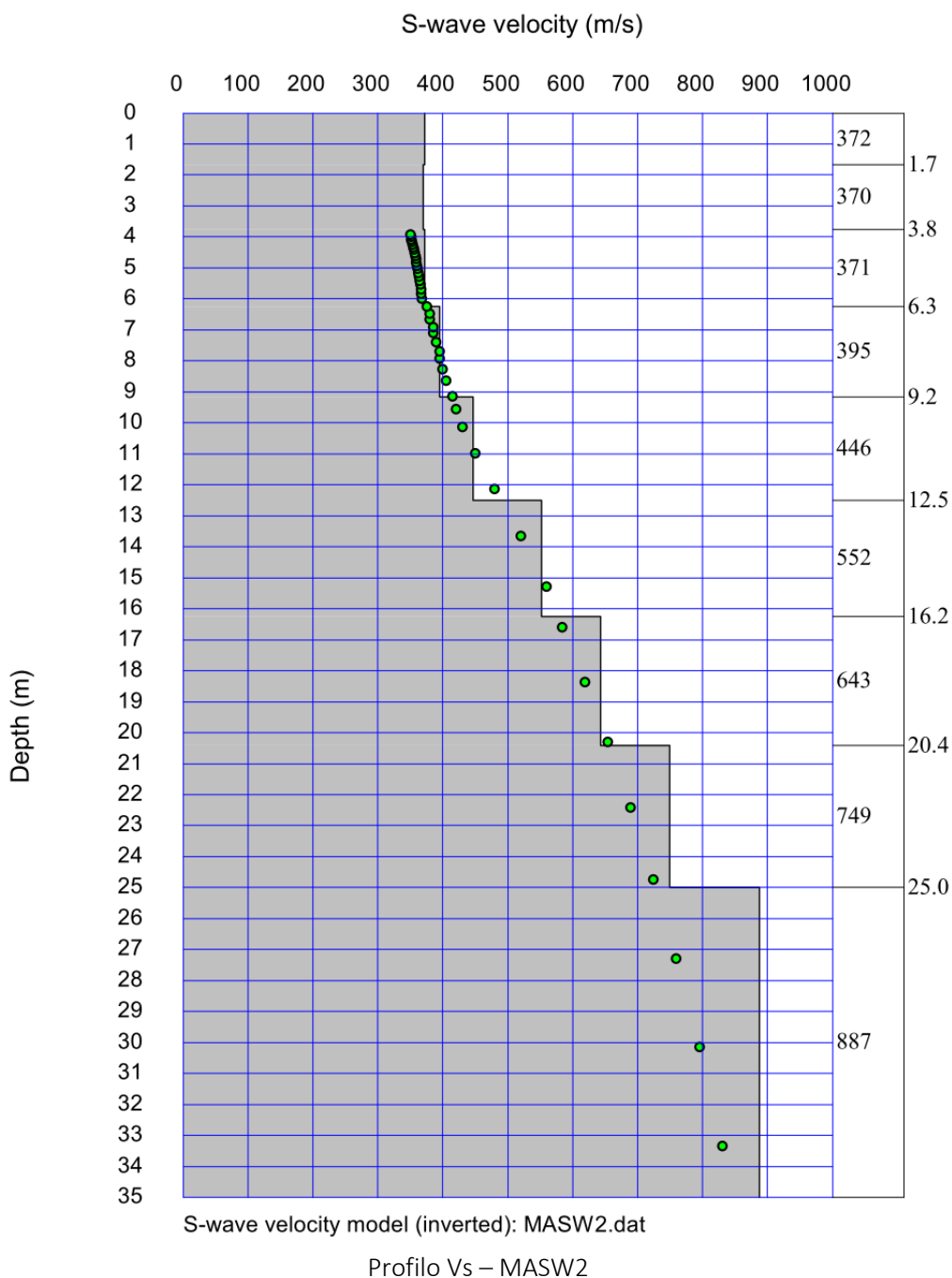


Spettro di dispersione MASW 1



Spettro di dispersione MASW 2





13.1.2 Indagini con prove penetrometriche

Generalità

Le prove penetrometriche sono attualmente molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione poiché può essere svolta in tutti i tipi di terreno, coesivo o granulare (dalle argille alle ghiaie), comprese le rocce tenere, fornendo lo stato d'addensamento di terreni incoerenti e la consistenza di terreni coerenti, attraverso la valutazione della resistenza dinamica alla punta degli strati attraversati. È però necessario tenere sempre ben presente che le prove dinamiche continue sono state ideate per lo studio dei terreni incoerenti, i dati elaborati per gli strati coesivi quindi, sono da considerarsi utili solo per un primo inquadramento del problema.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione (per tratti consecutivi di 10 cm) misurando il numero di colpi N necessari. La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano di campagna, ma in alcuni casi può essere condotta, con l'impiego di speciali accorgimenti, a partire dal fondo di fori di sondaggio.

Note illustrative

L'elaborazione dei dati acquisiti, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con 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 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)

La prova è denominata "continua" poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione della punta seguendo le raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I. 1977), mentre a livello europeo tali prescrizioni sono contenute nel documento n° 2 allegato alla procedura "ISSMFE 1988", la tabella seguente mostra la classificazione dei penetrometri attualmente in uso distinti in funzione della massa del maglio:

CLASSIFICAZIONE ISSMFE DEI PENETROMETRI DINAMICI		MASSA MAGLIO (Kg)	PROFONDITÀ MAX
DPL (<i>Dynamic Probing Light</i>)	leggero	≤ 10	8 m
DPM (<i>Dynamic Probing Medium</i>)	medio	Da 10 a 40	20 – 25 m
DPH (<i>Dynamic Probing Heavy</i>)	pesante	Da 40 a 60	25 m
DPSH (<i>Dynamic Probing Superheavy</i>)	superpesante	≥ 60	> 25 m

Nella fattispecie la prova è stata eseguita con un penetrometro mod. DeepDrill DM30, azionato da un gruppo oleodinamico alimentato da un motore a scoppio da 4 Hp, provvisto di una massa battente di 30 Kg, classificabile quindi come tipo medio, lo strumento utilizzato per la presente indagine è composto da:

- una batteria d'aste ognuna lunga 1 m e dal peso di 2,93 Kg/m;
- una punta conica, avvitata (se a recupero) o semplicemente incastrata (se a perdere) nell'estremità inferiore della batteria d'aste interne, dal diametro di 35,7 mm ed un angolo di apertura di 60°; la superficie della punta può essere di 5 o di 10 cm²;
- un maglio da 30 Kg con una volata di 20 cm.



strumento utilizzato montato su mezzo semovente:

- 1 – testa**
- 2 – supporto**
- 3 – asta**
- 4 – centralina oleodinamica**
- 5 – transporter cingolato**

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.

Interpretazione dei dati

La prova consiste nell'infissione nel terreno della punta per tratti standard di 10 cm, misurando il numero di colpi N_{10} necessari alla sua penetrazione. I litotipi attraversati hanno permesso l'esecuzione della prova in totale assenza di attrito laterale, non si è così reso necessario l'utilizzo delle aste di rivestimento antiattrito.

I risultati della prova, restituiti sottoforma di diagrammi in funzione della profondità (in ordinate) e del valore N_{10} (in ascisse), evidenziano la corrispondenza tra la variazione del valore di N lungo la verticale di prova e la variazione litologica dei terreni testati.

Il valore di N potrà essere utilizzato per calcolare anche l'energia necessaria alla penetrazione dinamica alla punta. Viene comunemente valutata secondo la formula Olandese:

$$R_{pd} = \frac{m^2 \cdot g \cdot H}{a \cdot e \cdot (m + m')} = Q \cdot N$$

In cui:

R_{pd}	= resistenza dinamica alla punta
m	= peso del maglio (Kg)
m'	= peso di: aste + testa di battuta + asta di guida + dispositivo di percussione (Kg)
g	= accelerazione di gravità (m/s ²)
H	= altezza di caduta del maglio (m)
a	= area sezione trasversale alla punta (m ²)
e	= penetrazione media per colpo
Q	= $(m \cdot H) / a \cdot \delta$ = energia specifica teorica per colpo [δ = avanzamento in m]

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT, è necessario applicare una correzione ai risultati delle prove SCPT, per tenere conto delle diverse modalità esecutive.

Pertanto i penetrometri con caratteristiche differenti rispetto all'SPT (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) comportano energie di infissione ovviamente differenti; la conoscenza della quantità di energia necessaria alla penetrazione della punta, al netto del valore totale comprendente l'aliquota dispersa per dissipazione lungo le aste, permette la correlazione con le caratteristiche di resistenza del terreno determinate con la prova penetrometrica continua con la prova SPT.

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N, Q) alla prova SPT (N_{SPT}, Q_{SPT}), dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente:

$$R_{pd}' = Q \cdot N = Q_{SPT} \cdot N_{SPT} \Rightarrow N_{SPT} = N(Q / Q_{SPT}) = \beta \cdot t \cdot n$$



ove il rapporto $\beta \cdot t = Q / Q_{SPT}$ viene definito "coefficiente teorico d'energia" della prova in esame, relativamente alla prova SPT ($Q_{SPT} = 7,83 \text{ Kg/cm}^2 = 0,786 \text{ Mpa}$) per $m = 63,5 \text{ Kg}$, $a = 20,27 \text{ cm}^2$, $\delta = 0,30 \text{ m}$.

Il penetrometro utilizzato nella presente indagine è stato utilizzato con la punta di 10 cm^2 , per cui risulta avere un coefficiente teorico d'energia rispetto alla SPT di 0,74 ed una energia specifica per colpo di 6 Kg/cm^2 .



Il margine di valori N_{10} (n° di colpi per un avanzamento di 10 cm) che si ritiene utile perché la prova possa fornire dei risultati validi è compreso tra un minimo 4 ed un massimo di 80.

Risultati delle prove penetrometriche




DIN1

Prof. Strato (m)	NDPM Medio Minimo	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media minima (Kg/cm ²)	Nspt Medio Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.8	5.44	1.538	38.91	8	1.41	1.88	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		terreno vegetale
1	50	1.538	343.77	76	2.5	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni





DIN2

Prof. Strato (m)	NDPM Medio Minimo	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media minima (Kg/cm ²)	Nspt Medio Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.6	4.08	1.538	29.74	6	1.41	1.88	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		terreno vegetale
0.9	38.33	1.538	263.56	58	2.27	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

DIN3

Prof. Strato (m)	NDPM Medio Minimo	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media minima (Kg/cm ²)	Nspt Medio Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.2	1	1.538	7.28	1	1.33	1.83	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		terreno vegetale
0.8	10.83	1.538	77.1	16	1.91	1.96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		limo sabbioso
1.3	45.4	1.538	312.15	69	2.38	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

DIN4

Prof. Strato (m)	NDPM Medio Minimo	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media minima (Kg/cm ²)	Nspt Medio Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.3	5.17	1.538	37.63	7	1.41	1.88	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		terreno vegetale
0.8	10	1.538	71.85	15	1.88	1.95	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia limosa
2.2	27.04	1.538	183.24	41	2.21	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia
2.5	62	1.538	403.69	95	2.5	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un software dedicato che calcola in automatico 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 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 delle resistenze alla punta.

Al fine di ottenere dei dati quanto più possibili esaustivi si è optato per l'utilizzo contemporaneo di più metodologie di calcolo dei parametri geotecnici in funzione dei terreni attraversati.

Di seguito vengono esposti i diversi metodi di calcolo utilizzati per ottenere la parametrizzazione geotecnica dei terreni:

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per **sabbie** con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per **ghiaie** Dr viene sovrastimato, per **limi** sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per **limi** e **sabbie** e **sabbie da fini a grossolane** NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per **sabbie fini** e **ghiaiose NC** , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (Ey)

- Terzaghi - elaborazione valida per **sabbia pulita** e **sabbia con ghiaia** senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

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

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa $\gamma = 2,65$ t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (Ko)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu- N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per **suoli poco coerenti e plastici**, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (EY)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.



Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa $G=2,70$ (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ($N_{spt}=0$) a 0,545 ($N_{spt}=28$)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: Deep Drill DM30 10cmq

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	16,5 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,93 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,60 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,753
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

Prova DIN1

Strumento utilizzato: Deep Drill DM 30B

Prova eseguita in data: 21/11/2023

Profondità prova: 1,00 mt

Falda non rilevata.

Prova interrotta a rifiuto.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	5	0.857	31.19	36.42	1.56	1.82
0.20	5	0.855	31.12	36.42	1.56	1.82
0.30	4	0.853	24.84	29.13	1.24	1.46
0.40	5	0.851	30.98	36.42	1.55	1.82
0.50	4	0.849	24.73	29.13	1.24	1.46
0.60	5	0.847	30.84	36.42	1.54	1.82
0.70	10	0.845	58.11	68.75	2.91	3.44
0.80	17	0.793	92.73	116.88	4.64	5.84
0.90	40	0.642	176.43	275.02	8.82	13.75
1.00	80	0.640	351.89	550.04	17.59	27.50

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	8	0.80	Terzaghi-Peck	0.54

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	8	0.80	Stroud e Butler (1975)	36.70

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato 1	8	0.80	Apollonia	80.00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	8	0.80	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	8	0.80	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.41

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	8	0.80	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	76	1.00	76	Gibbs & Holtz 1957	93.94

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	76	1.00	76	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	48.71

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 2	76	1.00	76	Bowles (1982) Sabbia Media	455.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 2	76	1.00	76	Begemann (1974)	183.57

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	76	1.00	76	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO



Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 2	76	1.00	76	Meyerhof ed altri	2.50

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 2	76	1.00	76	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	76	1.00	76	(A.G.I.)	0.2

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 2	76	1.00	76	Ohsaki (Sabbie pulite)	3809.59

Modulo di reazione a K₀

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K ₀ (Kg/cm ³)
Strato 2	76	1.00	76	Navfac 1971-1982	11.93

PROVA DIN2

Strumento utilizzato: Deep Drill DM 30B

Prova eseguita in data: 21/11/2023

Profondità prova: 0,90 mt

Falda non rilevata.

Prova interrotta a rifiuto.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	3	0.857	18.72	21.85	0.94	1.09
0.20	6	0.855	37.35	43.70	1.87	2.18
0.30	4	0.853	24.84	29.13	1.24	1.46
0.40	7	0.851	43.37	50.98	2.17	2.55
0.50	5	0.849	30.91	36.42	1.55	1.82
0.60	6	0.847	37.01	43.70	1.85	2.18
0.70	25	0.745	128.08	171.89	6.40	8.59
0.80	50	0.643	221.16	343.77	11.06	17.19
0.90	80	0.642	352.87	550.04	17.64	27.50

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	6	0.60	Terzaghi-Peck	0.38

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	6	0.60	Stroud e Butler (1975)	27.53

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato 1	6	0.60	Apollonia	60.00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	6	0.60	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	6	0.60	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.41

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	6	0.60	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	58	0.90	58	Gibbs & Holtz 1957	85.63

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	58	0.90	58	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	43.57

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 2	58	0.90	58	Bowles (1982) Sabbia Media	365.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 2	58	0.90	58	Begemann (1974)	146.60

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	58	0.90	58	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO



Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 2	58	0.90	58	Meyerhof ed altri	2.27

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 2	58	0.90	58	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	58	0.90	58	(A.G.I.)	0.24

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 2	58	0.90	58	Ohsaki (Sabbie pulite)	2954.85

Modulo di reazione a K₀

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K ₀ (Kg/cm ³)
Strato 2	58	0.90	58	Navfac 1971-1982	9.50

PROVA DIN3

Strumento utilizzato: Deep Drill DM 30B

Prova eseguita in data: 21/11/2023

Profondità prova: 1,30 mt

Falda non rilevata.

Prova interrotta a rifiuto.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	1	0.857	6.24	7.28	0.31	0.36
0.20	1	0.855	6.22	7.28	0.31	0.36
0.30	6	0.853	37.26	43.70	1.86	2.18
0.40	11	0.851	68.16	80.11	3.41	4.01
0.50	9	0.849	55.64	65.55	2.78	3.28
0.60	15	0.797	87.07	109.25	4.35	5.46
0.70	23	0.745	117.84	158.14	5.89	7.91
0.80	30	0.743	153.32	206.26	7.67	10.31
0.90	47	0.642	207.31	323.15	10.37	16.16
1.00	52	0.640	228.73	357.52	11.44	17.88
1.10	36	0.688	170.29	247.52	8.51	12.38
1.20	59	0.636	258.10	405.65	12.91	20.28
1.30	80	0.635	349.03	550.04	17.45	27.50

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	1	0.20	Terzaghi-Peck	0.06

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	1	0.20	Stroud e Butler (1975)	4.59

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato 1	1	0.20	Apollonia	10.00



Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	1	0.20	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	1	0.20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.33

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	1	0.20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.83

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	16	0.80	16	Gibbs & Holtz 1957	50.33
Strato 3	69	1.30	69	Gibbs & Holtz 1957	88.57

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	16	0.80	16	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	31.57
Strato 3	69	1.30	69	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	46.71

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 2	16	0.80	16	Bowles (1982) Sabbia Media	155.00
Strato 3	69	1.30	69	Bowles (1982) Sabbia Media	420.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 2	16	0.80	16	Begemann (1974)	60.33
Strato 3	69	1.30	69	Buisman-Sanglerat	414.00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	16	0.80	16	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	69	1.30	69	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 2	16	0.80	16	Meyerhof ed altri	1.91
Strato 3	69	1.30	69	Meyerhof ed altri	2.38

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 2	16	0.80	16	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96
Strato 3	69	1.30	69	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	16	0.80	16	(A.G.I.)	0.32
Strato 3	69	1.30	69	(A.G.I.)	0.21

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 2	16	0.80	16	Ohsaki (Sabbie pulite)	880.62
Strato 3	69	1.30	69	Ohsaki (Sabbie pulite)	3478.82

Modulo di reazione a K_0

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K_0 (Kg/cm ³)
Strato 2	16	0.80	16	Navfac 1971-1982	3.32
Strato 3	69	1.30	69	Navfac 1971-1982	11.93

PROVA DIN4

Strumento utilizzato: Deep Drill DM 30B

Prova eseguita in data: 21/11/2023

Profondità prova: 2,40 mt

Falda non rilevata.

Prova interrotta a rifiuto.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	6	0.857	37.43	43.70	1.87	2.18
0.20	5	0.855	31.12	36.42	1.56	1.82
0.30	5	0.853	31.05	36.42	1.55	1.82
0.40	9	0.851	55.77	65.55	2.79	3.28
0.50	11	0.849	68.01	80.11	3.40	4.01
0.60	11	0.847	67.86	80.11	3.39	4.01
0.70	11	0.845	63.92	75.63	3.20	3.78
0.80	13	0.793	70.91	89.38	3.55	4.47
0.90	22	0.742	112.16	151.26	5.61	7.56
1.00	28	0.740	142.41	192.51	7.12	9.63
1.10	30	0.738	152.22	206.26	7.61	10.31
1.20	32	0.686	150.99	220.02	7.55	11.00
1.30	38	0.685	178.85	261.27	8.94	13.06
1.40	39	0.633	169.70	268.14	8.48	13.41
1.50	27	0.731	135.74	185.64	6.79	9.28
1.60	30	0.730	150.48	206.26	7.52	10.31
1.70	37	0.678	163.32	240.91	8.17	12.05
1.80	33	0.676	145.32	214.87	7.27	10.74
1.90	28	0.725	132.13	182.31	6.61	9.12
2.00	36	0.673	157.79	234.40	7.89	11.72
2.10	35	0.672	153.06	227.89	7.65	11.39
2.20	34	0.670	148.35	221.38	7.42	11.07
2.30	56	0.619	225.56	364.62	11.28	18.23
2.40	80	0.617	321.46	520.89	16.07	26.04

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN4

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	7	0.30	Terzaghi-Peck	0.44

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	7	0.30	Stroud e Butler (1975)	32.12

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato 1	7	0.30	Apollonia	70.00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	7	0.30	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	7	0.30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.41

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	7	0.30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	15	0.80	15	Gibbs & Holtz 1957	48.62
Strato 3	41	2.20	41	Gibbs & Holtz 1957	69.88
Strato 4	95	2.50	95	Gibbs & Holtz 1957	90.99

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	15	0.80	15	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	31.29
Strato 3	41	2.20	41	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	38.71
Strato 4	95	2.50	95	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	54.14

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 2	15	0.80	15	Bowles (1982)	63.00
Strato 3	41	2.20	41	Bowles (1982)	280.00
Strato 4	95	2.50	95	Bowles (1982)	550.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 2	15	0.80	15	Begemann (1974)	58.28
Strato 3	41	2.20	41	Buisman-Sanglerat	246.00
Strato 4	95	2.50	95	Buisman-Sanglerat	570.00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	15	0.80	15	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	41	2.20	41	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
Strato 4	95	2.50	95	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO



Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 2	15	0.80	15	Meyerhof ed altri	1.88
Strato 3	41	2.20	41	Meyerhof ed altri	2.21
Strato 4	95	2.50	95	Meyerhof ed altri	2.50

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 2	15	0.80	15	Terzaghi-Peck	1.95
Strato 3	41	2.20	41	Terzaghi-Peck	2.50
Strato 4	95	2.50	95	Terzaghi-Peck	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	15	0.80	15	(A.G.I.)	0.32
Strato 3	41	2.20	41	(A.G.I.)	0.27
Strato 4	95	2.50	95	(A.G.I.)	0.16

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 2	15	0.80	15	Ohsaki (Sabbie pulite)	828.78
Strato 3	41	2.20	41	Ohsaki (Sabbie pulite)	2132.70
Strato 4	95	2.50	95	Ohsaki (Sabbie pulite)	4698.65

Modulo di reazione a K₀

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K ₀ (Kg/cm ³)
Strato 2	15	0.80	15	Navfac 1971-1982	3.12
Strato 3	41	2.20	41	Navfac 1971-1982	7.01
Strato 4	95	2.50	95	Navfac 1971-1982	11.93



14. RIFERIMENTI NORMATIVI

La legislazione e normativa nazionale cui si fa riferimento nel progetto è rappresentata da:

D.M. LL.PP. del 11/03/1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C. - Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG. - Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

D.M. 17 Gennaio 2018 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni