



Aprile 2024

# Giraffe CE 3 S.r.l.

IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO COLLEGATO ALLA RTN  
IN COMUNE DI *OZIERI*  
POTENZA NOMINALE 67,81 MW

## Relazione geologica e geotecnica

AA-IT027-08-2022-0002

<p><i>Progettazione</i></p> 	<p><i>Analisi e valutazioni ambientali e paesaggistiche</i></p> 
<p><i>Certificazione del sistema di gestione DNV</i> ISO 9001 e ISO 14001</p>	<p><i>Certificazione del sistema di gestione DNV</i> ISO 9001 e ISO 14001</p>

*Committente***Giraffe CE 3 S.r.l.**

Viale della Stazione, 7  
39100 Bolzano - Italia

*Progettazione*

Via Angelo Fumagalli, 6  
20134 Milano - Italia  
+39.0254118173

*Analisi e valutazioni ambientali e paesaggistiche*

Via Carlo Poerio, 39  
20129 Milano - Italia  
+39.02277441

Redazione	Dott. Giancarlo Carboni - Geosardegna
Revisione	Arch. Giulia Peirano
Approvazione	Dott. Ing. Corrado Pluchino
Codice di progetto	Codice distinto per AI e per Montana - anticipato del codice del progetto dato dal committente
Documento	Relazione geologica e geotecnica
Codice	AA-IT027-08-2022-0002
Versione	01
Data	19/04/2024

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>5</b>
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b> .....	<b>8</b>
3.1	GEOLOGIA GENERALE DELL'AREA VASTA .....	8
3.1.1	Basamento ercinico .....	8
3.1.2	Andesiti .....	8
3.1.3	Depositi continentali di Ozieri .....	8
3.1.4	Piroclastici di Ozieri-Ittireddu e M. Mura-Su Sassittu .....	9
3.1.5	"Formazione Lacustre" .....	9
3.1.6	Transizione ciclica deltaico-marina .....	9
3.1.7	Espandimenti basaltici .....	10
3.1.8	Coperture quaternarie .....	10
3.2	GEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO .....	10
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO PEDOLOGICO</b> .....	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>IDROGEOLOGIA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA</b> .....	<b>16</b>
6.1	CARATTERI GENERALI .....	16
6.1.1	Idrologia superficiale .....	16
6.1.2	Idrogeologia sotterranea .....	16
<b>7</b>	<b>INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO</b> .....	<b>18</b>
7.1	TEMPERATURE E PRECIPITAZIONI .....	18
7.2	VENTI AL SUOLO .....	18
7.3	GELO E PRECIPITAZIONI NEVOSE .....	19
<b>8</b>	<b>CONSIDERAZIONI SUL PERICOLO GEOLOGICO</b> .....	<b>20</b>
8.1	PERICOLO GEOMORFOLOGICO .....	20
8.2	PERICOLO IDRAULICO .....	20
<b>9</b>	<b>TETTONICA</b> .....	<b>21</b>
9.1	FAGLIE ATTIVE E CAPACI (ITHACA) .....	21
<b>10</b>	<b>RISPOSTA SISMICA DI BASE</b> .....	<b>22</b>
10.1	SISMICITÀ STORICA .....	22
10.1.1	Tracce di paleosismicità .....	23
10.1.2	Sismicità storica della Sardegna centro settentrionale .....	23
10.2	CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA .....	27
<b>11</b>	<b>PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE</b> .....	<b>28</b>
11.1	RISULTATI DELLA INDAGINE SISMICA MASW .....	28
11.2	APPLICABILITÀ DEL METODO SEMPLIFICATO .....	29
11.3	Vs EQUIVALENTE .....	29
11.4	DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE .....	30
11.4.1	Parametrizzazione sismica e Azione sismica .....	31

<b>12</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO .....</b>	<b>34</b>
<b>12.1</b>	<b>PROVE PENETROMETRICHE .....</b>	<b>34</b>
12.1.1	Sintesi parametri geotecnici da prova penetrometrica.....	34
12.1.2	Coordinate punti di esecuzione prove penetrometriche .....	35
12.1.3	Fotografie esecuzione prove penetrometriche .....	36
<b>12.2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE MASW .....</b>	<b>36</b>
<b>12.3</b>	<b>CORRELAZIONI GEOTECNICHE DA INDAGINE SISMICA MASW .....</b>	<b>37</b>
12.3.1	Correlazione $\phi$ -Vs .....	37
12.3.2	Correlazione Cu-Vs .....	37
12.3.3	Portanza .....	37
<b>12.4</b>	<b>RISULTATI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE.....</b>	<b>38</b>
12.4.1	Sismostratigrafia da rifrazione .....	38
<b>12.5</b>	<b>SCAVABILITÀ DEL SUBSTRATO .....</b>	<b>38</b>
<b>13</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>40</b>
<b>13.1</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>40</b>
<b>13.2</b>	<b>STRATIGRAFIA SCHEMATICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>40</b>
<b>13.3</b>	<b>STRATIGRAFIA AREA DI SEDIME TIPICA .....</b>	<b>41</b>
<b>13.4</b>	<b>PIANO DI INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA.....</b>	<b>42</b>
<b>14</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>44</b>
<b>APPENDICE 01: INDAGINI SISMICHE MASW .....</b>		<b>45</b>
<b>APPENDICE 02: INDAGINI CON PROVE PENETROMETRICHE .....</b>		<b>51</b>

#### ALLEGATO/APPENDICE

APPENDICE 01 Indagini sismiche MASW

APPENDICE 02 Indagini con prove penetrometriche

## 1 PREMESSA

Il progetto in questione prevede la realizzazione, tramite la società di scopo Giraffe CE 3 S.r.l., di un impianto solare fotovoltaico di potenza pari a 67,81 MW in alcuni terreni a Nord-Ovest del territorio comunale di Ozieri (SS); nello specifico, l'area catastale ha un'estensione di circa 161,48 ettari complessivi di cui circa 89,53 ha recintati.

Giraffe CE 3 S.r.l., è una società italiana con sede legale in Italia nella città di Bolzano (BZ) in Viale della Stazione 7. 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.

L'opera ha dei contenuti economico-sociali importanti e tutti i potenziali impatti sono stati mitigati. Il progetto sarà eseguito in regime "agrivoltaico" che produce energia elettrica "zero emission" da fonti rinnovabili attraverso un sistema integrato con l'attività agricola, garantendo un modello eco-sostenibile che fornisca energia pulita e prodotti sani da agricoltura biologica.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su due diverse tipologie di strutture; ovvero, sia strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo trivellato nel terreno, sia su strutture fisse anch'esse mediante palo trivellato nel terreno.

Le strutture, sia fisse sia mobili, saranno posizionate in maniera da consentire lo sfruttamento agricolo ottimale del terreno; i pali di sostegno delle strutture sono posizionati distanti tra loro di 5 metri per l'intera area di impianto, fatta eccezione per la "Sezione 2" in cui la distanza tra i pali risulta essere pari a 6 metri. Tali distanze sono state applicate per consentire la coltivazione e garantire la giusta illuminazione al terreno, mentre i pannelli sono distribuiti in maniera da limitare al massimo l'ombreggiamento. Saranno utilizzate due tipologie di strutture; la prima composta da 14 moduli e la seconda composta da 28 moduli.

I terreni non occupati dalle strutture dell'impianto continueranno ad essere adibiti ad uso agricolo e pastorale.

Il progetto rispetta i requisiti riportati all'interno delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici", pubblicate nel Giugno del 2022 dal MiTE (oggi MASE-Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) in quanto la superficie minima per l'attività agricola è pari al 70,34% mentre la LAOR (Land Area Occupation Ratio – rapporto tra la superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico e la superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico) è pari al 32,97%.

Infine, l'impianto fotovoltaico sarà collegato in antenna a 36 kV con un futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/220/150 kV della RTN "Codrongianos".

È stato redatto il presente elaborato a carattere preliminare contenente la Relazione geologica, geotecnica e sulla risposta sismica in quanto documentazione integrante e di supporto alla fase progettuale relativa alla realizzazione di un Agrivoltaico ricadente nel Comune di Ozieri (SS).

Lo studio si propone di esaminare le caratteristiche geologiche dell'area di sedime e di un suo intorno significativo al fine di valutare la compatibilità geologica dell'intervento proposto. Si è provveduto a stilare il presente lavoro attraverso sopralluoghi e l'esecuzione di specifiche indagini del sito d'interesse.

I dati geologici sono stati rilevati da pubblicazioni esistenti e sono stati integrati dai dati ottenuti da indagini qualitative e quantitative eseguite attraverso l'esecuzione di indagini geofisiche con metodologie sismiche MASW e prove penetrometriche dinamiche.

## 1.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

### **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

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

Ozieri è un comune di 9860 abitanti della provincia di Sassari situato nella regione storica del Logudoro, a circa 217 km a nord di Cagliari e a circa 50 km a sud-est di Sassari. Il territorio presenta un profilo geometrico irregolare con variazioni altimetriche accentuate, che vanno dai 164 m.s.l.m. ai 745 m.s.l.m.

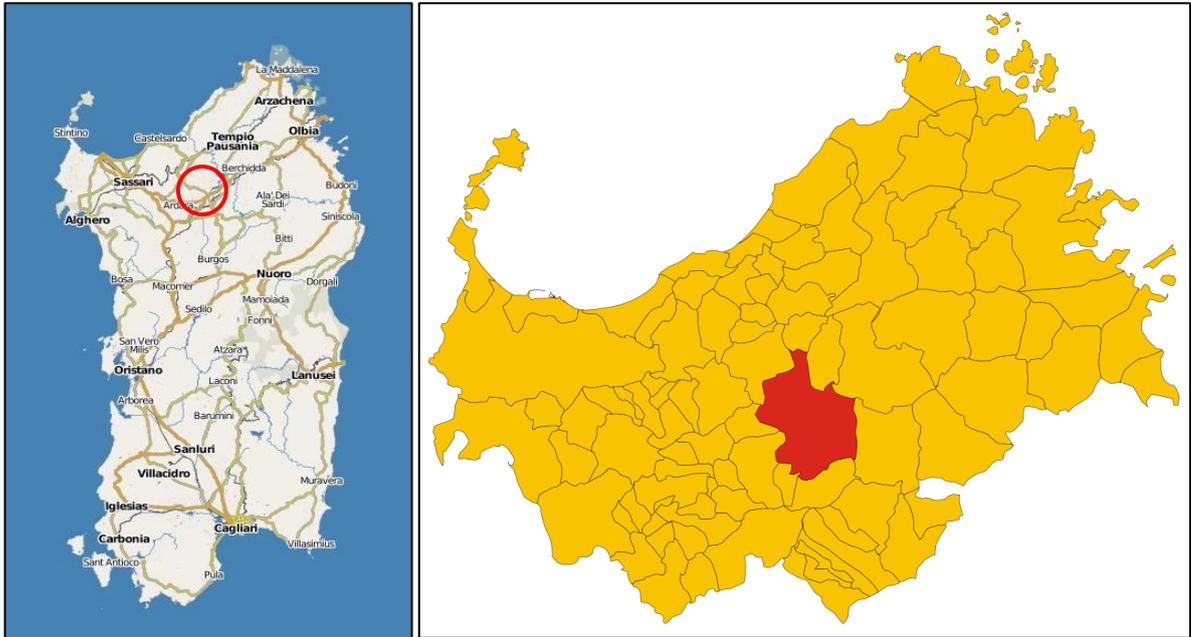


Figura 2.1 - Inquadramento su scala Regionale (sx) e su scala Comunale (dx)

Il centro abitato si trova lungo un pendio a circa 400 m s.l.m., sul fianco della catena montuosa del Goceano.

L'area è ubicata in una valle costituito da un substrato costituito da depositi piroclastici del vulcanismo terziario ricoperti da suoli argillosi di spessore variabile.

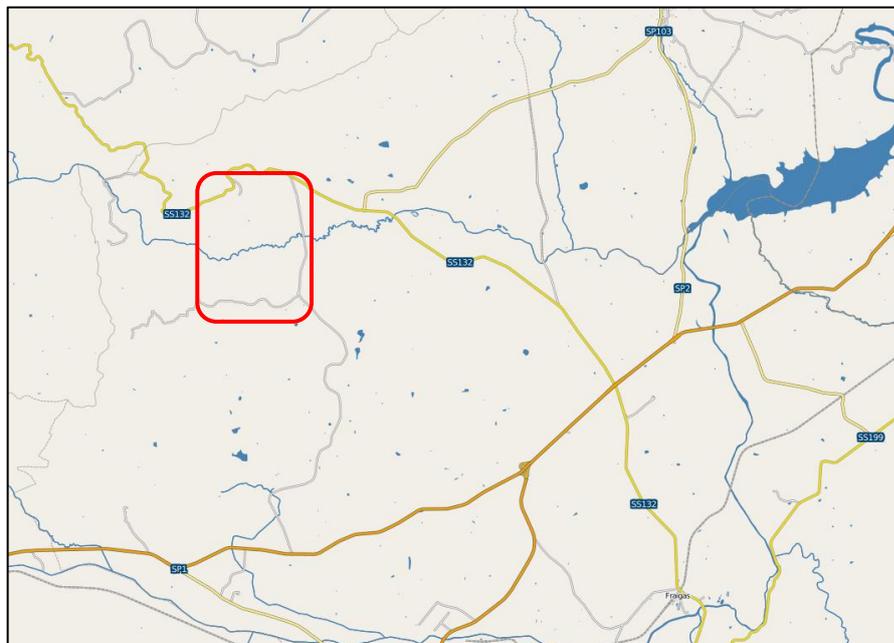


Figura 2.2 - Inquadramento su corografia a scala comunale

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il settore in studio si inquadra nel Logudoro, una depressione tettonica all'interno del rift oligo-miocenico della Sardegna che ha attivato un processo di accumulo di sedimenti arenaci e conglomeratici di ambiente fluvio-deltaico e marino e creato le condizioni per la deposizione di una complessa e potente coltre sedimentaria.

Il territorio è parte di un più ampio altopiano vulcanico che crea uno spartiacque che separa le acque che a nord confluiscono sul Fiume Coghinas, e a sud sul Rio Rizzolu, quest'ultimo impostato su strutture tettoniche e che confluisce al lago del Coghinas.

L'area in studio è in gran parte ubicata in una valle attraversata dal Rio Rizzolu, costituita dai flussi piroclastici dell'Unità di Chilivani, afferenti alla successione vulcanica calco-alcalina oligo-miocenica, in parte bordata da rilievi formati dagli stessi flussi piroclastici.

In generale, la successione stratigrafica creatasi al di sopra del basamento paleozoico è caratterizzata da depositi continentali conglomeratici alternati, nella parte bassa, a piroclastici calco-alcaline con associate epiclastiti. Il prevalere dei processi vulcanici dà luogo alla messa in posto di una potente sequenza piroclastica che inibisce i processi deposizionali continentali. Questi ultimi, a seguito della cessazione del parossismo vulcanico, si riattivano in forme di facies fluvio deltaiche, alternate ciclicamente a depositi carbonatici di ambiente marino di litorale e/o di piattaforma epicontinentale.

#### 3.1 GEOLOGIA GENERALE DELL'AREA VASTA

La successione stratigrafica creatasi al di sopra del basamento paleozoico è caratterizzata da depositi continentali conglomeratici alternati, nella parte bassa, a piroclastici calco-alcaline con associate epiclastiti. Il prevalere dei processi vulcanici dà luogo alla messa in posto di una potente sequenza piroclastica che inibisce i processi deposizionali continentali. Questi ultimi, a seguito della caduta del parossismo vulcanico, si riattivano in facies fluvio deltaiche alternate ciclicamente a depositi carbonatici di ambiente marino litorale e di piattaforma epicontinentale.

##### 3.1.1 *Basamento ercinico*

Questa unità affiora nell'horst meridionale a est della piana di Chilivani e costituisce la base dell'intero Bacino di Chilivani-Oschiri-Berchidda sia nelle sue parti più interne, sia a nord della zona di faglia principale, che controlla la depressione di Chilivani, come testimonia anche un piccolo affioramento di granitotidi a est del bacino sedimentario.

Tale basamento è composto da diverse litofacies metamorfiche ed intrusive (metasedimenti, marmi e intrusioni da leucogranitiche a tonalitiche).

##### 3.1.2 *Andesiti*

Vulcaniti andesitiche affiorano nel settore settentrionale del bacino sedimentario (a est di Ploaghe). Non è chiaro se questi affioramenti siano sottostanti oppure intercalati al complesso piroclastico.

##### 3.1.3 *Depositi continentali di Ozieri*

Un affioramento di conglomerati a clasti di rocce del basamento, eterometrici e in matrice tufacea, poggia direttamente sul basamento ercinico circa 1 Km a nord di Ozieri. Poco più a nord-ovest, sempre al di sopra del basamento ercinico e sottostante le prisoclastiti, affiora una breve alternanza di conglomerati e tufiti. Questi depositi costituiscono le testimonianze più antiche del colmamento sedimentario miocenico della depressione tettonica, e possono essere correlati ad analoghe facies che nel Bacino di Oschiri sottostanno all'Ageniano.

### 3.1.4 *Piroclastici di Ozieri-Ittireddu e M. Mura-Su Sassittu*

Un complesso piroclastico rioldacitico affiora estesamente sia a sud-est di Chilivani, nella parte ribassata, che a nord nell'alto strutturale di M. Mura-Su Sassittu-S. Antioco di Bisarcio, dove si avvicendano unità litico-pomiceo-cineritiche e unità piroclastiche. Verso est tale complesso poggia sul basamento paleozoico colmando paleo-valli appartenenti verosimilmente ad una precedente depressione. Nei dintorni di Plaghe si sovrappone alle vulcaniti andesitiche precedentemente descritte.

La stratigrafia delle piroclastici si caratterizza per una variabilità legata agli stessi processi genetici di messa in posto, raffreddamento e di alterazione. Nell'affioramento a sud est di Chilivani si osservano in prevalenza le bancate litico-pomiceo-cineritiche della parte alta della sequenza. Le età radiometriche eseguite su rocce appartenenti al complesso piroclastico individuano un intervallo di età compreso tra i 22 ed i 18 milioni di anni circa.

### 3.1.5 *"Formazione Lacustre"*

Poche decine di metri di depositi fluvio-alluvionali testimoniano il reinstaurarsi di processi continentali come risposta sedimentaria all'interruzione dei processi piroclastici. Tali depositi vengono correlati alla cosiddetta "Formazione Lacustre" descritta nella Sardegna settentrionale, che testimonia una fase deposizionale in ambiente continentale, non necessariamente lacustre. In quest'area le evidenze precoci di tale formazione sono costituite da conglomerati fluviali a clasti paleozoici intercalati nella parte alta della sequenza piroclastica e da affioramenti di conglomerati, arenarie ed epiclastiti anche a legni silicizzati osservabili tra Mores e Chilivani.

Verso l'alto prevalgono i depositi arenaceo-argilloso-conglomeratici alluvionali, il passaggio alla sovrastante unità marina coincide con l'instaurarsi di un ambiente di transizione deltaico-litorale, rappresentato da sabbie grosse conglomeratiche con progressiva diminuzione della componente argillosa.

### 3.1.6 *Transizione ciclica deltaico-marina*

Al di sopra della "Formazione Lacustre" si osserva un complesso sedimentario deltaico-marino, composto da una alternanza di arenarie conglomeratiche quarzoso feldspatiche e di calcarei arenacei e bioclastici. Tale alternanza di prodotti desimentari è da ricondurre a variazioni cicliche degli ambienti deposizionali riferibili a variazioni eustatiche a breve termine.

All'interno di tale complesso, dall'alto verso il basso si osservano:

1. Arenarie di transizione delle facies fluvio alluvionali della parte alta della "Formazione Lacustre" alle facies deltaico marine.
2. Primi banchi di calcari marini bioclastici e arenacei a lamellibranchi.
3. Arenarie di Rio Coladorzu-Riu Badde Dianesu, costituite da arenarie grossolane non cementate e con rare strutture di stratificazione. Nella parte alta sono presenti sabbie e depositi palustri-lagunari.
4. Calcari di Ardara: si tratta di diversi banchi di calcari arenacei fossiliferi alternati a banchi di arenarie a un banco di tufiti che affiora nell'abitato di Ardara.
5. Arenarie di Caspiana: tale unità si distingue dalle arenarie sottostanti i Calcari di Ardara, sia per una maggiore maturità tessiturale, sia per la presenza di strutture cut and fill e di migrazione laterale del canale, associabili

ad un ambiente di delta sabbioso. La litificazione, controllata dalla spazialità della tessitura dei granuli e dalla porosità all'interno delle strutture sedimentarie, varia da arenarie ben cementate a sabbie poco coerenti.

6. Successione marina del Monte Santo:

- Arenarie fluvio-deltaiche che verso l'alto evolvono ad arenarie fossilifere.
- Calcari biclasticifossiliferi.
- Arenarie biotiche e banco di conglomerati arenacei con clasti quarzosi ben elaborati progredanti verso i quadranti occidentali.
- Calcari bioclastici con algal balls e inclinazione della stratificazione verso i quadranti orientali.

L'opposta direzione di accrescimento sedimentario dei termini carbonatici e terrigeni sarebbe da mettere in relazione con una piattaforma continentale carbonatica impostata più ad ovest, progredante grosso modo verso est, e con apporti terrigeni silicoclastici provenienti dai rilievi paleozoici emersi della Sardegna orientale.

### 3.1.7 *Espandimenti basaltici*

La successione miocenica è ricoperta da lave basaltiche riferibile a una serie di eventi effusivi appartenenti al vulcanismo pliocenico e pleistocenico della Sardegna nord occidentale. Ulteriori termini effusivi che hanno colmato le paleo valli dei dintorni di Ardara e Plaghe, sono attualmente interessati da processi di inversione del rilievo.

### 3.1.8 *Coperture quaternarie*

Depositi quaternari di ambiente fluviale, di versante, di fondo valle e suoli ricoprono in modo discontinuo e di solito per deboli spessori, l'area in studio. Gli affioramenti più importanti si rilevano lungo il Rio Mannu di Mores-Ozieri e il Rio Rizzolu.

## 3.2 **GEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO**

Il settore in studio è in gran parte ubicato in una valle attraversata dal Rio Rizzolu, costituita dai flussi piroclastici dell'Unità di Chilivani, afferenti alla successione vulcanica calco-alcina oligo-miocenica, in parte bordata da rilievi formati dagli stessi flussi piroclastici.

La roccia presenta caratteri sostanzialmente omogenei, di colore solitamente biancastro e non particolarmente competente, può essere sfaldata o spaccata con pochi colpi di martello. Sono presenti delle pomice di colore biancastro e di dimensioni comprese tra il millimetro e 25 cm circa, con distribuzione caotica. Frammenti di ignimbrite, andesiti e talora clasti di litotipi paleozoici costituiscono la componente litica delle piroclastiti.

I depositi alluvionali attuali sono rappresentati da argille e limi che occupano il fondovalle, in giacitura orizzontale e con spessori variabili, superiore ai 2 metri in prossimità dell'alveo. Il resto del sito è ricoperto da suoli argilloso-limosi, talora molto sottili e poco consistenti.



*Figura 3.1 - taglio stradale con affioranti i litotipi di origine piroclastica dell'Unità di Chilivani*

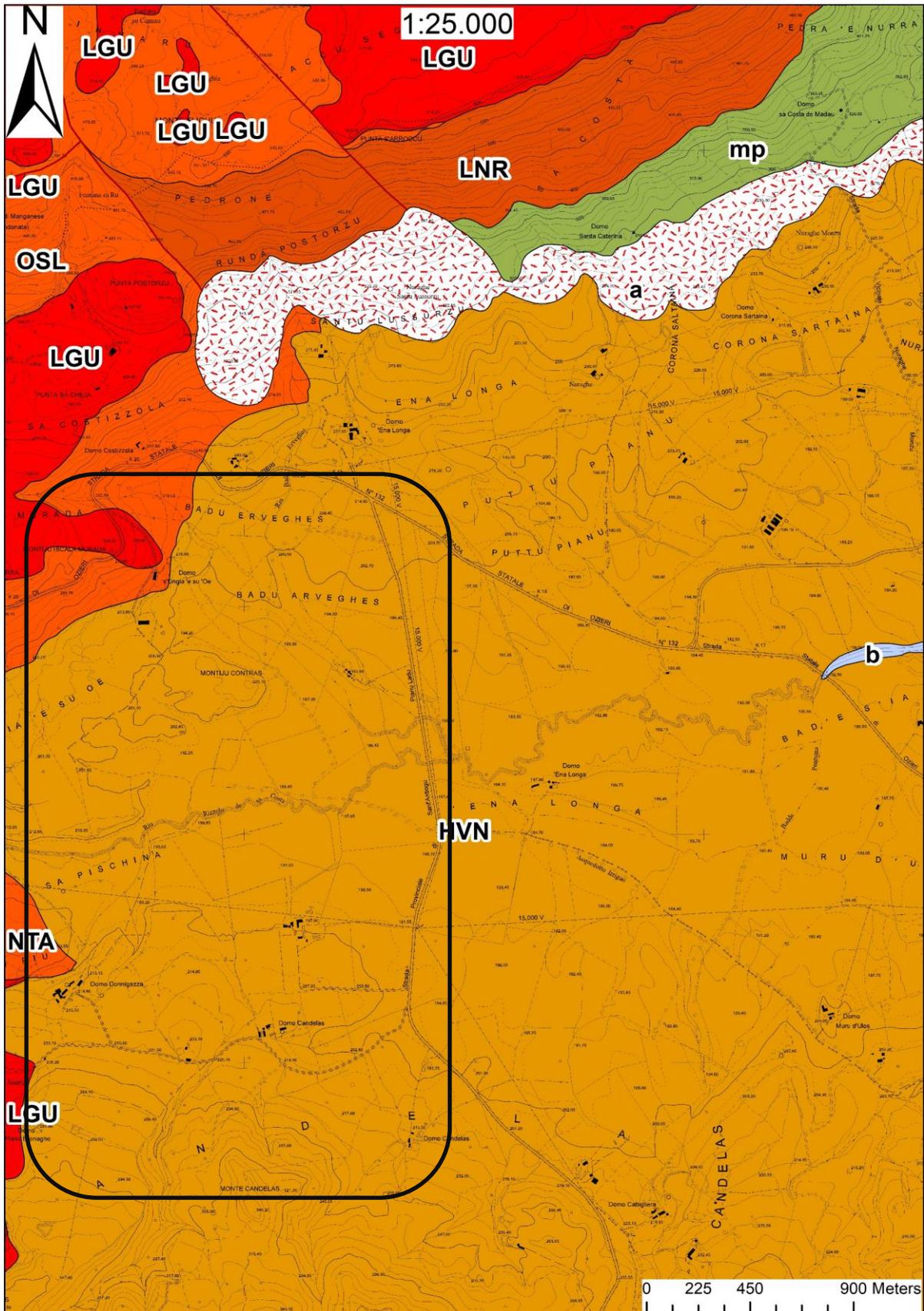


Figura 3.2 - Carta geologica del settore in studio

-  Faglie
-  b - Depositi alluvionali. OLOCENE
-  a - Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE
-  HVN - UNITÀ DI CHILIVANI. Depositi di flusso piroclastico pomiceo-cineritici in facies ignimbratica, a chimismo riolacitico, debolmente saldati, spesso argillificati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Am. La componente clastica è poligenica. BURDIGALIANO
-  LGU - UNITÀ DI LOGULENTU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore rossastro, con tessitura macroeutaxitica. BURDIGALIANO
-  LNR - UNITÀ DI SAN LEONARDO. Alternanza di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, da saldati a debolmente saldati, a chimismo da dacitico a riolitico, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Bt, Mag, con strutture eutassitiche. BURDIGALIANO
-  NTA - UNITÀ DI NURAGHE GIUNTAS. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riolacitico, saldati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, saldati con tessitura eutaxitica. Localmente alla base è presente un paleosuolo. BURDIGALIANO
-  OSL - UNITÀ DI OSILO. Andesiti porfiriche per fenocristalli di Pl, Am, e Px; in cupole di ristagno e colate. ?AQUITANIANO - BURDIGALIANO
-  mp - Micascisti e paragneiss ad  $And \pm Sill \pm Crd$ . ?PRECAMBRIANO-?PALEOZOICO

*Figura 3.3 - legenda della carta geologica*

#### 4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La morfologia della zona è nell'insieme piuttosto uniforme, caratterizzata da rilievi tabulari. Sia i depositi vulcanici, che i sedimenti miocenici si presentano in giaciture scarsamente inclinate. In prossimità dell'abitato di Ardara e sud di Plaghe, l'erosione differenziale ha dato origine a delle mesas incidendo le facies più arenacee ed evidenziando le cornici calcaree.

Il Rio Rizzolu, che ha origine come Riu Badde de Ardara, dopo aver attraversato la piana di Chilivani con andamento ovest-est per 15 Km, affluisce nel Riu Mannu di Ozieri in località Mesu e Rios. I maggiori contributi li riceve dalla sinistra idrografica, dai ruscelli provenienti dai rilievi vulcanici, mentre è minore l'apporto dalla destra idrografica, nella quale le litologie drenate sono quelle del complesso sedimentario marino.

La morfologia ad altopiano è presente nell'area vasta, attraversata da valli più o meno ampie con fondo a volte quasi piatto, e incisioni torrentizie con fondovalle a U, che nella parte valliva raggiungono dislivelli rilevanti. Le valli risultano da impostazione tettonica, formata da faglie regionali. I sistemi di faglia principali hanno direzione NNW-SSE e NE-SW e hanno dislocato il tavolato vulcanico e il sottostante basamento paleozoico, contribuendo a creare un paesaggio variamente ondulato.

Il paesaggio si presenta per lo più monotono, con prevalenza da forme dolci sub pianeggianti con rilievi rocciosi affiorante o sub affiorante. Talvolta lo stato di sviluppo della copertura pedogenetica ha creato suoli argillosi piuttosto spessi (1-2 m), ma più frequentemente si ha un suolo argilloso limoso con spessore massimo di qualche decina di centimetri.



*Figura 4.1 - vista della valle attraversata dal Rio Rizzolu*

## 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 m<sup>3</sup> 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

L'idrologia superficiale del settore in studio è caratterizzata dalla presenza di due corsi d'acqua principali: il Rio Rizzoli, al quale si congiungono due modesti corsi d'acqua (Riu Nuraghe Fratta e il Riu Fluminmi di Ide), e il Rio Mannu di Ozieri i quali confluiscono verso l'invaso del Coghinas.

Il pattern dei due corsi d'acqua principali è di tipo dendritico e sub-dendritico, hanno un andamento regolare, a volte sinuoso.

Il Rio Rizzolu è un corso d'acqua che si sviluppa per una lunghezza di 18 Km in un bacino di 125.92 Km<sup>2</sup>, con una altitudine media di 297 m s.l.m., il quale è caratterizzato da un coefficiente di deflusso pari a 0.30.

Il Rio Mannu di Ozieri si sviluppa con un percorso idraulico complessivo di 50 Km, sbarrato a 164 m di quota forma il lago del Coghinas che ha un perimetro di 80 km. Una stretta gola lo divide in due bacini: quello inferiore è lungo 6 Km e largo fino al Ponte Diana, quasi altrettanto; quello superiore è lungo 4500 m e largo 1400 m.

Il bacino d'interesse si estende per complessivi 210.43 Km<sup>2</sup>, con una altitudine media di 309 m s.l.m., il quale è caratterizzato da un coefficiente di deflusso pari a 0.34.

Non sono noti misure di portate del Rio Rizzolu, mentre le portate del Rio Mannu di Ozieri rimangono piuttosto modeste, con una media annuale di 5.58 m<sup>3</sup>/s, e una media massima di 15.0 m<sup>3</sup>/s nel mese di febbraio, una minima di 0,08 ad agosto. Le portate massime si aggirano sui 15 m<sup>3</sup>/s, con un apice di 47.4 m<sup>3</sup>/s nel mese di febbraio del 1972.

L'andamento idrologico dei corsi d'acqua descritti, come accennato in precedenza, rispecchia il carattere torrentizio dei corsi d'acqua sardi.

#### 6.1.2 Idrogeologia sotterranea

Le unità formazionali sono classificabili in diversi complessi idrogeologici.

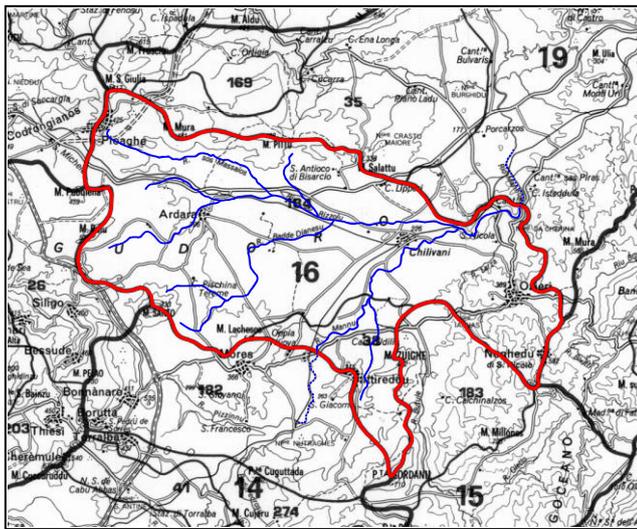
Il basamento paleozoico, localizzato nell'area orientale circostante Ozieri, costituisce un acquifero fessurato dai caratteri variabili in dipendenza delle facies scistose, metamorfiche e granitoidi.

Il complesso piroclastico occupa il settore settentrionale del bacino, contraddistinto da valori di permeabilità pressoché nulli nelle facies cineritiche, mentre nettamente più elevati sono quelli riscontrabili in facies lava-like.

L'acquifero principale è costituito dalla successione terrigena marina. Le coperture basaltiche, che per giacitura e fessurazione potrebbero rappresentare discreti serbatoi, non assumono rilevanza a causa della discontinuità degli affioramenti. Pure trascurabile è il ruolo dei depositi alluvionali più recenti, che presentano spessori molto deboli.

La potenza delle arenarie deltaico marine inferiori raggiunge, nell'area di Ardara e Ploaghe i 150-200 m; quella del deposito conglomeratico può essere valutata in spessori che non superano i 60 metri.

In generale nella zona di Chilivani la falda superficiale si attesta a circa 5 metri di profondità, e i pozzi presenti nella zona hanno una modesta capacità di emungimento, di circa 1-2 l/sec.



Il bacino idrografico del Rio Mannu di Ozieri da Ploaghe a Ozieri. Stralcio cartografico estratto da "Studio della Idrologia Superficiale della Sardegna (SISS).

Figura 6.1 - schema idrografico del Rio Mannu di Ozieri

## 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.

La media delle temperature minime dei mesi più freddi è di circa 8 gradi, quella dei mesi più caldi può arrivare a 24 gradi, mentre la media annuale è di circa 15 gradi.

Tabella 7.1 - Medie mensili delle temperature diurne (°C)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	m.a.
6.4	7.1	8.8	10.8	15.3	19.3	23.0	23.1	19.7	15.3	10.4	7.0	<b>13.9</b>

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.

Tabella 7.2 - Medie mensili delle altezze di pioggia (mm)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	anno
55.9	57.6	52.2	43.3	41.3	17.3	6.5	16.4	37.1	64.6	70.2	73.6	<b>536.3</b>

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 un a 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 anticloni atlantico ed asiatico. Tale depressione tende ad accentuarsi ulteriormente a causa delle alte temperature delle acque superficiali. In estate si espande l'anticlone 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.

Per l'analisi dettagliata relativa all'inquadramento del progetto rispetto al PAI (Piano di Assetto Idrogeologico), si rimanda alla relazione tecnico-specifica "AA-IT027-08-2022-003\_Relazione idrologica e idraulica".

### 8.1 PERICOLO GEOMORFOLOGICO

L'area interessata è quella del fondovalle, caratterizzata da un andamento sub pianeggiante con una acclività modesta di circa il 3% verso nord.

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

Nel settore interessato dal progetto non è contemplato a pericolo idrogeologico nello studio del Piano di Assetto Idrogeologico e nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

Inoltre, il settore oggetto del presente studio è in corrispondenza di un altopiano, con dislivelli di decine di metri tra l'alveo dei corsi e l'area interessata dal presente progetto; pertanto, in condizioni di sicurezza per quanto riguarda il pericolo alluvioni dei corsi d'acqua che scorrono nelle valli limitrofe.

È necessario però prestare adeguata attenzione al Rio Rizzolu de sa costa che attraversa la valle interessata dal presente, ai fini di una corretta ubicazione degli impianti andrà prodotto specifico studio delle aree esondabili. In assenza di tale studio si dovrà fare riferimento all'art. 30 ter delle norme di attuazione del PAI, quindi all'ordine gerarchico 4 di Stahler, così come indicato nella cartografia RAS, che impone una fascia di rispetto con vincolo Hi4 di 75 m lungo il corso d'acqua.

## 9 TETTONICA

I sistemi di faglie che interessano la regione in studio, (direzioni principali NE-SO, NNO-SSE e N-S) sono riconducibili fondamentalmente alle fasi distensive dell'Oligo-Miocene, e del Plio-Quaternario, rispettivamente ricollegabili con l'evoluzione geodinamica del Mediterraneo occidentale e dell'area tirrenica (Cherchi et alii, 1979; Beccaluva et alii, 1983; Cherchi & Montadert, 1984). Queste discontinuità strutturali, avendo guidato la risalita dei magmi dei due cicli vulcanici calcoalcalino e alcalino, hanno anche costituito le direttrici di allineamento e determinato le zone di massima densità dei centri eruttivi.

Lo studio delle foto aeree ha permesso di definire più nel dettaglio le direzioni tettoniche principali. È stata individuata la direzione NE-SO, come rappresentante dei maggiori eventi, mentre quella circa perpendicolare ad essa, la direzione NNO-SSE, ha mostrato episodi con importanza minore. In quest'ultima i movimenti si sono quasi sempre prodotti orizzontalmente, anche se i rigetti hanno delle intensità variabili dai 40 ai 60 metri.

La direzione Nord-Sud pare poco rappresentata in questo settore.

### 9.1 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.

In particolare, l'area dista non meno di 80 km dalle faglie del Campidano di Oristano, pertanto si considerano ininfluenti per quanto riguarda un possibile rischio sismico locale e non sono state considerate nel presente lavoro.

Si è invece valutata la sismicità storica della Sardegna settentrionale, la quale in passato ha subito dei risentimenti sismici.

## 10 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).

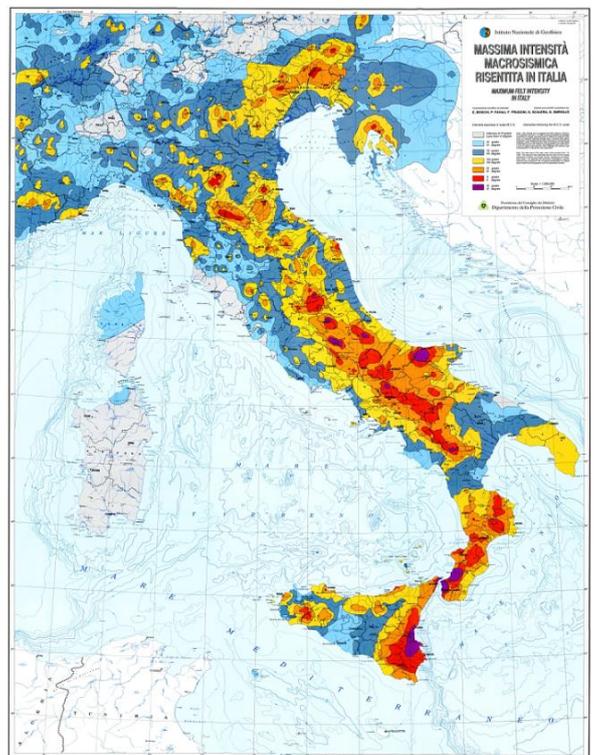
### 10.1 SISMICITÀ STORICA

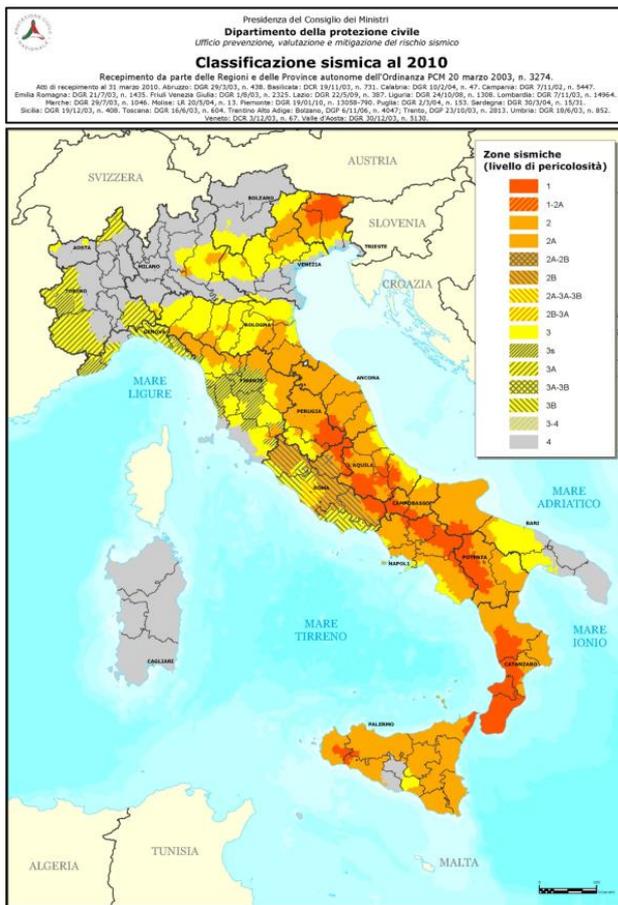
La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

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.

### 10.1.1 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:

### 10.1.2 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 Fenegu.

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. Producesse 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 ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  o con magnitudo ( $M_w$ )  $\geq 4.0$  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 ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  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.

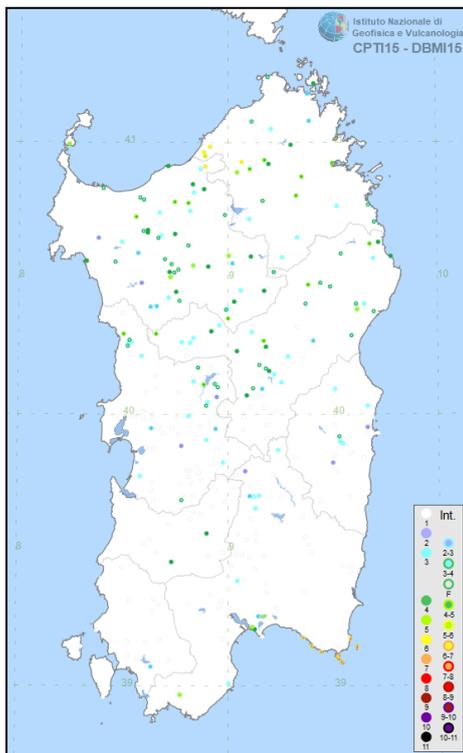


Figura 10.1 - epicentri da catalogo INGV

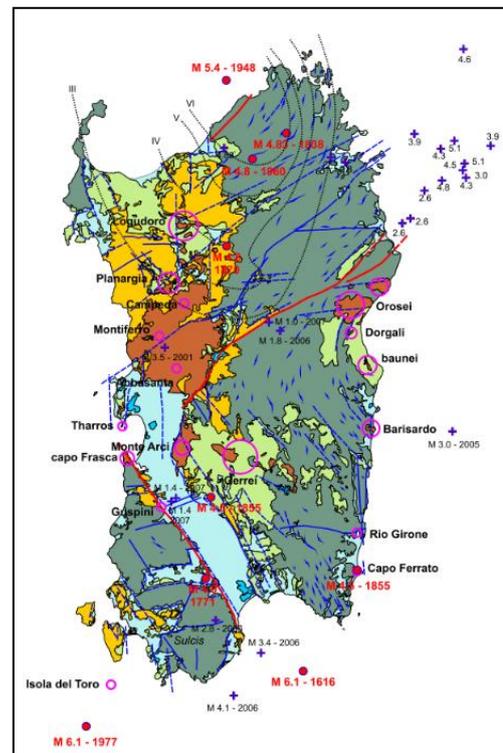


Figura 10.2 - principali epicentri su schema strutturale

## 10.2 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall' INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che la regione interessata dal progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

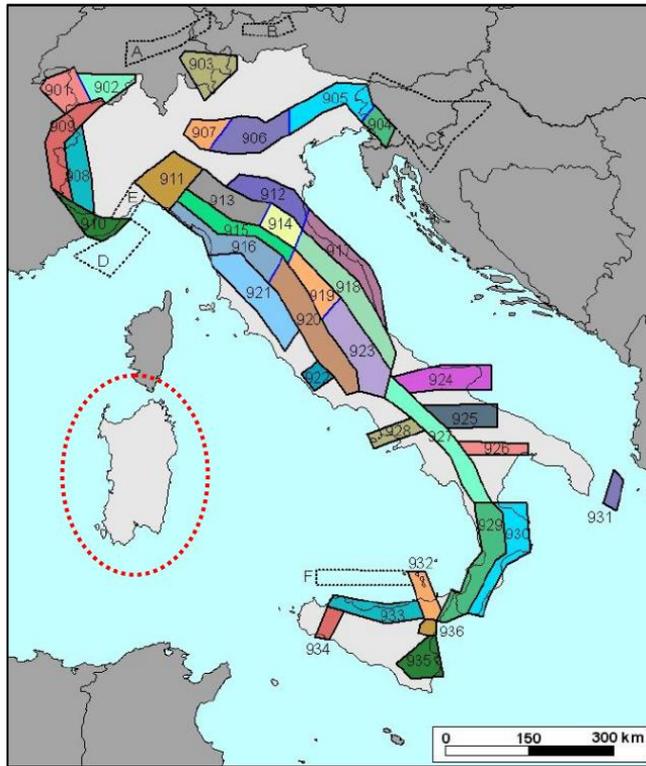


Figura 10.3 - Mappa della Zonizzazione Sismogenetica ZS9 dell'Italia

## 11 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 11.1 - 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

### 11.1 RISULTATI DELLA INDAGINE SISMICA MASW

L’analisi del profilo sismico per il calcolo della  $V_s$  equivalente è stata effettuata utilizzando un modello composto da 9 sismostrati come di seguito rappresentati in tabella.

Tabella 11.2 - risultati indagine sismica MASW

STRATIGRAFIA Vs MASW 1								
Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione	Vs (m/s)	$\gamma^1$ (kN/m <sup>3</sup> )	R (kPa)	F (Hz)	T (s)
1	1,7	1,7	Substrato lapideo	267	17,4	4641	113	0,025
2	3,8	2,1		358	18,7	6696	188	0,023
3	6,3	2,5		443	19,7	8739	277	0,023
4	9,2	2,9	Substrato lapideo massivo	621	21,5	13330	450	0,019
5	12,5	3,3		561	20,9	11740	463	0,024
6	16,2	3,7		751	22,5	16905	695	0,020
7	20,4	4,2		869	23,3	20288	912	0,019
8	25	4,6		955	23,9	22828	1098	0,019
9	-	-		923	23,7	21876	-	-

### 11.2 APPLICABILITÀ DEL METODO SEMPLIFICATO

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 sia quando si verificano contemporaneamente le seguenti 4 condizioni secondo le indicazioni sperimentali “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (ICMS):

1. un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto Vs rig./Vs sof. superiore a 1.5;
2. la differenza tra le Vs dei due terreni è maggiore di 200 m/s;
3. lo spessore dello strato a velocità minore è maggiore di 5 m;
4. 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.

### 11.3 VS EQUIVALENTE

L’indagine MASW ha individuato la presenza di un substrato rigido superficiale con Vs>800 m/s entro i primi 30 m di profondità, per poi diminuire rapidamente a 651 m/s; pertanto, la velocità della Vs equivalente è stata calcolata utilizzando le Vs misurate dal piano di campagna fino al substrato rigido con Vs>800 m/s attribuito al basamento terziario (Vs>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 11.3 - Vs equivalente e categoria di sottosuolo misurata

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO		
MASW	486 m/s	Cat. B

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

### 11.4 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 11.4 - componenti orizzontali  $S_s$  e  $C_c$  per categorie di sottosuolo

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

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 11.5 - valori caratteristici dello spettro di risposta

Categoria di sottosuolo	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
<b>A B C D E</b>	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 rigidezza 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".

#### 11.4.1 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 11.6 - PVR per i diversi stati limite

Stati limite	PVR	
	Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr	
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).

Tabella 11.7 - tempi di ritorno per opere di classe IV

Stati limite	Tempi di ritorno $T_R$ (anni)	
SLE	SLO	60
	SLD	100
SLU	SLV	949
	SLC	1950

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

Tabella 11.8 - parametri di pericolosità sismica

		$a_g$ (g)	F0	TC* (sec)
SLE	SLO	0.254	2.69	0.301
	SLD	0.313	2.73	0.307
SLU	SLV	0.599	2.98	0.370
	SLC	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":  $S_T=1,0$ .

Tabella 11.9 - 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:

- SLO  $a_{gT} = S * a_g * S_T = 1,20 * 0,254 * 1,0 = 0,31 \text{ g} = 3,1 \text{ m/s}^2$
- SLD  $a_{gT} = S * a_g * S_T = 1,20 * 0,313 * 1,0 = 0,38 \text{ g} = 3,8 \text{ m/s}^2$
- SLV  $a_{gT} = S * a_g * S_T = 1,20 * 0,599 * 1,0 = 0,72 \text{ g} = 7,2 \text{ m/s}^2$
- SLC  $a_{gT} = S * a_g * S_T = 1,20 * 0,707 * 1,0 = 0,85 \text{ g} = 8,5 \text{ m/s}^2$

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:

- SLO  $d_g = 0,025 * S * T_C * T_D * a_{gT} = 0,025 * 1,20 * 0,422 * 1,702 * 3,1 = 0,07 \text{ cm}$
- SLD  $d_g = 0,025 * S * T_C * T_D * a_{gT} = 0,025 * 1,20 * 0,428 * 1,725 * 3,8 = 0,08 \text{ cm}$
- SLV  $d_g = 0,025 * S * T_C * T_D * a_{gT} = 0,025 * 1,20 * 0,497 * 1,840 * 7,2 = 0,20 \text{ cm}$
- SLC  $d_g = 0,025 * S * T_C * T_D * a_{gT} = 0,025 * 1,20 * 0,522 * 1,883 * 8,5 = 0,25 \text{ cm}$
- SLO  $v_g = 0,16 * S * T_C * a_{gT} = 0,16 * 1,20 * 0,422 * 3,1 = 0,25 \text{ cm/s}$
- SLD  $v_g = 0,16 * S * T_C * a_{gT} = 0,16 * 1,20 * 0,428 * 3,8 = 0,31 \text{ cm/s}$
- SLV  $v_g = 0,16 * S * T_C * a_{gT} = 0,16 * 1,20 * 0,497 * 7,2 = 0,69 \text{ cm/s}$
- SLC  $v_g = 0,16 * S * T_C * a_{gT} = 0,16 * 1,20 * 0,522 * 8,5 = 0,85 \text{ cm/s}$



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.

## 12 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 una indagine sismica MASW con la quale si è potuto definire la stratigrafia locale fino a decine di metri di profondità.

Per l'individuazione univoca dei punti di esecuzione delle prove e dei pozzetti è stato utilizzato un GPS da carteggio, modello Garmin 62S, con un errore medio delle misure compreso fra 1-2 metri.

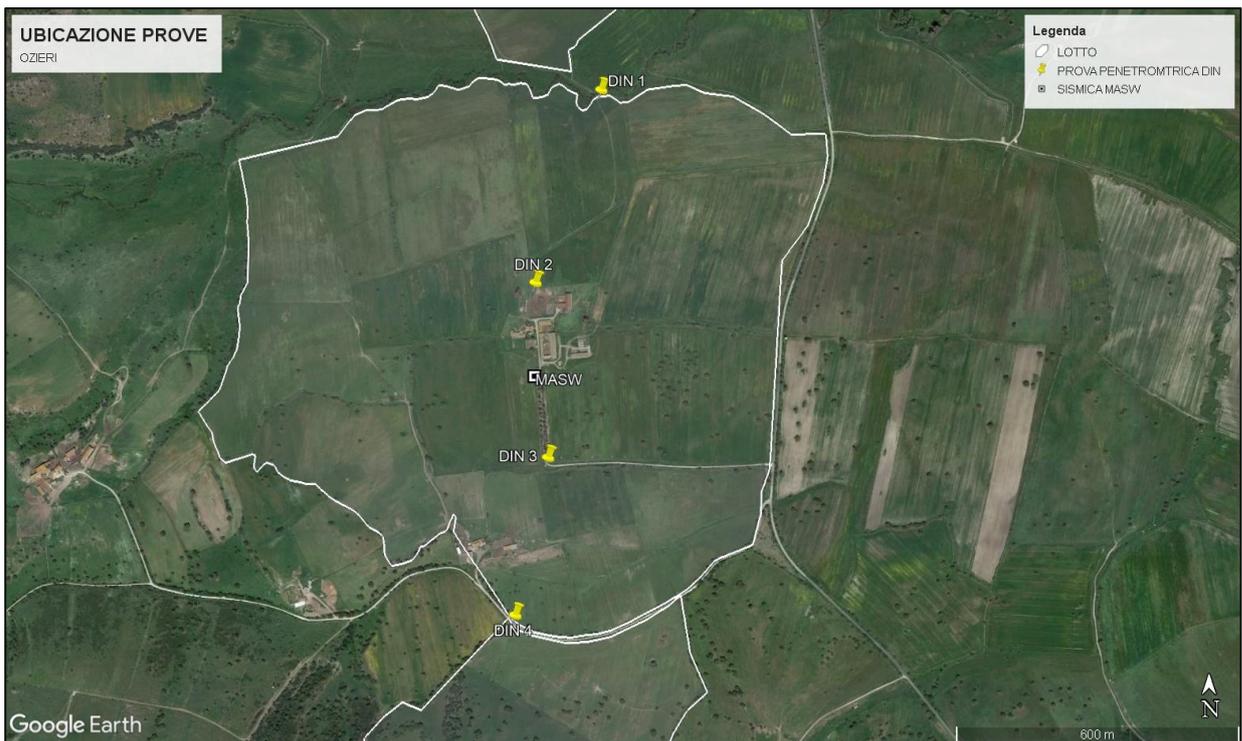


Figura 12.1 - ubicazione delle indagini effettuate

### 12.1 PROVE PENETROMETRICHE

L'esecuzione delle quattro prove penetrometriche ha indicato la presenza di un suolo di spessore variabile, compreso tra 0.6 m e 2.2 m, costituito da argille da poco consistenti. Si è misurato un numero medio di  $N_{10}$  mediamente compreso tra 2 e 6 colpi. Più in profondità  $N_{10}$  misurato tende a salire piuttosto repentinamente, indicando un punto di rifiuto all'infissione della punta su di un substrato roccioso. Si rimanda allo specifico allegato per eventuali approfondimenti sull'esecuzione della prova.

#### 12.1.1 Sintesi parametri geotecnici da prova penetrometrica

Tabella 12.1 - Sintesi parametri geotecnici da prove penetrometriche

##### DIN 1

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	2,0	1,0	Coesivo	1,33	1,83	0	0,06	4,59	10,0	0	0
2	2,2	21,0	Incoerente	2,01	2,41	33,00	0	70,6	180,0	0,31	1137,1

**DIN 2**

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,5	4,0	Coesivo	1,33	1,83	0	0,25	18,35	40,0	0	0
2	0,6	37,0	Incoerente	2,19	2,5	37,57	0	103,46	260,0	0,28	1936,52

**DIN 3**

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,3	12,0	Incoerente	1,79	1,93	30,43	0	52,11	135,0	0,33	671,96
2	1,0	1,0	Coesivo	1,33	1,83	0	0,06	4,59	10,0	0	0
3	1,3	31,0	Incoerente	2,14	2,5	35,86	0	91,14	230,0	0,29	1639,81

**DIN 4**

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	1,0	3,0	Coesivo	1,33	1,83	0	0,19	13,76	30,0	0	0
2	1,4	12,0	Coesivo	1,5	1,93	0	0,81	55,06	120,0	0	0
3	1,6	43,0	Incoerente	2,21	2,5	39,29	0	115,79	290,0	0,27	2230,35

## 12.1.2 Coordinate punti di esecuzione prove penetrometriche

Tabella 12.2 - 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.)
<b>DIN 1</b>	491 325	4 504 089	186
<b>DIN 2</b>	491 186	4 503 678	195
<b>DIN 3</b>	491 213	4 503 308	206
<b>DIN 4</b>	491 145	4 502 978	214

12.1.3 Fotografie esecuzione prove penetrometriche



Figura 12.2 – esecuzione prova DIN 1



Figura 12.3 – esecuzione prova DIN 2



Figura 12.4 – esecuzione prova DIN 3



Figura 12.5 – esecuzione prova DIN 4

12.2 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE MASW

Nell’area interessata dal progetto della cantina è stata eseguita un’indagine sismica 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 12.3 - 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	491 192	4 503 503	201

### 12.3 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 opere<sup>2</sup>.

#### 12.3.1 Correlazione $\phi$ -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:

$$\text{limite superiore: } \phi = 3,9 \cdot Vs^{0,44}$$

$$\text{limite inferiore: } \phi = 3,9 \cdot (Vs^{0,44}) - 6,2$$

#### 12.3.2 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:

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

#### 12.3.3 Portanza

La capacità portante dei terreni di fondazione ( $q_{ult}$  in kPa) in funzione di Vs si può calcolare secondo Keceli (2012)

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

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

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

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

Tabella 12.4 - Parametri geotecnici da indagini sismiche MASW

PARAMETRI GEOTECNICI DA Vs MASW 1						
P [m]	Vs [m/s]	$\phi_{min}$ [°]	$\phi_{max}$ [°]	Cu kPa	$q_{ult}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{amm}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1.7	267	39,4	45,6	174	464	133
3.8	358	45,7	51,9	323	670	223
6.3	443	50,7	56,9	507	874	291
9.2	621	59,9	66,1	1031	1333	443
12.5	561	57,0	63,2	833	1174	390
16.2	751	65,6	71,8	1539	1691	562
20.4	869	70,4	76,6	2092	2029	675
25	955	73,6	79,8	2552	2283	759
-	923	72,5	78,7	2375	2188	728

<sup>2</sup> Tratto da "Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata" di Roccaforte-Cucinotta – Ed. Dario Flaccovio

## 12.4 RISULTATI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE

Mediante l'analisi dei primi arrivi delle onde rifratte prodotte durante le energizzazioni eseguite per le MASW è possibile elaborare una sismostratigrafia mediante onde  $V_p$ , con la semplificazione di una stratigrafia piano parallela.

In questo modo si sono potuti ottenere ulteriori parametri utili per la caratterizzazione del sito in studio<sup>3</sup>:

### 12.4.1 Sismostratigrafia da rifrazione

Tabella 12.5 - sismostratigrafia da rifrazione

SISMOSTRATIGRAFIA MASW 1		
Suolo addensato	$V_p = 357 \text{ m/s}$	0.0 – 0.5 m
Ignimbriti alterate	$V_p = 606 \text{ m/s}$	0.5 m – 2.2 m
Ignimbriti massive	$V_p = 1163 \text{ m/s}$	2.2 m – 6.0 m
Ignimbriti massive	$V_p = 1833 \text{ m/s}$	6.0 m –



Figura 12.6 - esecuzione indagine sismica MASW

## 12.5 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  $\text{m}^3/20 \text{ min}$ ) in relazione alla velocità delle onde di compressione (Shimoto et alii, 1970, da OYO Corporation 1978). La

$$^3 V_x = m_x = d_x - d_0 / t_x - t_0$$

$V_x$  = velocità dell'orizzonte sismico;  $m$  = coefficiente angolare curva di interpolazione lineare della dromocrona di riferimento;  $d_0$  e  $d_x$  distanze geofoniche iniziale e finale di registrazione della dromocrona di riferimento;  $t_0$  e  $t_x$  tempi di ritardo iniziale e finale della dromocrona di riferimento.

$$H_x = d_x / 2 \cdot (V_x - V_0 / V_x + V_0)^{0.5}$$

$H_x$  = spessore dell'orizzonte sismico;  $d_x$  distanza geofonica al punto di "ginocchio";  $V_x$  e  $V_0$  velocità del primo e secondo orizzonte sismico.

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.

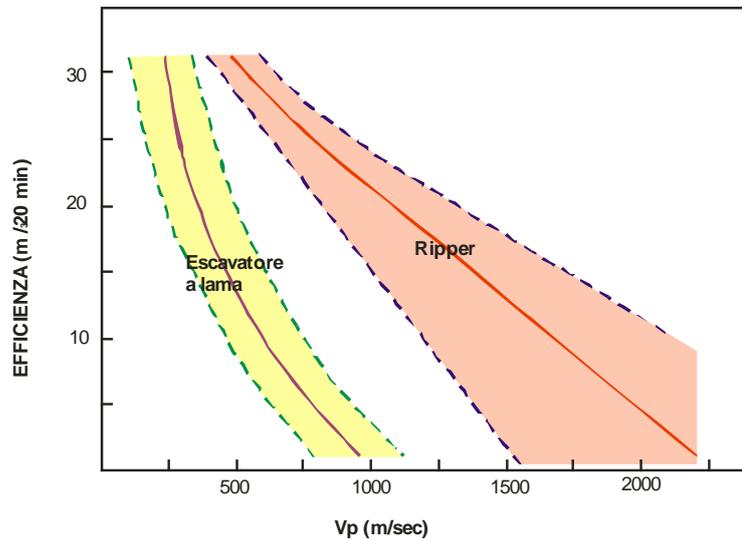


Figura 12.7 - grafico sui limiti di scavabilità dei terreni da onde  $V_p$

## 13 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.

### 13.1 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 una indagine geofisica con metodologia sismica MASW, le quali hanno consentito la verifica diretta della stratigrafia di dettaglio delle terre fino al raggiungimento del substrato roccioso, ad una profondità compresa tra circa 0.5 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. Sulla base dei riscontri avuti dalle indagini si ritiene che i maggiori spessori siano limitati entro qualche decina di metri dalla valle del Rio Rizzolu, dove il divagare delle acque durante le esondazioni ha favorito l'alterazione del substrato ignimbrítico e la deposizione di sabbie, limi e argille con il trasporto fluviale.

Man mano che ci si allontana dal corso d'acqua lo spessore dei suoli tende a diminuire, con valori compresi tra circa 0.5 m e 1 m circa, in funzione della paleomorfologia dei depositi ignimbríticos sottostanti.

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.

Facendo riferimento al punto mediano dell'area in studio il modello geologico di riferimento può così essere definito:

1. 0.0 – ~1 m: *terreno vegetale poco consistente. OLOCENE*
2. ~1 m – ~2 m: *ignimbriti alterate. BURDIGALIANO*
3. ~2 m – ~6 m: *ignimbriti più competenti. BURDIGALIANO*
4. ~6 m – ~30 m: *ignimbriti massive. BURDIGALIANO*

### 13.2 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)
- $\gamma$ : Peso unità di volume ( $\text{kg/m}^3$ );
- $\phi$ : Angolo di attrito ( $^\circ$ );
- C: Coesione ( $\text{kg/m}^3$ );
- Cu: Coesione non drenata ( $\text{kg/m}^3$ );
- Ed: Modulo Edometrico ( $\text{kg/m}^3$ );

- $E_y$ : Modulo Elastico ( $\text{kg/m}^3$ );

### 13.3 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 13.1 - Stratigrafia geologica e geotecnica di massima

STRATO	PARAMETRI		VALORI CARATTERISTICI
Suolo argilloso da 0 a 0.5 m	peso di volume	$\gamma$	15 kN/mc
	Coesione	$c'$	10 kPa
	Angolo attrito	$\varphi'$	0.0°
	Coesione non drenata	$C_u$	25 kPa
	Modulo Edometrico	$E_d$	2 MPa
	Modulo Elastico	$E_y$	5 MPa
Basalti da 0.5 m a 6 m	peso di volume	$\gamma$	22.5 kN/mc
	Coesione	$c'$	400 kPa
	Angolo attrito	$\varphi'$	60°
	Coesione non drenata	$C_u$	800 kPa
	Modulo Edometrico	$E_d$	1000 MPa
	Modulo Elastico	$E_y$	1250 Mpa
Calcareniti da 6 m a ~30 m	peso di volume	$\gamma$	23.5 kN/mc
	Coesione	$c'$	600 kPa
	Angolo attrito	$j'$	60°
	Coesione non drenata	$C_u$	1200 kPa
	Modulo Edometrico	$E_d$	1500 MPa
	Modulo Elastico	$E_y$	2000 Mpa

### 13.4 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 geotecniche, 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 fino ad almeno 2 m di profondità dal piano di campagna, con prelievo di campioni negli orizzonti attraversati più significativi, da esaminare in laboratorio.

Si presume che le fondazioni andranno a poggiare su di un substrato costituito da rocce ignimbritiche, la caratterizzazione geotecnica si basa pertanto su prove adatte a materiali lapidei.

I suoli hanno uno spesso estremamente variabile, spesso con spessore talmente esiguo 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. In questo modo vengono eseguite in automatico 57 misure, 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 2 m dal piano di campagna;
- Eventuali prove di laboratorio su terre:
  - esecuzione di prove di taglio diretto con scatola di Casagrande;
  - prove edometriche su campioni coesivi;
  - determinazione dei limiti di Atterberg con analisi granulometrica;
- Prove di laboratorio su roccia:
  - esecuzione di prove di carico concentrato Point Load Test;
  - esecuzione determinazione di massa volumica;

- 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.

### DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE PREVISTE

<p>IMPIANTO DI CANTIERE PER <i>INDAGINI GEOGNOSTICHE</i>, 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</p>
<p>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</p>
<p>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</p>
<p>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</p>
<p>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</p>
<p>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.</p>

## 14 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 2 m, che ricoprono un substrato costituito da rocce ignimbriche dell'Unità di Chilivani, 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 una indagine sismica MASW abbinata ad una rifrazione semplificata eseguita con una sola battuta. 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  $V_s$ , 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 una valle con andamento sub pianeggiante, circondata da rilievi costituiti da rocce ignimbriche, con fianchi da poco a molto acclivi. Le ignimbriti tendono a diventare sempre più massive 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.

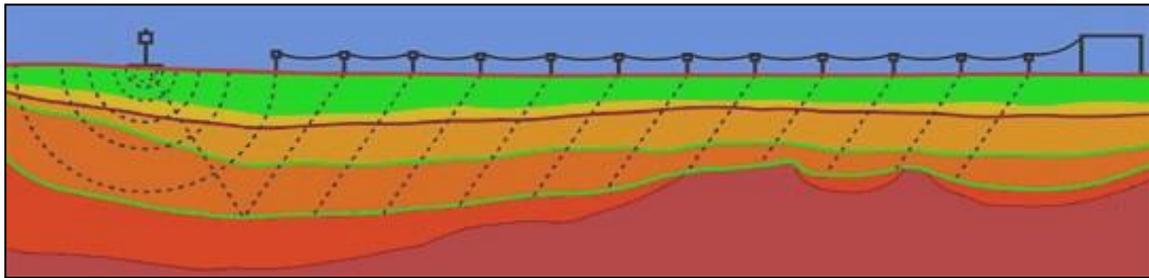
Sulla base di quanto precedentemente esposto, il substrato roccioso destinato ad ospitare le fondazioni dei tralicci atti a sostenere i pannelli fotovoltaici si presenta, nel suo complesso, in grado di poter sostenere i carichi indotti dalla struttura senza deformazioni o cedimenti.

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

## APPENDICE 01: 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 fratturazione, 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 DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) 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 10 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).



Sismografo DaqLinkIII



Operazioni di acquisizione

## 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  $V_s$ .

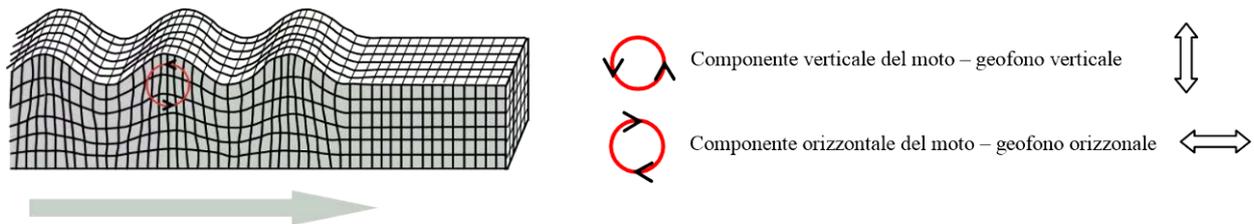
Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5 Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del 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: 24 con frequenza propria di risonanza 4,5 Hz;
- Distanza intergeofonica: 2.0 m per complessivi 46 m di stendimento;
- Offset di battuta: n° 1 battuta disposta a -4.0 m dall'ultimo geofono.

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

- Tempo di acquisizione: 1.0 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 secessione 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;

$$R = \gamma \cdot V_s$$

- $\gamma$  = peso di volume naturale
- Vs = Velocità di taglio.

### Frequenza fondamentale di Nakamura (F0)

In cui:

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

- H = spessore dello strato.
- Velocità delle onde longitudinali (Vs)

### 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 S  $V_{s_{(strato)}}$ .

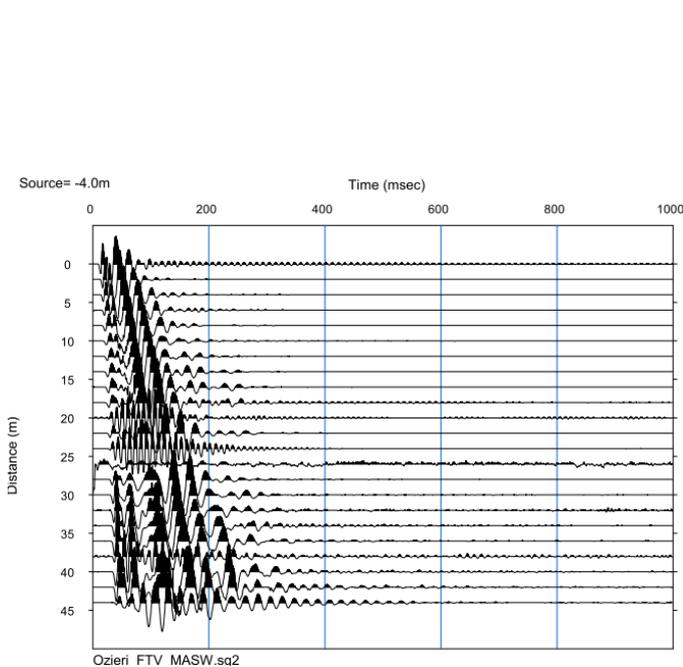
Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

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

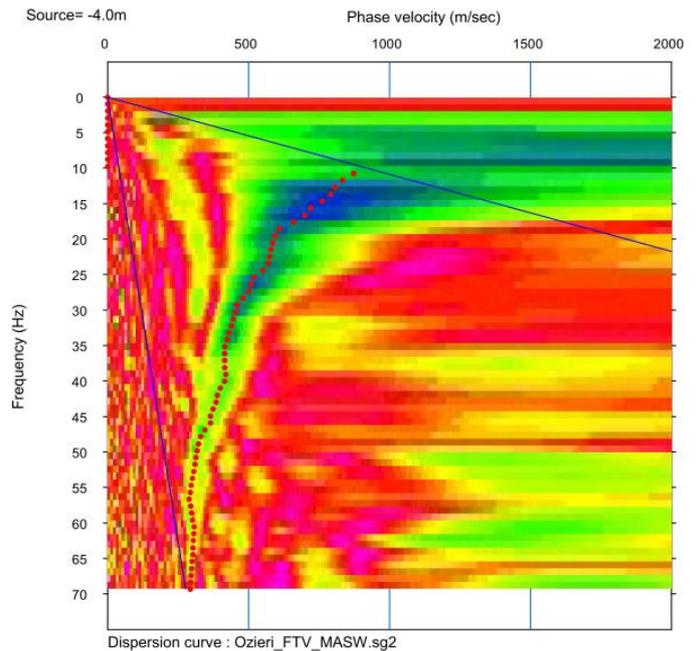
Il parametro  $V_{s_{eq}}$  consente di stabilire la classe di suolo come stabilito alle NTC del 2018 e sono riportate nella tabella che segue.

**CATEGORIE DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE SECONDO LE NTC DEL 2018**

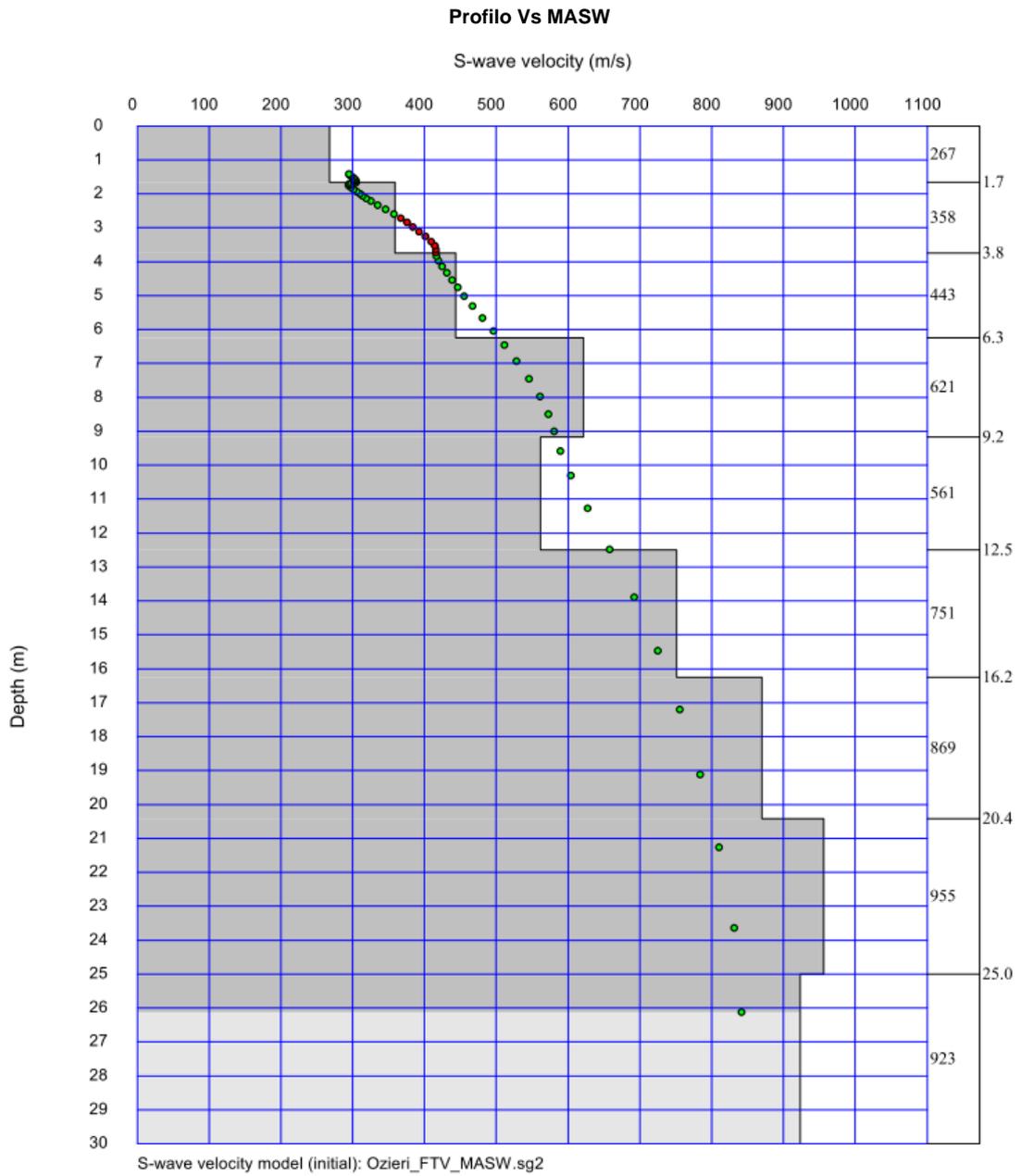
CATEGORIA	DESCRIZIONE
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	Rocce 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.
<b>C</b>	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.
<b>D</b>	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.
<b>E</b>	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 MASW**



**spettro di dispersione MASW**



## APPENDICE 02: 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  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$
- 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 cm<sup>2</sup>;
- 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:

dove:

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

$R_{pd}$  = 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 [ $\delta$  = 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<sup>2</sup>, 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<sup>2</sup>.

Il margine di valori N<sub>10</sub> (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

#### DIN 1

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
2	2	0,753	7,28	1	1,33	1,83	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		argilla
2,2	28	0,753	91,16	21	2,01	2,41	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		tufo vulcanico

#### DIN 2

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0,5	6	0,753	21,85	4	1,33	1,83	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		argilla
0,6	50	0,753	182,08	37	2,19	2,5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		tufo vulcanico

#### DIN 3

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0,3	16	0,753	58,26	12	1,79	1,93	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		riporto
1	2	0,753	6,88	1	1,33	1,83	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		argilla
1,3	42	0,753	144,38	31	2,14	2,5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		tufo vulcanico

#### DIN 4

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
1	4	0,753	14,57	3	1,33	1,83	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		argilla
1,4	16	0,753	55	12	1,5	1,93	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		argilla limosa
1,6	58	0,753	199,39	43	2,21	2,5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		tufo vulcanico

### 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)  $\sigma > 15$  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
- Buisman-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  $\gamma = 2,65 \text{ t/mc}$  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 $V_s$ (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 ( $K_0$ )**

- 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 Nspt <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-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con Nc=20 e Qc/Nspt=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 -Mo (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 <sup>2</sup>
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 DM30 10cmq

Prova eseguita in data

01/02/2023

Profondità prova

2,20 mt

Falda non rilevata

Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	4	0,857	12,48	14,57	0,62	0,73
0,20	3	0,855	9,34	10,92	0,47	0,55
0,30	2	0,853	6,21	7,28	0,31	0,36
0,40	2	0,851	6,20	7,28	0,31	0,36
0,50	2	0,849	6,18	7,28	0,31	0,36
0,60	3	0,847	9,25	10,92	0,46	0,55
0,70	3	0,845	8,72	10,31	0,44	0,52
0,80	3	0,843	8,70	10,31	0,43	0,52
0,90	4	0,842	11,57	13,75	0,58	0,69
1,00	3	0,840	8,66	10,31	0,43	0,52
1,10	4	0,838	11,52	13,75	0,58	0,69
1,20	6	0,836	17,25	20,63	0,86	1,03
1,30	3	0,835	8,61	10,31	0,43	0,52
1,40	5	0,833	14,32	17,19	0,72	0,86
1,50	4	0,831	11,43	13,75	0,57	0,69
1,60	5	0,830	14,26	17,19	0,71	0,86
1,70	11	0,828	29,65	35,81	1,48	1,79
1,80	17	0,776	42,97	55,34	2,15	2,77
1,90	13	0,775	32,79	42,32	1,64	2,12
2,00	13	0,773	32,72	42,32	1,64	2,12
2,10	28	0,722	65,78	91,16	3,29	4,56
2,20	46	0,620	92,87	149,76	4,64	7,49

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 1

## TERRENI COESIVI

## Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1	2,00	Terzaghi-Peck	0,06

## Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1	2,00	Stroud e Butler (1975)	4,59

## Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1	2,00	Apollonia	10,00

## Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	1	2,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	1	2,00	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 <sup>3</sup> )
Strato 1	1	2,00	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	21	2,20	21	Gibbs & Holtz 1957	52,06

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	21	2,20	21	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	33

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	21	2,20	21	Bowles (1982) Sabbia Media	180,00

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	21	2,20	21	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	70,60

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	21	2,20	21	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	21	2,20	21	Meyerhof ed altri	2,01

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	21	2,20	21	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,41

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	21	2,20	21	(A.G.I.)	0,31

**Modulo di deformazione a taglio dinamico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	21	2,20	21	Ohsaki (Sabbie pulite)	1137,10

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 2	21	2,20	21	Navfac 1971-1982	4,22

## PROVA DIN2

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq  
 Prova eseguita in data 02/02/2023  
 Profondità prova ,60 mt  
 Falda non rilevata  
 Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	8	0,857	24,95	29,13	1,25	1,46
0,20	8	0,855	24,90	29,13	1,24	1,46
0,30	7	0,853	21,74	25,49	1,09	1,27
0,40	6	0,851	18,59	21,85	0,93	1,09
0,50	10	0,849	30,91	36,42	1,55	1,82
0,60	50	0,647	117,80	182,08	5,89	9,10

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 2 TERRENI COESIVI

### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	4	0,50	Terzaghi-Peck	0,25

### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	4	0,50	Stroud e Butler (1975)	18,35

### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	4	0,50	Apollonia	40,00

### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	4	0,50	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	4	0,50	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 <sup>3</sup> )
Strato 1	4	0,50	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	37	0,60	37	Gibbs & Holtz 1957	73,11

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	37	0,60	37	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	37,57

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	37	0,60	37	Bowles (1982) Sabbia Media	260,00

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	37	0,60	37	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	103,46

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	37	0,60	37	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	37	0,60	37	Meyerhof ed altri	2,19

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	37	0,60	37	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	37	0,60	37	(A.G.I.)	0,28

**Modulo di deformazione a taglio dinamico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	37	0,60	37	Ohsaki (Sabbie pulite)	1936,52

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 2	37	0,60	37	Navfac 1971-1982	6,52

### PROVA DIN3

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq  
 Prova eseguita in data 02/02/2023  
 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 <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	21	0,757	57,86	76,47	2,89	3,82
0,20	16	0,805	46,88	58,26	2,34	2,91
0,30	65	0,653	154,49	236,70	7,72	11,83
0,40	7	0,851	21,69	25,49	1,08	1,27
0,50	3	0,849	9,27	10,92	0,46	0,55
0,60	3	0,847	9,25	10,92	0,46	0,55
0,70	2	0,845	5,81	6,88	0,29	0,34
0,80	4	0,843	11,60	13,75	0,58	0,69
0,90	6	0,842	17,36	20,63	0,87	1,03
1,00	21	0,740	53,40	72,19	2,67	3,61
1,10	42	0,638	92,12	144,39	4,61	7,22
1,20	62	0,636	135,61	213,14	6,78	10,66
1,30	66	0,635	143,97	226,89	7,20	11,34

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 3

#### TERRENI COESIVI

##### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	1	1,00	Terzaghi-Peck	0,06

##### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	1	1,00	Stroud e Butler (1975)	4,59

##### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	1	1,00	Apollonia	10,00

##### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 2	1	1,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	1	1,00	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 <sup>3</sup> )
Strato 2	1	1,00	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 1	12	0,30	12	Gibbs & Holtz 1957	45
Strato 3	31	1,30	31	Gibbs & Holtz 1957	64,99

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	12	0,30	12	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	30,43
Strato 3	31	1,30	31	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	35,86

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	12	0,30	12	Bowles (1982) Sabbia Media	135,00
Strato 3	31	1,30	31	Bowles (1982) Sabbia Media	230,00

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	12	0,30	12	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	52,11
Strato 3	31	1,30	31	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	91,14

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	12	0,30	12	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	31	1,30	31	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	12	0,30	12	Meyerhof ed altri	1,79
Strato 3	31	1,30	31	Meyerhof ed altri	2,14

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	12	0,30	12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93
Strato 3	31	1,30	31	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	12	0,30	12	(A.G.I.)	0,33
Strato 3	31	1,30	31	(A.G.I.)	0,29

**Modulo di deformazione a taglio dinamico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	12	0,30	12	Ohsaki (Sabbie pulite)	671,96
Strato 3	31	1,30	31	Ohsaki (Sabbie pulite)	1639,81

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 1	12	0,30	12	Navfac 1971-1982	2,52
Strato 3	31	1,30	31	Navfac 1971-1982	5,75

## PROVA DIN4

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq  
 Prova eseguita in data 02/02/2023  
 Profondità prova 1,60 mt  
 Falda non rilevata  
 Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	4	0,857	12,48	14,57	0,62	0,73
0,20	5	0,855	15,56	18,21	0,78	0,91
0,30	5	0,853	15,53	18,21	0,78	0,91
0,40	5	0,851	15,49	18,21	0,77	0,91
0,50	8	0,849	24,73	29,13	1,24	1,46
0,60	11	0,847	33,93	40,06	1,70	2,00
0,70	9	0,845	26,15	30,94	1,31	1,55
0,80	5	0,843	14,50	17,19	0,72	0,86
0,90	5	0,842	14,46	17,19	0,72	0,86
1,00	9	0,840	25,98	30,94	1,30	1,55
1,10	16	0,788	43,34	55,00	2,17	2,75
1,20	21	0,736	53,15	72,19	2,66	3,61
1,30	22	0,735	55,55	75,63	2,78	3,78
1,40	34	0,683	79,82	116,88	3,99	5,84
1,50	58	0,631	125,85	199,39	6,29	9,97
1,60	68	0,630	147,17	233,77	7,36	11,69

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 4

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	3	1,00	Terzaghi-Peck	0,19
Strato 2	12	1,40	Terzaghi-Peck	0,81

#### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	3	1,00	Stroud e Butler (1975)	13,76
Strato 2	12	1,40	Stroud e Butler (1975)	55,06

#### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	3	1,00	Apollonia	30,00
Strato 2	12	1,40	Apollonia	120,00

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	3	1,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato 2	12	1,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	3	1,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,33
Strato 2	12	1,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,50

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	3	1,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,83
Strato 2	12	1,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,93

**TERRENI INCOERENTI**

**Densità relativa**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 3	43	1,60	43	Gibbs & Holtz 1957	73,35

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 3	43	1,60	43	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	39,29

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 3	43	1,60	43	Bowles (1982) Sabbia Media	290,00



**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 3	43	1,60	43	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	115,79

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 3	43	1,60	43	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 3	43	1,60	43	Meyerhof ed altri	2,21

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 3	43	1,60	43	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 3	43	1,60	43	(A.G.I.)	0,27

**Modulo di deformazione a taglio dinamico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 3	43	1,60	43	Ohsaki (Sabbie pulite)	2230,35

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 3	43	1,60	43	Navfac 1971-1982	7,26