

Impianto Agrivoltaico "OPPIDO"

Potenza DC di impianto 15,52 MWp - potenza AC di immissione in RTN 14,40 MW
Configurazione 1P agrivoltaico avanzato

Titolo

Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica

Scala	Formato Stampa	ID documento	Tipologia	Revisione
varie	varie	S315-GE01-R		00
	Foglio			

Proponente



ENGIE OPPIDO S.R.L.

VIA CHIESE n. 72,
20126 Milano - Italia

PEC: engieoppido@legalmail.it

Codice Fiscale e Partita IVA n° 12829630966

Iscriz. Reg. Imprese di Milano n° MI 2686929

Società con Socio Unico sottoposta all'attività di direzione e coordinamento di ENGIE

Coordinamento e Permitting



SINERGIA EGP
Energy Green Power

SINERGIA EGP1 S.R.L.

Centro Direzionale, IS. G1, SSC, INT 58

80143 Napoli PEC: sinergia.egp1@pec.it

Codice Fiscale e Partita IVA n° 09171211213

Rappresentante, Sviluppatore e Coordinatore: ing. Filippo Mercurio

Progettazione



STUDIO MASC SOC COOP, Ingegneria e consulenza

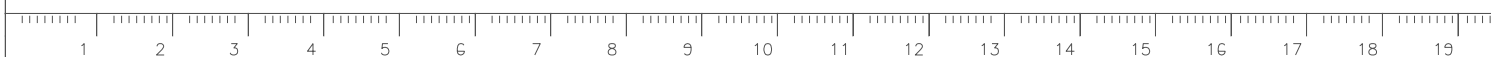
Via Fratelli Lumière, n. 20

80147 Napoli PEC: studiomasc@pec.it

Codice Fiscale e Partita IVA n° 10145081211

TEL. 081 18365653 - info@studiomasc.com

PROGETTO DEFINITIVO



Rev.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato	

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
3	GEOMORFOLOGIA	6
4	GEOLITOLOGIA (mettere sintemi)	7
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	8
6	IDROGEOLOGIA.....	9
7	DISSESTO IDROGEOLOGICO.....	10
8	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	12
9	INDAGINI ESEGUITE.....	17

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

1 PREMESSA

La società ENGIE OPPIDO S.R. L., con sede in Via Chiese n. 72 20126 Milano, è titolare della Progettazione finalizzata alla costruzione di un Impianto Agrivoltaico, della potenza nominale di 15.523 kWp, da realizzarsi in agro del Comune di Oppido Lucano (PZ) e da collegare alla RTN tramite un cavidotto.

In particolare, il Progetto prevede la realizzazione di un impianto denominato "Oppido AgriFV", compreso il cavidotto interrato di circa 8 km, sul futuro ampliamento della Stazione Elettrica esistente della RTN denominata "SE Oppido Lucano 150/20 kV".

Per la localizzazione dell'opera è stata individuata un'area all'interno Comune di Oppido Lucano (PT), in località "La Petrarà", con accesso diretto dalla SS96 bis.

Nella figura che segue si riporta stralcio cartografico di inquadramento territoriale dove le opere da realizzare sono sovrapposte ad un'immagine satellitare di Google Earth.



La Società ENGIE OPPIDO S.R. L. ha commissionato la presente Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica allo scrivente Geol. Vittorio Emanuele Iervolino, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania con n° 2392.

Ai fini della stesura della presente relazione tecnica è stata utilizzata la seguente cartografia di riferimento:

Topografia

- Carta Tecnica Regionale della Campania in scala 1:5.000
- Carta Topografica IGM 1:25.000

Geologia ed Idrogeologia

- Carta Geologica d'Italia Foglio 471 "Irsina" scala 1:50.000
- Carta idrogeologica dell'Italia meridionale

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Dissesto Idrogeologico

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Basilicata.
- Inventario Fenomeni Franosi in Italia - Progetto IFFI (ISPRA, Inventario Fenomeni Franosi, 2007);

Sismicità

- Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale (INGV, Mappa di pericolosità sismica, 2019);
- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI v3.0 dal 1000 al 2019 – (2021) (Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli, B., Gasperini P., Antonucci A. 2021).
- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0 Ist. Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- Catalogo delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane (DISS) (INGV, Database of Individual Seismogenic Sources, 2021);

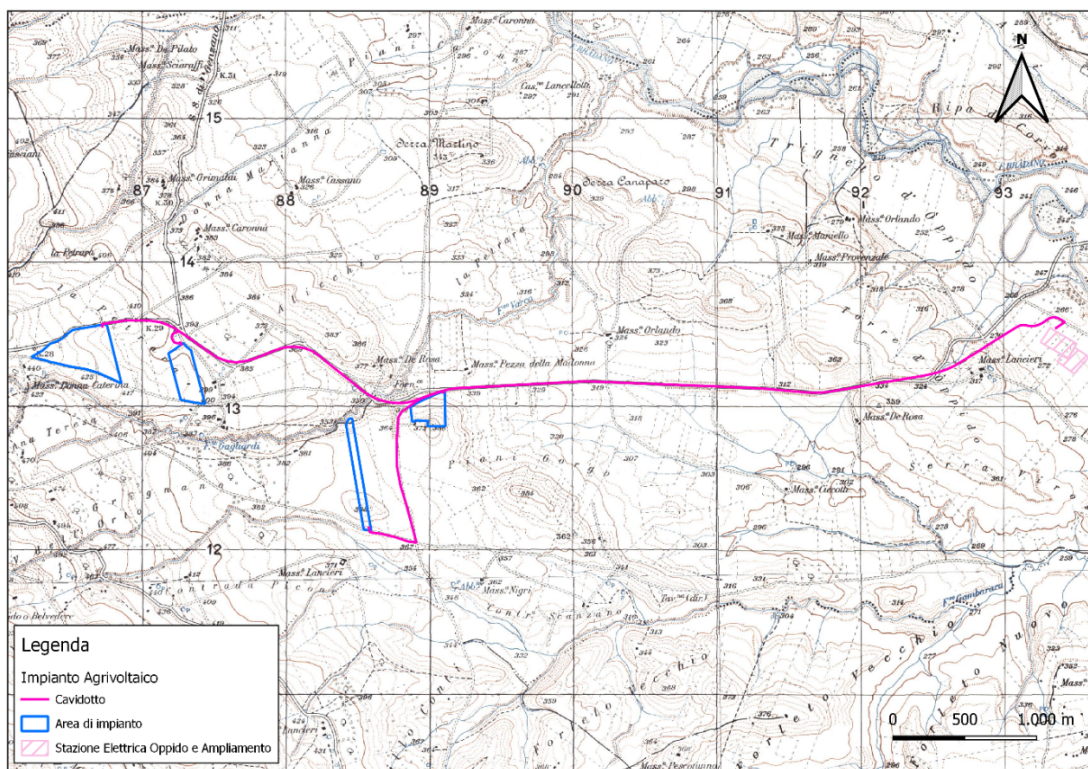
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La realizzazione dell’impianto sarà eseguita interamente in agro nel Comune di Oppido Lucano, nello specifico in località “La Petrara” a quota 400 m s.l.m. ed interesserà un’area di circa 26 ha ricadente nelle particelle 130, 606, 608, 641, del foglio di mappa N. 14 e nelle particelle 573,574,178,182,175,171 del foglio di mappa 22 (si rimanda alla Relazione Generale).

Un primo tratto di linea ha un andamento circa ENE (direzione Centro Abitato Oppido Lucano) e si sviluppa tra quota 420 m e quota 360 m per una lunghezza di 2441 metri.

Un secondo tratto di linea ha un andamento NS (direzione Tolve) e si estende da quota 370 m a quota 340 m, per una lunghezza di 1.437 metri.

Nella figura che segue si riporta un inquadramento territoriale dell’opera da realizzare prendendo a riferimento come base cartografica la Carta Topografica IGM 1:25.000.



Per l’intera area di studio è stata eseguita un’accurata analisi cartografia al fine di individuare eventuali criticità da frana e idrauliche. Altra valutazione, sempre ai fini dell’identificazione della zona, è stata quella della Sismicità in questo caso si è fatto riferimento alla cartografia del database dell’INGV. Ai fini della trattazione, i dati di ogni studio sono riportati nei singoli paragrafi per una necessaria valutazione del sito e trarne l’opportuna sintesi.

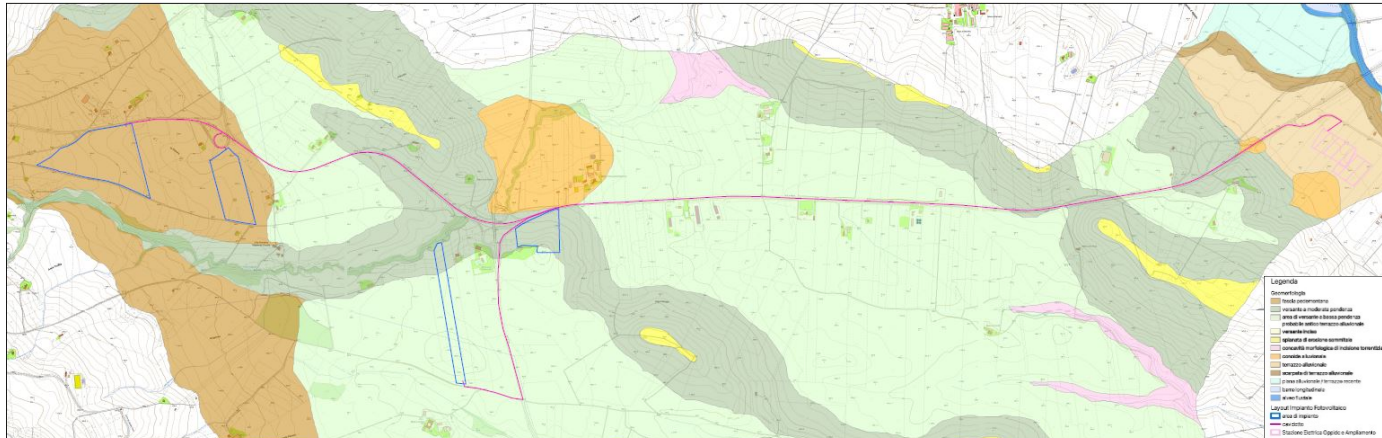
ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

3 GEOMORFOLOGIA

L'area di realizzazione dell'impianto agrivoltaico "Oppido AgriFV" e quella dei suoi raccordi ricadono prevalentemente all'interno del settore settentrionale del bacino del Fiume Bradano, che presenta una morfologia pianeggiante o sub-pianeggiante, caratterizzata dalla presenza di modesti rilievi collinari aventi forma sommitale debolmente arrotondata ed a tratti tabulare. Tale area è caratterizzata da depositi alluvionali a granulometria variabile, comprendenti superfici alluvionali recenti, con alluvionali e fasce di colluvi alla base dei versanti. A luoghi, si manifestano evidenti segni di erosione idrica attraverso la presenza di rigagnoli e fossi, alcuni più accentuati di altri. Questi rivelano un ruscellamento diffuso, con risultati vari: in alcune zone, l'erosione si limita allo strato superficiale del suolo, mentre altrove le incisioni raggiungono profondità maggiori. Il reticolo idrografico è influenzato dalle litologie argillose -argilloso siltose, con uno sviluppo in prevalenza dendritico. L'approfondimento dei corsi d'acqua è marcato dalla presenza di lembi di terrazzi alluvionali disposti a varie quote. L'assenza di pendenze significativa, in genere comprese tra i 0°-10° con qualche sporadico picco di 15°, comporta un tratto geomorfologico nel complesso caratterizzato dalla presenza di ampie valli ed una generale stabilità in termini di criticità geomorfologiche.

Nell'area situata a nord ovest, la variazione di pendenza tra versante e fondovalle mette in evidenza la presenza di conoidi di deiezione.

Nella figura che segue viene allegato uno stralcio della carta geomorfologica prodotta.



ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

4 GEOLITOLOGIA

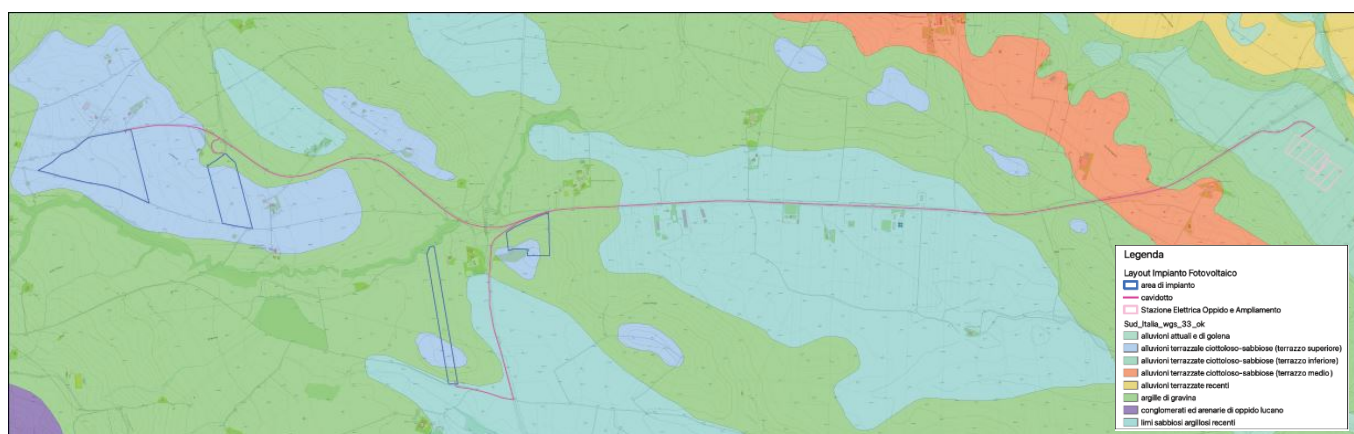
L'area in esame è compresa nel foglio geologico n° 471 "Irsina" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 ed è ubicata lungo il margine esterno dell'Appennino meridionale a ridosso del fronte che separa la Catena appenninica dalla Fossa Bradanica.

Tale area è caratterizzata dalla presenza in affioramento della successione emipelagica pliocenica discordante sui depositi Oligo-Miocenici. Questi ultimi sono identificati nelle unità stratigrafiche del Flysch Rosso, della Formazione di Serra Palazzo e del Flysch di Faeto, che affiorano nel settore occidentale del territorio e sulle quali poggia il centro abitato comunale.

L'impianto agrivoltaico, invece, sarà realizzato nella parte sud-orientale del territorio comunale, in cui dominano in misura prevalente i depositi pliocenici marini della formazione delle Argille Subappennine (**ASP**), nell'ambito delle quali sono distinte numerose lenti conglomeratiche di origine deltizia, rappresentate dal membro dei Conglomerati di Serra del Cedro (**ASP₁**). Tale formazione costituisce la porzione emipelagica post-torbitidica della successione di riempimento della Fossa bradanica, a luoghi spessa fino a 400 m e possiede un'età compresa tra il Pliocene inferiore e l'Emiliano (Balduzzi *et alii*, 1982a; Casnedi *et alii*, 1982). Dal punto di vista litologico, i depositi sono costituiti da sedimenti siltoso-argillosi di mare poco profondo, con intercalazioni sabbiose o più raramente conglomeratiche, organizzati in strati di spessore variabile da pochi centimetri ad oltre un metro. L'assetto è sostanzialmente monoclinale con immersione verso NE e deboli pendenze (da suborizzontali ad un massimo di circa 10°-15° gradi).

I depositi quaternari presenti includono coltri eluvio-colluviali, alluvioni di fondo valle, corpi di frana, depositi di versante e materiale antropico.

Nella figura che segue viene allegato uno stralcio della carta geolitologica prodotta.



ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per i caratteri geotecnici della formazione litologica, affiorante in modo diffuso in tutta l'area di intervento, bisogna fare riferimento a quanto è stato semplificato a livello stratigrafico e riportato graficamente sulla Carta Geolitologica.

La semplificazione è stata dettata, per una facile comprensione litologica dell'intera area, dal rilevamento geologico condotto, dalla conoscenza del luogo e dalla competenza professionale acquisita sul campo. Nello specifico sarà trattato e valutato il complesso "Argille di Gravina" il quale comprende un'alternanza di argille siltose e silt sabbiosi a luoghi con intercalazioni sabbiose o più raramente conglomeratiche, in strati di spessore da pochi centimetri ad oltre un metro.

Questa formazione, come precedentemente descritta nel presente elaborato, si presenta con variazioni laterali e verticali di facies, ed anche con micro/macro discontinuità che devono essere tenute in considerazione durante la fase del campionamento e del processamento in laboratorio. Poiché in qualche misura, spesso, questi caratteri tendono a prevalere o alterare i risultati dei dati delle proprietà fisiche e meccaniche, dalle quali, in generale, dipende il comportamento delle terre. Come il caso della resistenza al taglio e del contenuto in acqua.

I dati delle proprietà fisiche e meccaniche ottenuti per la formazione litologica sono quelli acquisiti dalla letteratura geotecnica, e mediati dall'esperienza di precedenti lavori eseguiti sullo stesso tipo di formazione litologica. Di seguito in tabella i valori:

Proprietà Fisiche		Proprietà Meccaniche	
Nome Simbolo		Nome Simbolo	
Limite liquido	$W_L = 82 \%$	Indice di Compressibilità	$C_c = 0.25$
Limite Plastico	$W_P = 24 \%$	Precompressione	$P_c = 35 \text{ kg/cm}^2$
Indice Plastico	$I_P = 59 \%$	Coesione	$c = 1.4 \text{ kg/cm}^2$
Densità Relativa	$D_r = 0.8$	Coesione effettiva	$c' = 0.5 \text{ kg/cm}^2$
Indice dei Vuoti	$e = 0.5$	Angolo di attrito di picco	$\phi_p = 30^\circ \text{ kg/cm}^2$
Porosità	$n = 33\%$	Angolo di attrito residuo	$\phi_r = 24^\circ \text{ kg/cm}^2$
Peso di Volume	$\gamma = 1.9 \text{ t/m}^3$		
Peso di Volume Saturo	$\gamma_{sat} = 2.05 \text{ g/cm}^3$		

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

6 IDROGEOLOGIA

Il sito interessato dal progetto ricade nel bacino idrografico del Fiume Bradano, che rappresenta il principale corso d'acqua dell'area. Questo fiume è caratterizzato da una morfologia a canali intrecciati o tipo braided, con un ampio alveo in cui sono presenti diversi canali separati da barre fluviali, sia longitudinali che trasversali, che deviano la corrente e ne rallentano il flusso. Le portate del fiume sono notevolmente variabili a seconda delle stagioni. Durante i periodi di maggiore piovosità, in autunno e primavera, l'alveo fluviale viene completamente occupato dal fiume. In estate, invece, il fiume scorre solo attraverso alcuni canali e le portate sono più modeste.

Il quadro idrogeologico dell'area è prevalentemente caratterizzato dalla presenza del substrato argilloso delle Argille Subappennine, che funge da basamento e disciplina la circolazione idrica sotterranea, su cui localmente si sovrappongono i sedimenti sabbioso-conglomeratici della serie plio-quadernaria e i depositi alluvionali e fluvio-lacustri. Le principali falde acquifere sono ospitate nei complessi idrogeologici sabbioso-conglomeratici ed in quelli alluvionali riferibili alle aste principali dei corsi d'acqua.

Sulla base della litologia e delle caratteristiche granulometriche dei terreni affioranti nell'area è possibile distinguere un complesso argilloso limoso-sabbioso ed un complesso alluvionale. Il primo è contraddistinto da una bassa permeabilità, sebbene al suo interno vi sono delle variazioni di litofacies in verticale ed in orizzontale. Nonostante tutto, una tale condizione non favorisce la circolazione delle acque, che riescono ad infiltrarsi in profondità, per micro/ macro-fessurazione in corrispondenza dei livelli permeabili. Una tale condizione genera, livelli acquiferi sovrapposti, caratterizzati da potenzialità e soggiacenze legate, comunque, alle condizioni litologiche-stratigrafiche della formazione. Per cui potranno originare delle falde sospese di modestissima entità. Nel momento in cui si avranno le condizioni di emersione, la tipologia di sorgenti che possono verificarsi in questo tipo di litologia, è essenzialmente per soglia di permeabilità in cui è la stessa litologia a fungere da substrato impermeabile ed a permetterne il drenaggio. Il complesso alluvionale è caratterizzato prevalentemente dalla presenza di depositi alluvionali terrazzati antichi, costituiti da litotipi sabbioso-conglomeratici stratificati, con alternanza di termini conglomeratici a livelli sabbiosi e limosi, contrassegnati da una permeabilità per porosità medio-alta.

La tabella sottostante sintetizza le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni litologiche appena trattate e presenti nell'area di intervento in generale.

Litologia	Simbolo geologico	Classe di permeabilità	Tipo di permeabilità	Grado di porosità	Permeabilità K
complesso alluvionale	PLC, TPD	medio-alta	porosità	medio-alto n > 15%	$K 10^{-3} - 10^{-5} \text{ cm/s}$
complesso argilloso limoso-sabbioso	ASP	Bassa	fessurazione	Basso con n < 5%	$K 10^{-5} - 10^{-7} \text{ cm/s}$

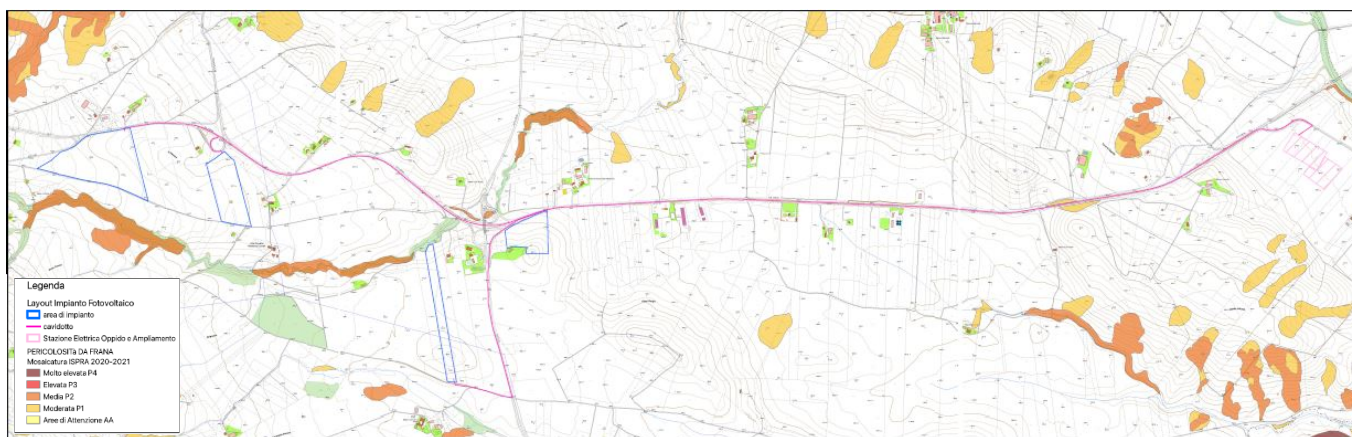
ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

7 DISSESTO IDROGEOLOGICO

Pericolosità da Frana

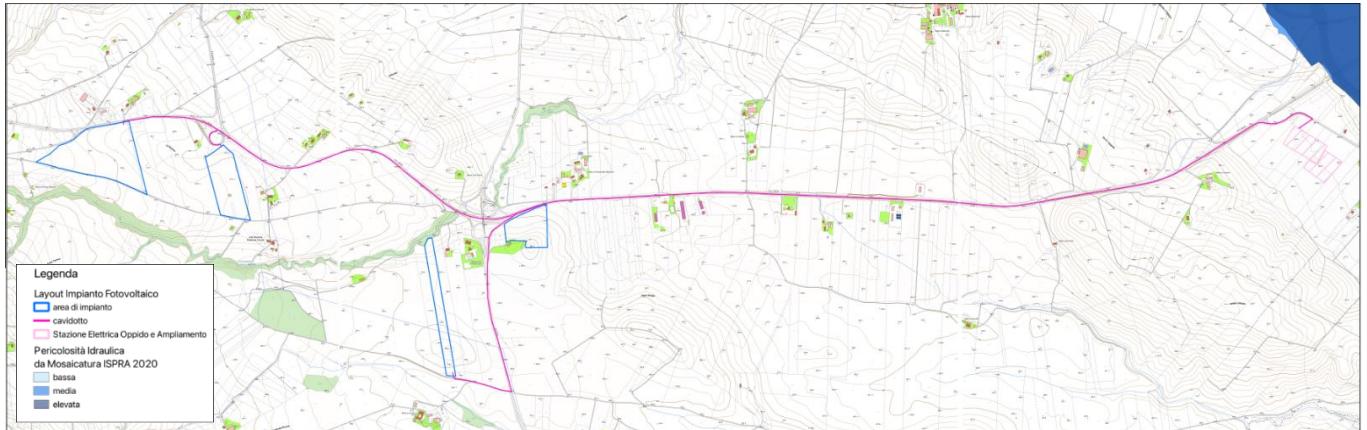
Prendendo a riferimento lo studio prodotto dall'AdB Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Basilicata, nell'immediato intorno la zona di studio non si rileva nessun livello di criticità da frana, come chiaramente indicato nella figura che segue in cui viene riportata la Mosaicatura ISPRA 2020-2021 sulla pericolosità da frana di tutte le EX AdB del territorio italiano.

In aggiunta anche il progetto IFFI – allegato alla carta geomorfologica prodotta – non rileva la presenza di Nessun fenomeno franoso che vada ad interferire con le opere da realizzare.



Pericolosità Idraulica.

In riferimento alla pericolosità idraulica dall'AdB Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Basilicata, nell'immediato intorno la zona di studio non si rileva nessun livello di criticità idraulica, come chiaramente indicato nella figura che segue.

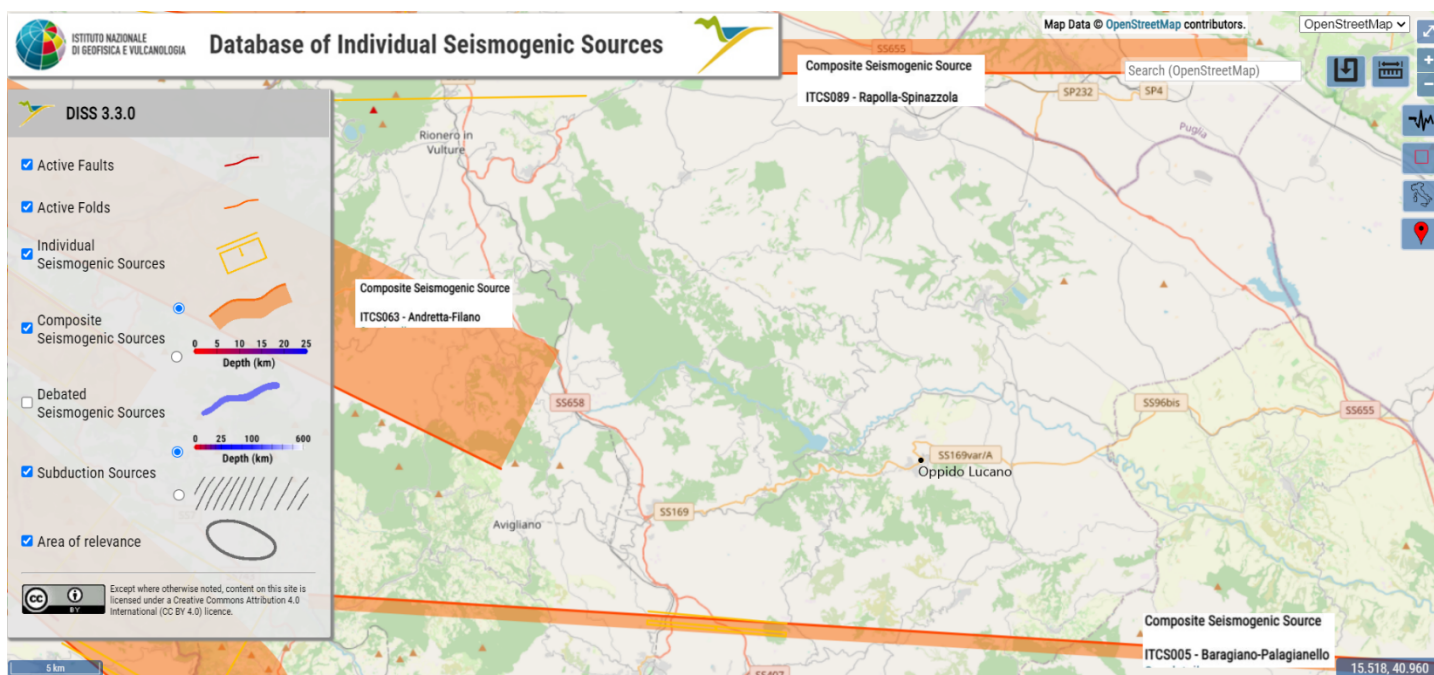


ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

8 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel territorio oggetto di studio l'attività sismica è riconducibile a diverse zone sismogenetiche. In particolare, facendo riferimento al Progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile individuare almeno tre sorgenti sismogenetiche, comprese in un raggio inferiore ai 20 km dal centro abitato: *Sorgente Composita ITCS063 ANDRETTA- FILANO*, *Sorgente Composita ITCS005 - BARAGIANO-PALAGIANELLO* e *Sorgente Composita ITCS089 - RAPOLLA-SPINAZZOLA* (vedi fig.6). Le strutture sismogenetiche sono caratterizzate sia da meccanismi di rottura di tipo diretto (dip-slip), lungo il settore assiale della catena appenninica, sia da faglie ad orientazione circa EW con cinematica trascorrente (strike-slip). Tuttavia, come per tutta la Regione Basilicata, le criticità maggiori in termini di attività sismica riguardano le sorgenti presenti nell'area dell'Alta Val d'Agri.

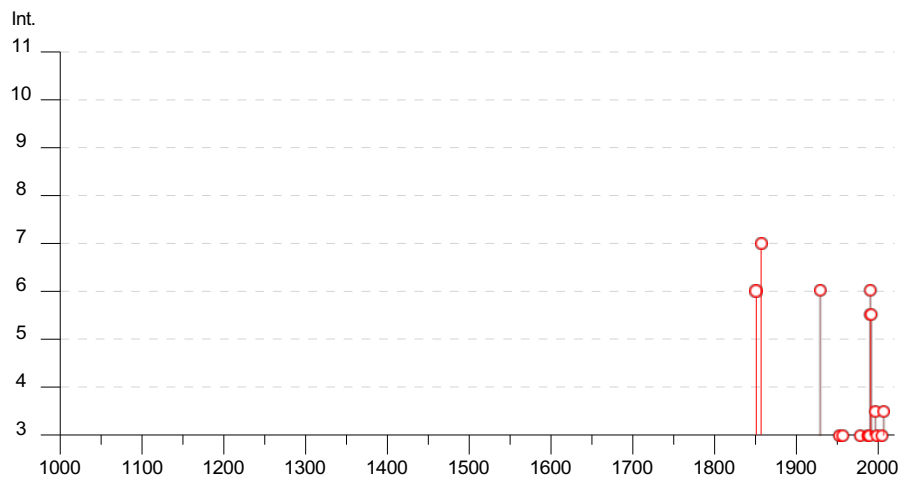
I cataloghi storici e strumentali riportano una attività sismica di rilievo o particolari concentrazioni di terremoti, sebbene il territorio di Oppido Lucano sia prossimo all'area epicentrale del terremoto storico avvenuto nel potentino nel 1273 con intensità pari al IX grado MCS (De Vivo et alii, 1979; Postipischl, 1985). Il sisma del 1857 in Val d'Agri (The Great Napolitan Earthquake of 1857) è stato risentito con un'intensità dell'VIII grado MCS. Più recentemente nel periodo 1989-91 in un'area di raggio di 20 Km da Oppido Lucano sono stati registrati circa trenta eventi con attività fino al VII grado.



Di seguito si riportano gli eventi catalogati e il grafico della distribuzione temporale della magnitudo, presi dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2015 creato dal INGV.

Oppido Lucano

PlacelD IT_63178
 Coordinate (lat, lon) 40.764, 15.993
 Comune (ISTAT 2015) Oppido Lucano
 Provincia Potenza
 Regione Basilicata
 Numero di eventi riportati 20

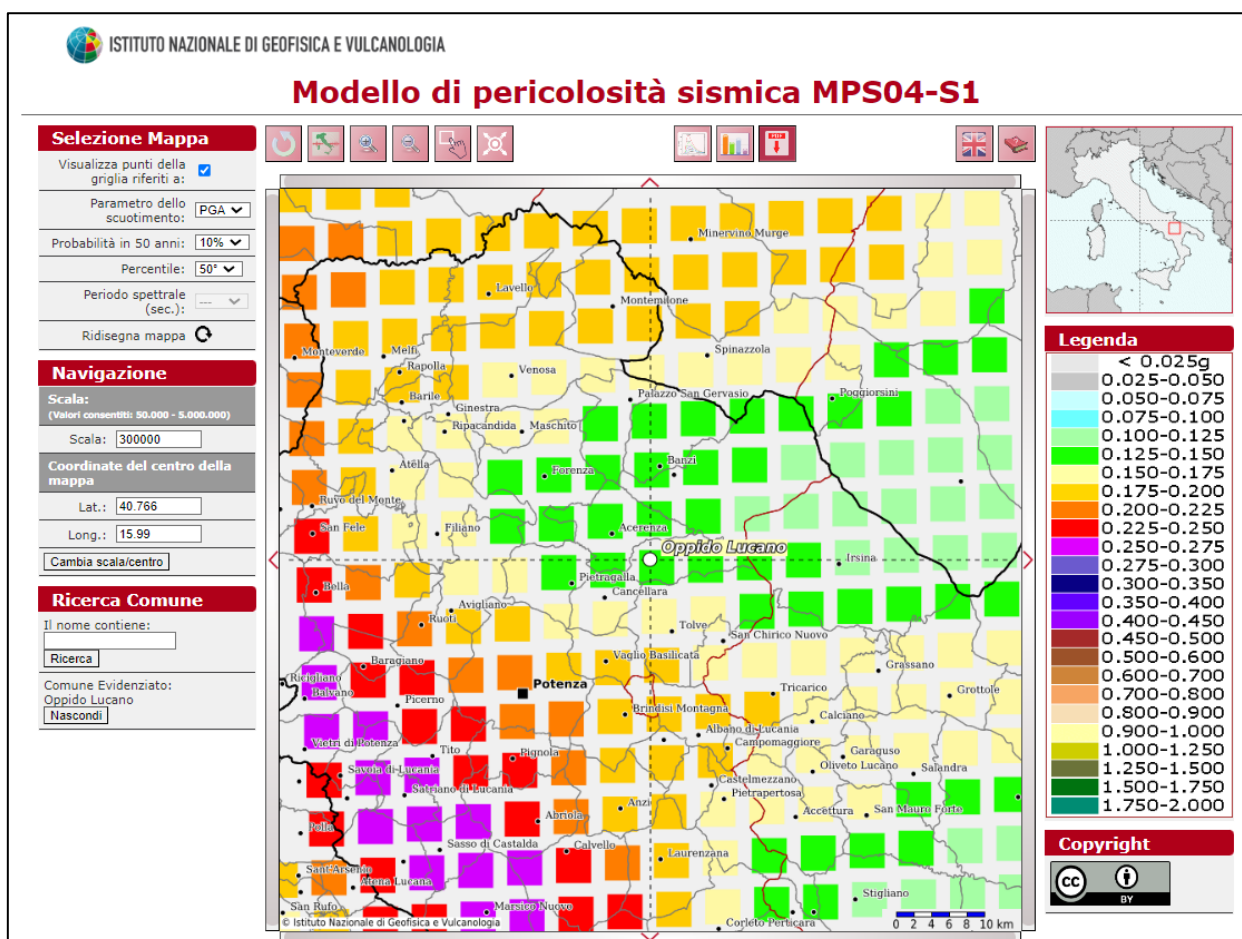


Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1851	08	14	13	20		Vulture	103	10	6.52
7	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11	7.12
6	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
3	1953	02	25	00	07	4	Vibonese	56	5-6	4.88
2	1956	01	09	00	44		Materano	45	6	4.72
3	1957	05	03	03	29	3	Potentino	36	5	4.09
3	1978	09	24	08	07	4	Materano	121	6	4.75
NF	1983	02	02	08	14	1	Potentino	42	5	4.35
NF	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
NF	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
3	1987	01	28	05	33	2	Potentino	62	5	4.54
3	1989	05	29	11	19	1	Appennino lucano	77	5	4.34
6	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
5-6	1990	08	28	19	02	5	Potentino	84		4.21
5-6	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
3-4	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6	4.90
3	1998	04	26	05	38	0	Potentino	67	4-5	3.76
NF	2002	04	18	20	56	4	Appennino lucano	164	5	4.34
3	2004	02	24	05	21	2	Appennino lucano	140	5	4.21
3-4	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64

Località	EQs	Distanza (km)
Acerenza	36	6
Cancellara	21	7
Tolve	29	8
Pietragalla	26	10

Modello di Pericolosità Sismica del Territorio MPS04-S1

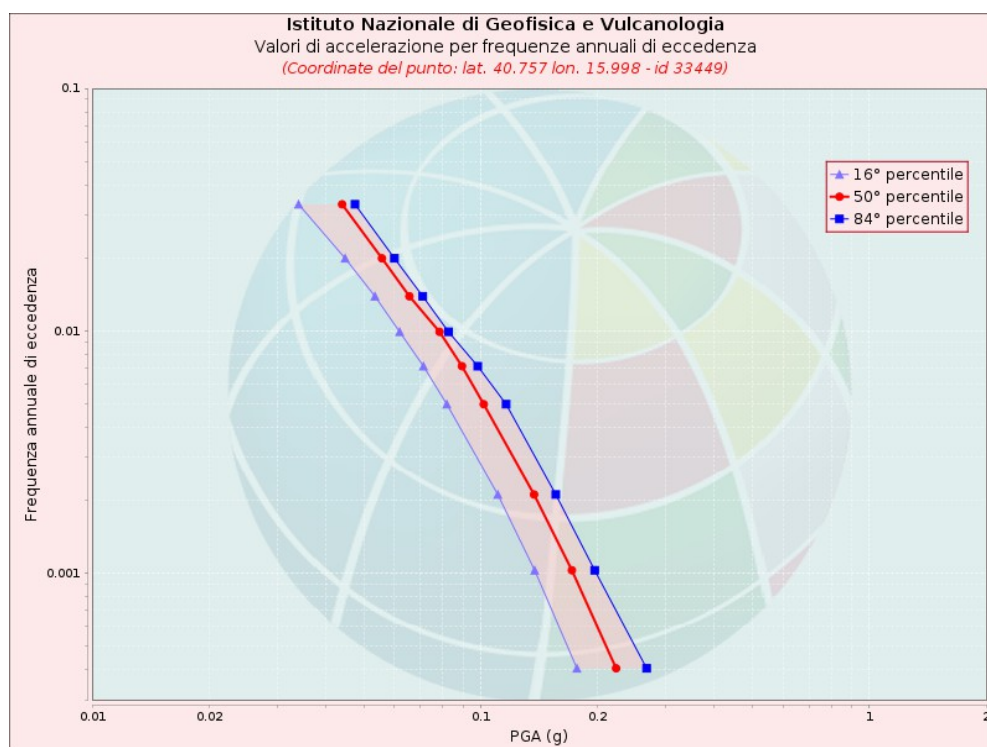
La mappa di seguito allegata rappresenta uno stralcio del modello di pericolosità sismica dell'Italia, nel particolare caso è riferita all'intera Regione Basilicata. I diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, Vs30 > 800 m/s) e pianeggiante.



Inserendo le coordinate del sito che ci interessa, *Latitudine: 40.766- Longitudine: 15.99*, si individua *un nodo della griglia di calcolo* che nel caso specifico è identificato con l'*ID: 33449* (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Curva di pericolosità.

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

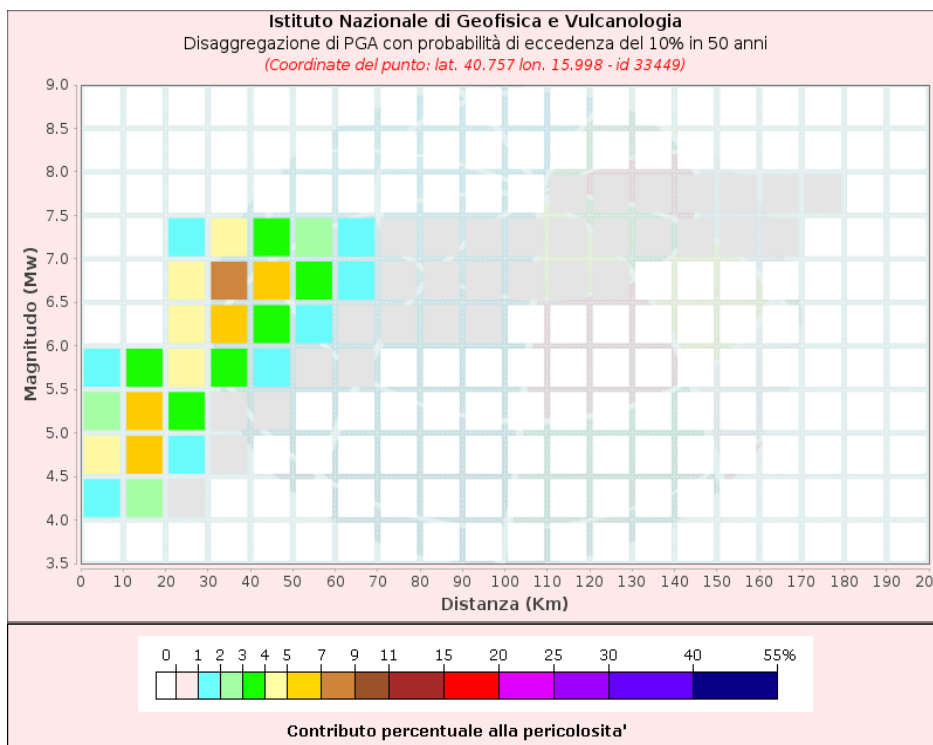


Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.177	0.223	0.267
0.0010	0.138	0.172	0.197
0.0021	0.111	0.137	0.156
0.0050	0.082	0.102	0.116
0.0071	0.071	0.090	0.098
0.0099	0.062	0.078	0.083
0.0139	0.053	0.066	0.071
0.0199	0.045	0.056	0.060
0.0332	0.034	0.044	0.048

Grafico di disaggregazione.

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale dalla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni											
Distanza in Km	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	1.9100	4.0000	2.5900	1.0600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	2.4200	6.7900	6.2600	3.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.1120	1.3600	3.1700	4.0900	4.0400	4.9300	1.1900	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0246	0.9330	3.1900	6.0100	8.9200	4.2900	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0648	1.2800	3.7300	6.8400	3.9400	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2480	1.6300	3.7500	2.3500	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0099	0.4450	1.4600	1.1200	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0846	0.5480	0.6080	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.2340	0.3470	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.1030	0.2020	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0352	0.1150	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0090	0.0646	0.0021	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0361	0.0084	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0185	0.0067	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0079	0.0046	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024	0.0028	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0014	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 6.06 ; distanza = 31.9 ; epsilon = 1.49

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

9 INDAGINI ESEGUITE

Per delineare i principali caratteri litostratigrafici, valutare il comportamento geotecnico del terreno e definire la caratterizzazione sismica delle aree coinvolte direttamente dalle opere in fase di progettazione, il rilevamento di superficie è stato integrato con una serie di indagini in sito, suddivise nel seguente modo:

- n° 1 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH;
- n° 1 prospezione geofisica con metodologia MASW;

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Masc soc cop Descrizione: Localita': Oppido Lucano	
---	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPL-DPM-DPH-DPSH

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

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

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt}. Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_i \cdot N$$

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

- M peso massa battente.
- M' peso aste.
- Haltezza di caduta.
- Aarea base punta conica.
- δ passo di avanzamento.

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

- Rpd resistenza dinamica punta (area A).
e infissione media per colpo (δ/N).
M peso massa battente (altezza caduta H).
P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

- ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione

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

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

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

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale

eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare, consente di ottenere informazioni su:

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

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m 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 m. sopra falda e < 7 m 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° .

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

- 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 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE 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 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- 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 (E_y)

- 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.

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981). Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- 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.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli - correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (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.

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

- 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 $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975), - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a medio-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (E_{ed}) (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 (E_Y)

- 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.

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA Nr.1

Strumento utilizzato DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 02/12/2023

Profondita' prova 8,80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	1	0,855	0,88	1,03	44,03	51,52
0,40	1	0,851	0,88	1,03	43,83	51,52
0,60	1	0,847	0,80	0,95	40,05	47,28
0,80	1	0,843	0,80	0,95	39,88	47,28
1,00	2	0,840	1,59	1,89	79,42	94,57
1,20	2	0,836	1,58	1,89	79,09	94,57
1,40	4	0,833	3,15	3,78	157,53	189,14
1,60	3	0,830	2,17	2,62	108,74	131,08
1,80	2	0,826	1,44	1,75	72,21	87,39
2,00	1	0,823	0,72	0,87	35,97	43,69
2,20	1	0,820	0,72	0,87	35,83	43,69
2,40	4	0,817	2,86	3,50	142,81	174,77
2,60	5	0,814	3,31	4,06	165,32	203,04
2,80	6	0,811	3,95	4,87	197,70	243,65
3,00	8	0,809	5,25	6,50	262,71	324,86

ENGIE OPPIDO S.R.L.		Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica			Cod. S315-GE01-R		
					Dic 2023	Rev. 00	
3,20	8	0,806	5,24	6,50	261,84	324,86	
3,40	10	0,803	6,52	8,12	326,24	406,08	
3,60	12	0,801	7,29	9,10	364,52	455,16	
3,80	11	0,798	6,66	8,34	333,12	417,23	
4,00	10	0,796	6,04	7,59	301,93	379,30	
4,20	10	0,794	6,02	7,59	301,05	379,30	
4,40	15	0,741	8,44	11,38	421,84	568,95	
4,60	15	0,739	7,89	10,67	394,57	533,75	
4,80	16	0,737	8,39	11,39	419,65	569,33	
5,00	19	0,735	9,94	13,52	496,93	676,08	
5,20	21	0,683	10,21	14,94	510,37	747,24	
5,40	24	0,681	11,63	17,08	581,61	853,99	
5,60	39	0,579	15,14	26,14	756,86	1306,88	
5,80	36	0,627	15,13	24,13	756,72	1206,36	
6,00	36	0,625	15,09	24,13	754,55	1206,36	
6,20	41	0,574	15,76	27,48	788,24	1373,90	
6,40	39	0,572	14,95	26,14	747,56	1306,88	
6,60	25	0,670	10,61	15,83	530,67	791,62	
6,80	26	0,669	11,01	16,47	550,57	823,29	
7,00	26	0,667	10,99	16,47	549,28	823,29	
7,20	26	0,666	10,96	16,47	548,02	823,29	
7,40	34	0,614	13,22	21,53	661,20	1076,61	
7,60	34	0,613	12,50	20,41	625,22	1020,43	
7,80	34	0,611	12,48	20,41	623,78	1020,43	
8,00	49	0,560	16,47	29,41	823,41	1470,62	
8,20	51	0,559	17,10	30,61	854,96	1530,64	
8,40	52	0,557	17,39	31,21	869,68	1560,65	
8,60	55	0,556	17,44	31,38	872,22	1568,82	
8,80	60	0,555	18,99	34,23	949,37	1711,44	

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica		Cod. S315-GE01-R	
			Dic 2023	Rev. 00

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (KN/m ³)	Peso unita' di volume saturo (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlazione con Nspt	NSPT	Descrizione
2,2	1,73	1,6	Incoerente	0	14,02	18,34	15,42	1,47	2,54	sabbioni superficiali
5,4	12,12	9,07	Incoerente	0	19,12	19,32	61,44	1,47	17,82	sabbioni intermedi
8,8	39	24,26	Incoerente	0	22,26	21,18	129,87	1,47	57,33	sabbioni profondi

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	12,07	36,15	43,39	13,97
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	41,7	76,97	76,66	47,85
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	60,31	100	100	87,15

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica								Cod. S315-GE01-R	
									Dic 2023	Rev. 00

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hans Thornburn-Meyerhof (1956)	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977)	Mitchell & Katti (1981)	Shioini (1982) (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owaski & Iwasaki
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	27,73	20,73	28,71	30,53	30,61	0	<30	21,17	27,76	21,94	22,13
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	32,09	25,09	32,99	30,68	36,4	38,78	30-32	31,35	32,35	27,54	33,88
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	43,38	36,38	44,05	30,95	42,69	42	>38	44,32	44,2	29,32	48,86

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolonia ed altri (1970) (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	---	1,99	---	---	---
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	29,55	13,98	20,69	30,76	16,09
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	53,00	44,98	66,41	59,82	35,47

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman- Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbac h e Malcev (Sabbia media)
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	---	3,20	1,77	4,84
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	10,49	6,28	12,41	11,52
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	33,73	14,24	39,92	28,80

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (KN/m ³)
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	Terzaghi-Peck 1948	13,52
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	Terzaghi-Peck 1948	15,41
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	Terzaghi-Peck 1948	18,57

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (KN/m ³)
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	Terzaghi-Peck 1948	18,23
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	Terzaghi-Peck 1948	19,40
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	Terzaghi-Peck 1948	21,34

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	(A.G.I.)	0,35
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	(A.G.I.)	0,32
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	(A.G.I.)	0,24

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	15,31	21,67
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	95,56	71,24
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	286,62	145,48

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	Ohta & Goto (1978) Limi	81,87
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	Ohta & Goto (1978) Limi	145,69
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	Ohta & Goto (1978) Limi	201,19

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54		---
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82		---
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] - sabbioni superficiali	2,54	2,20	2,54		---
[2] - sabbioni intermedi	17,82	5,40	17,82		---
[3] - sabbioni profondi	57,33	8,80	57,33		---

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00



GeoStru C.FISC: P.IVA:	Via: Via G. Verdi 00120 Roma - Roma Tel: (+39) 06 90 28 90 85 - Fax: (+39) 06 90 28 90 85 Email: info@geostru.eu Web: www.geostru.eu
---------------------------------------	---

	Data: dicembre 2023
	Il committente
	IL Tecnico Dott. Geol. Vittorio Emanuele Iervolino
	Il Progettista
Pericolosità sismica	

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

PREMESSA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo, la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare il *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.1. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.1 – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_U = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $C_U = 2.0$;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso **$C_U = 1$** .

Ricavati i valori di V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Gli stati limite ultimi sono:

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

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Tabella 3.1- Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $V_R = 50$ anni, il tempo di ritorno T_R sarà:

Tabella 3.2- Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$T_R = 30$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$T_R = 50$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$T_R = 475$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$T_R = 975$

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

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.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e T_c^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Tabella 4.1- Stralcio della tabella contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

ID	LON	LAT	$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$			$T_R = 101$		
			a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{V_R} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'**Allegato A** alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_0, T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_{1, 2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1, 2}$.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_0, T_C^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

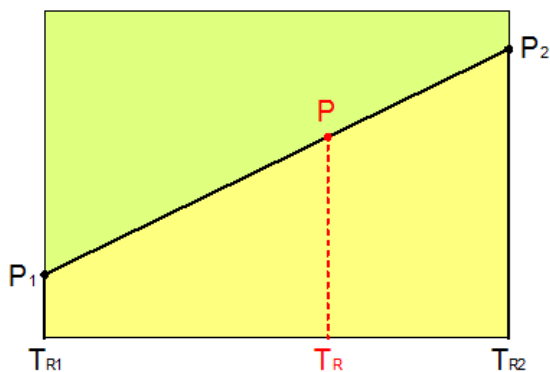


Figura 4.1 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2

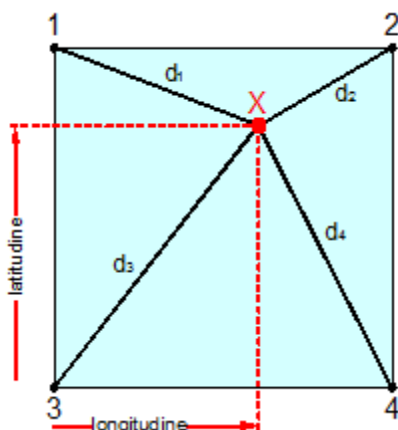


Figura 4.2 - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto, per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $\text{lat}\alpha$, $\text{lon}\alpha$, $\text{lat}\beta$ e $\text{lon}\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

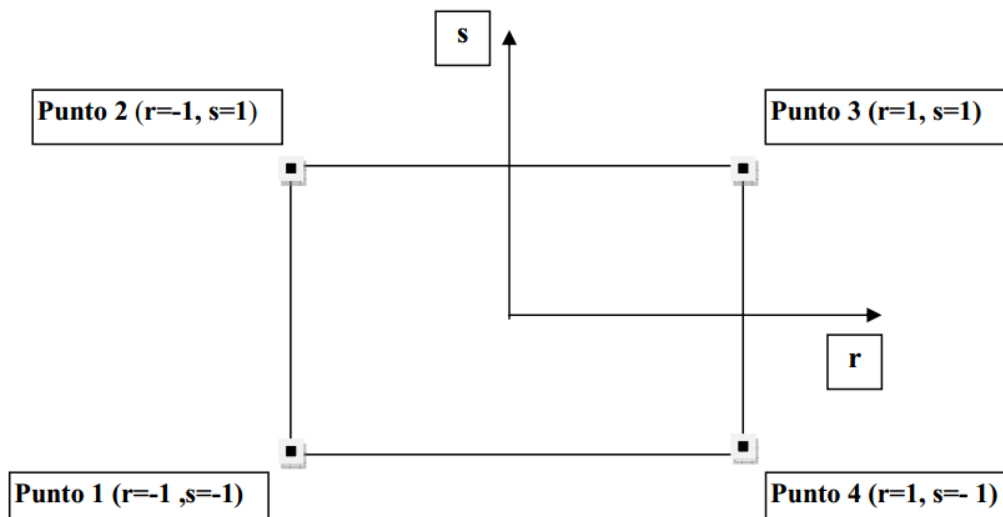


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate x , y di un punto generico e le coordinate r , s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s , si determinano i parametri a_g , F_0 , T_c^* dall'equazione:

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella 5.1- *Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.*

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E), e del rapporto a_g/g . S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

$$\mathbf{T1: } S_T = 1.0; \mathbf{T2: } S_T = 1.20; \mathbf{T3: } S_T = 1.20; \mathbf{T4: } S_T = 1.40.$$

Fronti scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali; specificamente mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e della capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come

$$F_H = k_H \cdot W \text{ ed } F_V = k_V \cdot W$$

con k_H e k_V rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale definiti nel § 7.11.3.5.2 e adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

$$\beta_s = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

$$\beta_s = 0.47 \text{ nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD)}.$$

Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione [6.2.1]) impiegando lo stesso approccio di cui al § 6.8.2 per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

Si deve inoltre tener conto della presenza di manufatti interagenti con l'opera.

Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.5)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.6)$$

Con:

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati di seguito.

$\beta_m = 0.38$ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

I valori del coefficiente β_m possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di in Figura 5.2.

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.7)$$

S è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_S e di amplificazione topografica S_T .

a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Paratie

In mancanza di studi specifici, a_h (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco a_{\max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max} \quad (5.8)$$

dove:

g è l'accelerazione di gravità;

k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 5.1:

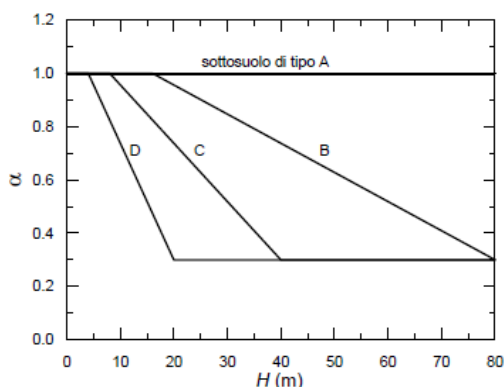


Figura 5.1 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α .

Per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente V_s . Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi $\alpha = 1$. Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 5.2, in funzione del massimo spostamento u_s che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per $u_s = 0$ si ha $\beta = 1$; $u_s \leq 0.005 \cdot H$

Se $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$ deve assumersi $k_h = 0.2 \cdot a_{\max}/g$

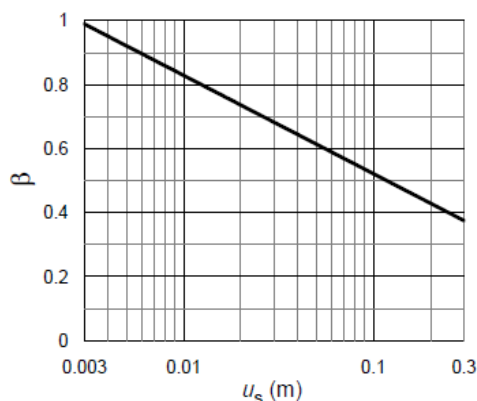


Figura 5.2 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

L'accelerazione di picco a_{\max} è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.9)$$

dove:

S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

ENGIE OPPIDO S.R.L.	Relazione Geologica, di Caratterizzazione Geotecnica e di Compatibilità Sismica	Cod. S315-GE01-R	
		Dic 2023	Rev. 00

PERICOLOSITÀ SISMICA

Data: 02/12/2023

Vita nominale (Vn): 50 [anni]
 Classe d'uso: II
 Coefficiente d'uso (Cu): 1
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 40,7653503 [°]
 Longitudine (WGS84): 16,0265408 [°]
 Latitudine (ED50): 40,7663383 [°]
 Longitudine (ED50): 16,0273705 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	33449	40,757180	15,998170	2661,81
2	33450	40,755700	16,064090	3311,06
3	33228	40,805680	16,066110	5456,75
4	33227	40,807160	16,000090	5087,32

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,461	0,281
SLD	50	0,056	2,479	0,321
	72	0,066	2,524	0,337
	101	0,078	2,451	0,348
	140	0,090	2,477	0,363
	201	0,102	2,483	0,403
SLV	475	0,137	2,596	0,427
SLC	975	0,172	2,597	

Ottaviano, 04 dicembre 2023

Geol. Vittorio Emanuele Iervolino