

Comune di: APRICENA

Provincia di: FOGGIA

Regione: PUGLIA



# NEOEN

NEOEN RENEWABLES ITALIA srl  
Via Giuseppe Rovani, 7 - 20123 MILANO (MI)

## ID: 10651 – Integrazioni – PROGETTO DEFINITIVO

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE  
RINNOVABILE AGRIVOLTAICA DI POTENZA NOMINALE PARI A  
20.013,84 kWp E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE RTN

## "SOLARE APRICENA - NEOEN"

TITOLO DELL'ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

DATA:

25/01/2024

N°/CODICE ELABORATO:

Tipologia: REL (RELAZIONI)

REL 006

PROGETTISTI:

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



Prof. Geol. Alfonso Russi  
Via Friuli, 5 - 06034 FOLIGNO

PROFESSIONISTI:

Prof. Geol. Alfonso Russi  
Via Friuli, 5 - 06034 FOLIGNO

Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie



01	202202664	ID: 10651 Integrazioni Istanza VIA e AU – Modifica potenza	Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie	Prof. Geol. Alfonso Russi	Ing. Fernando Sonnino
00	202202664	Emissione per Progetto Definitivo	Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie	Prof. Geol. Alfonso Russi	Ing. Fernando Sonnino
N° REVISIONE	Cod. STMG	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

## INDICE

1	PREMESSA .....	1
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
3	CARATTERISTICHE CLIMATICHE.....	2
3.1	Bilancio idrologico .....	4
4	CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE .....	6
5	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE .....	14
5.1	Aree esondabili.....	22
5.2	Dissesto idrogeologico .....	24
5.3	Erosione.....	25
6	CARATTERISTICHE IDROLOGICHE .....	27
7	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE .....	28
8	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE .....	29
8.1	Caratteristiche tettoniche.....	31
9	SISMICITÀ E CARATTERISTICHE SISMICHE .....	38
9.1	Storia sismica dell'area.....	38
9.2	Classificazione sismica dell'area .....	43
9.3	Classificazione sismica da indagine MASW .....	52
9.3.1	Esecuzione dell'indagine e calcolo delle $V_{e,eq}$ .....	54
10	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	59
10.1	Esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche .....	59
10.2	Confronto e validazione delle indagini eseguite .....	64
11	STIMA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE .....	65
12	CONCLUSIONI .....	71
13	BIBLIOGRAFIA E WEBREFERENCE .....	72
13.1	BIBLIOGRAFIA .....	72
13.2	WEBREFERENCE .....	73

# 1 PREMESSA

La Neoen Renewables Italia S.r.l., con sede a Milano (MI) in Via Rovani n.7, ha affidato allo scrivente l'incarico di eseguire delle analisi geologiche e sismiche nell'area d'intervento per la realizzazione di un impianto agrivoltaico nel Comune di Apricena (FG).

Detto studio si rende necessario al fine di fornire utili dati ed indicazioni per la stesura della presente relazione e della futura Relazione Geotecnica, secondo i disposti:

- Legge del 2/02/74 n.64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- A.G.I. 1977 “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”;
- D.M. 11/3/88, “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Circolare Ministeriale Applicativa n. 30483 del 24/09/88, “Istruzioni per l'applicazione delle norme di cui al D.M. 11/3/88”;
- Decisione n.701/1995 della V Sezione giurisdizionale del Consiglio di Stato, “Esclusiva competenza del geologo per la relazione geologica”;
- Circolare del Ministero dei LL.PP. n. 218/24/3 del 09/01/96, “Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica”;
- Dlgs 14 agosto 1996, n. 494, “Attuazione della direttiva 92/57/CEE concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili”;
- Ordinanza n. 3274 del 20/03/03 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Ordinanza n. 3431 del 03/05/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri “Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»”;
- D.M. 14/9/05, “Norme Tecniche per le costruzioni”;
- Ordinanza n. 3519 del 29/04/06 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, “Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni”;
- D.M. 14/1/08, “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”, entrato in vigore con Legge n. 77 del 24/06/09;
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti “Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”;
- Legge n. 77 del 24 giugno 2009, “Interventi urgenti di Protezione Civile in materia di prevenzione del rischio sismico”;
- della Circolare 08 settembre 2010, n. 7619 / STC “Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001”;
- Ordinanza n. 3907 del 13/11/10 della Presidenza del Consiglio dei Ministri “Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico”;

- Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018)”.

Nella presente relazione saranno presentate le indagini svolte, analizzati i risultati ottenuti e descritto il modello geologico del sito, che sarà orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Detto modello sarà sviluppato in modo da costituire un utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala.

Il modello geologico di riferimento descritto è stato validato e supportato da indagini specifiche proporzionate, nello specifico, all'importanza dell'opera.

Sulla base di quanto ottenuto, sarà verificata la fattibilità geologica delle opere in progetto.

Infine, sarà definito il modello geotecnico, consistente nella individuazione, in funzione del tipo di opera e/o di intervento, delle caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche del terreno, nonché alla valutazione della sicurezza, della funzionalità in relazione alle prestazioni attese, alla durabilità e alla robustezza delle opere.

La presente relazione è stata impostata sulla base delle conoscenze già note sull'area in studio, relative ad areali posti nelle vicinanze e che presentano caratteristiche geologiche, litologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche simili a quelle della zona in esame. Nello specifico, è stata estesa ad un ambito significativo e modulata in relazione al livello progettuale, alle caratteristiche dell'opera e del contesto in cui questa si inserisce, descrive il modello geologico, definito sulla base delle indagini eseguite (vedi capitolo 10).

La redazione della presente relazione ha tenuto conto, in particolare, dei seguenti aspetti:

- Inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico regionale (sulla base di dati pregressi);
- Analisi e descrizione dei dati derivanti dalla cartografia tematica CARG, in scala 1: 50.000;
- Analisi e descrizione della sismicità storica, nonché di dati derivanti dalla letteratura e dalla cartografia tecnico- scientifica pubblicata (faglie sismogenetiche da INGV ed altri dati relativi alle aree sorgente);
- Analisi e descrizione delle eventuali situazioni di franosità o di dissesto idrogeologico (frane e/o alluvioni) pregresso;
- Analisi e descrizione delle condizioni di antropizzazione presenti al contorno (ambito morfologico significativo);
- Illustrazione del programma d'indagine e progettazione dello stesso in funzione degli obiettivi del progetto;
- Esposizione ed interpretazione dei dati risultanti dalle indagini e dalle prove eseguite;
- Forme spettrali definite dalle norme di settore NTC18 ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ );
- Calcolo della  $V_s$  equivalente per la definizione della categoria del suolo di fondazione;
- Spettro di risposta elastico;
- Potenziale di liquefazione.

L'inquadramento idrogeologico si è basato sul documento “Individuazione di pozzi per acque destinate al consumo umano (art. 94 D.lgs. 152/2006) e individuazioni di risorgive e sorgenti” e sugli estratti delle carte idrogeologiche pubblicate.

I suddetti punti sono stati ritenuti di rilevante interesse per ottemperare a quanto previsto dalle NTC18 al paragrafo C6.2.1.

La seguente, riporta i parametri nominali dei terreni, i dati disaggregati necessari per la geotecnica, i valori medi e gli aspetti sismici di dettaglio (categoria di sottosuolo da  $V_s$  equivalente,  $a_{max}$ ,  $K_h$ ,  $K_v$ , liquefazione). Sebbene questi aspetti siano demandati nelle citate norme alla Relazione Geotecnica, trovano posto nella Relazione Geologica e Sismica quale naturale derivazione dalla campagna geognostica e dalle prove sismiche effettuate.

Pertanto, sulla base di quanto premesso, la presente Relazione Geologica e Sismica è strutturata nei seguenti paragrafi:

- 1) Premessa;
- 2) Inquadramento geografico;
- 3) Caratteristiche climatiche;
- 4) Caratteristiche pedologiche;
- 5) Caratteristiche geomorfologiche;
- 6) Caratteristiche idrologiche;
- 7) Caratteristiche idrogeologiche;
- 8) Caratteristiche geologiche;
- 9) Sismicità e caratteristiche sismiche;
- 10) Indagini geognostiche;
- 11) Prove ed analisi di laboratorio;
- 12) Stima del rischio di liquefazione;
- 13) Considerazioni e conclusioni.

Allegati:

- Analisi climatica;
- Analisi laboratorio pedologico;
- Spettri e Parametri sismici;
- Prova geofisica (M.A.S.W.);
- Prove penetrometriche dinamiche.

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il panorama geografico della Puglia è alquanto vario, ma è comunque possibile suddividere la regione in undici areali naturali, distinti per componenti fisico-ambientali, storico-insediative e culturali che ne connotano l'identità di lunga durata.

Gli undici ambiti di paesaggio sono stati individuati, nel PPTR, attraverso la valutazione integrata di una pluralità di fattori, quali:

- la conformazione storica delle regioni geografiche;
- i caratteri dell'assetto idrogeomorfologico;
- i caratteri ambientali ed ecosistemici;
- le tipologie insediative: città, reti di città, infrastrutture, strutture agrarie;
- l'insieme delle figure territoriali costitutive dei caratteri morfotipologici dei paesaggi;
- l'articolazione delle identità percettive dei paesaggi.

Gli ambiti di paesaggio rappresentano un'articolazione del territorio regionale in coerenza con il Codice dei beni culturali e del paesaggio (art. 135, comma 2, del Codice).



Figura 2-1. Schema delle regioni naturali della Puglia. In alto a destra, la location map.

Inoltre, è possibile suddividere la regione Puglia in sette areali naturali, distinti per caratteri fisico-biologici e per netta delimitazione da parte di confini orografici.

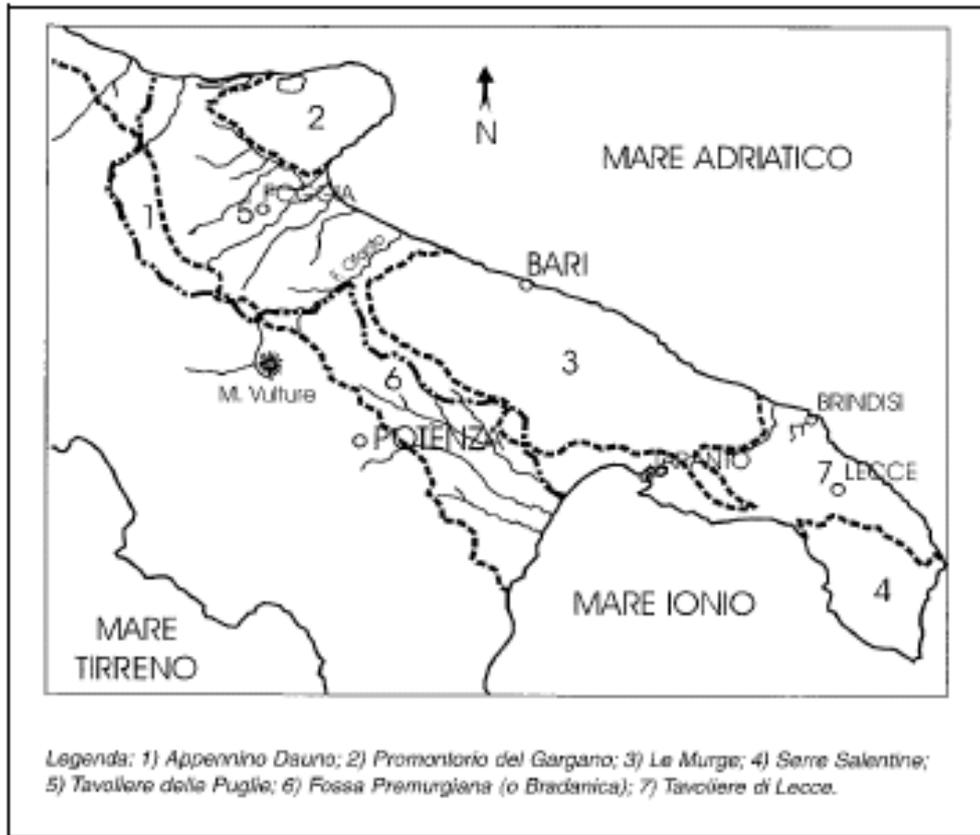


Figura 2-2. Schema delle regioni naturali della Puglia.

Tre di queste aree costituiscono la provincia di Foggia:

- Appennino Dauno: l'unica area del territorio pugliese con caratteri montuosi (M. Cornacchia 1.152 m; M. Cristiano 1.105 m; Monte S. Vito 1.015m);
- Gargano: promontorio carbonatico, lo sperone d'Italia, con elevazione massima intorno ai 1.000 m (M. Calvo 1.055 m; M. Nero 1.024 m);
- Tavoliere: la seconda più vasta pianura dell'Italia peninsulare, costituito da depositi terrigeni plio-pleistocenici.

Nella figura seguente, sono stati riportati le componenti e gli ambiti del PPTR. Tale strumento, rappresenta ben al di là degli adempimenti agli obblighi nazionali, un'operazione unica di grande prospettiva, integrata e complessa che prefigura il superamento della separazione fra politiche territoriali, identificandosi come processo "proattivo", fortemente connotato da metodiche partecipative e direttamente connesso ai quadri strategici della programmazione, i cui assi prioritari si ravvisano su scala europea nella competitività e sostenibilità.

L'area che ospiterà l'impianto in progetto ricade nel territorio del Comune di Apricena (FG), da cui dista circa 7 km a ESE rispetto all'abitato stesso. Essa è posta a circa 2,5 km a NNE di Poggio Imperiale e a circa 10 km da San Paolo di Civitate.

L'area di impianto è racchiusa nel reticolo di strade:

- A 14 a E;
- S.P. 39 a N;
- S.S 16 Adriatica a O

- S.P. 36 a S.

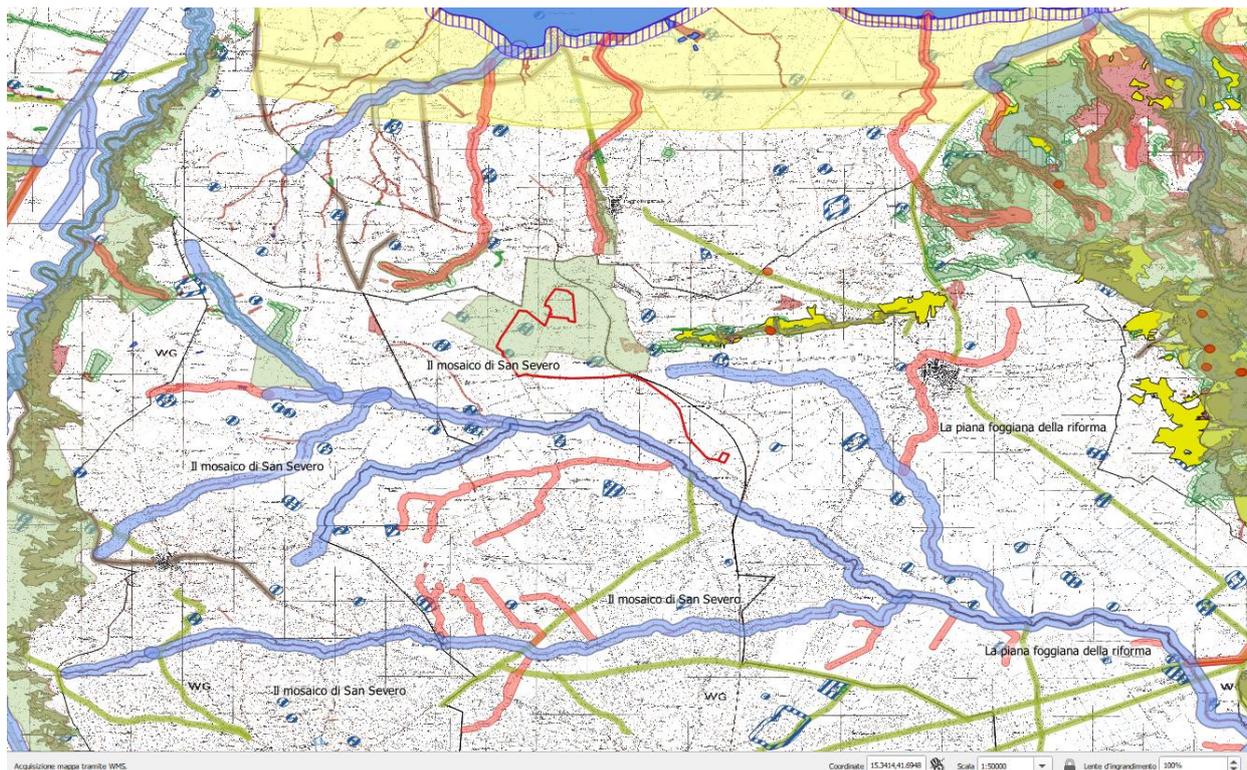
Le Coordinate Geografiche, corrispondenti al centro dei lotti, e i rispettivi Fogli e Particelle sono riportati nella tabella sottostante. La somma totale delle superficie ammonta a circa 36 ha.

Lotto	Latitudine	Longitudine	Foglio	Particella
1	41°48'1.89"N	15°21'11.76"E	15	155 82 14 62

Tabella 2-1. Localizzazione dei lotti.

La quota media è di 110 m s.l.m.

Nella figura seguente sono stati riportati, in ambiente Qgis, le componenti e gli ambiti del PPTR. Tale strumento, rappresenta ben al di là degli adempimenti agli obblighi nazionali, una operazione unica di grande prospettiva, integrata e complessa che prefigura il superamento della separazione fra politiche territoriali, identificandosi come processo “proattivo”, fortemente connotato da metodiche partecipative e direttamente connesso ai quadri strategici della programmazione, i cui assi prioritari si ravvisano su scala europea nella competitività e sostenibilità.



### Legenda

  Area di impianto

#### 6.1.1 Componenti geomorfologiche

UCP - Versanti

UCP - Grotte (100m)

#### 6.1.2 Componenti idrologiche

  BP - Territori contermini ai laghi (300m)

  BP - Fiumi, torrenti, corsi d'acqua iscritti negli elenchi delle acque pubbliche (150m)

  UCP - Reticolo idrografico di connessione della R.E.R. (100m)

UCP - Aree soggette a vincolo idrogeologico

#### 6.3.1 Componenti culturali e insediative

BP - Immobili e aree di notevole interesse pubblico

  BP - Zone gravate da usi civici (validate)

UCP - Area di rispetto delle componenti culturali e insediative (100m - 30m)

  siti storico culturali

#### 6.2.1 Componenti botanico-vegetazionali

BP - Boschi

UCP - Aree umide

UCP - Prati e pascoli naturali

UCP - Formazioni arbustive in evoluzione naturale

UCP - Aree di rispetto dei boschi

#### 6.3.2 Componenti dei valori percettivi

  UCP - Strade panoramiche

  UCP - Strade a valenza paesaggistica

#### 5 Ambiti Paesaggistici

Ambiti (con confini comunali)

  Gargano

  Tavoliere

Figura 2-3. Stralcio del PPTR e dei alcune delle sue componenti.

### 3 CARATTERISTICHE CLIMATICHE

L'area in esame presenta caratteristiche riconducibili a quelle tipiche del clima mediterraneo, caratterizzato da un regime di precipitazioni invernali e primaverili e da aridità estiva, con inverni miti.

Le attuali condizioni meteorologiche rispecchiano le vicende stagionali dell'area del Mediterraneo orientale, per effetto delle interferenze fra l'anticiclone eurasiatico, di origine termica, e l'anticiclone subtropicale delle Azzorre, di origine dinamica. Durante l'inverno, una fascia depressionaria (sede di ciclogenese) si instaura nell'area mediterranea con orientamento SO-NE, separando la zona di alta pressione eurasiatica da quella delle Azzorre; nei mesi estivi, la zona anticiclonica eurasiatica scompare e l'anticiclone delle Azzorre si intensifica e si sposta verso nord. I venti predominanti provengono dai quadranti settentrionale e meridionale, di norma con valori medi di intensità alti e distribuiti in modo piuttosto uniforme durante il corso dell'anno.

Per la caratterizzazione climatica della zona in esame è stato utilizzato il software DIACLI della Tecnovia s.r.l., ceduto alla Microsoft del gruppo Namirial per la distribuzione commerciale. Per la zona in esame sono state considerate valide le caratteristiche climatiche di Apricena in quanto la valenza statistica delle serie P/T ha fornito dei valori attendibili.

Gli indici e i dati afferenti al comune di Apricena sono riportati in allegato.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
42	41	43	36	37	36	26	27	46	53	53	57

Tabella 3-1. Tabella precipitazioni medie.

La maggior parte delle precipitazioni, che sono a carattere di pioggia, cadono nel semestre autunno-inverno:

Periodo	mm	% annua
Apr-Set	208	42
Ott-Mar	289	58

Tabella 3-2. Precipitazioni, ripartizione semestrale.

Le precipitazioni totali sono pari a 497 mm. Analizzando la distribuzione mensile delle piogge, si evidenzia un picco di piovosità in corrispondenza del mese di dicembre, mentre il minimo si verifica nel mese di luglio.

La maggior parte delle precipitazioni, che sono a carattere di pioggia, cadono nel semestre autunno-inverno.

I valori più alti di temperatura si registrano nel mese di agosto ed i più bassi in quello di gennaio. L'escursione termica fra estate e inverno risulta di media entità, passando da massimi estivi intorno ai 26 °C ai minimi non inferiori agli 8°C.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
7,52	8,42	10,82	14,02	18,72	23,12	26,02	25,82	22,42	17,32	12,52	8,82

Tabella 3-3. Tabella temperature medie.

Vengono di seguito rappresentati i diagrammi climatici risultanti dall'elaborazione dei dati raccolti e precisamente: il diagramma ombrotermico ed il climogramma di Peguy. La rappresentazione grafica risulta essere efficace e consente un'immediata lettura e comprensione dei fenomeni climatici.

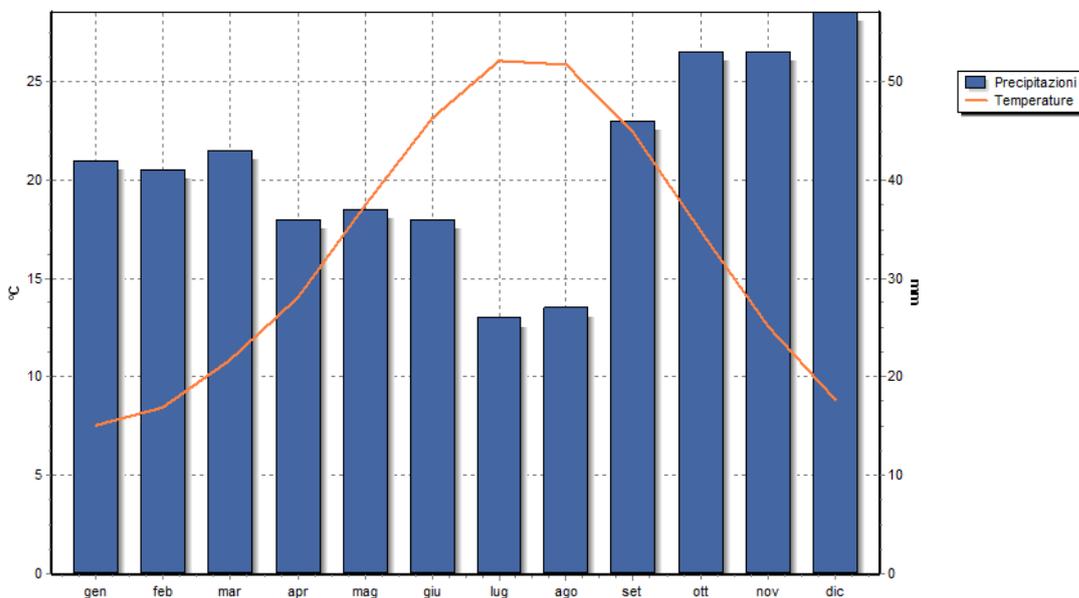


Figura 3-1. Diagramma Ombrotermico.

Dal diagramma ombrotermico si evince che i mesi definibili come “aridi” sono, giugno, luglio e agosto. Dal climogramma di Peguy si può constatare che i mesi di gennaio, febbraio, marzo, aprile maggio, settembre, ottobre, novembre e dicembre sono “temperati”, mentre giugno, luglio e agosto sono “caldi e aridi”.

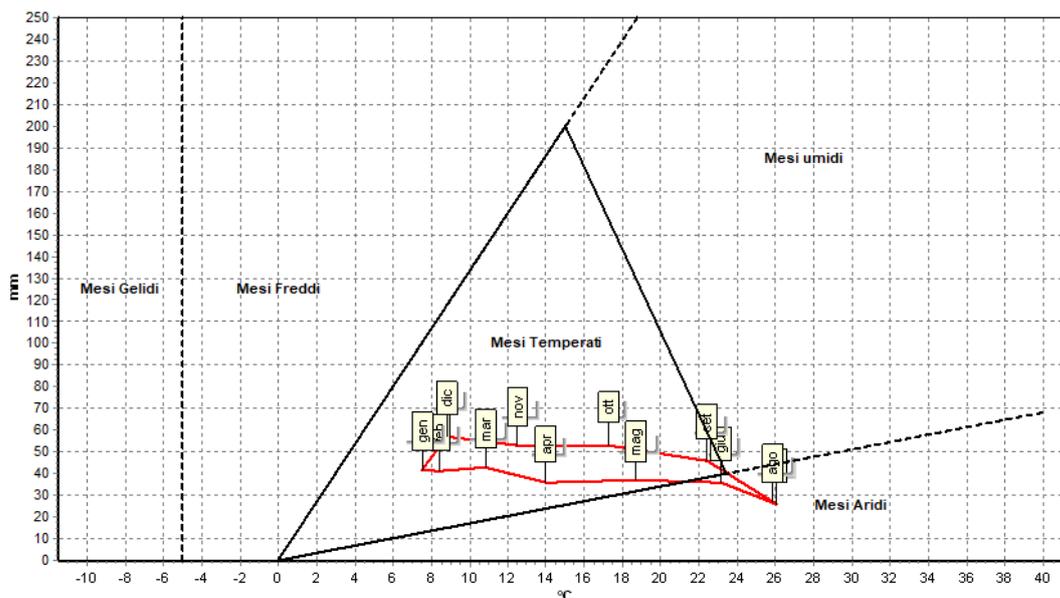


Figura 3-2. Climogramma di Peguy.

Nessun mese ricade tra i “gelidi”, i “freddi e umidi” e i “caldi e umidi”.

Nella tabella seguente sono riportati alcuni degli Indici climatici annuali maggiormente utilizzati.

Pluviofattore di Lang	30,42
Indice di Fournier	6,54
Indice di Amann	438,97
Evaporazione Idrologica di Keller	517,65 mm
Mesi aridi secondo Köppen	Lug, Ago
Mesi aridi secondo Gaussen	Mag, Giu, Lug, Ago
Indice ombrotermico annuale	2,54
Indice ombrotermico estivo	1,19

Tabella 3-4. Elenco principali indici climatici (per l'elenco completo si rimanda all'allegato).

Si rimanda agli Allegati per il report climatico completo.

### 3.1 Bilancio idrologico

Per una valutazione quantitativa delle acque si è proceduto ad effettuare il Bilancio Idrologico secondo Thornthwaite, elaborato statisticamente nell'arco dei 12 mesi. Dall'analisi dei dati relativi alla Stazione di Apricena si evidenzia che, a fronte di 497 mm/anno di Precipitazioni, si registra

un'evapotraspirazione potenziale (Etp) di ben 950 mm/anno. Ciò evidenzia una situazione di aridità alquanto marcata, infatti il deficit idrico (D) è di ben 453 mm/anno e si concentra nel periodo da maggio ad ottobre.

Anche i dati relativi all'acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (PAW) sono d'interesse. Infatti, il quantitativo totale, che potrebbe apparire significativo con i suoi 487,8 mm/anno, è concentrato nei mesi da novembre ad aprile, in netta contrapposizione con il marcato deficit. Il ruscellamento (R) risulta essere nullo.

Modello di Thornthwaite												
<b>Con:</b>												
z	1,8	m	Profondità apparato radicale									
FC	0,3	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Capacità di ritenzione idrica									
PWP	0,18	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Punto di appassimento									
m x PAW = (FC - PWP) * z	216	mm	Acqua massima utilizzabile da piante									
MESE	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
<b>Precipitazioni</b>	42,0	41,0	43,0	36,0	37,0	36,0	26,0	27,0	46,0	53,0	53,0	57,0
<b>Etp</b>	13,5	15,9	30,7	57,1	98,0	142,4	175,5	168,9	116,9	70,5	38,2	22,5
<b>dS</b>	28,5	25,1	12,3	-21,1	-61,0	-33,2	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	34,5
<b>PAW</b>	77,9	103,0	115,3	94,2	33,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	49,3
<b>AET</b>	13,5	15,9	30,7	57,1	98,0	69,2	26,0	27,0	46,0	53,0	38,2	22,5
<b>R</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>D</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	73,2	149,5	141,9	70,9	17,5	0,0	0,0
<b>Legenda</b>												
dS = Ritenuta idrica del suolo (mm)												
PAW = Acqua a disposizione delle piante nelle radici (mm)												
AET = Evapotraspirazione reale (mm)												
R = Surplus, ruscellamento (mm)												
D = Deficit idrico (mm)												

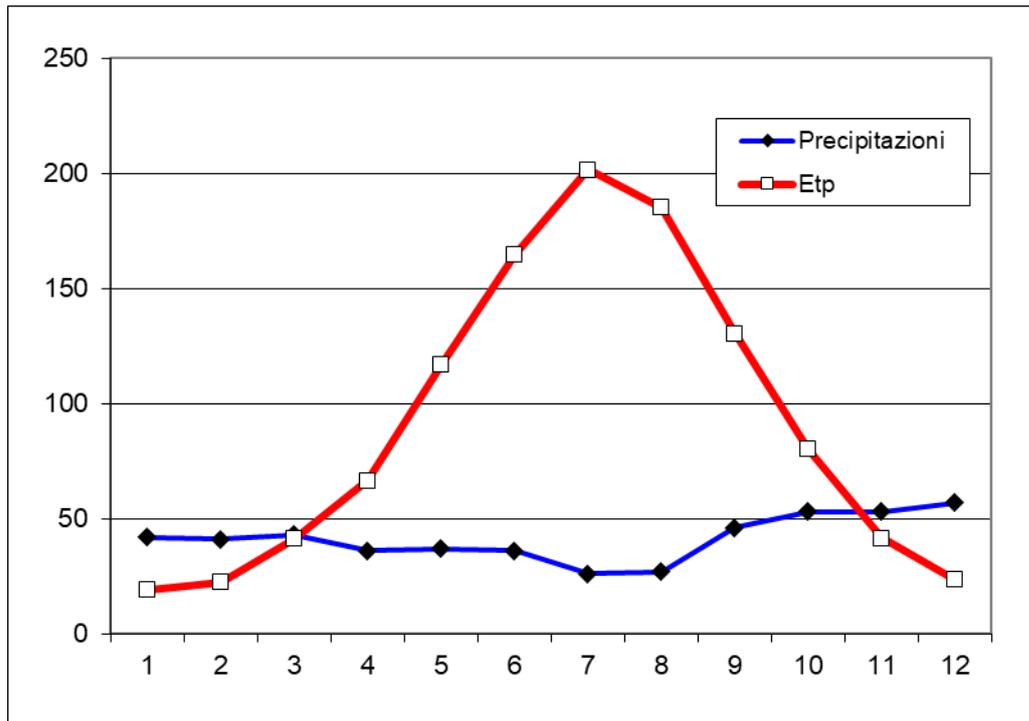


Figura 3-3. Grafico di Thornthwaite.

## 4 CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE

Il suolo è una risorsa di valore primario, al pari dell'aria e dell'acqua. Le funzioni del suolo sono molteplici: ecologiche, ambientali, produttive. È da questa consapevolezza che deriva l'esigenza di

acquisire conoscenze sempre più approfondite di questa risorsa, per poterla utilizzare e gestire secondo criteri di conservazione e sostenibilità.

Il suolo ha proprietà differenti dal sottostante materiale roccioso perché è il risultato delle interazioni esistenti sulla superficie terrestre tra il clima, la morfologia, l'attività degli organismi viventi (incluso l'uomo) e i materiali minerali di partenza.

Le informazioni sui suoli regionali, contenute nel sistema informativo pedologico e nella carta pedologica, possono essere utilizzate per varie esigenze di pianificazione del territorio. Le applicazioni di una carta pedologica sono molteplici, nei campi agricolo, forestale, urbanistico, e ambientale in senso lato. La conoscenza del suolo dovrebbe fornire un supporto alle scelte di pianificazione, in modo che queste non pregiudichino l'utilizzo di tale risorsa in futuro.

L'area in esame presenta suoli con potenza variabile da 0,5 a 1,0 m. Localmente il terreno vegetale è di colore bruno, sabbioso-limo con una discreta percentuale argillosa.

Dallo stralcio cartografico dell'uso del suolo di seguito riportato (portale S.I.T. Puglia, dati 2006 aggiornati al 2011), si evince che l'area in esame rientra in "Seminativi semplici in aree non irrigue".

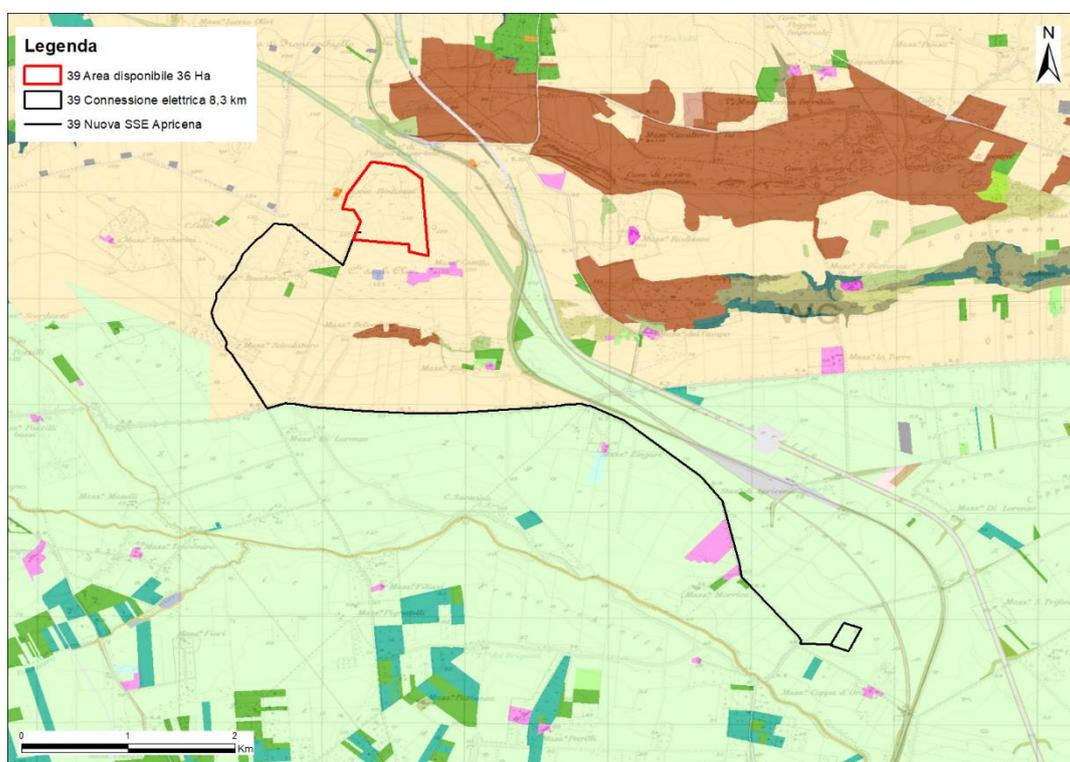


Figura 4-1. Stralcio dell'uso del suolo dell'area ad impianto agrivoltaico.

Il rilevamento pedologico, effettuato tramite osservazioni dirette, ha permesso di riscontrare una copertura di terreno di significativa potenza.

Questa regione pedologica presenta formazioni sabbioso-limose passanti ad argillose. È caratterizzata da un uso agricolo estensivo, in prevalenza cereali e, a luoghi, orticolo in campo pieno, oltre alla presenza di oliveti sparsi e ad una rara attività extragricola (settore di trasformazione agroindustriale).

Il rilevamento di dettaglio, eseguito il 9 giugno 2023, ha comportato il prelievo di n.1 campione di terreno (vedi punto riportato nella seguente corografia) che è stato sottoposto ad analisi di laboratorio, presso la ChemService Italia di Catania.



Figura 4-2. Ubicazione della stazione pedologica (S1).

La granulometria è prevalentemente sabbiosa (48,0%), passante a limosa (27,0%) e ad argillosa (25,0%). Nell'indagine effettuata, lo scheletro è praticamente assente (< 0,1%).

Dato l'andamento pianeggiante, il ricorso a particolari sistemazioni del terreno (per ridurre eventuali impaludamenti) è consigliato, soprattutto intervenendo lungo le cunette e i fossi di guardia che si presentano con scarsissimo livello di manutenzione.

Il campione è stato prelevato in minipit (pozzetto a sezione variabile, profondo circa 30 cm e largo 25x25 cm) nel punto ritenuto di interesse e di seguito indicato:

- Campione S1 (rapporto di prova n. 23/06014-00)  
Lat. 41° 47' 50,64" Long. 15° 21' 23,32"



Figura 4-3. Minipit S1.

Dai rilievi effettuati in sito e dai risultati delle citate analisi di laboratorio si evince quanto segue:

#### Campione S1

- a) La quota della stazione è di 127 m s.l.m.
- b) La superficie è pianeggiante.
- c) In base ai dati granulometrici si ottiene:
  - 48,0% Sabbia
  - 27,0% Limo
  - 25,0% Argilla
- d) Pertanto, il terreno si può definire come F “Franco”.
- e) In base alle Munsell Soil Color Charts si può definire 2/4 Tab.10 YR
- f) Il pH (logaritmo negativo della concentrazione idrogenionica della soluzione acquosa del suolo), indica il grado di acidità e di alcalinità del terreno. Questo campione, con pH pari a 7,3 si può definire “Neutro”.
- g) Per la dotazione di Sostanza Organica (S.O. = 1,72 • Corg) il giudizio sulla valutazione agronomica si può definire “Normale”.
- h) Per la dotazione di CSC la valutazione agronomica si può definire “Alta”.

#### **RILIEVO PEDOLOGICO – Apricena S1**

Parametro		Unità di misura Standard adottato	Valore	Definizione Classificazione
1	Colore	Munsell (hue-value- chroma)	10 YR – 2/4	
2	Quota	m s.l.m.	127	
3	Clivometria	%	< 5%	Superficie pianeggiante
4	Esposizione	°	NNE	
5	Uso suolo	ISSDS 97	210	Frumento
6	Rocciosità	%	0	Assente
7	Pietrosità	%	0	Assente
8	Curvatura morfometrica	Shoeneberger	VL	Convesso-Lineare
9	Forma	Carnicelli&Wolf	FTI	Terrazzo fluviale disseccato
10	Durezza	Shoeneberger	S	Soffice
11	Erosione reale	ISSDS 97	---	Assente
12	Rischio inondazione	Carnicelli&Wolf	---	Assente
13	Adesività	Carnicelli&Wolf	31	Non adesivo
14	Grado di aggregazione	ISSDS 97	1	Incoerente
15	Densità apparente	USDA	1,2	Bassa
16	Drenaggio interno	SSM	4	Moderatamente ben drenato
17	Capacità di accettazione piogge	Jarvis e Mackney	3	Moderata
18	Conducibilità idraulica	SSM	A-25/S-48	Moderatamente bassa
19	Presenza radici	SSM	2 ÷ 5	Medie e fini
20	Presenza tracce attività biologica	SINA	4	Molluschi

Tabella 4-1. Parametri del rilievo pedologico.

In allegato il Rapporto di prova n. 23/06014-00 del Laboratorio Pedologico ChemService di Catania, a cui si rimanda anche per l'analisi degli altri parametri pedologici (calcare, azoto, fosforo, sodio, potassio, ecc.).

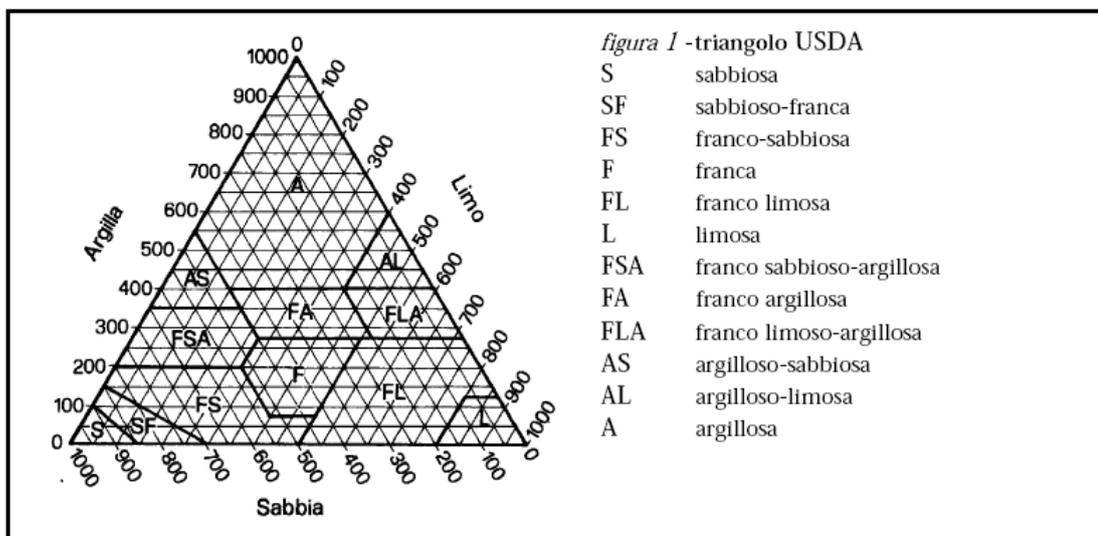


Figura 4-4. Diagramma granulometrico ternario USDA.

Apricena (FG)	
Classificazione (pH in acqua)	Reazione
Ultra acido	< 3,5
Estremamente acido	3,5 - 4,4
Molto fortemente acido	4,5 - 5,0
Fortemente acido	5,1 - 5,5
Moderatamente acido	5,6 - 6,0
Debolmente acido	6,1 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Debolmente alcalino	7,4 - 7,8
Moderatamente alcalino	7,9 - 8,4
Fortemente alcalino	8,5 - 9,0
Molto fortemente alcalino	> 9,0

Tabella 4-2. Classificazione pH (in H<sub>2</sub>O)

Apricena (FG)				
GIUDIZIO	Dotazione di sostanza organica %			CLASSE DI DOTAZIONE PER SCHEDE STANDARD
	Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	Terreni medio impasto (F-FL-FA-FAS)	Terreni argillosi e limosi (A-AL-FLA-AS-L)	
Molto basso	<0,8	<1,0	<1,2	Scarsa
Basso	0,8-1,4	1,0-1,8	1,2-2,2	
Medio	1,5-2,0	1,9-2,5	2,3-3,0	Normale
elevato	>2,0	>2,5	>3,0	Elevata

Tabella 4-3. Classificazione dotazione sostanza organica.

Apricena (FG)	
C.S.C. (meq/100 g di suolo)	Valutazione agronomica (terreni)
< 5	Molto bassa
5 – 10	Bassa
11 – 20	Media
> 20	Alta

Tabella 4-4. Classificazione di valutazione agronomica – CSC.

Per meglio definire il livello di assorbimento e permeabilità, nella parte più superficiale del suolo, è stata eseguita una prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale, secondo lo standard A.G.I. 1977:

$$Permeabilità (K) = h_1 - \frac{h_2}{t_2} - t_1 * 1 + \frac{\left(\frac{2h_m}{b}\right)}{27 * \left(\frac{h_m}{b}\right) + 3}$$

La prova è stata effettuata per due volte (e non tre, a causa dell'elevata impermeabilità) nel minipit del saggio pedologico e i risultati sono stati mediati per ottenere un valore di permeabilità più attendibile.

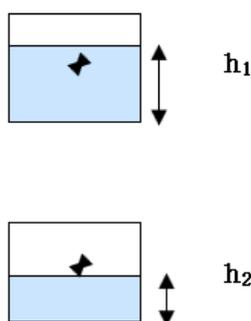


Figura 4-5. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale (standard AGI, 1977).

DATI	Unità di misura	Misura 1	Misura 2	Misura 3	Media
<b>h<sub>1</sub></b> = altezza iniziale del livello dell'acqua	cm	46,0	45,0	44,0	
<b>h<sub>2</sub></b> = altezza finale del livello dell'acqua	cm	45,0	44,0	43,0	
<b>t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub></b> = tempo trascorso per il raggiungimento di h <sub>2</sub>	min	0,7	0,9	1,1	
<b>h<sub>m</sub></b> = altezza media tra h <sub>1</sub> e h <sub>2</sub>	cm	45,5	44,5	43,5	
<b>b</b> = lato della base del pozzetto	cm	25,0	25,0	25,0	
<b>K</b> = coefficiente di permeabilità	cm/sec	0,0021	0,0016	0,0013	<b>0,0017</b>

Tabella 4-5. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto S1.

$k$ (m/s)	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>
<i>GRADO DI PERMEABILITÀ</i>	alto			medio		basso		molto basso		impermeabile		
<i>DRENAGGIO</i>	buono					povero			praticamente impermeabile			

Tabella 4-6. Schema sintetico dei rapporti tra il coefficiente di permeabilità e il drenaggio.

Come si evince dal risultato della Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale (standard A.G.I. 1977), il grado di permeabilità è “Medio” e, di conseguenza, il drenaggio è “Buono”.

Ciò è imputabile, prevalentemente, alle recenti arature e allo stato di fessurazione del suolo, in quanto le caratteristiche granulometriche del suolo, come si evince dalle prove di laboratorio eseguite, presentano una componente argillosa e limosa significativa.

## 5 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area d'intervento è situata nella parte settentrionale del Tavoliere di Puglia, che è caratterizzato da aree morfologicamente omogenee costituite da depositi sabbiosi e debolmente ciottolosi, subpianeggianti, sormontati da alluvioni terrazzate prevalentemente sabbiose, sabbioso-limose.

Il Tavoliere è delimitato a sudest dal basso tronco del fiume Ofanto, ad ovest dall'arco collinare appenninico che, da Ascoli Satriano, si spinge sino ad Apricena, a nordest dal F. Candelaro e ad est dal Mar Adriatico. Se, a detta area si somma la propaggine settentrionale pianeggiante, compresa tra la riva destra del F. Fortore ed il contorno occidentale del Lago di Lesina, si raggiunge un'estensione di oltre 4.000 km<sup>2</sup>, interamente ricoperti da depositi quaternari e costituiti in prevalenza da facies alluvionali.

Morfologicamente il Tavoliere è una pianura lievemente ondulata caratterizzata da vaste spianate che digradano debolmente verso mare a partire dalle quote più alte del margine appenninico.

I ripiani corrispondono a terrazzi marini, che digradano verso l'Adriatico e sono, a luoghi, delimitati verso est da scarpate poco elevate, corrispondenti a ripe di abrasione. La piana alluvionale si estende con continuità dalla zona dei terrazzi più antichi fino alla piana costiera che corrisponde, per gran parte, ad antiche aree lagunari.

Al di sotto dei depositi quaternari si rinviene il complesso delle Argille Azzurre della potente serie pliocenico-calabrianica, i cui affioramenti, partendo dalla bassa valle del Fortore, si protendono verso S, in una fascia che raggiunge il corso medio e inferiore del F. Ofanto.

I depositi pianeggianti affioranti del Tavoliere sono costituiti da una complicata combinazione di sedimenti del mare tirenniano e depositi alluvionali di facies continentale, questi ultimi di assetto connesso alla morfologia dei bacini collettori di monte, in parte ad oggi conservata, in parte modificata nel tempo.

Dal punto di vista morfologico è possibile distinguere l'area a margine dei rilievi (Area di Serracapriola, Troia, Ascoli Satriano e zone limitrofe), sede di modeste sommità pianeggianti di moderata altitudine, l'area dei terrazzi marini (Apricena, San Severo, Villaggio Amendola e Cerignola), ove affiorano terreni in prevalenza di origine marina, e la piana alluvionale antica, corrispondente, grossomodo, al Basso Tavoliere.

Il territorio settentrionale della Puglia, nella porzione di più orientale è caratterizzato da quote comprese tra i 10 m s.l.m. e i 150 m s.l.m; sulla base del Digital Elevation Model (DEM), in ambiente QGis, è stato approntato il livello tematico di carattere morfometrico, ossia la carta rappresentante la zonizzazione del territorio in funzione della clivometria.

La distribuzione delle classi di acclività è in buona parte controllata dall'energia cinetica dei corsi d'acqua, che dipende dalla portata e dalla velocità, in quanto il Tavoliere è l'unica area della Puglia ad essere dotata di una rete idrografica ben definita, costituita da corsi d'acqua a regime prevalentemente torrentizio che incidono i depositi quaternari.

L'area dell'impianto in oggetto sorge su un ripiano morfologico sub-pianeggiante, con un'altitudine media di circa 91 m s.l.m.

Il substrato di quest'area è costituito da una potente successione calcareo-dolomitica del Mesozoico su cui poggiano argille con irregolari e ripetute alternanze di livelli sabbiosi e/o ghiaiosi di età Pliocene superiore - Pleistocene inferiore. Alle argille sono sovrapposti depositi marini ed alluvionali terrazzati (Pleistocene superiore-Olocene), costituiti da ghiaie, sabbie e limi sabbiosi.

Data la situazione geomorfologica descritta e le modalità costruttive, non saranno necessari interventi di regimazione delle acque superficiali, se non un corretto drenaggio, né si dovrà procedere a verifiche di stabilità.

La variabile Topographic Position Index caratterizza le forme di paesaggio. Essa si basa su 10 differenti forme di paesaggio. In letteratura per la definizione della classificazione dei valori dei pixel, in termini di forme del paesaggio, può avere un significato più strettamente idrologico, oppure più strettamente geomorfologico.

Il bacino di utenza (anche noto come accumulazione di flusso), può essere utilizzato per impostare una soglia per l'inizializzazione dei canali. L'algoritmo di calcolo del tool di SAGA è basato sulla pendenza e su specific catchment area come sostituto della lunghezza del versante. La catchment area è una misura della superficie dell'upslope, ovvero l'area della superficie che contribuisce ad alimentare il pixel, più l'area del pixel stesso. Essa verrà espressa in m<sup>2</sup>.

La variabile Flow direction è tipicamente utilizzata per comprendere il flusso idrologico. Consente di mappare la direzione del flusso idrologico determinata dalla massima pendenza (QIN et alii, 2007).

Il Topographic Wetness Index (TWI) è il parametro che fornisce informazioni riguardo il run off delle acque meteoriche, fornendo una misura di quanto un'area tende a saturarsi (OLAYA e CONRAD, 2009). L'indice è funzione sia della pendenza che dell'area contribuyente a monte, per unità di larghezza, ortogonale alla direzione del flusso. I numeri di accumulo nelle aree pianeggianti saranno molto grandi, quindi il TWI non sarà una variabile rilevante. L'indice è altamente correlato con diversi attributi del suolo come profondità dell'orizzonte, percentuale di limo, contenuto di materia organica e fosforo.

L'equazione denominata Universal Soil Loss Equation (USLE) è il modello più utilizzato per stimare il rischio di erosione del suolo. Tra i parametri utilizzati nell'equazione vi è l'LS factor, (MOORE et alii, 1991) che descrive l'effetto della topografia sull'erosione del suolo. L è il fattore che tiene conto della lunghezza (m) del versante mentre S rappresenta la pendenza (%).

La variabile Mass Balance Index descrive le potenziali zone di accumulo di materiale colluviale e di deplezione del suolo: assume valori negativi per le aree di deposizione, valori positivi per quelle di erosione e valori prossimi allo zero per le aree dove vi è un equilibrio tra erosione e deposizione, come per le zone di pianura (MÖLLER et alii, 2008).

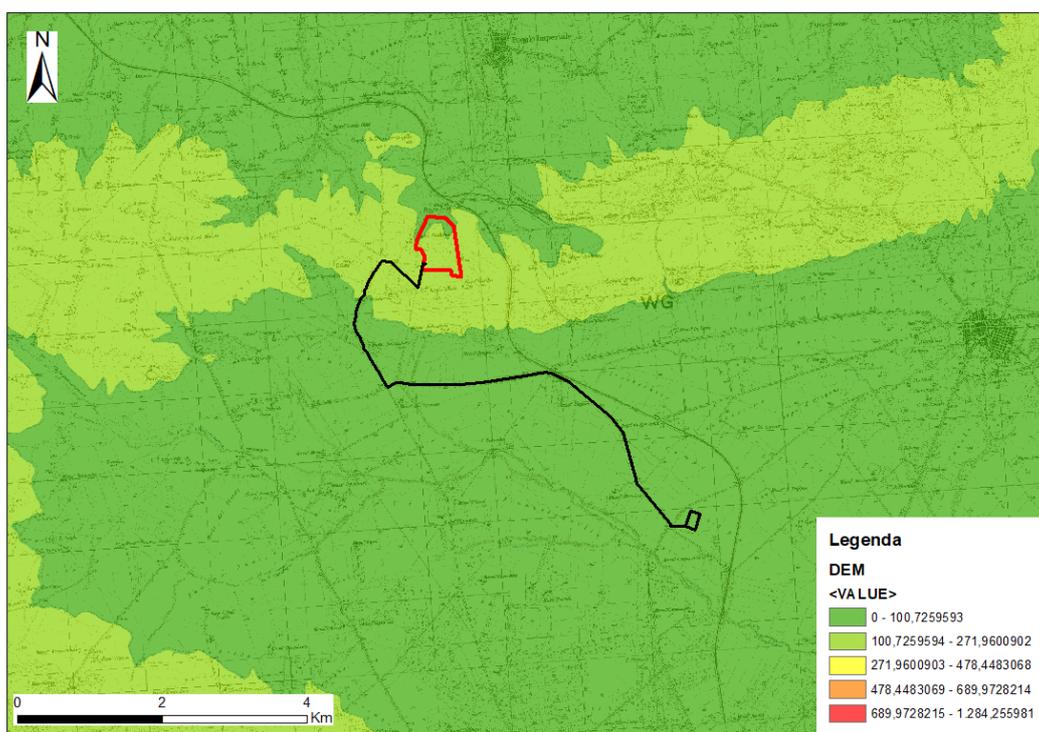


Figura 5-1. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione delle quote topografiche, nonché dell'energia del rilievo.

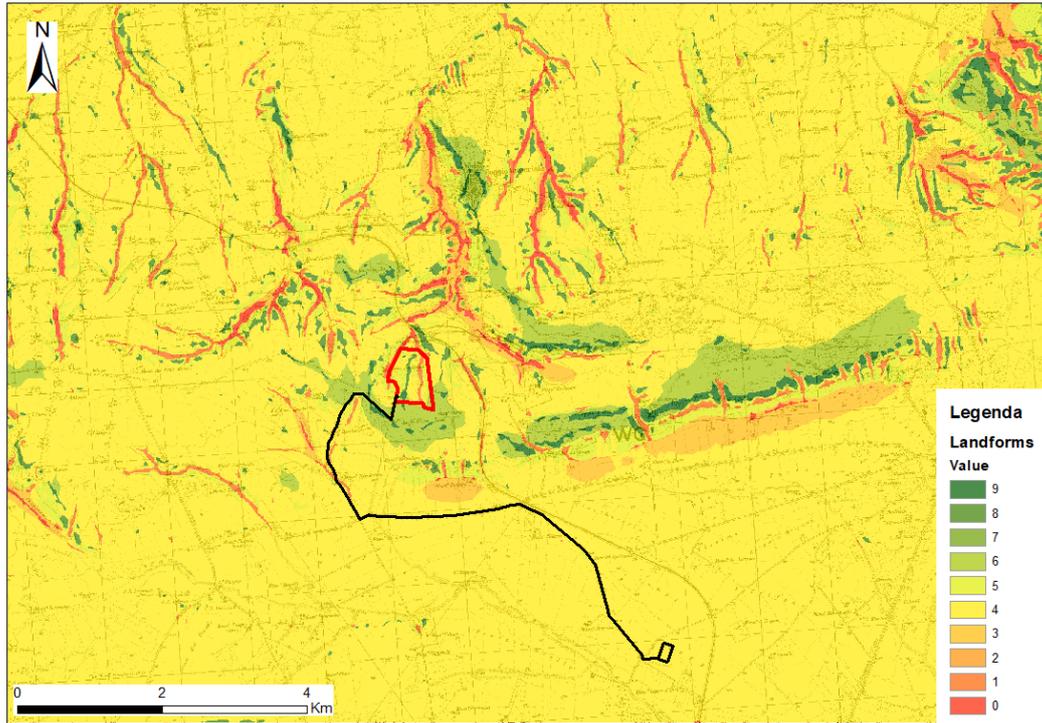


Figura 5-2. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione della classificazione delle forme del paesaggio.

Landforms Values	Inglese	Italiano
0	Streams	Impluvi profondi e canyon
1	Midslope drainages	Vallecole ed impluvi poco profondi
2	Upland drainages	Siti superiori di drenaggio montano
3	U-shape valleys	Piè versante e valle a forma di U
4	Plains	Pianure e pianori
5	Open slopes	Medio versante
6	Upper slopes	Alto versante
7	Local ridges	Convessità e crinali isolati in pianura e pianori
8	Midslope ridges	Convessità e crinali inferiori
9	High ridges	Crinali

Tabella 5-1. Landforms classification.

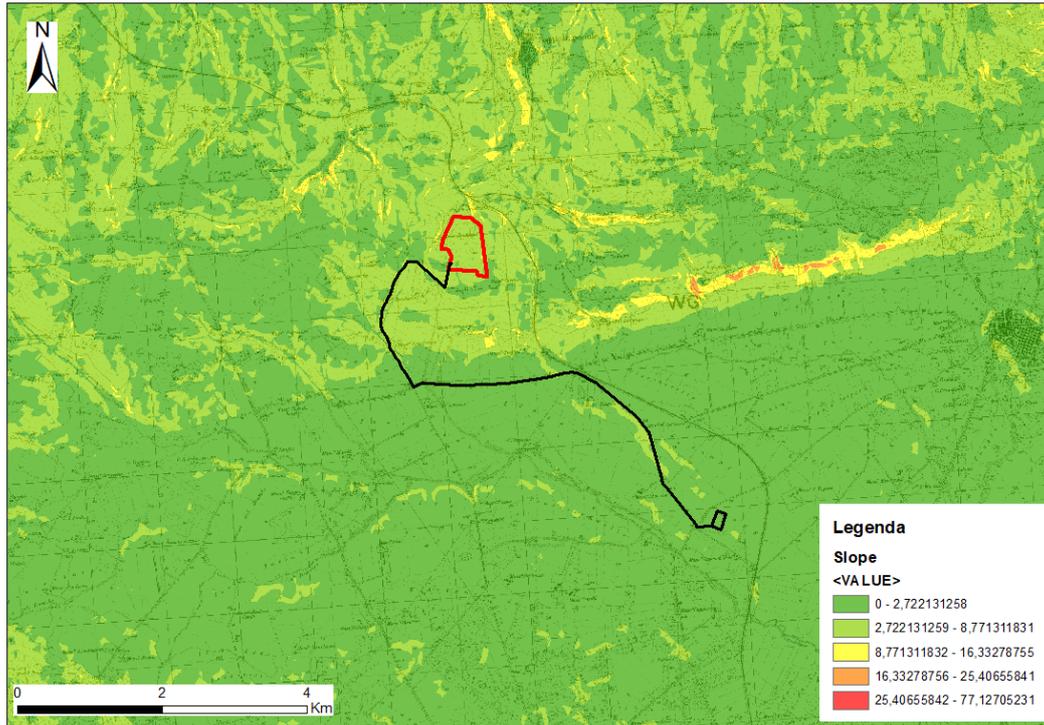


Figura 5-3. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione delle pendenze.

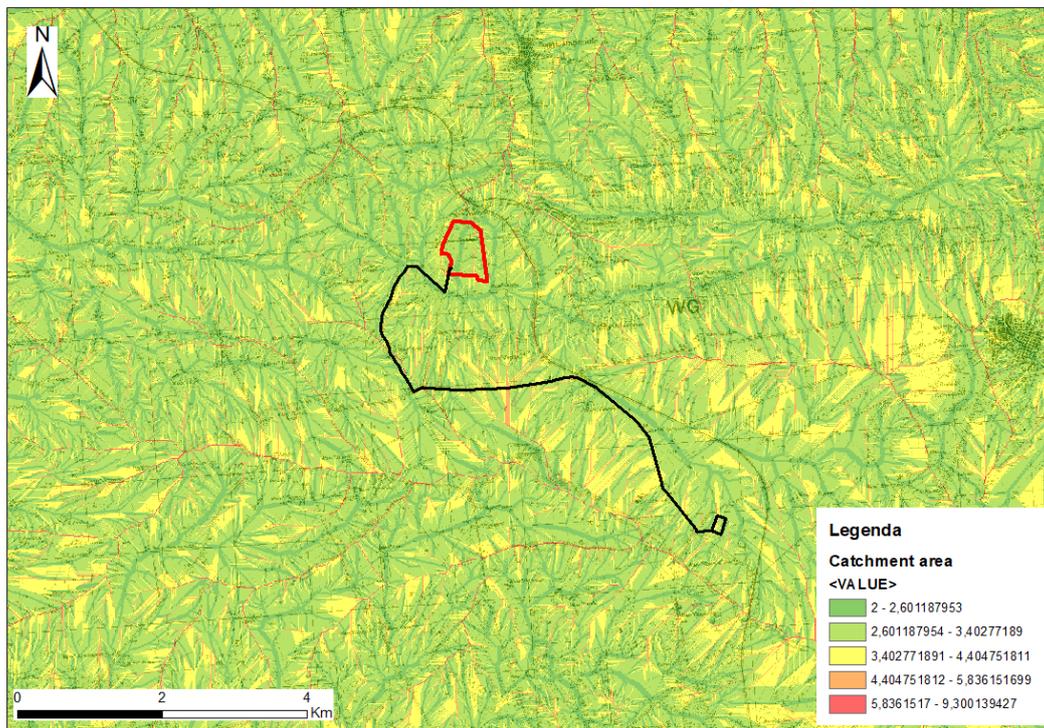


Figura 5-4. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido - Elaborazione della classificazione catchment area.

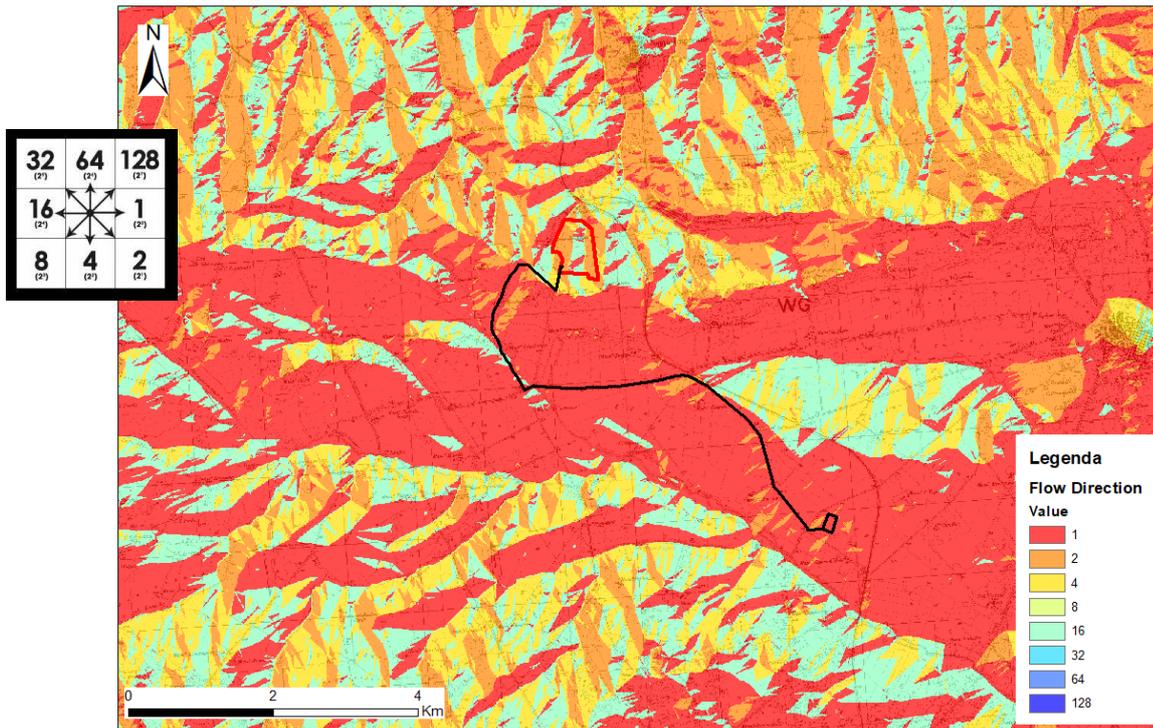


Figura 5-5. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della Flow Direction.

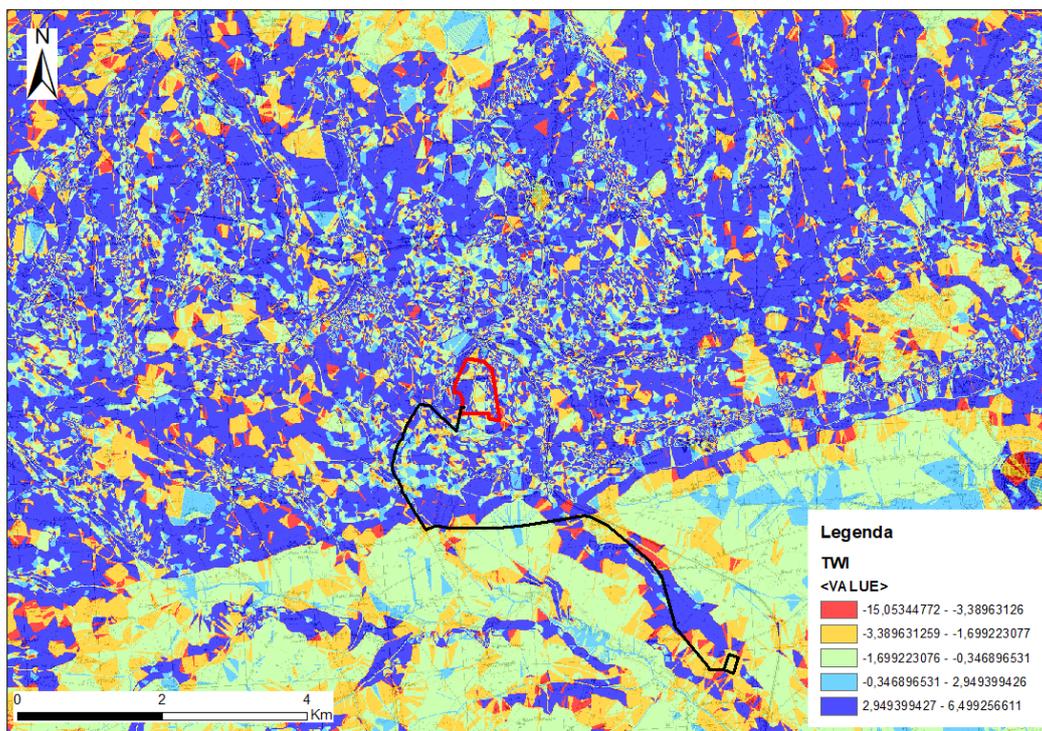


Figura 5-6. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della classificazione TWI.

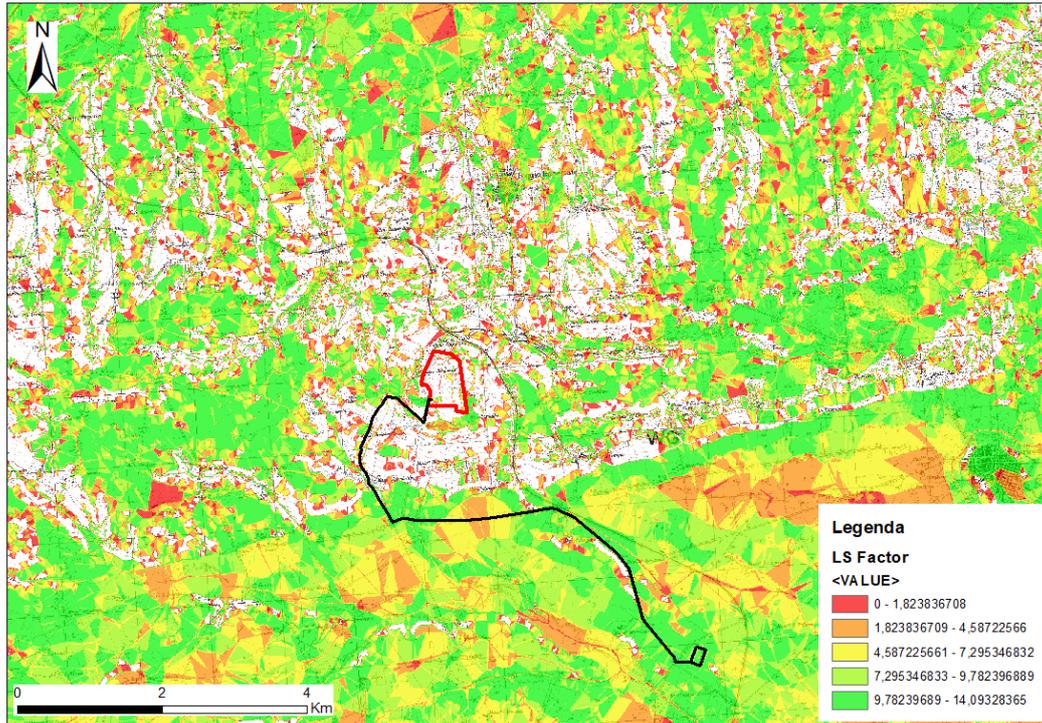


Figura 5-7. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della classificazione LS factor.

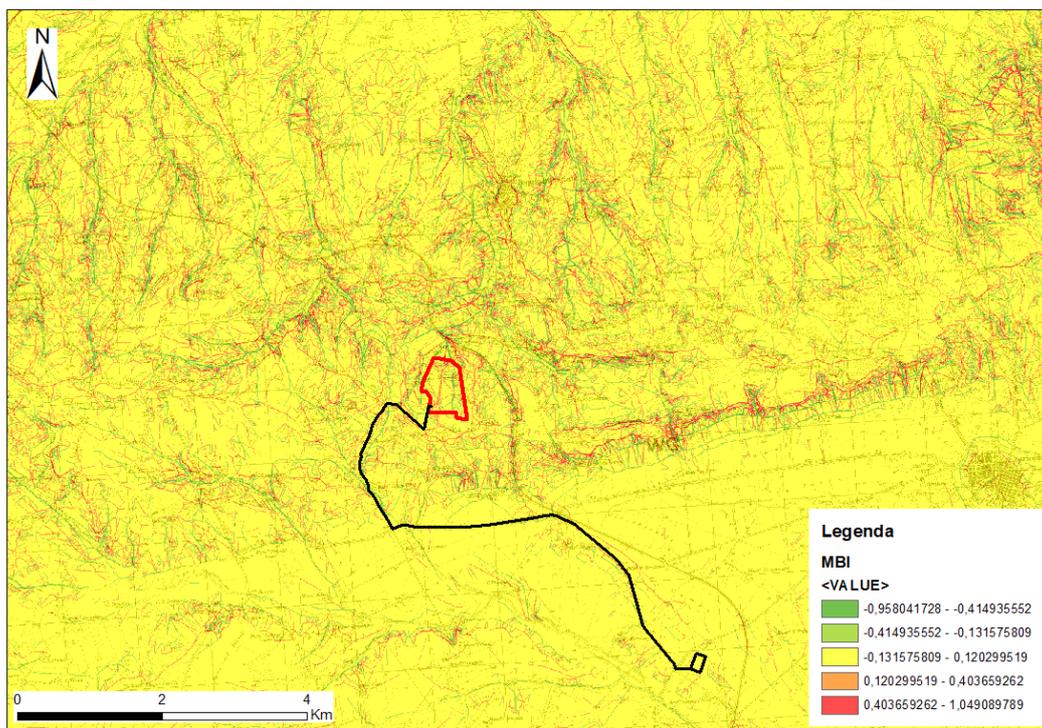


Figura 5-8. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della MBI.

La determinazione dell'altezza media di un bacino idrografico può essere semplificata costruendo la curva ipsografica che fornisce la distribuzione delle superfici nelle diverse fasce altimetriche. Ogni punto della suddetta curva ha come ordinata un valore di quota  $h_i$  e come ascissa la superficie parziale del bacino  $A_i$ , posta al di sopra della quota considerata. Ovviamente alla quota massima corrisponde una superficie nulla mentre, alla quota minima, che è quella della sezione di chiusura, corrisponde la superficie dell'intero bacino. L'area racchiusa dalla curva ipsografica e dagli assi coordinati, tenuto conto delle unità di misura utilizzate (le quote in m e le superfici in  $\text{km}^2$ ), rappresenta il volume del rilievo. La suddetta area rapportata alla superficie del bacino fornisce il valore dell'altitudine media.

La rappresentazione ipsometrica di un bacino idrografico consente, pertanto, di stimare lo stadio di evoluzione volumetrica raggiunto dal bacino in relazione a quello primigenio, che ha lo stesso sviluppo areale e il medesimo dislivello. Questa possibilità è offerta dall'integrale della curva ipsometrica, denominato integrale ipsometrico, il cui valore costituisce una valutazione del volume del bacino attualmente presente rispetto a quello teoricamente supposto originario.

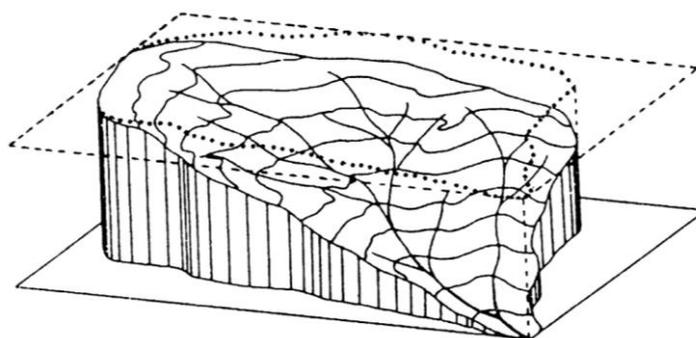


Figura 5-9. Schema generico di approfondimento di un bacino idrografico.

La terza legge di Horton o Legge delle pendenze dei corsi d'acqua enuncia che: *“In un corso d'acqua le pendenze medie dei segmenti idrografici di ordine successivo si dispongono secondo una progressione geom.ca con primo termine pari alla pendenza media dei segmenti del primo ordine e con ragione pari al rapporto di pendenza”*.

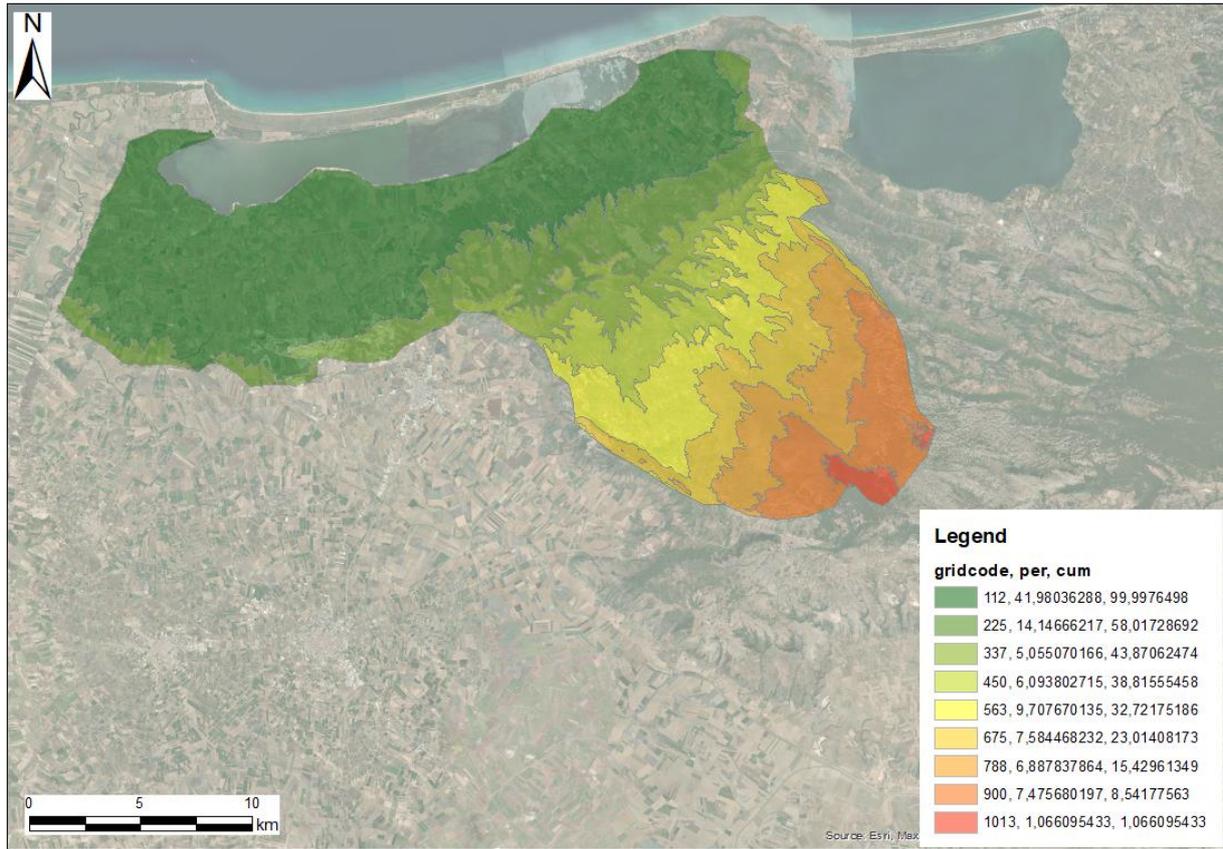


Figura 5-10. Altimetrie del bacino idrografico del bacino del Lago di Lesina.

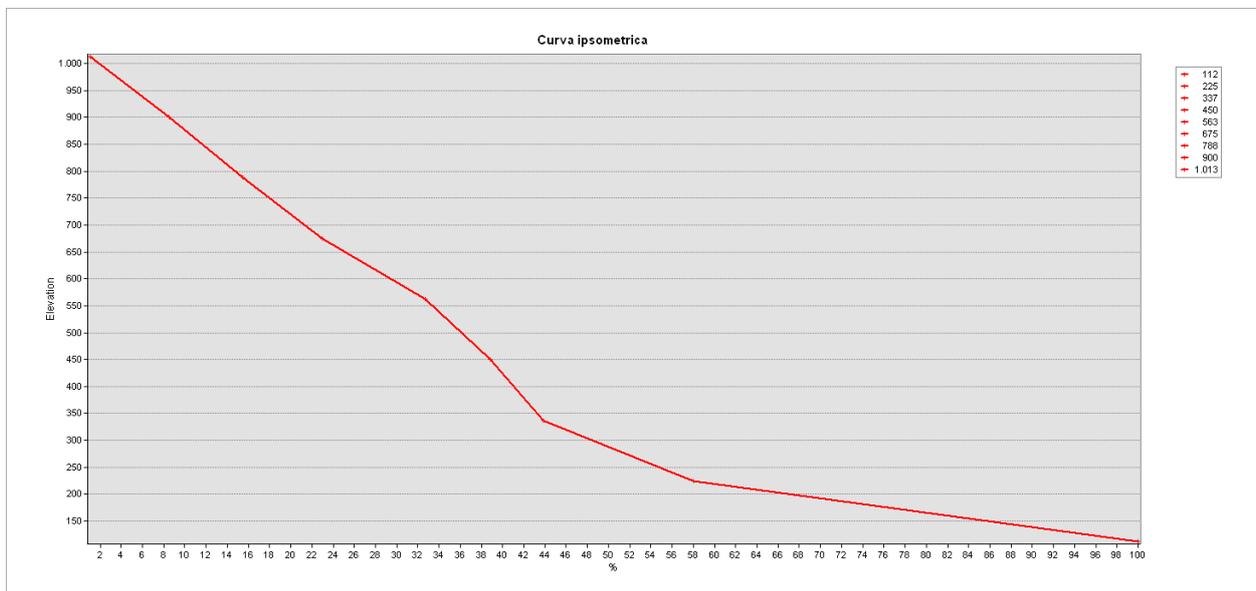


Figura 5-11. Curva Ipsometrica del bacino idrografico del bacino del Lago di Lesina.

## 5.1 Aree esondabili

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali, in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE, "Direttiva Alluvioni".

Tale Direttiva, nell'incipit, recita: *“Le alluvioni possono provocare vittime, l'evacuazione di persone e danni all'ambiente, compromettere gravemente lo sviluppo economico e mettere in pericolo le attività economiche della Comunità. Alcune attività umane (come la crescita degli insediamenti umani e l'incremento delle attività economiche nelle pianure alluvionali, nonché la riduzione della naturale capacità di ritenzione idrica del suolo a causa dei suoi vari usi) e i cambiamenti climatici contribuiscono ad aumentarne la probabilità e ad aggravarne gli impatti negativi. Ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture, connesse con le alluvioni, è possibile e auspicabile ma, per essere efficaci, le misure per ridurre tali rischi dovrebbero, per quanto possibile, essere coordinate a livello di bacino idrografico.”*

La Direttiva Alluvioni è stata recepita in Italia dal D.lgs. 49/2010, che ha introdotto il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), da predisporre per ciascuno dei distretti idrografici individuati nell'art. 64 del D.lgs. 152/2006, contiene il quadro di gestione delle aree soggette a pericolosità e rischio individuate nei distretti, delle aree dove possa sussistere un rischio potenziale significativo di alluvioni e dove si possa generare in futuro (APSF), nonché delle zone costiere soggette ad erosione.

Le due direttive europee evidenziano l'approccio integrato della gestione che si fonda su alcuni pilastri:

- l'unità geografica di riferimento caratterizzata da un'ampia porzione di territorio raggruppante più bacini individuata come distretto idrografico;
- la pianificazione ai fini e per il raggiungimento degli obiettivi della direttiva 2000/60/CE per l'azione comunitaria in materia di acque; nonché la pianificazione per la gestione e la riduzione del rischio da alluvioni che la direttiva 2007/60/CE introduce (codificando, disciplinando ed ampliando quanto già contenuto nella legge 183/89);
- l'individuazione dei soggetti a cui è demandata la redazione dei piani.

Il 1° dicembre 2022, con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri è stato approvato il primo aggiornamento del Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Meridionale – Il ciclo di gestione che costituisce stralcio funzionale del Piano di bacino del distretto idrografico dell'Appennino meridionale e ha valore di piano territoriale di settore e costituisce lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le misure finalizzate a garantire, per l'ambito territoriale costituito dal distretto idrografico dell'Appennino meridionale, il perseguimento degli scopi e degli obiettivi di cui alla direttiva 2007/60/CE e al Decreto Legislativo n. 49 del 2010.

Di seguito si riportano gli elaborati grafici del PGRA relativi a pericolosità, rischio e Areas of Potential Significant Flood Risk con la sovrapposizione delle aree di impianto in esame.

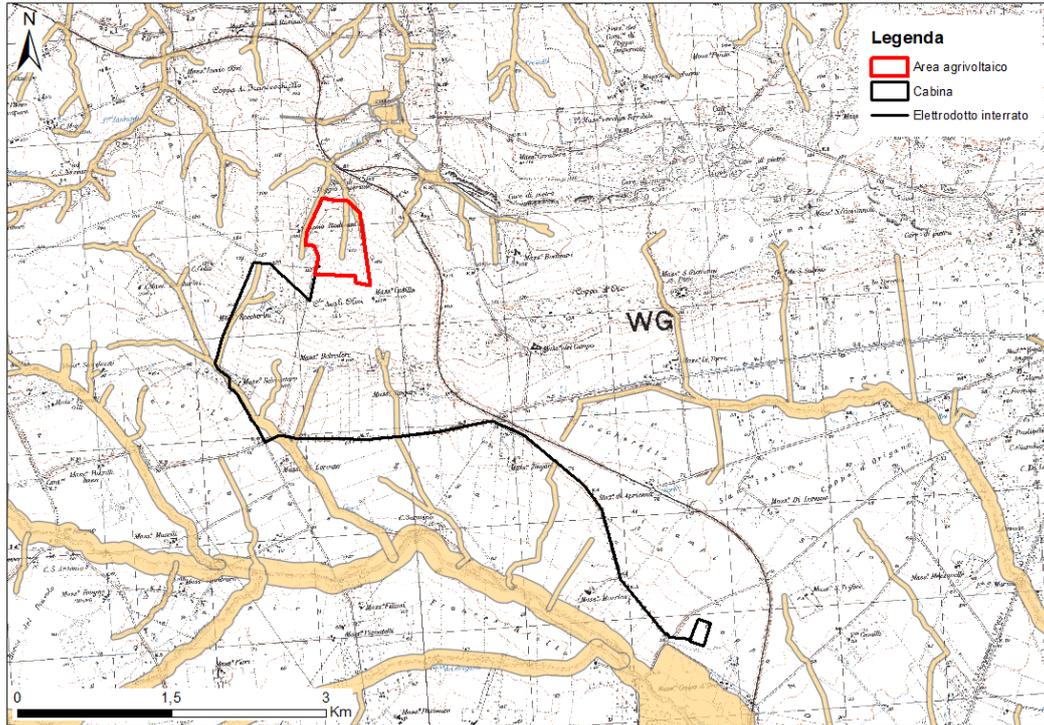


Figura 5-12. Stralcio del Areas of Potential Significant Flood Risk.

## 5.2 Dissesto idrogeologico

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni individua tre tipologie di aree in funzione della pericolosità, P1-P2-P3, associate rispettivamente a pericolosità bassa (probabilità che l'evento si ripeta in un periodo compreso tra 200 e 500 anni), pericolosità media (probabilità che l'evento si ripeta in un periodo compreso tra 100 e 200 anni) e pericolosità alta (probabilità che l'evento si ripeta in un periodo compreso tra 30 e 50 anni).

Analogamente, individua quattro tipologie di aree in funzione del rischio, R1-R2-R3-R4, associate rispettivamente a rischio moderato, medio, elevato e molto elevato, coerentemente con l'entità del danno atteso.

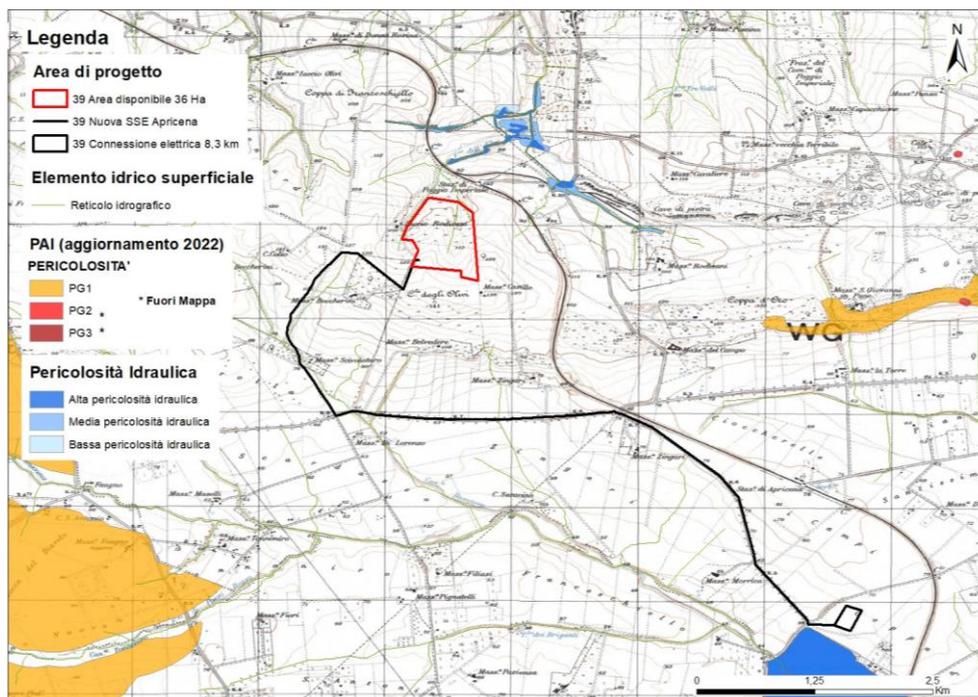


Figura 5-13. Cartografia delle aree interessate da movimenti gravitativi e del loro rischio associato.

### 5.3 Erosione

L'erosione dei suoli è certamente una delle più subdole forme di degrado ambientale innescate spesso proprio dalla scorretta gestione del suolo.

Generalmente, la sua lenta evoluzione è causa di un atteggiamento di scarsa attenzione da parte dei soggetti preposti al controllo e alla gestione del territorio. Ancora più subdolo e dannoso è l'approccio mirato al problema, visto come la sola "sottrazione di suolo" e non come un più generale e diffuso danno all'intero ecosistema dell'area erosa. È opportuno, infatti, ricordare che il suolo è la "base", il primo gradino della scala della vita (vegetale prima, animale poi).

Anche l'approccio alla conoscenza scientifica del problema risente di limiti; ed è soprattutto la difficile stima dell'erosione ad essere l'oggetto principale dell'attenzione degli studiosi. Poiché l'erosione dipende infatti da molteplici e differenti fattori ambientali ed antropici, la sua quantificazione è spesso soggetta ad ampi intervalli di giudizio.

Una delle metodologie più note per la stima della quantità di materiale asportabile per erosione lungo i pendii è quella elaborata da Fournier, basata prevalentemente su elementi climatici. L'unità di misura è espressa in  $t \cdot km^2 \cdot anno$ .

La relazione è la seguente:

$$\log E = 2,65 \cdot \log (P_1^2 / P) + 0,46 \cdot \log H \cdot \text{tg } a_m - 1,56$$

dove:

E = sedimento trascinato ( $t \cdot km^2 \cdot anno$ );

$P_1$  = precipitazione del mese più piovoso (mm);

P = precipitazione media annuale (mm);

H = altitudine media del pendio (km s.l.m.);

$a_m$  = inclinazione media del pendio ( $^\circ$ ).

Dalla interpretazione della formula risulta evidente l'elevato contributo attribuito alle precipitazioni e, in particolare, al rapporto  $P_1^2/P$ . Un significativo contributo, oggetto di una successiva modifica dell'indice di Fournier è dato dalla quota del bacino e dalla pendenza, vincolati da proporzionalità diretta e con crescita esponenziale.

Un altro aspetto da prendere in considerazione è la componente data dalla splash erosion, ovvero l'effetto battente delle gocce di pioggia che accentua, nei periodi di aridità degli ambienti mediterranei, l'erosione superficiale.

<b>EROSIONE secondo Fournier</b>	
$P_1$ – precipitazione del mese più piovoso (mm)	57
P – precipitazione media annuale (mm)	497
H – altitudine media del pendio (m s.l.m.)	66
$a_m$ – inclinazione media del pendio ( $^\circ$ )	3
E – sedimento trascinato ( $t \cdot km^2 \cdot anno$ )	3,70
Superficie del bacino ( $km^2$ )	20
<b><math>E_t</math> - erosione totale nel bacino (<math>t \cdot anno</math>)</b>	<b>74,63</b>

Tabella 5-2. Calcolo dell'erosione secondo Fournier.

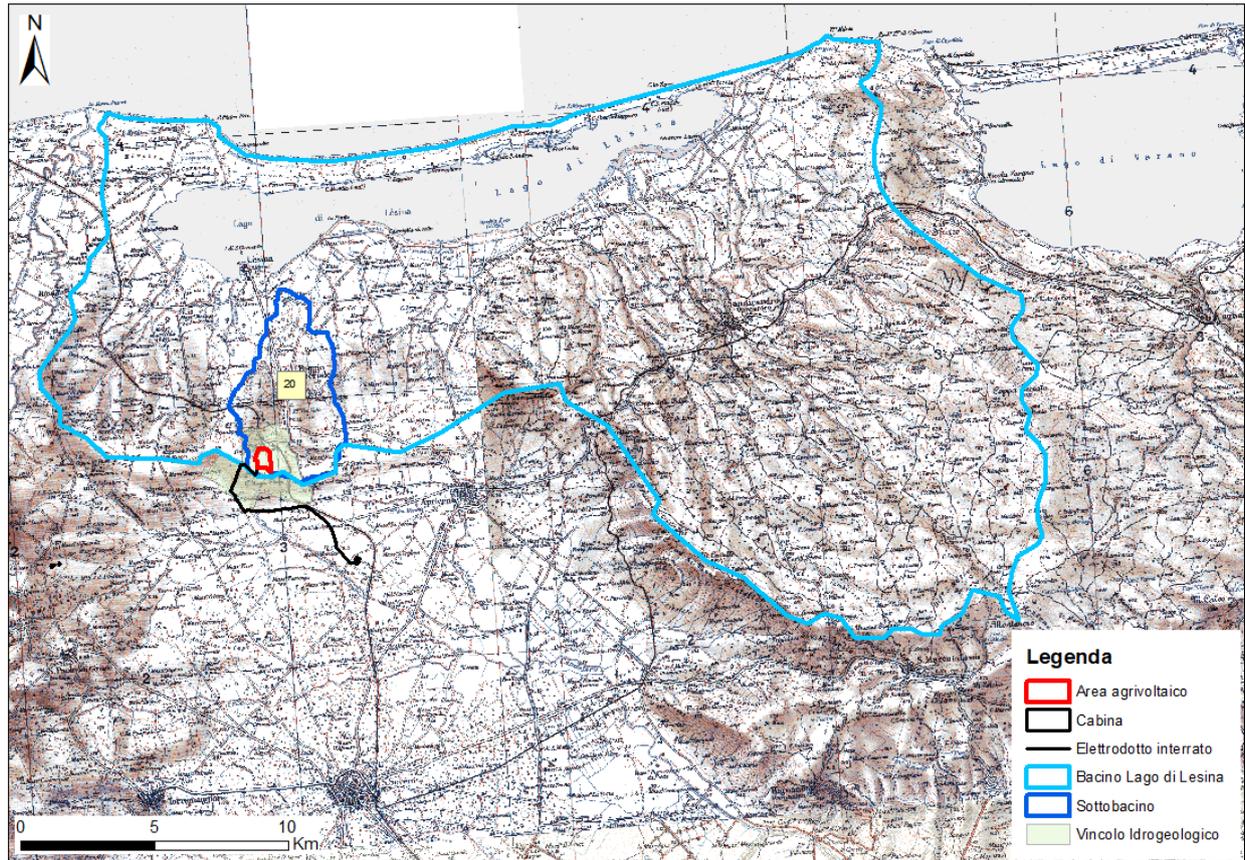


Figura 5-14. In blu, sottobacino del bacino del Lago di Lesina; in azzurro, bacino del Lago di Lesina.

## 6 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

L'area in esame ricade nel bacino idrico del Lago di Lesina ed è caratterizzato da un regime stagionale, con scarse portate in inverno-primavera e praticamente asciutto in estate.

Di contro, in occasione di particolari ed intense precipitazioni, che si concentrano soprattutto nel periodo autunnale, si possono registrare elevate portate di massima piena che possono provocare, anche in brevi tempi di ritorno di circa 20-30 anni, frequenti e pericolose alluvioni, i cui effetti però non interessano l'area in esame ma la parte bassa del bacino in prossimità della costa del lago.

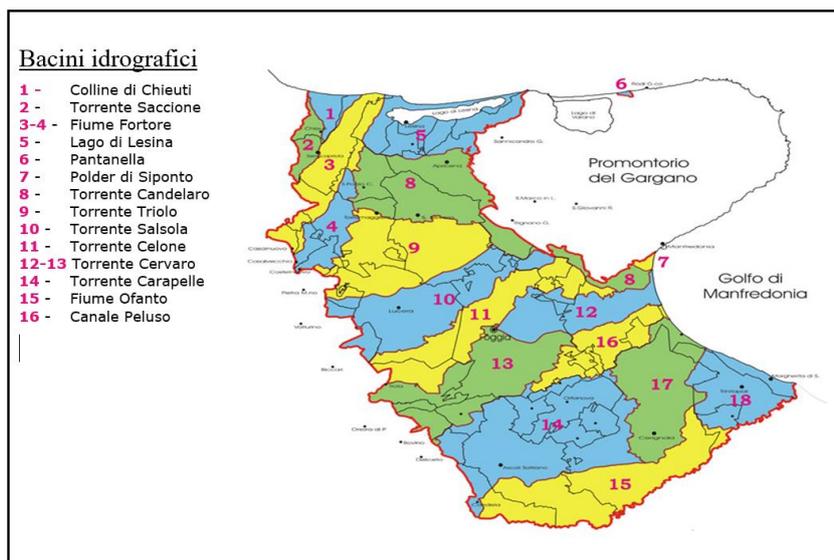


Figura 6-1. Bacini idrografici della Capitanata (fonte Consorzio di Bonifica della Capitanata)

Si rimanda alla Relazione idrologica e idrogeologica (REL009) per un maggiore approfondimento.

## 7 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La particolare situazione stratigrafica e strutturale del Tavoliere porta a riconoscere tre unità acquifere principali situate a differenti profondità (MAGGIORE et alii, 1996). Procedendo dal basso verso l'alto, la successione è la seguente:

- Acquifero fessurato-carsico profondo, situato in corrispondenza del substrato carbonatico prepliocenico del Tavoliere;
- Acquifero poroso profondo, corrispondente ai diversi livelli sabbiosi intercalati nella formazione pliopleistocenica delle "Argille grigio-azzurre";
- Acquifero poroso superficiale, corrispondente agli interstrati sabbioso-ghiaiosi dei depositi marini e continentali di età Pleistocene superiore-Olocene.

Il substrato calcareo prepliocenico, soggiacente ai depositi pliopleistocenici, prevalentemente argillosi, dell'Avanfossa appenninica, è ribassato a gradinata da sistemi di faglie dirette, a direzione appenninica e antiappenninica, che danno origine ad una articolata struttura ad horst e graben. Le suddette masse carbonatiche sepolte ospitano un esteso corpo idrico, localizzato a diverse profondità e collegato lateralmente alle falde idriche del Gargano e delle Murge.

La potente successione carbonatica giurassico-cretacea costituisce una vasta unità idrogeologica delimitata a nord, a nord-est e a sud-est dal mare adriatico, mentre a ovest e, per un breve tratto a sud-est, è separata da tavoliere da faglie tra le quali quella del Candelaro. L'esame della profondità di rinvenimento idrico e di stabilizzazione del livello piezometrico nei pozzi evidenziano come la falda idrica sotterranea del Gargano sia ovunque in pressione, come già sostenuto da COTECCHIA e MAGRI (1966). Lo spartiacque principale per la circolazione idrica sotterranea coincide grossomodo con l'asse principale del promontorio costituito dall'allineamento San Severo-Vieste (COTECCHIA e MAGRI, 1966). I gradienti piezometrici variano dallo 0.01 % al 7%. I valori di temperatura e di salinità delle acque sotterranee garganiche suggeriscono l'ipotesi che l'alimentazione della falda sia garantita dalle acque provenienti dal Tavoliere (GRASSI e TADOLINI 1991a e 1991b). Risulta evidente che gli unici scambi idrici possibili tra Gargano e tavoliere siano dovuti a circuiti idrici profondi.

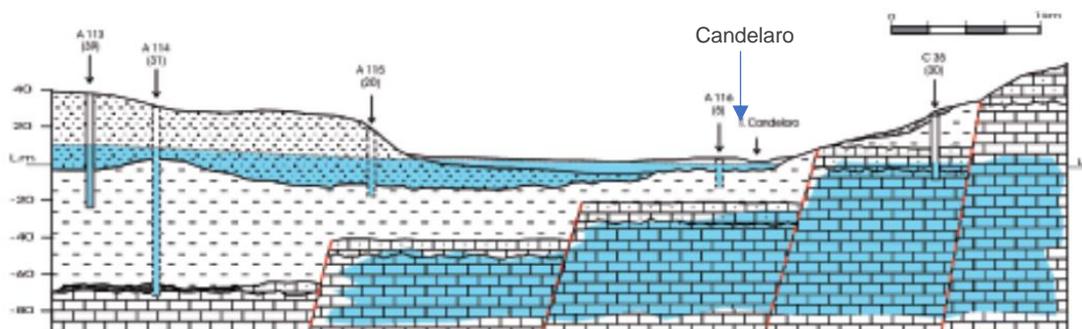


Figura 7-1. Sezione idrogeologica schematica.

Si rimanda alla Relazione idrologica e idrogeologica per un maggiore approfondimento.

## 8 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Per meglio comprendere l'assetto geostrutturale del territorio in studio sarà necessario riassumere a grandi linee la storia geologica di questa parte della provincia di Foggia.

Durante l'era Mesozoica (250 - 65 milioni di anni fa) tutta la regione era occupata dal mare e godeva di un clima tropicale, per cui sui bassi fondali oceanici si venivano a formare potenti banchi calcarei, a volte anche di origine corallina.

Dall'inizi dell'era Cenozoica (65 milioni di anni fa) essa veniva coinvolta nell'orogenesi alpina e si sollevava in maniera non uniforme: in corrispondenza dell'attuale Appennino e del Tavoliere si avevano sprofondamenti anche di varie migliaia di metri; mentre il Gargano, dopo il sollevamento, pur rimanendo in posto si frantumava in numerosi blocchi.

Durante il sollevamento della catena appenninica, tra questa e il Gargano si formava un braccio di mare, corrispondente all'incirca all'odierno Tavoliere, che metteva in comunicazione l'Adriatico centrale con l'attuale golfo di Manfredonia.

In questo Mare Dauno, durante tutto il Pliocene e fino al Calabriano (da 5 - 1,4 milioni di anni fa) i materiali, per la massima parte argillosi, fluitati dalle zone emerse e trasportati dalle correnti marine si depositavano sul fondo naturalmente disposto a conca.

Con l'accumularsi dei detriti la depressione veniva lentamente colmata e il Mare Dauno assumeva tutti i caratteri di una laguna.

Alla fine del Pliocene, a nord, emergeva un istmo che divideva la laguna dall'Adriatico centrale, mentre durante il Pleistocene (1,6 - 0,4 milioni di anni fa) continuando gli apporti terrigeni emergevano isole più o meno vaste riconoscibili oggi con le dorsali di Troia, Lucera, Coppe di Montedoro, Fiorentino, ecc.

Mentre il materiale alluvionale proveniente soprattutto dall'Appennino colmava la laguna, spingendo la linea di spiaggia sempre più ad est, tra Manfredonia e Margherita di Savoia si formava un cordone di dune che interrompeva definitivamente le comunicazioni col mare trasformando la parte restante della laguna in palude salmastra che nell'Olocene si prosciugava quasi per intero.

Nell'area del Tavoliere, come è stato ampiamente dimostrato dai numerosi pozzi petroliferi trivellati, alla base della serie stratigrafica sono i calcari mesozoici, che formano il fondo della depressione, sui quali si sono depositate le formazioni cenozoiche costituite soprattutto dalle potenti Argille grigio-azzurre, sulle quali si rinvengono i depositi quaternari marini frammisti a materiale alluvionale.

Nello specifico, la litologia dei luoghi è caratterizzata da rocce sedimentarie depositatesi in ambienti e tempi diversi e nell'area che sarà interessata dal progetto in esame affiorano soprattutto, dalla più bassa alla più alta, le seguenti formazioni:

- a) Alluvioni recenti ed attuali. Lungo le sponde dei canali e dei torrenti maggiori si rinvengono limi argille e sabbie formanti lenti e letti di diversa potenza e variamente intercalati fra loro. La loro età è l'OLOCENE;
- b) Alluvioni terrazzate. Sono formate da lenti e letti di ghiaie più o meno cementate, intercalati a luoghi a livelli di conglomerati compatti, a sabbie a stratificazione incrociata e ad argille verdastre. La natura litologica degli elementi più grossolani è molto varia e il loro arrotondamento è notevole. Nei ciottoli di medie dimensioni il grado di appiattimento è abbastanza pronunciato. Stabili per posizione, hanno buona capacità portante. Frequenti le variazioni sia orizzontali che verticali. Permeabili per porosità dove la frazione argillosa è assente, ospitano falde acquifere sospese. La loro età è il PLEISTOCENE – OLOCENE;
- c) Sabbie giallastre. Sono sabbie a granulometria media e fine, con livelli e lenti di conglomerati poligenici e rare placche argillose. Sono depositi di ambiente deltizio e presentano uno spessore che varia fra 35÷50 m. Stabili, sono mediamente costipati, hanno media plasticità e sono poco compressibili. La loro età è il CALABRIANO - PLIOCENE SUP;
- d) Argille grigio-azzurre. In continuità di sedimentazione col termine precedente si rinvengono argille marnose, siltoso-sabbiose, di colore grigio-azzurre, con intercalazioni sabbiose. Si presentano ben costipate, con media plasticità e poco compressibili. Sono depositi di ambiente

salmastro di età compresa fra il CALABRIANO e il PLIOCENE MEDIO.

I terreni fin qui descritti coprono in discordanza:

e) Calcari. Calcari dolomitici e dolomie stratificate del CRETACICO.

## 8.1 Caratteristiche tettoniche

Il territorio pugliese può essere distinto in tre diversi domini strutturali delimitati da nette discontinuità:

- i Monti della Daunia, corrispondenti alla zona frontale dell'Appennino;
- l'Avanfossa appenninica, che comprende il Tavoliere e la Fossa Premurgiana colmati da depositi clastici Plio-Pleistocenici;
- l'Avanpaese Appulo, che coincide con il Gargano, le Murge e le Serre salentine, costituiti da una potente coltre carbonatica di età Mesozoico-Paleogenica, scomposta da movimenti disgiuntivi.

Mentre i sedimenti costituenti l'Avanpaese e l'Avanfossa della Puglia sono in continuità di sedimentazione (coperture autoctone) sul basamento cristallino ercinico, le successioni stratigrafiche dei Monti della Daunia sono invece scollate dai loro substrati originari e traslocate sull'antistante bacino d'avanfossa.

A partire dal Miocene Medio, dopo la collisione tra la placca africana e quella euroasiatica, il territorio pugliese, svolgendo il ruolo di avanpaese, venne interessato dal regime compressionale dell'orogenesi appenninico-dinarica. In seguito a queste spinte tettoniche il territorio in esame subì un'inflessione dovuta agli sprofondamenti dei margini e all'innalzamento della zona centrale che diventava un alto strutturale, allungato in direzione NO-SE e diviso in settori variamente estesi e diversamente dislocati (Gargano, Murge, Salento).

Le faglie che hanno determinato queste strutture sono di tipo distensivo e riferibili a tre sistemi principali: NNO-SSE; O-E e NNE-SSO, con un'accentuata subsidenza della zona di avanfossa e di avanpaese.

Dalla fine del Pleistocene, diminuite le spinte orogenetiche, si è avuto un progressivo arresto della subsidenza, seguito da un sollevamento regionale molto più accentuato sul lato appenninico.

L'area in studio fa parte dell'avanfossa adriatica meridionale, disarticolata in alti e bassi strutturali dalla tettonica distensiva pliocenica.

Il sollevamento è attestato dai depositi di tipo regressivo che si rinvengono a partire dalle argille e fino ai conglomerati che chiudono il ciclo.

La tettonica dell'area in esame deve essere distinta in quella riguardante i terreni di copertura e in quella relativa ai terreni di impalcatura.

Gli affioramenti dei terreni pliocenici e quaternari presentano un unico carattere tettonico: tutti i sedimenti immergono verso nordest ed est, con pendenze non superiori a 5°.

La tettonica profonda, che interessa le rocce terziarie e secondarie, è caratterizzata da tre fasi disgiuntive con numerose serie di faglie, nonché pieghe minori, a diverso orientamento.

I tre sistemi risalgono al Pliocene inferiore-medio e sono riferibili alla principale fase tettonica che ha interessato l'Appennino meridionale.

Le tre fasi tettoniche sono così definite:

- "appenninica", con direzione NNO-SSE;
- "anti-appenninica", con direzione NNE-SSO;
- "garganica", con direzione E-O, di grandi dimensioni, successiva alle prime.

Le numerosissime faglie "appenniniche" e "anti-appenniniche" sono dirette o verticali e determinano una serie di horst e graben secondari; hanno piccoli rigetti ed estensione limitata e sono molto frequenti le fitte associazioni in fasci subparalleli. Queste due serie di lineazioni vengono interrotte dalle faglie "garganiche", meno numerose, con maggior rigetto delle precedenti.

Localmente studi sulla neotettonica hanno accertato che nell'intervallo Pliocene Inf. – Pleistocene Medio si è registrata una continua subsidenza di varia entità. Nell'intervallo compreso fra 0,7 m.a. e circa 0,018 m.a. si ha il sollevamento di tutta l'area, che localmente è di circa 150 m.

Localmente sono delineabili dei lineamenti strutturali orientati in direzione E-O nella zona di Apricena (ad est dell'area in esame).

La condizione geostrutturale riconosciuta sul territorio è rappresentata da una sovrapposizione stratigrafica delle formazioni precedentemente descritte ripiegate in anticlinali e sinclinali, con relativo asse di sviluppo con direzione appenninica NW-SE, come si evince nella sezione di seguito riportata.

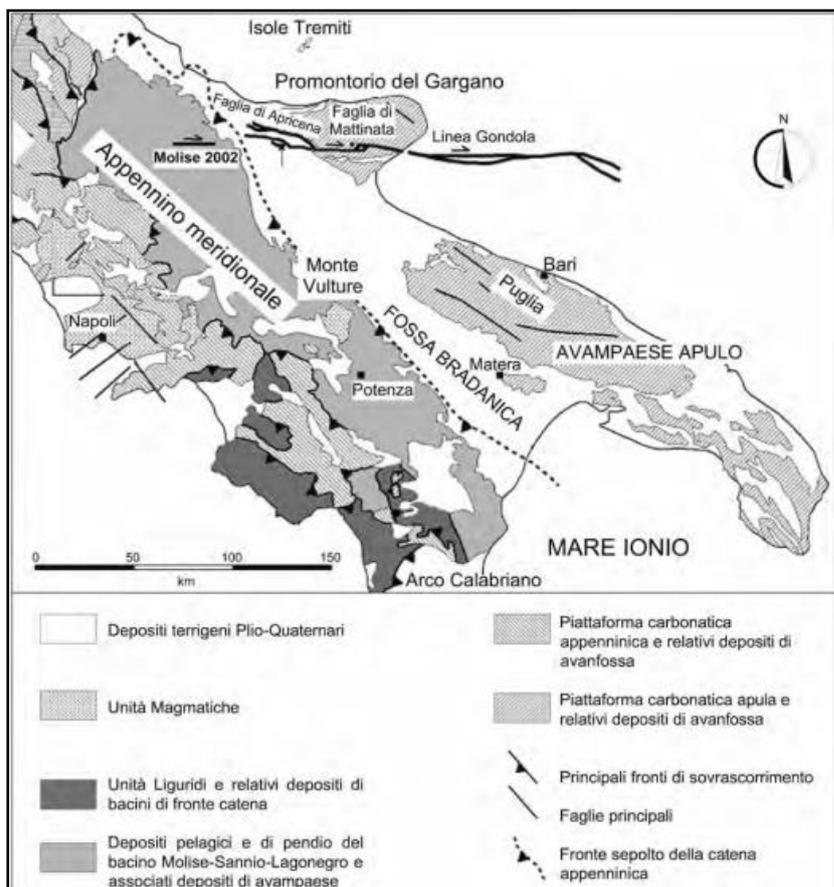


Figura 8-1. Carta geologica schematica dell'orogene appenninico con indicazione delle principali strutture costituenti la Molise-Gondola shear zone (da BUCCI et alii, 2006).

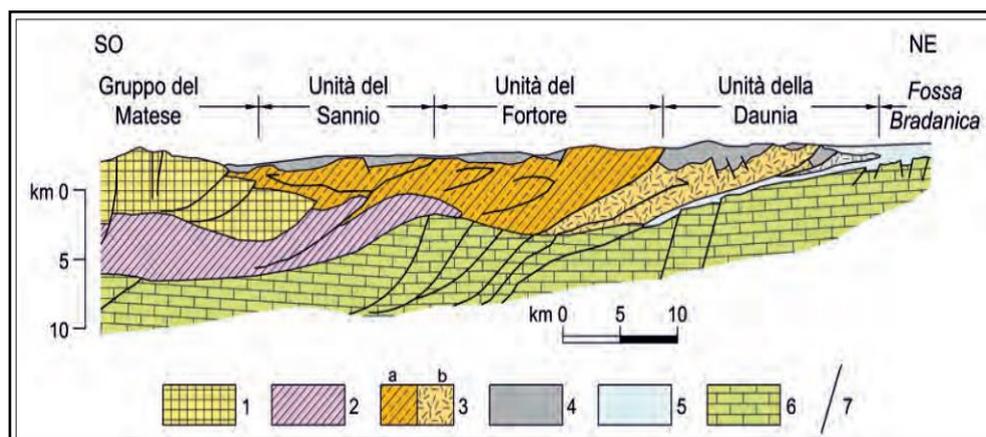


Figura 8-2. Sezione geologica schematica del settore di catena marginale dell'area sannitica e dauna dell'Appennino meridionale (mod., da PESCATORE et alii, 2000). Legenda: 1 – Unità della Piattaforma Carbonatica Appenninica; 2 – Unità Lagonegrese inferiore; 3 – Unità Lagonegrese superiore (a = Unità del Sannio e del Fortore, b = Unità della daunia); 4 – Unità plio-mioceniche; 5 – Unità della Fossa Bradanica; 6 – Unità della Piattaforma Carbonatica Apula; 7 – faglie.

Non mancano in un tale contesto strutturale fenomeni tettonici locali quali faglie impostatesi parallelamente agli assi delle suddette pieghe apportando disturbi a tali originarie forme plicative.

L'assetto strutturale comporta che il basamento calcareo - dolomitico del Mesozoico presenta, in corrispondenza del Tavoliere di Foggia, una struttura a Horst e Graben, originata da un sistema di faglie appenniniche parallele alla faglia marginale del Gargano ("Faglia del Candelaro"). Particolarmente interessanti sono anche le condizioni geologico-strutturali dell'estremità settentrionale della Faglia di Apricena, che delimita il promontorio del Gargano ad Ovest del lago di Lesina. Le faglie definiscono poi un horst, con risalita del tetto dei calcari sino a profondità inferiori a 500 m.

Il progetto ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) del Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA riporta la presenza di faglie attive e capaci nell'area in esame.

Il catalogo è in continuo aggiornamento e non può mai considerarsi completo o definitivo. Non rappresenta la totalità delle faglie capaci presenti sul territorio nazionale, ma solo quelle per le quali esiste uno studio e quindi un riferimento bibliografico.

La fagliazione superficiale può indurre seri danni agli edifici e alle infrastrutture e quindi rappresentare una rilevante fonte di pericolosità. La conoscenza approfondita e la precisa collocazione spaziale delle faglie in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (faglie capaci; Pleistocene-Olocene), assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio.

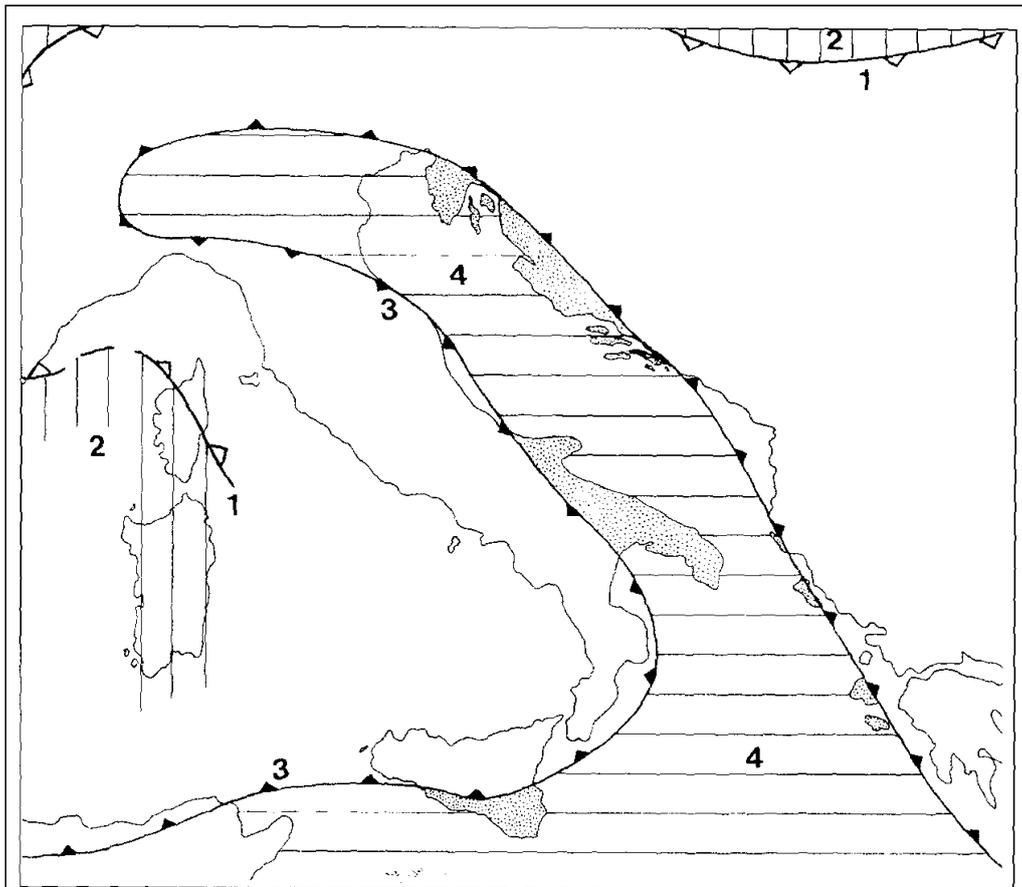
La faglia attiva e capace più vicina è Apricena (normale, codice 44200), con direzione O-E e che dista circa 3,5 km a sud dell'area d'intervento.



Figura 8-3. Stralcio della cartografia del progetto Ithaca-ISPRA (in blu, l'area di progetto).



Figura 8-4. Stralcio del Database of Individual Seismogenic Sources per terremoti  $M > 5.5$ . Le Composite Seismogenetic Sources sono state evidenziate con i loro Id. (in blu, è stata evidenziato il sito oggetto di studio).



*fig.2 - Schema strutturale dei rapporti tra domini di avampaese e di catena nell'area del Mediterraneo centrale (da Ricchetti et alii, 1988, modificato).*

*Legenda: 1) fronte di sovrascorrimento della Catena alpino-carpatica; 2) Avampaese europeo (rigato verticale); 3) fronte di sovrascorrimento della Catena magrhebide-appenninica e dinarico-ellenica; 4) Avampaese padano-adriatico-ionico: emerso (puntinato), sepolto (Pianura Padana, Avantossa appenninica) e sommerso (rigato orizzontale).*

Figura 8-5. Schema strutturale.

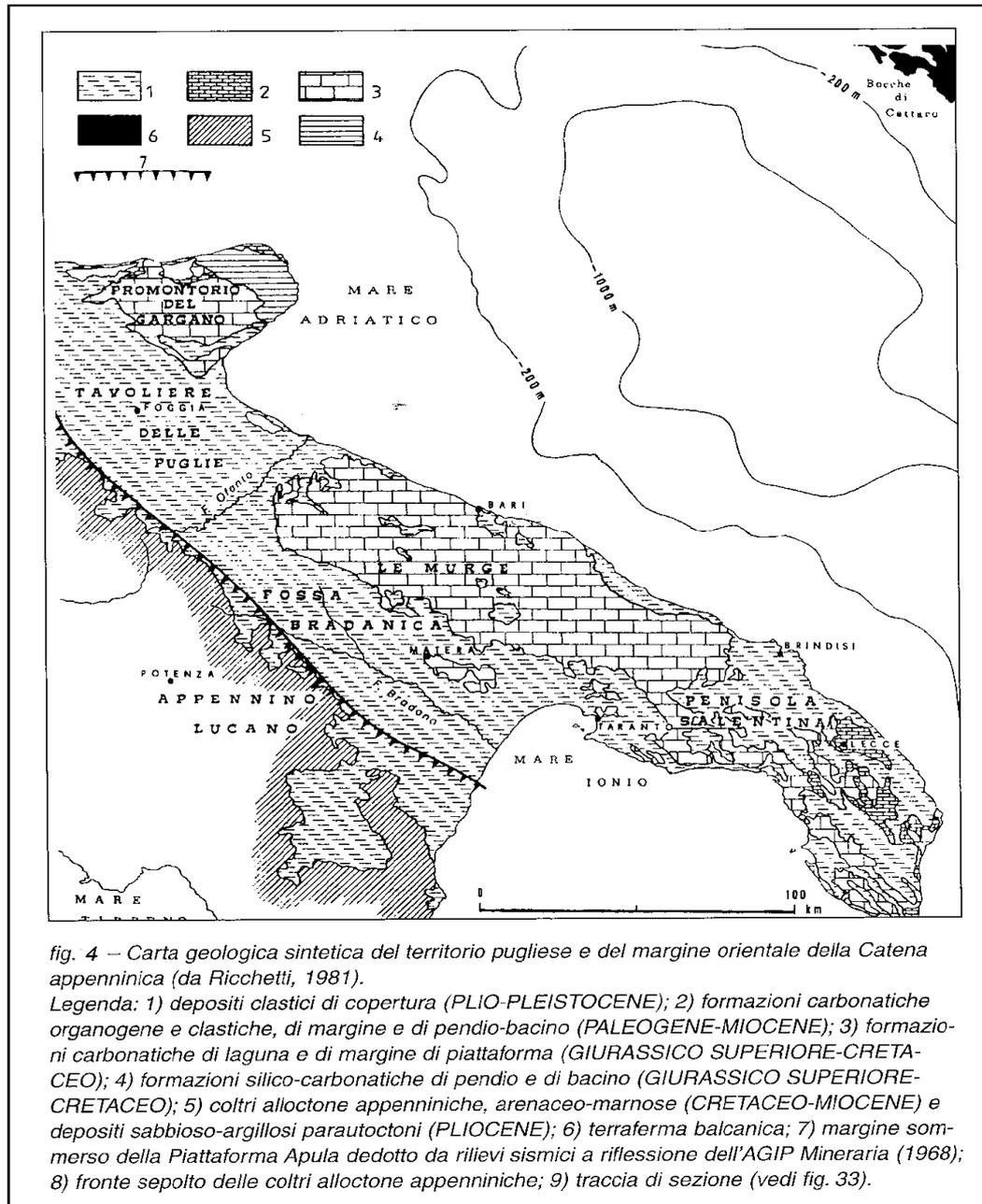


Figura 8-6. Carta geologica della Puglia - (Fonte RICCHETTI et alii, 1981 - modificato).

L'area di indagine ricade nel Foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia (1:100.000) ed è costituita dall'affioramento dei "Conglomerati di Campomarino". Questa formazione è caratterizzata da ghiaie e conglomerati di ambiente marino o continentale, non sempre chiaramente delimitabili dalle alluvioni terrazzate. La loro età è il POSTCALABRIANO-CALABRIANO TERMINALE.

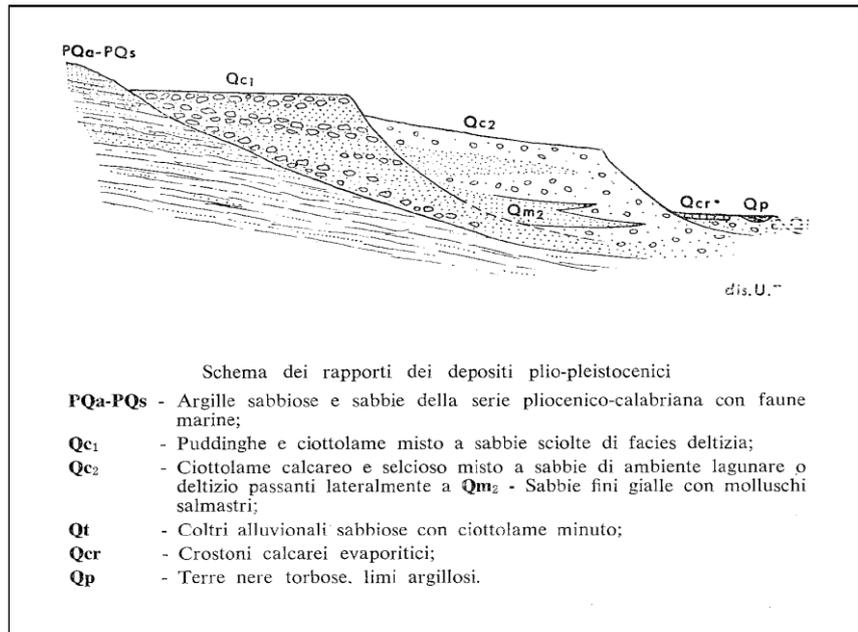


Figura 8-7. Schema dei rapporti stratigrafici.

Si rimanda alla Carta geologica (EL015) per gli approfondimenti del caso.

## 9 SISMICITÀ E CARATTERISTICHE SISMICHE

Per la stesura del presente capitolo si sono seguiti i disposti:

- della Legge del 2/02/74 n.64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- dell’Ordinanza n. 3274 del 20/03/03 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- del D.M. del 14/09/05 “Norme tecniche per le costruzioni”;
- dall’Ordinanza n. 3519 del 29/04/06 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- del D.M. del 14/01/08 “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”, entrato in vigore con Legge n. 77 del 24/06/09;
- della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 2/02/09, “Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14/01/08”;
- del Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018)”;
- della Deliberazione della Giunta Regionale della Puglia n. 153 del 2 marzo 2004 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

Il modello sismico di riferimento descritto è stato validato e supportato da indagini che lo scrivente ritiene proporzionate, nello specifico, all’importanza dell’opera.

### 9.1 Storia sismica dell’area

Dall’esame della storia sismica dell’Italia meridionale, che è stato possibile analizzare dall’anno 0 fino

ai nostri giorni, è risultato che il territorio in esame è stato interessato da numerosi fenomeni sismici.

Dall'analisi dei dati si è potuto accertare che gli epicentri dei terremoti più significativi sono localizzati soprattutto nel Gargano, nell'Alto Tavoliere e nel Molise.

L'area in esame, essendo a ridosso del fronte della catena appenninica ed in prossimità delle faglie particolarmente attive che limitano il promontorio del Gargano, risente di una sismicità i cui effetti hanno avuto ripercussioni sulla stabilità del territorio sin da tempi storici. L'ultimo evento significativo è stato il terremoto con epicentro in Molise del 31 ottobre 2002 (San Giuliano). La magnitudo di questo evento è stata stimata pari a 5.4 della scala Richter, un valore che comporta effetti fino al grado VIII della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

Gli eventi sismici più forti, verificatisi in epoca storica nelle vicinanze dell'area in studio sono:

- la sequenza appenninica del dicembre 1456, di cui si ricordano danni gravi a Casacalenda;
- la sequenza garganica del luglio/agosto 1627, che ha provocato, fra l'altro, danni di grado VIII- IX MCS nell'Alto Tavoliere e a Termoli;
- il terremoto del 30 marzo 1731, che raggiunse gli effetti del X grado MCS con la distruzione di gran parte delle costruzioni del territorio comunale di Lucera e Troia;
- l'evento del luglio 1805, nel Matese, i cui effetti peraltro non hanno superato il grado VI MCS;
- il terremoto del 23 luglio 1930, nell'Irpinia, i cui effetti hanno raggiunto il grado X MCS;
- il terremoto del 23 novembre 1980, sempre in Irpinia, anche questo con effetti del grado X MCS.

Dai dati rilevati per il Programma "Geodinamica" del CNR, si è constatato che dalla fine del Pleistocene tutta l'area del Tavoliere e fino al M. Adriatico è stata interessata da un sollevamento generale. I movimenti, di natura disgiuntiva, sono avvenuti anche in tempi recenti. Si è constatato pure che i fenomeni tellurici sono in tutta la zona, a partire dal 1400, di intensità decrescente.

La Regione Puglia, con Delibera n. 153 del 2 marzo 2004 ha recepito i disposti dell'Ordinanza n. 3274 del 20/03/03 della Presidenza del Consiglio dei Ministri recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", suddividendo il territorio regionale nelle quattro zone previste dalla nuova normativa. Di queste 4 zone, le prime corrispondono dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74 alle zone di sismicità alta (S = 12), media (S = 9) e bassa (S = 6), mentre per la zona 4, di nuova introduzione, si dà facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica. I terremoti dell'area in esame sono strettamente connessi alla sismicità della fascia appenninica e garganica, che sono sede di sismicità rilevante, anche se distribuita in modo non omogeneo. Il "modello sismogenetico" del GNDT suddivide questa fascia appenninica in alcune zone sismogenetiche. Secondo "NT4.1, un catalogo dei terremoti di area italiana al di sopra della soglia di danno" del GNDT, le zone più attive con riflessi in area sono la 58 la 59 e la 61.

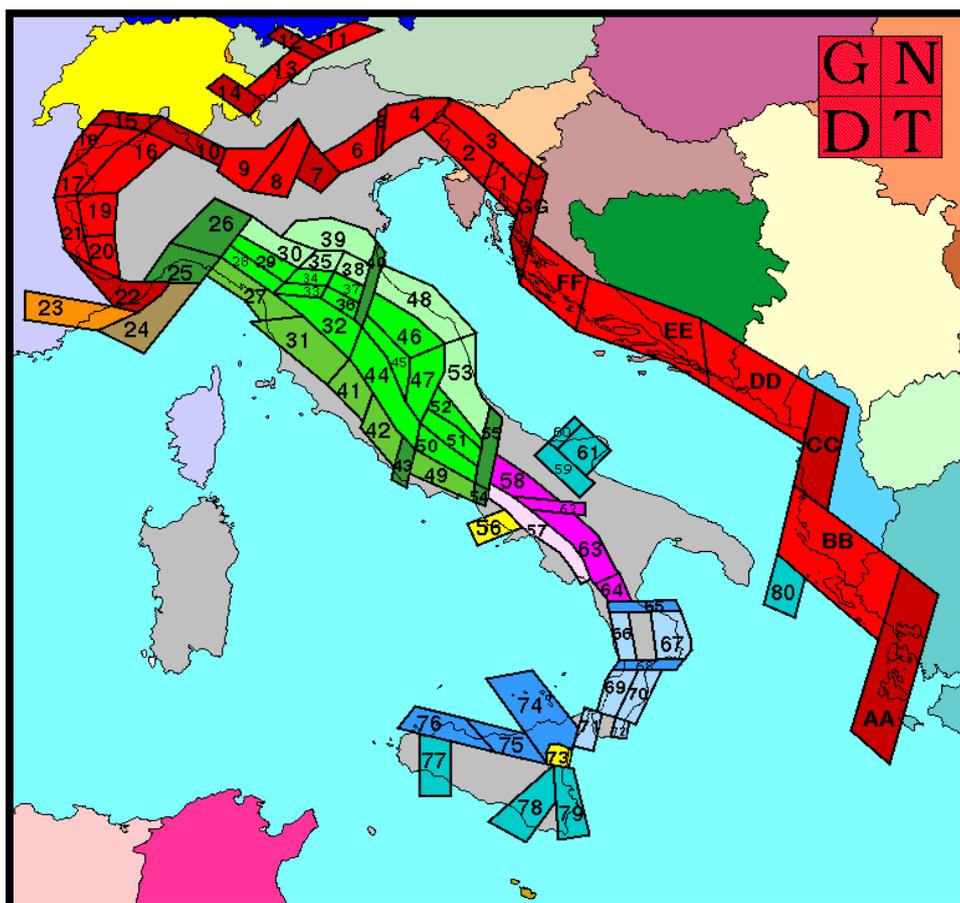


Figura 9-1. Schema della zonazione sismogenetica ZS4.

Zona “58”

- Fascia appenninica principale.
- Meccanismi di rottura attesi: dip-slip e subordinatamente strike-slip.

Zone “59 – 61”

- Gargano-Tremoli.
- Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di trike-slip.

Nella più recente zonazione ZS9 il territorio di San Severo ricade nella zona marginale della 924, solo in parte corrispondente alla precedente zona 59-61. La zona è orientata circa E-O ed in essa è da collocare quasi tutta la sismicità dell’area (per es. il terremoto distruttivo del 1627); in tale zona ricade anche la faglia di Mattinata che generalmente è ritenuta attiva con una cinematica simile a quella del terremoto del 2002.

Prima del 1983 la classificazione sismica non si basava su studi sismologici approfonditi, ma era definita posteriormente ad un evento sismico attraverso i rilevamenti macrosismici dei danni subiti nei comuni colpiti dai terremoti.

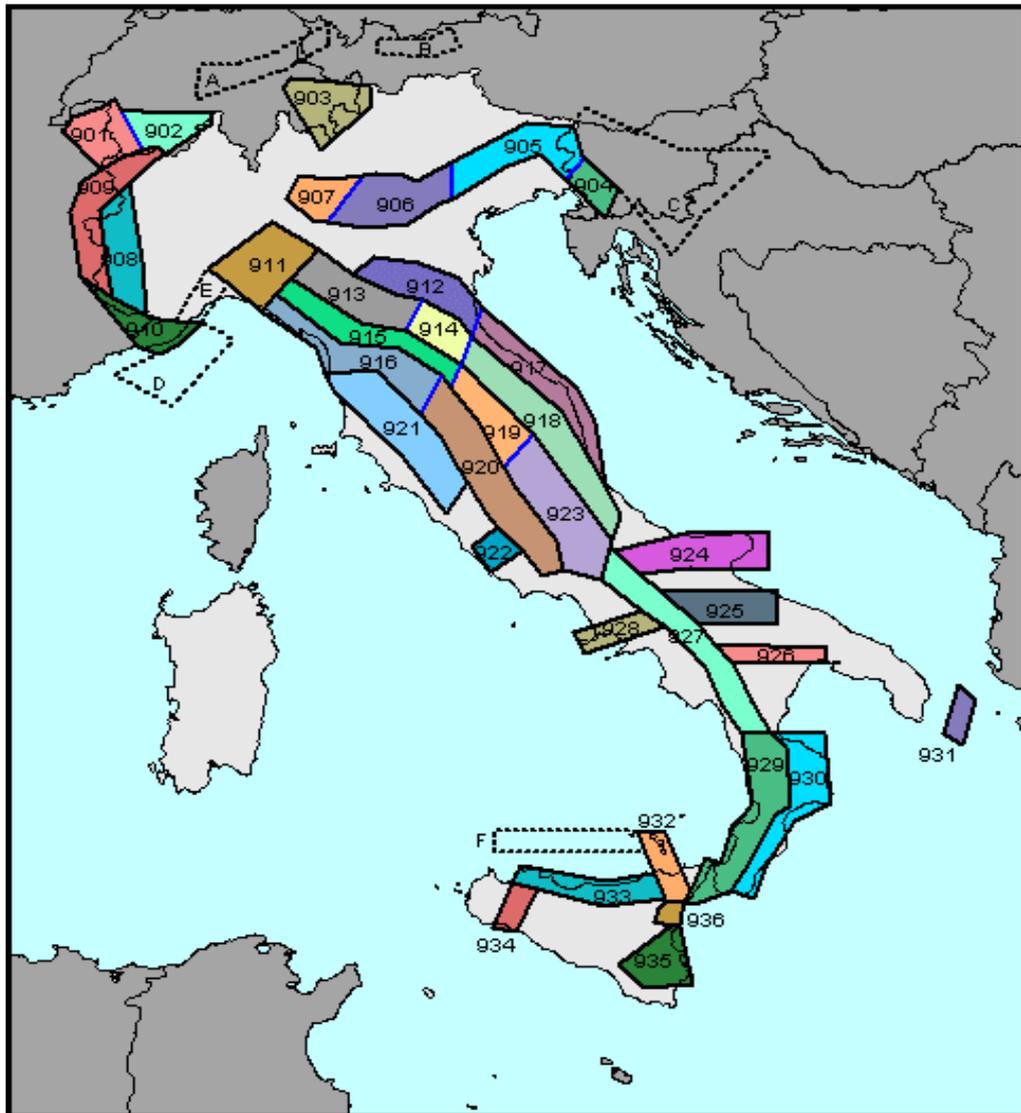


Figura 9-2. Schema delle zone sismogenetiche ZS9.

Di seguito la storia sismica di Apricena, elaborata sulla base dei dati INGV - DBMI04 relativi al Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani.

N	Anno	Mese	Giorno	Ora	Minuti	Area Epicentrale	Io	Mw
437	1627	7	30	10	50	Capitanata	10	6,66
487	1657	1	29	2		Capitanata	8-9	5,96
524	1688	6	5	15	30	Sannio	11	7,06
994	1805	7	26	21		Molise	10	6,68
1055	1821	11	22	1	15	Costa molisana	7-8	5,59
1086	1829	7	3	13		Gargano	4-5	3,93
1225	1852	12	9	21	15	Gargano	5	4,31
1268	1857	12	16	21	15	Basilicata	11	7,12
1308	1864	12	28	12		Gargano	6	4,63
1378	1875	12	6			Gargano	8	5,86
1453	1881	9	10	7		Chietino	7-8	5,41
1465	1882	6	6	5	40	Isernino	7	5,2
1558	1889	12	8			Gargano	7	5,47
1588	1892	4	20			Gargano	6-7	5,02
1620	1894	3	25			Gargano	6-7	4,9
1663	1895	8	9	17	38	Adriatico centrale	6	5,11
1703	1897	5	28	22	40	Ionio	6	5,46
1779	1900	12	23	22	30	Gargano	5	4,37
1885	1905	11	26			Irpinia	7-8	5,18
2422	1930	7	23	0	8	Irpinia	10	6,67
2530	1937	7	17	17	11	Tavoliere delle Puglie	6	4,96
2725	1955	2	9	10	6	Gargano	6-7	5,05
2757	1956	9	22	3	19	Gargano	6	4,64
3053	1972	2	29	20	54	Gargano	6	4,71
3115	1975	6	19	10	11	Gargano	6	5,02
3256	1980	11	23	18	34	Irpinia-Basilicata	10	6,81
3395	1984	5	7	17	50	Monti della Meta	8	5,86
3559	1988	4	26	0	53	Adriatico centrale		5,36
3583	1989	3	11	21	5	Gargano	5	4,34
3613	1990	2	1	6	24	Isole Tremiti		4,43
3615	1990	2	13	9	15	Isole Tremiti	4	4,2
3625	1990	5	5	7	21	Potentino		5,77
3775	1995	9	30	10	14	Gargano	6	5,15
3776	1995	10	5	23	51	Gargano	5	3,95
3823	1996	11	10	23	23	Tavoliere delle Puglie	5-6	4,35
4049	2000	8	30	13	45	Isole Tremiti		4,23
4074	2001	7	2	10	4	Tavoliere delle Puglie	5	4,26
4167	2002	11	1	15	9	Molise	7	5,72
4218	2003	6	1	15	45	Molise	5	4,44
4229	2003	12	30	5	31	Molise	4-5	4,53
4296	2006	5	29	2	20	Gargano		4,64
4301	2006	10	4	17	34	Adriatico centrale	4-5	4,3
4308	2006	12	10	11	3	Adriatico centrale		4,48

**Legenda**

N = Numero terremoto (MCS)  
 An/Me/Gi/Or/Mi = Anno-Mese-Giorno-Ora-Minuti  
 Area epicentrale = Denominazione dell'area dei maggiori effetti  
 Io = Intensità massima (MCS)  
 Mw = Magnitudo momento

## Apricena



PlaceID IT\_62085  
 Coordinate (lat, lon) 41.784, 15.444  
 Comune (ISTAT 2015) Apricena  
 Provincia Foggia  
 Regione Puglia  
 Numero di eventi riportati 46

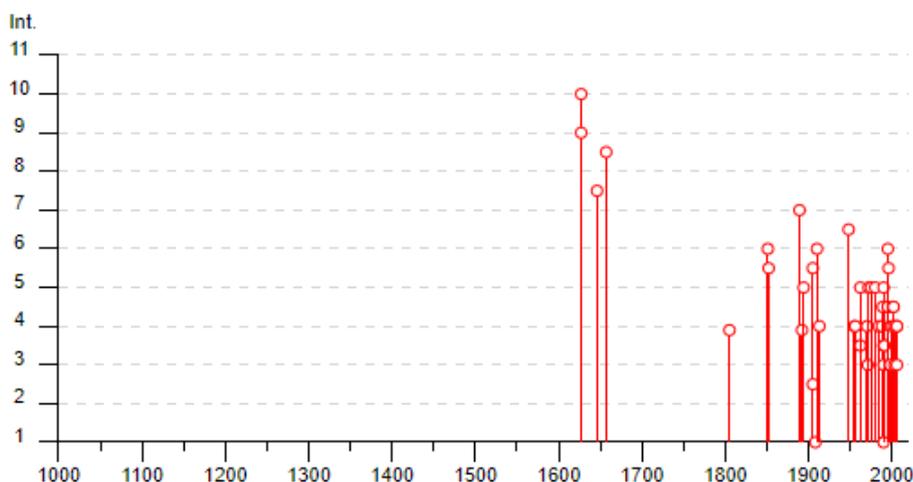


Figura 9-3. Storia sismica di Apricena  
 (fonte: INGV - DBMI04, Database osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani).

## 9.2 Classificazione sismica dell'area

Attualmente le nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni hanno superato il concetto di sola zonazione sismica. Ciò nonostante, resta pur sempre la valenza della classificazione sismica del 2003 nella scelta

delle indagini geologiche e negli studi di microzonazione sismica al fine di garantire un idoneo e differenziato controllo della compatibilità geomorfologica in prospettiva sismica.

Con l’OPCM 3519/06 l’intero territorio nazionale viene suddiviso in 4 zone sulla base del differente valore dell’accelerazione di picco  $a_g$  su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall’INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione ( $a_g$ ) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall’OPCM 3519/06.

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

Figura 9-4. Suddivisione zone sismiche in relazione all’accelerazione di picco su terreno rigido.

Con la classificazione sismica ai sensi dell’O.P.C.M. 3274/2003, il territorio del Comune di Apricena ricade in “Zona sismica 2”, ritenuta a media sismicità.

Sulla base degli elaborati dell’OPCM n.3519/06, si rileva che il territorio in esame è interessato da valori di  $a_g$  pari a  $0,175 \div 0,200$ .

Tali valori presentano una variabilità non sostanziale, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) che si tramuta in valori di possibile intensità del terremoto molto simile fra le diverse zone del territorio.

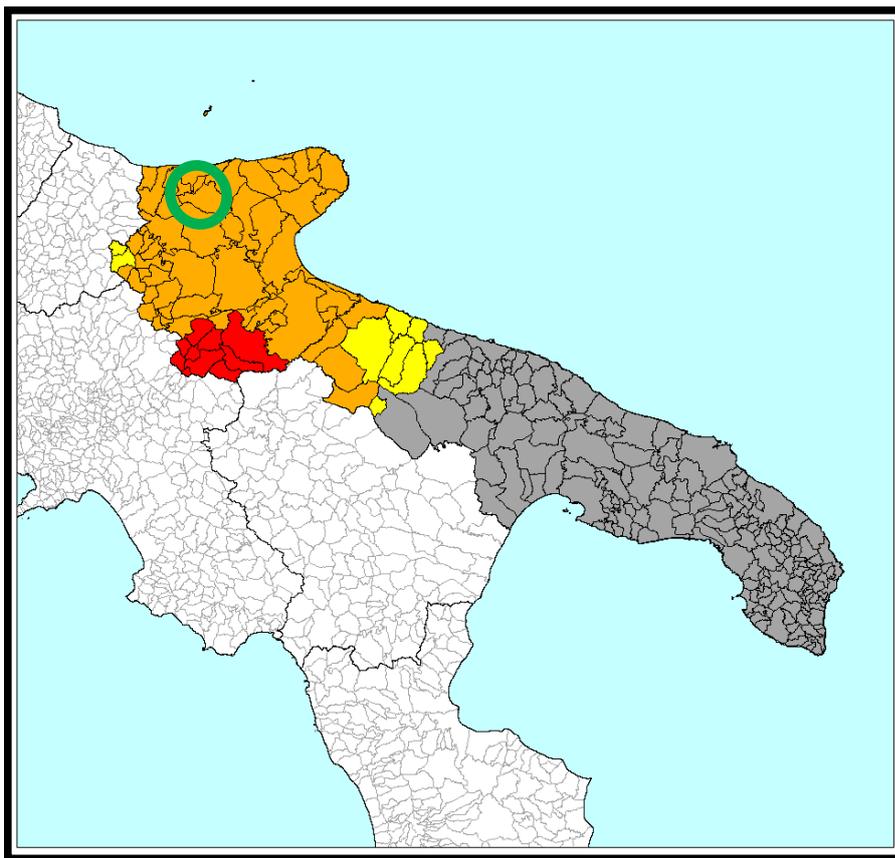


Figura 9-5. Stralcio della Zonizzazione Sismica della Regione Puglia (O.P.C.M. 3274/2004).

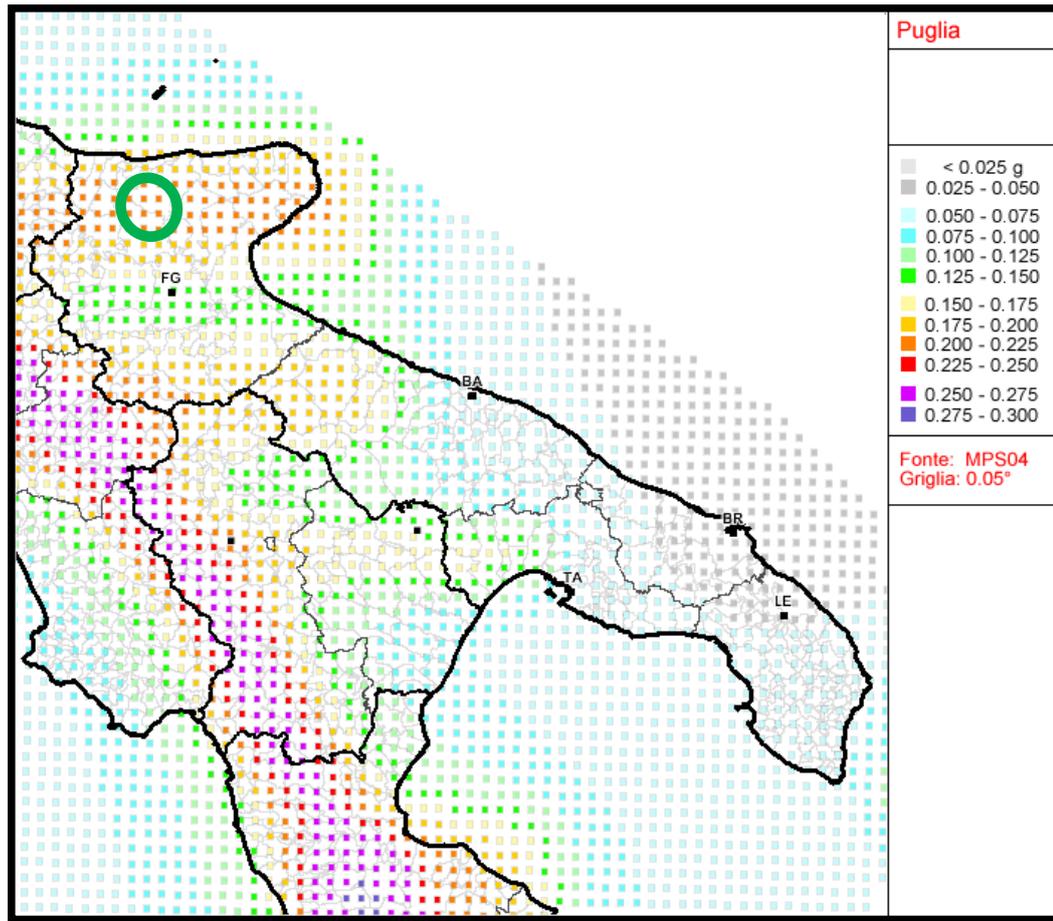


Figura 9-6. Mappa di pericolosità sismica (punti di griglia: parametro dello scuotimento  $a_g$ ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

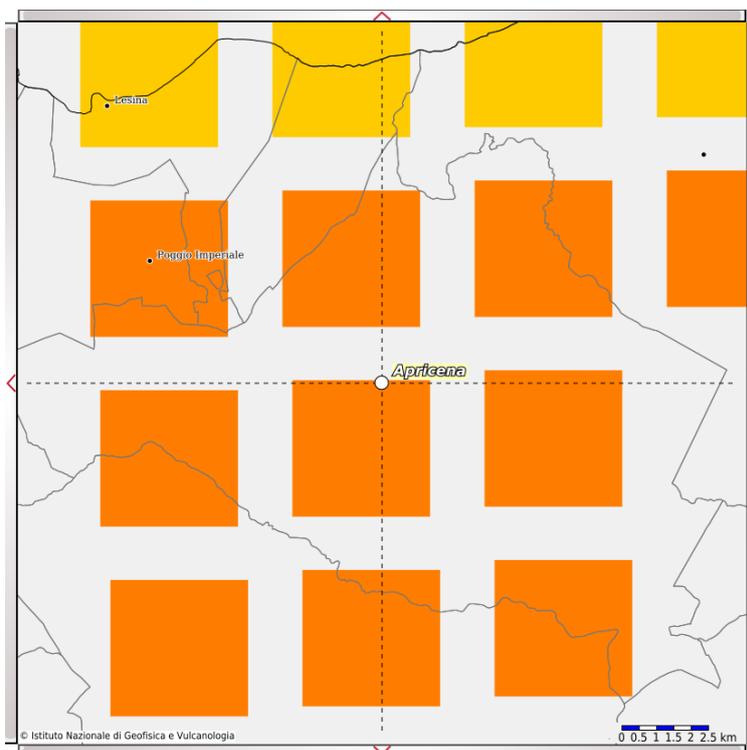


Figura 9-7. Particolare - Mappa di pericolosità sismica.

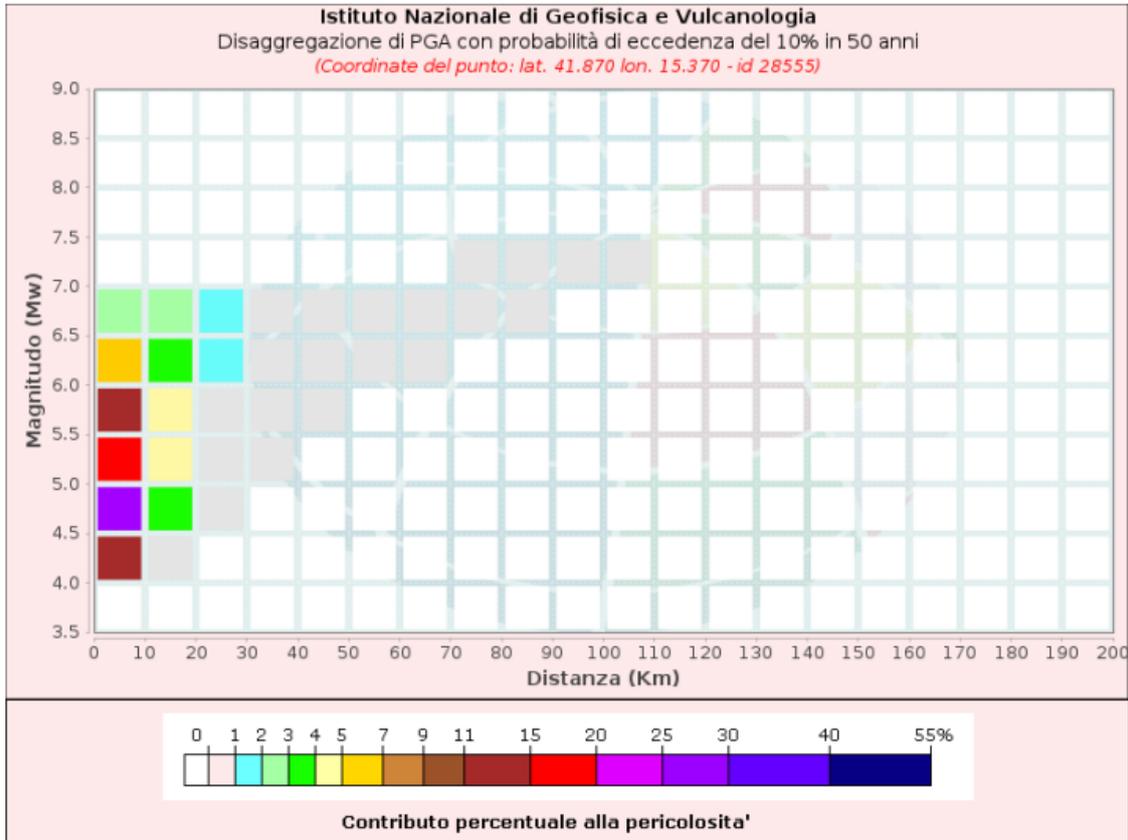


Figura 9-8. Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, relativi a Apricena

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	12.5000	26.9000	18.7000	11.0000	5.5300	2.4400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.6550	3.0100	4.2900	4.3400	3.4500	2.2300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0232	0.4000	0.9250	1.1600	1.0700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.1500	0.3700	0.4680	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0042	0.0743	0.1470	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0101	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0303	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0247	0.0499	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0447	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0156	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	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 = 5.26 ; distanza = 7.7 ; epsilon = 0.836

Figura 9-9. Dati di disaggregazione e valori medi, relativi a Apricena.

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

Gli stati limite ultimi (SLU) dinamici sono:

- SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita (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).
- SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso (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).

Gli stati limite di esercizio (SLE) dinamici sono:

- SLO - Stato Limite di Operatività (a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi).
- SLD - Stato Limite di Danno (a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e 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 e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle

apparecchiature).

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente.

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Figura 9-10. Stati limite e PVR (NTC, 2018).

I quattro stati limite sono ordinati per azione sismica crescente e per probabilità di superamento decrescente. Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla Pericolosità sismica di base del sito che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento  $V_R$ , espresso in anni), si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata  $P_{VR}$  (Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento). Sulla base della normativa vigente (Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018) ed in riferimento alle azioni sismiche di progetto, i terreni di fondazione sono classificabili in cinque categorie principali (A, B, C, D ed E), che sono individuate dai valori della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo ( $V_{S, equ}$ ).

Per  $V_{S, equ}$  s'intende la media pesata delle velocità delle onde di taglio negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la seguente relazione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s]}$$

Dove:

$h_i$  = spessore (m) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m;

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;

Nelle citate NTC-2018, le cinque categorie di profilo stratigrafico sono così definite:

- A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
- C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

- D) Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E) Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Come riscontrato dall'analisi sismica, il valore di  $V_{S_{eq}}-V_{S_{30}}$ , calcolato così come previsto dalla recente normativa sismica [ $V_{S_{eq}} = H/\sum(h_i/V_{S_i})$  dove  $H$  = profondità del tetto del substrato con  $V_S > 800$  m/s,  $h_i$  = spessore medio in metri dello strato iesimo,  $V_{S_i}$  = velocità onde S in m/sec dello strato iesimo] ed utilizzabile come parametro di riferimento per la classificazione dei terreni in esame, è pari a 414.27 m/s.

Pertanto, si evince che le velocità equivalenti ottenute si collocano all'interno della fascia di valori che identifica nelle NTC-2018 la categoria di sottosuolo "B".

In riferimento alle caratteristiche della superficie topografica, l'area in esame è ubicata in corrispondenza di una superficie pianeggiante, pertanto è classificabile come "T1".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Figura 9-11. Categoria topografica in funzione dell'inclinazione della superficie (NTC, 2018).

In riferimento alla categoria topografica, l'area è classificabile come "T1", corrispondente ad un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  pari a 1,0.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Figura 9-12. Categoria topografica in funzione dell'ubicazione dell'opera (NTC, 2018).

In relazione a quanto stabilito dalle norme vigenti in materia, la verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere è stata valutata mediante un'analisi puntuale della risposta sismica locale.

Pertanto, ad integrazione della stima preliminare dell'azione sismica in precedenza riportata ed impostata sulle "categorie di sottosuolo", nonché della pericolosità sismica di base relativa al reticolo di punti di riferimento per l'area in esame e ai rispettivi valori di  $a_g$  e dei parametri spettrali riferiti all'accelerazione orizzontale, si riportano in allegato i risultati delle verifiche ottenute con l'impiego del software Spettri-NTC ver.1.0.3 (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici).

In presenza di azioni sismiche e con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso dell'opera, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso:

- **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- **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.
- **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.
- **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 D.M. 5 novembre 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.

In particolare, il calcolo è stato impostato assegnando la classe d'uso III "Industrie con attività pericolose per l'ambiente", con  $C_u = 0,7$  (circa corrispondente alla classe di importanza di EC8) e la vita utile dell'opera pari a 50 anni.

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

Figura 9-13. Tipologia delle costruzioni e relativi valori minimo di  $V_N$  (NTC, 2018).

Le azioni sismiche sono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava moltiplicando la vita nominale  $N_V$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella seguente.

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

Figura 9-14. Classe d'uso e relativi coefficienti  $C_U$  (NTC, 2018).

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla Pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  = 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.

In Allegato gli spettri e i relativi parametri ottenuti dai calcoli effettuati.

### 9.3 Classificazione sismica da indagine MASW

Il metodo M.A.S.W (Multichannel Analysis Surface Waves) (PARK et alii, 1999) è una tecnica di indagine che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  registrate da diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Si basa sulla misura della propagazione delle onde di superficie di Rayleigh, generate da una sorgente impulsiva verticale, o di Love, generate da una sorgente di taglio.

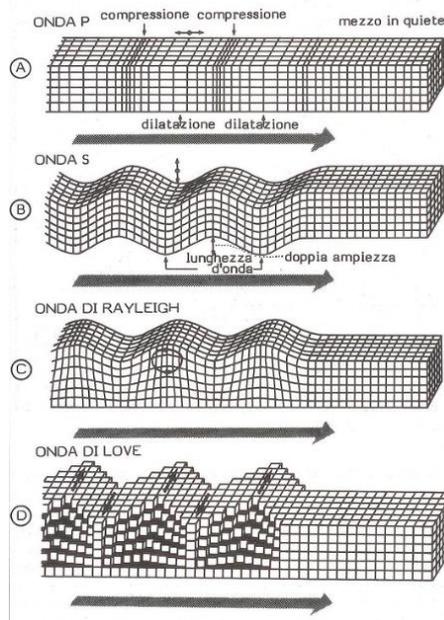


Figura 9-15. Tipi di onde.

Il metodo di indagine sismica M.A.S.W. si dice di tipo "attivo" in quanto le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta sul piano campagna. Esso consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenze compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo.

Qualsiasi segnale sismico è costituito dai diversi tipi di onde, ciascuno dei quali può essere osservato come combinazione di un infinito numero di componenti di frequenza ( $f$ ), con ampiezza ( $A$ ) e fase ( $c$ ). In un mezzo omogeneo e di estensione infinita, tutte le frequenze, di un determinato tipo di onda di volume, si propagano alla stessa velocità. Se invece, il mezzo di propagazione non è omogeneo, ogni componente di frequenza si propaga con una diversa velocità, (velocità di fase) in relazione alle caratteristiche del mezzo, dando luogo al fenomeno della dispersione.

Sebbene, una sorgente puntiforme verticale generi anche le onde di volume, intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente:

- Le onde Rayleigh trasportano circa i 2/3 dell'energia generata dalla sorgente;
- Allontanandosi dalla sorgente, le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geom.ca inferiore rispetto alle onde di volume, perché le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, coassiali rispetto alla sorgente; invece le onde di volume si propagano secondo fronti d'onda sferici.

Per l'esecuzione della prova è necessaria una superficie pianeggiante, più o meno ampia, in relazione alla profondità di indagine. La prova consiste nel produrre, sulla piastra battente, posta sulla superficie del terreno, una sollecitazione dinamica verticale, in un determinato campo di frequenze, e nel registrare le vibrazioni prodotte a distanze note e prefissate (in questo caso: 1,5 m).

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di rigidezza può scomporsi in due fasi fondamentali:

- Deduzione della curva di dispersione caratteristica, del sito in esame;
- Processo di inversione, finalizzato ad ottenere partendo dalla curva suddetta una stima del profilo di rigidezza ad essa associato.

La componente verticale del moto, indotta dalle onde di Rayleigh, è predominante su quella orizzontale e si attenua con la profondità rapidamente fino a diventare insignificante ad una quota di poco superiore alla lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) della sollecitazione indotta.

La velocità  $V_R$  risulta sperimentalmente assai prossima a quella  $V_S$  (variando in funzione del coefficiente di Poisson), tramite la quale si possono ricavare le caratteristiche meccaniche del terreno.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica effettuata. Gli spettri bidimensionali ottenuti dalla registrazione M.A.S.W. vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

Le categorie di sottosuolo delle NTC18 e le azioni sismiche corrispondenti tengono conto soltanto delle amplificazioni stratigrafiche (1D) nei primi 30 m di sottosuolo.

È incontrovertibile che la rigidità del sottosuolo, e quindi il profilo di  $V_S$ , vicino alla superficie, abbia un ruolo negli effetti di sito ma l'amplificazione sismica locale è alquanto complessa (topografia, effetti di sorgente, profilo di rigidità fino al bedrock sismico, ecc.) per poter essere descritta in maniera compiuta da un parametro sintetico come la  $V_{S,30}$ . Quello che conta ai fini dello sviluppo di un'amplificazione sismica locale sono i parametri seguenti:

Profilo di  $V_S$  + Profondità dei Contrasti di Impedenza = Frequenze di Risonanza

Si ha "risonanza", ossia particolare accentuazione dell'amplificazione, per periodo:  $T = 4h/V_s$

Dove:

$h$  = spessore della copertura;

$V_s$  = velocità delle onde di taglio nella copertura.

### 9.3.1 Esecuzione dell'indagine e calcolo delle $V_{s,eq}$

Per rispondere alle recenti norme emanate in materia è stata eseguita una indagine sismica di analisi spettrale delle onde superficiali con tecnica MASW (Multichannel Analysis Surface Waves), a cura dello Studio di Geologia del Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie di Torremaggiore (FG).

Le attuali Norme tecniche richiedono che la categoria di sottosuolo sia stabilita sulla base del profilo delle onde di taglio ( $V_S$ ). La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle  $V_{s,eq}$  (m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Dove:

$h_i$  = spessore dell' $i$ -esimo strato (m);

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato (m/s);

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato sismico (in m), definito come quella formazione, costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per la caratterizzazione sismica di un sito è stata utilizzata la tecnica sismica attiva, MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves). Lo scopo della prova MASW consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh ( $V_R$ ) ed un successivo processo di inversione, attraverso il quale viene fornita una stima indiretta della distribuzione delle onde di taglio ( $V_S$ ). La prova si applica quando la profondità delle coperture da esplorare è compresa entro i 40 m dal piano campagna.

qualsiasi segnale sismico è costituito dai diversi tipi di onde, ciascuno dei quali può essere osservato come combinazione di un infinito numero di componenti di frequenza ( $f$ ), con ampiezza ( $A$ ) e fase ( $c$ ). In un mezzo omogeneo e di estensione infinita, tutte le frequenze, di un determinato tipo di onda di volume, si propagano alla stessa velocità. Se invece, il mezzo di propagazione non è omogeneo, ogni

componente di frequenza si propaga con una diversa velocità, (velocità di fase) in relazione alle caratteristiche del mezzo, dando luogo al fenomeno della dispersione.

Sebbene, una sorgente puntiforme verticale generi anche le onde di volume, intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente:

- Le onde Rayleigh trasportano circa i 2/3 dell'energia generata dalla sorgente;
- Allontanandosi dalla sorgente, le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde di volume, perché le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, coassiali rispetto alla sorgente; invece le onde di volume si propagano secondo fronti d'onda sferici.

Per l'esecuzione della prova è necessaria una superficie piana, più o meno ampia, in relazione alla profondità di indagine. La prova consiste nel produrre, sulla piastra battente, posta sulla superficie del terreno, una sollecitazione dinamica verticale, in un determinato campo di frequenze, e nel registrare le vibrazioni prodotte a distanze note e prefissate (in questo caso: 5 m).

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di rigidezza può scomporsi in due fasi fondamentali:

- Deduzione della curva di dispersione caratteristica, del sito in esame;
- Processo di inversione, finalizzato ad ottenere partendo dalla curva suddetta una stima del profilo di rigidezza ad essa associato.

La componente verticale del moto, indotta dalle onde di Rayleigh, è predominante su quella orizzontale e si attenua con la profondità rapidamente fino a diventare insignificante ad una quota di poco superiore alla lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) della sollecitazione indotta.

La velocità  $V_R$  risulta sperimentalmente assai prossima a quella  $V_S$  (variando in funzione del coefficiente di Poisson), tramite la quale si possono ricavare le caratteristiche meccaniche del terreno.

L'apparecchiatura utilizzata, sismometro DoReMi della SARA Electronic Instruments, si compone delle seguenti parti:

- sistema sorgente;
- sistema di ricezione;
- sistema di acquisizione dati.



Figura 9-16. Stendimento con apparecchiatura DoReMi.

Il sistema di acquisizione dati deve essere di tipo multicanale (4.5 Hz) in grado di registrare, su ciascun canale in forma digitale, le forme d'onda. Esso è collegato a ciascuno dei trasduttori di velocità e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come forme d'onda su un apposito monitor le vibrazioni così come rilevate ai trasduttori dei ricevitori.

Una volta fissata la posizione della verticale da investigare, la prova si sviluppa secondo le seguenti fasi:

1. Viene preparato il sistema di acquisizione dei dati;
2. I ricevitori vengono collocati ad asse verticale, simmetricamente rispetto alla verticale di indagine e a distanza  $X = 5$  m;  
Viene attivata la sorgente, allineata e da una parte rispetto ai ricevitori, e ad una distanza (-5 m, -10 m, -10 m l'estremo sinistro dello stendimento);
3. Le vibrazioni prodotte vengono registrate dai trasduttori e la prova viene ripetuta 3 volte (stack) in modo da disporre di più registrazioni, che mediate consentono di ridurre i rumori di fondo eventualmente presenti;
4. La sorgente viene spostata in posizione diametralmente opposta rispetto ai ricevitori, che invece rimangono fissi (inversione della sorgente), e la prova viene ripetuta ( $X = 5$  m, 10 m, 15 m per l'estremo destro dello stendimento).

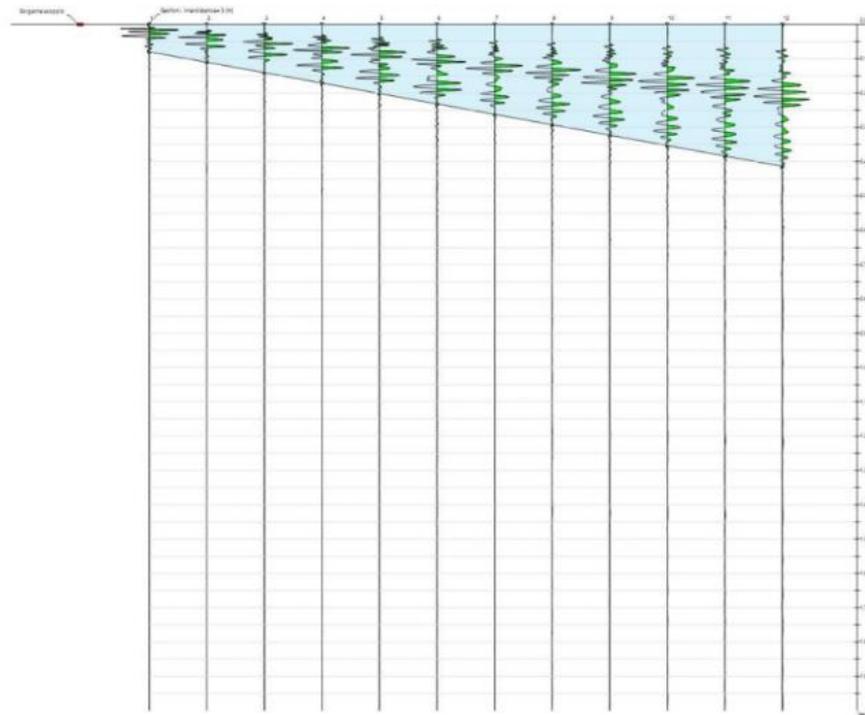


Figura 9-17. Registrazione in forma digitale delle forme d'onda. (Elaborazione: Easy Masw di GEOSTRU).

In funzione delle caratteristiche geometriche (spessori) e meccaniche ( $V_S$ ,  $V_P$ , densità di massa) degli strati di terreno, alcuni modi di Rayleigh possono risultare predominanti rispetto agli altri modi in certi intervalli di frequenza. Generalmente, quando la rigidità degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale di Rayleigh risulta predominante a tutte le frequenze.

Al fine di valutare l'affidabilità del profilo di  $V_S$ , trovato durante il processo di inversione, occorre stabilire un criterio per calcolare la distanza o la vicinanza tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica. Quanto più l'errore relativo è piccolo, tanto più le due curve di dispersione sperimentale e numerica sono vicine e quindi si ha una maggiore probabilità che il profilo di velocità  $V_S$  sia quello ottimale (0,001%).

**Nota:** Non sempre l'andamento della curva di dispersione, calcolata a partire dallo spettro f-k, ha un andamento continuo e/o regolare. Questo dipende da diversi fattori quali la qualità delle misure eseguite, il rumore ambientale, inteso come altri tipi di onde che potrebbero interferire con le onde Rayleigh, il profilo irregolare di velocità  $V_S$ .

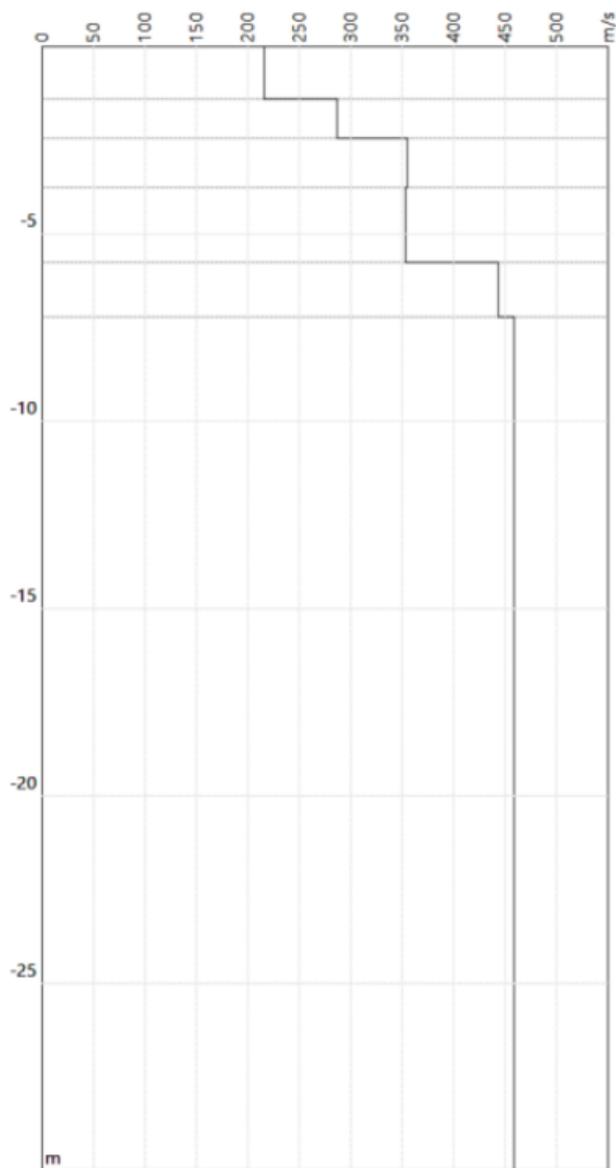


Figura 9-18. Profilo di velocità ottenuto dal software di elaborazione Easy Masw di GEOSTRU.

La schematizzazione geometrica monodimensionale è la più semplice ai fini delle analisi; a prescindere dalla effettiva configurazione topografica del piano campagna, ci si riconduce allo schema di terreno omogeneo o stratificato orizzontalmente, delimitato da piano campagna orizzontale e poggiante su un substrato rigido, anch'esso orizzontale. Sono assimilabili ad un substrato rigido strati di terreno caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio maggiori di 800 m/s.

Qualora il piano di campagna o la giacitura degli strati e/o del substrato non siano facilmente riconducibili a tale schematizzazione a causa di assetti morfologici e stratigrafici complessi debbono essere valutate schematizzazioni che consentano una rappresentazione adeguata degli effetti della morfologia superficiale e dell'assetto stratigrafico del sito, attraverso una modellazione numerica più raffinata.

Nella definizione del modello geotecnico di sottosuolo sarà necessario specificare, per ciascuno degli strati individuati, i parametri di ingresso all'analisi.

In allegato il report dell'indagine MASW.

## 10 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la caratterizzazione del sottosuolo sono state seguite le indicazioni di cui alla lettera B del D.M. 11/3/88 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” e ss.mm.ii.

In particolare, a seguito delle indagini geofisiche MASW e dei risultati ottenuti, sono state programmate e realizzate le indagini e le prove in sito ritenute tra le più idonee per:

- valutare la stabilità di insieme della zona, prima ed a seguito degli interventi in progetto;
- individuare i problemi che la natura e le caratteristiche geotecniche dei terreni pongono nelle scelte delle soluzioni progettuali e dei corrispondenti procedimenti costruttivi;
- confrontare le soluzioni possibili per la realizzazione di quanto previsto in progetto.

La scelta è ricaduta sulla prova penetrometrica dinamica, tenendo presente il tipo di progetto e l'ampiezza dell'area da esso interessata, le caratteristiche litologiche e strutturali del sottosuolo e lo stato delle conoscenze raccolte sulla zona in esame.

Le prove penetrometriche dinamiche sono largamente diffuse ed utilizzate sul territorio italiano da geologi e geotecnici, in quanto di semplice, economica e rapida esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo investigato, per mezzo di un'immagine in continuo, che permette di ottenere anche un raffronto circa le consistenze dei vari livelli attraversati. La sonda penetrom.ca consente, 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'esecuzione di ciascuna prova prevede l'infissione, con un sistema di battuta automatico, che assicura circa 20-30 colpi/minuto, di una punta conica, in questo caso a recupero; ogni 10 cm di avanzamento della punta si misura il numero di colpi: tale valore, opportunamente elaborato, viene utilizzato per determinare il valore di numerosi parametri geotecnici per mezzo di abachi.

Si tratta di una prova in situ, utile per determinare la stratificazione e le proprietà meccaniche del terreno, offrendo la possibilità di ottenere dei dati in continuo. Essa è indicata per tutti i terreni, tranne che per i depositi ghiaiosi, e consente di ricostruire la successione litostratigrafica dell'area e avere una stima in continuo dei valori di resistenza alla punta e di attrito laterale.

Tale tipologia di prova penetrom.ca consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno. La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta, un martinetto idraulico, opportunamente ancorato al suolo. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato in numero di colpi ( $N_{spt}$ ) che è direttamente proporzionale all'energia specifica.

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

### 10.1 Esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche

Le indagini penetrometriche sono state eseguite, a cura delle Dott.sse Geol. Graziella Uccie e Federica Ucci iscritte all'Ordine dei Geologi Abruzzo rispettivamente al n. 306 e n. 631, con l'ausilio di un

penetrometro dinamico DMP 30-20 prodotto e commercializzato dalla Pagani Geotechnical Equipment di Calendasco (PC), le cui caratteristiche tecniche principali sono riportate in seguente.

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	15,25 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

Tabella 10-1. Dati tecnici del penetrometro Pagani TG30-20.

L'indagine, eseguita in data 13/06/2023, è consistita nella realizzazione di quattro prove denominate P1e P2 entro l'area d'interesse progettuale, in corrispondenza delle coordinate riportate in seguente (Sistema di riferimento UTM WGS84).

ID indagine	Latitudine	Longitudine
P1	529.399	4.627.425
P2	529.578	4.627.717

Tabella 10-2. Coordinate dei punti di indagine.

La disamina delle figure sottostanti (che riportano il n. di colpi misurato sul campo ogni 10 cm di avanzamento della punta, per tutte le prove) mette in evidenza la presenza di materiale incoerente.

In particolare, ritroviamo la presenza di sabbie passanti da poco addensate ad addensate con l'aumentare della profondità e, successivamente la presenza di un livello di spessore indefinito costituito da sabbie e ghiaie. Entrambe le prove sono state interrotte per "rifiuto". Durante l'estrazione delle aste non è stata riscontrata la presenza di alcuna falda acquifera (aste asciutte e sostanzialmente pulite).

Nelle Tabelle sottostanti sono riportate una sintesi dei parametri geotecnici ricavati per il materiale indagato in corrispondenza di ciascuna penetrometria; i dati acquisiti in campo, data la natura geotecnica ipotizzata per il materiale indagato, sono stati interpretati a mezzo del software Formula, in possesso dello scrivente, prodotto e commercializzato dalla Geostru Software.



Figura 10-1. Postazione penetrometria P1.



Figura 10-2. Postazione penetrometria P2.

	ID strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma nat (KN/m <sup>3</sup> )	Gamma sat (KN/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (KPa)	Modulo edometrico (MPa)	Modulo elastico (MPa)	Modulo Poisson (–)	Modulo di taglio G (MPa)
P1	1	0.7	11.3	Incoerente	17.7	19.0	29.37	0	5.068	9.040	0.34	63.505
	2	1.4	18.7	Incoerente	19.7	20.0	32.26	0	6.587	14.960	0.32	101.963
	3	2.2	36.1	Incoerente	21.8	21.8	36.46	0	101.62	28.880	0.29	189.221

Tabella 10-3. Sintesi dei parametri geotecnici per la penetrometria P1.

P2	ID strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma nat (KN/m <sup>3</sup> )	Gamma sat (KN/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (KPa)	Modulo edometrico (MPa)	Modulo elastico (MPa)	Modulo Poisson (–)	Modulo di taglio G (MPa)
	1	0.8	9.7	Incoerente	17.2	18.0	28.66	0	4.739	7.760	0.34	55.015
	2	1.7	11	Incoerente	17.6	19.0	29.24	0	5.006	8.800	0.34	61.919
	3	2.1	26.3	Incoerente	20.9	21.0	34.54	0	8.149	21.040	0.30	140.499

Tabella 10-4. Sintesi dei parametri geotecnici per la penetrometria P2.

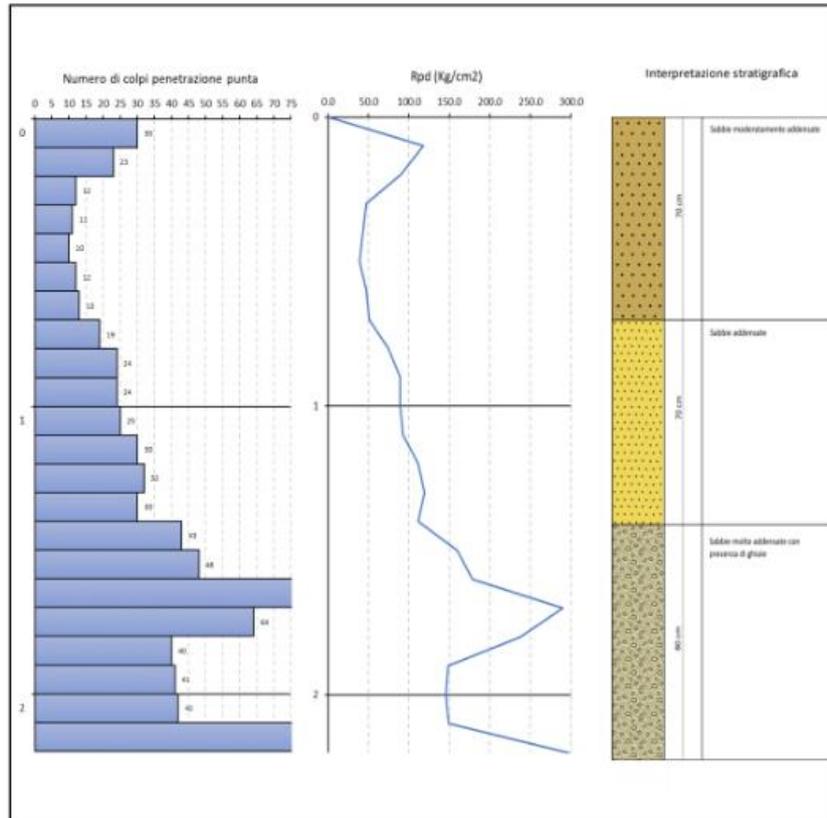


Figura 10-3. Elaborazione indagine penetrometrica P1.

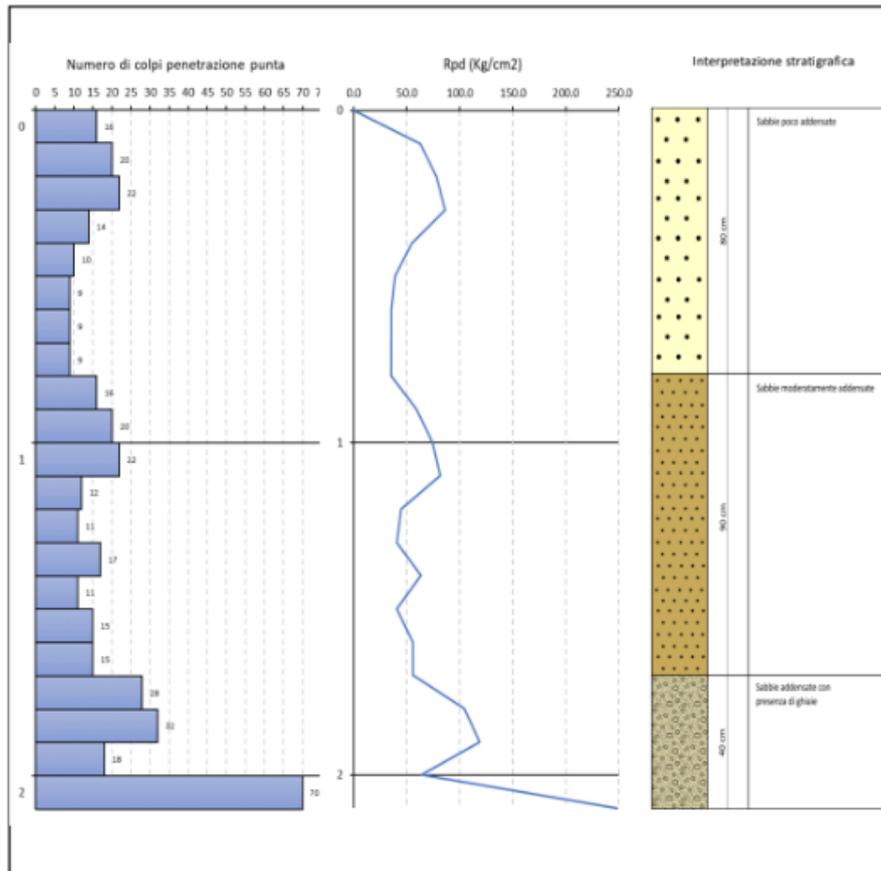


Figura 10-4. . Elaborazione indagine penetrometrica P2.

Si rimanda agli Allegati per un maggiore approfondimento.

## 10.2 Confronto e validazione delle indagini eseguite

La ricostruzione del modello geologico di riferimento è stata elaborata in coerenza con le indagini eseguite. L'assetto litostratigrafico complessivo può essere ben compreso osservando la sezione sottostante.

La parametrizzazione dei diversi orizzonti nella sezione di verifica è stata realizzata attraverso una stima ragionata, riferendosi alle indagini geognostiche e sismiche. Deve essere chiarito a questo proposito che la definizione delle unità geotecniche non avviene in natura in maniera netta come illustrato nelle sezioni geotecniche e come di seguito riportato, ma attraverso passaggi graduali e sfumati tra i termini litologici e gradi di addensamento generalmente non molto diversi. La schematizzazione svolta ha il significato di semplificare la comprensione del quadro geotecnico di riferimento e risponde ad una esigenza di semplicità di schematizzazione dei diversi componenti geotecnici.

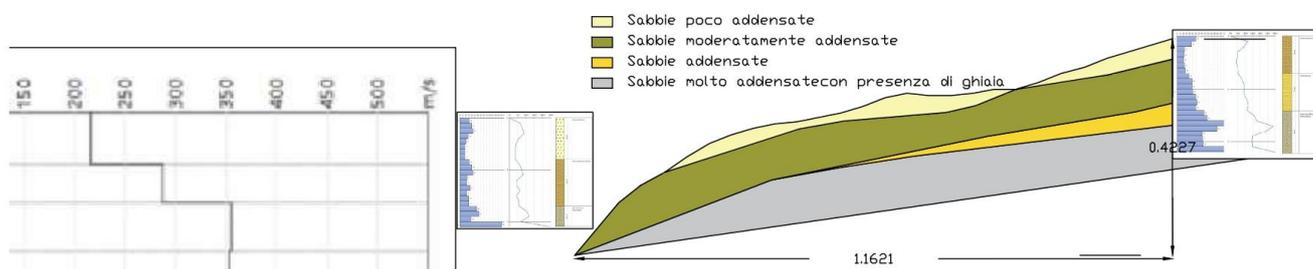


Figura 10-5. Ricostruzione del modello geologico di riferimento.

## 11 STIMA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

I fenomeni di liquefazione, che interessano i depositi sabbiosi o sabbioso-limosi, dipendono dalle proprietà geotecniche dei terreni, dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche e dalla loro durata, dalla genesi e dalla storia geologica dei terreni, dalla presenza di acque di falda, da fattori ambientali. Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana). Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza. Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce.

La resistenza alla liquefazione è maggiore con la profondità. Quindi, maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi (maggior numero di cicli) alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulom.ca, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso. Per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche su un deposito di può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di ri-liquefazione. I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti.

A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami inter-granulari e cementazioni sempre più forti con il tempo. Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità. Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$$

Dove:

c = coesione del terreno;

$\sigma_{v0}$  = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine;

u = pressione interstiziale dell'acqua;

$\varphi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno.

È evidente che la grandezza “ $\tau$ ” si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

- c = 0;
- ( $\sigma_{v0} - u$ ) = 0;

(il caso  $\varphi = 0$  non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione “ $c = 0$ ” non può ovviamente verificarsi). La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ( $\sigma_{v0} = u$ ).

In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sottofalda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

Anche se l'area in esame non risponde alle caratteristiche necessarie per rientrare tra le situazioni descritte, pur ipotizzando una significativa, quanto improbabile, risalita del livello piezom.co di falda in loco, si illustrano di seguito due metodi di calcolo della suscettibilità utilizzati per le verifiche cautelative.

Nello studio di FERRETTI E SCAFIDI (2022), vengono analizzate le mappe di pericolosità del movimento del suolo e la disaggregazione dei pericoli al fine di definire le aree in cui non è possibile escludere l'innescò di liquefazione dovuto all'attività sismica. A tal fine si fa riferimento ai criteri di innescò proposti dalle Linee Guida Italiane per la Microzonazione Sismica, descritti nel corpo principale del manoscritto.

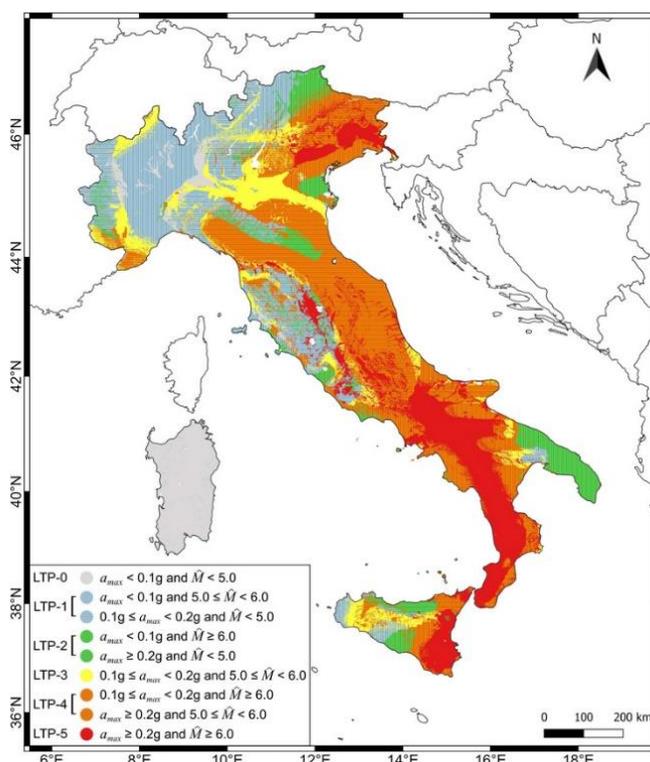


Figura 11-1. MILQ (Mappa del potenziale d'Innesco della LiQuefazione).

### Criterio di Youd & Perkins (1978)

Si tratta di un metodo che si basa sul tipo di deposito sedimentario e della sua età. Viene fornita un'indicazione qualitativa del grado di vulnerabilità della formazione. La probabilità di liquefazione è ricavabile dalla seguente tabella:

Tipo deposito	Età del deposito			
	500 anni	Olocene	Pleistocene	Pre-Pleistocene
Canali fluviali	Molto alta	Alta	Bassa	Molto bassa
Pianure di esondazione	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pianure e conoidi alluvionali	Moderata	Bassa	Bassa	Molto bassa
Spianate e terrazzi marini	-----	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Deltaici	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Lacustri	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Colluvioni	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Scarpate	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Dune	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Loess	Alta	Alta	Alta	Molto bassa
Glaciali	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa

Tabella 11-1. Schema di Youd & Perkins.

Nel nostro caso, essendo il Supersintema del Tavoliere riferibile al Pleistocene superiore, la probabilità di liquefazione è "Bassa".

#### Procedura di Sherif & Ishibashi (1978)

Il metodo di Sherif & Ishibashi ammette che si possano verificare fenomeni di liquefazione solo nei livelli costituiti da sabbie o sabbie limose, al di sotto del livello statico della falda e con spessore degli strati di copertura < 3 m.

Il metodo si basa sul confronto delle granulometrie con due profili standard. Per poter emettere un giudizio definitivo sulla vulnerabilità del deposito occorre prendere in considerazione il suo grado di addensamento, valutato attraverso prove SPT o SCPT.

Se il numero di colpi ricade, anche parzialmente, nella fascia A, il deposito è liquefacibile, se ricade nella fascia C non è liquefacibile. La fascia B infine riguarda strati in cui la liquefazione è possibile, ma non probabile.

Nel caso in esame, sulla base delle granulometrie dei terreni e delle elaborazioni delle prove S.P.T. eseguite, si ricade in Zona B "liquefazione possibile ma non probabile".

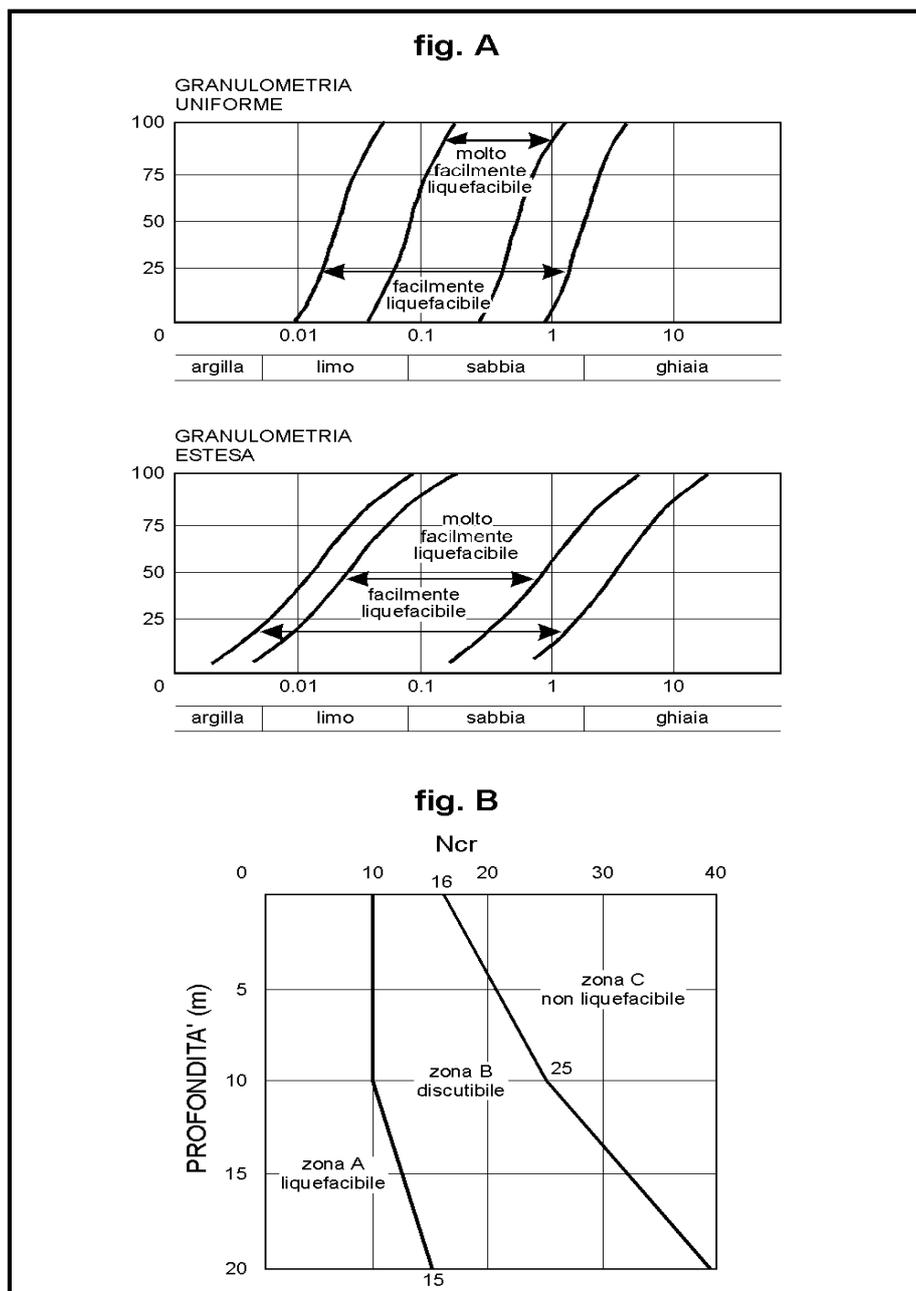


Figura 11-2. Schema di Sherif & Ishibashi.

Le “Norme tecniche per le costruzioni” del 2018 (D.M. 17.01.2018), al § 7.11.3.4, “stabilità nei confronti della liquefazione”, forniscono la seguente definizione nei riguardi di tale possibile manifestazione: “fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate”.

Ciò avviene quando la pressione dell’acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e quindi allorché gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero. In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie, ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine lino-argillosa. In riferimento al § 7.11.3.4.2

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g:

$$a_{\max} > 0,1g$$

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali:

$$-60 \text{ m dal p.c.}$$

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrom.ca normalizzata\*  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $qc_1N > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di  $1 \text{ kg/cm}^2$  e  $qc_1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di  $1 \text{ kg/cm}^2$ :

[non applicabile, non si tratta di sabbie pulite]

#### Metodo geologico

Il metodo geologico esclude:

Suscettibilità alla Liquefazione l'area dell'impianto agrivoltaico poggia su depositi ascrivibili all'Olocene, con profondità della falda acquifera  $> 15 \text{ m}$ .

#### Metodo semplificato

SEED e IDRISS (1982) proposero una procedura semplificata per la valutazione del potenziale di liquefazione.

Al fattore di sicurezza viene assegnato generalmente un valore minimo in funzione del tipo di terreno. Si assume:

per sabbie medio-dense  $\rightarrow F_s \geq 1,3$ ;

per sabbie medio-sciolte  $\rightarrow F_s \geq 1,5$ .

Valutazione del potenziale di liquefazione /da prove dinamiche SPT)

Metodo semplificato di Seed e Idris (1982)

Parametri	P <sub>1</sub>		
	1	2	3
$\gamma$	1,77 g/cm <sup>3</sup>	1,97 g/cm <sup>3</sup>	2,18 g/cm <sup>3</sup>
$\sigma_{v0}$	0,12 Kg/cm <sup>2</sup>	0,28 Kg/cm <sup>2</sup>	0,48 Kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma'_{v0}$	0,12 Kg/cm <sup>2</sup>	0,28 Kg/cm <sup>2</sup>	0,48 Kg/cm <sup>2</sup>
Profondità della prova	70 cm	140 cm	220 cm
N <sub>spt</sub>	11,3	18,7	36,1
Profondità della falda	6000 cm	6000 cm	6000 cm
$\gamma_{H_2O}$	1 g/cm <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup>
Pressione neutra	0,000 Kg/cm <sup>2</sup>	0,000 Kg/cm <sup>2</sup>	0,000 Kg/cm <sup>2</sup>
z	0,7 m	1,4 m	2,2 m
$Na = N_{spt} (1,7/(\sigma_{v0}+0,7))+N_f$	23,3159364	32,57839721	52,02611055
N <sub>f</sub> (variabile in funzione della granulom.a)	0	0	0
Resistenza al taglio mobilizzata = Na/90	0,25906596	0,361982191	0,578067895
T sforzo di taglio indotto dal sisma = $0.65(a_{max}/g)(\sigma_{v0}/\sigma'_{v0})r_d$	0,16079375	0,1590875	0,1571375
$1,3 \leq Fs = R/T$ Sabbie sature	1,61116934 <b>Verificato</b>	2,275365389 <b>Verificato</b>	3,678739289 <b>Verificato</b>

Tabella 11-2. Metodo semplificato SEED e IDRISS (1982).

Valutazione del potenziale di liquefazione /da prove dinamiche SPT)  
Metodo semplificato di Seed e Idris (1982)

Parametri	P <sub>2</sub>		
	1	2	3
$\gamma$	1,72 g/cm <sup>3</sup>	1,76 g/cm <sup>3</sup>	2,09 g/cm <sup>3</sup>
$\sigma_{v0}$	0,14 Kg/cm <sup>2</sup>	0,30 Kg/cm <sup>2</sup>	0,44 Kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma'_{v0}$	0,14 Kg/cm <sup>2</sup>	0,30 Kg/cm <sup>2</sup>	0,44 Kg/cm <sup>2</sup>
Profondità della prova	80 cm	170 cm	210 cm
N <sub>spt</sub>	9,7	11	26,3
Profondità della falda	6000 cm	6000 cm	6000 cm
$\gamma_{H_2O}$	1 g/cm <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup>
Pressione neutra	0,000 Kg/cm <sup>2</sup>	0,000 Kg/cm <sup>2</sup>	0,000 Kg/cm <sup>2</sup>
z	0,8 m	1,7 m	2,1 m
$Na = N_{spt} (1,7/(\sigma_{v0}+0,7))+N_i$	19,68720153	18,71497198	39,25717798
N <sub>f</sub> (variabile in funzione della granulom.a)	0	0	0
Resistenza al taglio mobilitata = Na/90	0,218746684	0,207944133	0,436190866
T sforzo di taglio indotto dal sisma = $0.65(a_{max}/g)(\sigma_{v0}/\sigma'_{v0})r_d$	0,16055	0,15835625	0,15738125
$1,3 \leq Fs = R/T$ Sabbie sature	1,362483237 <b>Verificato</b>	1,313141307 <b>Verificato</b>	2,771555483 <b>Verificato</b>

Tabella 11-3. Metodo semplificato SEED e IDRISS (1982).

## 12 CONCLUSIONI

A vantaggio della sicurezza, si consiglia al progettista di impiegare per i calcoli e le verifiche del caso i dati più cautelativi dei parametri fisico-meccanici ottenuti in campo ed in laboratorio, riportati nei capitoli precedenti e nei certificati allegati alla presente relazione geologica.

In funzione delle caratteristiche reali che saranno riscontrate durante i lavori di realizzazione delle fondazioni dell'opera in oggetto, sarà possibile apportare eventuali modifiche a quanto riportato nella presente relazione, a vantaggio della sicurezza.

I sopralluoghi ed i controlli in cantiere richiesti dal progettista e/o direttore dei lavori saranno effettuati volentieri dal sottoscritto, previa comunicazione.

Il sottoscritto si rende disponibile ad effettuare incontri e sopralluoghi chiarificatori con il progettista, con gli altri consulenti tecnici, con i responsabili della Neoen Renewables Italia Srl.

Per una valutazione delle caratteristiche e delle risposte dei terreni di fondazione sottoposti al carico della struttura in progetto si farà riferimento, come per legge e come accennato in precedenza, ad una successiva Relazione Geotecnica che si consiglia di redigere contestualmente alle relazioni di progetto e alle valutazioni di tipo tecnico-economico.

In conclusione, sulla base di quanto analizzato, rilevato e valutato, si ritiene che sussistano le condizioni di fattibilità geologica e geotecnica per la realizzazione dell'impianto in progetto.

Tanto si doveva per l'incarico ricevuto.

Foligno, 20 ottobre 2023

Prof. Geol. Alfonso Russi



Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie



## 13 BIBLIOGRAFIA E WEBREFERENCE

### 13.1 BIBLIOGRAFIA

Boschi, E., Ferrari, G., Gasperini, P., Guidoboni, E., Smeriglio, G. and Valensise, G. (1995) - Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980, ING-SGA, Bologna, 973 pp.

Caldara & Pennetta (1993) - Lineamenti geografici della provincia di Foggia. - Bonifica, a. 8(3), pp. 13-24, figg. 2, tabb. 8, Bastogi, Foggia.

- Ciaranfi N., Pieri P. e Ricchetti G. (1988) – Note alla carta geologica delle Murge e del salento (Puglia centromeridionale). Mem. Soc. Geol. It., 41, 449-460.
- Ciaranfi N., Ghisetti F., Guida M., Iaccarino G., Lambiase S., Pieri P., Rapisardi L., Ricchetti G., Torre M., Tortorici L. & Vezzani L. (1983) – Carta Neotettonica dell'Italia meridionale. Pubbl. n°515 Prog. Fin. Geod C.N.R., 62 pp.
- Di Bucci D., Ravaglia A., Seno S., Toscani G., Fracassi U., Valensise G., 2006. Seismotectonics of the southern Apennines and Adriatic foreland: insights on active regional E-W shear zones from analogue modeling. *Tectonics*, 25, TC4015, doi: 10.1029/2005TC001898.
- Doglioni C., Mongelli F. & Pieri P. (1994) – The Puglia uplift (SE Italy): An anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere. *Tectonics*, 13, 1309-1321.
- Gambini R., & Tozzi M. (1996) – Tertiary geodynamic evolution of the Southern Adria Microplate. *Terra Nova*, 8, 593-602.
- Guidoboni, E. and Tinti, S., 1988, A review of the historical 1627 tsunamis in the southern Adriatic, *Science of Tsunami Hazards* 6, 11–16
- Guisan A., Weiss S.B., Weiss, A.D., 1999. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology* 143, 107–122
- Maffei J., Bazzurro P. (2004) – The 2002 Molise, Italy, Earthquake. *Earthquake Spectra*, 20-S1, pp. S1-S22.
- Molin, D. and Margottino, C. (1985) - The earthquake of July 1627 in the Northern Capitanata. In: Postpischl, D. (ed.), *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*. CNR-P.F. Geodinamica, Bologna, pp. 36–37
- Rebez A., Santulin M., Sani F., Poli M.E., Barani S., Barreca G., Corti G., Bonini M., Martelli L., Slejko D., Busetti M., Zanferrari A., Spallarossa D., Monaco C., Tamaro A., Marchesini A., Scafidi D., Dal Cin M.; 2016: MPS16 Project - Model A1 descriptive report. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, Relazione OGS n. 2016/78 CRS16. 52 pp.
- Ricchetti G., Ciaranfi N. Luperto Sinni E., Mongelli F. & Pieri P. (1988) – Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampaeese apulo. Mem. Soc. Geol. It., 41,57-82.
- Pescatore T., Di Nocera S., Matano F. & Pinto F. (2000) -L'Unità del Fortore nel quadro della geologia del settore orientale dei Monti del Sannio (Appennino meridionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, 119: 587-601.
- Pieri P., Sabato L. & Tropeano M. (1996) – Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa Bradanica nel Pleistocene. Mem. Soc. Geol. It., 51, 501-515.
- Pomar L. & Tropeano M. (2001) - The Calcarenite di Gravina Formation in Matera (Southern Italy): new insights for coarse-grained, large-scale, crossbedded bodies encased in offshore deposits. *AAPG Bull.*, 85, 661-689.
- Scandone P., Patacca E., Meletti C., Bellatalla M., Perilli N., e Santini U. (1992) – Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. *Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Pisa, 25-27 giugno 1990)*, 1, Ed. Ambientale – Bologna 1992, 199-135.
- Tropeano M. & Sabato L. (2000) – Response of Plio-Pleistocene mixed bioclastic-lithoclastic temperate-water carbonate systems to forced regression: the Calcarenite di Gravina Formation, Puglia, SE Italy. In: “Sedimentary responses to forced regression” (D.Hunt & R.L. Gawthorpe, Eds.), *Geol. Soc London, Spec. Publ.*, 171, 217-243

## 13.2 WEBREFERENCE

<http://webapps.sit.puglia.it/arcgis/services>

<https://pugliacon.regione.puglia.it/web/sit-puglia-paesaggio/download>

<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>

[https://emidius.mi.ingv.it/GNDT2/Banche\\_dati/Cataloghi/Cataloghi.htm](https://emidius.mi.ingv.it/GNDT2/Banche_dati/Cataloghi/Cataloghi.htm)

<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html#>

<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/default>

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

<http://ntc.archiving.it/2019/02/18/capitolo-2-sicurezza-e-prestazioni-attese/#art242>

<https://www.robortodigirolamo.engineer/>



**COMUNE:**  
Apricena

**PROVINCIA:**  
FG

## ***DIAGRAMMI CLIMATICI***

## Sommario

1. Dati del Comune.....	3
2. Indici.....	4
3. Diagramma Pluviometrico.....	6
4. Diagramma Termometrico.....	7
5. Diagramma Termopluviometrico.....	8
6. Diagramma Ombrotermico.....	9
7. Diagramma Walter & Lieth.....	10
8. Climogramma Precipitazioni e Temperature.....	11
9. Climogramma di Peguy.....	12

## 1. Dati del Comune

<b>Comune di</b>	Apricena
<b>Provincia</b>	FG
<b>Altitudine [m]</b>	73
<b>Latitudine</b>	41,7849
<b>Longitudine</b>	15,4446
<b>Temperatura Massima Annuale [°C]</b>	38,62
<b>Temperatura Minima Annuale [°C]</b>	-2,28

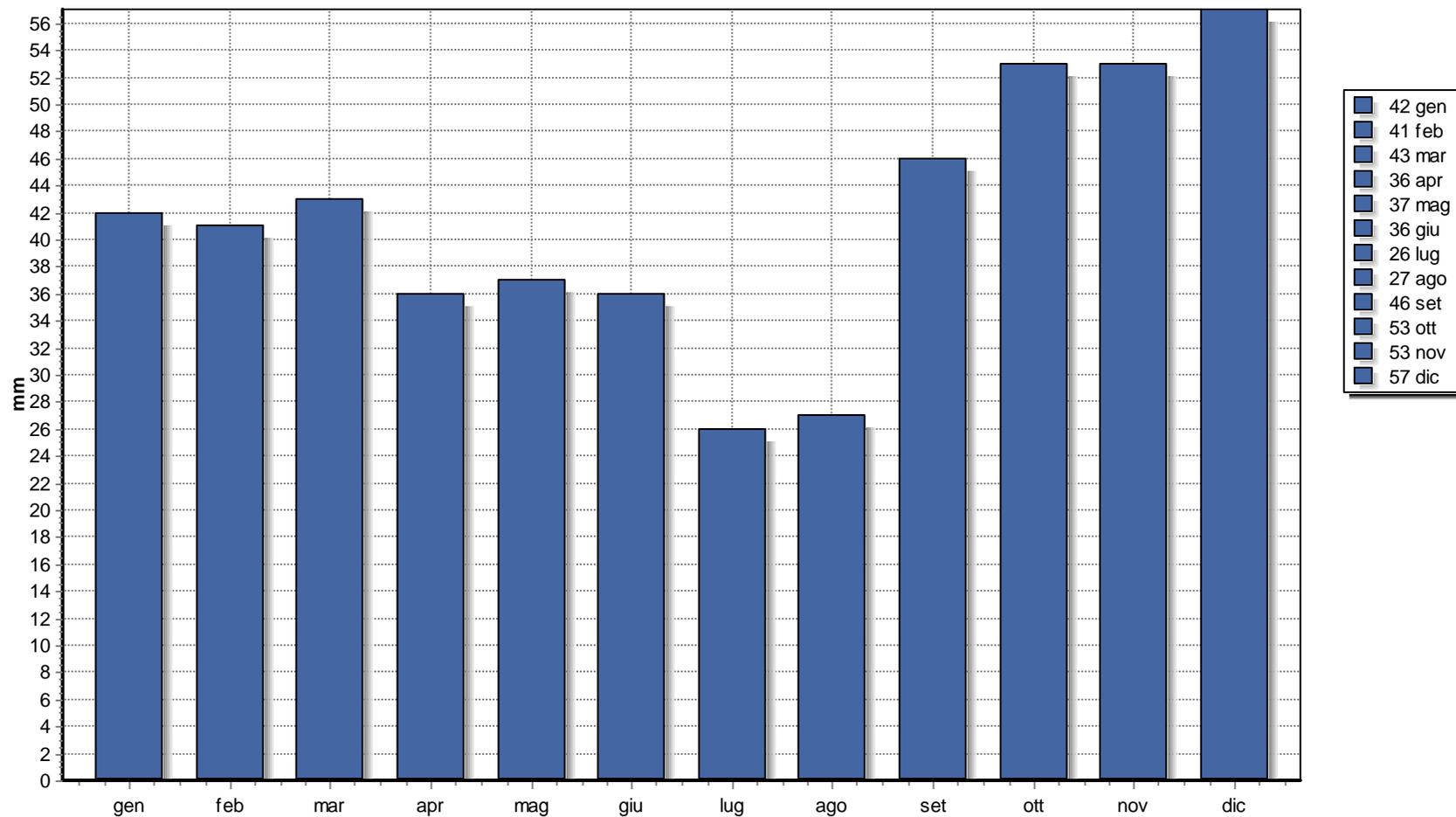
I dati climatici sono stati acquisiti dalla Norma UNI 10349 e sono relativi ad un periodo minimo di 30 anni.

## 2. Indici

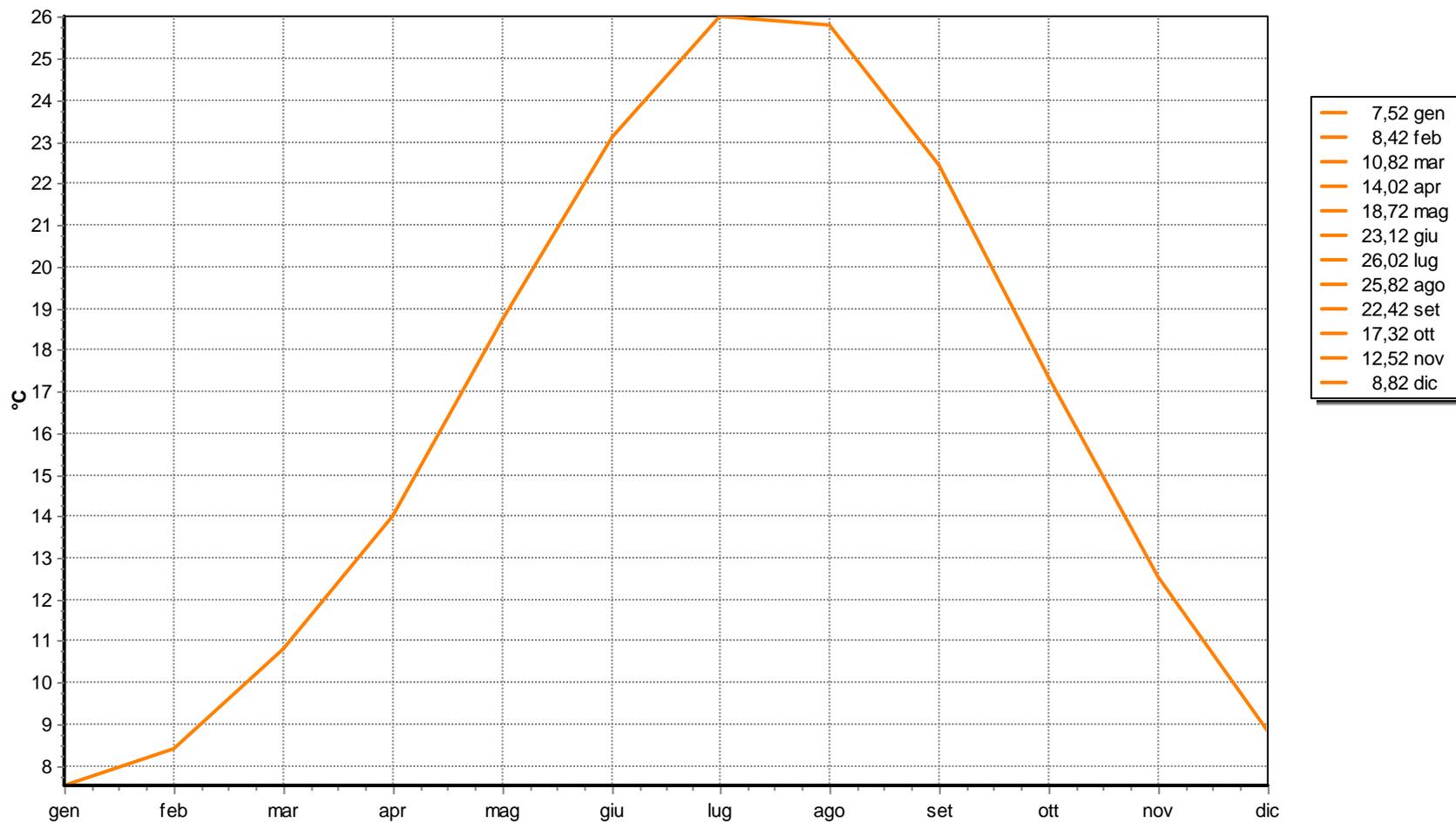
<b>Precipitazioni [mm]:</b>	Totale:	497
	Media:	41,41
<b>Temperatura Media [°C]</b>	16,34	
<b>Indice di Continentalità di Gams</b>	8° 21'	
<b>Indice di Fournier</b>	6,54	
<b>Evaporazione Idrologica di Keller [mm]</b>	517,65	
<b>Pluviofattore di Lang</b>	30,42	
<b>Indice di Amann</b>	438,97	
<b>Mesi Aridi:</b>	Secondo Koppen:	lug ago
	Secondo Gaussen:	mag giu lug ago
<b>Indice di De Martonne</b>	18,87	
<b>Indice di De Martonne-Gottmann</b>	13,77	
<b>Indice di Aridità di Crowther</b>	-4,22	
<b>Indice Bioclimatico di J.L. Vernet</b>	1,82	
<b>Indice FAO</b>	1,09	
<b>Evaporazione Media mensile [mm]</b>	148,61	
<b>Quoziente Pluviometrico di Emberger</b>	61,65	
<b>Indice di Continentalità di Currey</b>	1,24	
<b>Indice di Continentalità di Conrad</b>	33,20	
<b>Indice di Continentalità di Gorczynski</b>	26,80	
<b>Evapotraspirazione Reale di Turc [mm]</b>	431,92	
<b>Evapotraspirazione Reale di Coutagne [mm]</b>	417,00	
<b>Indici di Rivas-Martinez:</b>	Continentalità [°C]:	18,50
	Termicità:	314,80 ± 2,50
	Ombrotermico Annuale:	2,54
	Ombrotermico Estivo:	1,19
<b>Indici di Mitrakos:</b>	SDS (Summer Drought Stress):	112,66
	WCS (Winter Cold Stress):	-3,84
	YDS (Year Drought Stress):	331,74
	YCS (Year Cold Stress):	70,04

[C°]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Temperature	7,52	8,42	10,82	14,02	18,72	23,12	26,02	25,82	22,42	17,32	12,52	8,82
Massime	11,12	12,22	15,22	18,92	24,32	28,72	31,72	31,32	27,52	21,62	16,62	12,42
Minime	4,02	4,52	6,42	9,12	13,22	17,42	20,32	20,22	17,42	12,92	8,52	5,32
Massime Estreme	17,22	18,82	22,02	26,02	31,02	35,62	38,62	38,42	34,02	28,82	23,02	18,12
Minime Estreme	-2,28	-1,58	0,02	4,02	7,52	11,52	15,52	15,02	12,02	6,22	2,02	0,02
[mm]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Precipitazioni	42	41	43	36	37	36	26	27	46	53	53	57
Indice di Angot	11,94	12,91	12,23	10,58	10,52	10,58	7,39	7,68	13,52	15,07	15,57	16,21
Indice di De Martonne (mensile)	28,77	26,71	24,78	17,99	15,46	13,04	8,66	9,05	17,03	23,28	28,24	36,34
Stress di Mitrakos (idrico)	16	18	14	28	26	28	48	46	8	0	0	0
Stress di Mitrakos (termico)	47,84	43,84	28,64	7,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,84	37,44

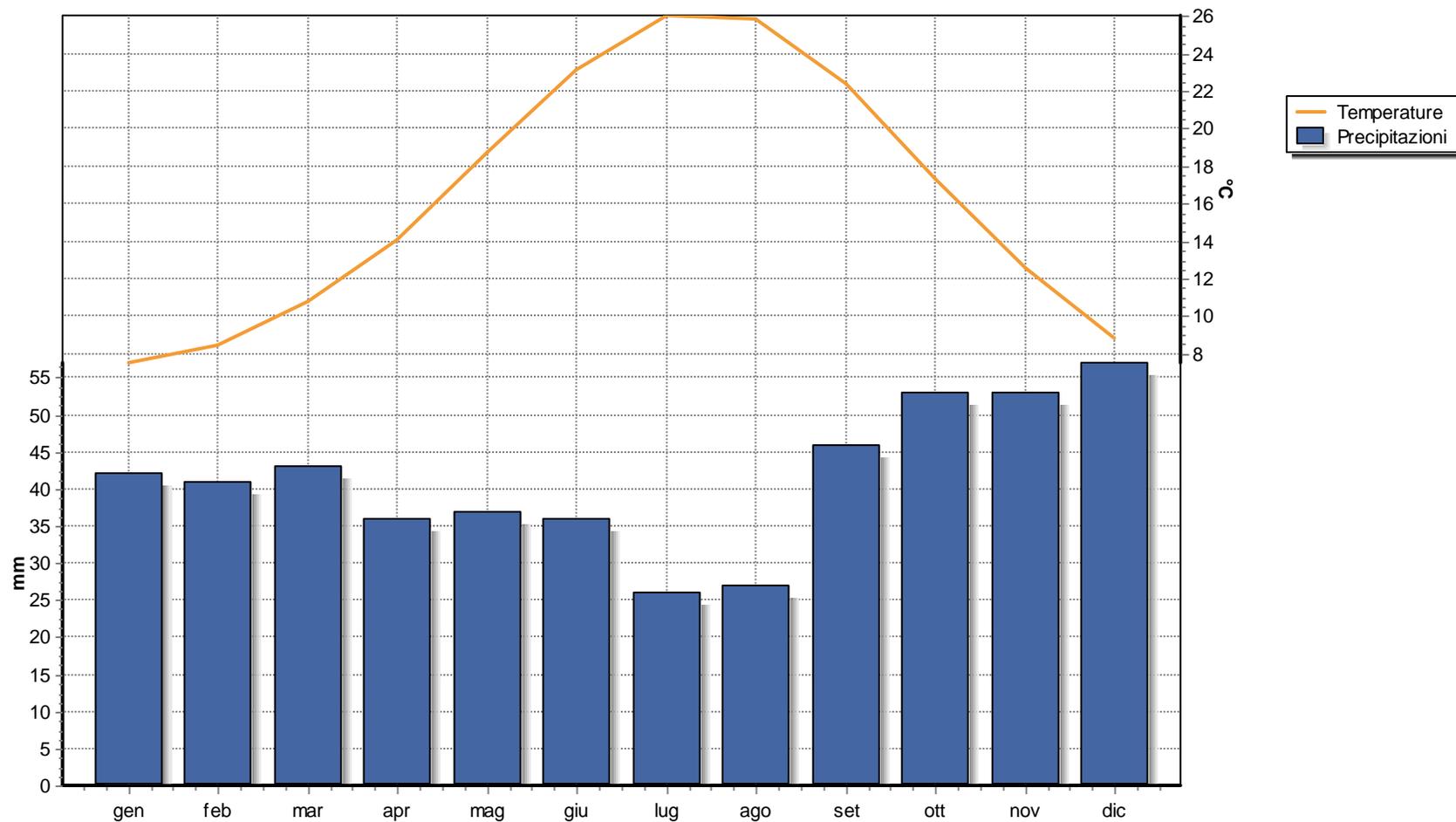
### 3. Diagramma Pluviometrico



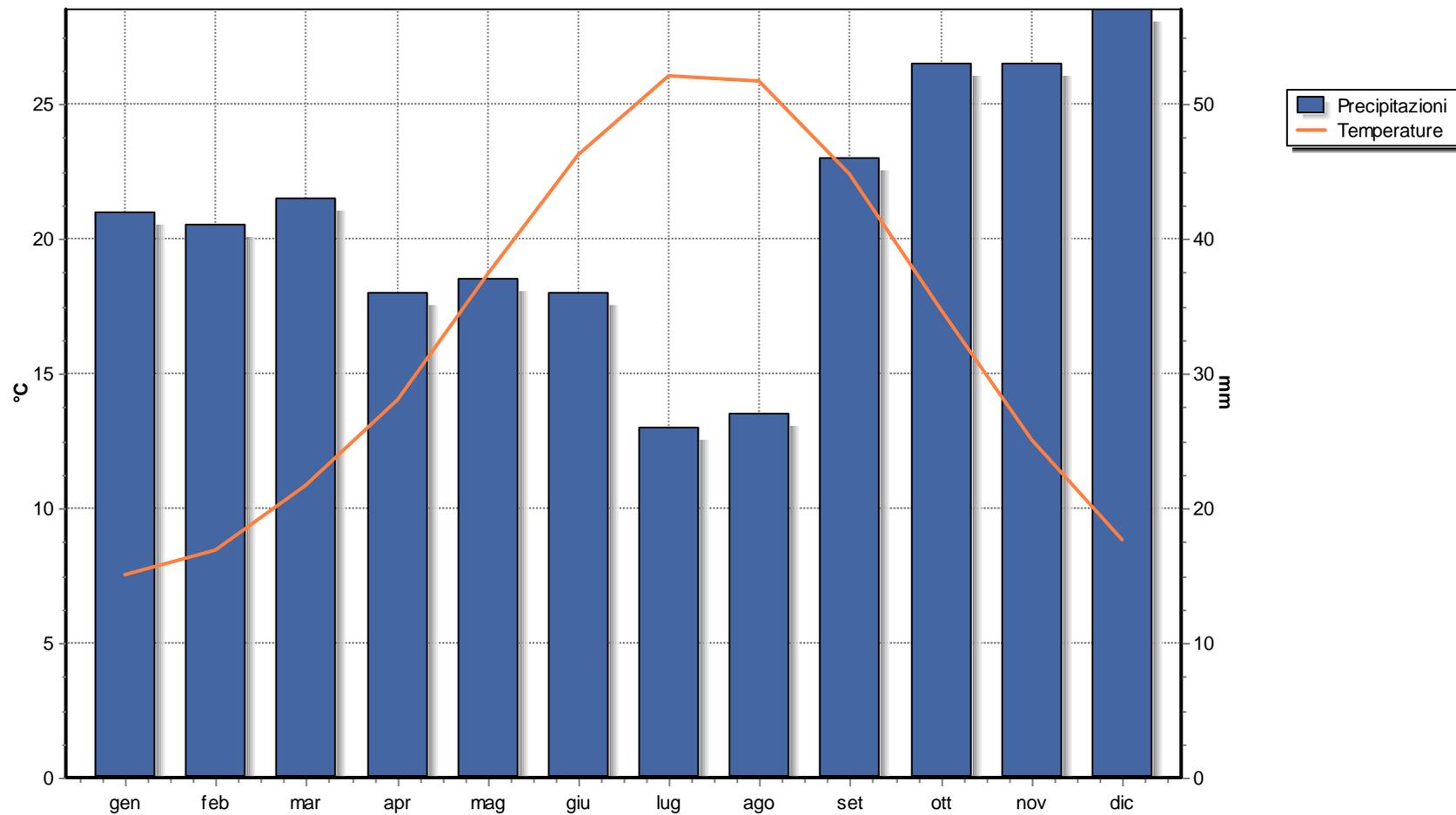
4. Diagramma Termometrico



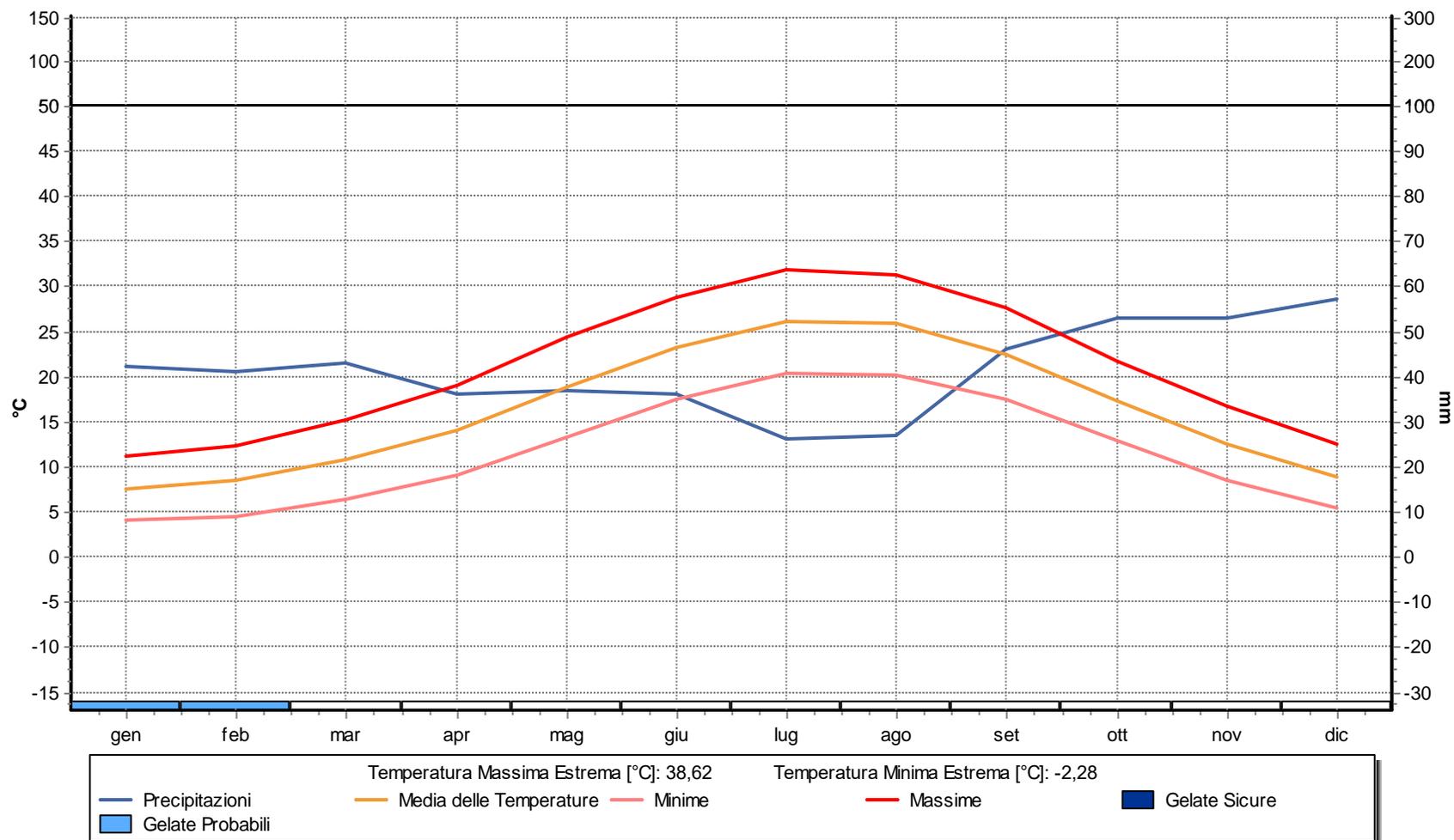
5. Diagramma Termopluviometrico



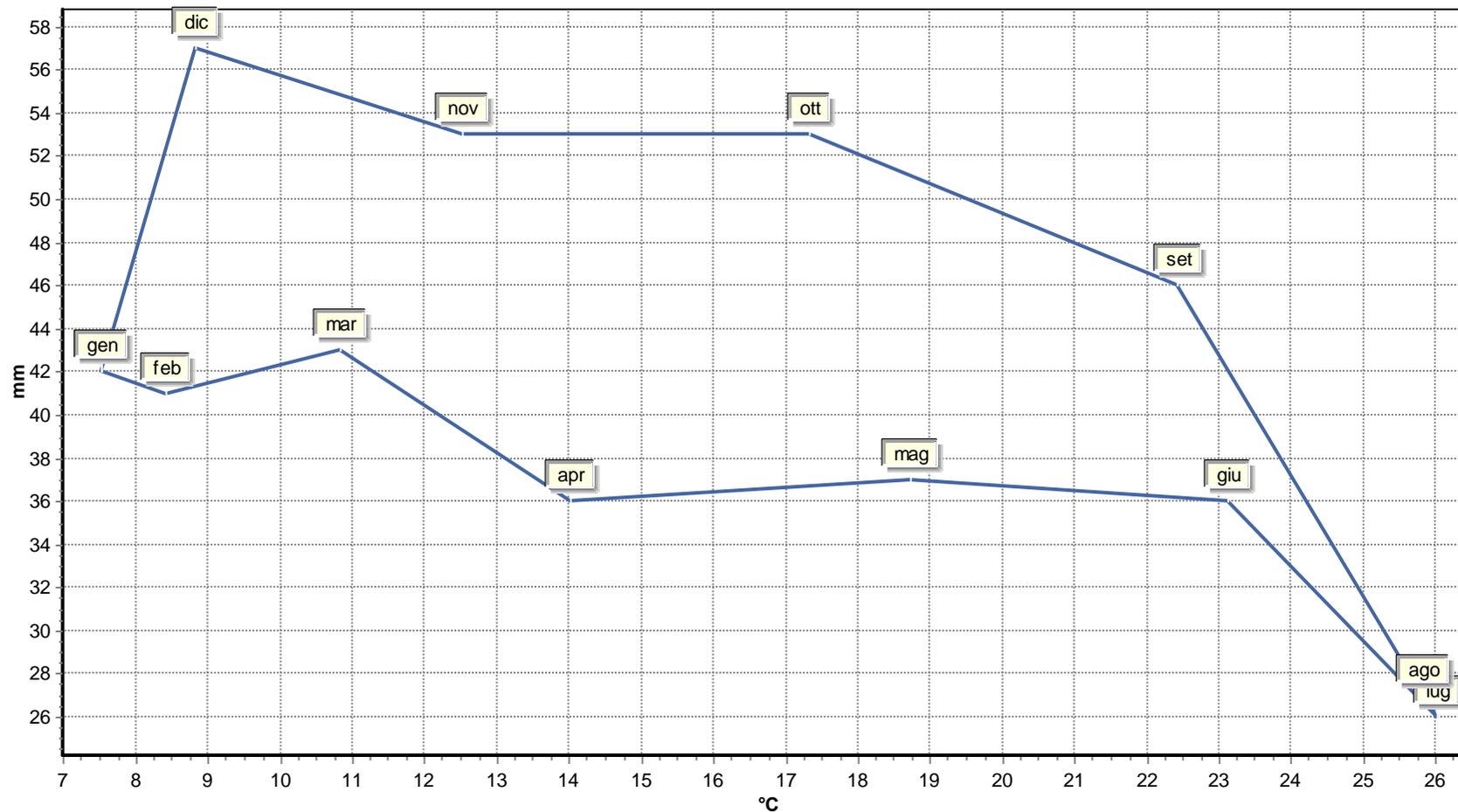
6. Diagramma Ombrotermico



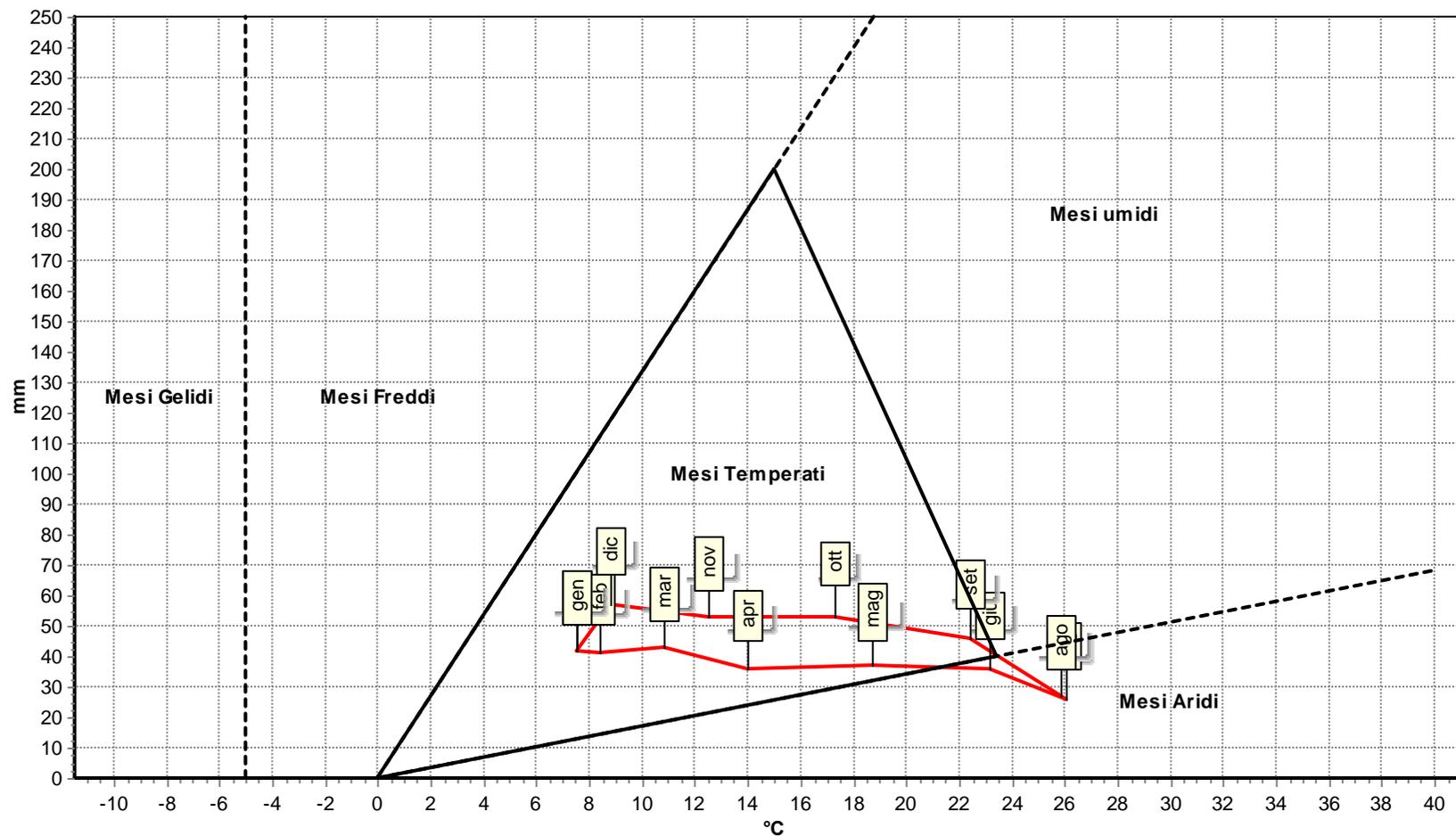
## 7. Diagramma Walter & Lieth



## 8. Climogramma Precipitazioni e Temperature



9. Climogramma di Peguy



**RAPPORTO DI PROVA Nr. 23/06014-00**

del 30/06/2023

Pagina 1 di 2

**DATI DEL CLIENTE**

Nome / Ragione Sociale **Alfonso Russi**  
Indirizzo **Via Friuli, 5 – Foligno PG**

**DATI DEL CAMPIONE**

Etichetta campione **APRICENA 1**  
Descrizione del campione **Terreno agricolo**  
Esame richiesto **Analisi chimica completa**  
Luogo e punto di prelievo **Comune di Apricena (FG)**  
Metodo campionamento **D.M. 13/09/1999**  
Prelievo eseguito da **Cliente**  
Data di accettazione **19/06/2023**  
Data inizio prova **19/06/2023**

Data prelievo **12/06/2023**  
Note in accettazione **//**  
Data fine prova **30/06/2023**

**RISULTATI DELLE PROVE**

Parametro	Risultato	U ±	U.M.	Metodo	V.N.
Scheletro	<b>&lt; 0,1</b>	-	%	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. II.1 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	-
pH in acqua a 20 °C	Estratto saturo <b>7,3</b>	0,1	Unità pH	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. III.1 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	6,5 - 7,5
Conducibilità elettrica a 25 °C	Estratto saturo <b>1,99</b>	0,04	mS/cm	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. IV.1 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	0,2 - 2,0
Azoto Totale	N <b>1,27</b>	0,06	g/Kg	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. XIV.2, XIV.3 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	> 1
Carbonio Organico	<b>1,12</b>	0,06	%	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. VII.2 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	> 1,7
Sostanza Organica	<b>1,93</b>	0,10	%	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. VII.2 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	> 3
Tessitura					
Argilla	<b>25,0</b>	-	%	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. II.6 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	3 - 25
Limo	<b>27,0</b>				15 - 40
Sabbia	<b>48,0</b>				50 - 85
Calcare Totale	CaCO <sub>3</sub> <b>&lt; 0,1</b>	-	%	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. V.1 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	10 - 15
Calcare Attivo	CaCO <sub>3</sub> <b>&lt; 0,1</b>	-	%	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. V.2 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	< 10
Fosforo assim.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <b>57</b>	3	mg/Kg	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. XV.3 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	60 - 140
<b>Basi di Scambio</b>					
Calcio scamb.	Ca <b>2545</b>	127	mg/Kg	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. XIII.5 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	5000 - 6500
Magnesio scamb.	Mg <b>1007</b>	50	mg/Kg	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. XIII.5 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	400 - 650
Sodio scamb.	Na <b>14</b>	1	mg/Kg	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. XIII.5 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	< 300 (400)
Potassio scamb.	K <b>378</b>	19	mg/Kg	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. XIII.5 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	150 - 300
C.S.C.	<b>22,0</b>	-	meq/100g	D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. XIII.2 + D.M. 25/03/2002 G.U. n°84 10/04/2002	25 - 30

**Rapporti Agronomici**

ESP (% Sodio Scambiabile)	<b>0,28</b>	-	%	Da calcolo	< 5
Rapporto C/N	<b>8,8</b>	-	-	Da calcolo	-
Rapporto Mg/K	<b>2,6</b>	-	-	Da calcolo	-
Rapporto Ca/Mg	<b>2,5</b>	-	-	Da calcolo	-

**RIFERIMENTI** I valori normali si riferiscono, con le opportune specifiche valutazioni agronomiche, ai terreni a tessitura medio impasto. **I risultati delle prove sono espressi sulla sostanza secca come indicato nel D.M. 13/09/1999 G.U. n°248 21/10/99 Met. II.2 .**

Le seguenti unità di misura sono equivalenti:

dS/m  $\equiv$  mS/cm;

ppm  $\equiv$  mg/Kg

Per convertire il risultato da % a g/Kg, moltiplicare per un fattore 10.

**LEGENDA**

U.M. = unità di misura; n.a. = Non applicabile; LoQ = Limite di Quantificazione; ss = sostanza secca;

R% = Recupero medio percentuale (non viene utilizzato per correggere il dato).

U = Incertezza estesa, espressa nelle stesse unità di misura del risultato, calcolata adottando un fattore di copertura K=2 (se non diversamente specificato) per assicurare un livello di fiducia prossimo al 95%;

**NOTE**

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente al campione sottoposto a prova. Il laboratorio non si assume la responsabilità per i dati relativi al campionamento se effettuato dal Cliente.

La presente copia può essere riprodotta solo per intero, la parziale riproduzione deve essere autorizzata dal Laboratorio. Tempi di conservazione del campione dopo l'analisi: 7 giorni.

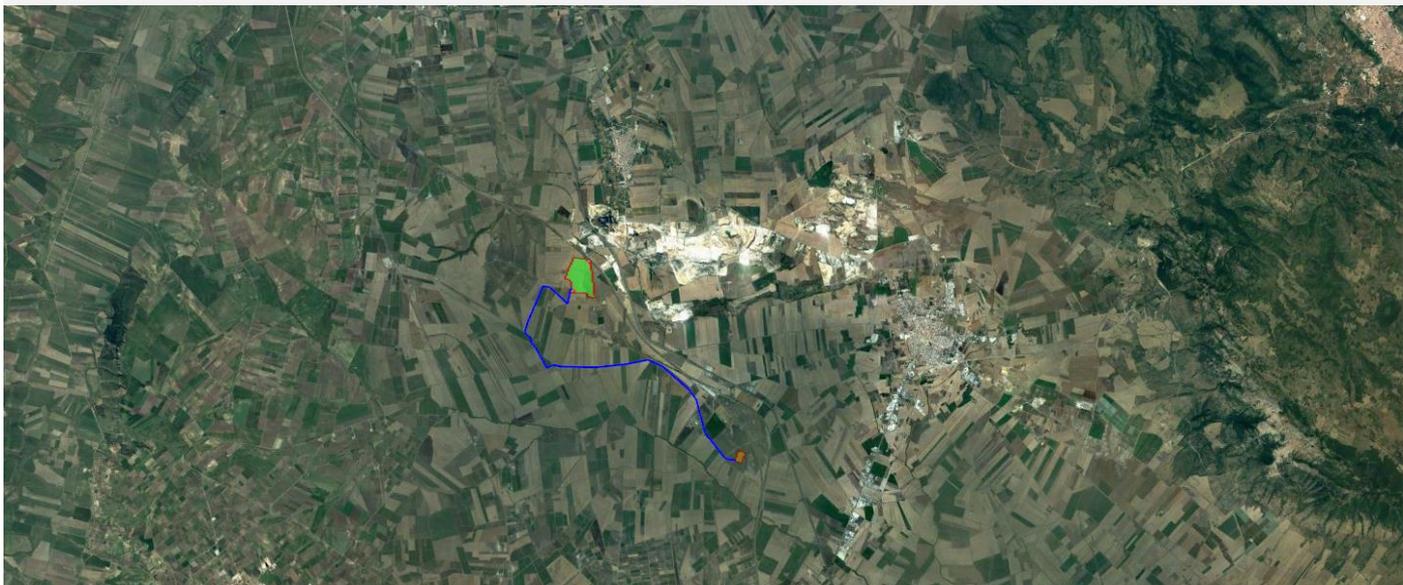
Certificato valido a tutti gli effetti di Legge ai sensi degli articoli:  
Art.16 R.D. 01/03/1928 n° 842; Art.li 16 e 18 Legge 19/07/1957 n°679; D.M. 21/06/1978; Art. 8 c.3 D.M. 25/03/1986 "Per le prestazioni analitiche deve essere rilasciato un certificato firmato dal Chimico".

IL RESPONSABILE DI LABORATORIO

**Dott. TINO LORIA**

  
**FINE RAPPORTO DI PROVA**

## COMUNE DI APRICENA (FG)



***NEOEN RENEWABLES ITALIA S.r.l.***

***Via Rovani, 7 – 20123 MILANO (MI)***

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTATICO NEL COMUNE DI  
APRICENA (FG)**

## **SPETTRI E PARAMETRI SISMICI**

***Foligno, 29 giugno 2023***

**I Tecnici**

***Prof. Geol. Alfonso Russi***

***Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie***

**PROF. GEOL. ALFONSO RUSSI / VIA FRIULI, 5 / 06034 FOLIGNO (PG) / TEL 3357034527**

**E-mail: [alfonso.russi59@gmail.com](mailto:alfonso.russi59@gmail.com) – PEC: [alfonso.russi@pec.epap.it](mailto:alfonso.russi@pec.epap.it)**

Coordinate WGS84	Lat.=	41,803414	Lon.=	15,353632					
Coordinate ED50	Lat.=	41,804384	Lon.=	15,354492					
<b>Classe d'Uso:</b>	<b>I. 0.7</b>	<b>Vita Nominale:</b>	<b>50 anni</b>	<b>Vita di Riferimento VR [anni]=</b>	<b>35</b>				
					1				1
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]	Stato Limite	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]	
30	0,056	2,459	0,280	SLO	30	0,056	2,459	0,280	
50	0,074	2,487	0,292	SLD	35	0,061	2,467	0,283	
72	0,089	2,500	0,295	SLV	332	0,176	2,469	0,326	
101	0,104	2,515	0,298	SLC	682	0,236	2,441	0,336	
140	0,120	2,510	0,307						
201	0,142	2,493	0,320	ID	Lat.	Lon.	d		
475	0,205	2,452	0,331	28999	41,76968	15,36743	4,0052		
975	0,271	2,430	0,341	28998	41,77076	15,30042	5,8375		
2475	0,380	2,425	0,357	28777	41,81967	15,3689	2,0772		
				28776	41,82075	15,30185	4,7271		
SUOLO	B			$S_s =$	1,200	$S_t =$	1,000		
CAT. TOPOGRAFICA	T1			$T_b =$	0,150	$T_c =$	0,449	$T_d =$	2,304
STATO LIMITE	SLV			ag ancoraggio =	0,211	ag,plateau =	0,522		

Tabella 1. Elaborazione numerica per SLV - parametri e valori progettuali (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

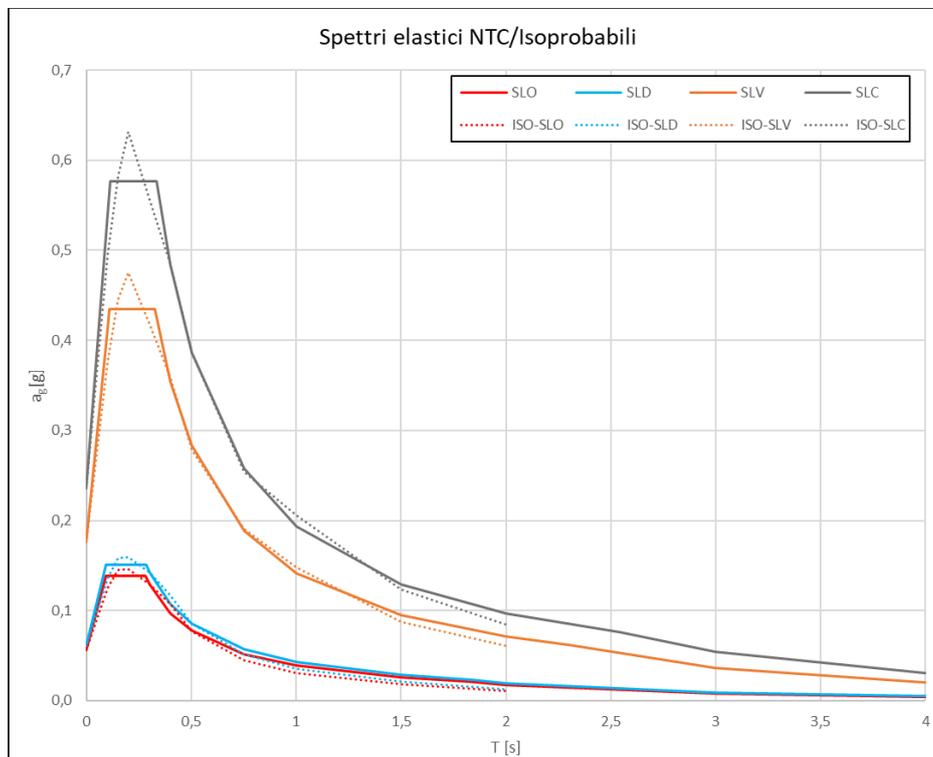


Figura 2. Spettri elastici NTC/isoprobabili (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

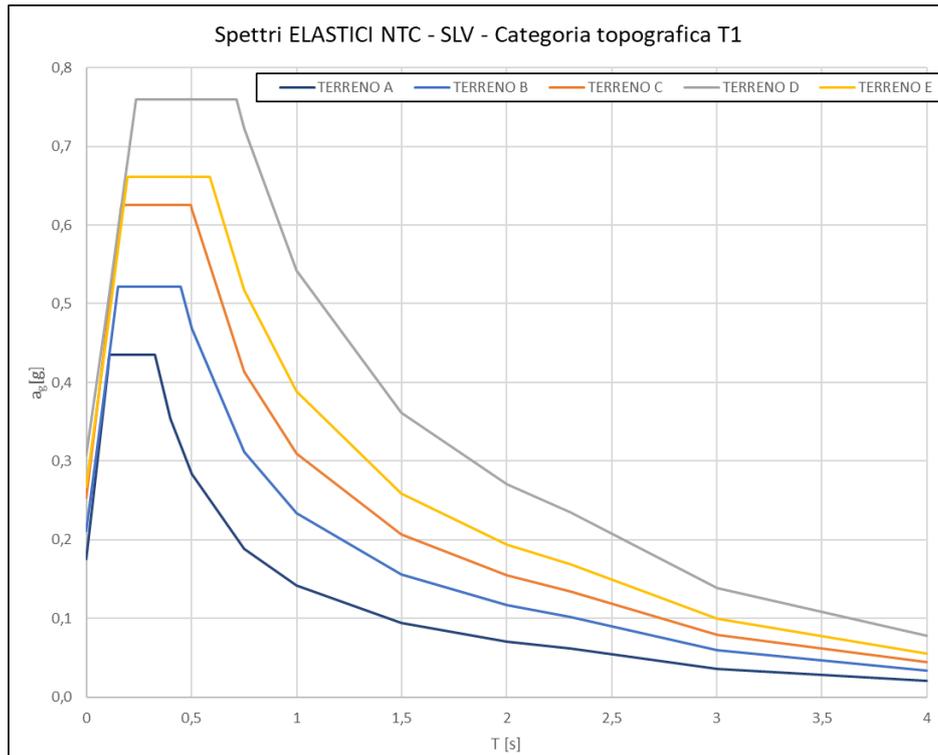


Figura 3. Spettri elastici per SLV (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

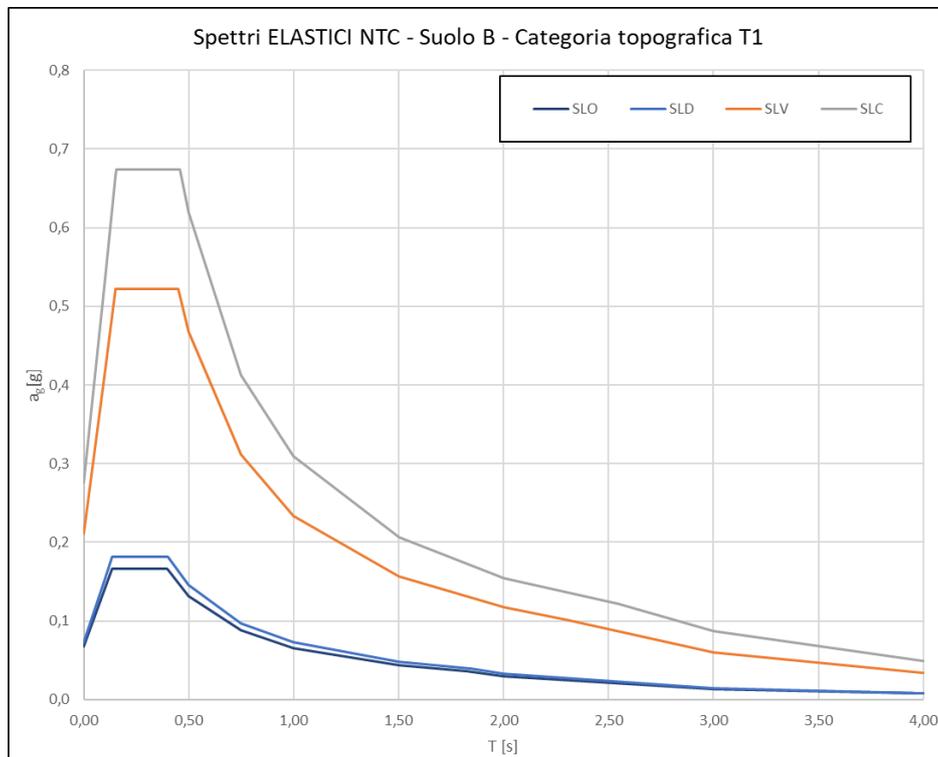


Figura 4. Spettri elastici per categoria di sottosuolo C (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

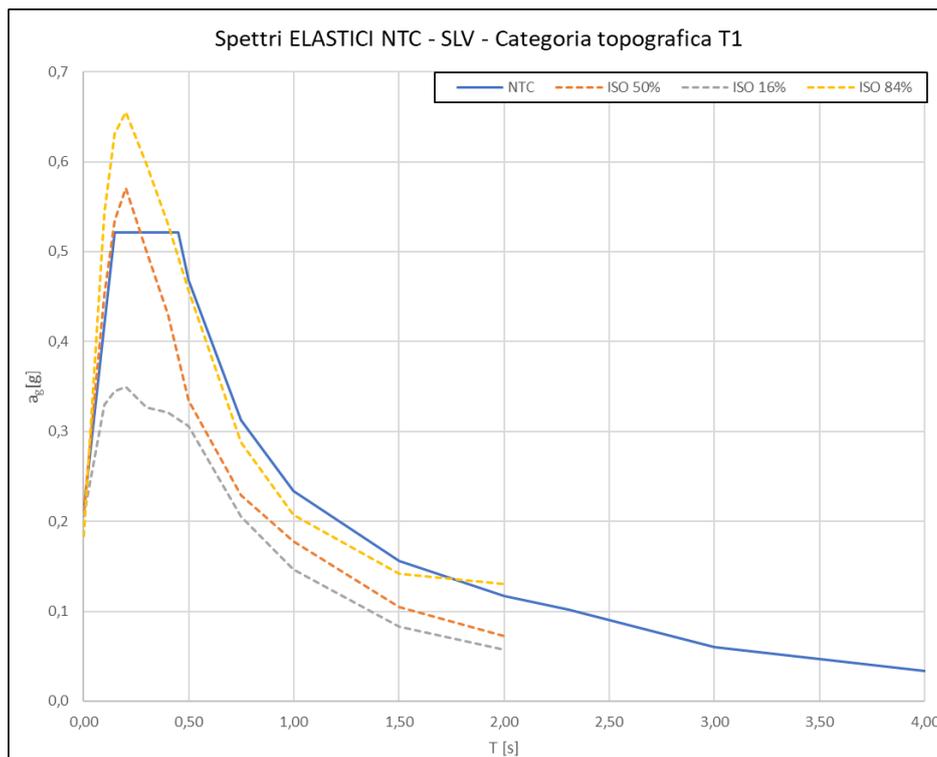


Figura 5. Spettri elastici per SLV (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

Coordinate WGS84		Lat.=	41,803414	Lon.=	15,353632					
Coordinate ED50		Lat.=	41,804384	Lon.=	15,354492					
<b>Classe d'Uso:</b>		<b>I. 0.7</b>	<b>Vita Nominale:</b>		<b>50 anni</b>	<b>Vita di Riferimento VR [anni]=</b>		<b>35</b>		
								1	1	
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]		Stato Limite	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]	
30	0,056	2,459	0,280		SLO	30	0,056	2,459	0,280	
50	0,074	2,487	0,292		SLD	35	0,061	2,467	0,283	
72	0,089	2,500	0,295		SLV	332	0,176	2,469	0,326	
101	0,104	2,515	0,298		SLC	682	0,236	2,441	0,336	
140	0,120	2,510	0,307							
201	0,142	2,493	0,320		ID	Lat.	Lon.	d		
475	0,205	2,452	0,331		28999	41,76968	15,36743	4,0052		
975	0,271	2,430	0,341		28998	41,77076	15,30042	5,8375		
2475	0,380	2,425	0,357		28777	41,81967	15,3689	2,0772		
					28776	41,82075	15,30185	4,7271		
SUOLO		B			$S_s =$	1,169	$S_t =$	1,000		
CAT. TOPOGRAFICA		T1			$T_b =$	0,153	$T_c =$	0,459	$T_d =$	2,544
STATO LIMITE		SLC			$a_g$ ancoraggio =	0,276	$a_g$ , plateau =	0,674		

Tabella 2. Elaborazione numerica per SLC - parametri e valori progettuali (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

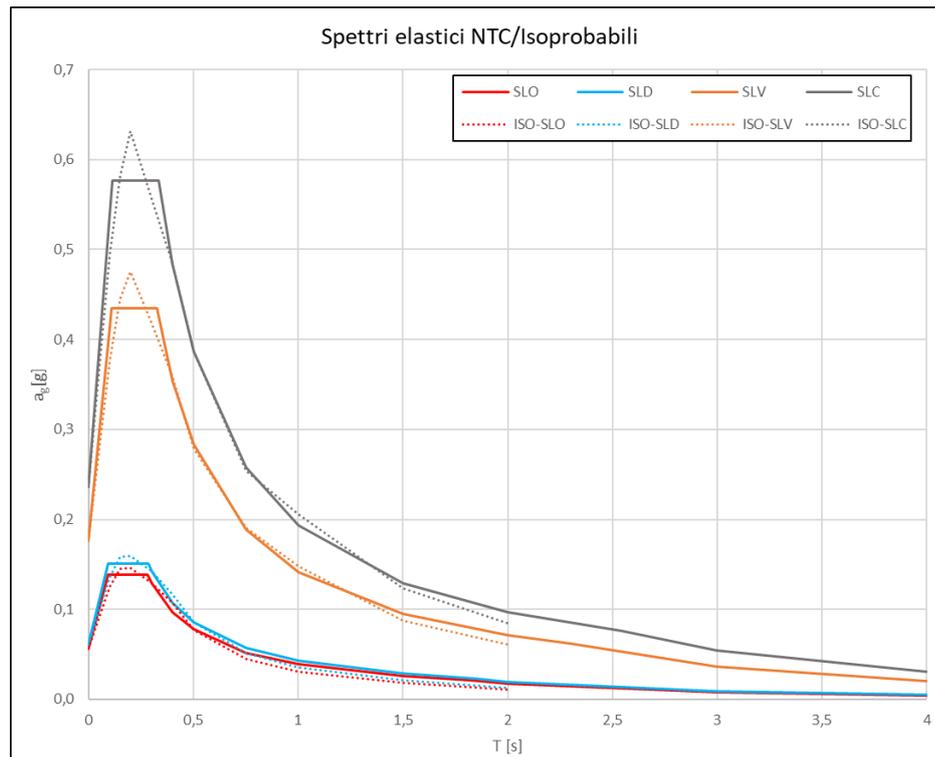


Figura 6. Spettri elastici NTC/isoprobabili (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

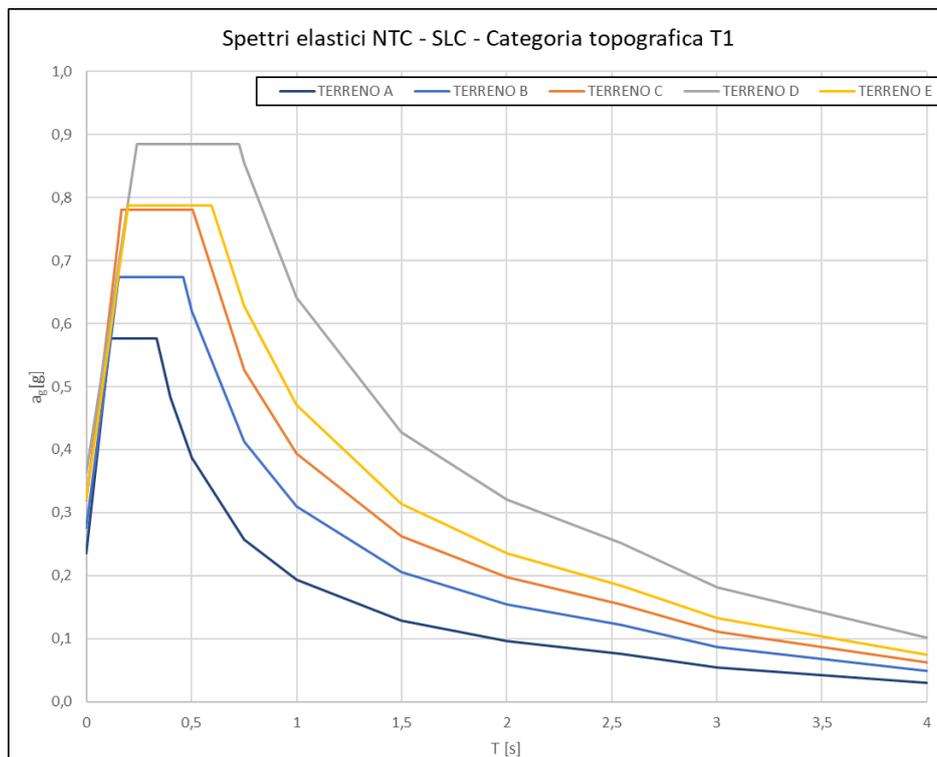


Figura 7. Spettri elastici per SLC (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

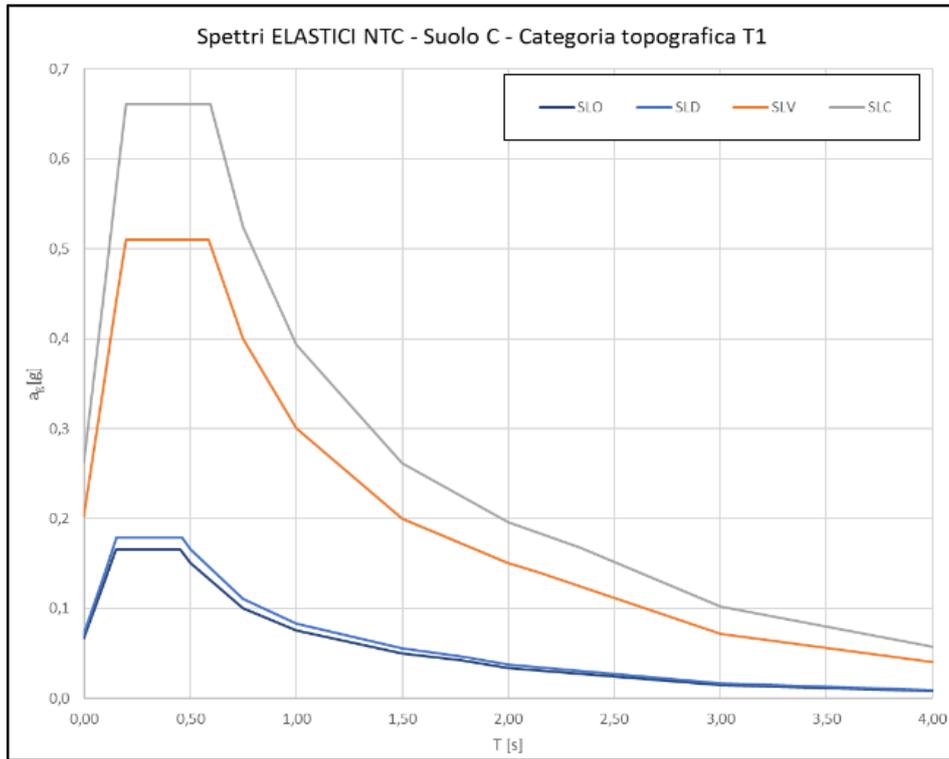


Figura 8. Spettri elastici per categoria di sottosuolo C (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

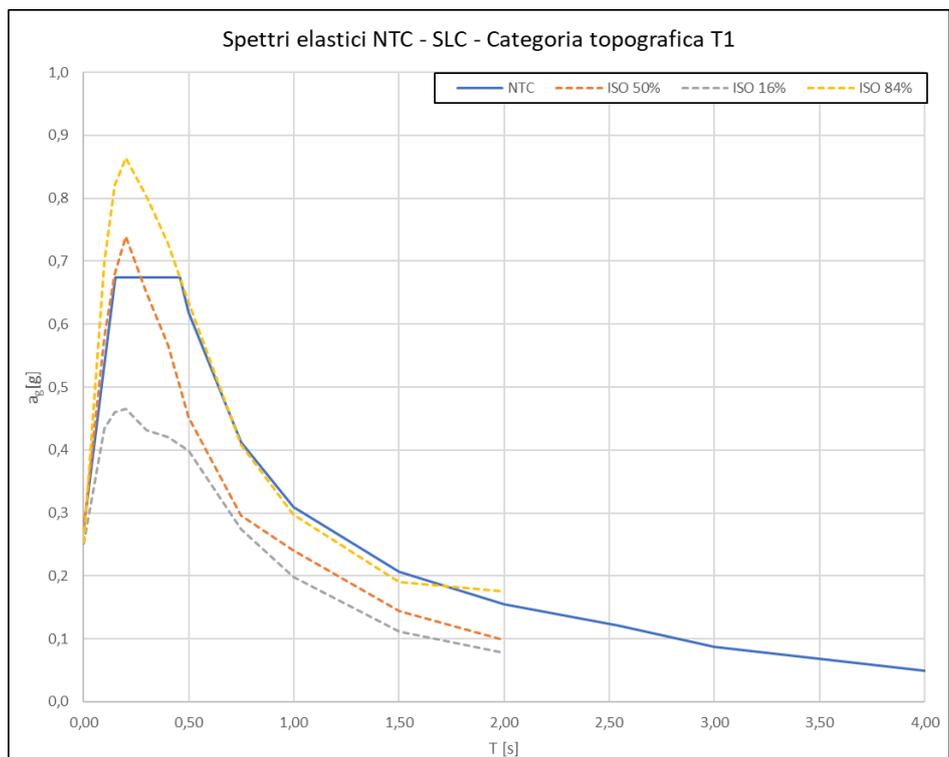


Figura 9. Spettri elastici per SLC (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

**Eolica s.r.l.**

**P.IVA: 04069440719**

**Via: Don Felice Canelli, 21  
71016 San Severo (FG)  
PEC: eolica\_srl@pec.it**



*Raffaele Di Ceglie*

**Data:**

**maggio 2023**

**Il Tecnico:**

**Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie**

**Via XX Settembre, 81**

**71017 Torremaggiore (FG)**

**e-mail: geo.diceglie@gmail.com**

**Indagine geofisica tramite tecnica MASW**

**Indagine denominata: Apricena**

# Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

## Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

## Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

## Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

## Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

**Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

**Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

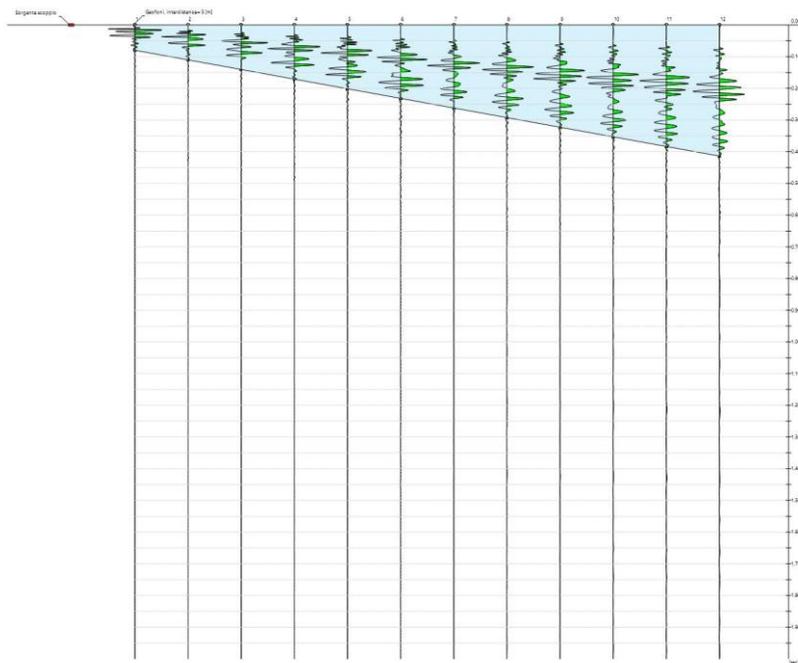
## Dati generali

<b>Data</b>	30/05/2023 04:30
<b>Latitudine</b>	41.8008
<b>Longitudine</b>	15.3556



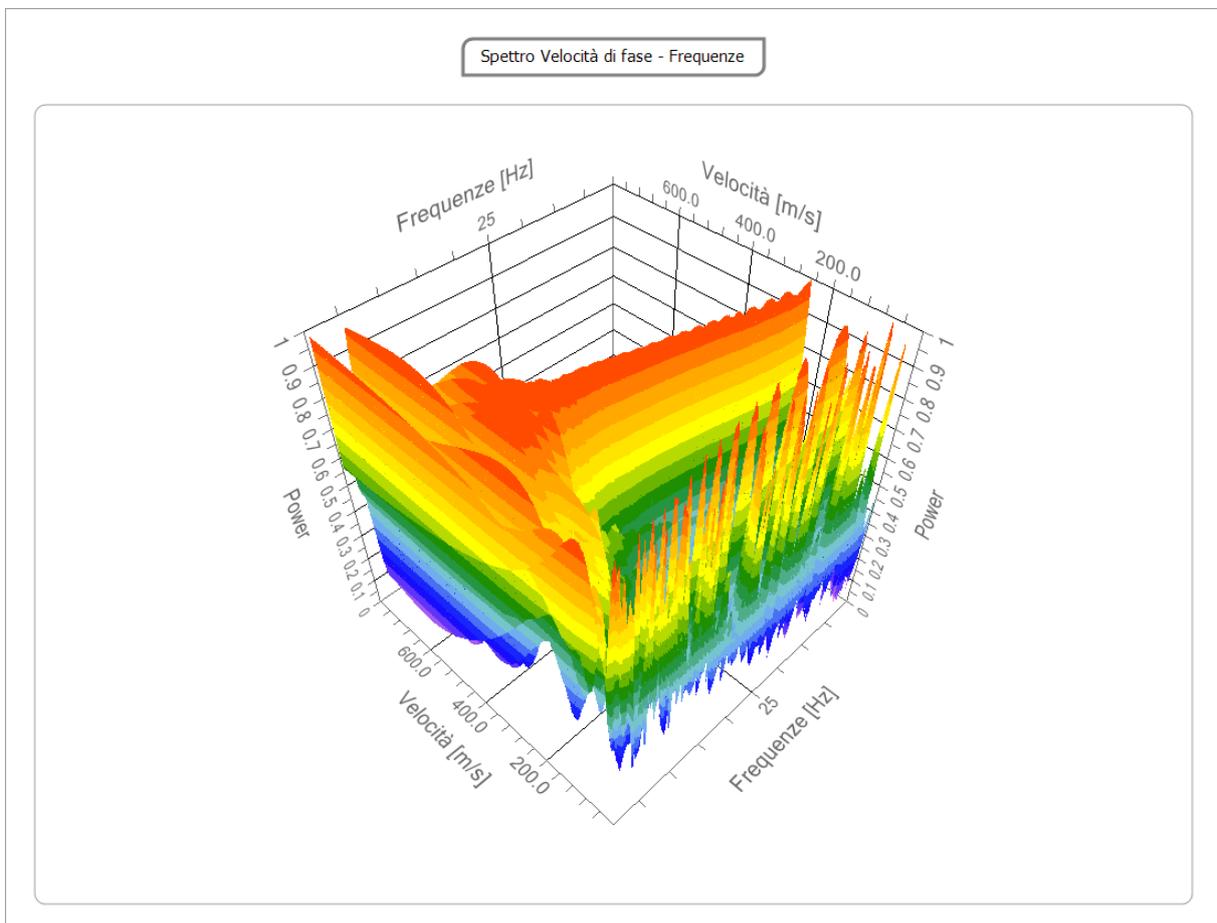
## Tracce

<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione</b> [msec]	2000.0
<b>Interdistanza geofoni</b> [m]	5.0
<b>Periodo di campionamento</b> [msec]	0.20



## Analisi spettrale

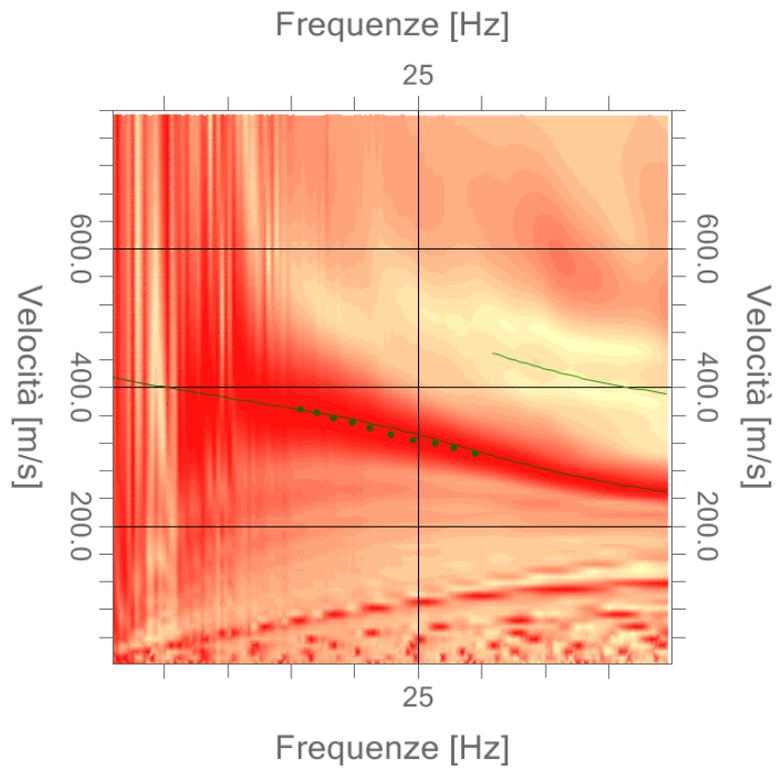
<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	45
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.7	368.2	0
2	17.1	363.3	0
3	18.3	355.0	0
4	19.8	348.4	0
5	21.2	341.8	0
6	22.9	331.8	0
7	24.6	323.6	0
8	26.3	318.6	0
9	27.9	312.0	0
10	29.5	305.4	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze



## Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.39	1.39	1800.0	0.30	No	403.6	215.7
2		2.44	1.04	1800.0	0.30	No	536.6	286.8
3		3.76	1.32	1800.0	0.30	No	663.6	354.7
4		5.76	2.00	1800.0	0.30	No	661.0	353.3
5		7.21	1.46	1800.0	0.30	No	829.5	443.4
6		oo	oo	1800.0	0.30	No	858.6	458.9

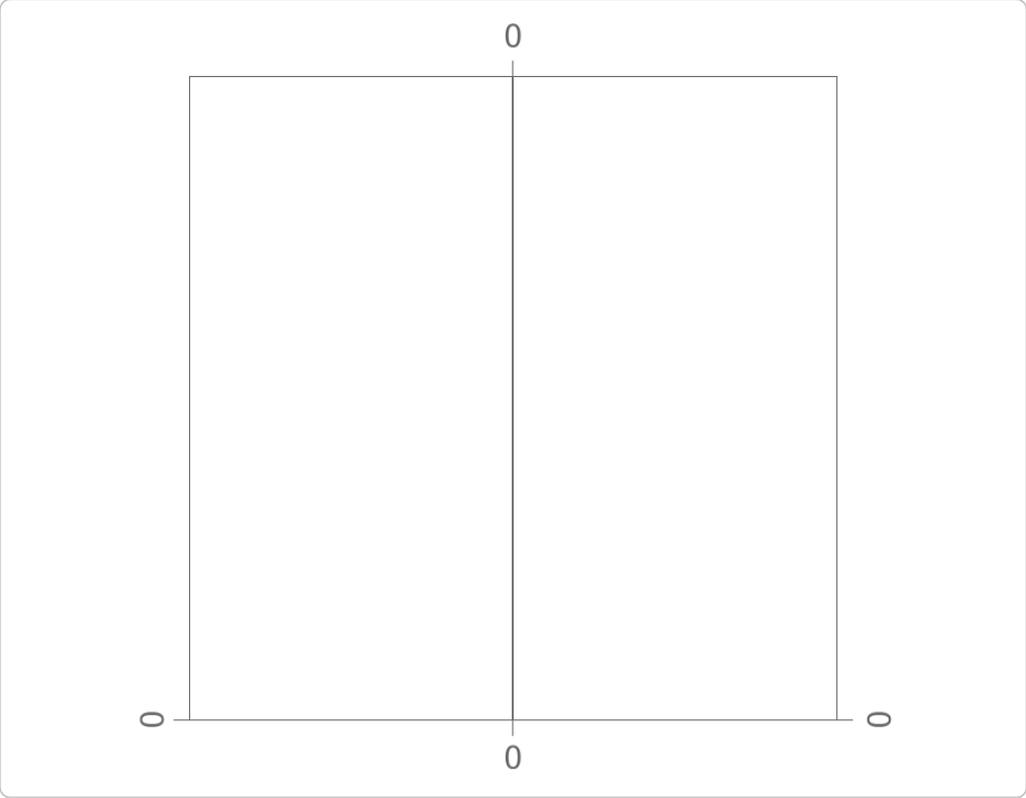
Percentuale di errore

0.001 %

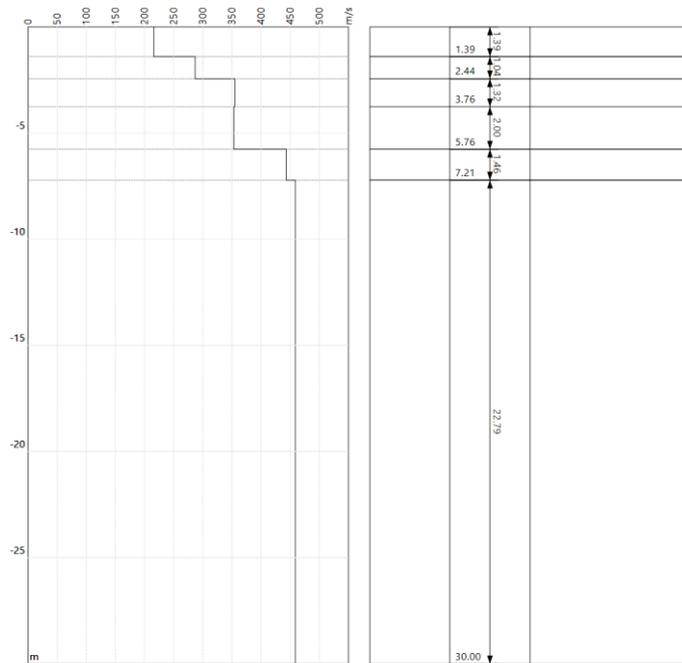
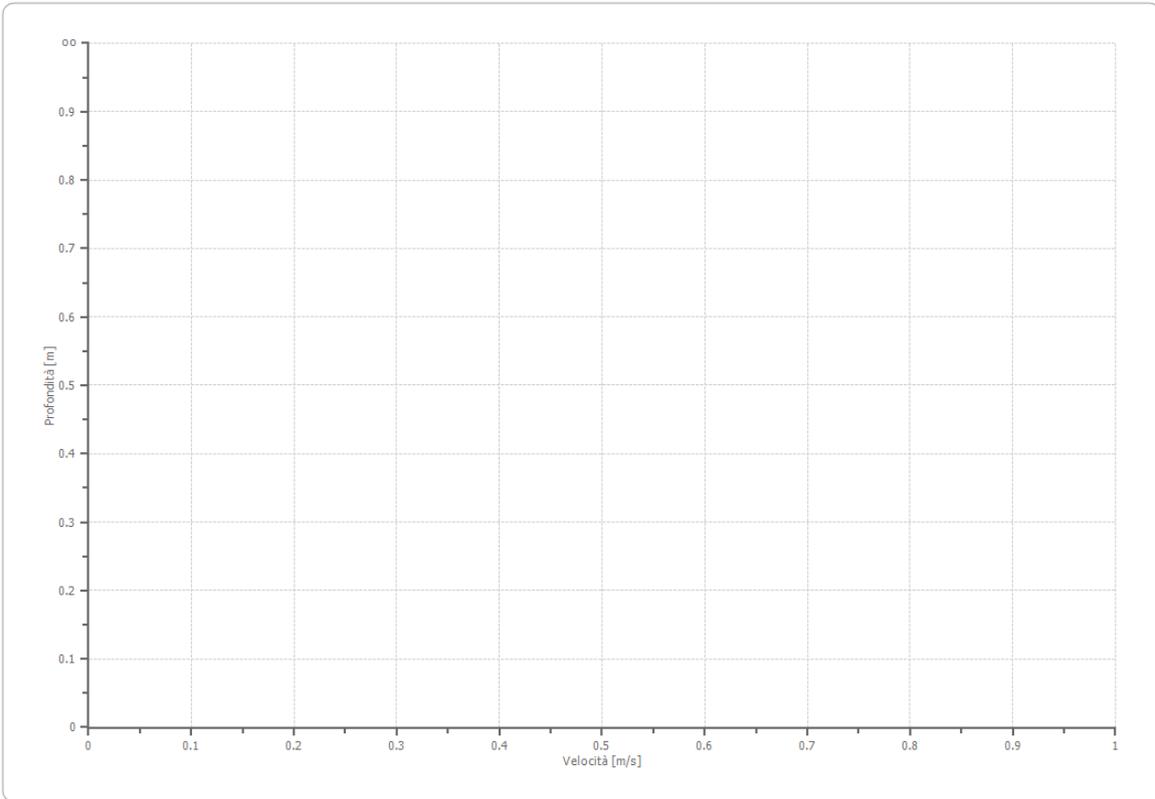
Fattore di disadattamento della soluzione

0.003

Inversione



Profilo di velocità



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	414.27
<b>Categoria del suolo</b>	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.39	1.39	215.74	403.61	1800.00	0.30	83.78	293.22	181.52	217.82	N/A	1112.73
2	2.44	1.04	286.84	536.62	1800.00	0.30	148.10	518.33	320.87	385.05	N/A	4656.34
3	3.76	1.32	354.70	663.58	1800.00	0.30	226.46	792.62	490.67	588.80	N/A	N/A
4	5.76	2.00	353.33	661.02	1800.00	0.30	224.71	786.50	486.88	584.26	N/A	N/A
5	7.21	1.46	443.37	829.46	1800.00	0.30	353.83	1238.42	766.64	919.97	N/A	N/A
6	oo	oo	458.94	858.59	1800.00	0.30	379.12	1326.92	821.43	985.71	0	N/A

$G_0$ : Modulo di deformazione al taglio;

$E_d$ : Modulo edometrico;

$M_0$ : Modulo di compressibilità volumetrica;

$E_y$ : Modulo di Young;

## Indice

Dati generali.....	4
Tracce.....	5
Analisi spettrale.....	6
Curva di dispersione.....	7
Inversione.....	9
Risultati.....	13
Altri parametri geotecnici.....	13
Indice.....	15

## COMUNE DI APRICENA (FG)



### PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTATICO NEL COMUNE DI APRICENA (FG)

## RELAZIONE SULLE INDAGINI PENETROMETRICHE

12 Giugno 2023

***DOTT.ssa GEOL. GRAZIELLA UCCI***

Via G. D'Annunzio, 60 – PESCARA (PE)

Tel. 3383182260

Email: [grazy.ucci@gmail.com](mailto:grazy.ucci@gmail.com)

PEC: [graziella.ucci@pec.it](mailto:graziella.ucci@pec.it)

***DOTT.ssa GEOL. FEDERICA UCCI***

Largo Cristina Rossetti, 3 - VASTO (CH)

Tel. 3898924395

Email: [federicaucci.geologia@gmail.com](mailto:federicaucci.geologia@gmail.com)

PEC: [federicaucci.geologia@pec.it](mailto:federicaucci.geologia@pec.it)

## INDICE

Premessa .....	3
1. Descrizione della strumentazione utilizzata .....	4
2. Descrizione delle indagini eseguite.....	5
3. Report fotografico delle postazioni di indagine.....	10
4. Tabelle di dettaglio delle indagini eseguite .....	11
5. Conclusioni.....	16

## PREMESSA

Le scriventi, *Dott.sse Geol.Graziella Ucci e Federica Ucci* iscritte all'Ordine dei Geologi Abruzzo rispettivamente al n. 306 e n. 631, in relazione al progetto di un impianto agrivoltaico da realizzarsi nel comune di Apricena (FG), hanno ricevuto l'incarico di eseguire N.2 indagini penetrometriche a carattere dinamico; tali indagini sono state eseguite con lo scopo di determinare le caratteristiche geotecniche salienti del terreno in corrispondenza del quale saranno realizzate le opere a progetto.

## 1. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'indagine penetrometrica è stata eseguita con l'ausilio di un penetrometro dinamico DMP 30-20 prodotto e commercializzato dalla Pagani Geotechnical Equipment di Calendasco (PC), le cui caratteristiche tecniche principali sono riportate in Tabella 1.

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	15,25 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

Tabella 1: dati tecnici del penetrometro Pagani DMP 30-20.



Le prove penetrometriche dinamiche sono largamente diffuse ed utilizzate sul territorio italiano da geologi e geotecnici, in quanto di semplice, economica e rapida esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo investigato, per mezzo di un'immagine in continuo, che permette di ottenere anche un raffronto circa le consistenze dei vari livelli attraversati. La sonda penetrometrica consente, 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'esecuzione di ciascuna prova prevede l'infissione, con un sistema di battuta automatico, che assicura circa 20-30 colpi/minuto, di una punta conica, in questo caso a recupero; ogni 10 cm di avanzamento della punta si misura il numero di colpi: tale valore, opportunamente elaborato, viene utilizzato per determinare il valore di numerosi parametri geotecnici per mezzo di abachi.

## 2. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

L'indagine, eseguita in data 30/05/2023, è consistita nella realizzazione di n. 2 prove denominate P1, e P2 (Figura 2-1) entro l'area d'interesse progettuale, in corrispondenza delle coordinate riportate in Tabella 2-1 (Sistema di riferimento UTM WGS84 – Fuso 33). Tali punti di indagine risultano ai bordi delle aree di interesse poiché queste ultime presentano coltivazioni, quali grano o ortaggi, che hanno reso impossibile spostarsi all'interno con la strumentazione.

ID indagine	Coordinata X	Coordinata Y
P1	529.399	4.627.425
P2	529.578	4.627.717

Tabella 2 : coordinate dei punti di indagine.

La disamina delle Figure 2 e 3 (che riportano il n. di colpi misurato sul campo ogni 10 cm di avanzamento della punta, per tutte le prove) mette in evidenza la presenza di materiale incoerente.

In particolare, ritroviamo la presenza di sabbie passanti da poco addensate ad addensate con l'aumentare della profondità e, successivamente la presenza di un livello di spessore indefinito costituito da sabbie e ghiaie. Entrambe le prove sono state interrotte per "rifiuto". Durante l'estrazione delle aste non è stata riscontrata la presenza di alcuna falda acquifera (aste asciutte e sostanzialmente pulite).

Nelle Tabelle 2 e 4 è riportata una sintesi dei parametri geotecnici ricavati per il materiale indagato in corrispondenza di ciascuna penetrometria; i dati acquisiti in campo, data la natura geotecnica ipotizzata per il materiale indagato, sono stati interpretati a mezzo del software Formula, in possesso dello scrivente, prodotto e commercializzato dalla Geostru Software.

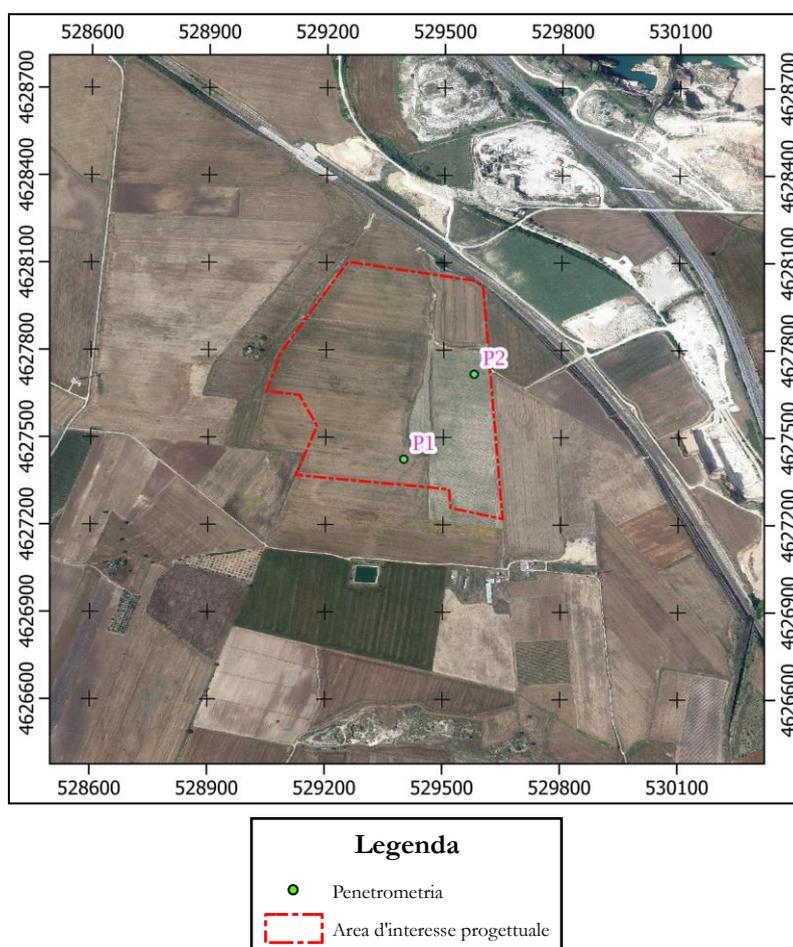


Figura 1: ubicazione delle indagini penetrometriche (Base: ortofoto A.G.E.A. anno 2019 - scala 1:10.000).

Nei capitoli che seguono sono riportate la documentazione fotografica relativa alle indagini dirette eseguite ed una serie di tabelle che rappresentano il risultato della interpretazione effettuata mediante l'utilizzo degli abachi ritenuti più appropriati alla situazione litostratigrafica ipotizzata.

P1	ID strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma nat (t/m <sup>3</sup> )	Gamma sat (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (KPa)	Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson (→)	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
	1	0.7	11.3	Incoerente	1.77	1.90	29.37	0	50.68	90.40	0.34	635.05
	2	1.4	18.7	Incoerente	1.97	2.0	32.26	0	65.87	149.60	0.32	1019.63
	3	2.2	36.1	Incoerente	2.18	2.2	36.46	0	101.62	288.80	0.29	1892.21

Tabella 3: sintesi dei parametri geotecnici per la penetrometria P1.

P2	ID strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma nat (t/m <sup>3</sup> )	Gamma sat (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (KPa)	Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson (→)	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
	1	0.8	9.7	Incoerente	1.72	1.8	28.66	0	47.39	77.60	0.34	550.15
	2	1.7	11.0	Incoerente	1.76	1.9	29.24	0	50.06	88.00	0.34	619.19
	3	2.1	26.3	Incoerente	2.09	2.1	34.54	0	81.49	210.40	0.30	1404.99

Tabella 4: sintesi dei parametri geotecnici per la penetrometria P2.

Figura 2 : elaborazione indagine penetrometrica P1

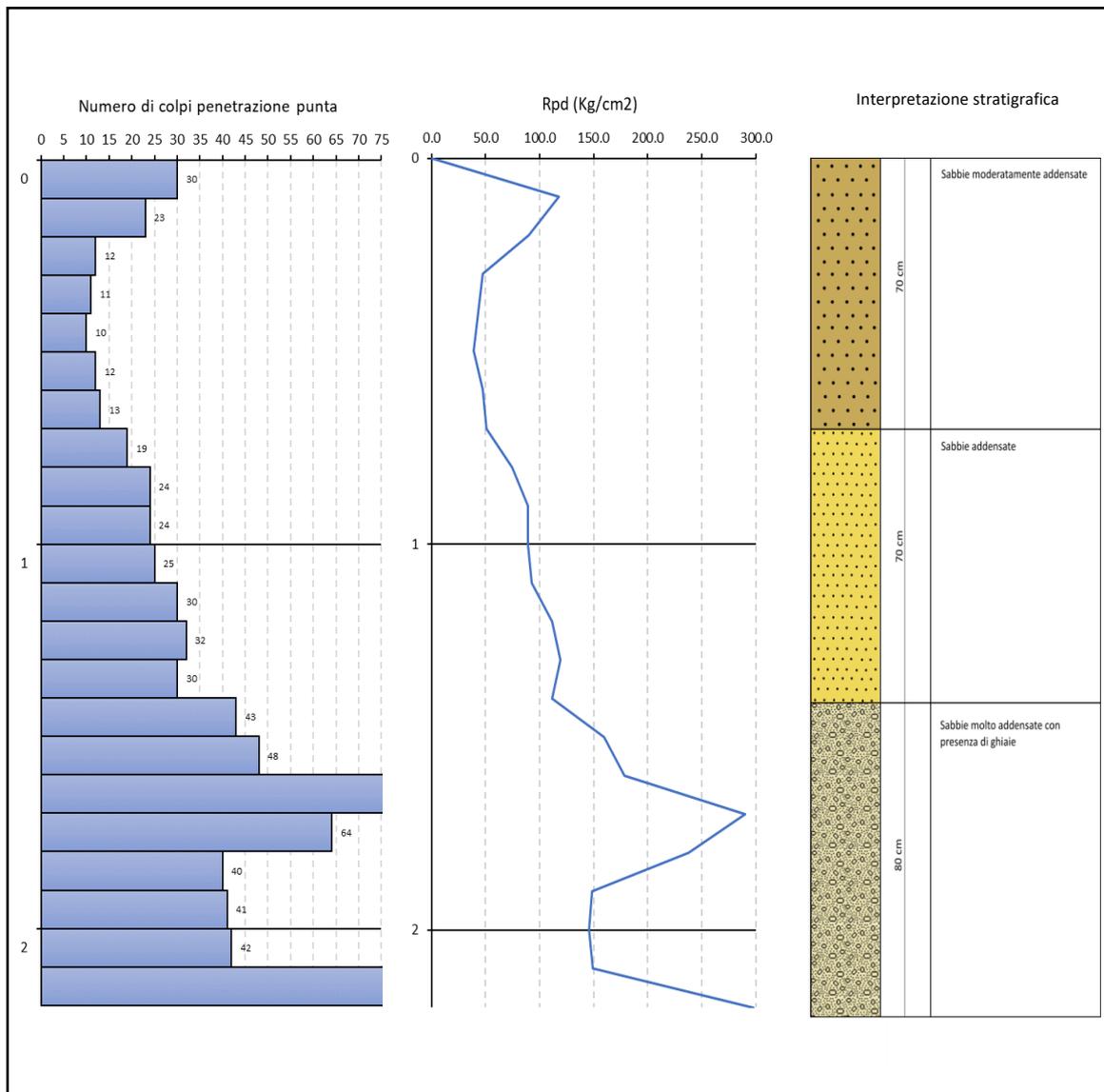
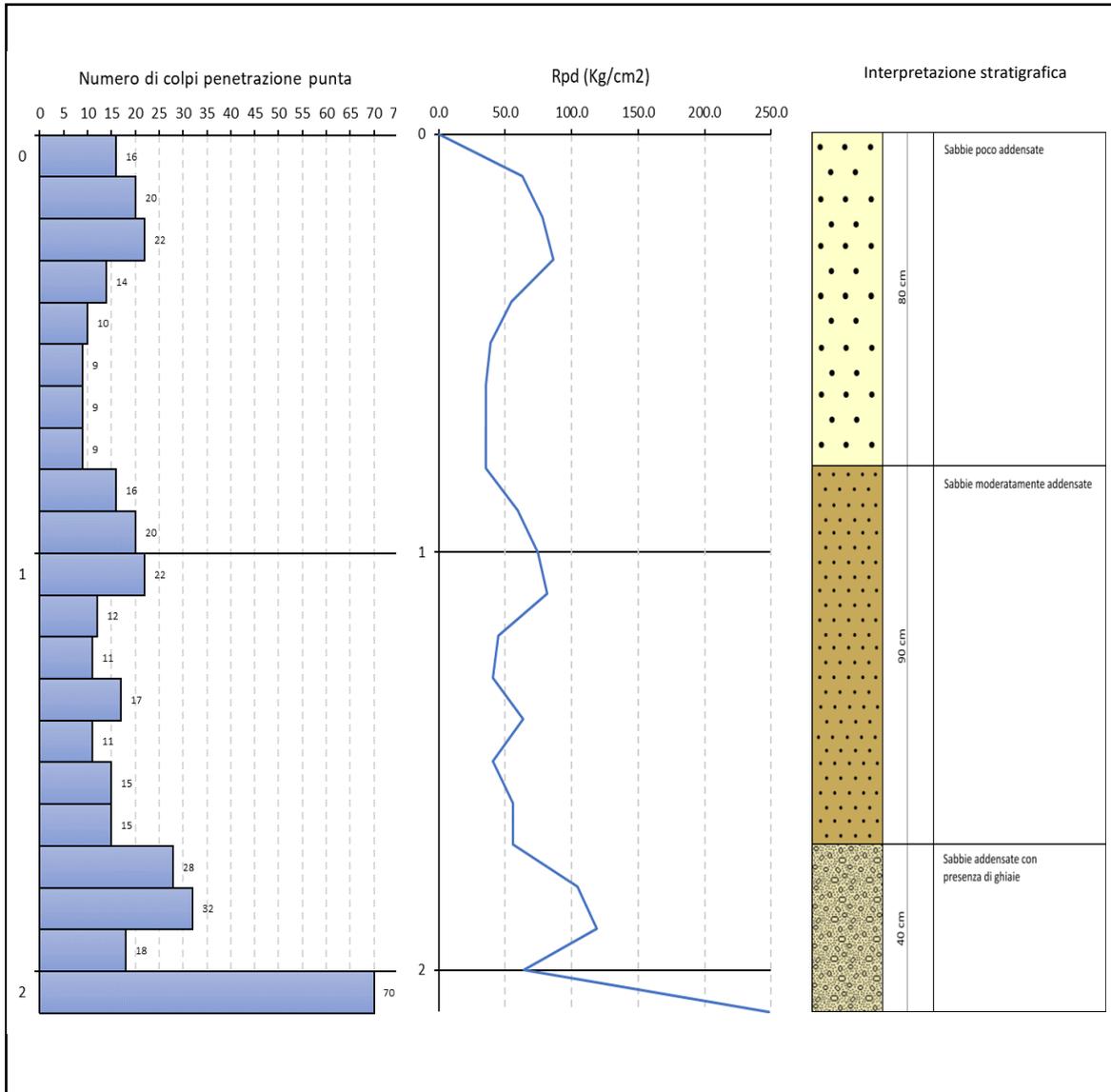


Figura 3: elaborazione indagine penetrometrica P2



### 3. REPORT FOTOGRAFICO DELLE POSTAZIONI DI INDAGINE

Nelle fotografie che seguono sono rappresentate le postazioni di indagine.

Foto 1: postazione penetrometria P1



Foto 2: postazione penetrometria P2



## 4. TABELLE DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI ESEGUITE

Nelle tabelle che seguono sono riportati i risultati della elaborazione dei dati acquisiti in campo che hanno permesso di ricavare le grandezze di alcuni parametri di interesse geotecnico.

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P1

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	Meyerhof	36.70
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	Meyerhof	47.21
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	Meyerhof	65.60

##### Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	Meyerhof	29.37
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	Meyerhof	32.26
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	Meyerhof	36.46

##### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	Schmertmann (1978) (Sabbie)	90.40
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	Schmertmann (1978) (Sabbie)	149.60
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	Schmertmann (1978) (Sabbie)	288.80

**Modulo Edometrico**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	Begemann 1974	50.68
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	Begemann 1974	65.87
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	Begemann 1974	101.62

**Classificazione AGI**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

**Peso unità di volume**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	Meyerhof et al.	1,77
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	Meyerhof et al.	1.97
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	Meyerhof et al.	2.18

**Peso unità di volume saturo**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	Terzaghi-Peck	1.9
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	Terzaghi-Peck	2.0
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	Terzaghi-Peck	2.2

**Modulo di Poisson**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Poisson
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	(A.G.I.)	0.34
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	(A.G.I.)	0.32
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	(A.G.I.)	0.29

**Modulo di taglio**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Sabbie moderatamente addensate	11,3	0.00-0.70	Ohsaki (Sabbie)	635.05
Strato (2) Sabbie addensate	18,7	0.40-1.40	Ohsaki (Sabbie)	1019.63
Strato (3) Sabbie molto addensate con presenza di ghiaie	36,1	1.40-2.20	Ohsaki (Sabbie)	1892.21

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P2****TERRENI INCOERENTI****Densità relativa**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	Meyerhof	34.00
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	Meyerhof	36.21
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	Meyerhof	55.99

**Angolo di resistenza al taglio**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	Meyerhof	28.66
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	Meyerhof	29.24
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	Meyerhof	34.54

**Modulo di Young**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	Schmertmann (1978) (Sabbie)	77.60
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	Schmertmann (1978) (Sabbie)	88.00
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	Schmertmann (1978) (Sabbie)	210.40

**Modulo Edometrico**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	Begemann 1974	47.39
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	Begemann 1974	50.06
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	Begemann 1974	81.49

**Classificazione AGI**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	Meyerhof et al.	1.72
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	Meyerhof et al.	1.76
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	Meyerhof et al.	2.09

**Peso unità di volume saturo**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	Terzaghi-Peck	1.8
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	Terzaghi-Peck	1.9
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	Terzaghi-Peck	2.1

**Modulo di Poisson**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Poisson
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	(A.G.I.)	0.34
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	(A.G.I.)	0.34
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	(A.G.I.)	0.30

**Modulo di taglio**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Sabbie poco addensate	9.7	0.00-0.80	Ohsaki (Sabbie)	550.15
Strato (2) Sabbie moderatamente addensate	11.0	0.80-1.70	Ohsaki (Sabbie)	619.19
Strato (3) Sabbie addensate con presenza di ghiaie	26.3	1.70-2.10	Ohsaki (Sabbie)	1404.99

## 5. CONCLUSIONI

Nel presente studio sono state descritte le indagini penetrometriche eseguite entro l'area afferente ad un progetto di impianto agrivoltaico che si intende realizzare nel Comune di Apricena.

I risultati della elaborazione dei dati acquisiti in campo hanno permesso di definire le caratteristiche meccaniche salienti del terreno di fondazione.

12 Giugno 2023

*Dott.ssa Geol. Graziella Ucci*    *Dott.ssa Geol. Federica Ucci*

