



**REGIONE CAMPANIA
PROVINCIA DI CASERTA
COMUNI DI SANTA MARIA LA FOSSA E GRAZZANISE**



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO
DENOMINATO "BOSCO CAMMINO" DELLA POTENZA DI 79,21 MWp**



STARENERGIA SRL
SEDE LEGALE: VIA M. SCHIPA, N° 100
800122 NAPOLI - P.IVA 05769401216
PEC: STARENERGIA@PEC.IT

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA
e di COMPATIBILITA' SISMICA**

PROGETTISTA	PROPONENTE	SCALA
 <p>geol. IERVOLINO GEOLOGIA APPLICATA e PEDOLOGIA via Trofa, 5 Ottaviano (NA) cell. 3203539199 email: vittorioemanueleiervolino@gmail.com www.geologoiervolino.it</p>  	<p>CAMPANIA SOLARE S.R.L. via F. Giordani, 42 800122 Napoli tel 0810607743 Rea - NA1051228 - CF/P.IVA 09700581219 mail: campaniasolare@starenergia.com pec: campaniasolare@pecditta.com Cod. Univoco: SRU082D</p>	<p>TAVOLA</p> <p>RDS-01</p>

Revisione e Coordinamento: ing. Roberto Caldara

Rev: 00	Data: 07/06/2021	Note:

Sommario

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE	5
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOMORFOLOGIA.....	6
4	GEOLOGIA.....	8
4.1	Geologia di Vasta Area	8
4.2	Geologia dell'Area di Studio	8
5	GEOTECNICA.....	13
5.1	Indagini Geognostiche realizzate.....	13
5.1.1	Prova Penetrometrica CPT 1	16
5.1.2	Prova Penetrometrica CPT 2.....	18
5.1.3	Prova Penetrometrica CPT 3.....	20
5.1.4	Analisi di Laboratorio.....	24
6	IDROGEOLOGIA	26
7	DISSESTO IDROGEOLOGICO	28
8	COMPATIBILITÀ SISMICA	30
8.1	Sismicità Storica	30
8.2	Sorgenti Sismiche di Progetto.....	31
8.2.1	Progetto DISS.....	32
8.2.2	Progetto ITHACA.....	33
8.3	Pericolosità Sismica di Base	34
8.3.1	Indagine Sismica Masw Realizzata.....	35
8.4	Pericolosità Sismica di Base Area di Studio	36
8.4.1	Curva di pericolosità	38
8.4.2	Spettri a pericolosità uniforme	39
8.4.3	Grafico di Disaggregazione	40
9	VERIFICHE A LIQUEFAZIONE	41

Allegati

Certificati indagini geognostiche in situ e in laboratorio

Tavole Cartografiche

- Carta di Inquadramento territoriale
- Carta Geomorfologica
- Carta Geolitologica
- Carta dell'Ubicazione delle Indagini Geognostiche Realizzate
- Carta Idrogeologica
- Carta delle Pendenze
- Carta della Pericolosità da Frana
- Carta della Pericolosità Idraulica
- Carta della Caratterizzazione Sismica

1 Premessa

Campania Solare srl intende realizzare un impianto fotovoltaico di 79,21 MWp tra i comuni di Santa Maria la Fossa e Grazzanise, in località Bosco Cammino ed ha commissionato la presente Relazione Geologica, Geotecnica e di compatibilità Sismica allo scrivente geol. V.E. Iervolino, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania con n° 2392.

Questo lavoro si basa su indagini geognostiche eseguite in situ e nello specifico sono state realizzate in data 07/05/2021 e 19/07/2021 n°4 prove penetrometriche statiche CPT con il prelievo di un campione per le opportune analisi di laboratorio e n° 2 prove sismiche MASW, oltre che preso a riferimento un sondaggio geognostico realizzato nell'area di intervento nei mesi precedenti per un progetto analogo, spinto fino a 25m di profondità dal piano campagna. Pertanto, citando testualmente la normativa vigente (NTC2018), in questo studio specialistico sono state dettagliate << sulla base di specifici rilievi ed indagini geognostiche in situ e in laboratorio), l'identificazione delle formazioni presenti, lo studio dei tipi litologici, la struttura e i caratteri fisici del sottosuolo >> oltre che illustrati e caratterizzati gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e sismici nonché i conseguenti livelli di pericolosità geologica (6.2.1 NTC 2018).

In dettaglio il lavoro in oggetto si basa su:

Topografia

- Carta Topografia dell'Istituto Geografico Militare 1:25.000 - Foglio 172 III-SE "Casal di Principe" (1957);
- Carta Tecnica Regionale 1 : 5.000 (2004-2005);
- Modello Digitale del Terreno TinItaly a 10m di risoluzione INGV (2012).

Geologia ed Idrogeologia

- Carta Geologica d'Italia 1:100.000 Foglio n°172 "Caserta" (1971);
- Carta Idrogeologica "Appennino Meridionale e Gargano" della Carta Idrogeologica dell'Italia Meridionale 1:250.000 dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici e il Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia dell'Università di Napoli Federico II (2007);

Dissesto Idrogeologico

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Ex Autorità di Bacino Liri Garigliano e Volturno (2016);
- 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., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A. 2021. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0 Ist. Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>);
- Catalogo delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane (DISS) (INGV, Database of Individual Seismogenic Sources, 2015);

Indagini Geognostiche Realizzate

- N° 4 prove penetrometriche statiche, spinte ognuna fino a 5m di profondità dal piano campagna, con il prelievo di un campione per le seguenti analisi di laboratorio: proprietà fisiche, analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione, prova di taglio diretto, prova edometrica;
- N° 2 prove sismiche MASW
- N° 50 trincee a circa 2m di profondità dal piano campagna (p.c.);
- N° 25 trivellate manuali, spinte fino a 1,5m di profondità dal p.c.;
- N° 1 sondaggio geognostico, spinto fino a 30m di profondità dal p.c., realizzato nei mesi precedenti per un progetto analogo, sempre nella zona di studio.

Questo lavoro segue la normativa vigente regionale e nazionale in materia di geologia e geotecnica (NTC2018), di dissesto idrogeologico (PAI – EX AdB Liri Garigliano e Volturno) e sismica (Pericolosità Sismica – INGV 2004-2006 / Catalogo delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane – INGV 2015).

2 Descrizione delle Opere

La proposta progettuale prevede la realizzazione di una centrale, con una superficie complessiva di progetto pari a 94 ha circa. L'impianto sarà composto da moduli bifacciali posizionati su tracker monoassiali orientati est-ovest con sistema intelligente di rotazione al sole, finalizzato alla massimizzazione della efficienza ed alla riduzione dell'utilizzo del suolo. Saranno realizzate strutture di supporto dei moduli, inseguitori solari monoassiali ed ancorate al terreno tramite infissione diretta ad una profondità idonea a contrastare l'azione del vento. Non saranno utilizzate fondazioni in cemento armato.

L'impianto (in viola nella figura che segue) sarà collegato alla stazione elettrica (in blu) da realizzare di località Basso Pantano della Riccia, nel comune di Canello ed Arnone, da un cavidotto (in arancione) lungo circa 7,8km.

Per ulteriori dettagli sulle varie componenti di impianto si rimanda alle relazioni specialistiche, allegate a questo Progetto.



Figura 1: Layout dell'impianto fotovoltaico da realizzare in località Bosco Cammino di 96ha

3 Inquadramento Territoriale e Geomorfologia

Il campo fotovoltaico è raggiungibile dal centro comunale di Santa Maria la Fossa attraverso la viabilità principale comunale e attraverso la S.S. n. 264, per poi immettersi sulla strada provinciale SP 260 ed è inoltre facilmente raggiungibile dal comune di Grazzanise attraverso le strade provinciali SP 203 ed SP 260.

La zona oggetto di questo studio dista circa 3km in direzione SSO dal centro urbano di Santa Maria la Fossa, circa 3km in direzione SSE da Grazzanise, quasi 5km in direzione NNO da San Cipriano d'Aversa e 5km in direzione NE da Villa Literno,

e viene ad essere localizzato in località Bosco Cammino, un'ampia piana alluvionale distante appena 900m in direzione Nord dai Regi Lagni e circa 4km in direzione Sud dal Fiume Volturno.

L'analisi dettagliata della topografica dell'area mostra una fitta serie di canali secondari che bordano in tutte le direzioni l'area di studio: Canale Fiumarella ad Ovest e Lago Vecchio ad Est ed a Sud.



Figura 2: Area di studio (in viola) su Carta Topografica IGM 1:25.000

Prendendo a riferimento il modello digitale del terreno Tintaly messo a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è stata ricavata con sistemi informativi geografici di ultima generazione (GIS) una carta delle acclività, in stralcio nella

figura che segue, ad identificare per l'intero territorio di nostro interesse (in viola) valori di pendenza del tutto trascurabili.

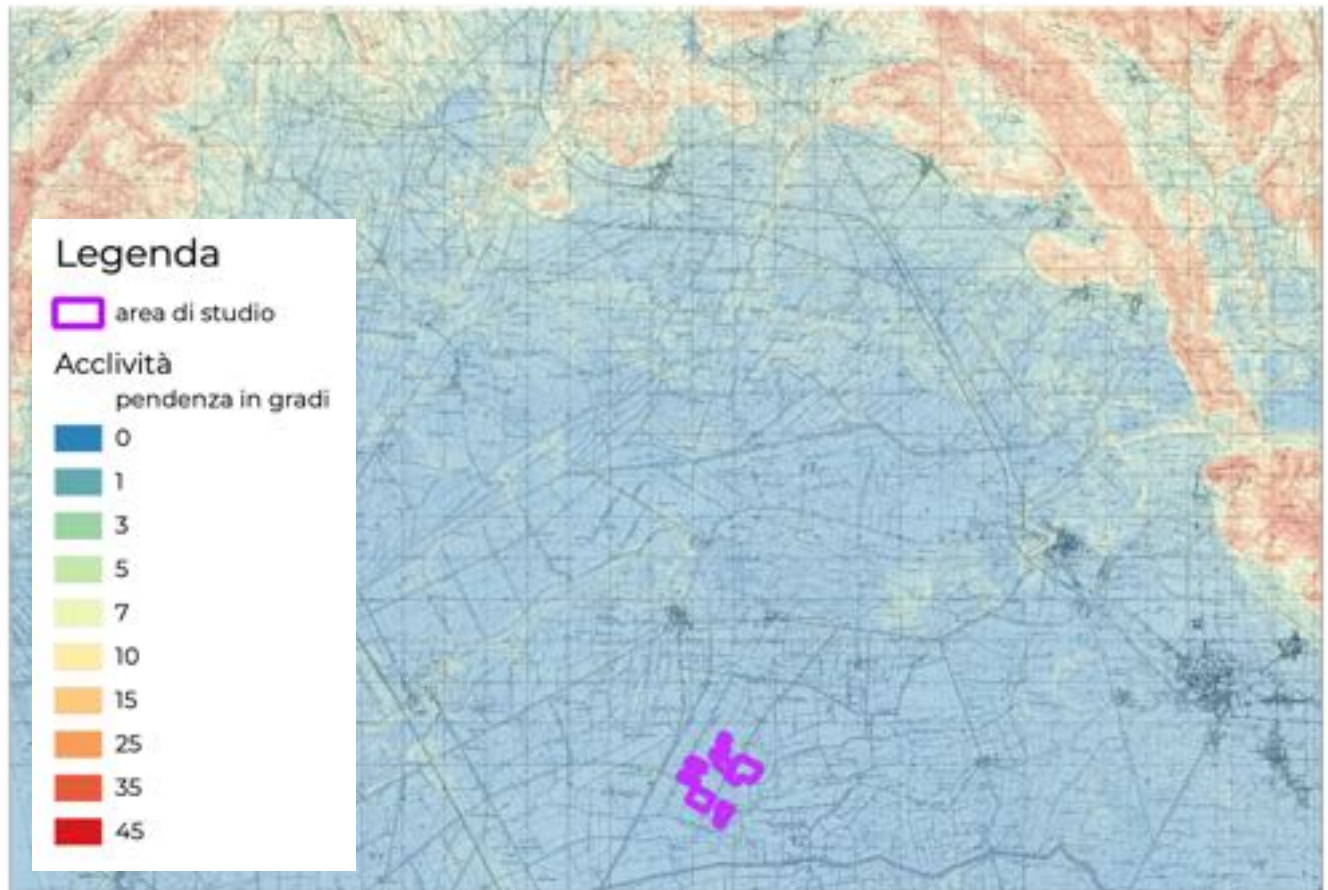


Figura 3: Stralcio Carta delle Acclività della valle del Fiume Volturno

L'altimetria si attesta su valori di 8-10m sul livello del mare, con un graduale decremento procedendo da Nord verso Sud. La morfologia è di piana alluvionale, con un profilo del terreno modificato dall'attività agricola dove per accelerare/migliorare il normale deflusso delle acque meteoriche è stato modificato il profilo naturale del terreno, accentuando le concavità (in prossimità dei canali artificiali) e le convessità (zone distanti dai canali artificiali) del sito.

4 Geologia

4.1 Geologia di Vasta Area

Prendendo a riferimento la Carta Geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 172 "Caserta", in stralcio nella figura che segue, l'area di studio (in viola) rientra nel settore centrale della Piana Campana, in cui affiorano terreni umiferi scuri e di colmata del basso Volturno ascrivibili a terreni limosi ed argillo-limosi grigio e verdognoli con sottostanti lapilli pomicei ed intercalazioni di torba, lenti arenitiche, terre nere ed alluvioni recenti.

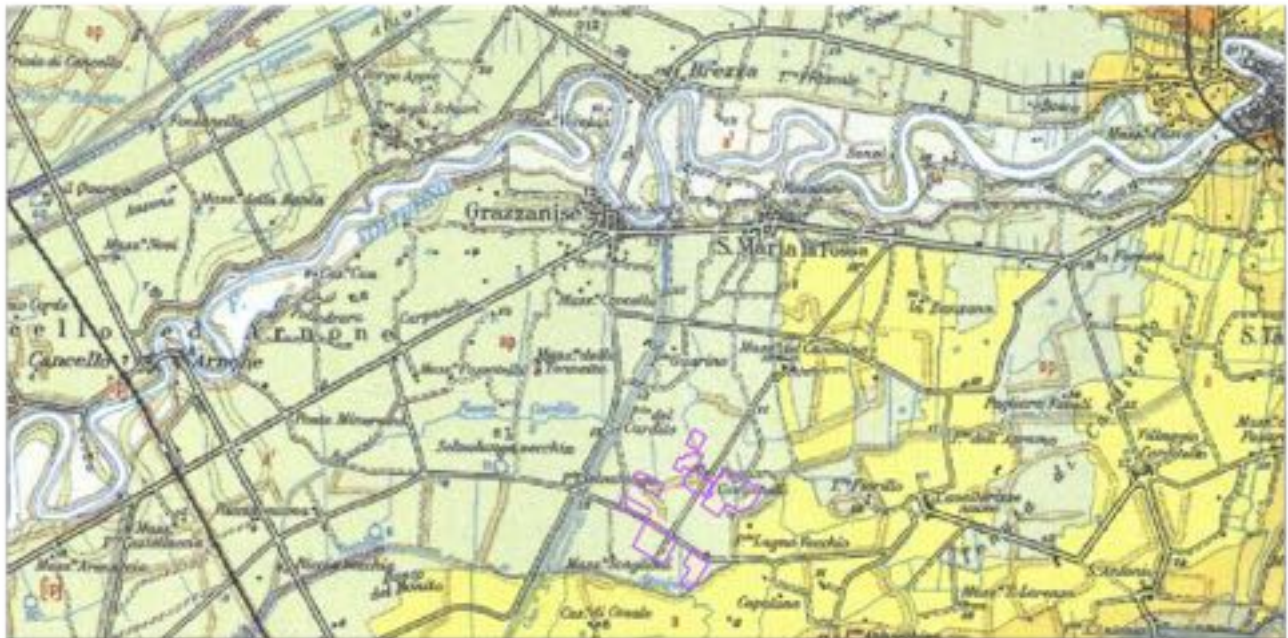


Figura 4: Stralcio Carta Geologica d'Italia - Foglio 172 "Caserta"

4.2 Geologia dell'Area di Studio

Nella zona di studio, in un rudere abbandonato, sono stati recuperati i resti di un sondaggio geognostico spinto fino a 25m di profondità dal piano campagna: cassette catalogatrici in ottimo stato di conservazione che hanno permesso di descrivere con estremo dettaglio la seguente successione stratigrafica:

- 0 – 7m limi argillosi grigiastri, ricchi di concrezioni calcaree e figure di ossidoriduzione a testimoniare ristagni idrici a vari livelli.

- 7m – 11 sabbia finissima omogenea grigio verdastra con abbondanti screziature rossastre
- 11 – 18m alternanza di sabbie fini e limi debolmente sabbiosi grigio verdastr
- 18 – 25m livello torboso nero-rossastro.

Segue colonna stratigrafica di dettaglio realizzata dallo Scrivente in data 12/03/2021.

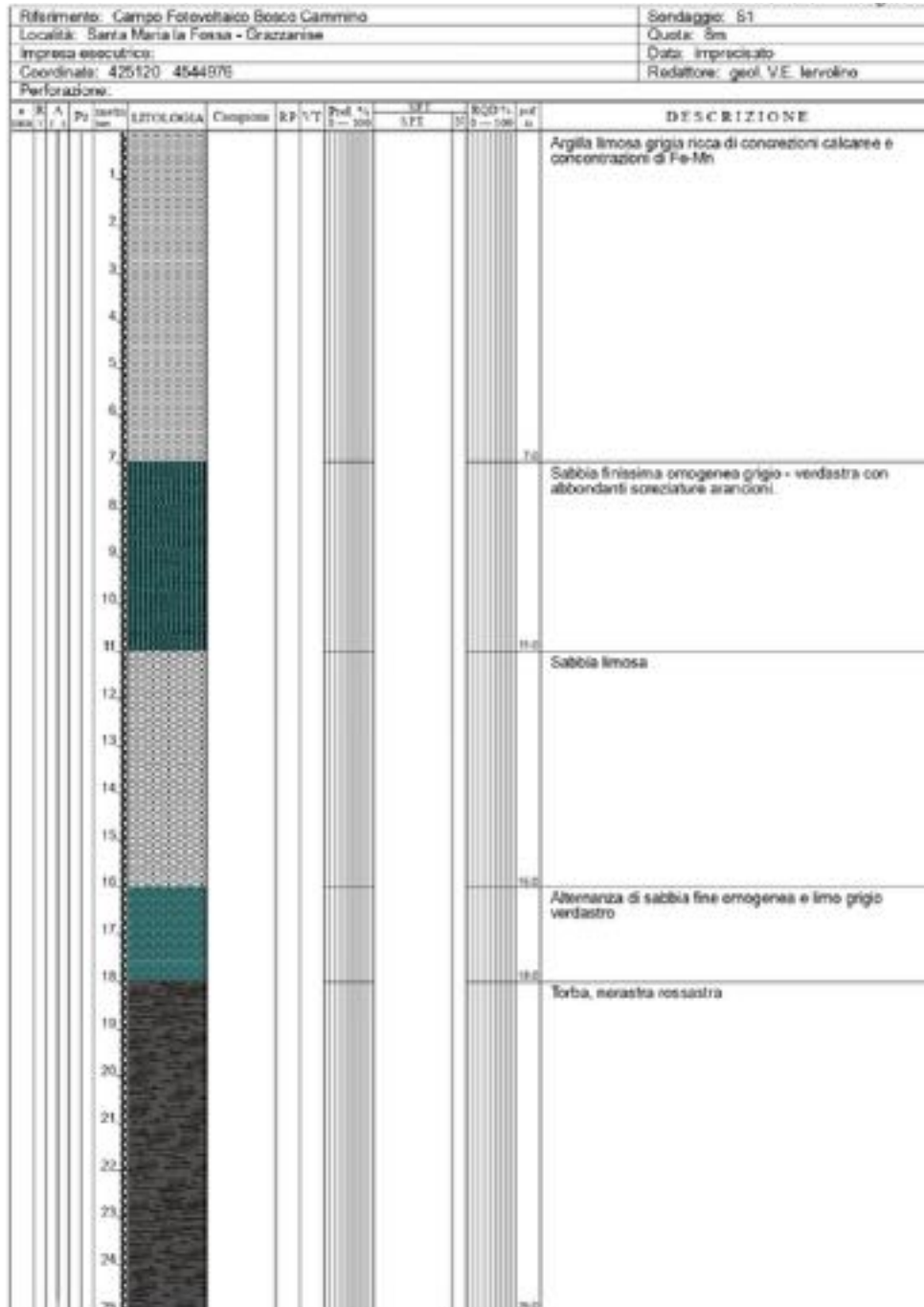
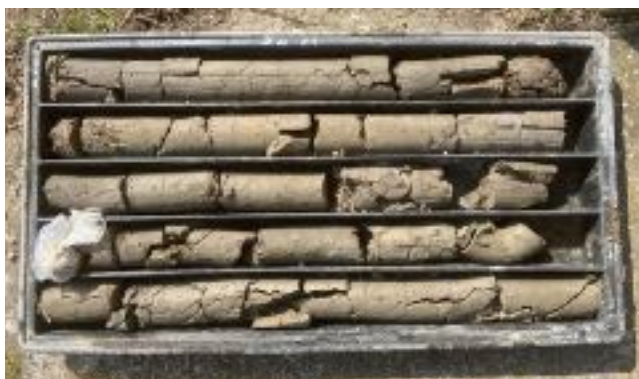


Figura 5: Sondaggio geognostico recuperato nella stona di studio

Nelle figure che seguono le cassette catalogatrici del sondaggio a 25m recuperato nella zona di studio, dove sono evidenti le litologie sondate, le caratteristiche cromatiche dei vari orizzonti, le screziature rossastre molto evidenti a circa 13m di profondità dal piano campagna e il caratteristico aspetto del materiale torboso, da 18m di profondità e fino a fondo foro.

Le cassette catalogatrici sono organizzate per ordinare i terreni sondati per una larghezza di 1 metro e suddivise in 5 scomparti (per una lunghezza totale di 5m).



Nella figura che segue, uno dei 50 profili pedologici realizzati a descrivere con estremo dettaglio i primi 1,5m di profondità dal piano campagna: terreni limosi argillosi molto compatti, con una falda a circa 1,5m di profondità dal piano campagna.



Figura 6: Scavo realizzato per lo studio pedologico dell'area - Profilo n°2 di 50 scavi realizzati

Alla luce di tutte le indagini geognostiche disponibili e realizzate (meglio dettagliate nel capitolo successivo) è stata realizzata la carta geologica, in stralcio nella figura che segue e allegata come tavola cartografica in formato A1, che evidenzia per la zona di studio (in viola) la presenza di terreni argillosi e argillosi limosi.

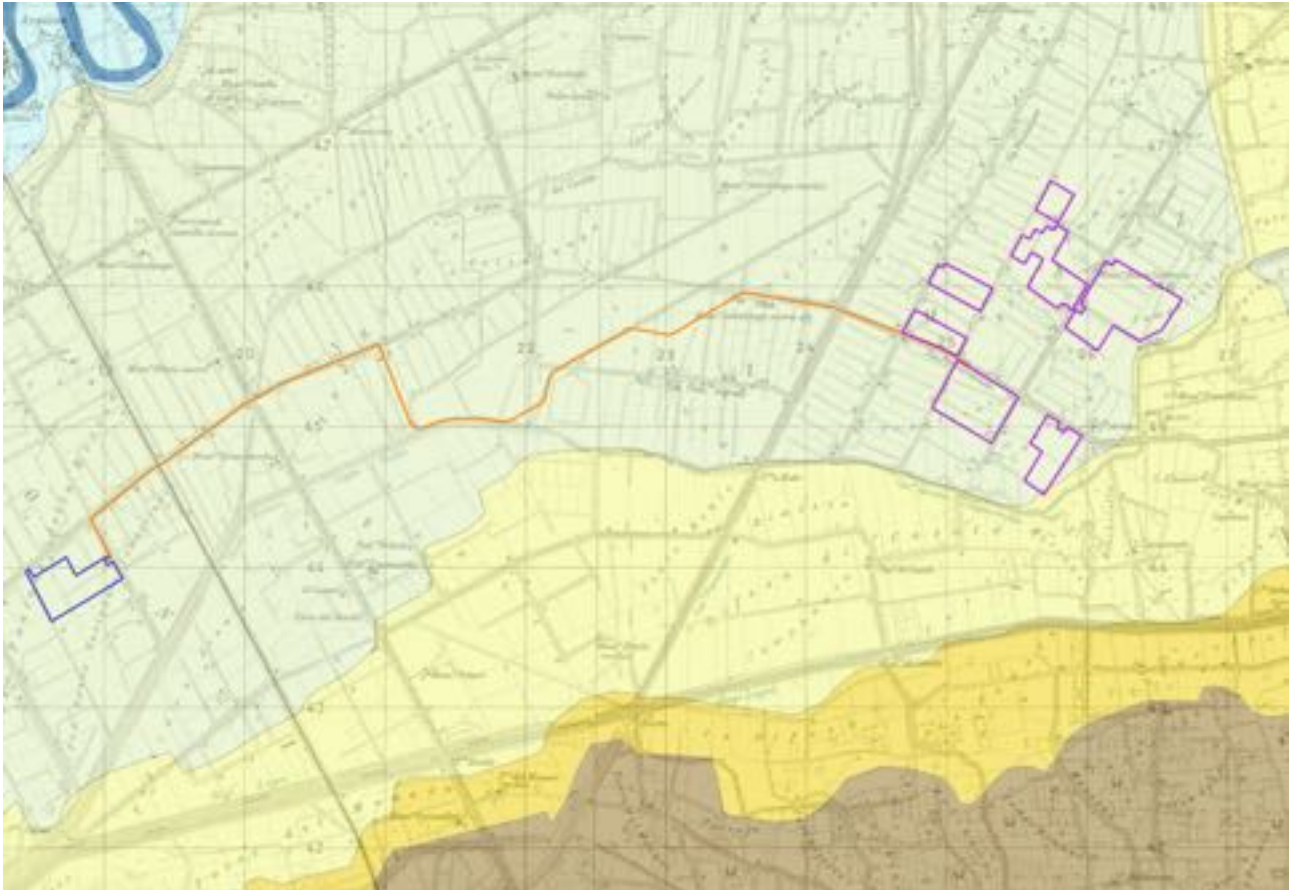


Figura 7: Stralcio Carta Geologica prodotta ed allegata come Tavola Cartografica

5 Geotecnica

5.1 Indagini Geognostiche realizzate

Per la caratterizzazione tecnica dei terreni di fondazione sono state realizzate indagini geotecniche sito-specifiche, come prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 ed in dettaglio:

- n° 4 prove penetrometriche statiche CPT, spinte fino a 5m di profondità dal piano campagna (CPT1 – CPT2 – CPT3 il 07/05/2021, CPT 4 il 19/07/2021);
- n° 2 prova sismica masw (MASW 1 il 07/05/2021 e MASW 2 il 19/07/2021);
- n° 50 trincee a circa 2m di profondità dal piano campagna (tra febbraio e maggio 2021)
- n° 25 trivellate con sonda manuale a circa 1,5m di profondità dal piano campagna (22-30 maggio 2021)



Figura 8: Ubicazione indagini geognostiche realizzate

CPT 1

Coordinate UTM: 426461 ; 4545594

**CPT 2**

Coordinate UTM: 425636 ; 4544003

**CPT 3**

Coordinate UTM: 425718 ; 4546192



CPT 4

Coordinate UTM: 425118 ; 4544972

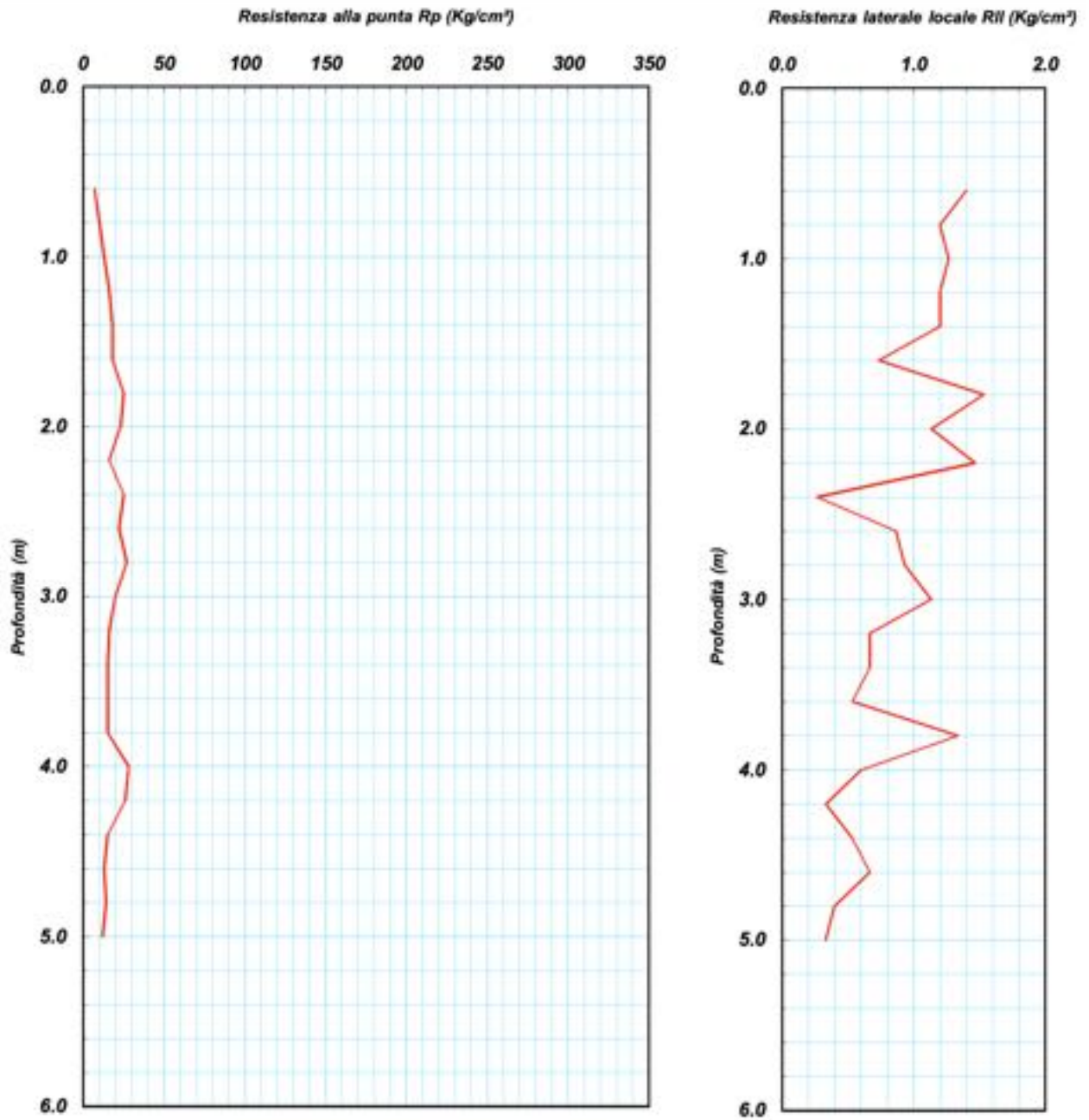


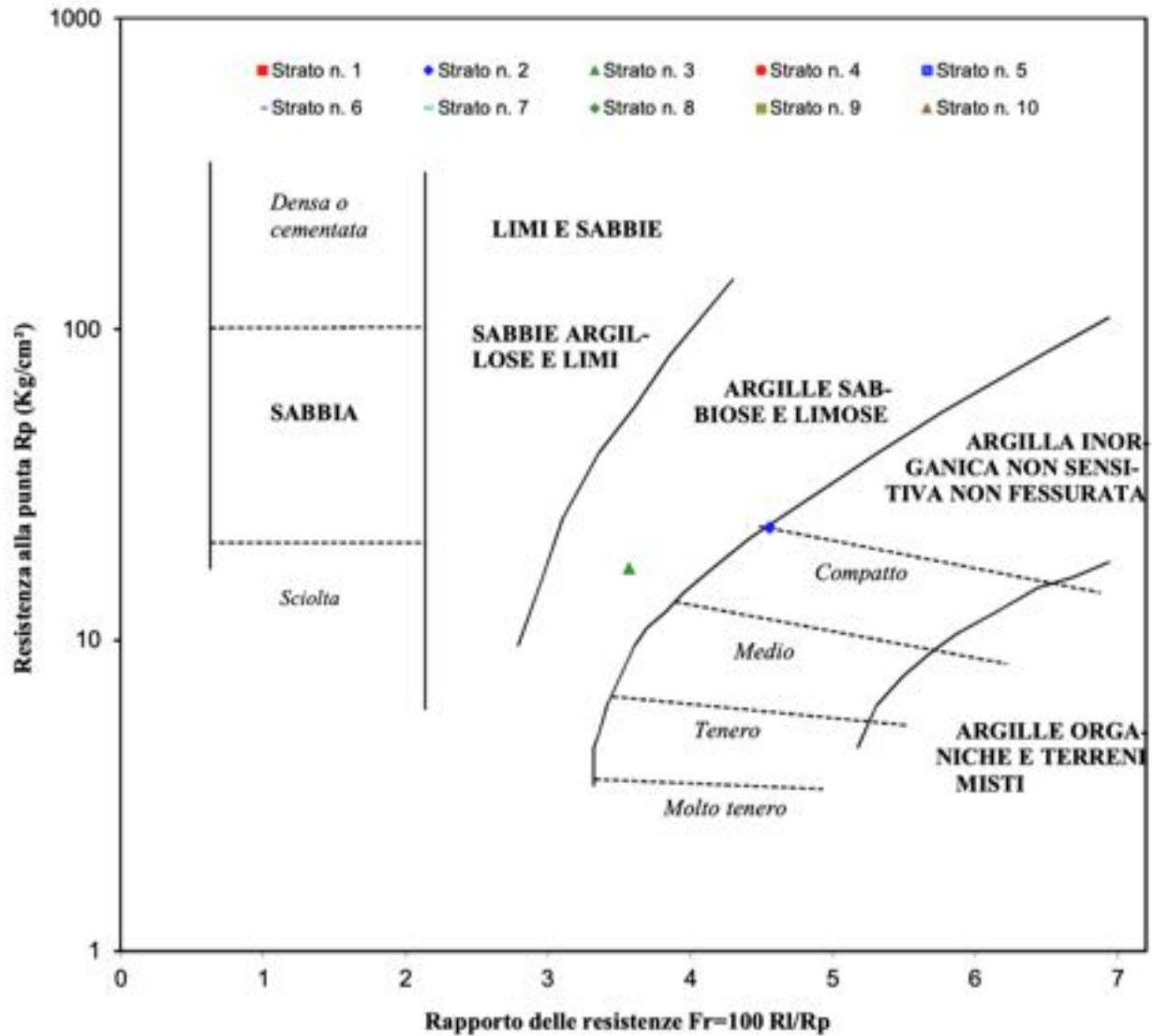
Sondaggio Geognostico

Coordinate UTM: 425118 ; 4544972



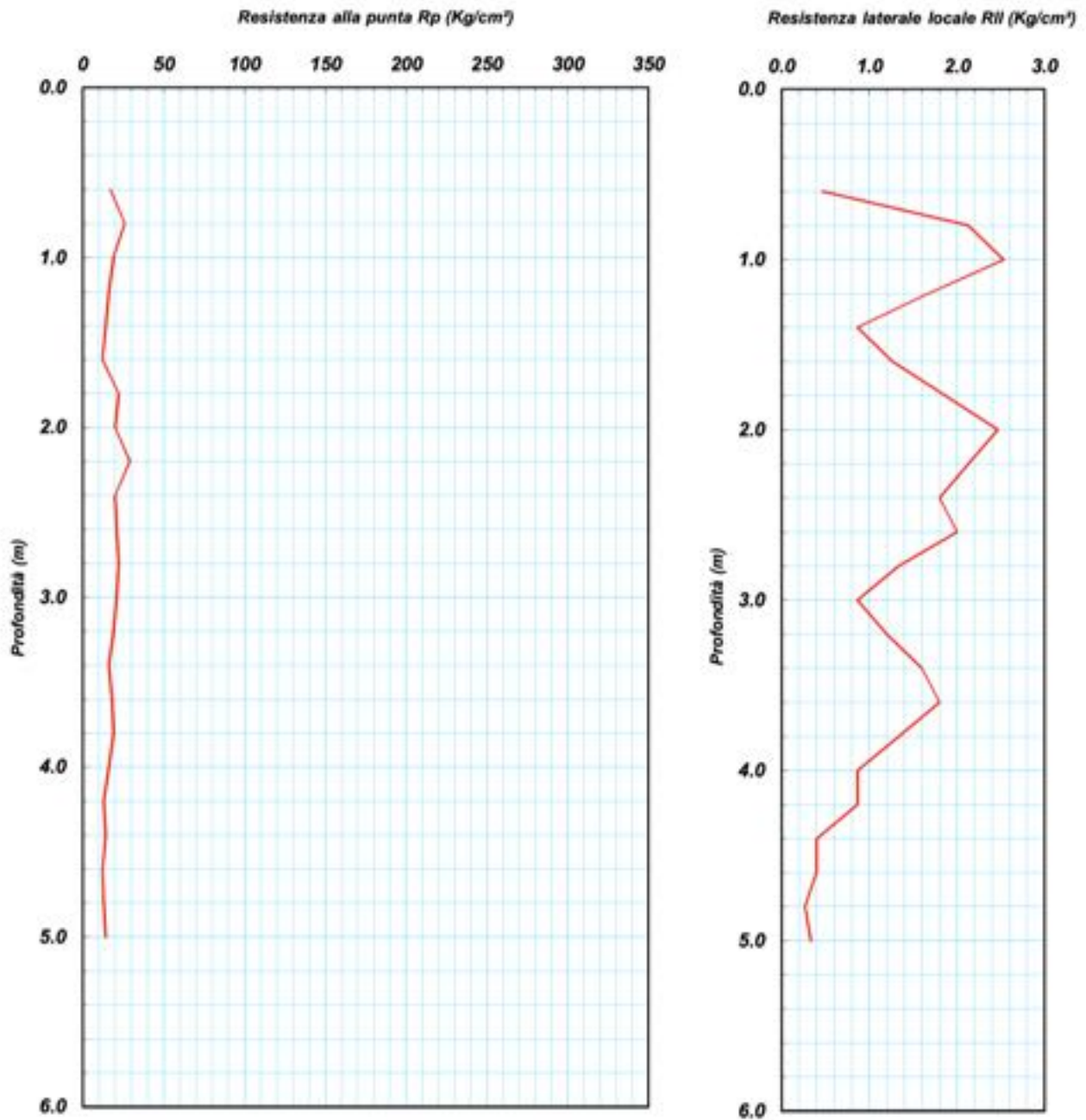
5.1.1 Prova Penetrometrica CPT 1

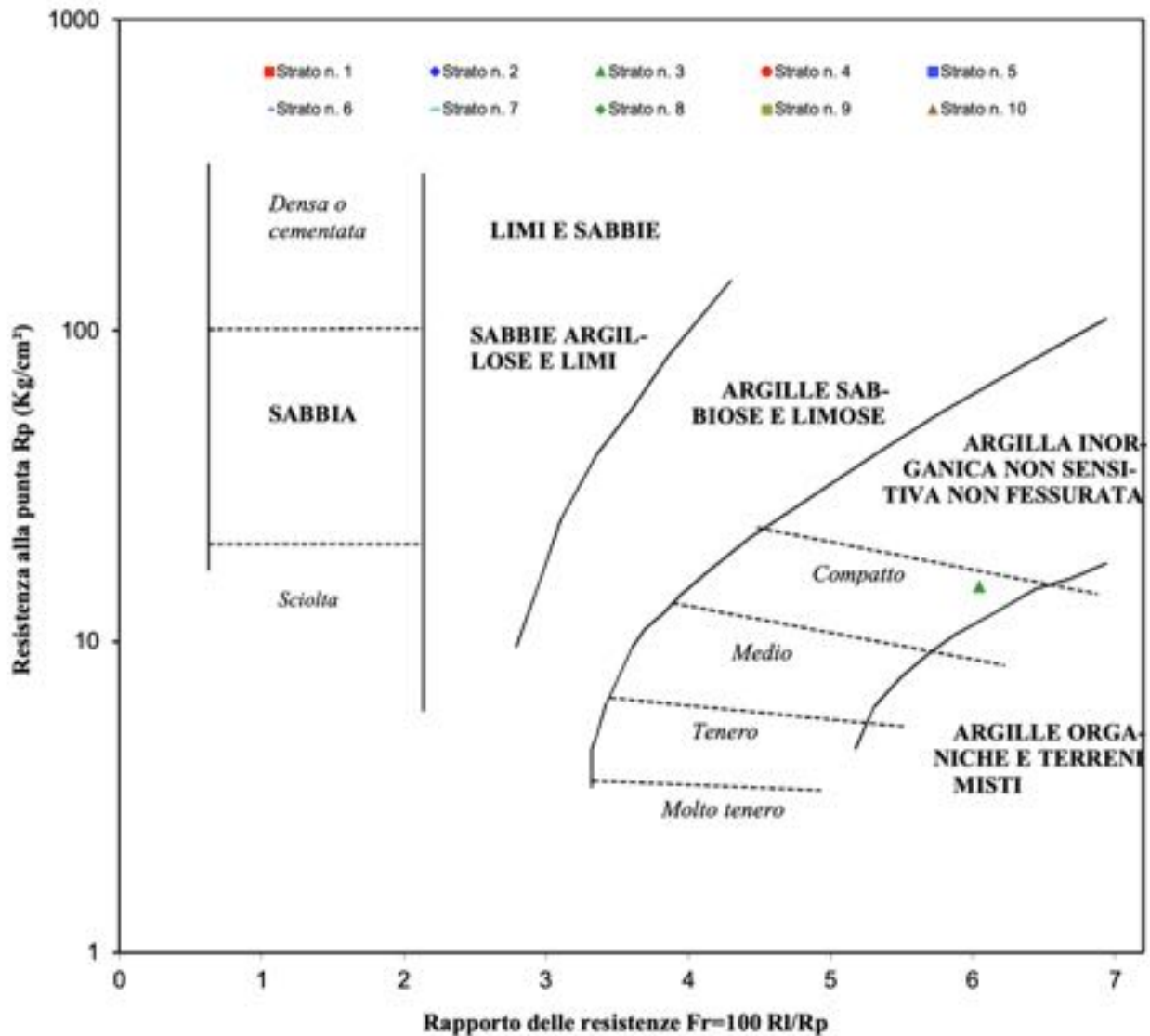


CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI SECONDO IL METODO DI SCHMERTMANN

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato (n)	Profond. da (m)	Profond. a (m)	Peso di vol. γ_n (g/cm ³)	Media Rp (Kg/cm ²)	Media Rll (Kg/cm ²)	Media Rp/Rll (-)	Attrito interno (gradi)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Densità relativa (%)	Modulo edometrico (Kg/cm ²)	Definizione della litologia
1	0.0	1.6	1.80	14.00	1.17	12.0	27	0.62	23	42	Torbe
2	1.6	3.0	1.50	23.00	1.05	22.0	28	1.03	34	69	Argille e limi argill.
3	3.0	5.0	1.40	17.00	0.61	28.0	26	0.74	15	51	Limi sabbiosi

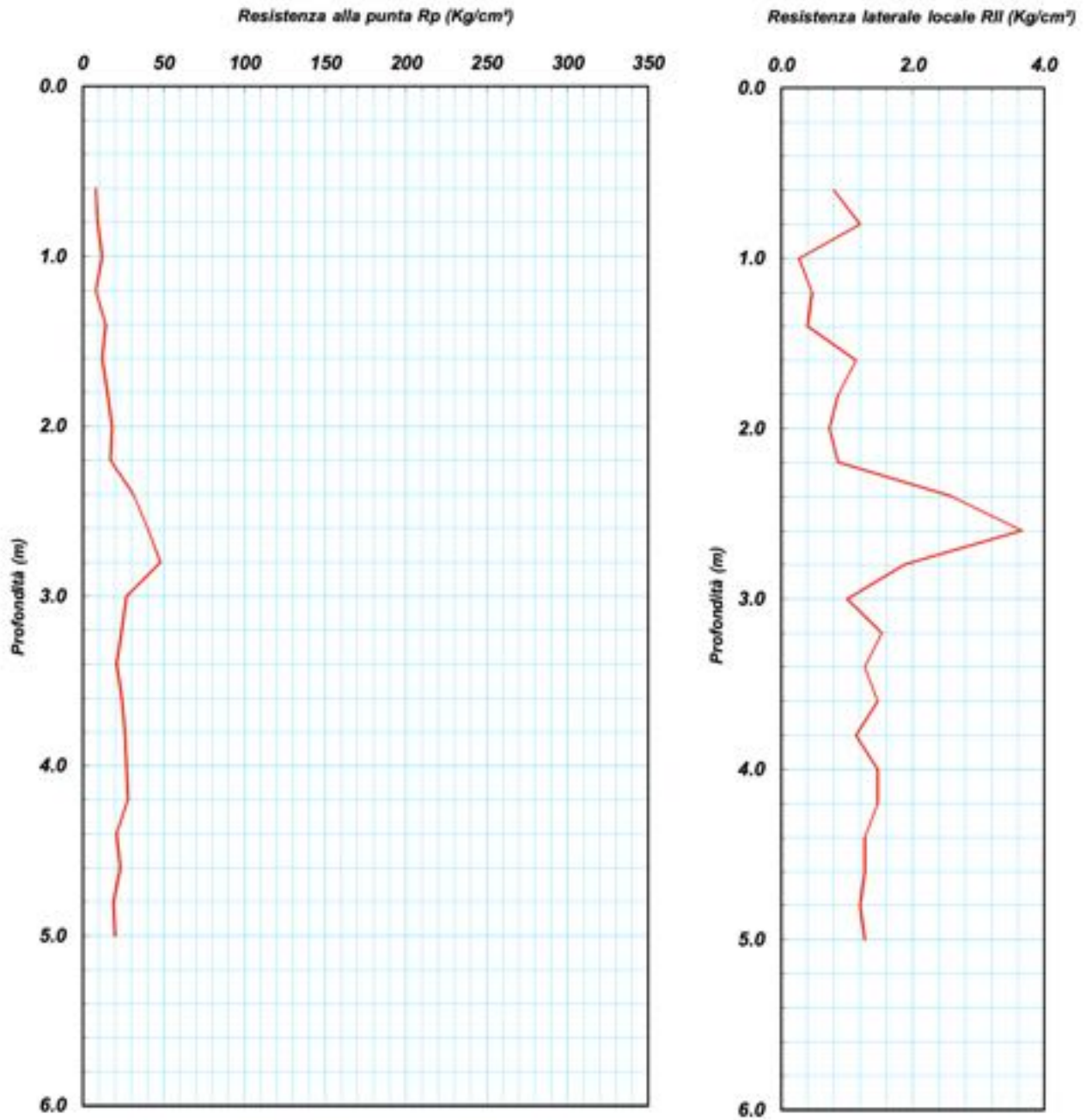
5.1.2 Prova Penetrometrica CPT 2

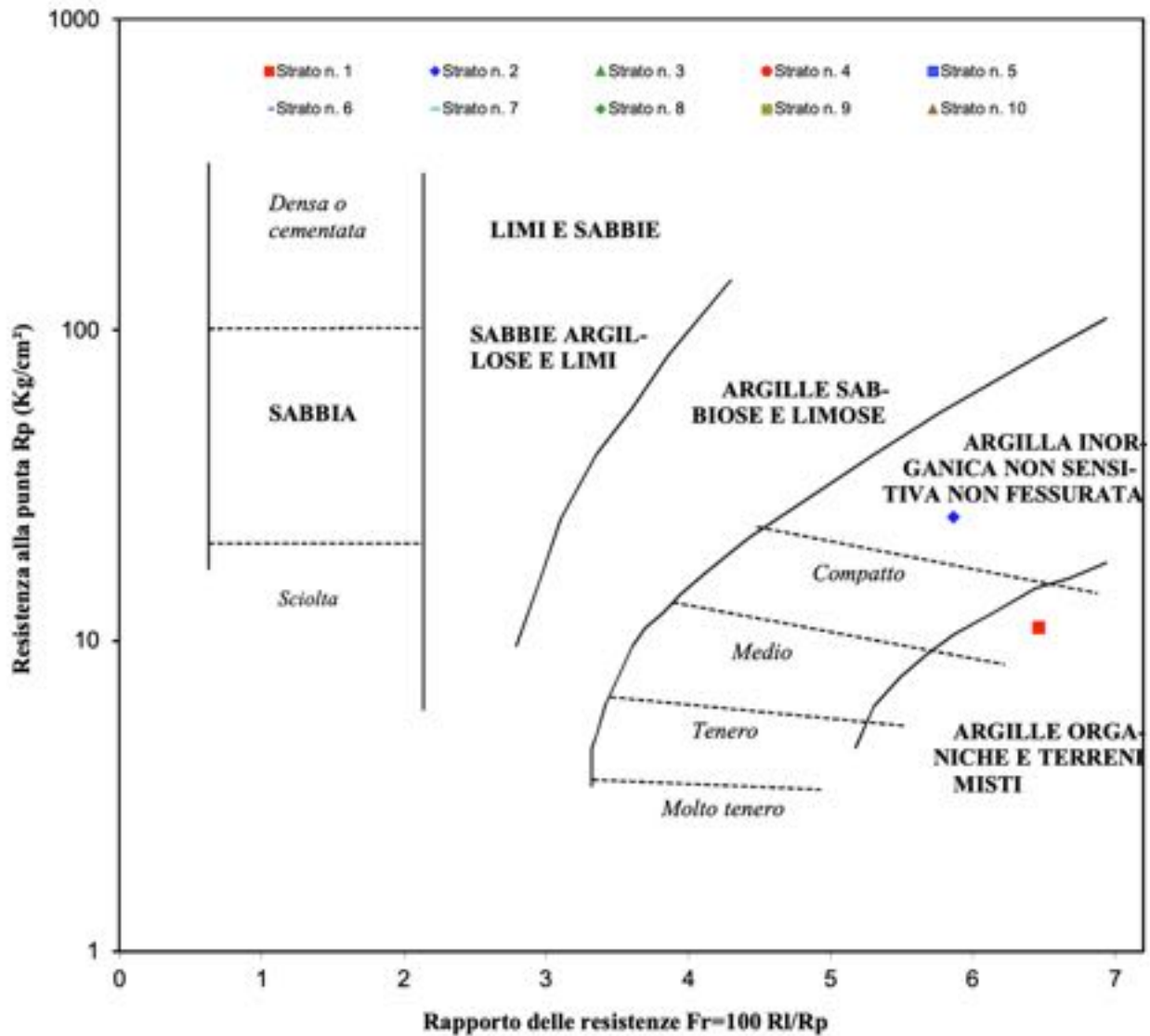


CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI SECONDO IL METODO DI SCHMERTMANN

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato (n)	Profond. da a (m)	Peso di vol. γ_m (g/cm ³)	Media R_p (Kg/cm ²)	Media R_{il} (Kg/cm ²)	Media R_p/R_{il} (-)	Attrito interno (gradi)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Densità relativa (%)	Modulo edometrico (Kg/cm ²)	Definizione della litologia
1	0.0 - 1.6	1.70	17.00	1.49	11.4	28	0.76	30	51	Torbe
2	1.6 - 3.0	1.80	22.00	1.78	12.4	28	0.98	33	66	Torbe
3	3.0 - 5.0	1.50	15.00	0.91	16.5	25	0.65	10	45	Argille e limi argil.

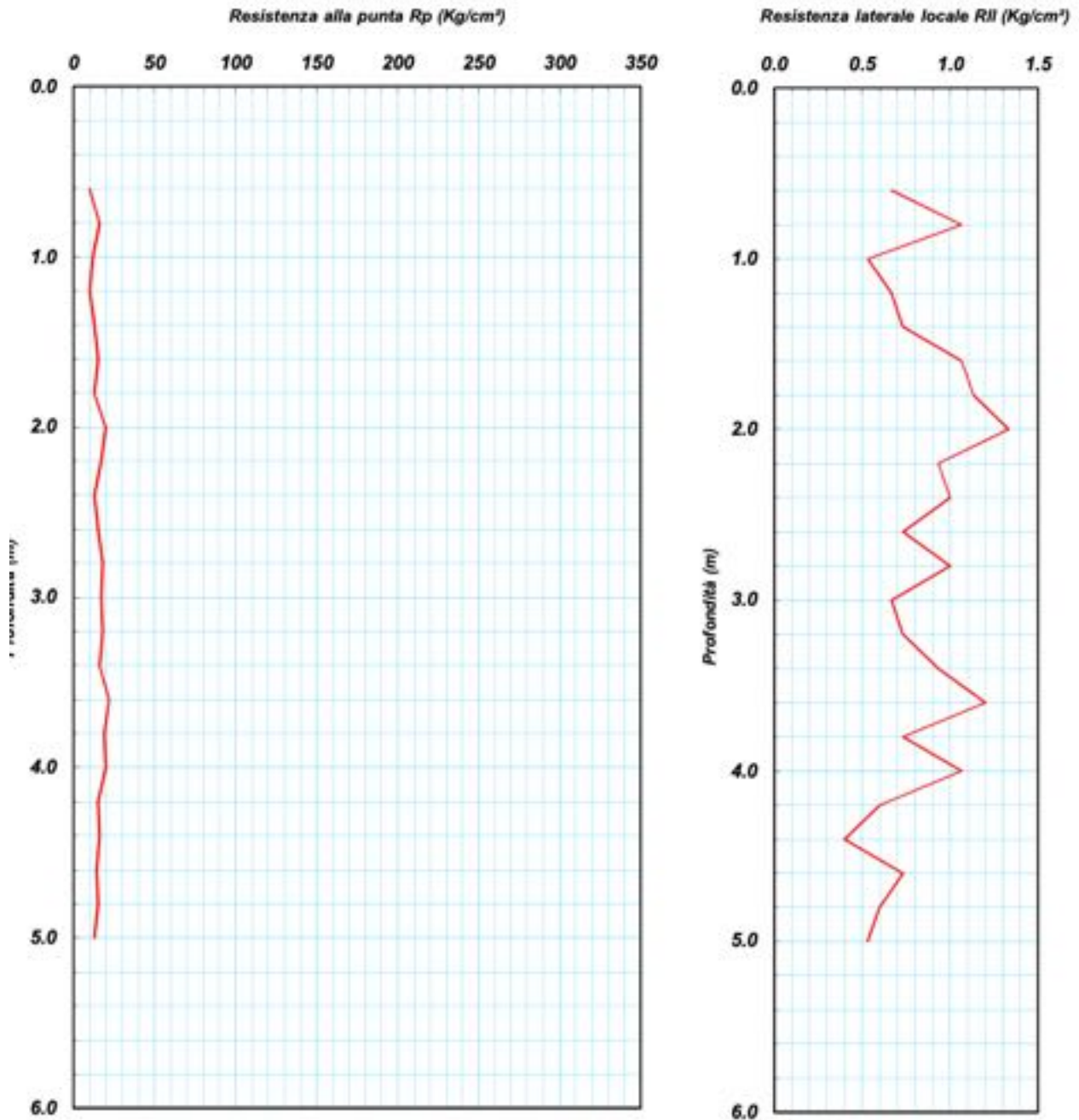
5.1.3 Prova Penetrometrica CPT 3

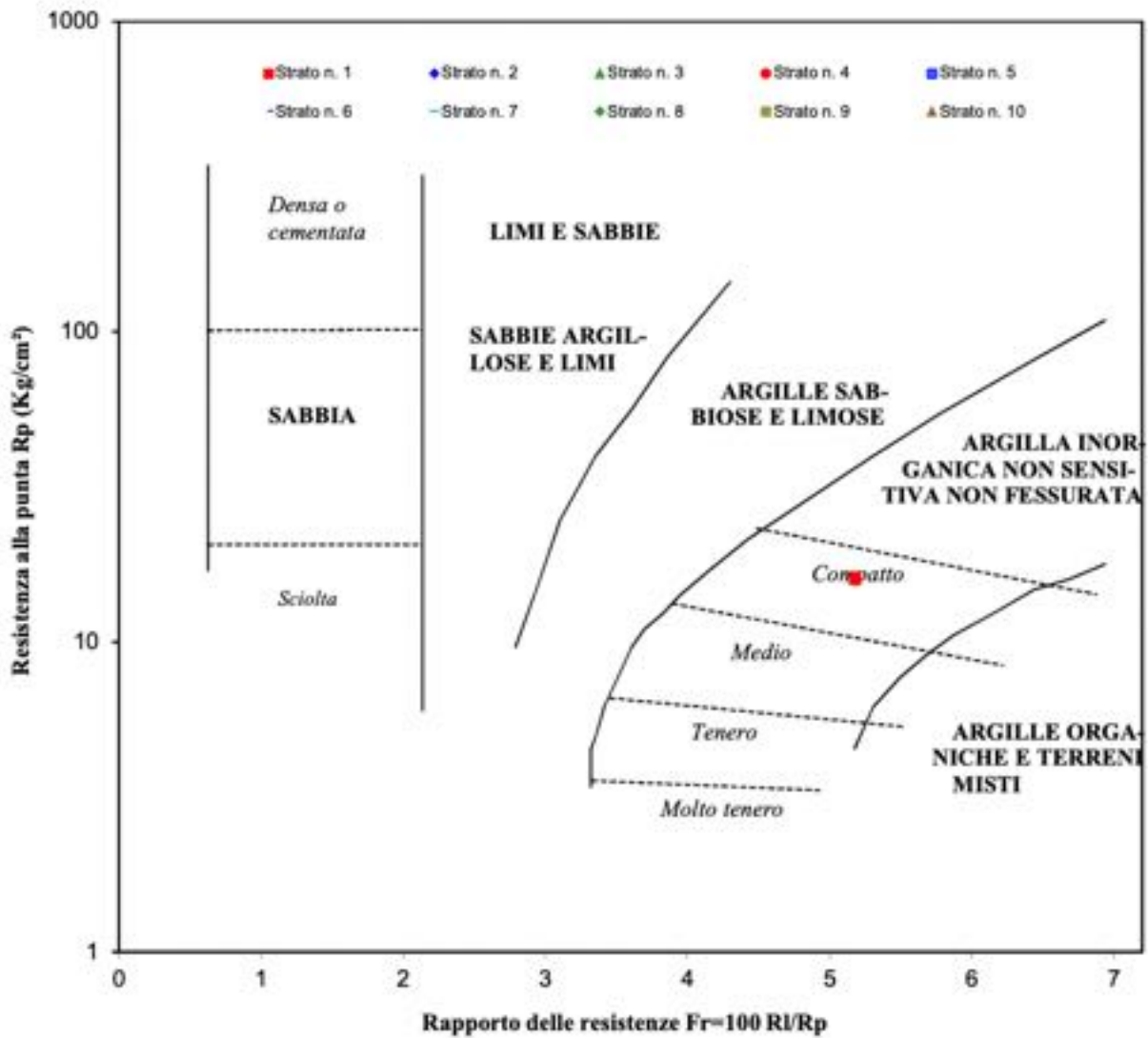


CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI SECONDO IL METODO DI SCHMERTMANN

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato (n)	Profond. da a (m)	Peso di vol. γ_n (g/cm ³)	Media R_p (Kg/cm ²)	Media R_{II} (Kg/cm ²)	Media R_p/R_{II} (-)	Attrito interno (gradi)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Densità relativa (%)	Modulo edometrico (Kg/cm ²)	Definizione della litologia
1	0.0 - 1.6	1.80	11.00	0.71	15.5	25	0.49	14	33	Argille e limi argill.
2	1.6 - 5.0	1.50	25.00	1.47	17.0	28	1.11	32	75	Argille e limi argill.

5.1.4 Prova Penetrometrica CPT 4



CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI SECONDO IL METODO DI SCHMERTMANN

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato (n)	Profond. da a (m)	Peso di vol. γ_n (g/cm ³)	Media R_p (Kg/cm ²)	Media R_{ll} (Kg/cm ²)	Media R_p/R_{ll} (-)	Attrito interno (gradi)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Densità relativa (%)	Modulo edometrico (Kg/cm ²)	Definizione della litologia
1	0.0 - 5.0	1.60	16.00	0.83	19.3	25	0.69	9	48	Argille e limi argill.

5.1.5 Analisi di Laboratorio

Durante la prova penetrometrica statica CPT 1 è stato prelevato un campione a 1m di profondità dal piano campagna ed eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- definizione delle proprietà fisiche
- analisi granulometrica
- prova di taglio diretto e prova edometrica

Di seguito i risultati delle prove geotecniche di laboratorio.

Caratteristiche Fisiche

Peso specifico del terreno γ_s	26,91 KN/m ³
Peso dell'unità di volume γ	18,31 KN/m ³
Contenuto d'acqua W	33,96%
Peso secco dell'unità di volume γ_d	13,67 KN/m ³
Indice di porosità e	0,97
Porosità n	0,49
Grado di saturazione S	0,96
Peso dell'unità di volume immerso in acqua γ'	8,69
Peso dell'unità di volume saturo d'acqua γ_{sat}	18,50
Contenuto d'acqua W_{sat}	35,32

Analisi Granulometrica

Limo con Argilla

Taglio Diretto

Angolo di attrito φ	18°
Coesione c	0,025 Mpa

Prova Edometrica

Gradino di carico (n)	Pressio. verticale σ'_v (MPa)	Cedim. assol. SH (mm)	Cedim. unitario i_v (%)	Indice vuoti e (-)	Modulo edom. E_{ed} (MPa)	Coeff. di compress. m_v (1/MPa)	Coeff. di cons. prim. C_c (cm ² /sec)	Coeff. di permeab. K (m/sec)	Coeff. di cons. secon. C_{α} (-)
1	0.010	0.050	0.25	0.954					
2	0.025	0.150	0.75	0.944	2.942	3.399E-01			
3	0.049	0.380	1.90	0.922	2.132	4.691E-01			
4	0.098	0.650	3.25	0.895	3.632	2.753E-01			
5	0.196	1.200	6.00	0.842	3.566	2.804E-01			
6	0.392	2.000	10.00	0.763	4.904	2.039E-01			
7	0.785	2.800	14.00	0.685	9.807	1.020E-01			
8	1.569	3.600	18.00	0.606	19.614	5.098E-02			
9	3.138	4.500	22.50	0.518	34.869	2.868E-02			
10	0.785	4.000	20.00	0.567					
11	0.196	3.400	17.00	0.626					
12	0.049	2.800	14.00	0.685					
13	0.010	2.200	11.00	0.744					

Durante la prova penetrometrica statica CPT 4 è stato prelevato un campione a 1m di profondità dal piano campagna ed eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- definizione delle proprietà fisiche
- analisi granulometrica
- prova di taglio diretto

Di seguito i risultati delle prove geotecniche di laboratorio.

Caratteristiche Fisiche

Peso specifico del terreno γ_s	25,07 KN/m ³
Peso dell'unità di volume γ	18,05 KN/m ³
Contenuto d'acqua W	88,36%
Peso secco dell'unità di volume γ_d	9,58 KN/m ³
Indice di porosità e	1,62
Porosità n	0,62
Grado di saturazione S	1,40
Peso dell'unità di volume immerso in acqua γ'	5,83
Peso dell'unità di volume saturo d'acqua γ_{sat}	15,64
Contenuto d'acqua W_{sat}	63,23

Analisi Granulometrica

Argilla con limo

Taglio Diretto

Angolo di attrito φ	19°
Coesione c	0,033 Mpa

6 Idrogeologia

Prendendo a riferimento la Carta idrogeologica "Appennino Meridionale e Gargano" della Carta Idrogeologica dell'Italia Meridionale Carta Idrogeologica 1:250.000 dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici e il Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia dell'Università di Napoli Federico II (2007), la zona di studio (in viola nella figura che segue) rientra:

COMPLESSI DEI DEPOSITI VULCANICI PLIO – QUATERNARI

Complesso delle piroclastiti da caduta Depositi incoerenti costituiti in gran parte da pomici e ceneri derivanti dall'attività esplosiva dei centri eruttivi campani e subordinatamente del Vulture. Per la giustapposizione laterale e verticale di termini granulometricamente differenti, costituiscono acquiferi eterogenei ed anisotropi la cui trasmissività è generalmente bassa.

Tipo di Permeabilità: Porosità

Grado di Permeabilità: Scarso - Medio



Figura 9: Stralcio Carta Idrogeologica Appennino Meridionale

Tra il febbraio e maggio 2021 sono stati realizzati 50 scavi a 2m di profondità per analisi pedologiche specialistiche. Soprattutto nel periodo invernale è stata rinvenuta una falda superficiale tra 1,10 e 1,70m di profondità dal piano campagna che ha creato allo Scrivente notevole difficoltà nel rilevamento di campagna, ma che comunque crea notevole disagio agli agricoltori con frequenti fermo macchine che restano impantanate nei terreni argillosi limosi saturi d'acqua. Nella zona sono stati rilevati numerosi fossi di scolo delle acque meteoriche nei canali perimetrali, opere antropiche che comunque non bastano a risolvere il problema di ristagni idrici, per molti mesi dell'anno.



Figura 10: Falda superficiale in Profilo 5 a 170cm (sx) e in Profilo 9 a 110 cm (dx)

7 Dissesto Idrogeologico

Estratto dal Portale Regionale "Difesa Suolo Regione Campania"

Il "dissesto idrogeologico", come definito all'art.54 del D.Lgs. 152/06, è "la condizione che caratterizza aree ove processi naturali o antropici, relativi alla dinamica dei corpi idrici, del suolo o dei versanti, determinano condizioni di rischio sul territorio".

Nella Regione Campania le aree con tali caratteristiche sono numerose e l'esposizione al rischio geologico-idraulico costituisce un problema di grande rilevanza sociale, sia per il numero di vittime, che per i danni prodotti alle abitazioni, alle industrie e alle infrastrutture. La Campania è un territorio geologicamente "giovane" e pertanto soggetto a intensi processi morfogenetici che ne modellano in modo sostanziale il paesaggio. I frequenti fenomeni di dissesto idrogeologico sono una diretta conseguenza dell'estrema eterogeneità degli assetti geologico-strutturali, geomorfologici, idrogeologici e geologico-tecnici e di un'ampia gamma di condizioni microclimatiche differenti anche in aree limitrofe o apparentemente simili. In conseguenza di tale naturale predisposizione, il dissesto si manifesta nella nostra regione con molteplici combinazioni e modalità: frane (crolli, ribaltamenti, scorrimenti, espansioni laterali, colamenti, debris e mud flow, movimenti complessi), esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio, trasporto di massa lungo le conoidi nelle zone montane e collinari, esondazioni e sprofondamenti nelle zone collinari e di pianura. Il rischio idrogeologico in Campania, tuttavia, è stato fortemente condizionato dall'azione dell'uomo e dalle continue modifiche del territorio che hanno, da un lato, incrementato la possibilità di accadimento dei fenomeni e, dall'altro, aumentato la presenza di beni e di persone nelle zone dove tali eventi erano possibili e si sono poi manifestati, a volte con effetti catastrofici. L'abbandono dei terreni montani, il continuo disboscamento, gli incendi boschivi, le numerose piste montane, l'uso di tecniche agricole invasive e poco rispettose dell'ambiente, l'estrazione incontrollata di fluidi dal sottosuolo, l'apertura di cave di prestito, la trasformazione degli alvei in strade, l'abusivismo edilizio, l'eccessiva espansione urbanistica con impermeabilizzazione dei suoli, l'occupazione di zone di pertinenza fluviale, il prelievo abusivo di inerti dagli alvei fluviali, la scarica abusiva di rifiuti in alveo, la mancata manutenzione dei versanti e dei corsi d'acqua, sono le principali concause che hanno sicuramente aggravato il dissesto del già fragile territorio campano.

In conseguenza dell'alto impatto causato dai tragici eventi di Sarno (maggio 1998), sono state quindi emanate norme (D.L. 11.06.98 n.180, convertito in Legge 03.08.98 n.267; D.L. 12.10.2000 n.279, convertito in Legge 11.12.2000 n.365) che hanno indotto una diversa politica di gestione del rischio idrogeologico, passando da una impostazione di base incentrata sulla riparazione dei danni e sull'erogazione di provvidenze, ad una cultura di previsione e prevenzione, diffusa a vari livelli, imperniata sull'individuazione delle condizioni di rischio e volta all'adozione di interventi finalizzati alla minimizzazione dell'impatto degli eventi.

A seguito di tali norme, sono state istituite per tutto il territorio nazionale Autorità di Bacino (AdB) che hanno elaborato i "Piani Stralcio per l'assetto idraulico ed idrogeologico" (PAI), a definire e cartografare il diverso livello di pericolosità da frana e da alluvione. AdB di riferimento per il territorio di nostro interesse è l'AdB Nazionale Liri, Garigliano e Volturno, oggi accorpata con molte altre nel Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale: non si evidenzia nessun livello di pericolosità da frana. Il territorio è pianeggiante e lontano da versanti collinari/montuosi da cui potrebbero innescarsi fenomeni franosi e rovinare a valle. Per contro la zona, per la vicinanza dal Fiume Volturno (4km) e dai Regi Lagni (0,9km) viene cartografata a pericolosità idraulica elevata P3.

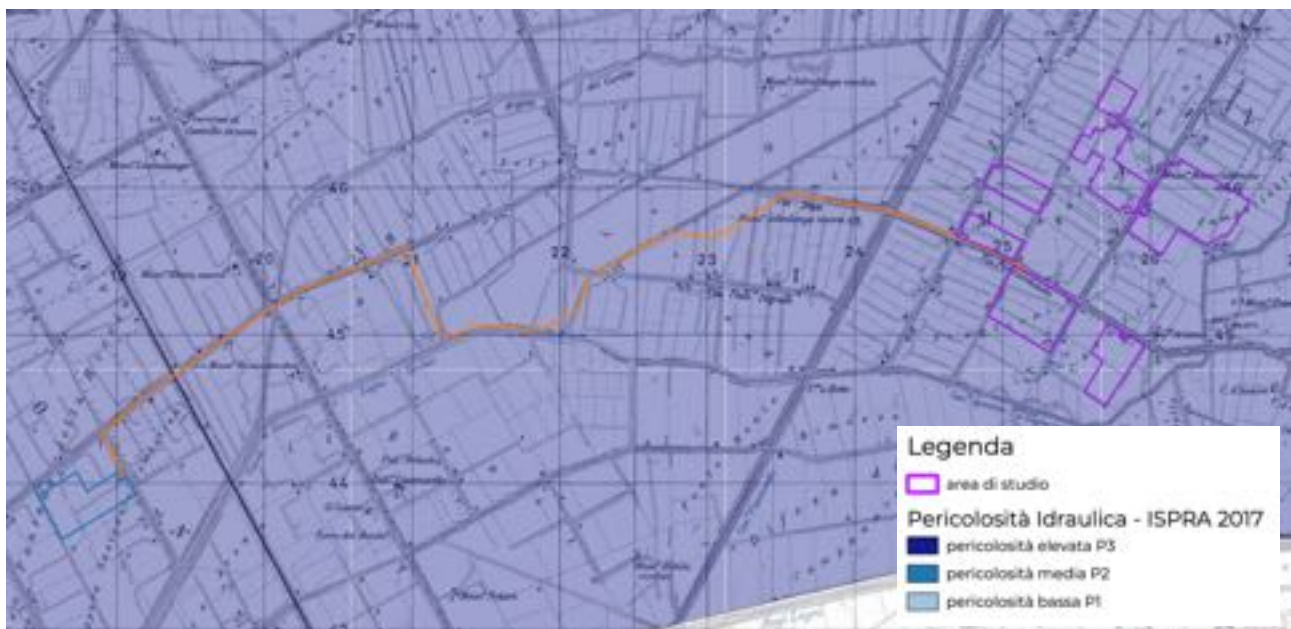


Figura 11: Stralcio Pericolosità Idraulica per la zona di studio - da Ex AdB Liri Garigliano e Volturno

8 Compatibilità Sismica

8.1 Sismicità Storica

Prendendo a riferimento il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI v3.0 dal 1000 al 2019 – (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A. 2021 – INGV) è possibile elencare nella tabella che segue tutti i terremoti storici che hanno colpito la Regione Campania con una magnitudo $\geq 5Mw$.

Anno	Mese	Giorno	Epicentro	Lat	Long	Mw
1456	12	5	Appennino centro-meridionale	41,302	14,711	7,19
1466	1	15	Irpinia-Basilicata	40,765	15,334	5,98
1499	12	5	Nola	40,926	14,529	5,56
1517	3	29	Irpinia	41,011	15,21	5,33
1561	7	31	Penisola sorrentina	40,685	14,717	5,56
1561	7	31	Vallo di Diano	40,65	15,389	6,34
1561	8	19	Vallo di Diano	40,563	15,505	6,72
1688	6	5	Sannio	41,283	14,561	7,06
1692	3	4	Irpinia	40,903	15,196	5,88
1702	3	14	Sannio-Irpinia	41,12	14,989	6,56
1732	11	29	Irpinia	41,064	15,059	6,75
1737	3	31	Monti di Avella	40,92	14,661	5,1
1741	8	6	Irpinia	41,049	14,97	5,44
1794	6	12	Irpinia	41,108	14,924	5,26
1853	4	9	Irpinia	40,818	15,215	5,6
1858	3	7	Campania meridionale	40,108	15,612	5,39
1893	1	25	Vallo di Diano	40,513	15,36	5,15
1905	11	26	Irpinia	41,134	15,028	5,18
1910	6	7	Irpinia-Basilicata	40,898	15,421	5,76
1930	7	23	Irpinia	41,068	15,318	6,67
1960	1	11	Roccamonfina	41,283	13,986	5,16
1962	8	21	Irpinia	41,158	15,065	5,34
1962	8	21	Irpinia	41,248	15,069	5,68
1962	8	21	Irpinia	41,23	14,953	6,15
1980	11	25	Irpinia-Basilicata	40,655	15,452	5,39
1980	11	23	Irpinia-Basilicata	40,842	15,283	6,81
1981	1	16	Irpinia-Basilicata	40,89	15,439	5,22
1982	8	15	Irpinia	40,832	15,244	5,32
2013	12	29	Matese	41,395	14,434	5,16

8.2 Sorgenti Sismiche di Progetto

Per il territorio campano la sismicità strumentale evidenzia una maggiore attività nell'area di catena rispetto alla fascia costiera tirrenica: basta semplicemente geolocalizzare tutti gli eventi sismici raccolti nel CPTI per evidenziare come questi terremoti vanno a disporsi in massima parte lungo la catena appenninica.

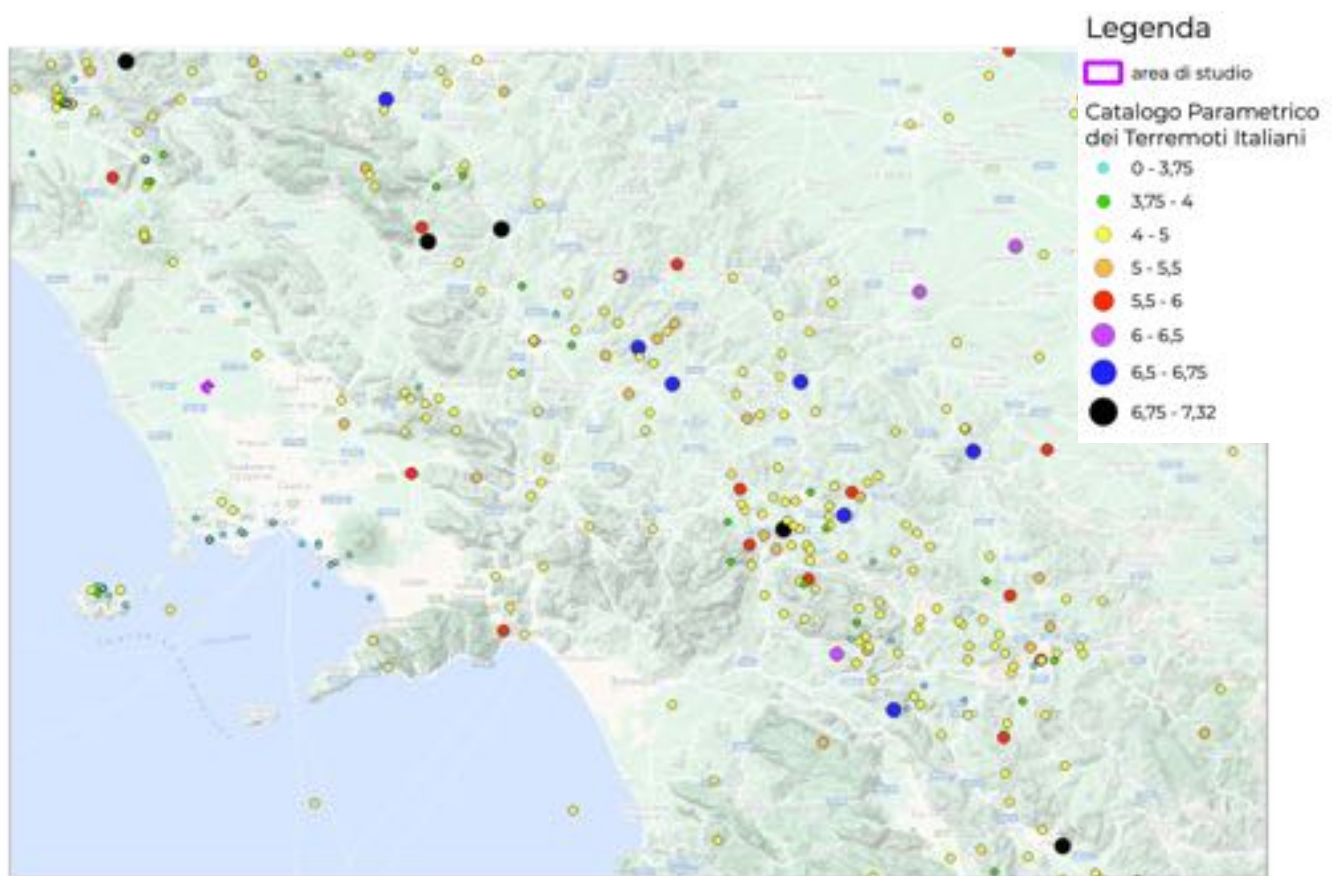


Figura 12: Geolocalizzazione del DataBase Macrosismico Italiano (CPTIv3.0)

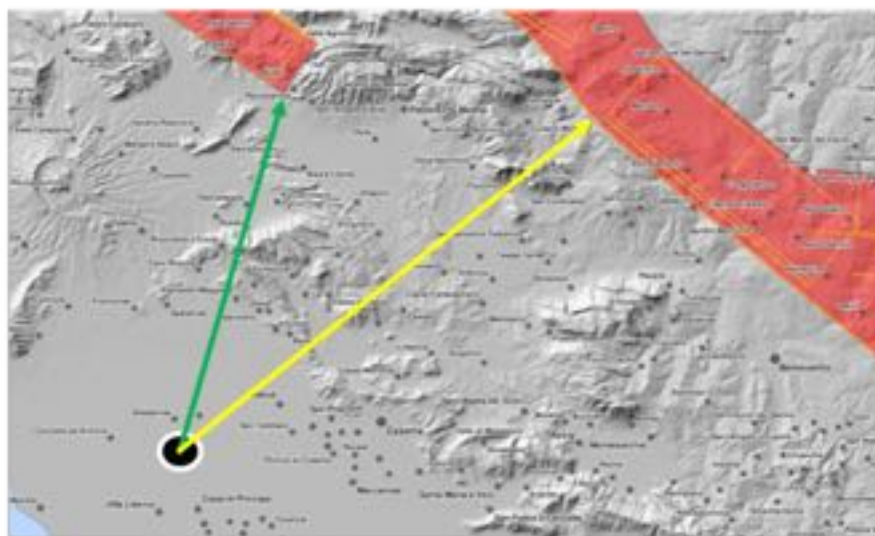
Di seguito vengono riportati i principali cataloghi e studi tematici sulle potenziali sorgenti sismogenetiche presenti nella dorsale appenninica campana ed in particolare: il progetto DISS e la banca dati ITHACA.

8.2.1 Progetto DISS

Il Database of Individual Seismogenetic Sources (DISS) (INGV, Database of Individual Seismogenetic Sources, 2015) è un database georeferenziato della INGV che raccoglie tutti i dati, i testi, la bibliografia e le prove della presenza di elementi tettonici, faglie, evidenze plaeosismologiche e sismiche, presenti sul territorio italiano. I dati sono stati elaborati in modo da individuare tre tipologie di sorgenti sismogenetiche:

- **Le sorgenti sismogenetiche individuali** hanno evidenze chiare, dati molto dettagliati, già individuate in letteratura, mappate in campagna e sono individuate in base a un set completo di caratteristiche: geometriche (direzione, immersione, lunghezza, larghezza e profondità), cinematiche (direzione di moto) e sismologiche (spostamento del singolo evento, magnitudine attesa, tasso di slip, intervallo di ricorrenza);
- **Le sorgenti sismogenetiche composite** sono regioni di forma allungata che contengono un non specificato numero di sorgenti lineari sismogenetiche che non possono essere individuate singolarmente, poiché non hanno un set caratteristico di evidenze geometriche, cinematiche e sismologiche e non sono associate con una specifica distribuzione di terremoti;
- **Le sorgenti sismogenetiche dubbie** sono faglie attive proposte in letteratura scientifica come potenziali sorgenti sismogenetiche ma che, con i dati a disposizione, non sono state ancora considerate abbastanza attendibili da poter essere inserite nel database.

I comuni di Santa Maria la Fossa e Grazzanise distano circa 35km dalla sorgente sismogenetica composita di Venafro (in verde) e Miranda Apice (in giallo), caratterizzate rispettivamente da una magnitudine massima attesa di 6.5Mw.



8.2.2 Progetto ITHACA

Nel progetto ITaly HAZard from CAPable faults (ISPRA, il Catalogo delle faglie capaci, 2011) vengono raccolti tutti i dati e le informazioni relative alle strutture tettoniche attive in Italia, in particolare ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. In ITHACA pertanto vengono raccolti i sistemi fagliativi attivi e capaci: faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie. Nell'intorno di Santa Maria la Fossa e Grazzanise è possibile evidenziare le seguenti faglie capaci:



Figura 13: Faglie capaci del progetto ITHACA

- 1) Faglia Capace 42303 "Volturno Plain"
Segmentation: Single - Direzione Media: 120° - Dip Direction: SW - Media Affidabilità
- 2) Faglia Capace 42300 "Volturno Plain"
Segmentation: Single - Direzione Media: 100° - Dip Direction: SSW - Media Affidabilità
- 3) Faglia Capace 42301 "Volturno Plain"
Segmentation: Single - Direzione Media: 120° - Dip Direction: SW - Media Affidabilità
- 4) Faglia Capace 42302 "Volturno Plain"
Segmentation: Single - Direzione Media: 100° - Dip Direction: SSW - Media Affidabilità
- 5) Faglia Capace 42200 "M.Massico"
Segmentation: Single - Direzione Media: 45° - Dip Direction: SE - Media Affidabilità

8.3 Pericolosità Sismica di Base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono calcolati i seguenti parametri:

- 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

Da parametri vengono poi ricavati gli spettri di risposta elastica per ogni stato limite. Le NTC2018 mettono a disposizione nell'allegato B una tabella contenente i valori di a_g , F_0 , T_C^* per i 10751 punti del reticolo di riferimento del territorio nazionale continentale in funzione quindi delle coordinate geografiche e del tempo di riferimento: concettualmente si tratta di un enorme database in cui è possibile ricercare la maglia di riferimento che racchiude il punto di coordinate note.

La procedura viene finalizzata grazie a numerosi applicativi web che permettono questa ricerca in tempi rapidi (nel prosieguo viene preso a riferimento il portale "Parametri Sismici Geostru").

Trovati i tre parametri di riferimento, impostando successivamente ulteriori parametri di input (la classe d'uso dell'opera da realizzare, la vita nominale, la categoria di sottosuolo, la scelta dello stato limite di riferimento), si andranno a definire i coefficienti sismici utili per la futura progettazione dell'opera.

In ultimo la definizione della Magnitudo di Riferimento e della distanza epicentrale viene ricavata dal metodo della disaggregazione, prendendo a riferimento le Mappe Interattive della Pericolosità Sismica, messe a disposizione dall'INGV.

Di seguito la pericolosità sismica di base della zona di studio, ipotizzando una classe di edificio II (affollamento normale, assenza di funzioni pubbliche e sociali) e una vita nominale pari a 50.

8.3.1 Indagine Sismica Masw Realizzata

Per la caratterizzazione sismica dell'area sono state realizzate due prove sismiche MASW in data 07/05/2021 (nel parco fotovoltaico) e in data 19/07/2021 (nella zona della futura stazione elettrica) e per entrambe ricavati valori della $V_{s,eq}$ rispettivamente di 205m/s e di 194m/s, facendo rientrare questi terreni nella categoria di sottosuolo C, definita dalle NTC2018 come << 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 >>.



Figura 14: Indagine sismica MASW realizzata il 07/05/2021

8.4 Pericolosità Sismica di Base Area di Studio

Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali... -



Vita Nominale

50 -



Interpolazione

Media ponderata -

CU = 1

Stato Limite	T _r [anni]	a _y [g]	F _o	T _c ⁺ [s]
Operatività (SLO)	30	0.040	2.404	0.283
Danno (SLD)	50	0.050	2.369	0.322
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.107	2.565	0.427
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.131	2.645	0.448
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici



Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni -

 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)



1



0.1



Cat. Sottosuolo

C -



Cat. Topografica

T1 -

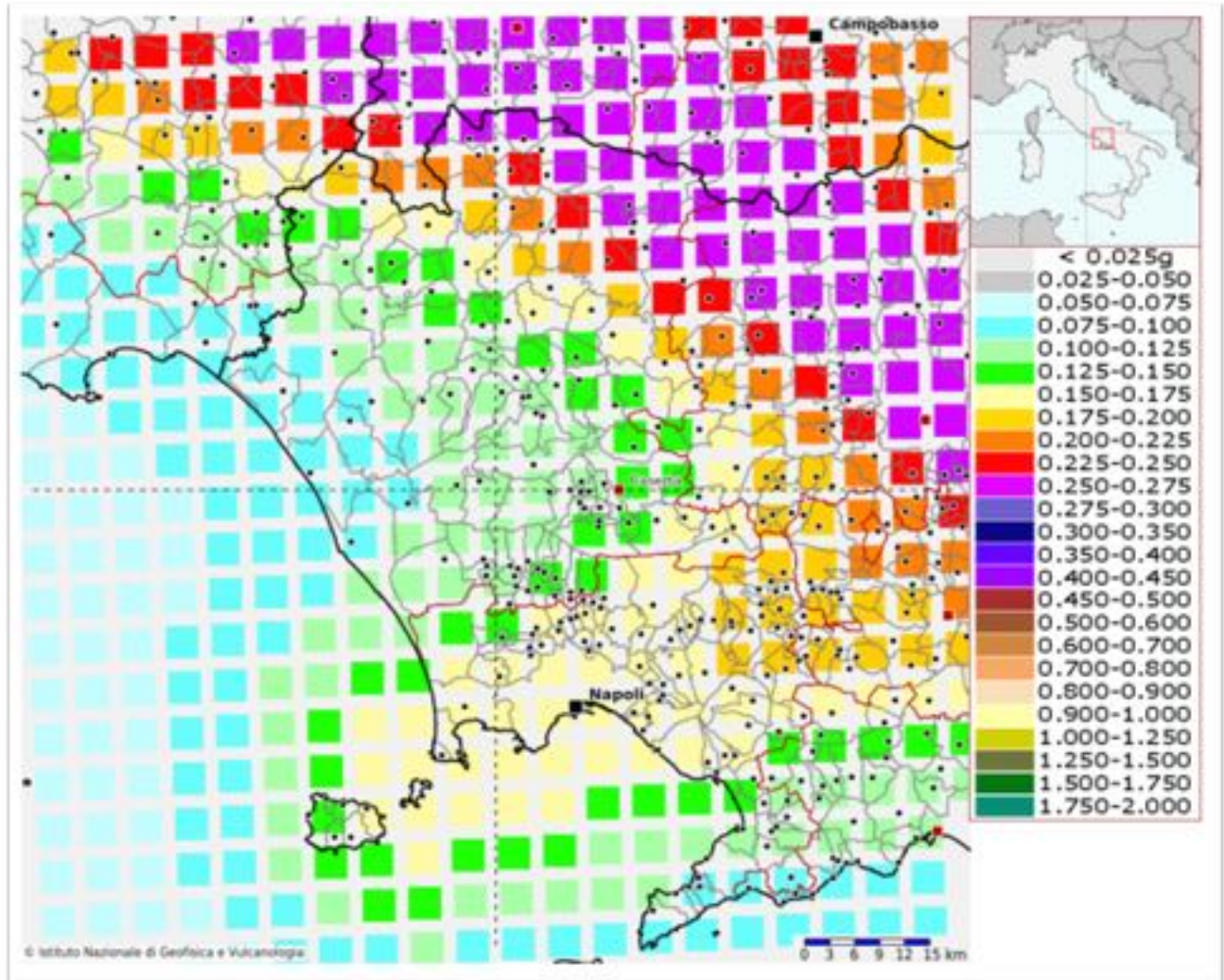
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,49
CC Coeff. funz categoria	1,59	1,53	1,39	1,37
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

 Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]


0.8

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.015	0.039	0.047
kv	0.006	0.007	0.019	0.023
A _{max} [m/s ²]	0.584	0.733	1.576	1.907
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

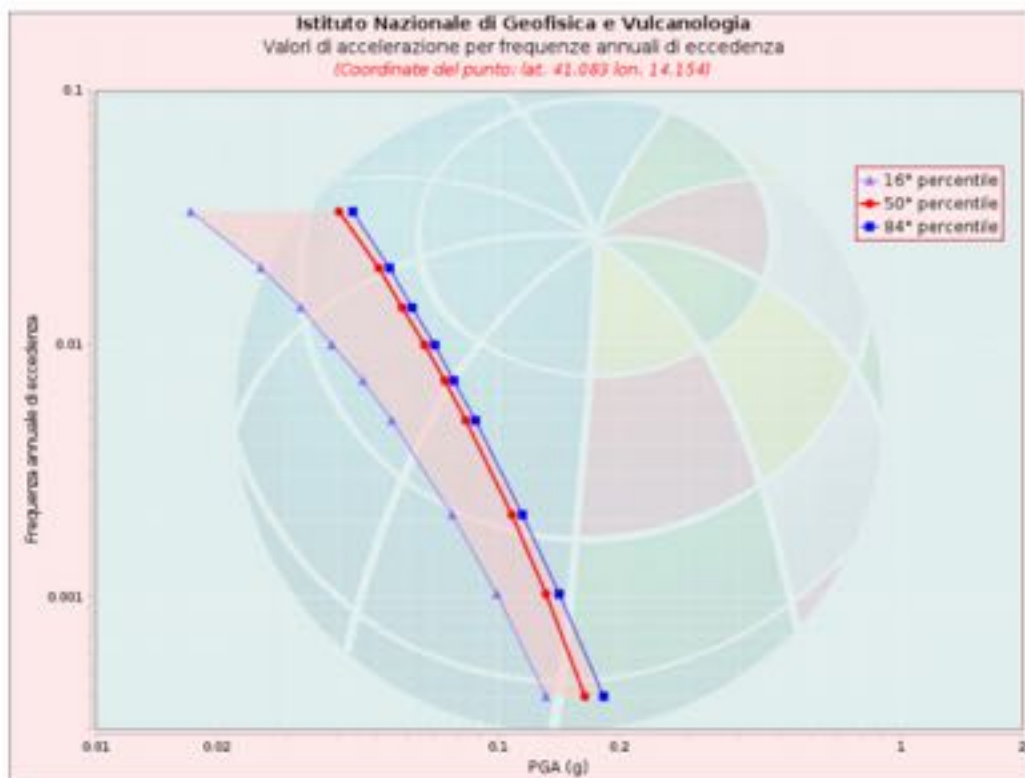
Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004) Informazioni sul nodo con ID: 32089 - Latitudine: 41.083 - Longitudine: 14.154



La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e 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, $V_s30 > 800$ m/s) e pianeggiante. Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID 32089 (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.

8.4.1 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.

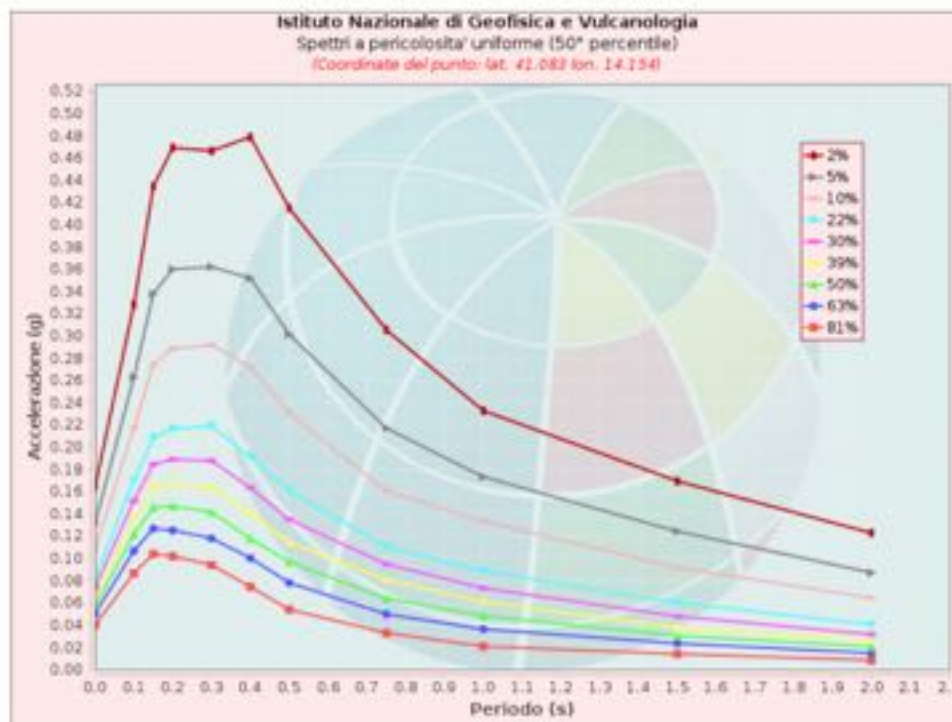


Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.132	0.165	0.183
0.0010	0.099	0.132	0.142
0.0021	0.077	0.108	0.115
0.0050	0.055	0.083	0.088
0.0071	0.046	0.074	0.078
0.0099	0.039	0.066	0.070
0.0139	0.033	0.058	0.061
0.0199	0.026	0.051	0.054
0.0332	0.017	0.040	0.044

Figura 15: Curva di Pericolosità

8.4.2 Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità. I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE	Accelerazione (g)										
in 50	Periodo (s)										
anni	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.165	0.328	0.435	0.469	0.466	0.479	0.415	0.305	0.233	0.169	0.123
5%	0.132	0.263	0.338	0.360	0.362	0.352	0.302	0.217	0.173	0.124	0.087
10%	0.108	0.218	0.274	0.289	0.292	0.272	0.231	0.161	0.133	0.092	0.064
22%	0.083	0.170	0.209	0.216	0.219	0.191	0.161	0.110	0.089	0.060	0.041
30%	0.074	0.152	0.185	0.189	0.188	0.163	0.135	0.095	0.073	0.048	0.032
39%	0.066	0.136	0.164	0.168	0.165	0.141	0.114	0.081	0.061	0.038	0.026
50%	0.058	0.122	0.146	0.147	0.142	0.118	0.097	0.064	0.048	0.030	0.021
63%	0.051	0.107	0.127	0.125	0.118	0.100	0.078	0.050	0.036	0.024	0.015
81%	0.040	0.087	0.104	0.102	0.094	0.075	0.054	0.033	0.021	0.014	0.008

Figura 16: Spettri di pericolosità uniforme

8.4.3 Grafico di Disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla 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.

Dall'analisi del grafico si possono ricavare i seguenti dati di valori medi:

- Magnitudo: 6,41
- Distanza: 47km
- Epsilon: 1,51

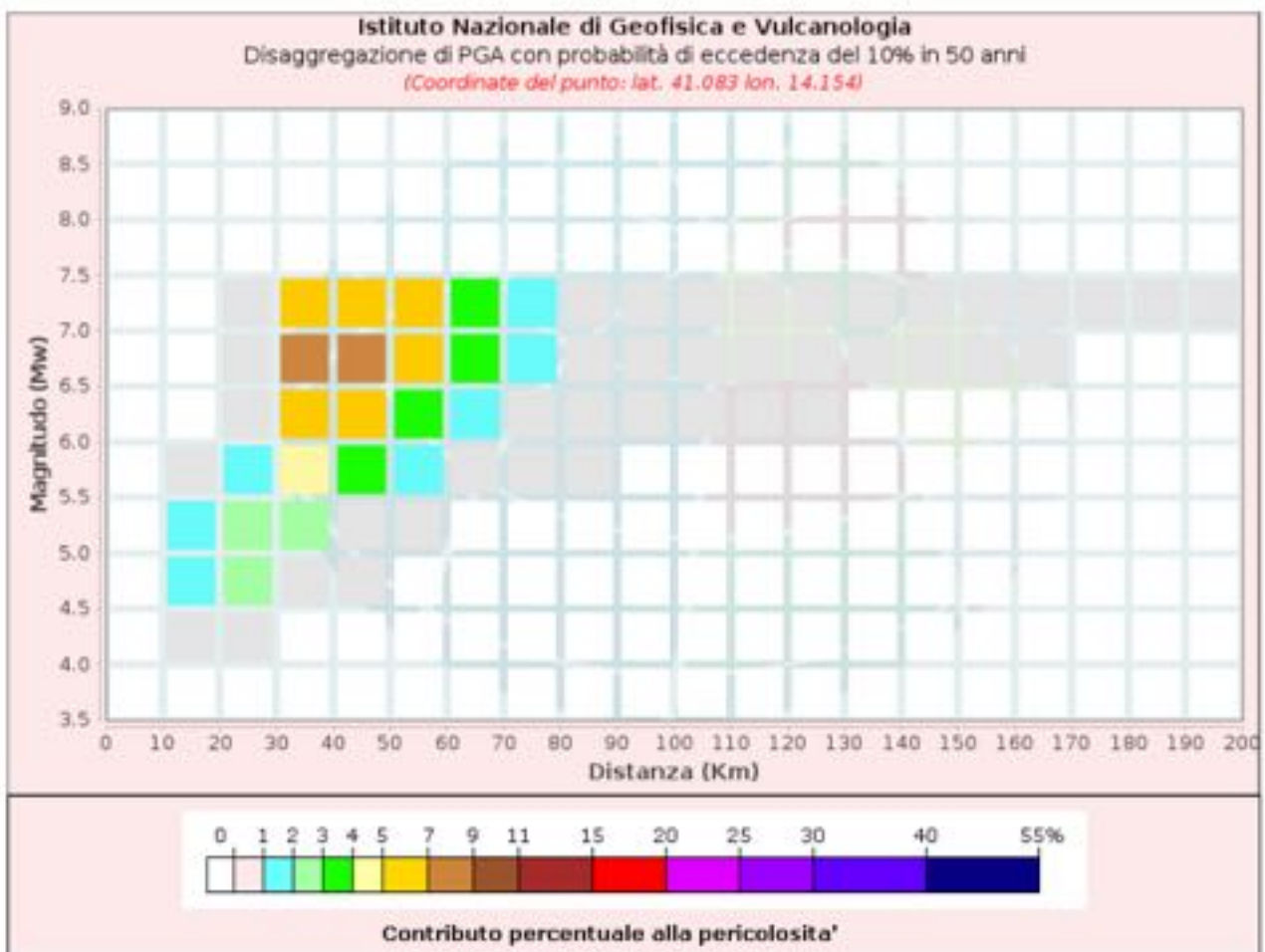


Figura 17: Grafico di Disaggregazione

9 Verifiche a Liquefazione

La liquefazione è definita come la trasformazione di un materiale granulare da solido al liquido in conseguenza dell'incremento dei pori e la riduzione della pressione verticale effettiva generata da rapide azioni cicliche in terreni granulari saturi. Quando sabbie sature e sciolte sono sottoposte a vibrazioni, principalmente indotte dalla propagazione delle onde di taglio provenienti dal basamento roccioso, esse tendono ad addensarsi. Tuttavia la durata dell'applicazione dello stress ciclico è così breve, rispetto al tempo necessario per il drenaggio, che nel terreno non si verifica un'immediata diminuzione di volume e quindi la pressione dei pori in eccesso aumenta progressivamente. La liquefazione ha inizio quando la pressione dei pori eguaglia la pressione totale e la pressione effettiva verticale sarà uguale a zero.

Dal punto delle forze all'aumentare della pressione dei pori si ha una riduzione della pressione effettiva del terreno e quindi una perdita di forza del terreno. Un tale stato è denominato "liquefazione iniziale", in cui le sabbie sciolte subiranno deformazioni illimitate senza mobilitare una resistenza significativa alle deformazioni.

Di conseguenza, le strutture sostenute sopra o all'interno del deposito liquefatto subiscono notevoli cedimenti ed inclinazioni; l'acqua scorrerà verso il piano di campagna creando bolle di sabbia.

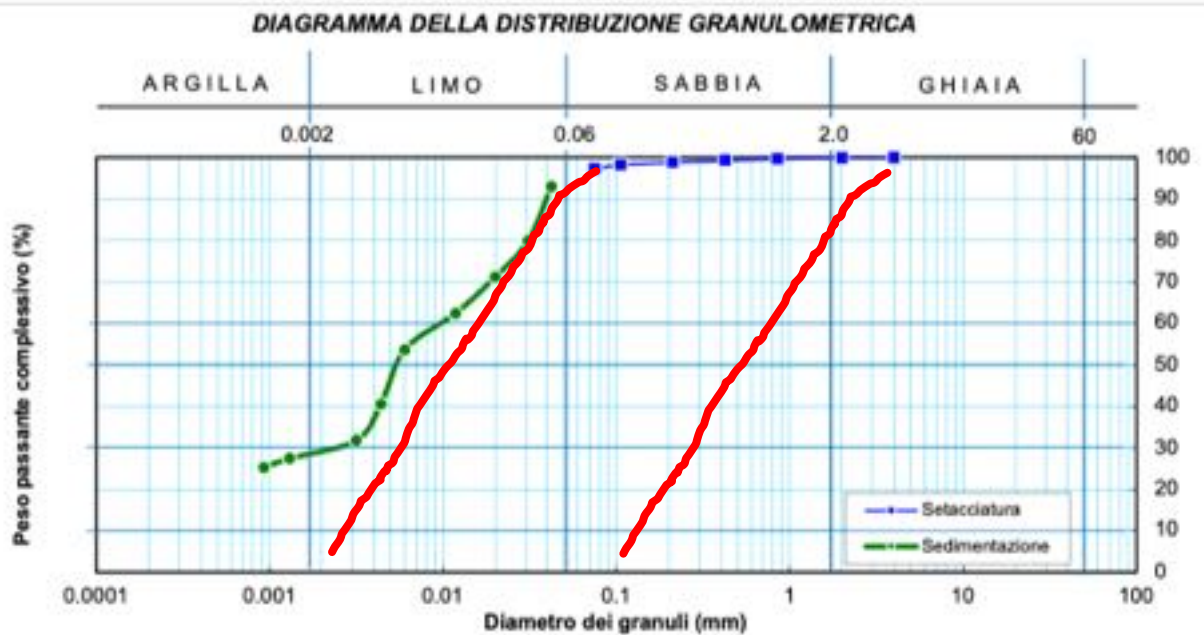
Nel Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 vengono definite particolari condizioni geologico-tecniche tali da poter omettere la verifica a liquefazione ed in dettaglio:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5
L'area di studio dagli studi di disaggregazione eseguiti nel capitolo precedente, è caratterizzata da una $M_w = 6.41$, pertanto questa condizione non è soddisfatta per poter omettere la verifica alla liquefazione.
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$
L'area di studio, dagli studi di pericolosità sismica di base eseguiti nel capitolo precedente, presenta valori di a_g superiori a $0,1$, pertanto questa condizione non è soddisfatta per poter omettere la verifica alla liquefazione.
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali

La zona di studio presenta una falda a circa 2m di profondità dal piano campagna, pertanto anche in questo caso la condizione non è soddisfatta per poter omettere la verifica a liquefazione

4. distribuzione granulometrica (in verde) esterna alle zone di possibile liquefazione (in rosso).

Analizzando l'analisi granulometrica eseguita sulla CPT 1 ad un metro di profondità dal piano campagna si evidenzia la presenza di terreni limosi con argilla, ben lontani dalla classe granulometrica delle sabbie liquefacibili. Pertanto questa condizione delle NTC2018 è soddisfatta, ci troviamo all'esterno delle zone di possibile liquefazione e pertanto la verifica a liquefazione non è necessaria.



Caserta 24 Luglio 2021

Geol. Vittorio Emanuele Iervolino