

Comune di: ROTELLO

Provincia di: CAMPOBASSO

Regione: MOLISE



## PROponente

# PODINI S.P.A

Via Lattuada, 30 – 20135 MILANO (MI)

C.F. e P.IVA IT02246400218

## Opera

# PROGETTO DEFINITIVO

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE AGRIVOLTAICA DI POTENZA NOMINALE PARI A 43.298,50 kWp E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE RTN

## “SOLARE ROTELLO-PIANO DELLA FONTANA”

OGGETTO

TITOLO DELL'ELABORATO:

### RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

DATA:

11/03/2024

N°/CODICE ELABORATO:

REL 006

Tipologia: REL (RELAZIONI)

I TECNICI

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



00	202202141	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

Proprietà e diritto del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata

## INDICE

1	PREMESSA .....	1
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
3	CARATTERISTICHE CLIMATICHE.....	7
3.1	Bilancio Idrologico .....	11
4	CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE .....	13
5	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE .....	22
5.1	Aree esondabili.....	36
5.2	Dissesto idrogeologico .....	38
5.3	Erosione.....	41
6	CARATTERISTICHE IDROLOGICHE .....	44
7	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE .....	45
8	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE .....	46
9	SISMICITÀ E CARATTERISTICHE SISMICHE .....	51
9.1	Storia sismica dell'area.....	52
9.2	Classificazione sismica dell'area .....	62
9.3	Classificazione sismica da indagine MASW .....	70
9.3.1	Esecuzione dell'indagine e calcolo della $V_{s,eq}$ .....	71
10	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	75
10.1.1	Esecuzione delle prove penetrometriche .....	76
11	STIMA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE .....	81
12	CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI.....	89
13	BIBLIOGRAFIA & WEB REFERENCES.....	90
13.1	Bibliografia .....	90
13.2	Web references.....	92

# 1 PREMESSA

La Podini s.p.a., con sede in Via Lattuada n. 30 a Milano (MI), ha affidato agli scriventi l'incarico di eseguire lo studio geologico e sismico nell'agro di Rotello (CB) per la realizzazione di un impianto agrivoltaico.

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 Molise si estende per 443.758 Ha con altitudini che vanno dal livello del mare (la regione è bagnata a est dal Mar Adriatico), a 2050 m s.l.m. del Monte Miletto, sul massiccio appenninico del Matese. È situata tra 41° 22' e 42° 41' di latitudine Nord e 14° 29' e 15° 42' di longitudine Est dal meridiano di Greenwich. È una regione prevalentemente montuosa: comprende 136 comuni, dei quali 111 totalmente montani e 12 parzialmente, per un totale di 349.149 ha di territorio montano, equivalente al 78.68% della superficie dell'intera regione. Il territorio del Molise si estende dalla costa adriatica al crinale appenninico, spingendosi per un buon tratto anche sul versante tirrenico, in quanto comprende gli alti bacini imbriferi del F. Volturno e del F. Tammaro. I limiti non convenzionali sono i corsi d'acqua del F. Trigno, che a nord, segna il confine con l'Abruzzo, il F. Fortore che delimita il confine sud est con la Puglia e i massicci calcarei della Meta, delle Mainarde e del Matese che lo dividono amministrativamente dal Lazio e dalla Campania. Oggi è in uso la distinzione tra Alto e Basso Molise, riferendo al primo tutta la parte montana, escluso il Matese, ed al secondo tutta la parte collinare (LUCCHESI, 1995).

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

Il Molise è costituito per il 55% del suo territorio da montagna e per il 44% da collina: 123 dei suoi 136 comuni sono situati in zone montuose. L'orografia è caratterizzata dalla catena dei monti delle Mainarde (Monte Morrone 1805 m. s.l.m.) e dal Massiccio del Matese (Monte Miletto 2050 m.s.l.m.).

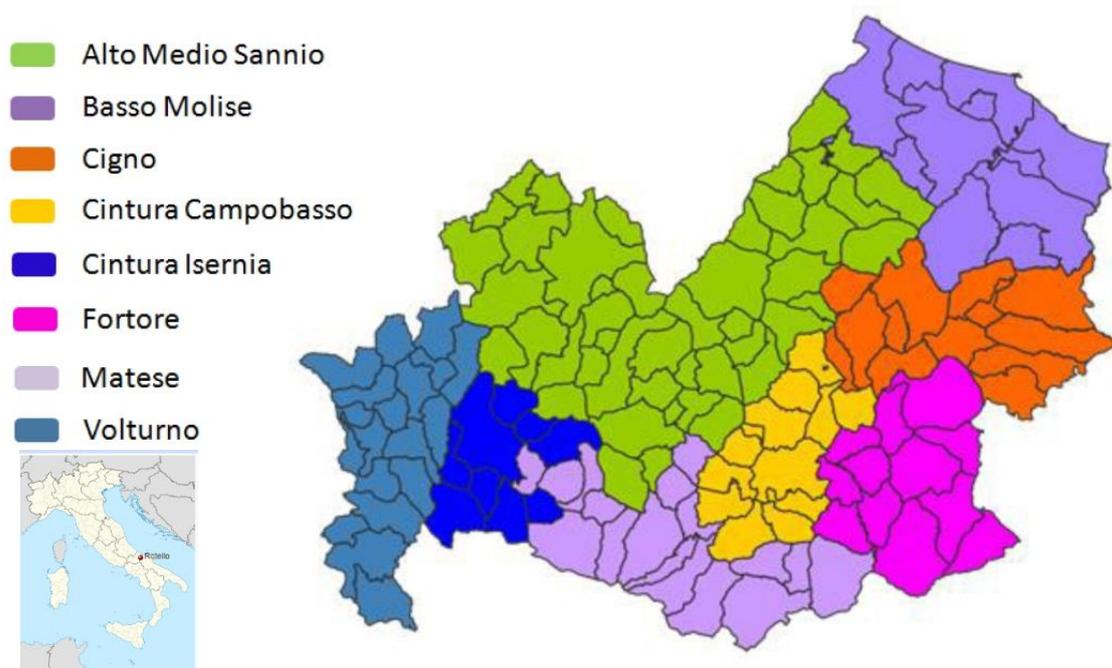


Figura 2-1. Schema delle regioni naturali del Molise. In basso a sinistra, la location map. (Fonte: Piani di Gestione di 61 Siti della Rete Natura 2000-Regione Molise).

I rilievi di maggior importanza nell'orografia molisana sono tre:

- Il Monte Meta è un monte appenninico ed è importante e conosciuto poiché esso segna il punto d'incontro di ben tre regioni italiane: Il Lazio, L'Abruzzo e appunto il Molise. È situato nell'estremo Ovest del Molise, nell'entroterra della Provincia di Isernia una delle due

- province molisane. Con i suoi 2242 m s.l.m. è la seconda montagna più alta della Catena montuosa dei Monti della Meta (da cui prende il nome) e la più alta del Molise stesso;
- Il Monte Miletto è anch'esso un monte appenninico ed è famoso perché segna il confine tra Molise e Campania sulla sua cima. Il Miletto è una montagna sud-occidentale del Molise e oltre a segnare il confine con la Campania, determina il confine anche fra le due province molisane di Isernia e Campobasso. Il monte fa parte della catena dell'Appennino Sannita e in particolare del Matese di cui, con i suoi 2050 m s.l.m., è la vetta più alta;
  - Il Monte Mutria è una montagna appenninica, la più bassa fra le più importanti montagne molisane. È la seconda vetta della catena Matese nell'Appennino Sannita nel sud-est del Molise nella Provincia di Campobasso confinante con la Campania settentrionale facente parte del Matese.

Una fetta considerevole del territorio molisano, il 40,6% ricade entro i 500 m di quota, ed è riferibile in buona parte ad un contesto di piana e di pianura, da costiera alluvionale ad intravalliva fino a intramontana. Altrettanto consistente nella loro estensione sono le aree localizzate tra 500 e 1000 m di quota, pari al 48,8 %, di cui ca., corrispondente ad un contesto di tipo collinare fino a montano, con le aree poste tra i 750 e 1000 m che raggiungono il 16,4%. Le aree poste a quote superiori ai 1000 sono piuttosto limitate, pari ad un totale del 10,7%, ma non per questo meno significative in quanto ospitano conformazioni geomorfologiche, sia relitte che attuali, e contesti naturalistici molto particolari.

L'area, che ospiterà l'impianto in progetto, ricade nel territorio del Comune di Rotello (CB), da cui dista circa 4 km a S-SW rispetto all'abitato stesso. Inoltre, essa è posta a circa 6 km N-NO da Ururi, a 10 km NE da Serracapriola.

La somma totale delle superficie ammonta a circa 73 ha. Le aree sono a destinazione d'uso agricola, con campi coltivati a seminativo e/o maggese.

Le aree sono racchiuse nel reticolo di strade:

- S.P. 167 a Nord;
- S.P. 480 a Est;
- S.P. 376 a Sud;
- S.P. 40 a Ovest.

La quota topografica media è di circa 190 m. s.l.m.

Lotto	Latitudine	Longitudine	Foglio	Particella
1	41°46'16.62"N	15° 2'19.41"E	13	29 33 53
2	41°46'13.61"N	15° 2'49.38"E	16	57 192 226
3	41°46'9.45"N	15° 2'58.08"E	16	117 118 119 180 134 309 310 121
4	41°46'1.69"N	15° 2'50.65"E	16	146 158 162 218
5	41°46'8.10"N	15° 3'18.58"E	16	219 161 165 124 138 152 202 246 111 229 96 88 89 97 83 179 311 312 313 314
6	41°46'3.46"N	15° 3'28.74"E	16	140 141 142
7	41°46'19.94"N	15° 3'20.13"E	16	66 67 193 46 68 70 71
8	41°46'21.22"N	15° 3'31.89"E	16	72 73
9	41°45'52.37"N	15° 3'14.19"E	28	38 40 47 54 62 63 82 92 137
			29	2 3 4 5 6 101 12 14 36 37 124 125 42 43 23 24 87 17 121 32 33 40 89 47 119 22 27 28
10	41°46'16.96"N	15° 4'2.71"E	17	55 57 58 59 163 80 81 82 84 107 108 109 110 111 112 86 180

Tabella 2-1. Localizzazione lotti con coordinate baricentriche.

### 3 CARATTERISTICHE CLIMATICHE

In termini di distribuzione altimetrica, la temperatura non presenta la stessa eterogeneità di comportamento delle precipitazioni e mostra un andamento molto vicino alla linearità con un gradiente termico pari a  $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ogni 100 m.

Tale andamento regolare comporta una distribuzione regionale delle grandezze termiche che riflette quella delle morfostrutture principali, con temperature medie annue comprese tra  $7$  e  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Le temperature medie annue massime si osservano nelle aree costiere e nell'area basso collinare che si trova immediatamente alle loro spalle. È soprattutto verso sud, nelle aree a confine con la Puglia, che la zona calda si spinge più all'interno, risentendo delle influenze di un clima marcatamente più mediterraneo.

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 Microsoftware del gruppo Namirial, per la distribuzione commerciale. Per la zona in esame, sono state considerate valide le caratteristiche climatiche di Rotello in quanto la valenza statistica delle serie P/T ha fornito dei valori attendibili.

Gli indici e i dati, afferenti al Comune di Rotello, sono riportati in allegato.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
86	73	79	77	53	39	32	48	56	78	101	93

Tabella 3-1. Precipitazioni medie mensili.

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

Periodo	mm	% annua
Apr-Set	305	37
Ott-Mar	510	63

Tabella 3-2. Precipitazioni, ripartizione semestrale.

Le precipitazioni totali sono pari a 815 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.

I valori più alti di temperatura si registrano nel mese di luglio 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 25 °C ai minimi non inferiori agli 7°C.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
6,2	6,7	9,0	12,1	16,8	20,6	23,8	24,0	20,5	15,7	10,9	7,5

Tabella 3-3. Temperature medie mensili.

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.

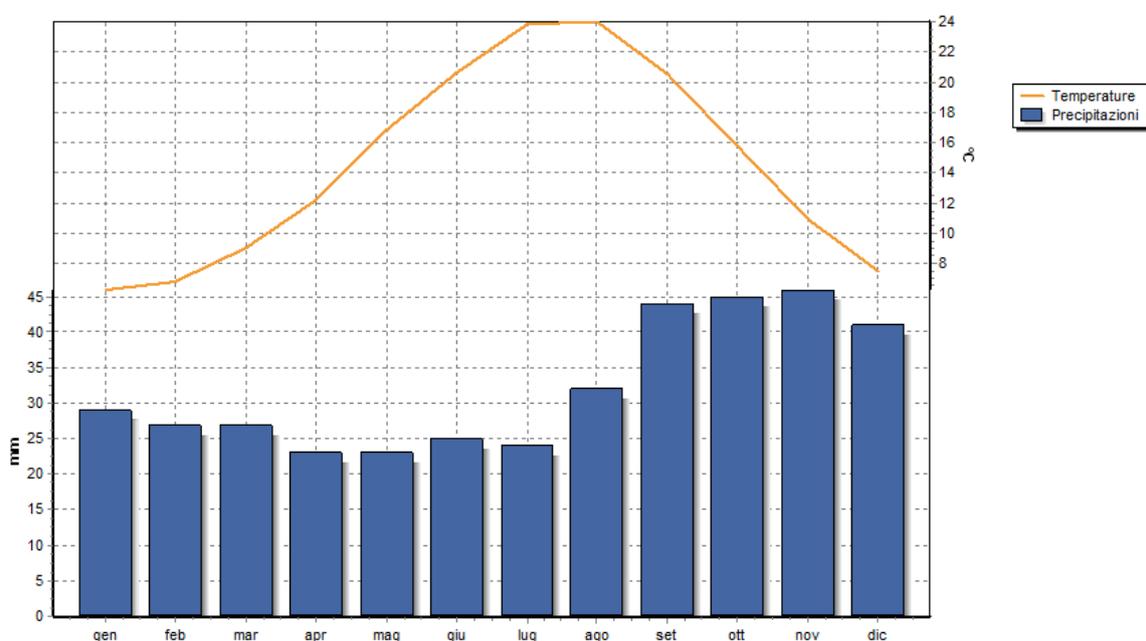


Figura 3-1. Diagramma termopluviometrico.

Il diagramma ombrotermico, ideato da Bagnouls e Gausson, è tra i più utilizzati al mondo negli studi di ecologia. Nel diagramma, il periodo annuale da considerare "arido" è quello in cui la curva delle precipitazioni scende al di sotto di quella delle temperature, ossia quando la quantità delle precipitazioni è inferiore al valore doppio della temperatura ( $P < 2T$ ). Dal diagramma ombrotermico si evince che i mesi definibili come "aridi" sono: giugno, luglio e agosto.

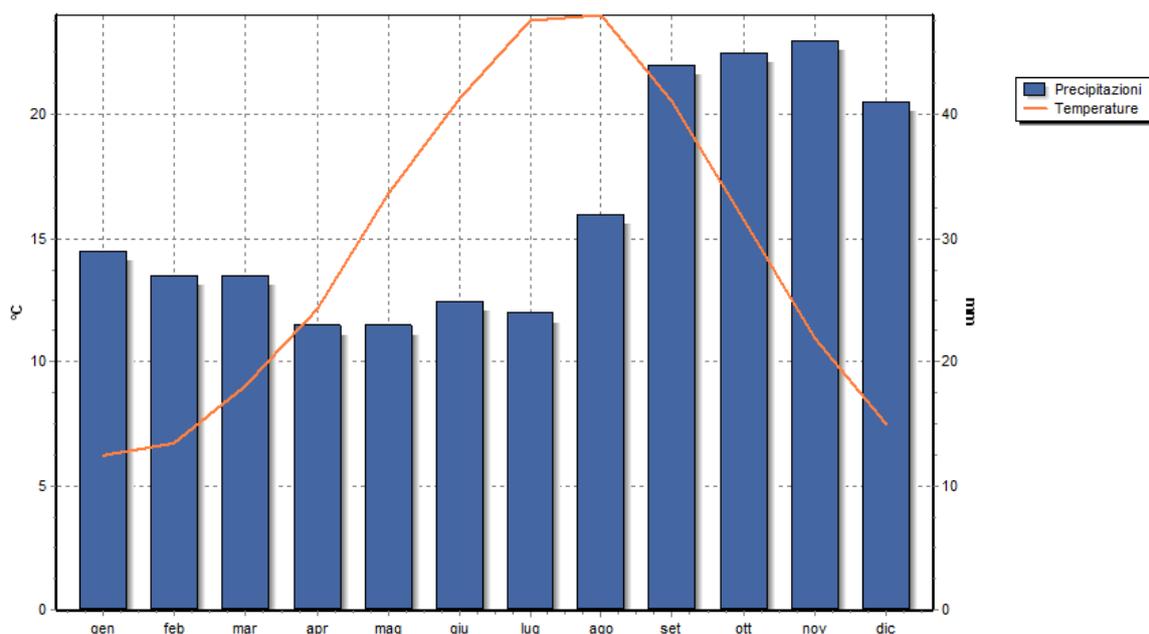


Figura 3-2. Diagramma ombrotermico.

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”.

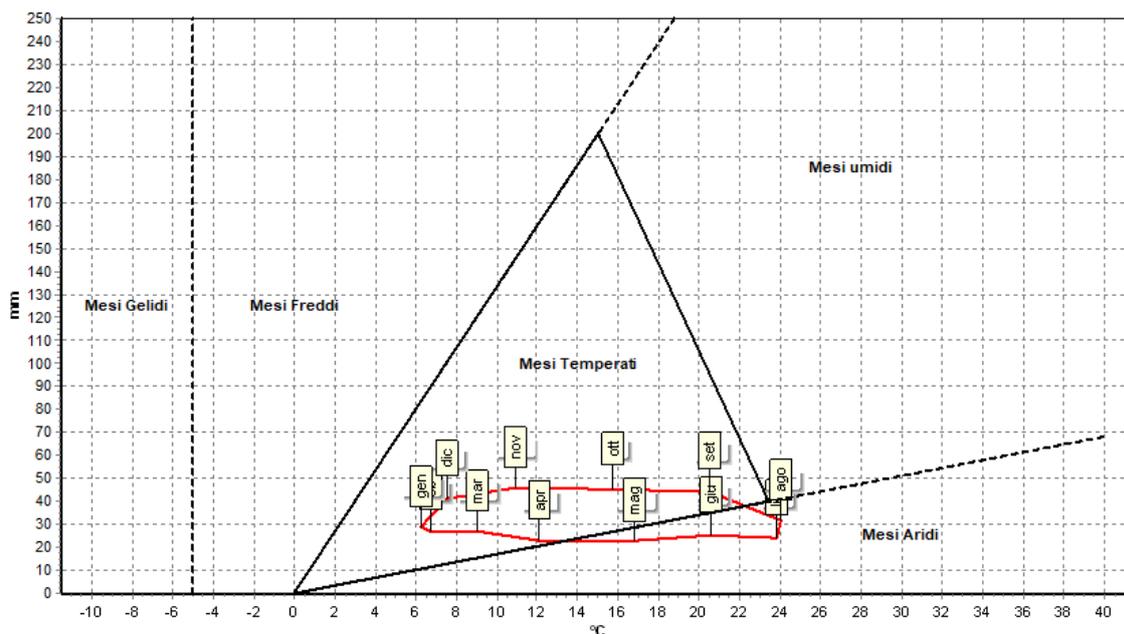


Figura 3-3. Climogramma di Peguy.

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

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

Pluviofattore di Lang	50,01
Indice di Fournier	12,52
Indice di Amann	666,19
Evaporazione Idrologica di Keller	554,54 mm
Mesi aridi secondo Gausse	Giu, Lug, Ago
Indice ombrotermico annuale	4,68
Indice ombrotermico estivo	1,74

Tabella 3-4. Elenco principali indici climatici.

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, si evidenzia che, a fronte di 386 mm/anno di precipitazioni, si registra un'evapotraspirazione potenziale (Etp) di ben 950 mm/anno. Ciò evidenzia una situazione di aridità, alquanto marcata, nel periodo estivo; infatti il deficit idrico (D) è di ben 564 mm/anno e si concentra nel periodo da luglio a settembre.

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 193,6 mm/anno, è concentrato nei mesi da novembre a aprile, in netta contrapposizione con il marcato deficit. Il ruscellamento (R) risulta essere nullo.

#### Modello di Thornthwaite

##### Bilancio idrico mensile

z	0,8	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
mxPAW=(FC-PWP) * z	96	mm	Acqua massima utilizzabile dalle piante

MESE	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale
Precipitazioni	29,0	27,0	27,0	23,0	23,0	25,0	24,0	32,0	44,0	45,0	46,0	41,0	386,0
Etp	13,5	15,9	30,7	57,1	98,0	142,4	175,5	168,9	116,9	70,5	38,2	22,5	950,0
dS	15,5	11,1	-3,7	-34,1	-15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	18,5	
PAW	41,9	53,0	49,3	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	26,3	193,6
AET	13,5	15,9	30,7	57,1	38,2	25,0	24,0	32,0	44,0	45,0	38,2	22,5	
R	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
D	0,0	0,0	0,0	0,0	59,8	117,4	151,5	136,9	72,9	25,5	0,0	0,0	564,0

#### Legenda

dS = ritenuta idrica del suolo, mm H<sub>2</sub>O  
 PAW = acqua a disposizione delle piante nella zona radicale (mm H<sub>2</sub>O)  
 AET = evapotraspirazione reale (mm H<sub>2</sub>O)  
 R = surplus; ruscellamento o drenaggio  
 D = deficit idrico

Tabella 3-5. Bilancio Idrologico secondo Thornthwaite.

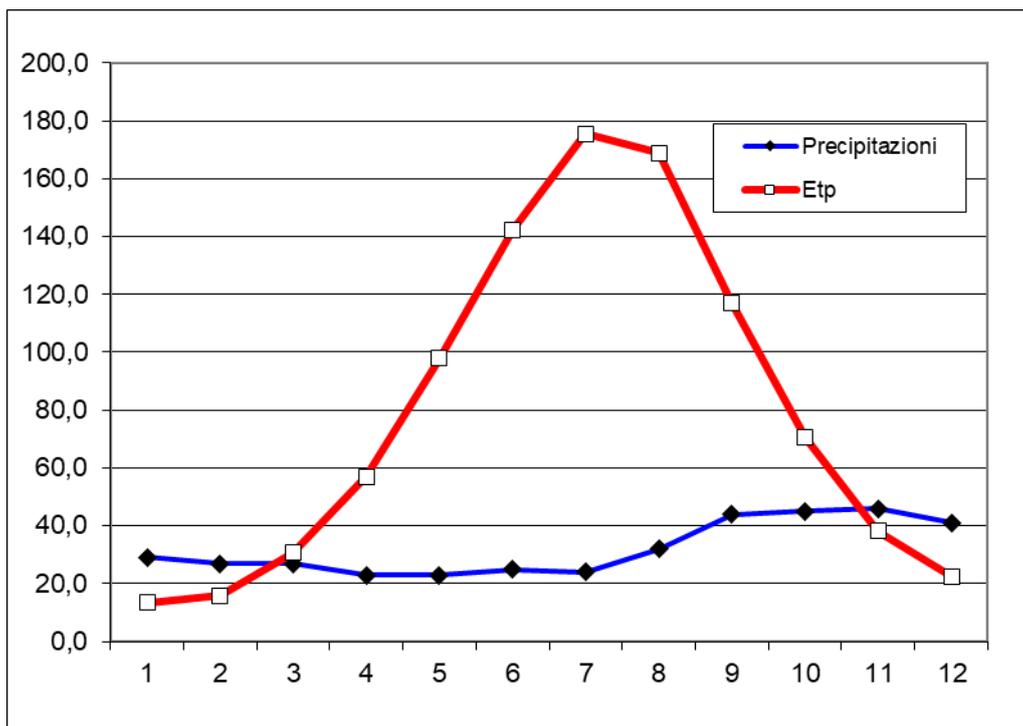


Figura 3-4. Grafico di Thornthwaite.

## 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, mediamente pari a  $0,5 \div 1,0$  m. Localmente il terreno vegetale è di colore bruno, limo-argilloso con una percentuale di sabbia di circa il 15%.

Dallo stralcio cartografico dell'uso del suolo di seguito riportato (portale ISPRA, dati aggiornati al 2018), si evince che l'area in esame rientra in "Colture intensive" e "Seminativi colturali e particellari complessi".

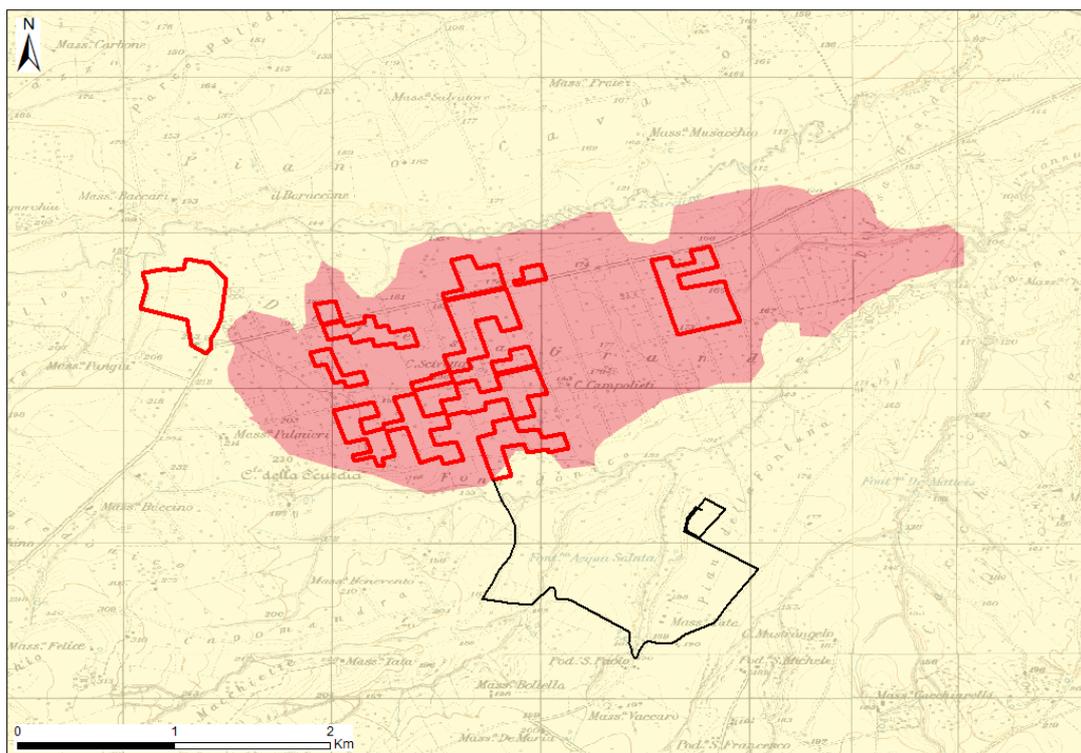


Figura 4-1. Stralcio dell'uso del suolo dell'area ad impianti agrivoltaici. (Fonte: ISPRA)

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

Questa regione pedologica presenta formazioni prevalentemente limo-argillose ed è caratterizzata da un uso agricolo estensivo, in prevalenza cereali e, a luoghi, oliveti e coltivazioni orticole in campo pieno.

Il rilevamento di dettaglio, eseguito il 26 aprile 2023, ha comportato il prelievo di n.2 campioni di terreno (vedi punti riportati nella seguente corografia) che sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio, presso la ChemService Italia di Catania.



Figura 4-2. Ubicazione delle stazioni pedologiche (S1 – S2).

La granulometria è prevalentemente limosa (43,3 – 46,9 %), passante ad argillosa (37,5 – 40,0 %) e a sabbiosa (15,6 – 16,7 %). Nelle indagini effettuate, lo scheletro è poco presente (1,9 – 2,7 %).

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 S1 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. 23/05004-00)  
 Lat. 41° 16' 10,62" Long. 15° 04' 2,93"



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 172 m s.l.m.
- b) La superficie è pianeggiante.
- c) In base ai dati granulometrici si ottiene:
  - 46,9 % Limo;
  - 37,5% Argilla;
  - 15,6% Sabbia.
- d) Pertanto, il terreno si può definire come A “Argilloso”.
- e) In base alle Munsell Soil Color Charts si può definire 4/3 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 7,9 si può definire “Moderatamente alcalino”.
- g) Per la dotazione di Sostanza Organica ( $S.O. = 1,72 \cdot Corg$ ) il giudizio sulla valutazione agronomica si può definire “Medio”.
- h) Per la dotazione di CSC la valutazione agronomica si può definire “Alta”.

<b>RILIEVO PEDOLOGICO – Rotello S1</b>				
<b>Parametro</b>		<b>Unità di misura Standard adottato</b>	<b>Valore</b>	<b>Definizione Classificazione</b>
1	Colore	Munsell (hue-value- chroma)	10 YR – 4/3	
2	Quota	m s.l.m.	172	
3	Clivometria	%	---	Superficie pianeggiante
4	Esposizione	°	---	
5	Uso suolo	ISSDS 97	200	Seminativo avvicendato (frumento)
6	Rocciosità	%	0	Assente
7	Pietrosità	%	0	Assente
8	Curvatura morfometrica	Shoeneberger	LL	Lineare-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	32	Debolmente adesivo
14	Grado di aggregazione	ISSDS 97	2	Massivo
15	Densità apparente	USDA	2	Media
16	Drenaggio interno	SSM	5	Piuttosto mal drenato
17	Capacità di accettazione piogge	Jarvis e Mackney	4	Bassa
18	Conducibilità idraulica	SSM	L-47/A-38	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.

Il campione S2 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 S2 (rapporto di prova n. 23/05004-00)  
Lat. 41° 45' 53,94" Long. 15° 03' 9,55"

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

#### Campione S2

- a) La quota della stazione è di 193 m s.l.m.
- b) La superficie è pianeggiante.
- c) In base ai dati granulometrici si ottiene:  
43,3 % Limo;  
40,0 % Argilla;  
16,7% Sabbia.
- d) Pertanto, il terreno si può definire come AL "Argilloso-limoso".
- e) In base alle Munsell Soil Color Charts si può definire 4/3 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 7,8 si può definire “Debolmente alcalino”.
- g) Per la dotazione di Sostanza Organica (S.O. =  $1,72 \cdot \text{Corg}$ ) il giudizio sulla valutazione agronomica si può definire “Elevato”.
- h) Per la dotazione di CSC la valutazione agronomica si può definire “Alta”.



Figura 4-4. Minipit S2.

<b>RILIEVO PEDOLOGICO – Rotello S2</b>				
<b>Parametro</b>		<b>Unità di misura Standard adottato</b>	<b>Valore</b>	<b>Definizione Classificazione</b>
1	Colore	Munsell (hue-value- chroma)	10 YR – 4/3	
2	Quota	m s.l.m.	193	
3	Clivometria	%	---	Superficie pianeggiante
4	Esposizione	°	---	
5	Uso suolo	ISSDS 97	200	Seminativo avvicendato (frumento)
6	Rocciosità	%	0	Assente
7	Pietrosità	%	0	Assente
8	Curvatura morfometrica	Shoeneberger	LL	Lineare-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	32	Debolmente adesivo
14	Grado di aggregazione	ISSDS 97	2	Massivo
15	Densità apparente	USDA	2	Media
16	Drenaggio interno	SSM	5	Piuttosto mal drenato
17	Capacità di accettazione piogge	Jarvis e Mackney	4	Bassa
18	Conducibilità idraulica	SSM	L-43/A-40	Bassa
19	Presenza radici	SSM	2 ÷ 5	Medie e fini
20	Presenza tracce attività biologica	SINA	3 – 4	Artropodi e Molluschi

Tabella 4-2. Parametri del rilievo pedologico.

In allegato i Rapporti di prova n. 23/05004-00 e 23/05005-00 del Laboratorio Pedologico ChemService di Catania, a cui si rimanda anche per l'analisi degli altri parametri pedologici (calcare, azoto, fosforo, sodio, potassio, ecc.).

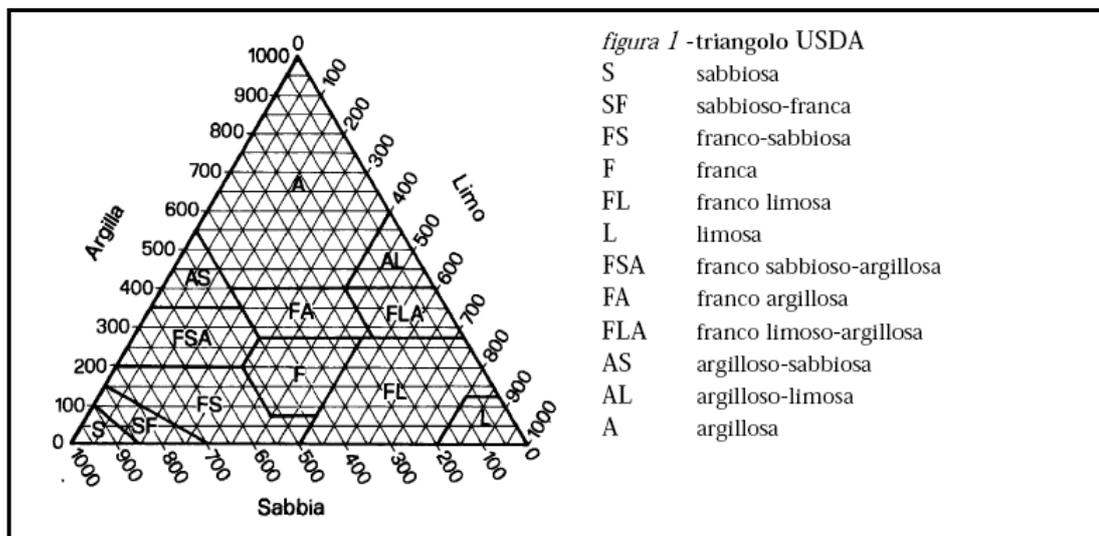


Figura 4-5. Diagramma granulometrico ternario USDA.

Rotello (CB)	
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 4-3. Classificazione pH (in H<sub>2</sub>O).

Rotello (CB)				
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 4-4. Classificazione dotazione sostanza organica.

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

Tabella 4-5. 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.

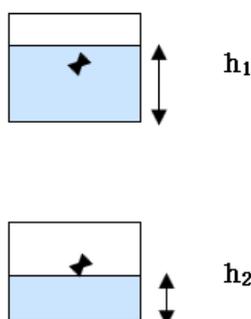


Figura 4-6. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale (standard AGI, 1977).

DATI	Unità di misura	Misura 1	Misura 2	Misura 3	Media
<b>h<sub>1</sub></b> = altezza iniziale del livello dell'acqua	cm	149,0	148,0	147,0	
<b>h<sub>2</sub></b> = altezza finale del livello dell'acqua	cm	148,0	147,0	146,0	
<b>t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub></b> = tempo trascorso per il raggiungimento di h <sub>2</sub>	min	1,05	2,13	12,5	
<b>h<sub>m</sub></b> = altezza media tra h <sub>1</sub> e h <sub>2</sub>	cm	148,5	148,5	148,5	
<b>b</b> = lato della base del pozzetto	cm	25,0	25,0	25,0	
<b>K</b> = coefficiente di permeabilità	cm/sec	0,00002	0,00001	0,000008	<b>0,000013</b>

Tabella 4-6. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto S1.

DATI	Unità di misura	Misura 1	Misura 2	Misura 3	Media
$h_1$ = altezza iniziale del livello dell'acqua	cm	152,0	151,0	150,0	
$h_2$ = altezza finale del livello dell'acqua	cm	151,0	150,0	149,0	
$t_2 - t_1$ = tempo trascorso per il raggiungimento di $h_2$	min	0,96	2,21	12,80	
$h_m$ = altezza media tra $h_1$ e $h_2$	cm	151,5	150,5	149,5	
$b$ = lato della base del pozzetto	cm	25,0	25,0	25,0	
$K$ = coefficiente di permeabilità	cm/sec	0,000023	0,000009	0,000007	<b>0,000012</b>

Tabella 4-7. Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto S2.

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

Tabella 4-8. 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 "Basso" e, di conseguenza, il drenaggio è "Povero".

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

Le caratteristiche geomorfologiche dell'area regionale risentono molto della natura dei litotipi affioranti, del loro assetto tettonico e della storia morfoevolutiva di lungo termine. Si può constatare una forte relazione intercorrente tra litologia e morfologia: forme collinari con versanti poco acclivi sono caratteristiche dei terreni meno resistenti all'erosione, aventi una prevalenza di termini marnosi ed argillosi, mentre, laddove affiorano i litotipi meno erodibili, calcari o arenacei, si hanno versanti a forte acclività. In corrispondenza di questi litotipi le pendenze raggiungono anche i 90°, le quote più elevate e, su di essi, sorgono alcuni centri abitati. In generale si tratta di un tipico paesaggio fortemente controllato dalla elevata erodibilità di molte delle litologie di substrato che vi affiorano e da una forte interazione tra la dinamica di alveo e di versante. Ne è conseguita una scarsa conservatività sia di forme di erosione sia di forme di erosione sia di quelle legate all'accumulo. Ciò giustifica la totale assenza di depositi quaternari antichi e di significativi marker morfocronologici che marchino importanti fasi morfoevolutive del paesaggio.

Sulla base di correlazioni morfostratigrafiche a carattere regionale è possibile ipotizzare per il modellamento di tale paesaggio un'età non più antica del Pliocene inferiore.

Morfologicamente incastrate all'interno di questi lembi di paleosuperfici di prima generazione si rinvengono superfici di spianamento riferibili ad una generazione successiva. In particolare questa seconda generazione è caratterizzata da superfici a discreta maturità morfologica, da sub pianeggianti a debolmente acclivi fino ad un massimo del 15%.

Spesso queste superfici sono delimitate da elementi più acclivi. In genere coincidenti con le scarpate di erosione fluviale prodotte dai corsi d'acqua in seguito al loro recente, rapido approfondimento (AUCELLI et al., 2001). Ciò fa pensare ad un paesaggio a superfici di erosione in roccia tenera (glacis) che tende, verso Sud, a raccordarsi a livelli di base attualmente posti a circa 600 m s.l.m.; da questa superficie antica "emergono" localmente, per morfoselezione, i rilievi costituiti da formazioni più litoidi. Questo antico paesaggio erosionale sospeso è, a luoghi, notevolmente disseccato e ridotto in lembi relitti presenti lungo alcuni spartiacque, le cui quote sono comunque tra loro raccordabili. Solo in pochi e ristretti casi è possibile rilevare, su queste superfici di seconda generazione, una modesta copertura di depositi detritico-colluviali che raggiunge lo spessore massimo di 2 m. il modellamento di questa superficie di erosione è, probabilmente, legato alle fasi di morfogenesi successive alla strutturazione della catena (Pliocene superiore-Pleistocene inferiore).

Le ultime fasi surettive della catena hanno determinato un ringiovanimento del paesaggio, soprattutto a causa della conseguente dissezione fluviale. Questa nuova fase di morfogenesi che ha interessato la suddetta superficie di erosione, presenta come principale processo di modellamento morfoevolutivo quello franoso. Esso si esplica, essenzialmente, lungo le scarpate fluviali ad alta acclività, prodottosi durante l'approfondimento della rete drenante. Questo lungo periodo, in cui i fenomeni franosi diventano dominanti nella morfogenesi di alcune aree con substrati a forte componente pelitica, vede l'affermarsi di veri e propri "sistemi franosi" di ampiezza pari a bacini idrografici di basso ordine (landslide catchment, sensu AUCELLI et al., 2000) al cui interno la morfogenesi gravitativa coesiste con quella fluviale.

L'area regionale, in generale, è caratterizzata da alvei confinati che mostrano una diffusa tendenza all'approfondimento. Tale propensione è localmente interrotta da fasi di aggradazione legate all'ostruzione dell'alveo principale da parte di cumuli di frana e dalla rapida crescita di conoidi alluvionali. Una cospicua risorsa di detrito deriva dalle scarpate di erosione fluviale localizzate all'interno dei bacini tributari di 3° e 4° ordine, dove l'onda di dissezione, dopo la genesi dell'ordine più basso dei glacis vallivi, è ancora molto attiva (AUCELLI et al., 2000).

Il reticolo idrografico, i cui principali corsi d'acqua sono rappresentati dai fiumi Trigno e Biferno, presenta una struttura semplice laddove prevalgono formazioni più litoidi. In questo caso si formano impluvi incassati che, talvolta, finiscono per costituire vere e proprie forre, spesso

susseguenti, ad andamento circa rettilineo, impostate lungo le principali linee di frattura che, talora, si intersecano dando luogo a gomiti fluviali. In altri casi i corsi d'acqua tagliano sia strutture plicative sia di accavallamento tettonico e vanno a costituire classici esempi di discordanza oroidrografica.

Al contrario, la dominanza della componente pelitica determina un considerevole sviluppo della rete idrografica. La bassa permeabilità, infatti, favorisce un diffuso ruscellamento superficiale che confluisce in linee d'impluvio ramificate ad andamento tortuoso.

I corsi d'acqua presentano portate quasi nulle nei periodi estivi e deflussi molto abbondanti in occasione di forti e continue precipitazioni meteoriche. Tale effetto si risente tanto più nei valloni secondari che d'estate risultano del tutto asciutti, mentre nella stagione piovosa portano a valle discreti quantitativi di acqua con evidenti effetti sull'evoluzione dei versanti.

Le forme di accumulo sono rappresentate da terrazzi e da conoidi. I conoidi, presenti in alcuni fondivalle, pur presentando caratteri di facies simili limitatamente ai livelli massivi e fango-sostenuti ascrivibili a processi di sedimentazione del tipo flussi detritici (debris flow), in cui la matrice deriva presumibilmente dai termini più pelitici delle formazioni affioranti. Si rinvengono sia conoidi morfologicamente ben preservate, generalmente attive, sia dissecate non più attive (terrazzate).

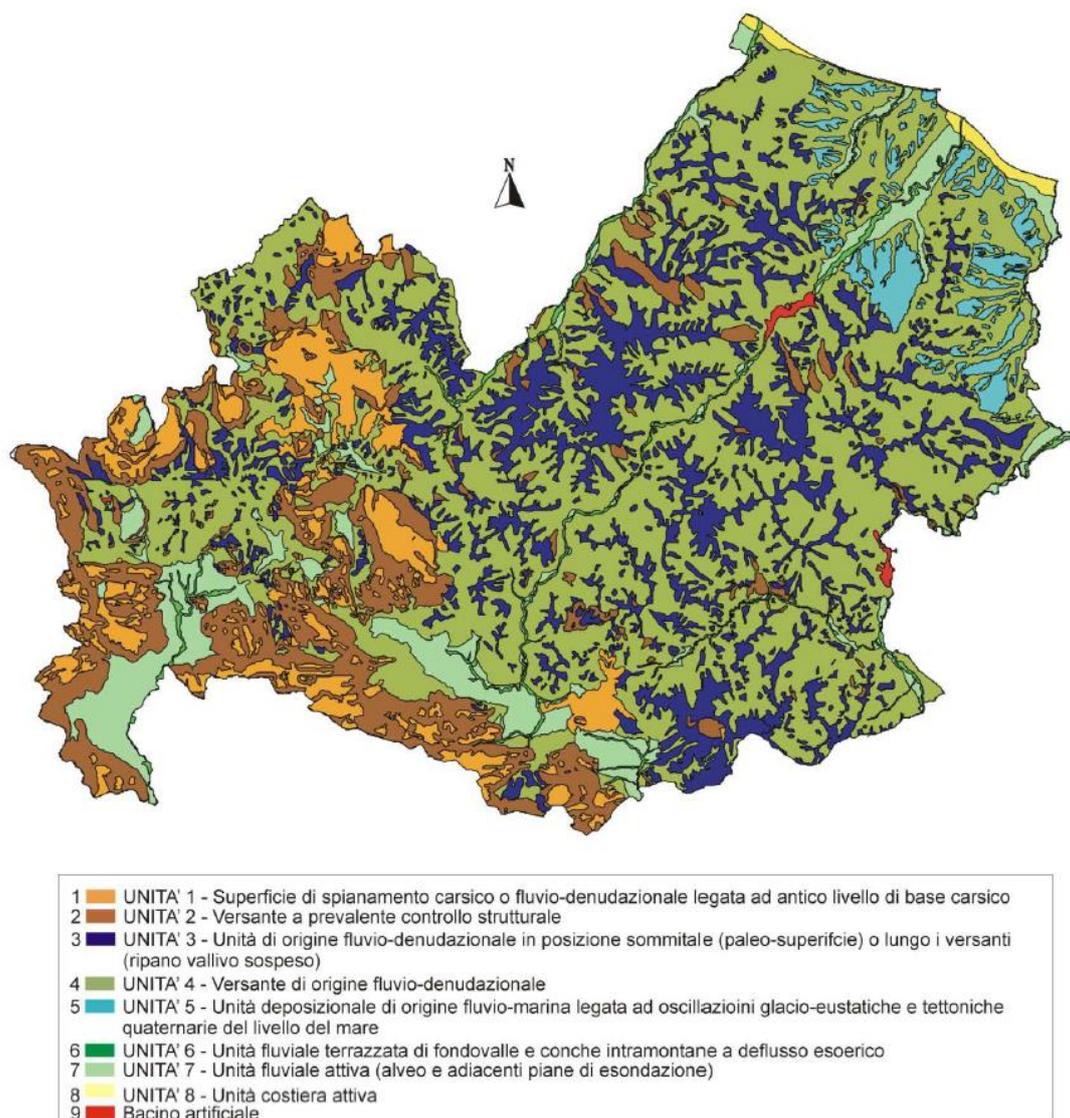


Figura 5-1. Cartografia geomorfologica a grande scala. (Fonte: Regione Molise - Piani di Gestione di 61 Siti della Rete Natura 2000).

Passando all'analisi geomorfologica, semi-quantitativa, il Digital Elevation Model (DEM) può essere utilizzato per calcolare una serie di variabili, utilizzabili nel processo di derivazione delle mappe.

Con una rappresentazione, in formato raster, è possibile migliorare la raffigurazione della distribuzione spaziale dei suoli e delle loro caratteristiche; infatti, seppur con le limitazioni che l'informazione digitale discreta permette, è possibile ottenere quella variabilità, a toni sfumati, che caratterizza il continuum, tipico della variabilità delle componenti naturali.

Le variabili geomorfometriche (terrain attributes) possono fornire le migliori indicazioni per la variabilità spaziale delle proprietà dei suoli, specialmente in aree dove la variabilità dei fattori ambientali è piccola; pertanto, è di fondamentale interesse l'analisi della topografia (FLORINSKY 2012).

HUDSON (1992), sostiene che l'interazione tra i fattori (clima, organismi, materiale parentale e topografia) porta alla formazione di un unico suolo o gruppo di suoli in una determinata area della superficie terrestre. Si può supporre, quindi, che due siti con condizioni edafiche paragonabili abbiano suoli simili; inoltre, tanto più i siti presentano affinità tra loro, tanto maggiore sarà la

probabilità che essi abbiano suoli simili. In altre parole, la somiglianza tra due suoli in due punti diversi può essere approssimata, per astrazione, al concetto di similitudine tra condizioni edafiche stazionali. Si suppone, pertanto, che il paesaggio (HUDSON sensu) possa essere descritto con una serie di variabili geomorfometriche, costruite a partire dal DEM, le quali complessivamente danno origine a un iperspazio che è una approssimazione del corrispondente multidimensionale paesaggio reale.

Il paesaggio reale è frutto delle azioni che ricadono nel bacino idrografico. Quest'ultimo, corrisponde all'unità territoriale principale di riferimento, nell'ambito della quale si sviluppano tutti i processi geomorfologici legati, in modo diretto o indiretto, all'azione delle acque, superficiali e sub-superficiali, senza particolari interazioni con le porzioni di territorio adiacenti. La scala del bacino idrografico va considerata relativamente a due aspetti cruciali:

- condizioni al contorno imposte (imposed boundary conditions): sono rappresentate dall'energia del rilievo, le pendenze, la topografia e la morfologia delle valli, etc.;
- condizioni al contorno di flusso liquido e solido (flux boundary conditions), vale a dire le cosiddette variabili guida del sistema (portate liquide e solide).

La variabile Topographic Position Index caratterizza le forme di paesaggio. Essa si basa su 10 differenti forme di paesaggio. In letteratura, per la classificazione dei valori dei pixel, in termini di forme del paesaggio, si riporta la seguente classificazione (tabella sottostante), in cui le definizioni, delle diverse landforms, possono avere un significato più strettamente idrologico, oppure più strettamente geomorfologico.

La pendenza è l'aspetto più rilevante per i movimenti gravitativi in un territorio, infatti concorre nei calcoli di molte variabili secondarie. L'analisi delle superfici a bassa pendenza o sub-orizzontali, conforta l'interpretazione di tali elementi del paesaggio fisico come superfici terrazzate e/o relitte. Le superfici piane appaiono diffuse sull'intera area di studio.

Il parametro curvatura esprime la vera e propria curvatura (concavità e/o convessità) di una superficie rappresentata da un DEM ed è definita come la curvatura lungo la linea di massima pendenza. Una curvatura caratterizzata da valore negativo identifica la presenza di una superficie convessa mentre, al contrario, una curvatura caratterizzata da valore positivo identifica la presenza di una superficie concava. Un valore uguale a zero indica infine la presenza di una superficie pianeggiante.

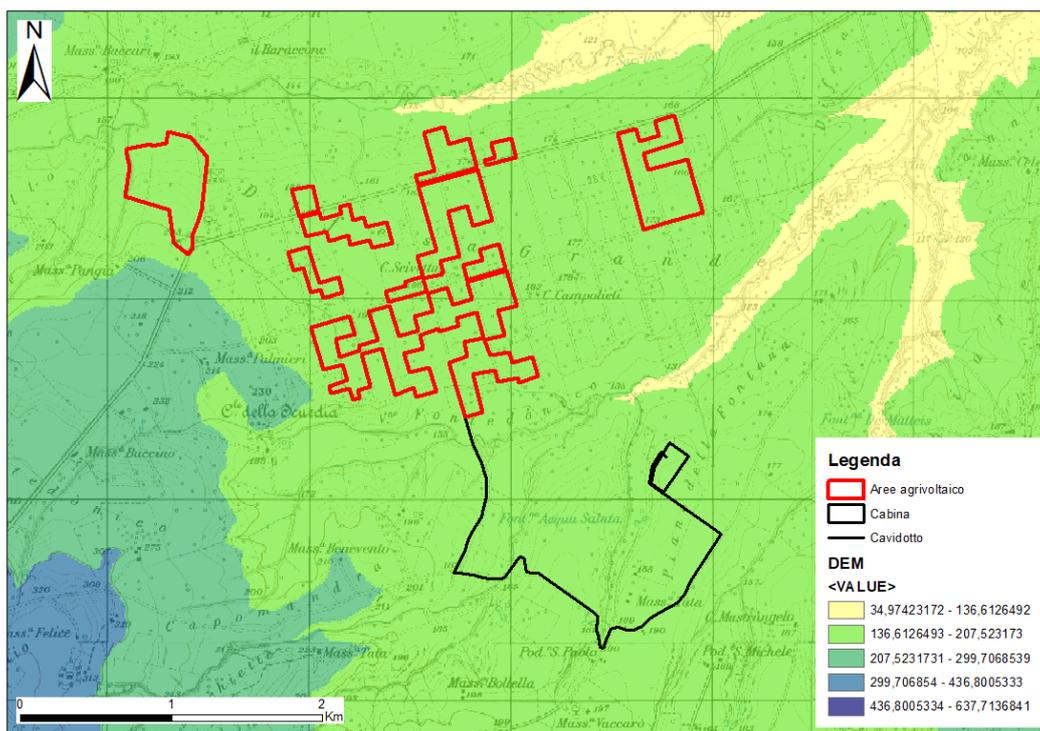


Figura 5-2. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione delle quote topografiche, nonché dell’energia del rilievo.

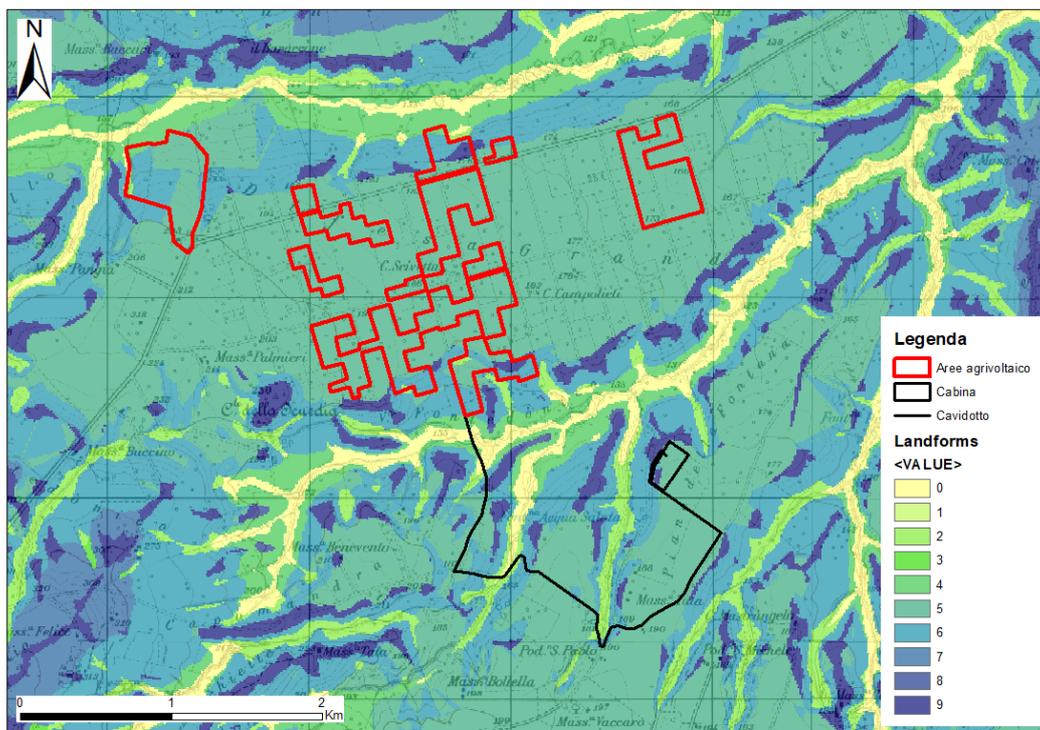


Figura 5-3. Condizioni al contorno imposte – Elaborazione della classificazione delle forme del paesaggio.

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.

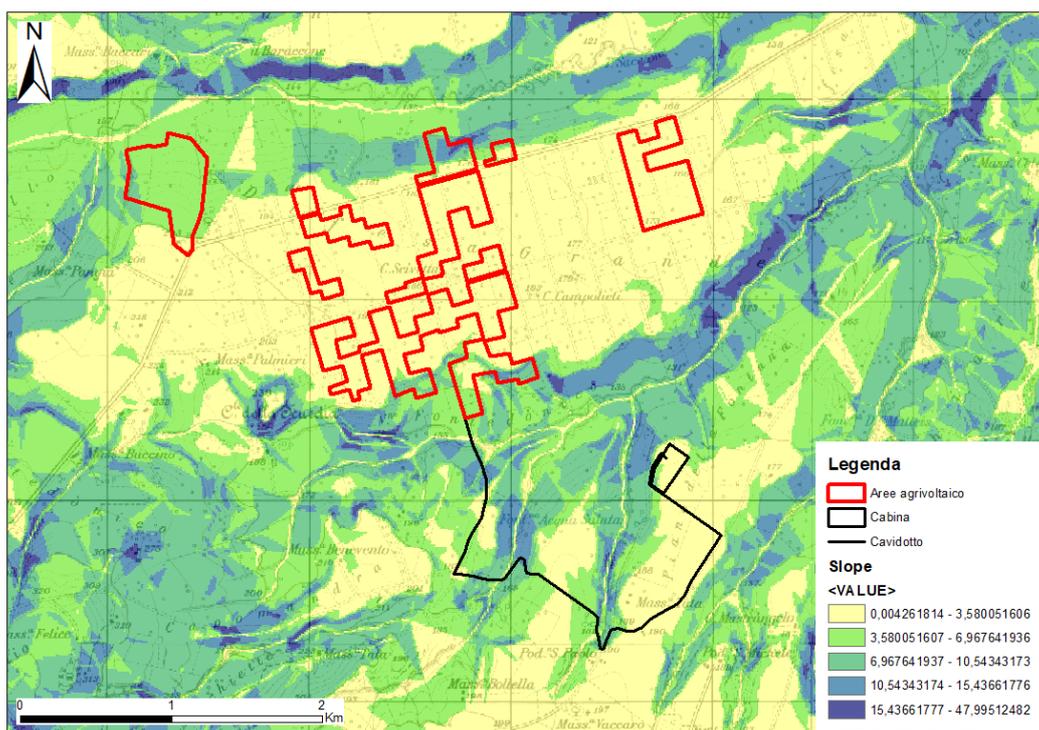


Figura 5-4. Condizioni al contorno imposte - Elaborazione delle pendenze.

L'azione dell'acqua, sulla superficie terrestre, si esplica attraverso una serie di fenomeni che iniziano con la caduta delle gocce di pioggia sul suolo (splash erosion) e prosegue con il ruscellamento superficiale, in forma areale (sheet erosion), con basso grado di incanalamento (rill erosion, canali di scorrimento con profondità < 10 cm circa), con fenomeni di ruscellamento incanalato ad erosione concentrata (gully erosion, impluvi accentuati profondi anche 1 m) o infine nello scorrimento nei corsi d'acqua (fiumi e torrenti).

La velocità del deflusso superficiale può essere limitata, da azioni di miglioramento della permeabilità dei suoli e dalla vegetazione o residui vegetali. Anche le barriere fisiche che limitano lo scorrimento delle acque superficiali, intercettando i flussi, possono diminuire la capacità erosiva delle acque superficiali.

Corsi d'acqua di tipo non confinato o semiconfinato (eccetto soglie rocciose intermedie), di dimensioni da intermedie a grandi con alveo alluvionale (a fondo mobile) è libero di auto-modellarsi, sia in senso altimetrico che planimetrico, a differenza degli alvei confinati. La configurazione planoaltimetrica dell'alveo è il risultato dell'interazione tra processi responsabili della sua formazione (variabili guida del sistema, ovvero portate liquide e solide) e condizioni al contorno (forma del fondovalle, sedimenti che lo compongono, presenza o meno di vegetazione).



Figura 5-5. Stralcio dell'ortofoto satellitare ove vengono evidenziate alcune delle arre di golena. ↓

Il sistema di ROSGEN (1994) rappresenta, probabilmente, la classificazione morfologica più completa di corsi d'acqua naturali.

La classificazione si basa su tre livelli di conoscenza:

- Caratteristiche del fiume, le quali dipendono dalle forme del rilievo, morfologia della valle e dell'alveo;
- Tipologia di valle fluviale, è la principale variabile della forma dei fiumi;
- Descrizione morfologica di dettaglio, da misure dirette in alveo della forma del canale e composizione del letto.

Nello specifico, il Torrente Carapelle, ricade nel tipo "C". Tale tipo si trova in valli da strette ad ampie, costruite da depositi alluvionali. Essi hanno una golena ben sviluppata (poco trincerate), sono relativamente sinuosi con una pendenza del canale del 2% o inferiore e una morfologia del letto indicativa di una configurazione riffle/pool e caratteristici "point-bar" all'interno del canale attivo.

I processi di aggradazione/degradazione e di estensione laterale sono, intrinsecamente, dipendenti dalla stabilità naturale degli argini, dalle condizioni dello spartiacque di monte, dal regime di flusso e dai sedimenti.

Il flusso dei canali di tipo "C" può essere significativamente alterato e rapidamente destabilizzato, provocando il superamento della soglia di stabilità.

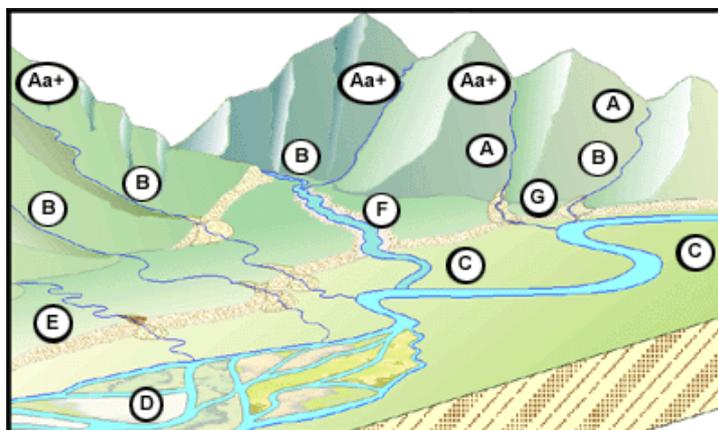


Figura 5-6. Condizioni al contorno imposte - Diversi tipi fluviali in diverse zone del paesaggio.

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. Catchment area (recursive method) (SAGA), Catchment area (max flux method) (SAGA), convergence index (SAGA), sono variabili che forniscono informazioni riguardo il flusso idrologico superficiale (GRUBER e PECKHAM 2009). La legenda mostra i valori delle celle dell'elaborazione, le quali si riferiscono all'ordine delle aste fluviali (in blu, è evidenziato il V ordine che corrisponde ai canali principali del Torrente Saccione).

La variabile Flow direction è tipicamente utilizzata per comprendere il flusso idrologico. Consente di mappare la direzione del flusso idrologico, determinata dalla massima pendenza (ZHAO et alii 2009). Utilizzando l'opzione Raster Drop viene creato un raster di output che mostra il valore (in termini percentuali) del rapporto tra la massima variazione dell'elevazione, individuata tra i pixel lungo la direzione del flusso, e la lunghezza del percorso tra i centri dei pixel considerati.

Il Topographic Wetness Index 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 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. Tale elaborazione può essere messa a conferma che le aree di golena sono ricche di limo e ghiaia, molto permeabili.

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 al. 1991) la quale 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 al. 2008).

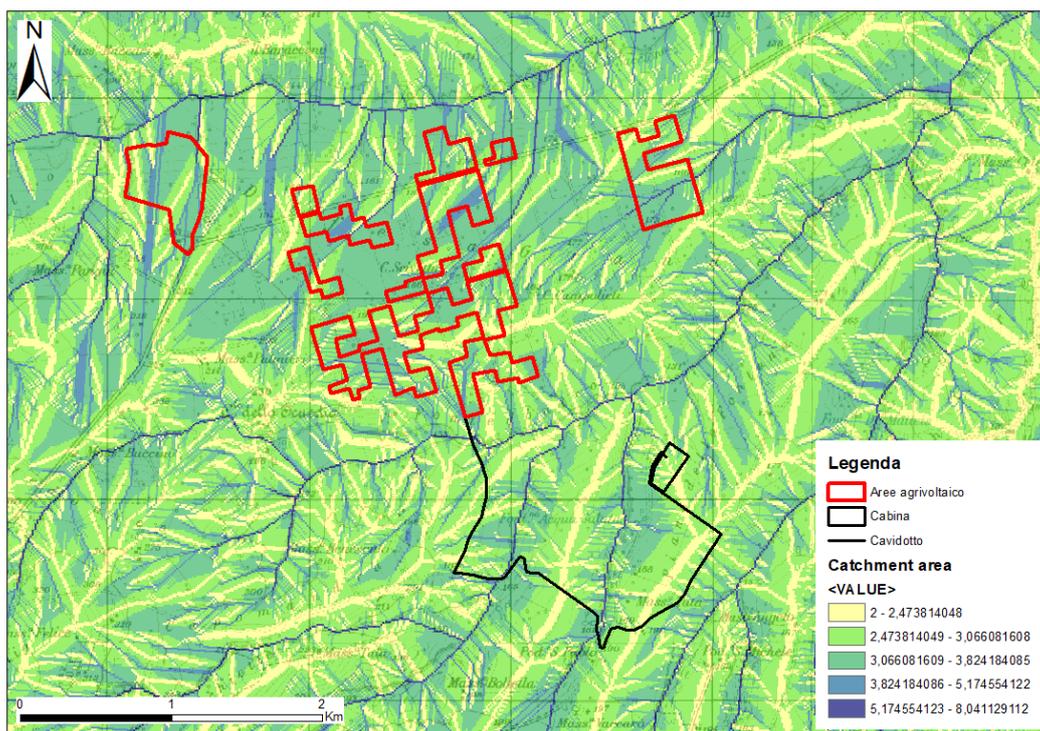


Figura 5-7. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della classificazione catchment area.

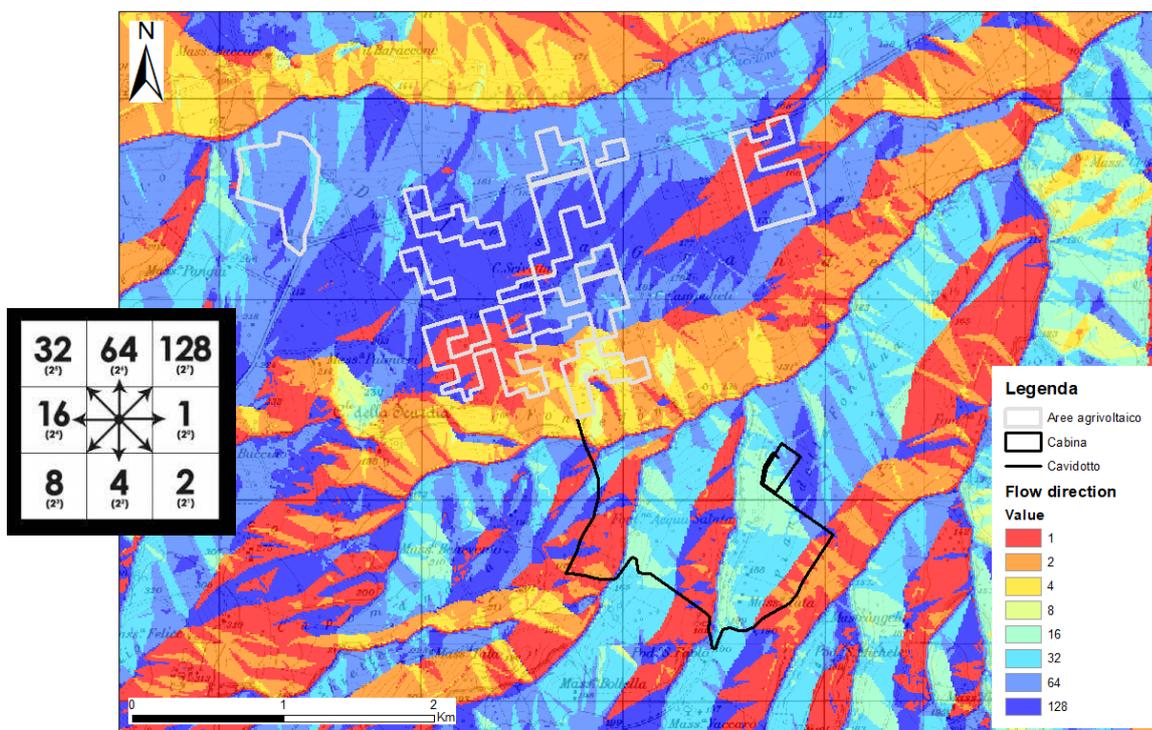


Figura 5-8. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della Flow Direction.

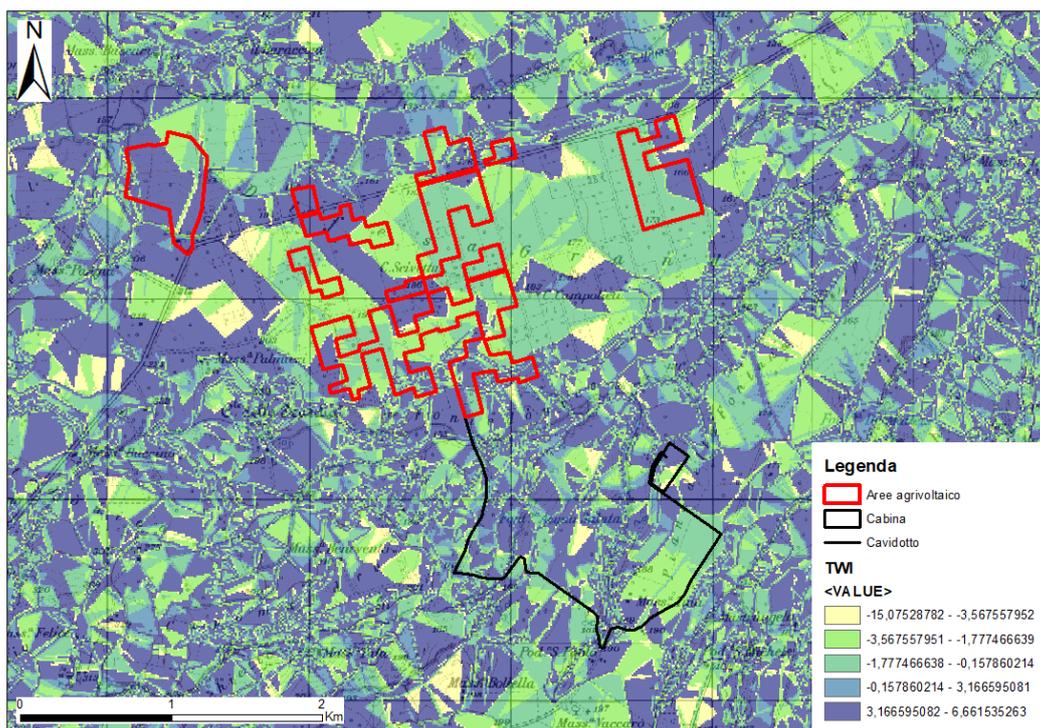


Figura 5-9. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della classificazione TWI.

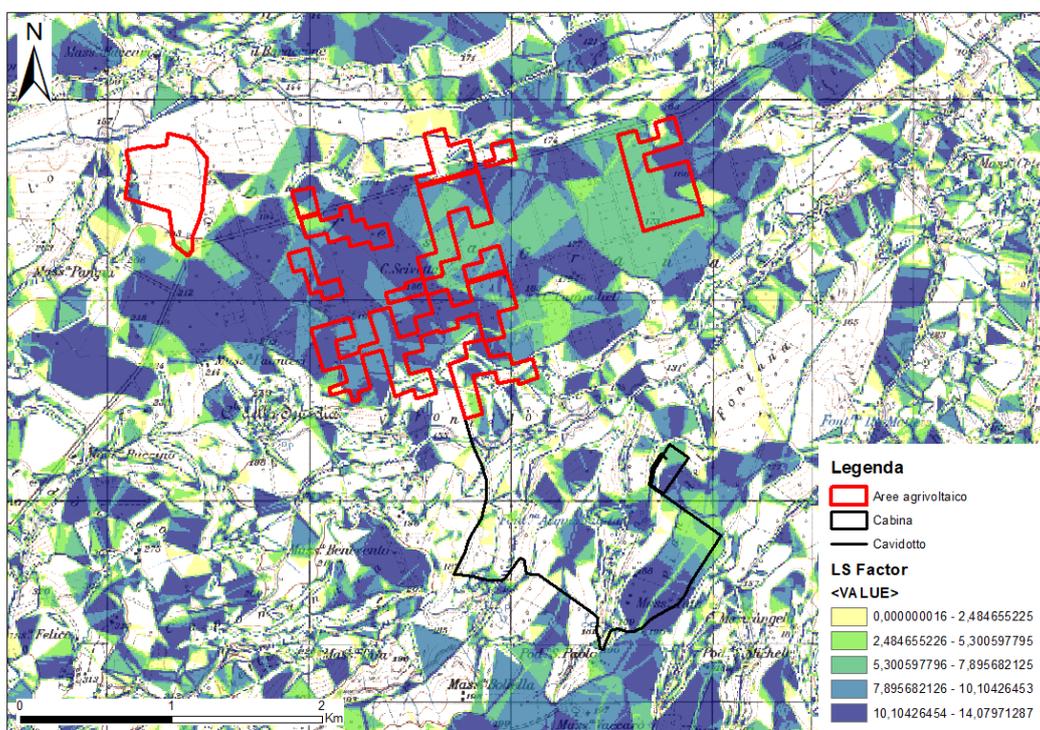


Figura 5-10. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido - Elaborazione della classificazione LS factor.

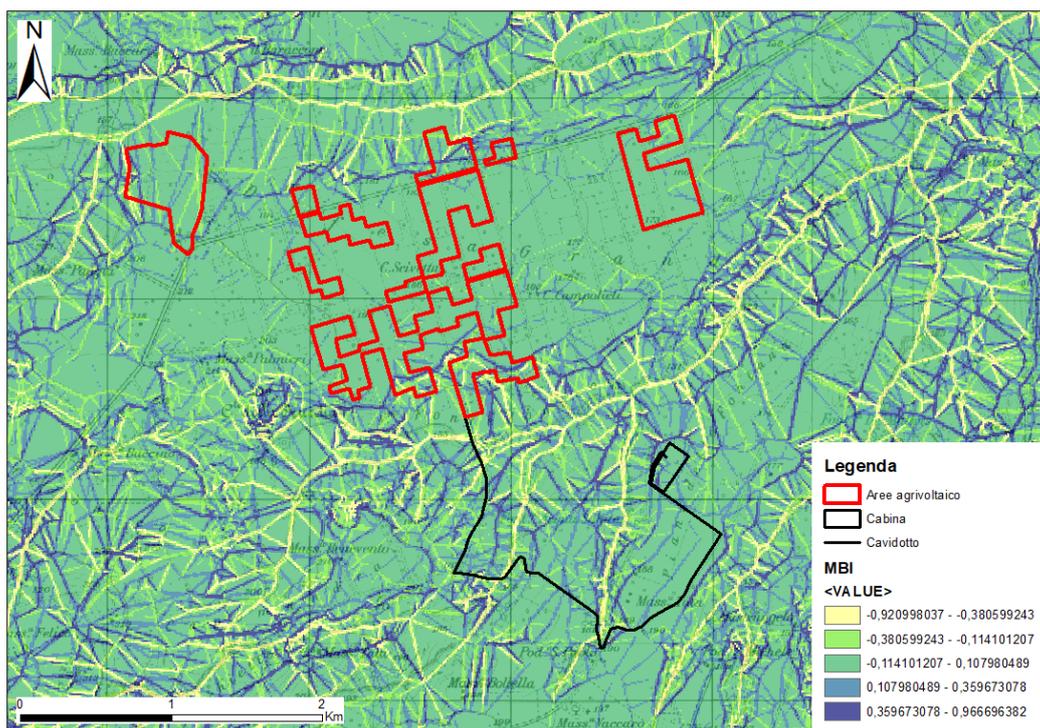


Figura 5-11. Condizioni al contorno di flusso liquido e solido – Elaborazione della MBI.

La determinazione dell’altezza media di un bacino idrografico può essere semplificata costruendo la curva ipsografica, la quale 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  $km^2$ ), 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, il quale 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.

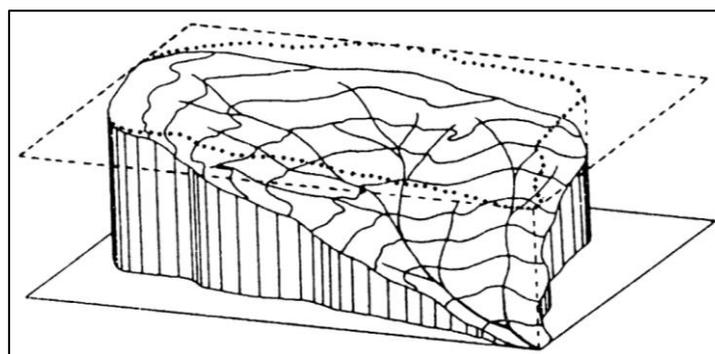


Figura 5-12. Schema generico di approfondimento di un bacino idrografico.

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 geometrica con primo termine pari alla pendenza media dei segmenti del primo ordine e con ragione pari al rapporto di pendenza".

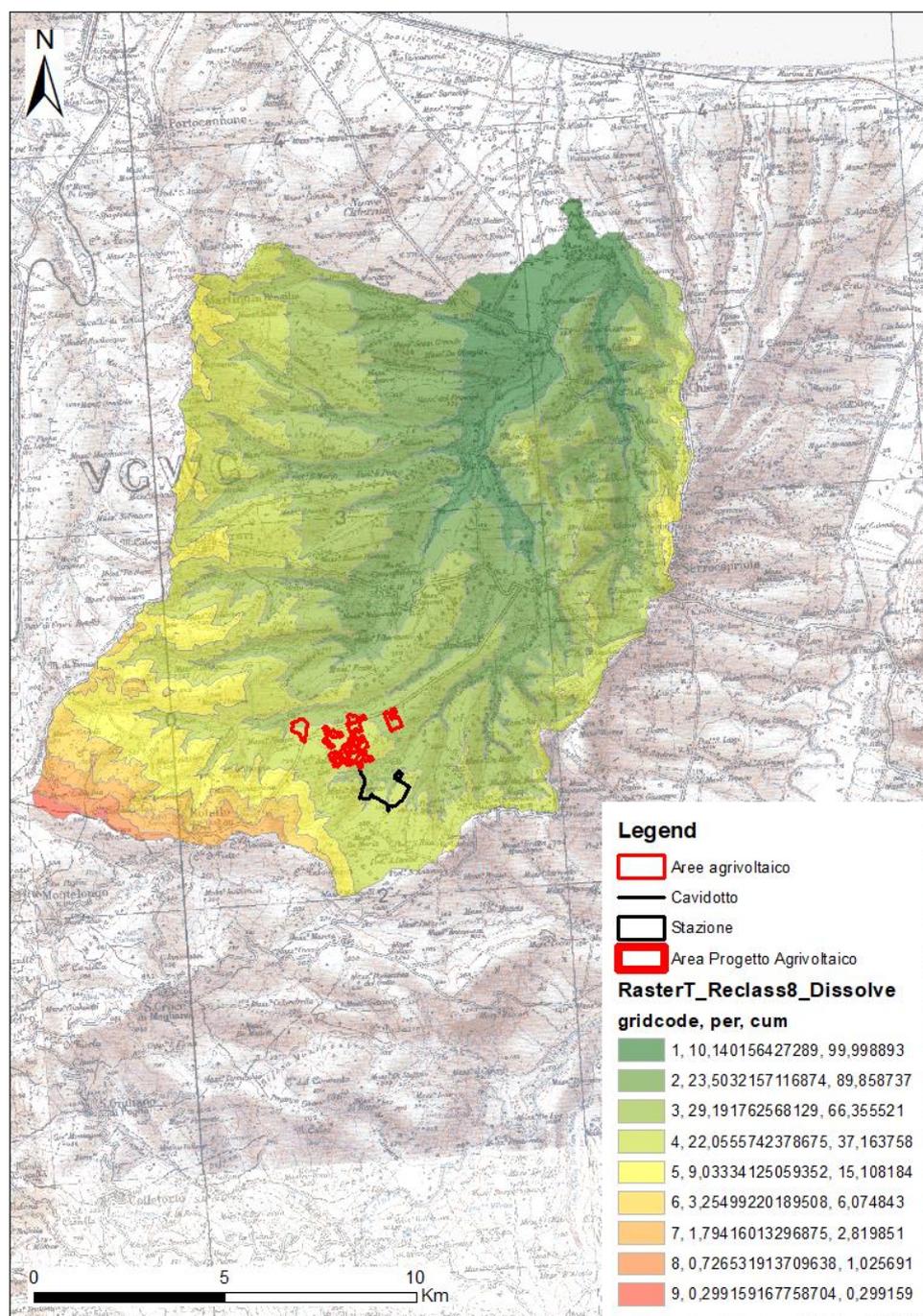


Figura 5-13. Altimetrie del bacino idrografico del Torrente Saccione.

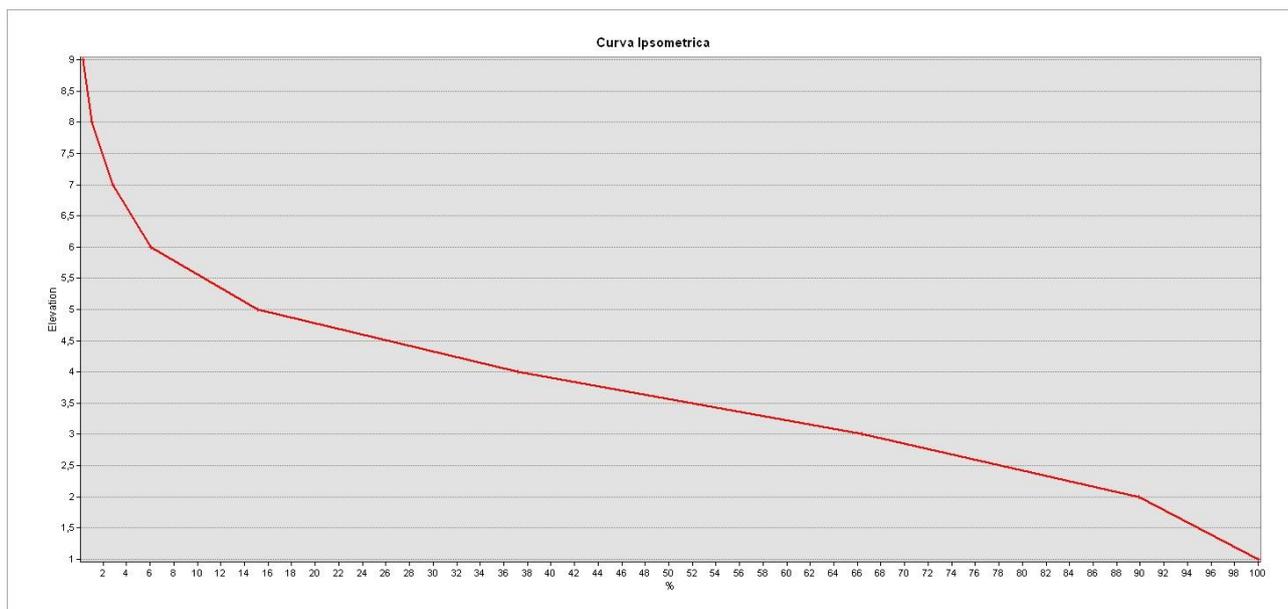
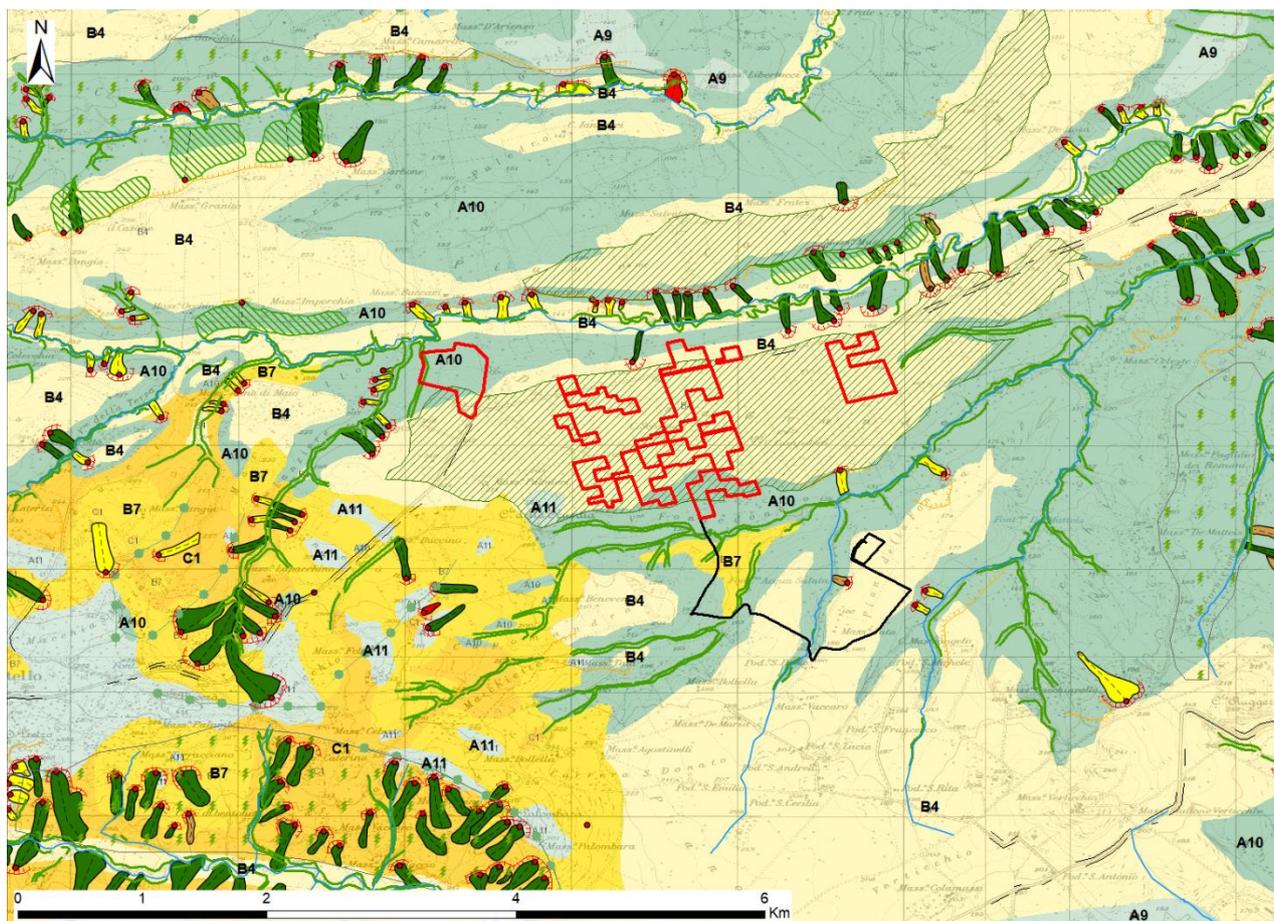


Figura 5-14. Curva Ispometrica del bacino idrografico del Torrente Saccione.

Infine, è stata redatta la carta geomorfologica, considerando anche le condizioni al contorno dell'area dell'impianto agrivoltaico.



### LEGENDA

#### Layout di progetto

- Aree agrivoltaiico
- Cabina
- Caviodotto

#### FORME GEOMORFOLOGICHE CORPO DI FRANA - Indice di franosità (%)

- |  |   |
|--|---|
| <span style="border-bottom: 1px dashed red; display: inline-block; width: 20px; margin-right: 5px;"></span> Corona di frana  | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> 15 < IF <= 30   |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, gray 2px, gray 4px); margin-right: 5px;"></span> Riaplano di erosione fluviale | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></span> 5 < IF <= 15   |
| <span style="display: inline-block; width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent, border-right: 5px solid transparent, border-bottom: 10px solid green; margin-right: 5px;"></span> Cresta                    | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> 1 < IF <= 5  |
| <span style="border-bottom: 1px solid gray; display: inline-block; width: 20px; margin-right: 5px;"></span> Scarpa antropica   | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkgreen; margin-right: 5px;"></span> 0 < IF <= 1   |
| <span style="border-bottom: 1px solid green; display: inline-block; width: 20px; margin-right: 5px;"></span> Scarpa fluviale   | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, gray 2px, gray 4px); margin-right: 5px;"></span> Area con frane superficiali diffuse |
| <span style="border-bottom: 1px dashed gray; display: inline-block; width: 20px; margin-right: 5px;"></span> Orlo morfologico  |   |
| <span style="border: 1px solid gray; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Ruscellamento diffuso   |   |
| <span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 20px; margin-right: 5px;"></span> Reticolo idrografico   |   |

#### LITOLOGIA

- |  |  |
|--|--|
| <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #c6e0b4; margin-right: 5px;"></span> A9 Sabbie grssolane CALABIRIANO                                  | <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #fff2cc; margin-right: 5px;"></span> B4 Coperture fluvio-lacustri (terreni a granulometria mista) PLEISTOCENE |
| <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #d9ead3; margin-right: 5px;"></span> A10 Argille sabbiose (Complessi pelitico-arenacei) MIOCENE MEDIO | <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #fff2cc; margin-right: 5px;"></span> B7 Detrito di falda e frana (terreni a granulometria indefinita) OLOCENE |
| <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #d9ead3; margin-right: 5px;"></span> A11 Complesso flyscioidi di calcareniti e breccie MIOCENE MEDIO  | <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #fff2cc; margin-right: 5px;"></span> C1 Calcarei detritici (argille caotiche) PALEOGENE                       |

Figura 5-15. Carta geomorfologica.

## 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 (APSFR), nonché delle zone costiere soggette ad erosione.

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

- Unità geografica di riferimento caratterizzata da un'ampia porzione di territorio raggruppante più bacini individuata come distretto idrografico;
- 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);
- 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.

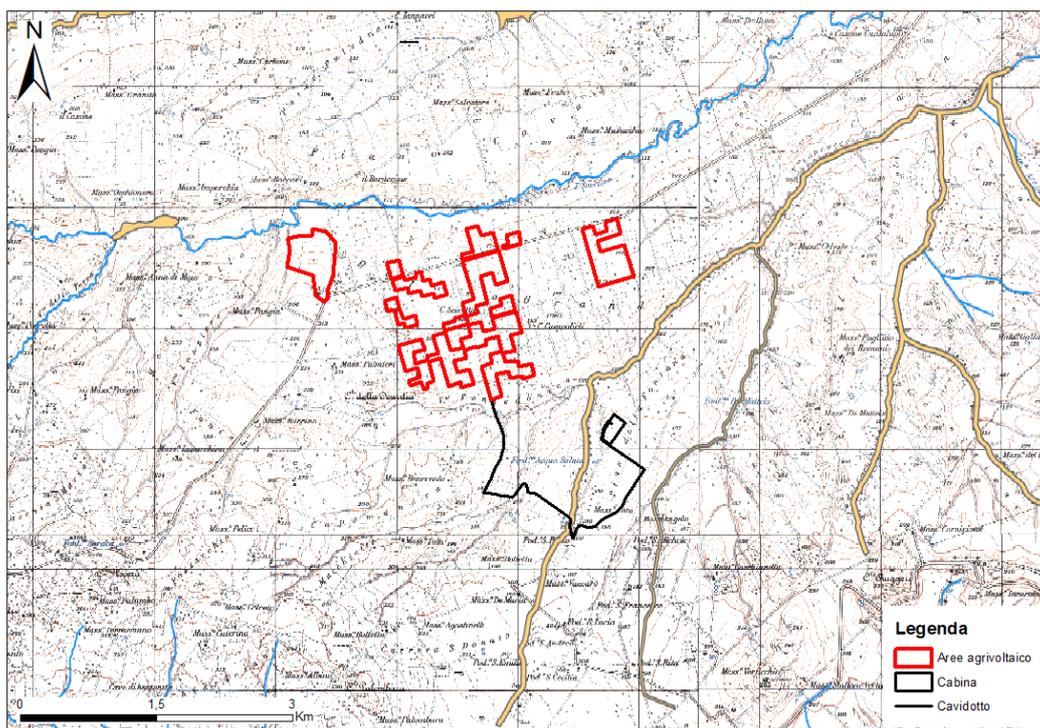


Figura 5-16. Stralcio del Areas of Potential Significant Flood Risk. (Fonte: Geoportale nazionale)

La sovrapposizione delle aree di impianto rispetto agli elaborati grafici del PGRA relativi al APSFR, evidenzia che:

- le aree di impianto **NON RICADONO** in aree a potenziale rischio significativo;
- il tracciato del cavidotto **RICADE** in parte in un'area a potenziale rischio significativo;
- la SE Terna **NON RICADE** in aree a potenziale rischio significativo.

Si rimanda alla Relazione Idrologica e Idraulica per un maggior approfondimento.

## 5.2 Dissesto idrogeologico

Riguardo alla relazione tra fenomeni franosi e stato evolutivo dei versanti e del sistema fluviale, si evidenzia chiaramente come l'evoluzione dei versanti, lungo le scarpate fluviali a forte acclività, avviene mediante frane puntuali che talora interagiscono con l'erosione lineare che si sviluppa fortemente lungo aste fluviali molto incise e di basso ordine gerarchico. I fenomeni franosi sono di conseguenza tipicamente concentrati per lo più nei settori medi ed alti dei bacini idrografici, sia principali che secondari, dotati di maggiore energia del rilievo ed interessati da erosione fluviale di tipo verticale e/o regressiva. In questi contesti, i cumuli originari frequentemente subiscono una rielaborazione attraverso successivi fenomeni di trasposto gravitativo o di tipo misto, fluviale e gravitativo. Questi fenomeni di trasporto comportano un rimaneggiamento e una redistribuzione dei materiali di frana e consentono al sistema vallivo di giungere, anche attraverso diverse tappe, a delle configurazioni morfologiche più stabili.

La frequenza media dei fenomeni franosi è di ca. 4,48/km<sup>2</sup>. La colata è la fenomenologia più diffusa a causa dell'abbondante componente argillosa che caratterizza i terreni affioranti. Specialmente laddove prevalgono i termini delle argille varicolori superiori, le colate spesso assumono una diffusione considerevole ed una estensione areale tanto elevata da non consentire più il riconoscimento del singolo fenomeno. In generale, l'area di alimentazione della frana è rappresentata non solo dalla zona a monte, ma anche dalle zone laterali al corpo. Ciò fa sì che nei cumuli, di spessori anche dell'ordine della decina di metri, si ritrovano insieme materiali molto eterogenei sia per granulometria che per litologia. Le scarpate principali e secondarie, nonché le fratture trasversali nel corpo, vengono cancellate rapidamente a causa della natura dei terreni.

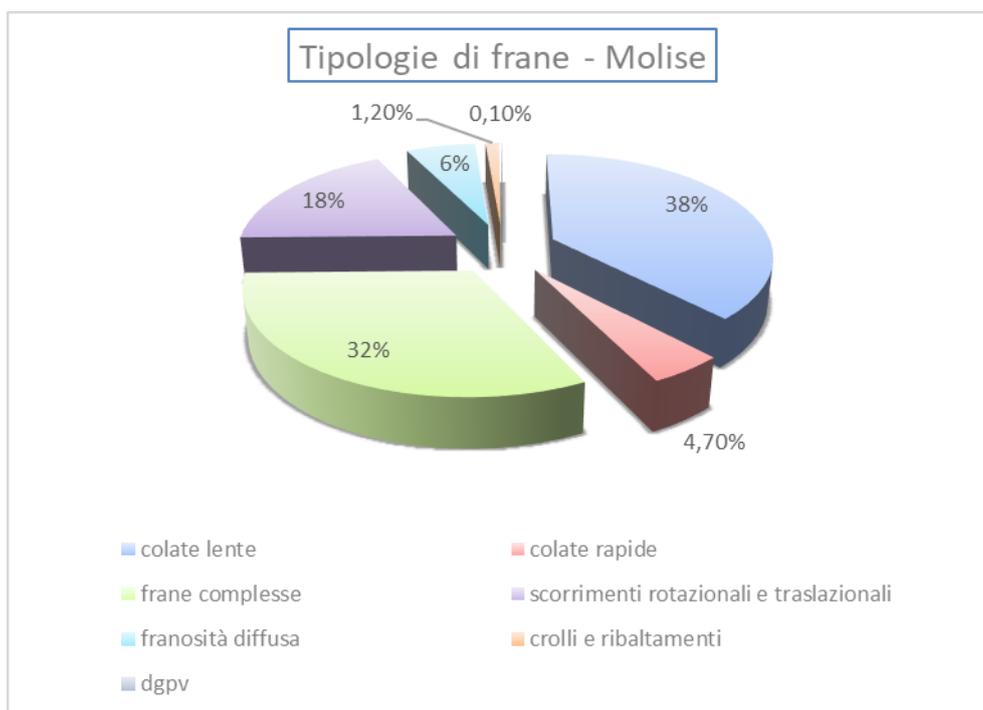


Figura 5-17. Diagramma a torta delle tipologie di frane presenti nella Regione Molise.

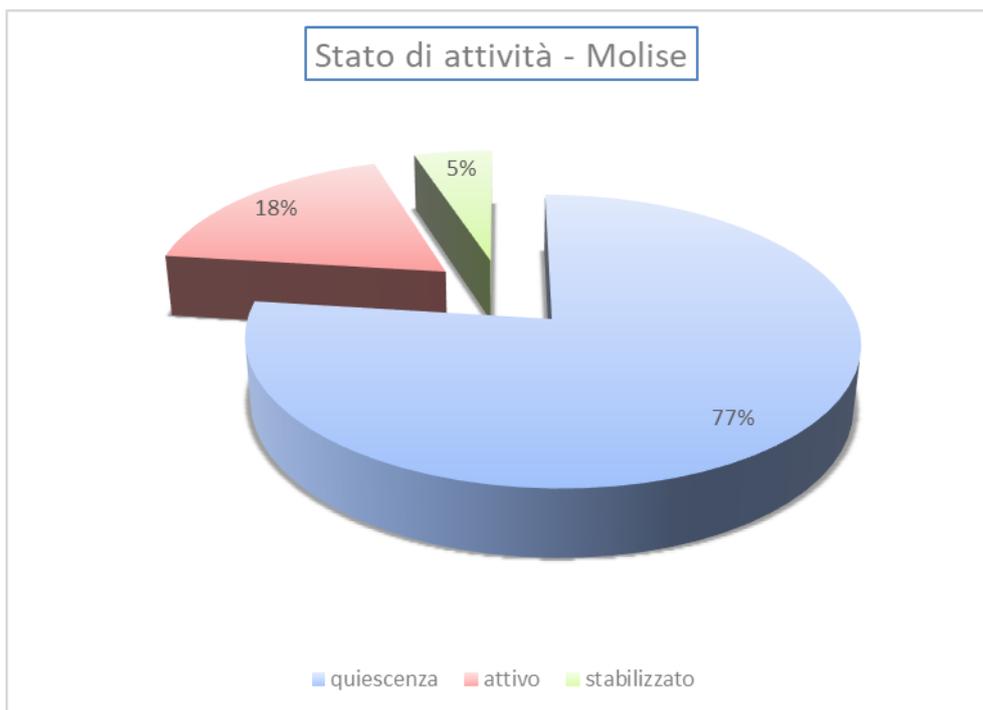


Figura 5-18. Stato di attività delle frane presenti nella Regione Molise.

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.

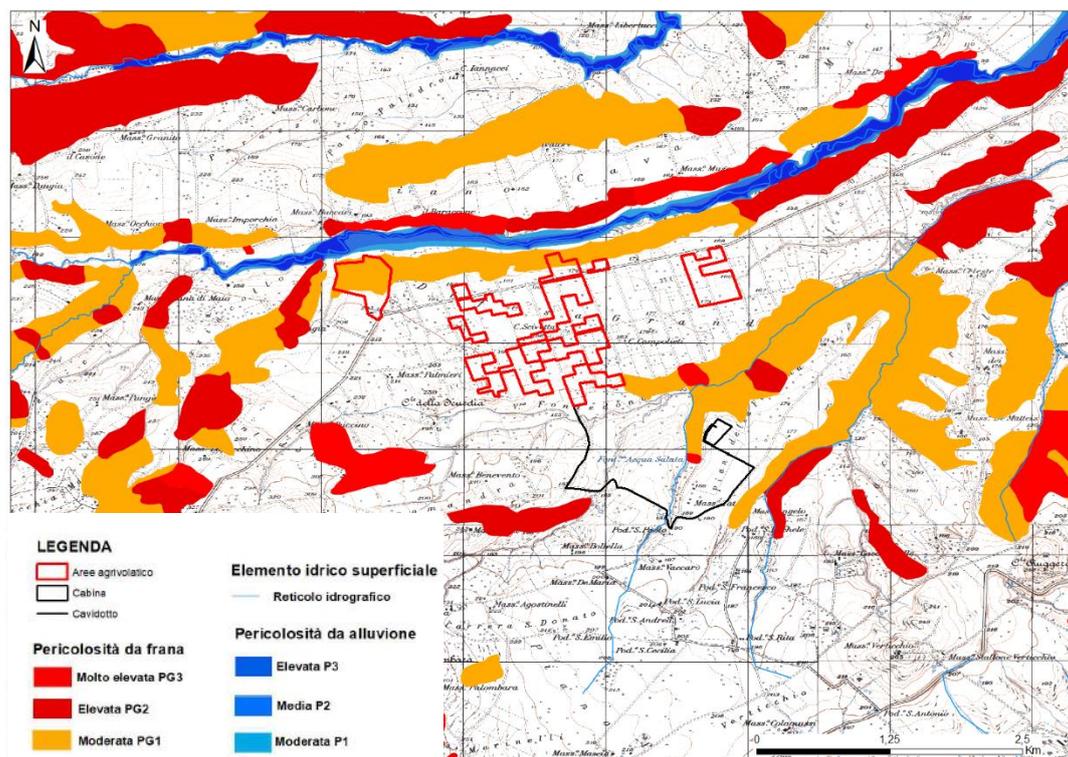


Figura 5-19. Cartografia delle aree interessate da pericolosità idraulica e geomorfologica. (Fonte: Geoportale Nazionale).

La sovrapposizione delle aree di impianto rispetto agli elaborati grafici del PAI relativi alla pericolosità idraulica e geomorfologica, evidenzia che:

- le aree di impianto, la SE Terna e il tracciato del cavidotto **NON RICADONO** in aree a pericolosità idraulica;
- le tessere 1-7-9 delle aree di impianto **RICADONO PARZIALMENTE** in aree a pericolosità da frana “PG1 – moderata”;
- la SE Terna e il tracciato del cavidotto **NON RICADONO** in aree a pericolosità da frana.

## 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 causata da 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).

L'intensità dei processi erosivi è controllata dalla temperatura e umidità del suolo che influenzano direttamente la stabilità degli aggregati (LAVEE et al., 1998).

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.

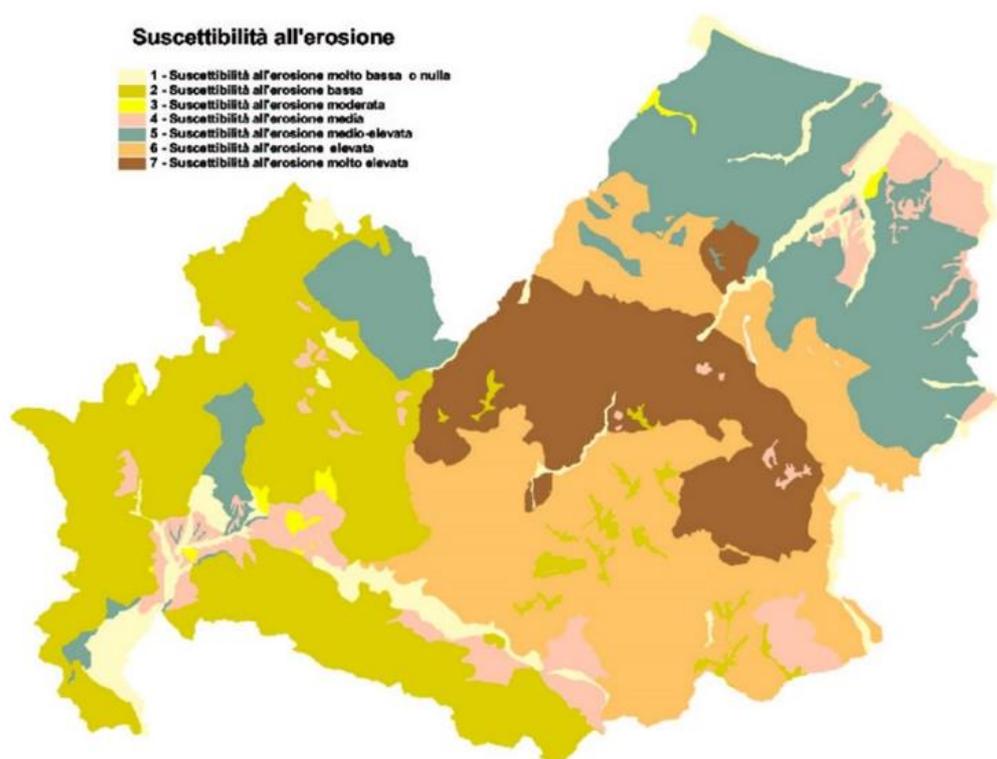


Figura 5-20. Classificazione dei suoli rispetto al fenomeno erosivo. (Fonte: Il contesto regionale del Molise, Università del Molise – INEA, 2014)

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 ( $t \cdot \text{km}^2 \cdot \text{anno}$ );

$P_1$  = 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.

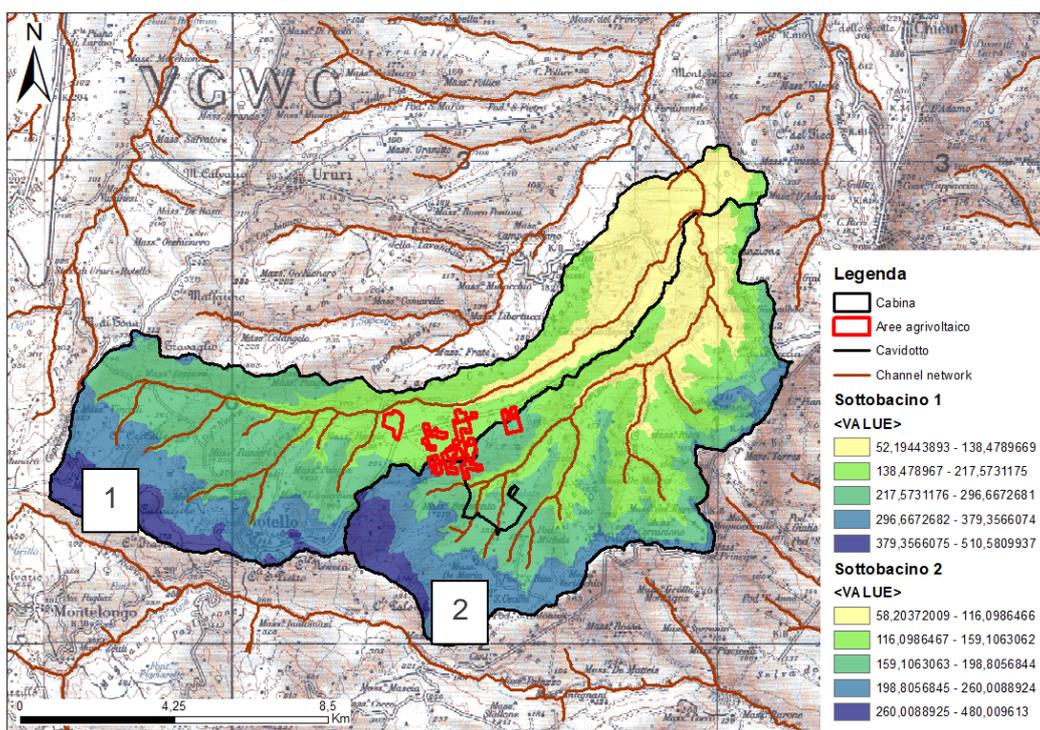


Figura 5-21. Elaborazione dei sottobacini di interesse, ove è stato applicato Fournier.

<b>EROSIONE secondo Fournier 1</b>	
P <sub>I</sub> – precipitazione del mese più piovoso (mm)	101
P – precipitazione media annuale (mm)	815
H – altitudine media del pendio (m s.l.m.)	232
a <sub>m</sub> – inclinazione media del pendio (°)	6
E – sedimento trascinato (t•km <sup>2</sup> •anno)	20,66
Superficie del bacino (km <sup>2</sup> )	37
<b>E<sub>t</sub> - erosione totale nel bacino (t•anno)</b>	<b>767,21</b>

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

<b>EROSIONE secondo Fournier 2</b>	
P <sub>I</sub> – precipitazione del mese più piovoso (mm)	101
P – precipitazione media annuale (mm)	815
H – altitudine media del pendio (m s.l.m.)	168
a <sub>m</sub> – inclinazione media del pendio (°)	6
E – sedimento trascinato (t•km <sup>2</sup> •anno)	20,32
Superficie del bacino (km <sup>2</sup> )	35
<b>E<sub>t</sub> - erosione totale nel bacino (t•anno)</b>	<b>716,02</b>

Tabella 5-3. Calcolo dell'erosione secondo Fournier.

Come si evince dalla Figura 5-21, l'erosione nel bacino dei due sottobacini del T. Saccione è verosimilmente elevata a monte, ove l'energia del rilievo è maggiore in quanto più esposta agli agenti esogeni.

## 6 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

I fiumi interamente molisani non superano la soglia dei 90 km di lunghezza e nascono quasi tutti dal Matese nell'occidente, per poi sfociare nelle coste adriatiche. Il fiume principale del Molise è il Biferno, il più lungo (85 km) e col bacino idrografico più grande della piccola regione. Nasce come quasi tutti i fiumi o torrenti molisani dal Matese e sfocia in un piccolo delta nell'Adriatico immettendogli detriti. Il Trigno è il secondo fiume per lunghezza del Molise (84 km) e anch'esso sfocia nell'Adriatico così come il Fortore altro piccolo fiume molisano sfociante nella parte Pugliese del mare interno del Mar Mediterraneo. Altro discorso lo meritano i fiumi che attraversano il Molise, ovvero che nascono e sfociano in altre regioni come il Sangro o il Volturno che è il più importante fiume del Mezzogiorno passante per un breve tratto in Molise. I pochi fiumi che attraversano la regione sono brevi e carattere torrentizio. Il principale è il Biferno, che è stato sbarrato da una diga per creare il lago artificiale di Guardialfiera, molto importante per la produzione di energia idroelettrica.

Il reticolo idrografico del Molise è caratterizzato da un pattern di tipo sub-dentritico, ad evidenza delle condizioni complessive medie di permeabilità dei terreni affioranti e dell'influenza variabile, ma complessivamente discreta, dei lineamenti tettonici e dei locali assetti geologico-strutturali sulla impostazione del drenaggio. I bacini idrografici dei fiumi maggiori a recapito adriatico, il Trigno, Biferno e Fortore, tagliano trasversalmente la catena appenninica.



Figura 6-1. Bacini idrografici del Molise. In rosso, l'area di indagine. (Fonte: Regione Molise - Piani di Gestione di 61 Siti della Rete Natura 2000).

Si rimanda alla Relazione Idrologica e Idrogeologica per un maggiore approfondimento.

## 7 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Le formazioni geologiche affioranti nella macro area di studio possono essere raggruppate su base idrogeologica, in funzione della loro permeabilità. Si possono quindi elencare i seguenti complessi idrogeologici:

1. Argille limose, argille ghiaioso-sabbiose con inclusioni ghiaiosi eterometrici o con sabbie riferibili a depositi eluvio-colluviali e conoidi di ambiente di versante e limi argillosi riferibili a depositi di piana alluvionale, di terrazzo fluviale e a depositi eluvio-colluviali e corpi di frana. Permeabilità medio-bassa ( $k=10^{-6}-10^{-8}$  m/s).
2. Ghiaie argillose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla riferibili a depositi di ambiente alluvionale, in particolare conoidi alluvionali e/o depositi di piana alluvionale. Ghiaie pulite con granulometria ben assortita e/o depositi di piana alluvionale. Ghiaie pulite con granulometria ben assortita e miscela di ghiaie e sabbie riferibili a depositi di piana alluvionale e, in particolare, al canale fluviale. Depositi conglomeratici e sabbiosi appartenenti a depositi continentali alluvionali, generalmente di piana braided riconducibili alle sequenze deposizionali continentali. Permeabilità medio alta ( $k=10^{-5}-10^{-3}$  m/s).
3. Formazione delle Argille di Montesecco, costituita da argille marnose di colore grigio-azzurro, con intercalazioni siltoso-sabbiose, Membro Argilloso della Formazione del Tona e Argille Varicolori. Permeabilità bassa nei livelli argillosi ( $k=10^{-9}$  m/s). possibile presenza di falde poco significative nei livelli sabbiosi.
4. Arenarie giallastre che si presentano in banchi di alcuni metri di spessore, riferibili al membro sabbioso-arenaceo della Formazione del Tona; gessi cristallini in facies selenitica, branching e laminati, con intercalati sottili livelli pelitici grigi di circa 30 cm di spessore, e calcari brecciati, riferibili alle Evaporiti messiniane. Permeabilità per fratturazione.
5. Alternanza di calcari, calcari marnosi e marne argillose, con intercalazioni arenacee e calciruditi torbiditiche, stratificati.

Il bacino idrografico del Torrente Saccione si colloca in corrispondenza del confine regionale con la Puglia, in un settore di territorio molisano di avanfossa Plio-pleistocenica della catena appenninica; l'intero bacino è estesamente caratterizzato da affioramenti di argille azzurre, sabbie limose e, sub ordinariamente da depositi terrazzati costituiti da ghiaia in matrice sabbioso-limosa.

Di seguito si riporta un elenco sintetico concernente le diverse tipologie di Complessi Idrogeologici individuabili nell'area di studio:

- Depositi prevalentemente sabbiosi e, subordinatamente, limoso-argillosi dei bacini fluvio-lacustri intermontani pleistocenici; sono sede di circolazione idrica sotterranea prevalentemente per travaso da acquiferi limitrofi nei confronti dei quali svolgono più spesso ruolo di limite di permeabilità.
- Depositi costituiti da argille ed argille siltose e sabbiose marine pliopleistoceniche. Rappresentano un limite di permeabilità a flusso nullo nei confronti del sovrastante complesso sabbioso-conglomeratico o di altri complessi acquiferi. Le rare emergenze spesso a regime variabile sono alimentate da falde di modesta potenzialità.

Si rimanda alla Relazione Idrologica e Idrogeologica per un maggiore approfondimento.

## 8 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Per meglio comprendere l'assetto geo-strutturale del territorio in studio sarà necessario riassumere a grandi linee la storia geologica di questa parte del Molise.

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 m.; 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.

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 rinvencono 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.

Nello specifico, la macro area “basso molisana” costituisce la catena a pieghe e sovrascorrimenti affiorante in Appennino centro-meridionale costituisce, nel suo insieme, un’entità alloctona, la quale è sovrascorsa su una successione di avampaese che risulta in continuità con quella in affioramento della Piattaforma Apula (MONSTARDINI & MERLI, 1986).

Le differenti unità tettoniche riconosciute sono tutte porzioni di un unico dominio paleogeografico, il Bacino Molisano, che verso Sud proseguiva nel Bacino Lagonegrese ed era limitato verso il Tirreno dalla piattaforma carbonatica del Matese e verso l’Adriatico dalla Piattaforma Apula.

L’analisi dell’evoluzione strutturale ha permesso di individuare quattro unità tettoniche che, dalla più alta alla più bassa, sono: Unità del Sannio, Unità di Tufillo, Unità di Agnone e Unità di Frosolone.

Il rapporto tettonico tra l’Unità del Sannio e le altre unità è per sovrapposizione tettonica mediante piani di accavallamento a basso angolo. Questo contatto tettonico a volte viene complicato ulteriormente da faglie ad alto angolo con componente cinematica orizzontale e obliqua.

Tra l’Unità di Agnone e l’Unità di Frosolone il contatto tettonico è complesso: sovrascorrimenti retrovergenti dell’Unità di Agnone sull’Unità di Frosolone e zone di taglio ad alto angolo, ad andamento WNW-ESE, con cinematiche oblique e trascorrenti.

La stessa cinematica deformativa transpressiva, con direzione circa N-S, interessa a SE anche il contatto tra l’Unità del Sannio e l’unità di Frosolone.

La successione stratigrafica dell’Unità del Sannio presenta alla base uno spesso pacco di argille varicolore superiori. Nella parte superiore di tale unità si registra l’arrivo di materiale marnoso e carbonatico che si depone con meccanismi di calane.

Dal punto di vista strutturale l’Unità del Sannio è un thrust-sheet che ricopre tutte le altre unità tettoniche. Al suo interno vi sono una serie di thrust di ordine secondario che raddoppiano una parte dell’unità strutturale. La vergenza tettonica è verso i quadranti settentrionali, ma sui bordi dell’unità strutturale la situazione tettonica è più complessa e le strutture subiscono disarticolazioni e rotazioni.

All’interno del thrust-sheet è possibile identificare due sistemi di faglie ad alto angolo trascorrenti e/o transpressive a direzione rispettivamente NE-SE e NW-SE. Il primo sistema, a cinematica trascorrente. È sempre geometricamente legato a piani di thrust che interrompe e disloca; si ritiene quindi che possa essere interpretato come un sistema di faglie di trasferimento, con importanza di ordine inferiore. Il secondo sistema si può rilevare nella parte SW del Foglio 393 Trivento, dove rappresenta una parte del contatto con l’Unità di Frosolone, e nell’area di Trivento, dove il contatto tra l’Unità del Sannio e l’Unità del Tufillo, originariamente di sovrapposizione per mezzo di piani di thrust, è stato rideformato da faglie transpressive. L’età di questo secondo evento tettonico è quindi sicuramente più giovane dell’evento di accavallamento e, per conoscenze geologiche regionali, si ritiene riferibile al Pliocene superiore-Pleistocene inferiore (DI BUCCI et al., 1999).

Tutte le unità tettoniche sono al loro interno variamente deformate per tettonica compressiva. Il livello stratigrafico interessato dai thrust è quello delle argille varicolore superiori che, per la loro composizione litologica e per i loro spessori originari, rappresentano in tutto l'Appennino centro-meridionale esterno il miglior livello di scollamento per le unità tettoniche derivate da un bacino pelagico.

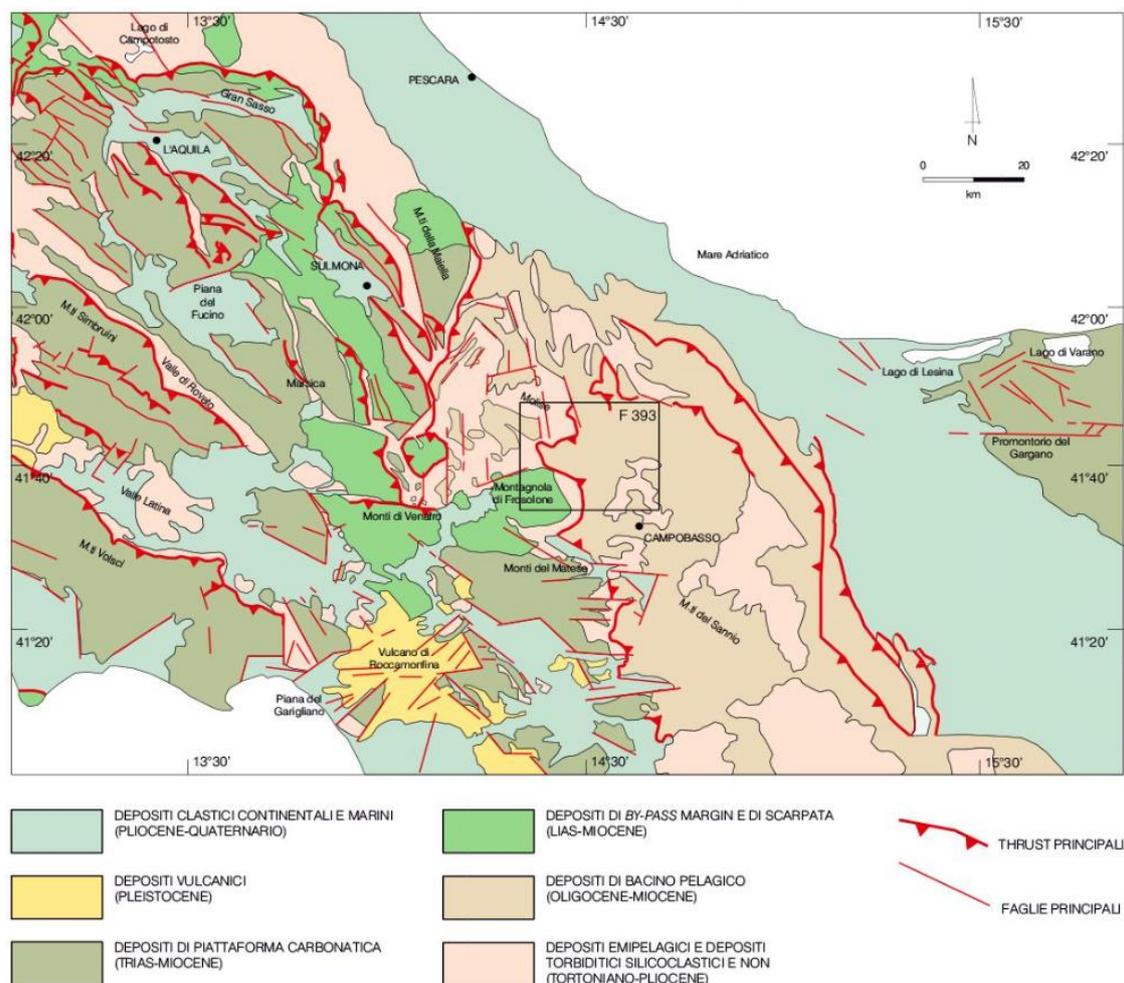


Figura 8-1. Schema tettonico-strutturale di una porzione dell'Appennino centro-meridionale. (Fonte: CARG 50.000 Foglio 393 - Trivento).

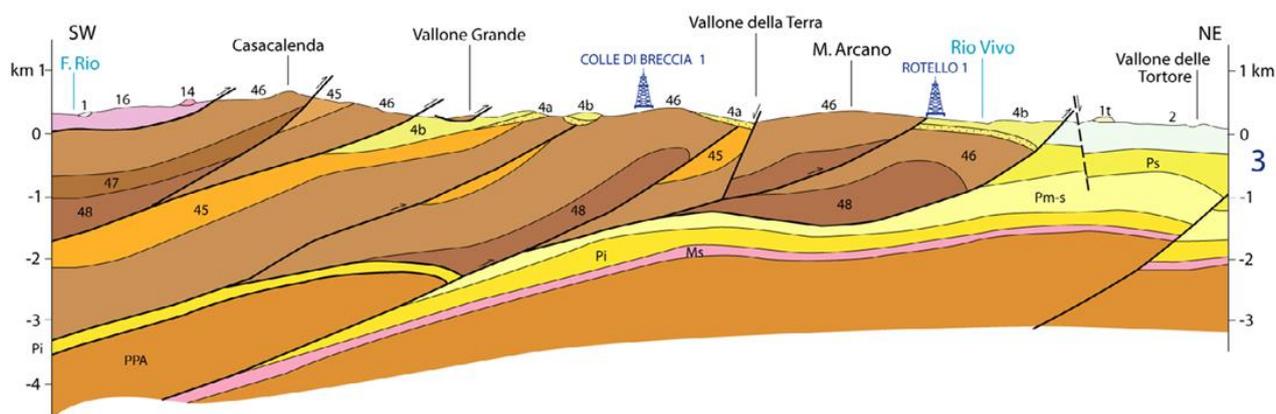
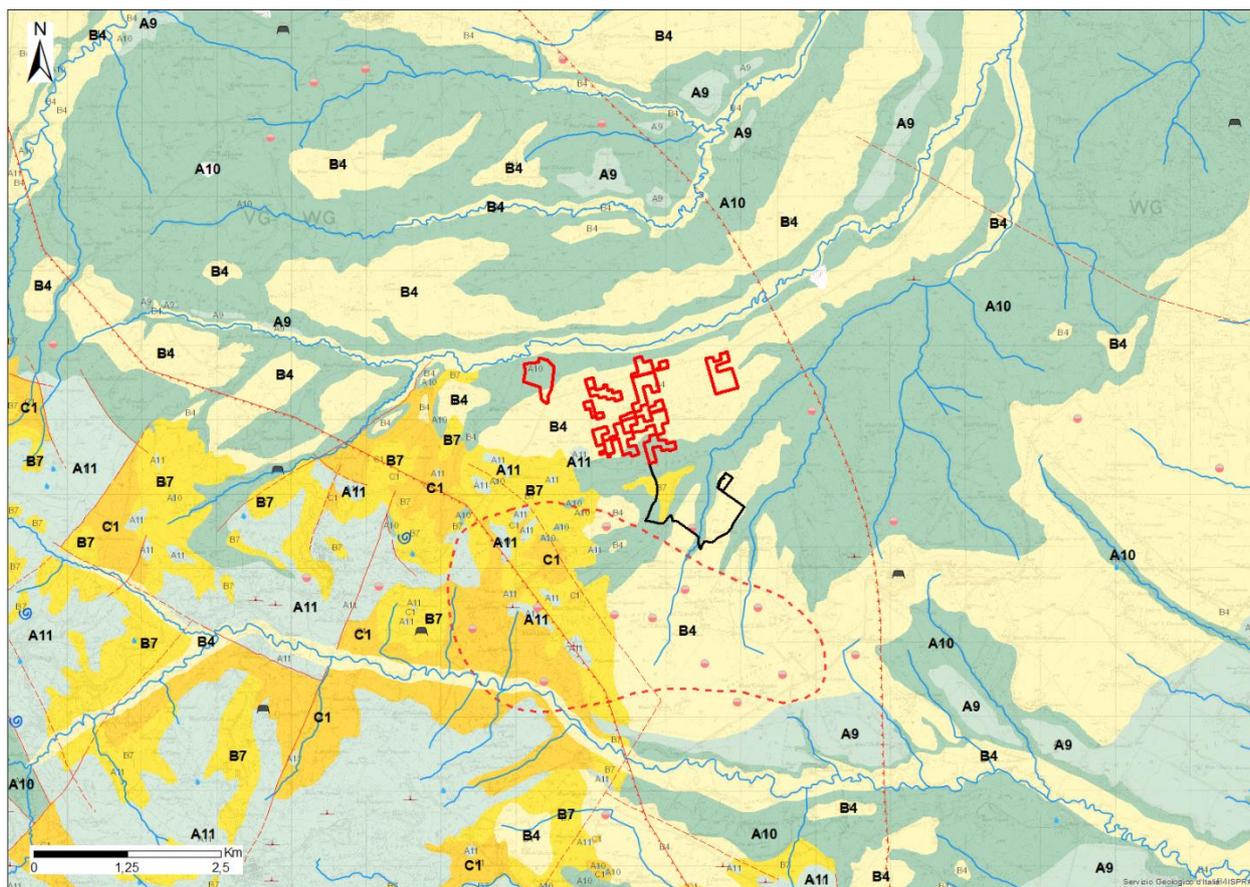


Figura 8-2. Sezione geologica schematica. 1: Depositi fluviali; 2: Depositi clastici; 4b: Argille marnose; 4a: Argille scagliose; 14: Gesso selenitico; 16: Argille scagliose sicilidi; 45: Formazione di Tufillo; 46-47-48: Flysh rosso; P<sub>s</sub> - pm-s - P<sub>i</sub>: argille marnose; Ms: Formazione gessoso-solfifera; PPA: Calcari a Nummuliti e calcareniti a Briozoi.



### LEGENDA

#### Elementi puntuali e lineari

- Località fossilifera
- Cava
- Pozzo per idrocarburi
- Sorgente
- Reticolo idrografico

#### Layout di progetto

- Aree agrivoltaico
- Cabina
- Cavidotto

#### Elementi strutturali

- Stratimetria
- Contatto tettonico
- Contatto tettonico presunto
- Sovrascorrimento
- Sovrascorrimento presunto
- Campo petrolifero e gessoso del Tona

#### LITOLOGIA

- |  |  |
|--|--|
| A9 Sabbie grssolane CALABIRIANO                                  | B4 Coperture fluvio-lacustri (terreni a granulometria mista) PLEISTOCENE |
| A10 Argille sabbiose (Complessi pelitico-arenacei) MIOCENE MEDIO | B7 Detrito di falda e frana (terreni a granulometria indefinita) OLOCENE |
| A11 Complesso flyscioide di calcareniti e breccie MIOCENE MEDIO  | C1 Calcarei detritici (argille caotiche) PALEOGENE                       |

Figura 8-3. Carta geologica della macro area di studio.

## 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 Delibera del Consiglio Regionale n. 194 del 20 settembre 2006 ha approvato la riclassificazione sismica del territorio regionale e l’aggiornamento dell’elenco delle zone sismiche – secondo i criteri generali contenuti nell’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 – nei termini della deliberazione propositiva della Giunta regionale n. 1171 del 2 agosto 2006.

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 è sede di una rilevante attività sismica con forti eventi caratterizzati da IMCS epicentrali anche maggiori di X grado MCS, anche se dal punto di vista sismotettonico non vi sono dati che indichino la presenza di uno o più sistemi di faglie sismogenetiche.

Dal punto di vista sismotettonico, la parte settentrionale dell'area di studio è limitrofa a uno dei sistemi sismogenetici più importanti dell'Appennino centro-meridionale: il sistema della Piana di Boiano (CORRADO et al., 2000). Questo sistema è associato ad una serie di bacini intramontani allineati in direzione NE-SE.

L'evoluzione di questi bacini, a partire almeno dal Pleistocene medio, è stata strettamente controllata dalla tettonica estensionale, responsabile di una struttura tettonica regionale a direzione appenninica ubicata tra Isernia e Morcone e caratterizzata, in superficie, da un insieme di segmenti di faglie in parte ereditari, con direzione E-W, e in particolare di neoformazione, con direzione NW-SE (COLTORTI & CREMASCHI, 1981; RUSSO & TERRIBILE, 1995; DI BUCCI et al., 1999; GUERRIERI et al., 199; CORRADO et al., 2000).

L'evento sismico del 1349 si presenta come una scossa complessa, in quanto mostra almeno due aree di massimo risentimento: l'area de l'Aquila e l'area di Cassino-Isernia (MOLIN, 1995). In particolare, nell'area isernina si sono raggiunte intensità del X grado (GUIDOBONI, 1989).

Il terremoto del 1456, anche questo noto per essere stato un terremoto complesso (MAGRI & MOLIN, 1983; MELETTI et al., 1988), ha avuto almeno tre aree di massimo risentimento in tutto l'Appennino centro-meridionale. L'ipotesi, sostenuta da entrambi gli studi citati, è che l'evento del 1456, con la sua lunghissima durata (5-6 minuti), sia stato composto da una serie di eventi, quasi contemporanei, associabili a strutture sismogenetiche diverse. Una delle tre aree di massimo risentimento si incentra, con direzione NW-SE, nella piana di Boiano. In particolare, l'area di risentimento di IX grado si estende con la stessa direzione appenninica da Morcone a Isernia, mentre le aree di risanamento di X grado sono in corrispondenza di Boiano, Macchiagodena e Isernia (MELETTI et al., 1988). Questo evento ha prodotto forti risentimenti con IMCS di IX grado nell'area di Limosano e Fossalto (MELETTI et al., 1988).

L'evento del 1805 ha un campo di danneggiamento macrosismico paragonabile per forma e estensione alla porzione centrale del campo macrosismico dell'evento del 1456 (MELETTI et al., 1988; ESPOSITO et al., 1987). In generale, il piano quotato segue la morfologia del bacino anche dove non sembrano rilevanti gli effetti di sito; questo suggerirebbe che l'area sorgente, in profondità, possa corrispondere, in grandi linee, al bacino di Boiano.

Il 6 giugno 1882 una scossa ha colpito invece le pendici settentrionali dei Monti del Matese. I massimi risentimenti sono testimoniati a Monteroduni (VIII grado) e Isernia (VII grado), mentre alcuni effetti sul terreno ("spaccature") si registrano a Castelpizzuto (BOSCHI et al., 1995). Questo è l'unico evento di una certa importanza che ha come area epicentrale la pian di Isernia.

L'evento del 1913 ha intensità epicentrale del VII-VIII grado (MOLIN & ROSSI, 1993). Gli autori osservano una buona sovrapposizione delle aree di danneggiamento di questo evento con quelle del 1293, del 1456 e del 1805.

Due sequenze sismiche hanno interessato recentemente l'area compresa tra Isernia e Morcone. La prima sequenza sismica, del gennaio 1986, con epicentro dell'evento principale nei pressi di Isernia, è caratterizzato da livelli di bassa energia ( $M_d = 4,0$ ) e meccanismo di rottura su piani orientati N-S ed E-W con cinematica trascorrente (ALESSIO et al., 1990). La seconda sequenza, del marzo 1997, ha come epicentro l'area di allineamento in direzione circa N-S e il meccanismo focale presenta una soluzione con un piano nodale orientato N-S e pendenza di  $90^\circ$ , con la parte occidentale ribassata (CHIARABBA et al., 1997).

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 Molise, 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 tre zone previste dalla nuova normativa.

MAPPA DI PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO REGIONALE

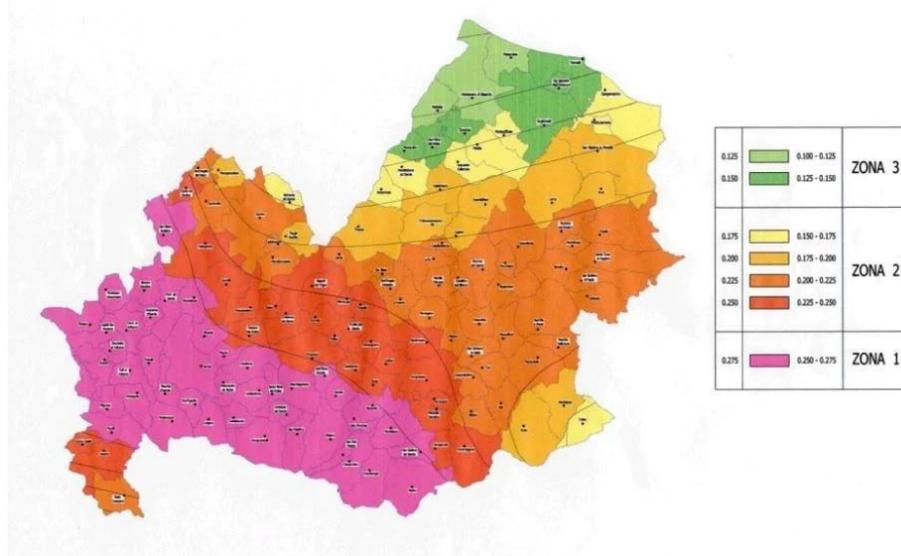


Figura 9-1. Mappa di classificazione sismica dei comuni molisani.

Di queste tre zone, le prime corrispondono dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74 alle zone di sismicità alta, media e bassa.

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 58, 59, 60 e 61.

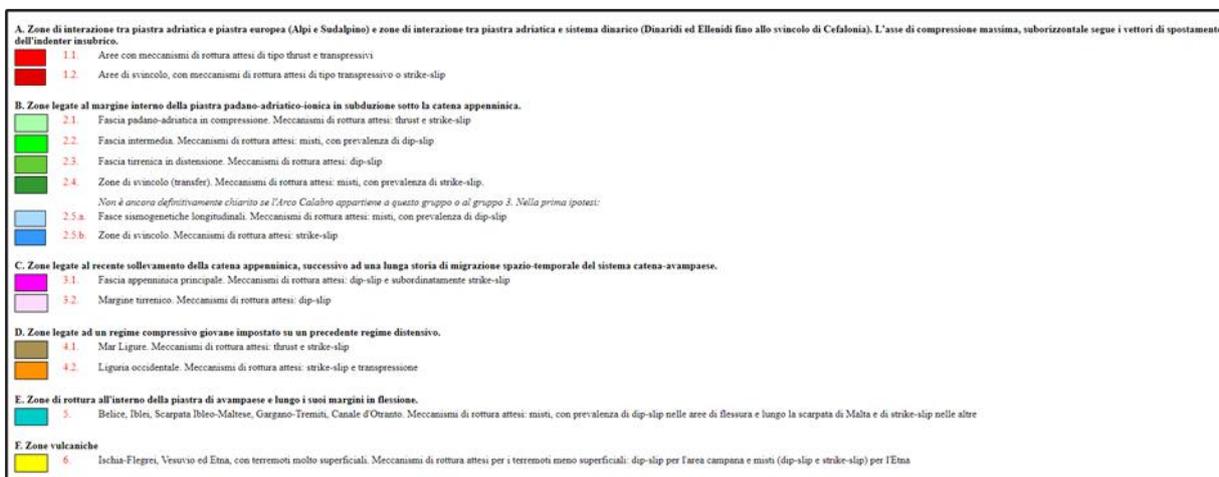
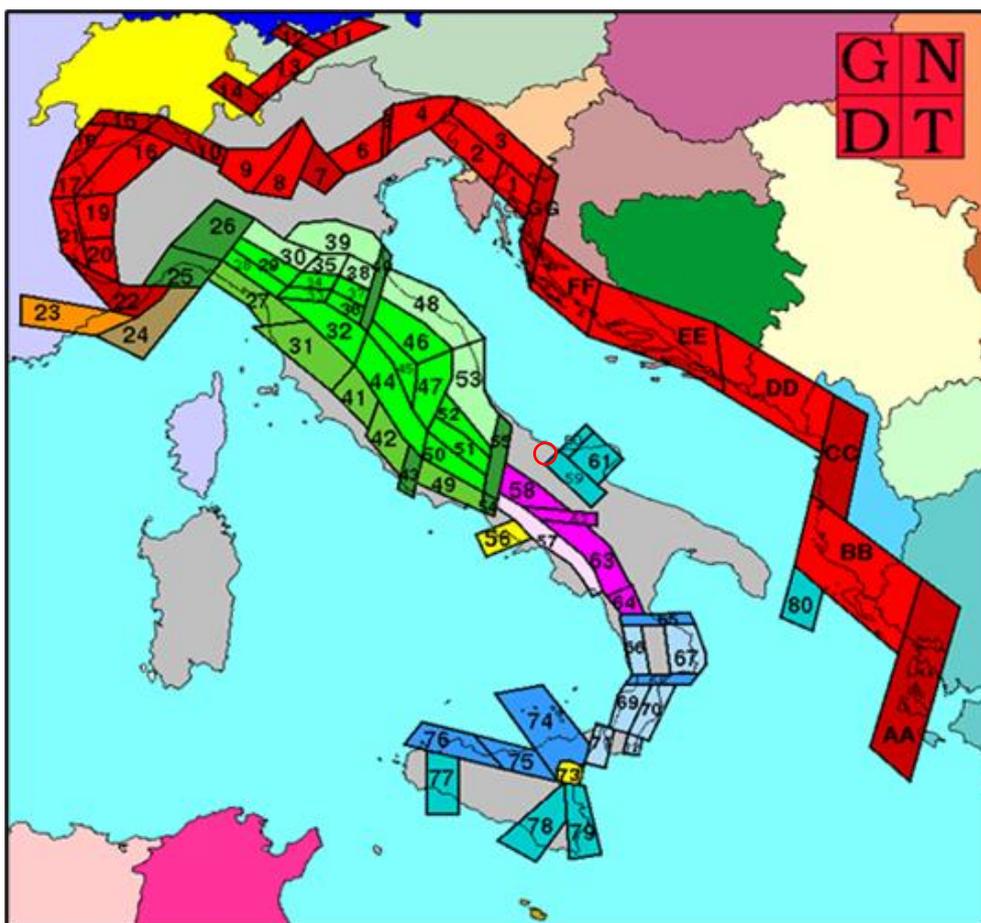


Figura 9-2. Zonazione sismogenetica ZS4 con relativa legenda. Cerchio rosso, l'area del basso Molise.

Zona "58":

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

Zona "59 – 61":

- Gargano-Tremiti;
- Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di strike- slip.

### Zona "55":

- Zona di svincolo
- Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di strike-slip.

Nella più recente zonazione ZS9 il territorio di Rotello ricade nella zona marginale della 924. 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.

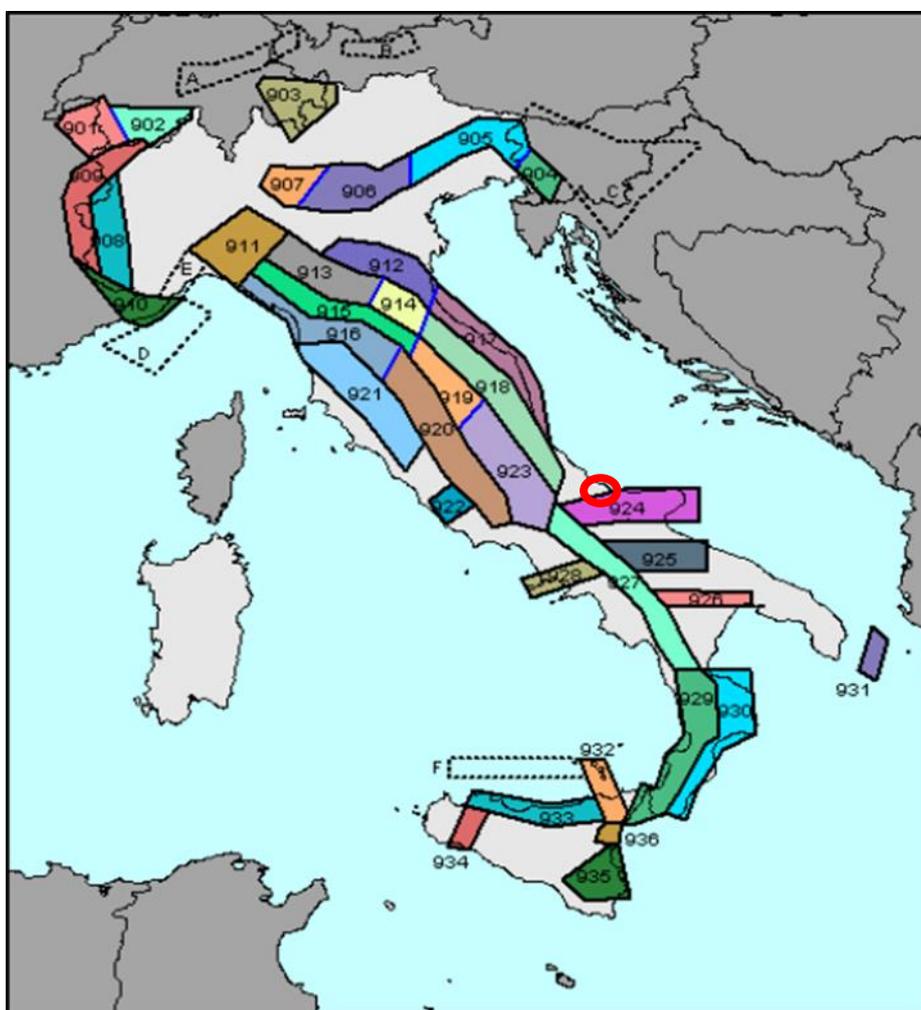


Figura 9-3. Zonizzazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica. Il colore delle zone non è significativo. In rosso, l'area del basso Molise.

Infine, REBEZ (2016) si basa su una zonazione sismotettonica che ha definito "ZS16" per segnare il patrimonio scientifico del modello ZS9 e le sue versioni precedenti, come ZS4. La zonazione è stata focalizzata su alcune analisi di sensibilità (REBEZ E SLEJKO, 2000; BARANI et al., 2007)

come parametri più influenti in uno studio di pericolosità sismica secondo l'approccio sismotettonico di probabilismo.

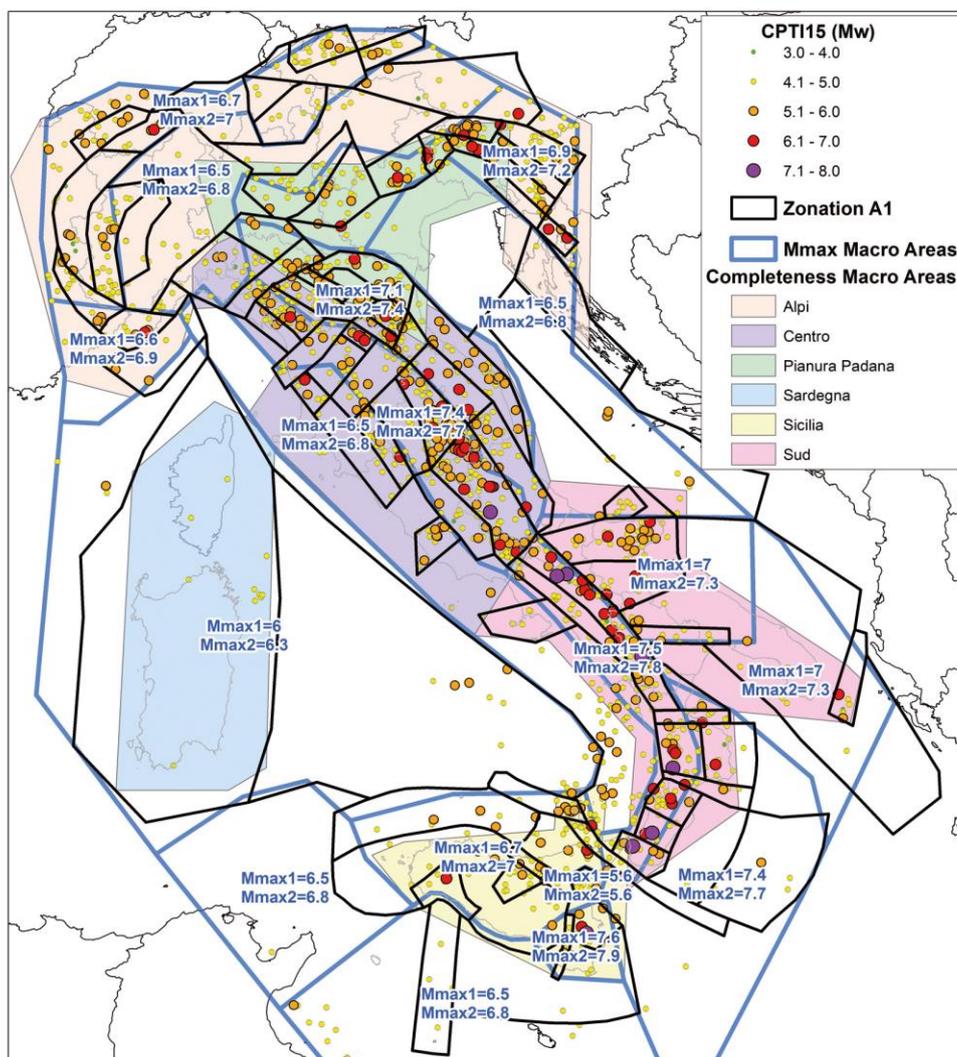


Figura 9-4. Zonizzazione sismogenetica ZS16. In nero la zonazione A1; in azzurro le macroaree M<sub>max</sub>; in colore pastello riempiono le macroaree di completezza e la distribuzione areale CPTI15.

La causa dei fenomeni sismici dell'area risiede nelle dinamiche che hanno generato gli Appennini, dinamiche tutt'oggi attive. Durante l'Oligocene, ossia circa 34 ÷ 23 milioni di anni fa, l'attuale Mare Adriatico era costituito da un bacino di mare poco profondo che ospitava una serie di piccole isole calcaree, paragonabili a quelle dell'attuale Dalmazia. Ad ovest di questa placca vi era uno stretto corridoio marino più profondo (Bacino Lagonegrese-Molisano) che nel Miocene ha attivato nel Mediterraneo Occidentale delle dorsali che hanno poi portato alla separazione della Sardegna e della Corsica dal continente.

Oggi, l'orogenesi ha ormai interessato anche il Bacino Lagonegrese-Molisano, del quale si rivengono soltanto dei sedimenti argillosi di mare profondo. Esso è andato a ricoprire la parte più occidentale della Piattaforma Apula, che è andata così a costituire l'area di avanfossa dell'Appennino meridionale, un'area ad elevata subsidenza parallela al fronte lungo il quale avanza la catena montuosa. Questa zona è soggetta a tensioni dovute alle spinte dell'Appennino che generano una serie di faglie causa della sismicità.

Durante il Pliocene, ossia 5 ÷ 2 milioni di anni fa, il mare tornò a ricoprire parte della Piattaforma Apula, in particolare l'area più occidentale, che costituisce l'attuale Fossa Bradanica. In questo periodo si depositarono i sedimenti di origine continentale che si rinvencono attualmente, formati dallo smantellamento da parte degli atmosferici della neonata catena appenninica e trasportati dai corsi d'acqua. Quando poi questi territori sono emersi, i fiumi che li hanno percorsi hanno formato le attuali valli. I sismi che si registrano interessano una zona non lontana dall'area di avanfossa, che risente maggiormente delle tensioni causate dall'orogenesi appenninica.

Di seguito la storia sismica di Rotello, elaborata sulla base dei dati INGV – DBMI15 relativi al Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani.

### Rotello



PlaceID	IT_58790
Coordinate (lat, lon)	41.749, 15.004
Comune (ISTAT 2015)	Rotello
Provincia	Campobasso
Regione	Molise
Numero di eventi riportati	21

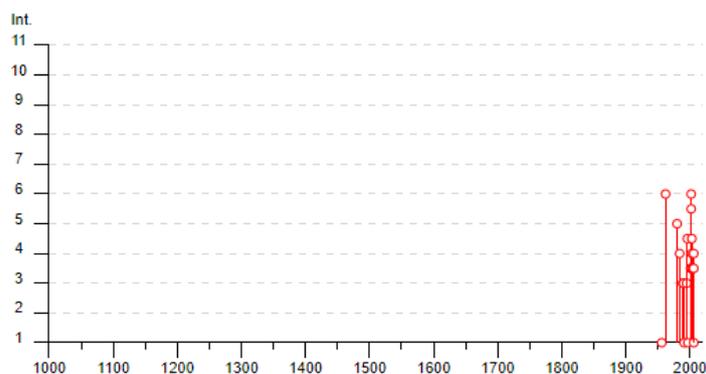


Figura 9-5. Istogramma degli eventi sismici.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1956	09	22	03	19	3	Gargano	57	6	4.64
6	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
5	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
3	1989	03	11	21	05		Gargano	61	5	4.34
3	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
NF	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
3	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6	5.15
4-5	1996	11	10	23	23	1	Tavoliere delle Puglie	55	5-6	4.35
NF	1997	03	19	23	10	5	Sannio-Matese	284	6	4.52
3-4	2001	07	02	10	04	4	Tavoliere delle Puglie	60	5	4.26
6	2002	10	31	10	32	5	Molise	51	7-8	5.74
5-6	2002	11	12	09	27	4	Molise	174	5-6	4.57
3-4	2003	01	27	04	03	4	Molise	60	5	3.84
3-4	2003	04	28	20	12	3	Molise	33	4-5	3.64
4-5	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
4	2003	12	30	05	31	3	Molise	326	4-5	4.53
3-4	2005	03	01	05	41	3	Molise	136	4	3.68
4	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64
NF	2006	10	04	17	34	2	Adriatico centrale	98	4-5	4.30
3-4	2006	12	10	11	03	4	Adriatico centrale	54		4.48

Tabella 9-1. Storia sismica di Rotello. (Fonte: INGV - DBMI04, Database osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani).

Dove:

Int: Intensità al sito (MCS);  
 Ye/Mo/Da/Ho/Mi/Se: Anno-Mese-Giorno-Ora-Minuti- Secondi;  
 Epicentral Area: Denominazione dell'area dei maggiori effetti;  
 Io: Intensità massima (MCS);  
 Mw: Magnitudo momento.

Il DISS è uno strumento ideato per censire le sorgenti sismogenetiche, ovvero le faglie in grado di generare forti terremoti che esistono su uno specifico territorio, esplorandone le dimensioni, la geometria e il comportamento atteso, espresso dallo slip rate e dalla magnitudo degli eventi più forti che tali faglie possono generare.

Dal punto di vista sismogenetico, il territorio di Rotello è sito ad una distanza prossima di una importante sorgente denominata, nel DISS (Database of Seismogenic Sources), Ripabottoni - San Severo, orientata circa Ovest-Est con andamento quasi verticale. Tale struttura risulta attiva fino alla profondità di 20-25 km.

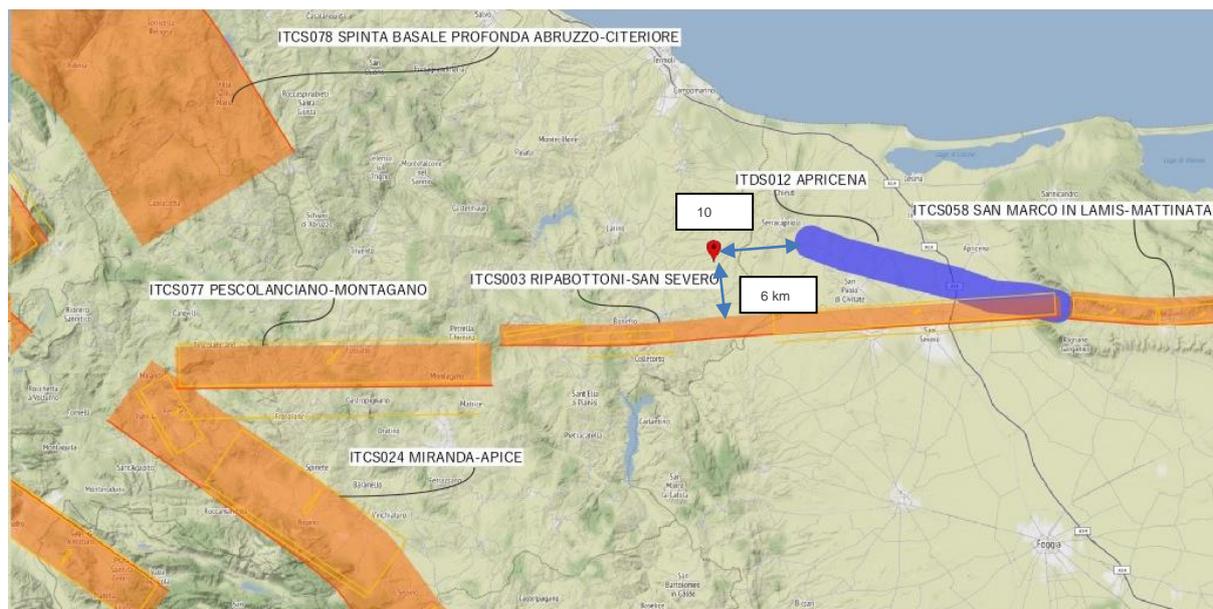


Figura 9-6. Stralcio del Database of Individual Seismogenic Sources per terremoti  $M > 5.5$ . Le Composite Seismogenetic Sources sono state evidenziate con i loro Id. In rosso, è stata evidenziato il sito oggetto di studio.

Nelle indagini macrosismiche gli effetti subiti da un singolo edificio da soli non sono statisticamente significativi per valutare l'impatto di un terremoto su una determinata località. L'intensità macrosismica, infatti, per come è stata concepita fin dai tempi di Giuseppe Mercalli (1850-1914) vuole rappresentare una misura dello scuotimento del suolo che ha coinvolto una determinata località nel suo complesso; perciò, per assegnare un valore scientificamente utile va sempre considerato l'edificato di una località nel suo insieme.

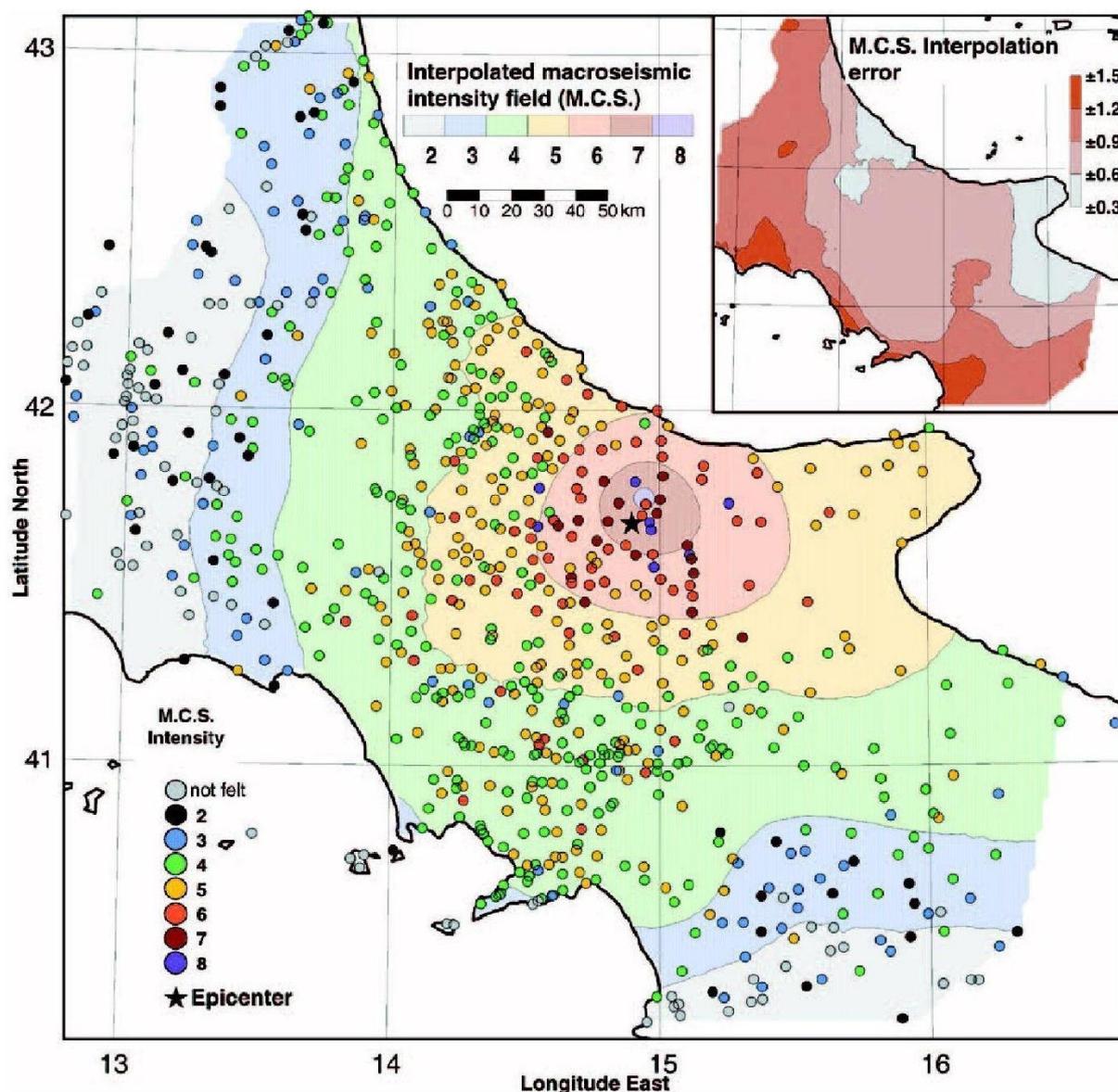


Figura 9-7. Rappresentazione dei dati di intensità macrosismica e ricostruzione del campo del terremoto del 31 ottobre 2002, magnitudo  $M_L$  5.4. I valori di intensità originali sono disegnati con cerchi colorati (scala MCS), il campo interpolato è riprodotto con contorni sfumati. L'errore di stima viene visualizzato all'interno della cornice nell'angolo in alto a destra. (da De Rubeis et al. 2005).

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.

Il catalogo ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) - Catalogo delle faglie capaci in Italia 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.

L'importanza di valutare la pericolosità in termini di ground rupture viene indicata anche nell'Eurocodice 8.

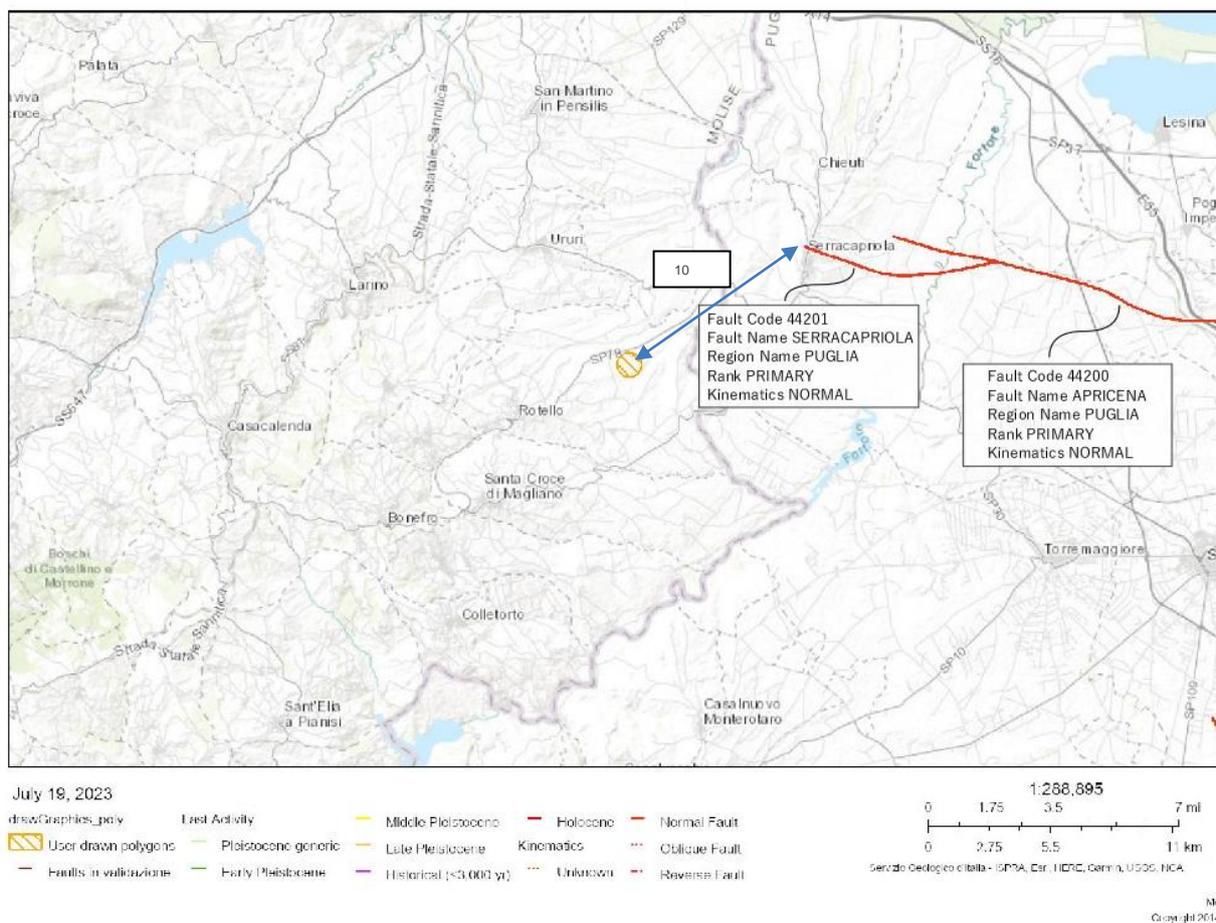


Figura 9-8. Mappa delle faglie capaci che potrebbero recare pericolosità alle zone dell'area di studio (cerchio arancione).

## 9.2 Classificazione sismica dell'area

Attualmente le nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni, emanate con il D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, 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	$a_g \leq 0.05$

Tabella 9-2. 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 Rotello ricade in "Zona sismica 2", ritenuta a media sismicità e che può essere soggetta a scuotimenti modesti.

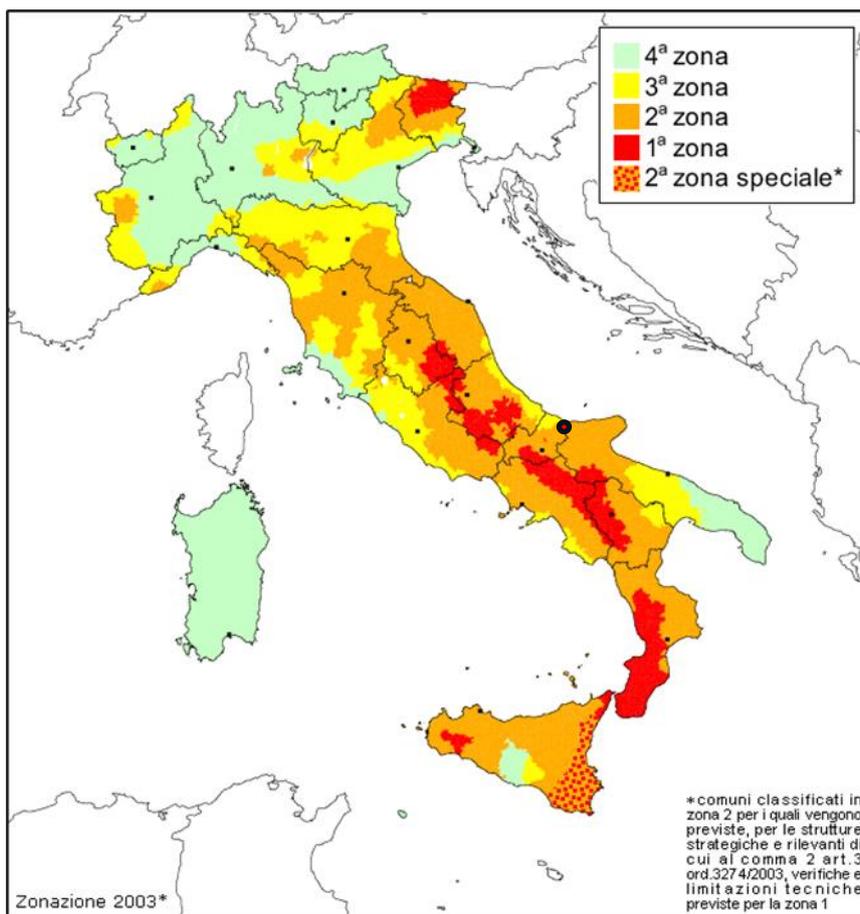


Figura 9-9. Zonizzazione Sismica (O.P.C.M. 3274/2004). Il punto, indica l'area di indagine.

Sulla base degli elaborati dell'OPCM n.3519/06, si rileva che l'area in esame è interessata da valori di  $a_g$  pari a  $0,150 \div 0,175$ .

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.

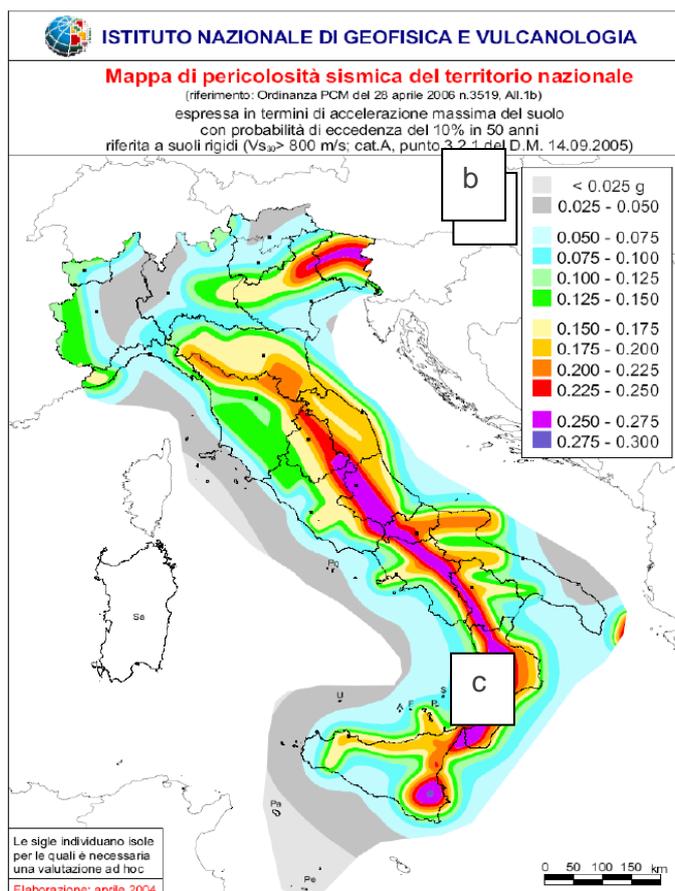
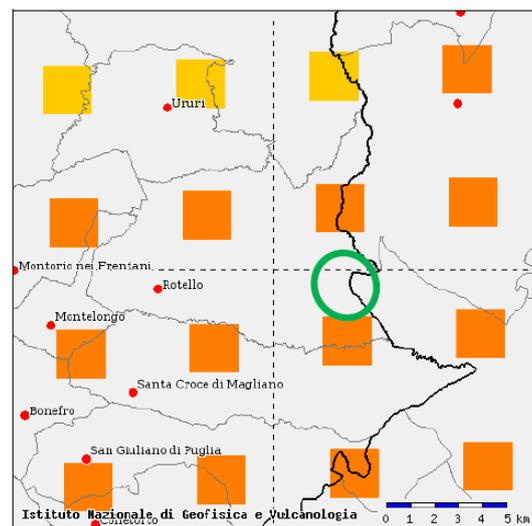
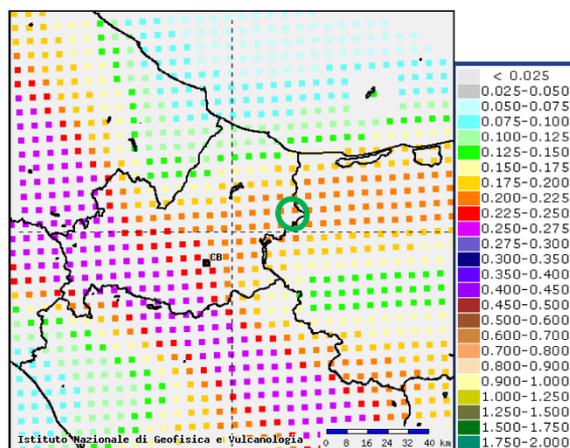


Figura 9-10. a) Mappa di pericolosità sismica (INGV, 2004); b) Mappa di pericolosità sismica (punti di griglia: parametri dello scuotimento  $a_g$ ; probabilità di superamento del 10% in 50 anni; percentile 50); c) Particolare - mappa di pericolosità sismica. (Fonte: INGV)

Per la stima della magnitudo caratteristica dall'area in esame si è fatto ricorso ai dati e alla tabella di disaggregazione della pericolosità sismica, per il nodo della griglia INGV-2004 prossimo all'area in esame.

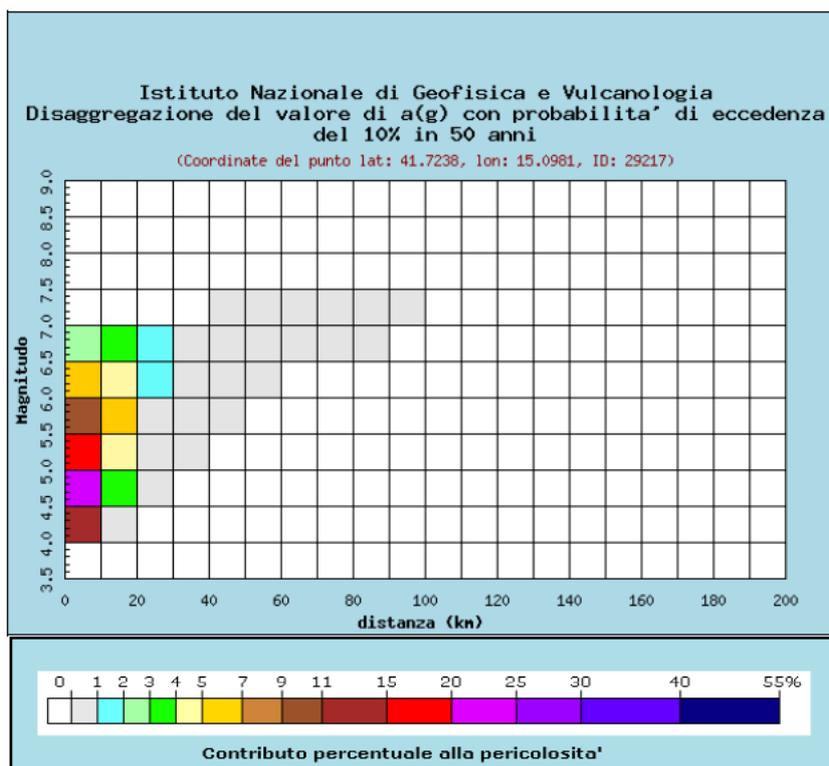


Figura 9-11. Dati di disaggregazione relativi all'area di impianto.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 41.7238, lon: 15.0981, ID: 29217)										
	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	0.000	11.100	24.700	17.900	10.900	5.660	2.560	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.571	3.090	4.980	5.400	4.550	3.090	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.007	0.318	0.862	1.140	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.228	0.313	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.062	0.243	0.187	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.262	0.335	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.226	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.105	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.340	8.430	0.939

Tabella 9-3. Tabella di disaggregazione relativi all'area dell'impianto.

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%

Tabella 9-4. 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 ( $V_{S,eq}$ ).

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

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} = 294.52 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ (Rotello nord); } 319.27 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ (Rotello sud)}$$

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;

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

Nelle citate Norme Tecniche 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) Depositati 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.

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 "C".

In riferimento alla categoria topografica, l'area in esame è ubicata in corrispondenza di una superficie pianeggiante e pertanto è classificabile come "T1", corrispondente ad un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  pari a 1,0.

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 $i > 30^\circ$

Tabella 9-5: Categoria topografica in funzione dell'inclinazione della superficie (Fonte: NTC, 2018).

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

Tabella 9-6: Categoria topografica in funzione dell'ubicazione dell'opera (Fonte: NTC, 2018).

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 dell'Ing. Roberto di Girolamo.

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 I, con  $C_U = 0,7$  (circa corrispondente alla classe di importanza di EC8) e la vita utile dell'opera pari a 30 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

Tabella 9-7: Tipologia delle costruzioni e relativi valori minimo di  $V_N$  (Fonte: 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  $C_U$ :

$$V_R = V_N \times C_U = 21$$

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

Tabella 9-8: Classe d'uso e relativi coefficienti  $C_U$  (Fonte: 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 al., 1999) è una tecnica di indagine che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs 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.

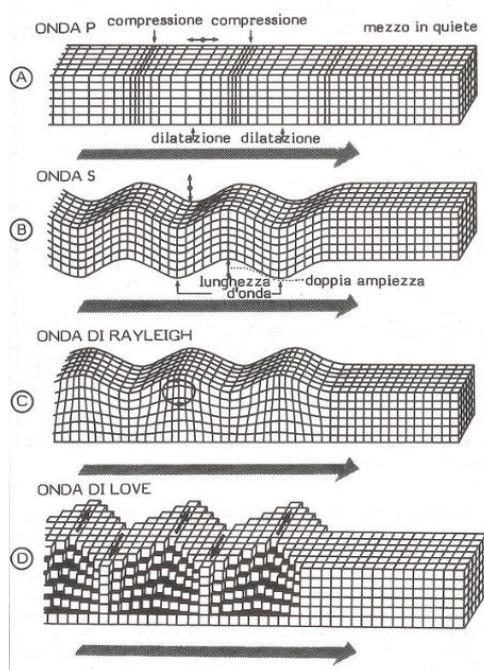


Figura 9-12. Tipi di onde.

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 rigidità 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 rigidità 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 della $V_{s,eq}$

Per rispondere alle recenti norme emanate in materia è stata eseguita una indagine sismica di analisi spettrale delle onde superficiali con tecnica M.A.S.W., 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 ( $V_s$ ).

L'apparecchiatura utilizzata, sismometro DoReMi della SARA electronic instruments s.r.l., si compone delle seguenti parti:

- Sistema sorgente;
- Sistema di ricezione;

– Sistema di acquisizione dati.

Le indagini sono state eseguite con il sismografo DoReMi della SARA electronic instruments s.r.l. Esso è uno strumento innovativo che distribuisce lungo il cavo di stendimento l'elettronica necessaria alla registrazione del segnale sismico. Questa architettura offre molteplici benefici rendendo il sistema estremamente vantaggioso da usare in ogni condizione operativa.

No. of Bits	Technical Features	
	16 (96dB dynamic range)	24 (144dB dynamic range)
A/D Converter Type:	SAR	SIGMA DELTA
Converter Input Span:	5 V	5 V
S/N Ratio @ 500 SPS	96 dB (@ 27dB gain)	140 dB
S/N Ratio @ 5000 SPS	94 dB (@ 27dB gain)	130 dB
S/N Ratio @ 20000 SPS	92 dB (@ 27dB gain)	105 dB
Input Type:	Unipolar Differential	Unipolar Differential
Input Impedance:	> 100 kΩ	20 kΩ
Common Mode Rejection:	> 80 dB	> 80 dB
Low Pass Filter:	2-200 Hz	DC-400 Hz
Filtri (IIR o 0 Phase):	Low pass, High pass, notch and customizable	Low pass, High pass, notch and customizable
Max Sampling Lag Between Ch.:	<30 ppm	<30 ppm
Max Error Between Trigger Ch.:	< 0.2 us	< 0.2 us
Ch. Memory:	64000 bytes	128000 bytes
Maximum Samples:	30000	40000
Sampling Rates:	200 Hz to 50000 Hz	200 Hz to 20000 Hz
Maximum Connectable Channels:	255	255
Power Consumption:	≈ 0.3 W per Ch.	≈ 0.3 W per Ch.
Instrument Chain Max Length:	1000 m	1000 m
Recommended Geophones:	4.5 Hz High Gain 80 V/m/s	4.5 Hz High Gain 80 V/m/s
Diagnosis:	Memory Status (OK / Fault)	Memory Status (OK / Vdc)
Baud Rate:	115200 baud, N, 8,1	115200/230400, N, 8,1
BUS Communication:	USB	USB
File format:	.drm, SEG-2, SEY-Y, .saf, .csv	.drm, SEG-2, SEY-Y, .saf, .csv

Figura 9-13. Caratteristiche tecniche della strumentazione.



Figura 9-14. Foto dello stendimento. A sinistra, Rotello Nord; a destra, Rotello Sud.

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:

- Viene preparato il sistema di acquisizione dei dati;
  - I ricevitori vengono collocati ad asse verticale, simmetricamente rispetto alla verticale di indagine e a breve distanza ( $X = 5\text{m}$ ).
- Viene attivata la sorgente, allineata e da una parte rispetto ai ricevitori, e ad una distanza (-5 m, -10 m, -15 m per un estremo esterno dello stendimento) pari a quella esistente tra i ricevitori;
- 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;
  - La sorgente viene spostata in posizione diametralmente opposta rispetto ai ricevitori, che invece rimangono fissi (inversione della sorgente), e la prova viene ripetuta ( $X = 5\text{ m}, 10\text{ m}, 15\text{ m}$  per l'altro estremo esterno dello stendimento).

Il segnale sismico, acquisito in formato SEG-2, viene elaborato attraverso l'utilizzo di specifici programmi (Easy MASW della GEOSTRU), operando attraverso le seguenti fasi:

- Visualizzazione e filtraggio della registrazione;
- Estrazione e visualizzazione della curva di dispersione;
- Picking della curva di dispersione del modo fondamentale ed eventuali modi superiori;
- Calcolo del profilo (1D) di velocità delle onde di taglio  $V_s$  con la profondità.

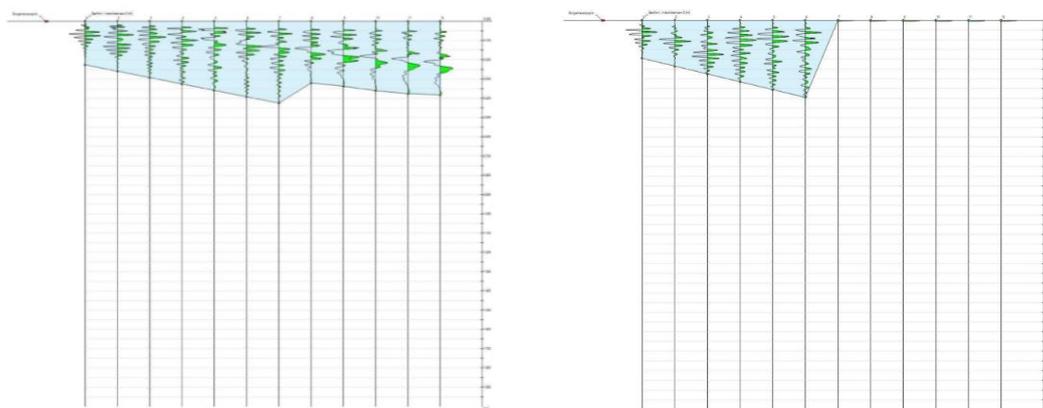


Figura 9-15. Registrazione in forma digitale delle forme d'onda. A sinistra, Rotello Nord; a destra, Rotello Sud.

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 (0.020 % e 0.065 %, rispettivamente per Rotello Nord e Rotello Sud).

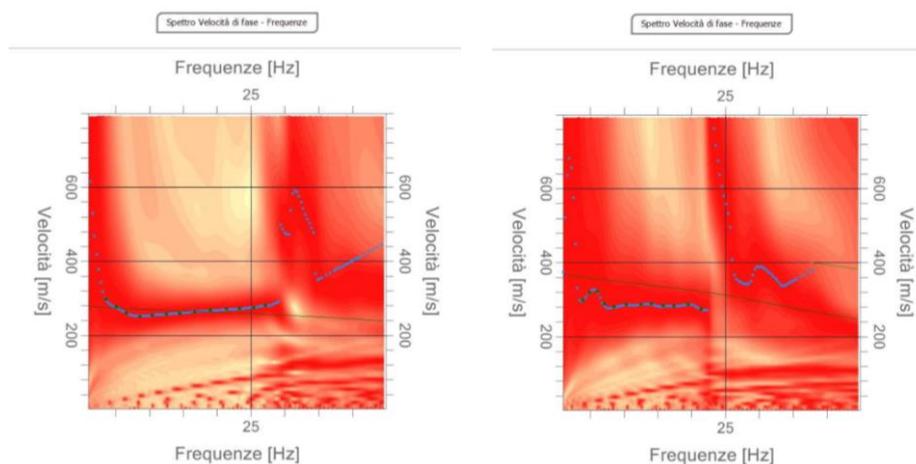


Figura 9-16. Curve di dispersione sperimentali. A sinistra, Rotello Nord; a destra, Rotello Sud.

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. Di seguito si riportano i profili di velocità delle  $V_s$ .

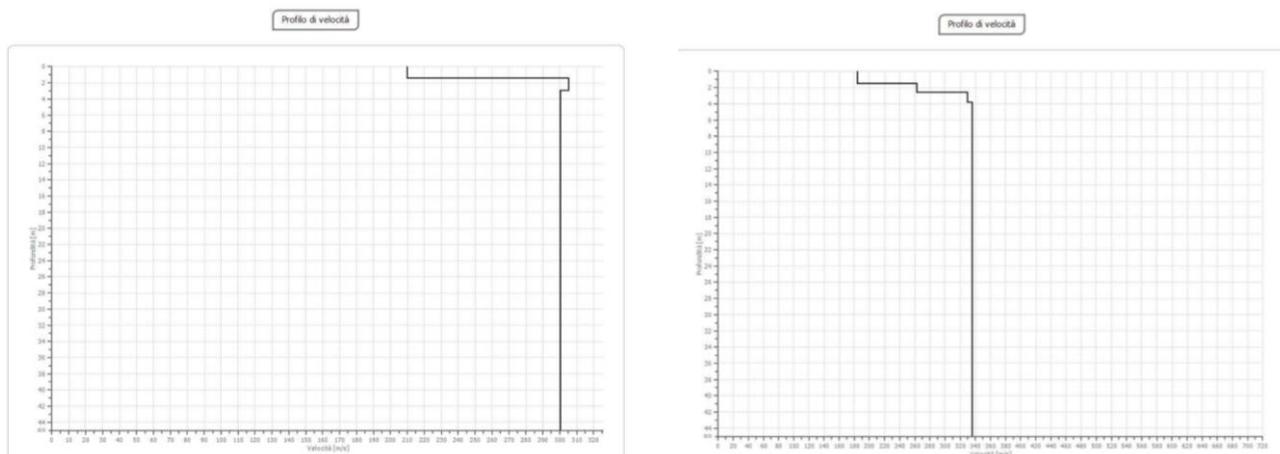


Figura 9-17. Profili di velocità delle  $V_s$ . A sinistra, Rotello Nord; a destra, Rotello Sud.

## 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 penetrometrica 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.

### 10.1.1 Esecuzione delle prove penetrometriche

L'indagine penetrometrica è stata eseguita, a cura del laboratorio Geosveva dell'Ing. Luigi Di Carlo di Lucera (FG), con l'ausilio di un penetrometro dinamico SUNDA DL30.

L'indagine, eseguita in data 13/06/2023, è consistita nella realizzazione di quattro prove denominate P1, P2 e P3 entro l'area d'interesse progettuale, in corrispondenza delle coordinate riportate in seguente (Sistema di riferimento UTM WGS84).



ID indagine	Latitudine	Longitudine
P1	41°46'24.88"	15°3'59.94"
P2	41°46'12.52"	15°3'29.25"
P3	41°45'49.33"	15°3'1.36"

Figura 10-1. Corografia con le 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, a recupero per tutte le prove) mette in evidenza la presenza di materiale coesivo fino a circa 1 m (P1), 3,1 m (P2) e 2,3 (P3) m dal p. c., sciolto; tutte le prove sono state interrotte per "rifiuto". Durante l'estrazione delle aste sembra non sia stata riscontrata la presenza di alcuna falda acquifera (aste asciutte e sostanzialmente pulite).

Nelle Tabelle sottostanti 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 Dynamic Probing (versione 2017.25.5.699), in possesso dello scrivente, prodotto e commercializzato dalla Geostru Software.

Nel prosieguo dell'esposizione è riportata una serie di tabelle che rappresentano il risultato della interpretazione effettuata mediante l'utilizzo degli abachi ritenuti più appropriati alla situazione litostratigrafica ipotizzata.



Figura 10-2. Postazione penetrometria P1.



Figura 10-3. Postazione penetrometria P2.



Figura 10-4. Postazione penetrometria P3.

P1	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	0.2	1	Coesivo	14.51	18.04	---	15.59	1.18	0.00	---	---
	2	0.7	3	Coesivo	15.98	18.24	---	52.76	3.18	1.38	---	---
	3	1	15	Coesivo	20.3	22.36	---	197.41	15.18	14.92	---	---
4	1.1	Rifiuto – infissione non nota										

Tabella 10-1. 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	0.4	2	Coesivo	15.3	18.14	---	28.83	2.18	0.25	---	---
	2	1	4	Coesivo	16.67	18.34	---	60.31	4.18	2.51	---	---
	3	2.9	12	Coesivo	19.81	21.77	---	151.51	12.18	11.53	---	---
	4	3.1	31	Coesivo	21.38	23.54	---	377.07	31.18	32.96	---	---
5	3.2	Rifiuto – infissione non nota										

Tabella 10-2. Sintesi dei parametri geotecnici per la penetrometria P2.

P3	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)
	0.3	1	Coesivo	14.51	18.04	---	24.61	1.18	-0.87	---	---	0.3
	0.8	6	Coesivo	17.75	18.53	---	81	6.18	4.77	---	---	0.8
	1.8	3	Coesivo	15.98	18.24	---	50.11	3.18	1.38	---	---	1.8
	2.3	10	Coesivo	19.32	21.28	---	130.53	10.18	9.28	---	---	2.3
2.4	2.3	Rifiuto – infissione non nota										

Tabella 10-3. Sintesi dei parametri geotecnici per la penetrometria P3.

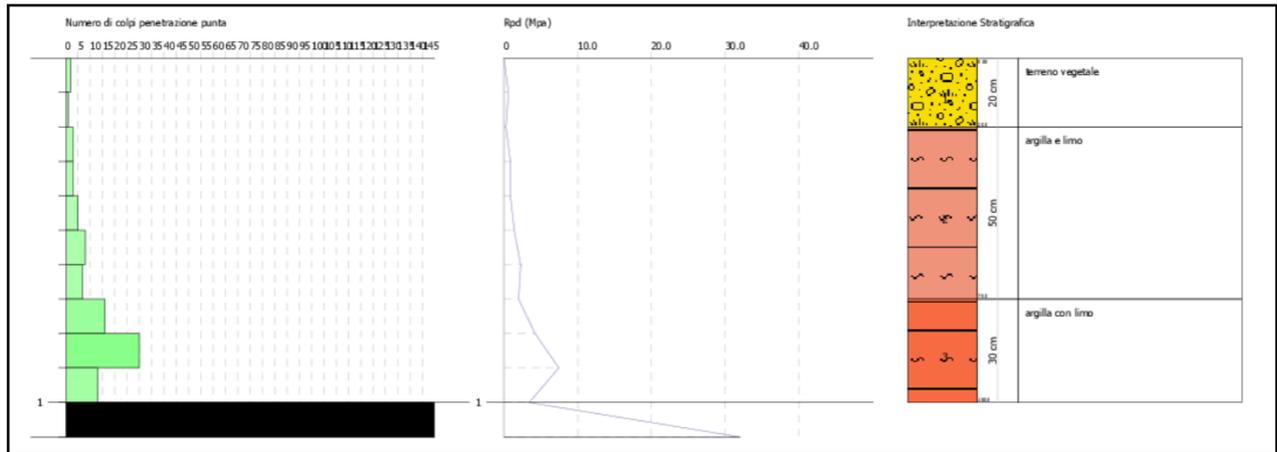


Figura 10-5. Elaborazione indagine penetrometrica P1.

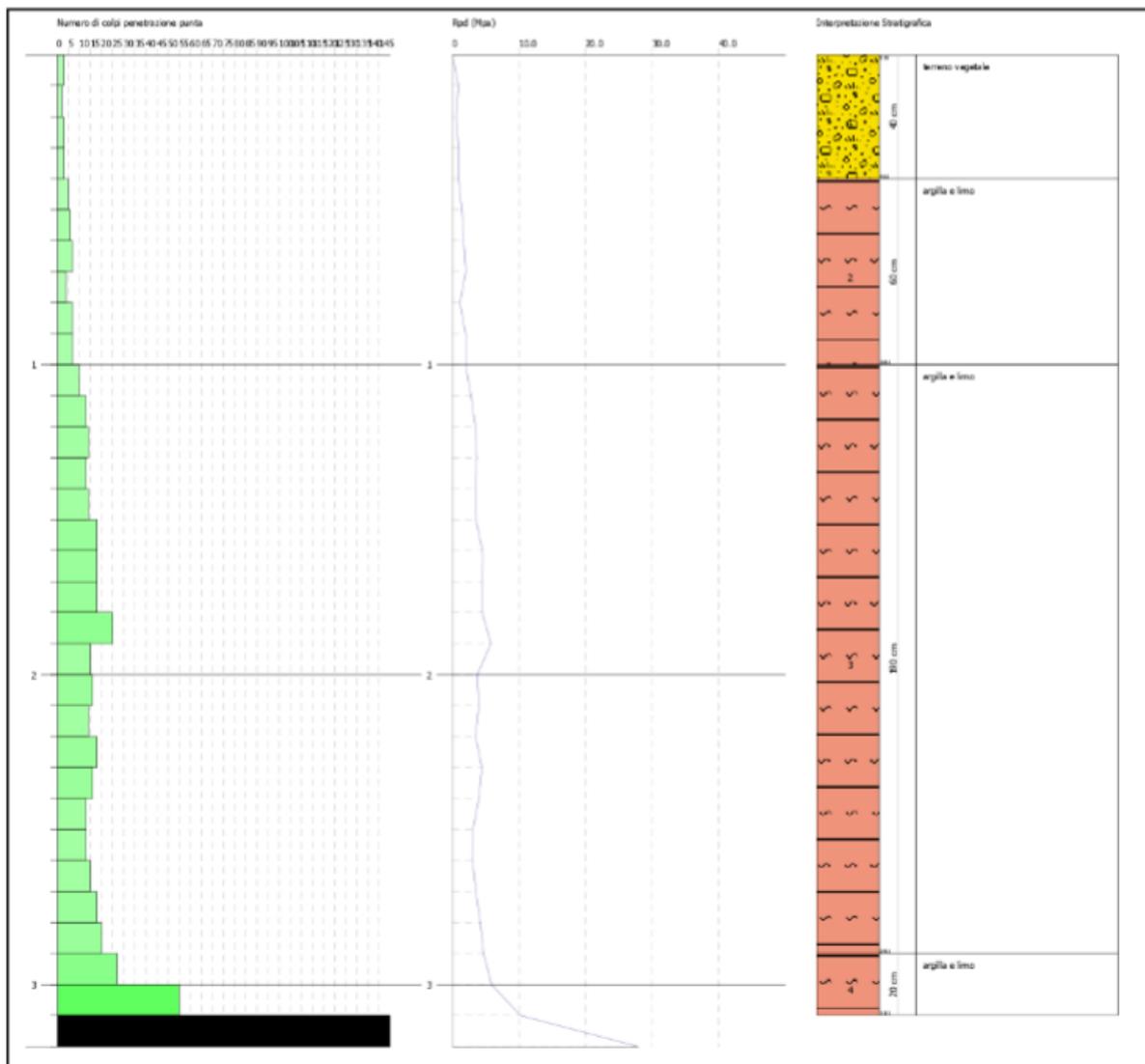


Figura 10-6. Elaborazione indagine penetrometrica P2.

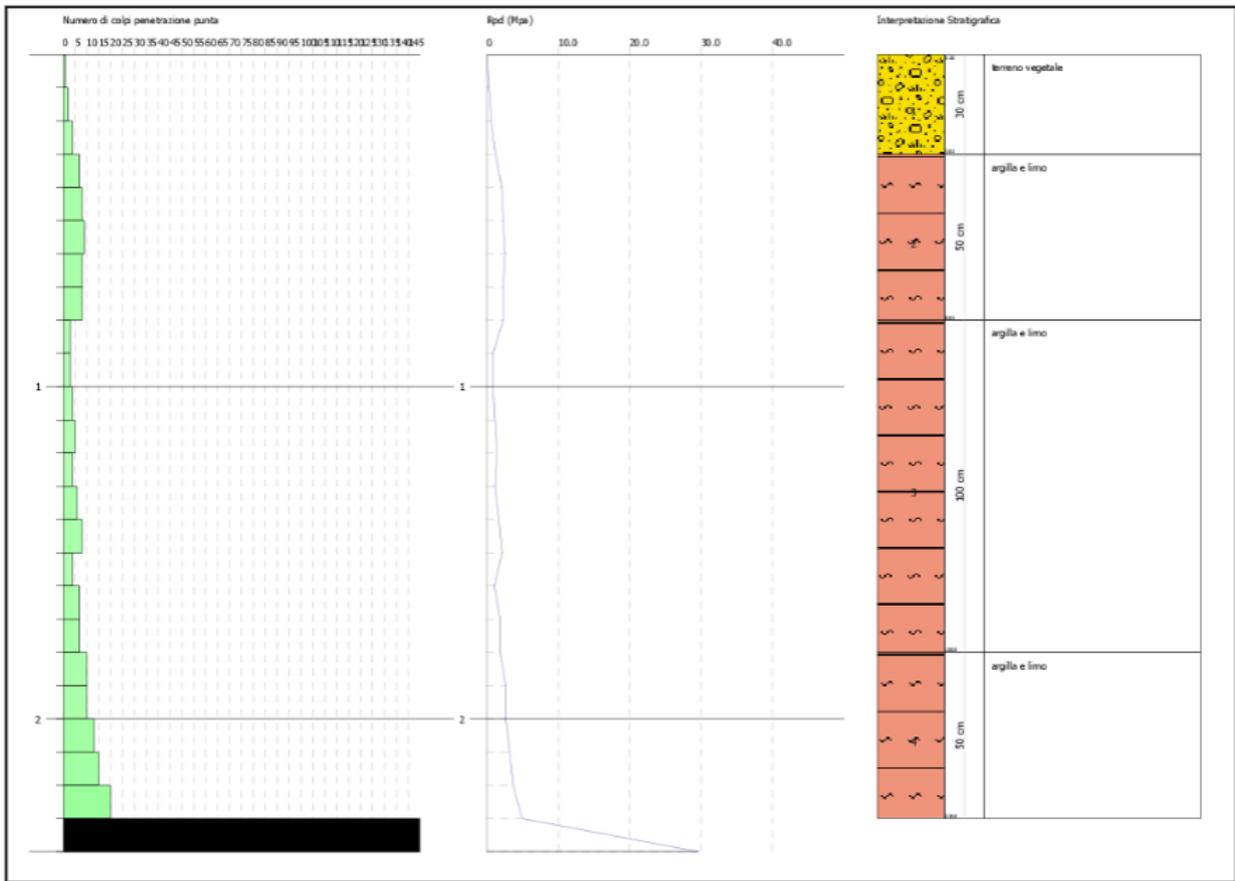


Figura 10-7. Elaborazione indagine penetrometrica P3.

Si rimanda agli Allegati per un maggiore approfondimento.

## 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 "τ" 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 ( $\sigma_v = u$ ).

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 piezometrico di falda in loco, si illustrano di seguito due metodi di calcolo della suscettibilità utilizzati per le verifiche cautelative.

Nello studio di BARANI et al. (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.

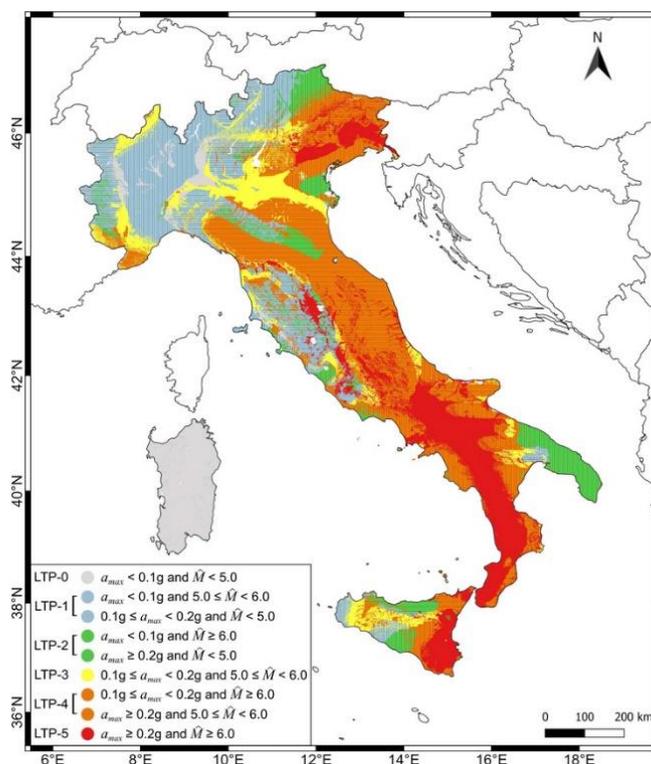


Figura 11-1. MILQ (Mappa del potenziale d'Innesco della LiQuefazione).

### 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	<b>Molto alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
Pianure di esondazione	<b>Alta</b>	<b>Moderata</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
Pianure e conoidi alluvionali	<b>Moderata</b>	<b>Bassa</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
<u>Spianate e terrazzi marini</u>	-----	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
Deltaici	<b>Alta</b>	<b>Moderata</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
Lacustri	<b>Alta</b>	<b>Moderata</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
Colluvioni	<b>Alta</b>	<b>Moderata</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
Scarpate	<b>Bassa</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
Dune	<b>Alta</b>	<b>Moderata</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>
Loess	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Molto bassa</b>
Glaciali	<b>Bassa</b>	<b>Bassa</b>	<b>Molto bassa</b>	<b>Molto bassa</b>

Tabella 11-1. Schema di Youd & Perkins.

Nel nostro caso, essendo il Supersistema del Tavoliere riferibile al Pleistocene superiore, la probabilità di liquefazione è da “Bassa” a “Molto bassa”, senza considerare i depositi olocenici che sono di natura antropica ormai passata (bonificata dai primi anni dell’800 fino ad oggi).

#### 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”.

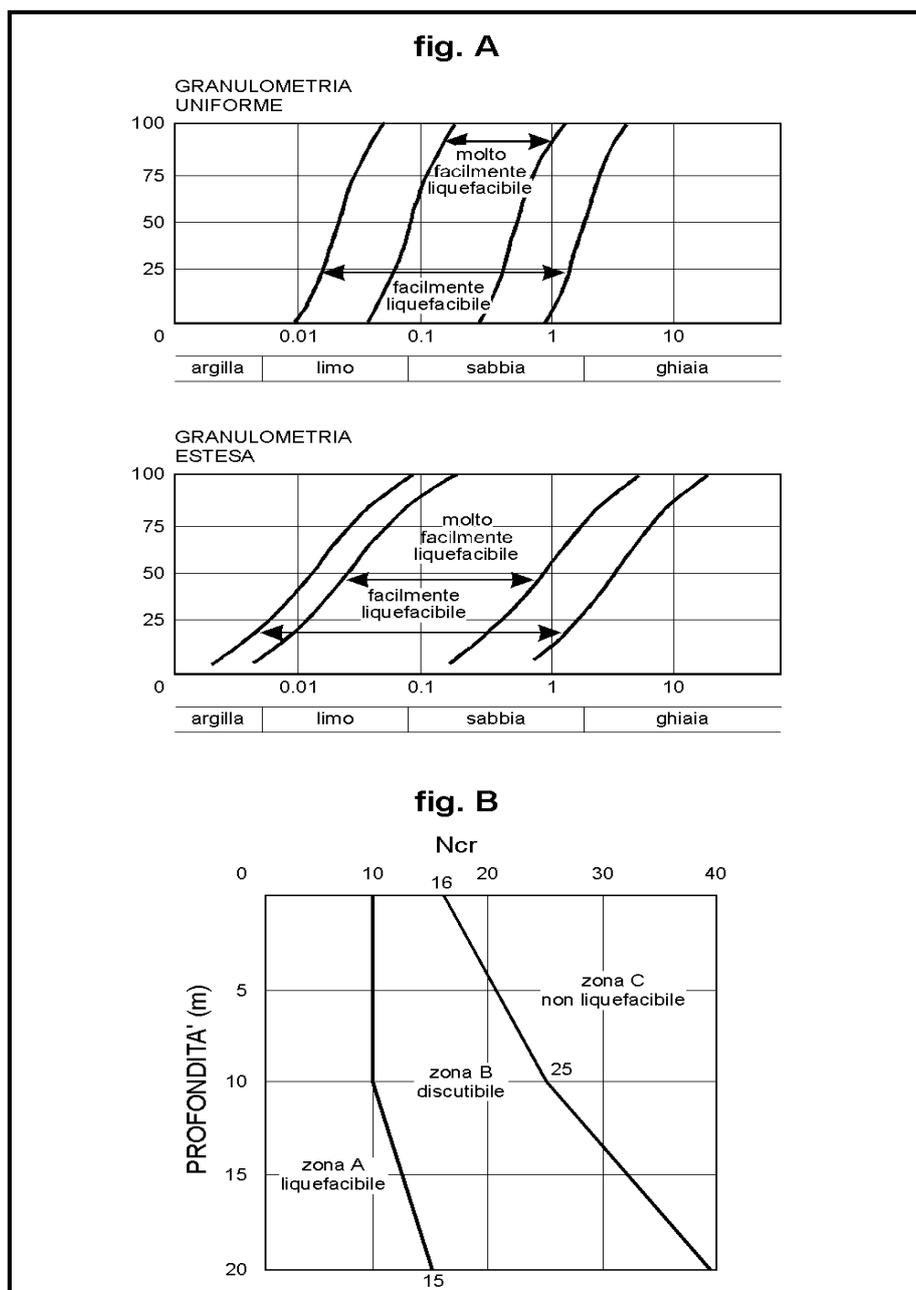


Figura 11-2. Schema di Sherif & Ishibashi.

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:

3.

-25 m dal p.c.

4. 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 kg/cm<sup>2</sup> e  $qc_1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 1 kg/cm<sup>2</sup>:

[non applicabile, non sono 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 m.

#### Metodo semplificato

SEED e IDRIS (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
	γ	1,451 g/cm <sup>3</sup>	1,598 g/cm <sup>3</sup>	2,03 g/cm <sup>3</sup>
	σ <sub>v0</sub>	0,03 Kg/cm <sup>2</sup>	0,11 Kg/cm <sup>2</sup>	0,20 Kg/cm <sup>2</sup>
	σ' <sub>v0</sub>	0,03 Kg/cm <sup>2</sup>	0,11 Kg/cm <sup>2</sup>	0,20 Kg/cm <sup>2</sup>
	Profondità della prova	20 cm	70 cm	100 cm
	N <sub>spt</sub>	1	3	15
	Profondità della falda	6000 cm	6000 cm	6000 cm
	γ H <sub>2</sub> O	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	0,2 m	0,7 m	1 m
Na = N <sub>spt</sub> (1,7/(σ <sub>v0</sub> +0,7))+N <sub>f</sub>	2,331897616	6,281871259	28,23920266	
N <sub>f</sub> (variabile in funzione della granulom.a)	0	0	0	
Resistenza al taglio mobilitata = Na/90	0,025909974	0,06979857	0,313768918	
T sforzo di taglio indotto dal sisma = 0.65(a <sub>max</sub> /g)(σ <sub>v0</sub> /σ' <sub>v0</sub> )r <sub>d</sub>	0,1620125	0,16079375	0,1600625	
1,3 ≤ Fs = R/T Sabbie sature	0,159925768 Non Verificato	0,434087578 Non Verificato	1,960290002 <b>Verificato</b>	

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

Valutazione del potenziale di liquefazione /da prove dinamiche SPT)					
Metodo semplificato di Seed e Idris (1982)					
Parametri	<b>P<sub>2</sub></b>				
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
	$\gamma$	1,53 g/cm <sup>3</sup>	1,667 g/cm <sup>3</sup>	1,981 g/cm <sup>3</sup>	2,138 g/cm <sup>3</sup>
	$\sigma_{v0}$	0,06 Kg/cm <sup>2</sup>	0,17 Kg/cm <sup>2</sup>	0,57 Kg/cm <sup>2</sup>	0,66 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\sigma'_{v0}$	0,06 Kg/cm <sup>2</sup>	0,17 Kg/cm <sup>2</sup>	0,57 Kg/cm <sup>2</sup>	0,66 Kg/cm <sup>2</sup>
	Profondità della prova	40 cm	100 cm	290 cm	310 cm
	$N_{spt}$	2	4	12	31
	Profondità della falda	6000 cm	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>	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>	0,000 Kg/cm <sup>2</sup>
	z	0,4 m	1 m	2,9 m	3,1 m
$N_a = N_{spt} (1,7/(\sigma_{v0}+0,7))+N_f$	4,466631634	7,845852083	16,00640256	38,67095202	
$N_f$ (variabile in funzione della granulom.a)	0	0	0	0	
Resistenza al taglio mobilizzata = $N_a/90$	0,04962924	0,087176134	0,177848917	0,429677245	
T sforzo di taglio indotto dal sisma = $0.65(a_{max}/g)(\sigma_{v0}/\sigma'_{v0})r_d$	0,161525	0,1600625	0,15543125	0,15494375	
$1,3 \leq F_s = R/T$ Sabbie sature	0,307254235 Non Verificato	0,54463809 Non Verificato	1,14422883 Non Verificato	2,77311763 <b>Verificato</b>	

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

Valutazione del potenziale di liquefazione /da prove dinamiche SPT)					
Metodo semplificato di Seed e Idris (1982)					
Parametri	<b>P<sub>3</sub></b>				
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
	$\gamma$	1,451 g/cm <sup>3</sup>	1,775 g/cm <sup>3</sup>	1,598 g/cm <sup>3</sup>	1,932 g/cm <sup>3</sup>
	$\sigma_{v0}$	0,04 Kg/cm <sup>2</sup>	0,14 Kg/cm <sup>2</sup>	0,29 Kg/cm <sup>2</sup>	0,44 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\sigma'_{v0}$	0,04 Kg/cm <sup>2</sup>	0,14 Kg/cm <sup>2</sup>	0,29 Kg/cm <sup>2</sup>	0,44 Kg/cm <sup>2</sup>
	Profondità della prova	30 cm	80 cm	180 cm	230 cm
	$N_{spt}$	1	6	3	10
	Profondità della falda	6000 cm	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>	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>	0,000 Kg/cm <sup>2</sup>
	z	0,3 m	0,80 m	1,8 m	2,3 m
$N_a = N_{spt} (1,7/(\sigma_{v0}+0,7))+N_f$	2,286390596	12,11401425	5,163824875	14,85546506	
$N_f$ (variabile in funzione della granulom.a)	0	0	0	0	
Resistenza al taglio mobilizzata = $N_a/90$	0,02540434	0,134600158	0,057375832	0,165060723	
T sforzo di taglio indotto dal sisma = $0.65(a_{max}/g)(\sigma_{v0}/\sigma'_{v0})r_d$	0,16176875	0,16055	0,1581125	0,15689375	
$1,3 \leq F_s = R/T$ Sabbie sature	0,157041085 Non Verificato	0,838369096 Non Verificato	0,362879797 Non Verificato	1,052054164 Non Verificato	

Tabella 11-4. Metodo semplificato SEED e IDRIS (1982).

## 12 CONSIDERAZIONI E 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 idrologici ed idrogeologici ottenuti dall'elaborazione dei dati, riportati nei capitoli precedenti.

In funzione delle soluzioni di progetto che saranno prescelte 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 previa comunicazione.

I sottoscritti si rendono disponibile ad effettuare incontri e sopralluoghi chiarificatori con il progettista, con gli altri consulenti tecnici, con i responsabili della Podini Spa.

Sulla base di quanto rilevato, analizzato e calcolato, la presenza di condizioni idrologiche ed idrogeologiche favorevoli consente la fattibilità degli interventi in progetto.

Tanto si doveva per l'incarico ricevuto.

Foligno, 11 marzo 2024

Prof. Geol. Alfonso Russi



Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie



## 13 BIBLIOGRAFIA & WEB REFERENCES

### 13.1 Bibliografia

ALESSIO G., GODANO C., e GORINI A. (1990) - A Low Magnitude Seismic Sequence Near Isernia (Molise, Central Italy) in January 1986. *PAGEOPH*, Vol. 134, No. 2 (1990).

AUCELLI P.P.C. e altri, (2000) - Space and Time Distribution of Landslides in a Mediterranean River Basin: Trigno River Valley (S. Italy), in E. BROMHEAD, N. DIXON e M.-L. IBSEN (a cura di), *Landslides. In Research, Theory and Practice*, Londra, Thomas Telford, 2000, 1, pp. 91-96.

AUCELLI P.P.C. e altri, (2001) - La stazione per la misura dell'erosione del suolo di Morgiapietravalle, in Atti della Conferenza «Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive» (Accademia Nazionale dei Lincei, 5 giugno), Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 2001, pp. 105-106.

BARANI S., FERRETTI G., SCAFARDI D. (2022) - MILQ: Una mappa dell'insnesco della liquefazione per l'Italia. *EGUsphere* [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-1139>, 2022.

BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G. E VALNENSISE G. (1995) – Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980. ING-SGA, Bologna 1995, 973 pp. Con allegato CD-ROM 1.

CHIARABBA, C., e A. AMATO (1997) - Upper-crustal structure of the Benevento area (southern Italy): Fault heterogeneities and potential for large earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 130, 229–239, doi:10.1111/j.1365-246X.1997.tb01001.x.

COLTORTI M. & CREMASCHI M., (1981) – Depositi Quaternari e movimenti neotettonici nella conca di Isernia. In: *Contributi conclusivi alla Carta Neotettonica d'Italia*. CNR, P.F. Geodinamica, 506, 173-198.

CORRADO S., DI BUCCI D., NASO G. & VALENSISE G. (2000) – The role of pre-existing structures in Quaternary extensional tectonics of the Southern Apennines, Italy: the Boiano Basin case history. *J. Czech Geol. Soc.*, 45 (3/4), 217.

DI BUCCI D., CORRADO S., NASO G., PAROTTO M & PRATULAN A. (1999) – Evoluzione tettonica neogenico-quadernaria dell'area molisana. *Boll. Soc. Geol. It.*, 118, 18-30.

DE RUBEIS V., TOSI P., GASPARINI C., E SOLIPACA A. (2005) - Application of Kriging Technique to Seismic Intensity Data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 95, No. 2, pp. 540–548, April 2005, doi: 10.1785/0120030250

ESPOSITO E., LUONGO G., MARTURANO A. E PORFIDO S., (1987) - Il terremoto di S. Anna del 26 luglio 1805. *Mem. Soc. Geol. It.*, 37, 171-191

FLORINSKY I. (2012) - *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. Elsevier, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford.

GRUBER S. & PECKHAM S. (2009) – Land-surface parameters and objects in hydrology. In: T. Hengl & H.I. Reuter (eds) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*, pp.171-194. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

GUERRIERI L., SCARASCIA MUGNOZZA G. & VITTORI E. (1999) – Analisi stratigrafica e geomorfologica della conca tardo-quadernaria di Campochiaro ed implicazioni per la conca di Boiano in Molise. *Quadernario*, 12(2), 237-247.

GUIDOBONI E. e FERRARI G. (1989) - The inexact catalogue: the study of more than 1700 earthquakes from the XI to the XX century in Italy, «*Terra Nova*», 1, pp. 151-162.

HUDSON N.W. (1992) - *Soil Conservation*. B.T. Batsford Limited, London.

LAVEE H., IMESON A.C., SARAH P., (1998) - The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean-arid transect. *Land Degradation & Development* 9, 407–422.

LUCCHESI F. (1995) - Elenco preliminare della flora spontanea del Molise. *Ann. Bot. (Roma)*. Studi sul territorio, 53 Suppl. 1-2, 1-386.

MAGRI G., MOLIN D., (1983) - Il terremoto del dicembre 1456 nell'Appennino centro-meridionale. Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia, e l'Ambiente (ENEA), RT/AMB 83/08, 180 pp.

MELETTI C., PATACCA E., SCANDONE P., FIGLIUOLO B., (1988) - Il Terremoto del 1456 e la sua interpretazione nel quadro sismotettonico dell'Appennino Meridionale. In Figliuolo B. (Ed), *Il Terremoto del 1456*, Osservatorio Vesuviano, Storia e Scienze della Terra, 71–108 (I) e 35-163 (II).

MOLIN D., ROSSI A. (1996) - Il terremoto dei monti del Sannio del 4 ottobre 1913. Atti del 15° Convegno Annuale del GNTS, Roma 11-13 novembre 1996, pp.399-404.

MOLIN D., CASTENETTO S., DI LORETO E., GUIDOBONI E., LIPERI L., NARCISI B., PACIELLO A., RIGUZZI F., ROSSI A., TERTULLIANI A., TRAINA G. (1995) - Sismicità di Roma, «Memorie Descrittive Carta Geologica Italiana», 50, pp. 323-408.

MÖLLER I., SONDERGAARD V.H., JORGENSEN F., AUKEN E. & CHRISTIANSEN A.V. (2009) - Integrated management and utilization of hydrogeophysical data on a national scale. *Near Surface Geophysics* 7, 647-659.

MOORE I. D., & GRAYSON R. B. (1991) - Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data. *Water Resources Research*, 27(6), 1177-1191. [doi:10.1029/91WR00090]

MOSTARDINI, F., MERLINI, S., (1986) - Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale. *Memorie della Società Geologica Italiana* 35 (1986), 177-202

OLAYA V. & CONRAD O. (2009) - Chapter 12 Geomorphometry in SAGA. In T. Hengl & H.I. Reuter (eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Book series *Developments in Soil Science*, 33, Elsevier, Amsterdam, 293-308, doi: 10.1016/S0166-2481(08)00012-3.

PARK C.B., MILLER R.D. e XIA J. (1999) - Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW) "A summary report of technical aspects, experimental results, and perspective". *Kansas Geological Survey* January, 1997.

REBEZ A. & SLEJKO D. (2000) - Analisi di sensibilità sulla carta di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzata dal GNDT. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste.

ROSGEN D.L. (1994) – A classification of natural rivers. *Wildland Hydrology*, 157649 U.S. Highway 160, Pagosa Spings, CO 81147. *Catena* 22 1669-199.

RUSSO F. & TERRIBILE F. (1995) – Osservazioni geomorfologiche, stratigrafiche e pedologiche sul quaternario del Bacino di Boiano (Campobasso). *Il Quaternario*, 8 (1), 239-254.

SEED H.B., IDRIS I.M. (1982) – Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. *Earthquake Engineering Research Institute*, Berkeley, California, 134 pp.

SHERIF A.M., ISHIBASHI I., TSUCHIYA C. (1978) – Pore pressure prediction during earthquake loadings. *Soils and Foundations*, vol. XVIII, n. 4, pp. 19-30.

THORNTHWAITE C. W. and MATHER J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publ. in Climatology*, 10: 181-311.

YOUD T.L., ASCE M. & PERKINS D.M. (1978) – Mapping liquefaction-Induced Ground Failure Potential. *Journal of the geotechnical engineering division*. April 1978

ZHAO G.J. (2009) - *Water Science and Engineering*, Dec. 2009, Vol. 2, No. 4, 1-15.

## 13.2 Web references

<http://sgi2.isprambiente.it/viewersgi2/>

[http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms\\_ogc/WMS\\_v1.3/Vettoriali/AreasofPotentialSignificantFloodRisk\\_IT\\_20190322\\_map](http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/Vettoriali/AreasofPotentialSignificantFloodRisk_IT_20190322_map)

[http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms\\_ogc/WMS\\_v1.3/Vettoriali/Alluvioni\\_Caratteristiche\\_Idrauliche.map](http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/Vettoriali/Alluvioni_Caratteristiche_Idrauliche.map)

[http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms\\_ogc/WMS\\_v1.3/Vettoriali/PAI\\_pericolosita.map](http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/Vettoriali/PAI_pericolosita.map)

<https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/molise.html>

[https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/query_place/)

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

<https://diss.ingv.it/diss330/img.php?P00869>

<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/>



**COMUNE:**  
Rotello

**PROVINCIA:**  
CB

## ***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>	Rotello
<b>Provincia</b>	CB
<b>Altitudine [m]</b>	360
<b>Latitudine</b>	41,7493
<b>Longitudine</b>	15,0071
<b>Temperatura Massima Annuale [°C]</b>	35,52
<b>Temperatura Minima Annuale [°C]</b>	-3,68

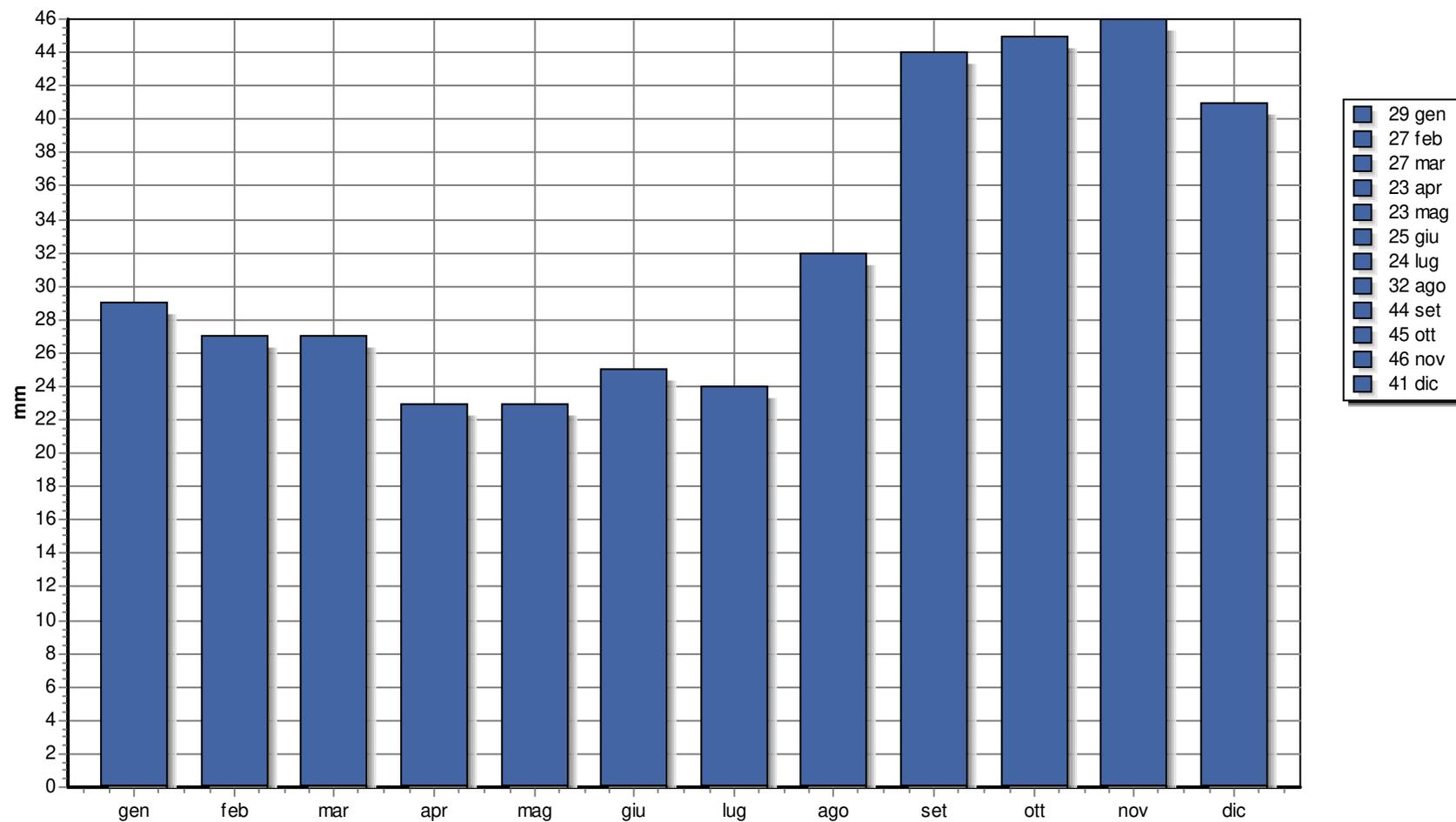
I dati climatici sono stati acquisiti dalla Norma UNI 10349 e sono relativi ad un periodo minimo di 30 anni.

## 2. Indici

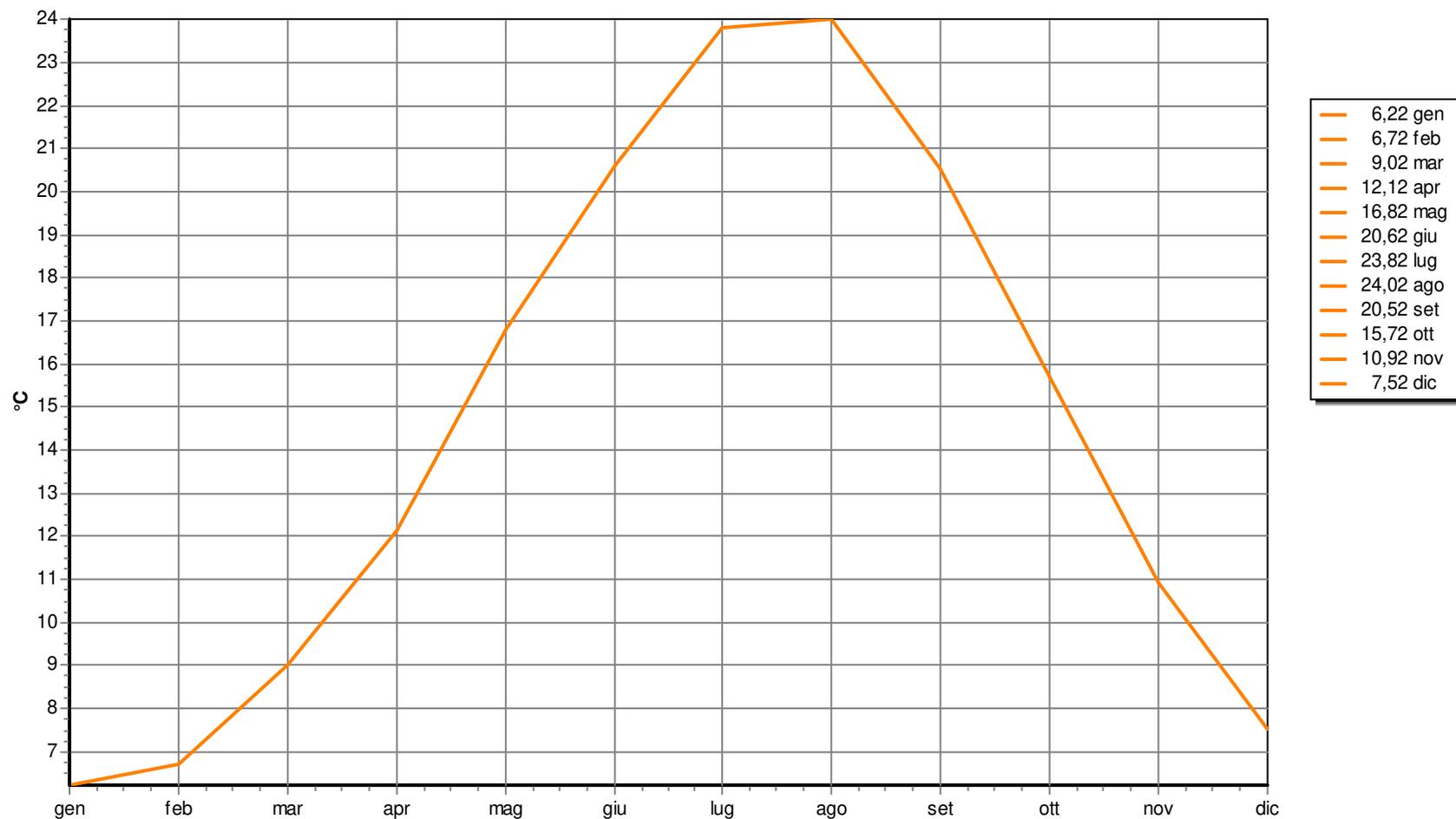
<b>Precipitazioni [mm]:</b>	Totale:	386
	Media:	32,18
<b>Temperatura Media [°C]</b>	14,55	
<b>Indice di Continentalità di Gams</b>	43° 0'	
<b>Indice di Fournier</b>	5,48	
<b>Evaporazione Idrologica di Keller [mm]</b>	504,78	
<b>Pluviofattore di Lang</b>	26,53	
<b>Indice di Amann</b>	315,52	
<b>Mesi Aridi:</b>	Secondo Koppen:	gen feb mar apr mag giu lug
	Secondo Gaussen:	apr mag giu lug ago
<b>Indice di De Martonne</b>	15,72	
<b>Indice di De Martonne-Gottmann</b>	14,10	
<b>Indice di Aridità di Crowther</b>	-9,41	
<b>Indice Bioclimatico di J.L. Vernet</b>	1,77	
<b>Indice FAO</b>	1,06	
<b>Evaporazione Media mensile [mm]</b>	124,88	
<b>Quoziente Pluviometrico di Emberger</b>	52,95	
<b>Indice di Continentalità di Currey</b>	1,19	
<b>Indice di Continentalità di Conrad</b>	31,44	
<b>Indice di Continentalità di Gorczynski</b>	25,04	
<b>Evapotraspirazione Reale di Turc [mm]</b>	348,09	
<b>Evapotraspirazione Reale di Coutagne [mm]</b>	333,48	
<b>Indici di Rivas-Martinez:</b>	Continentalità [°C]:	17,80
	Termicità:	269,90 ± 0,00
	Ombrotermico Annuale:	2,22
	Ombrotermico Estivo:	1,18
<b>Indici di Mitrakos:</b>	SDS (Summer Drought Stress):	102,56
	WCS (Winter Cold Stress):	-8,44
	YDS (Year Drought Stress):	303,64
	YCS (Year Cold Stress):	54,54

[C°]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Temperature	6,22	6,72	9,02	12,12	16,82	20,62	23,82	24,02	20,52	15,72	10,92	7,52
Massime	8,92	9,82	12,52	15,92	21,02	25,12	28,52	28,72	24,62	19,12	13,82	10,12
Minime	3,52	3,72	5,52	8,22	12,72	16,12	19,12	19,42	16,32	12,22	8,02	4,92
Massime Estreme	15,32	17,52	21,12	23,32	28,52	32,12	35,52	34,92	31,12	26,72	20,72	16,72
Minime Estreme	-3,68	-3,08	-1,68	2,32	6,82	10,12	13,72	13,72	10,32	6,12	1,52	-1,68
[mm]	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Precipitazioni	29	27	27	23	23	25	24	32	44	45	46	41
	gen	feb	mar	apr	mar	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Indice di Angot	10,61	10,94	9,88	8,70	8,42	9,45	8,78	11,71	16,64	16,46	17,39	15,00
Indice di De Martonne (mensile)	21,45	19,38	17,03	12,48	10,29	9,80	8,52	11,29	17,30	21,00	26,39	28,08
Stress di Mitrakos (idrico)	42	46	46	54	54	50	52	36	12	10	8	18
Stress di Mitrakos (termico)	51,84	50,24	35,84	14,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,84	40,64

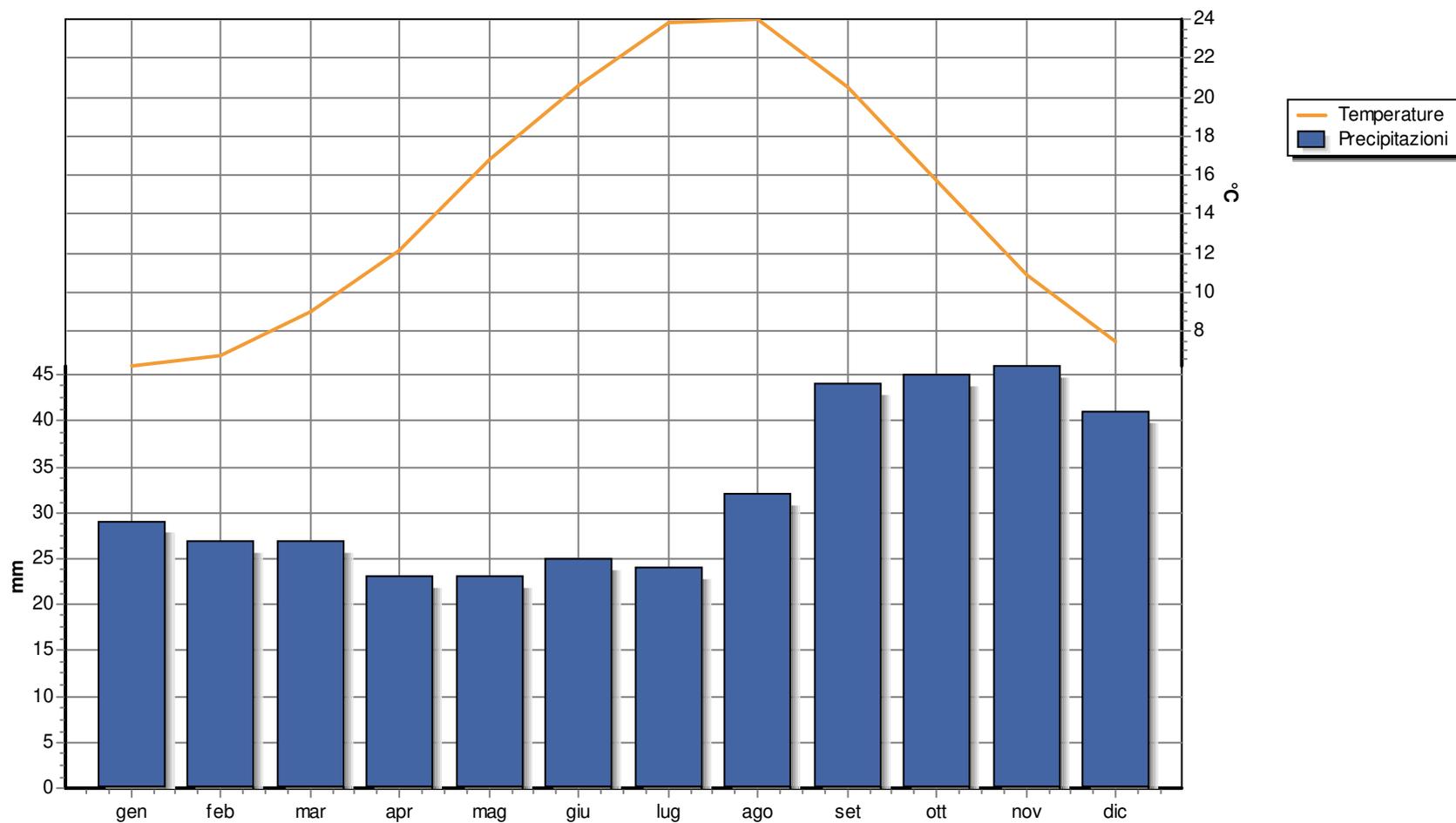
### 3. Diagramma Pluviometrico



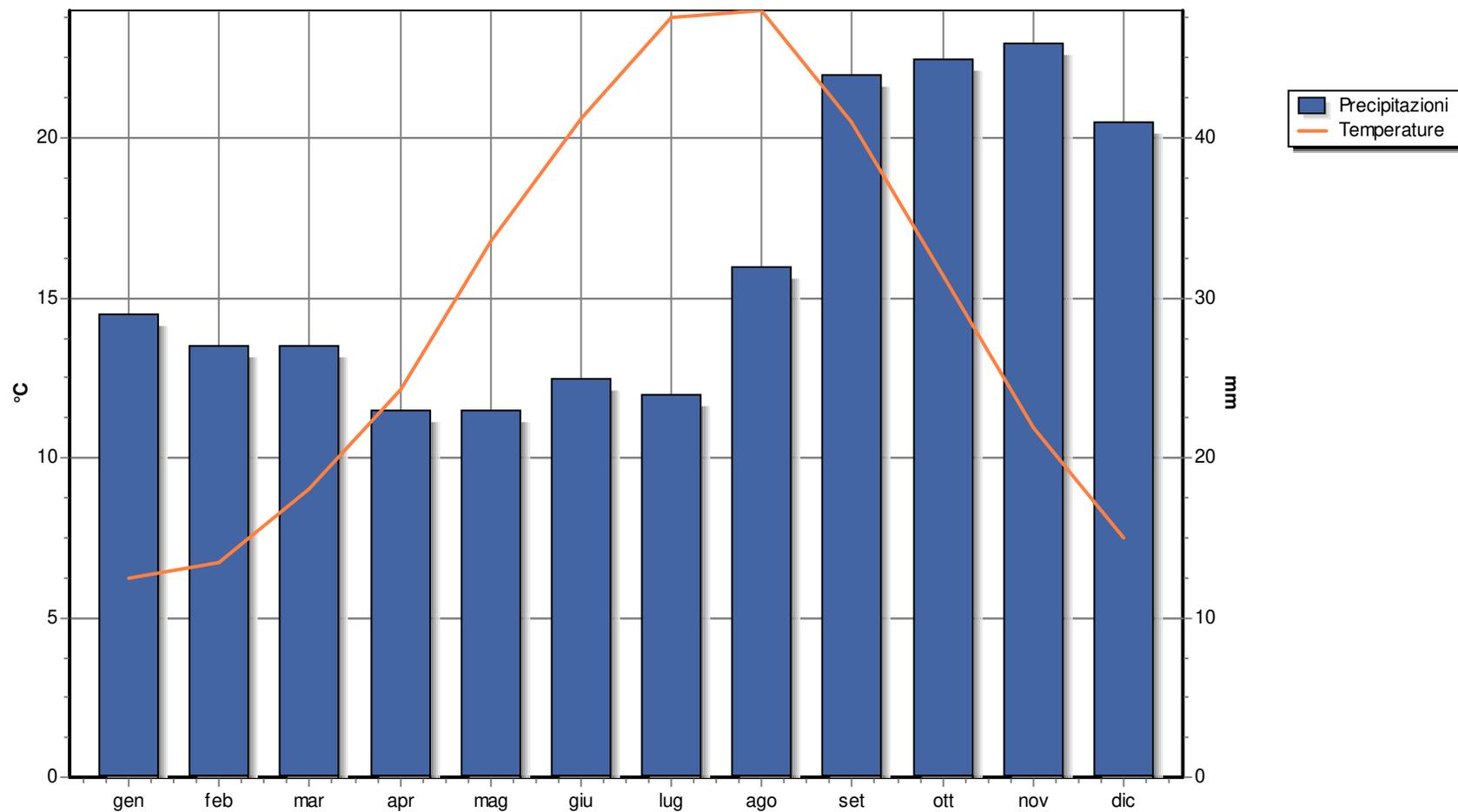
### 4. Diagramma Termometrico



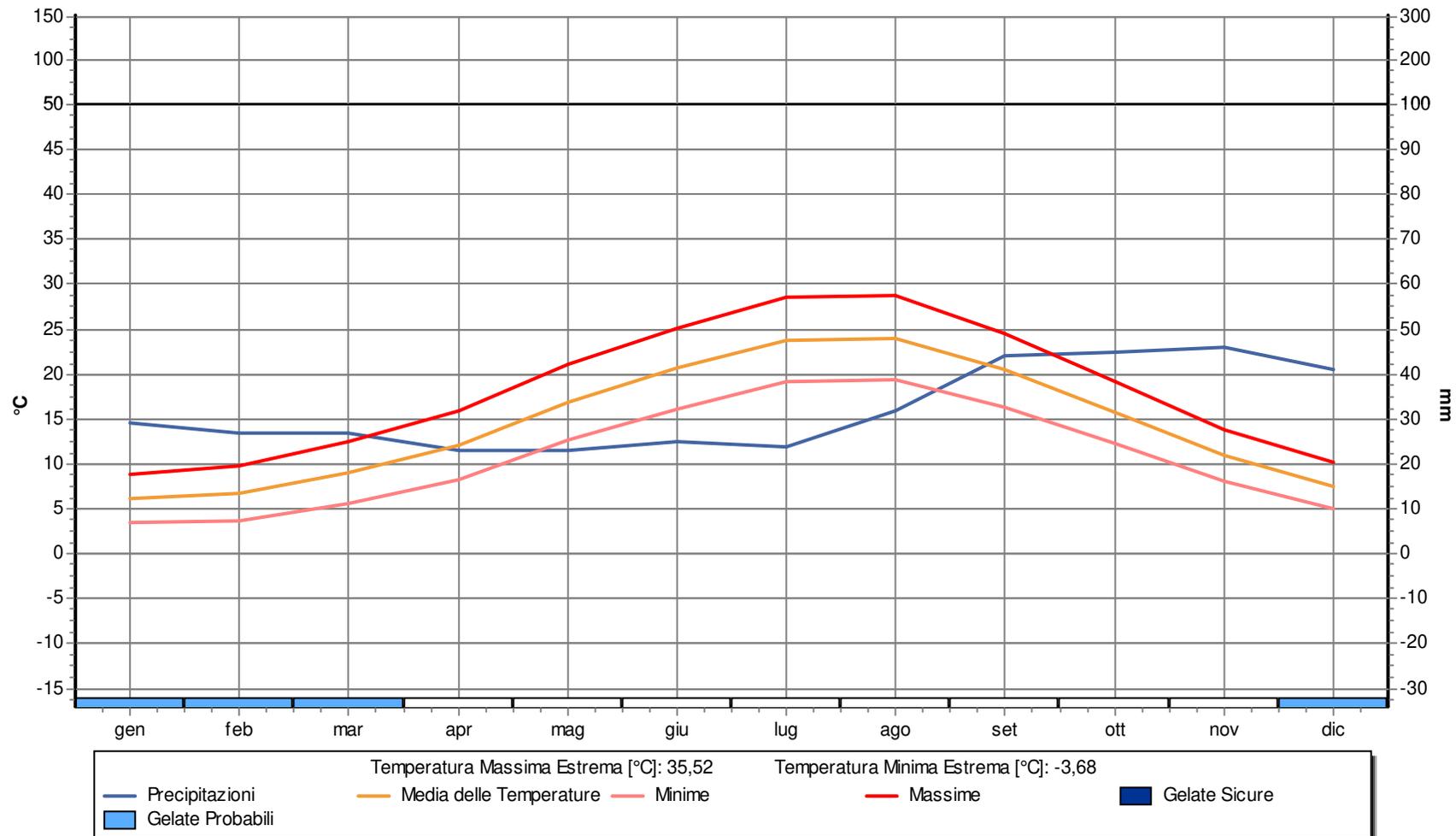
5. Diagramma Termopluviometrico



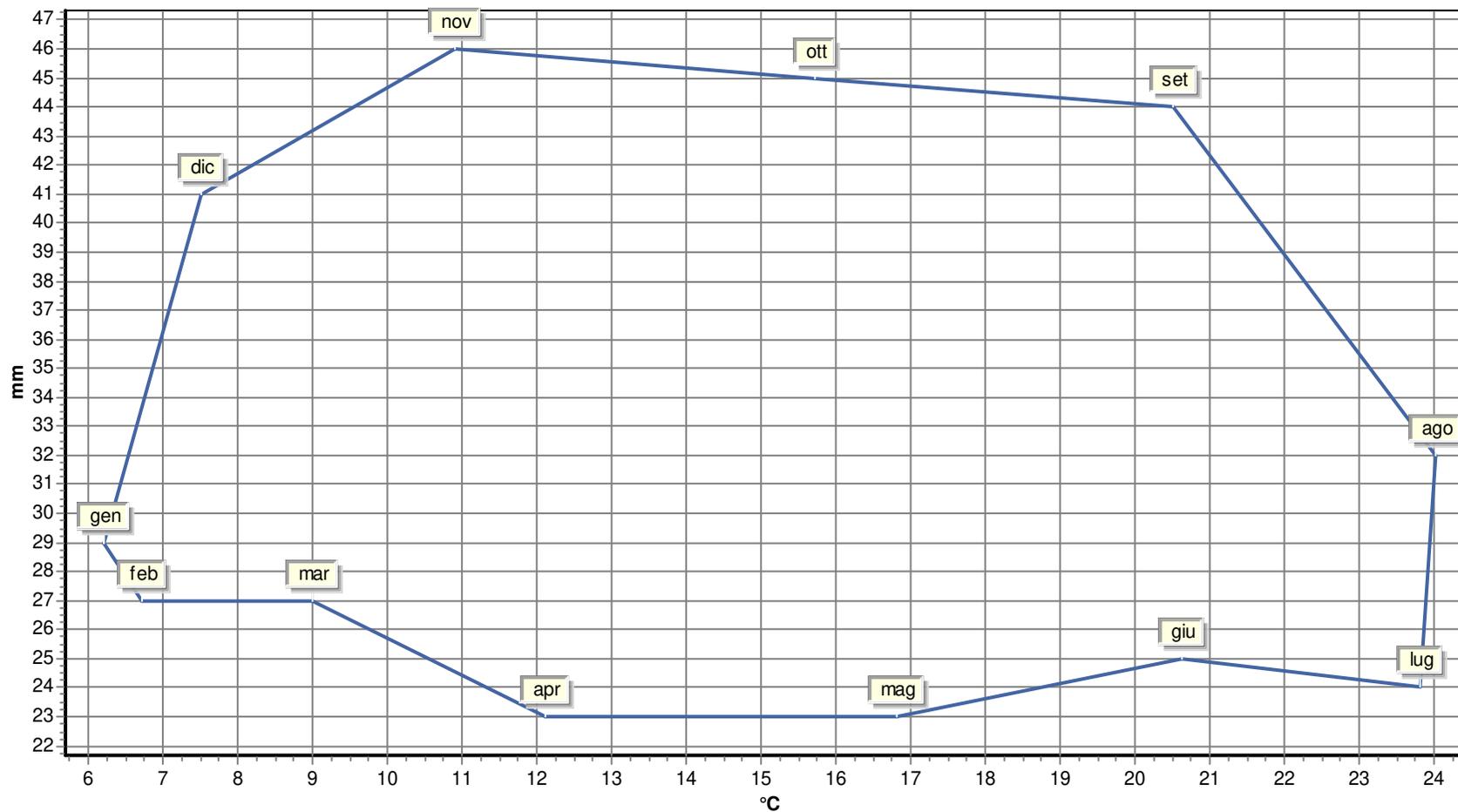
### 6. Diagramma Ombrotermico



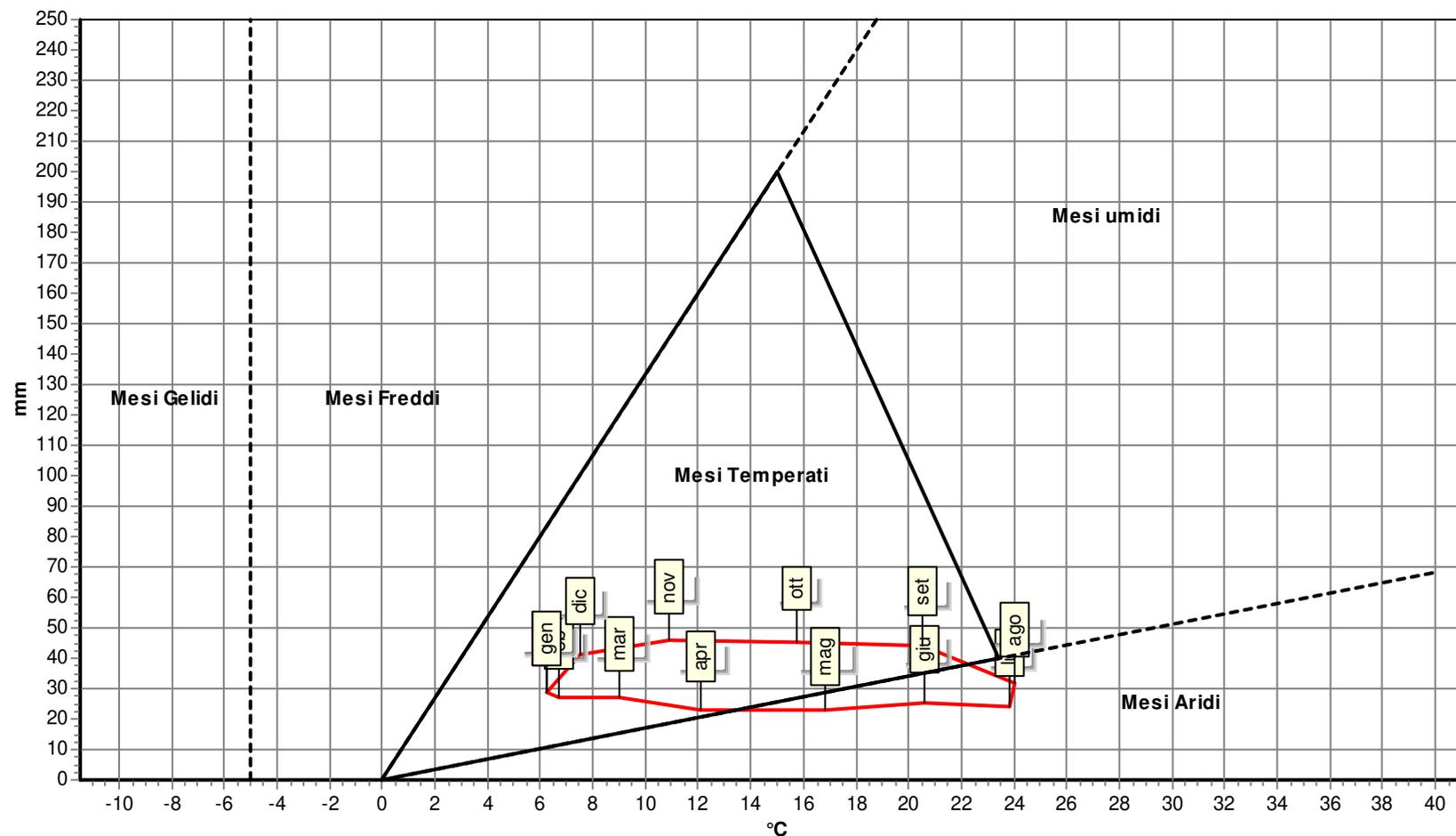
7. Diagramma Walter & Lieth



## 8. Climogramma Precipitazioni e Temperature



## 9. Climogramma di Peguy



**RAPPORTO DI PROVA Nr. 23/05004-00**

del 19/05/2023

Pagina 1 di 2

**DATI DEL CLIENTE**

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

**DATI DEL CAMPIONE**

Etichetta campione **ROTELLO 1**  
Descrizione del campione **Terreno agricolo**  
Esame richiesto **Analisi chimica completa**  
Luogo e punto di prelievo **Comune di Rotello**  
Metodo campionamento **D.M. 13/09/1999**  
Prelievo eseguito da **Cliente**  
Data di accettazione **04/05/2023**  
Data inizio prova **08/05/2023**

Data prelievo **02/05/2023**  
Note in accettazione **//**  
Data fine prova **18/05/2023**

**RISULTATI DELLE PROVE**

Parametro	Risultato	U ±	U.M.	Metodo	V.N.
Scheletro	<b>1,9</b>	0,2	%	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>7,9</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>0,90</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>1,46</b>	0,07	%	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>2,51</b>	0,13	%	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>37,5</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>46,9</b>				15 - 40
Sabbia	<b>15,6</b>				50 - 85
Calcare Totale	CaCO <sub>3</sub> <b>15,2</b>	0,8	%	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>5,8</b>	0,3	%	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>183</b>	9	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>4312</b>	216	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>215</b>	11	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>175</b>	9	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>325</b>	16	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>24,9</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>3,06</b>	-	%	Da calcolo	< 5
Rapporto C/N	<b>11,4</b>	-	-	Da calcolo	-
Rapporto Mg/K	<b>0,7</b>	-	-	Da calcolo	-
Rapporto Ca/Mg	<b>20,0</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.

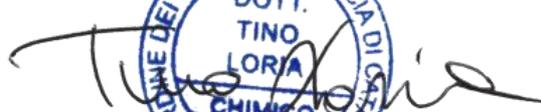
La presente copia può essere riprodotta solo per intero, la parziale riproduzione deve essere autorizzata dal Laboratorio. Tempi di conservazione del campione dopo l'analisi: 7 giorni.

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".

**FINE RAPPORTO DI PROVA**

IL RESPONSABILE DI LABORATORIO

**Dott. TINO LORIA**


**RAPPORTO DI PROVA Nr. 23/05005-00**

del 19/05/2023

Pagina 1 di 2

**DATI DEL CLIENTE**

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

**DATI DEL CAMPIONE**

Etichetta campione **ROTELLO 2**  
Descrizione del campione **Terreno agricolo**  
Esame richiesto **Analisi chimica completa**  
Luogo e punto di prelievo **Comune di Rotello**  
Metodo campionamento **D.M. 13/09/1999**  
Prelievo eseguito da **Cliente**  
Data di accettazione **04/05/2023**  
Data inizio prova **08/05/2023**

Data prelievo **02/05/2023**  
Note in accettazione **//**  
Data fine prova **18/05/2023**

**RISULTATI DELLE PROVE**

Parametro	Risultato	U ±	U.M.	Metodo	V.N.
Scheletro	<b>2,7</b>	0,3	%	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>7,8</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>0,76</b>	0,03	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>1,38</b>	0,07	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>1,88</b>	0,09	%	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>3,25</b>	0,16	%	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>40,0</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>43,3</b>				15 - 40
Sabbia	<b>16,7</b>				50 - 85
Calcare Totale	CaCO <sub>3</sub> <b>0,4</b>	0,1	%	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>0,4</b>	0,1	%	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>204</b>	10	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>4602</b>	230	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>361</b>	18	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>26</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>591</b>	30	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>27,6</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>0,41</b>	-	%	Da calcolo	< 5
Rapporto C/N	<b>13,6</b>	-	-	Da calcolo	-
Rapporto Mg/K	<b>0,6</b>	-	-	Da calcolo	-
Rapporto Ca/Mg	<b>12,8</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: ROTELLO

Provincia di: CAMPOBASSO

Regione: MOLISE



PROPONENTE

**PODINI S.P.A**

Via Lattuada, 30 – 20135 MILANO (MI)

xi-3, I4, t4; C.F. e P.IVA IT02246400218

OPERA

**PROGETTO DEFINITIVO**

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE  
AGRIVOLTAICA DI POTENZA NOMINALE PARI A 43.298,50 kWp E RELATIVE OPERE DI  
CONNESSIONE ALLA RETE RTN

**“SOLARE ROTELLO-PIANO DELLA FONTANA”**

OGGETTO

TITOLO ELABORATO:

**RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA**

DATA:

**11 gennaio 2024**

N°/CODICE ELABORATO:

Tipologia: ALL (ALLEGATI)

**ALL**

I TECNICI

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



00

202202141

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

Proprietà e diritto del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata

Coordinate WGS84		Lat.=	41,768994	Lon.=	15,053163				
Coordinate ED50		Lat.=	41,769967	Lon.=	15,054029				
<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	0,057	2,448	0,284		SLO	30	0,057	2,448	0,284
50	0,075	2,471	0,298		SLD	35	0,062	2,455	0,288
72	0,090	2,487	0,299		SLV	332	0,177	2,479	0,332
101	0,106	2,495	0,315		SLC	682	0,237	2,451	0,342
140	0,122	2,507	0,318						
201	0,143	2,505	0,325		ID	Lat.	Lon.	d	
475	0,206	2,462	0,338		29217	41,72376	15,09809	6,3056	
975	0,271	2,441	0,346		29216	41,72468	15,03111	5,3827	
2475	0,379	2,431	0,361		28995	41,77375	15,09931	3,7786	
					28994	41,77467	15,03229	1,8771	
SUOLO		C			$S_s =$	1,437	$S_t =$	1,000	
CAT. TOPOGRAFICA		T1			$T_b =$	0,167	$T_c =$	0,502	$T_d =$
STATO LIMITE		SLV			$a_g$ ancoraggio =	0,254	$a_g$ , plateau =	0,630	

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

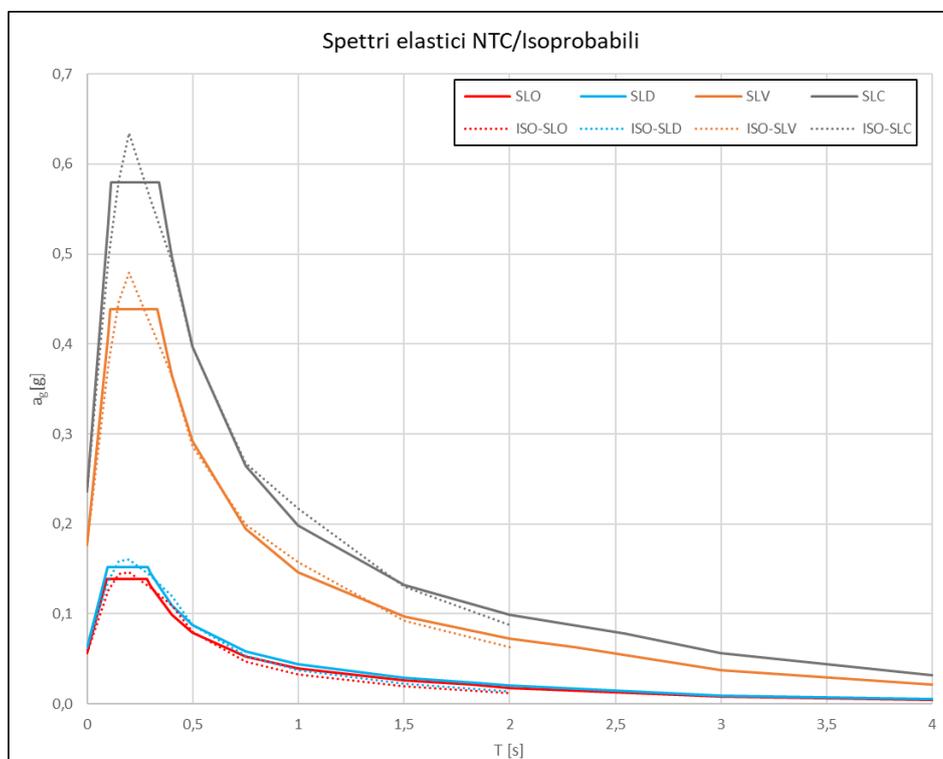


Figura 2. Spettri elastici NTC/isoprobabili (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

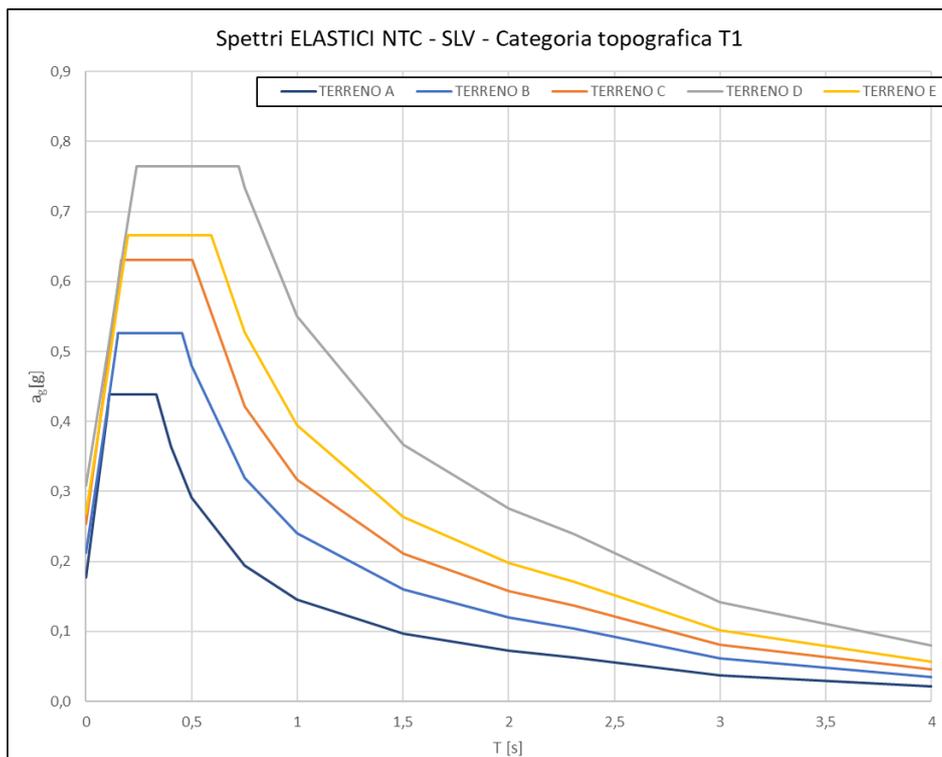


Figura 3. Spettri elastici per SLV (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

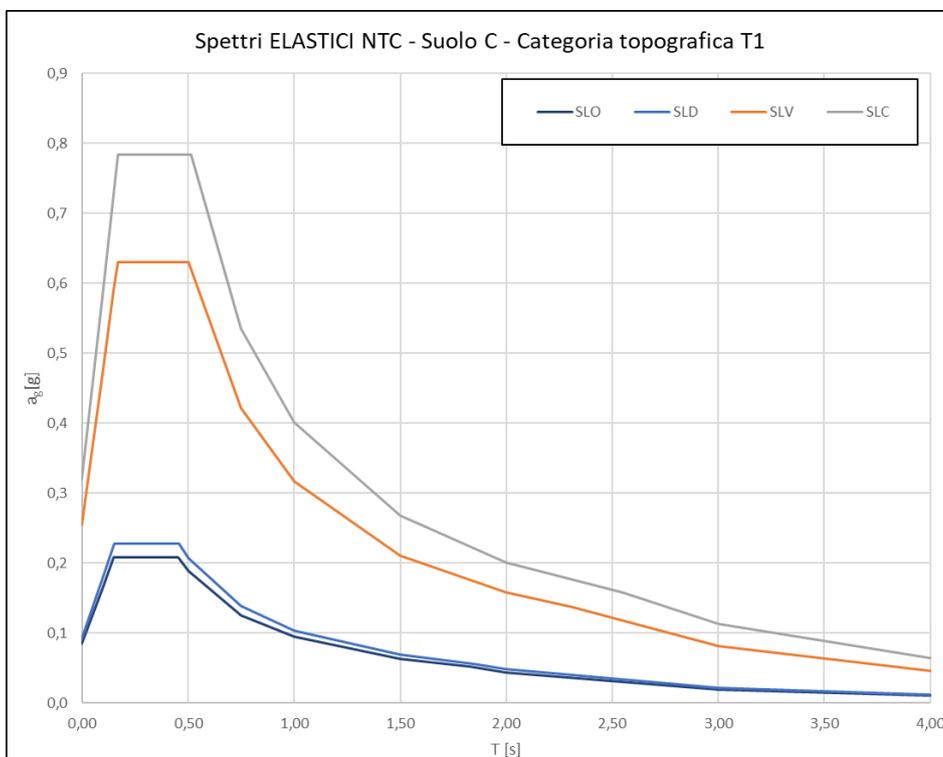


Figura 4. Spettri elastici per categoria di sottosuolo C (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).



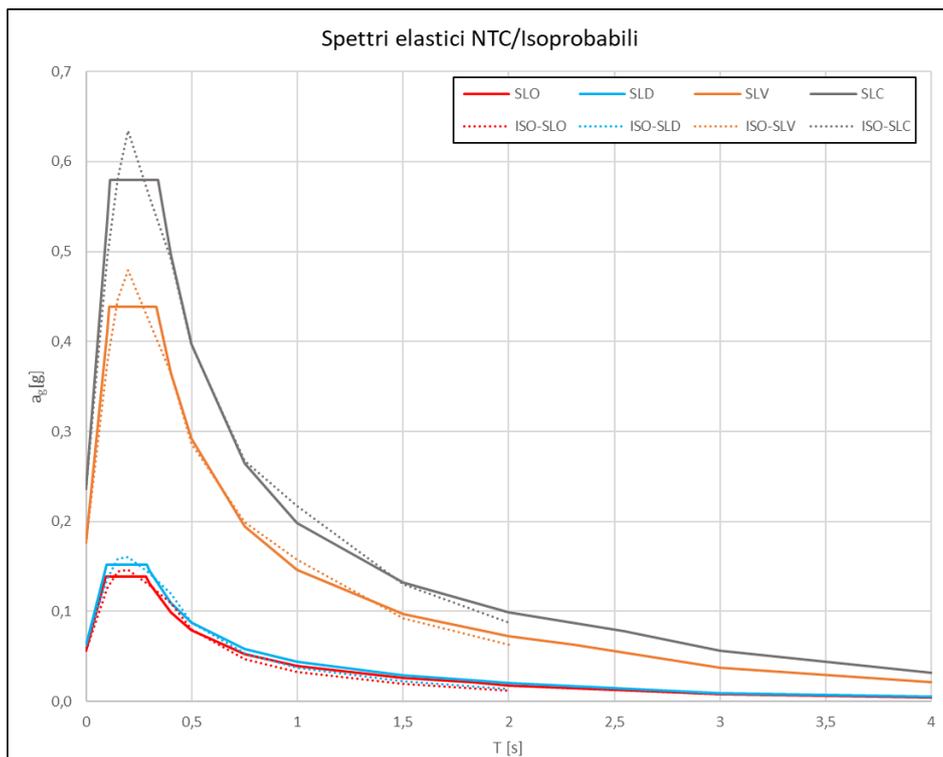


Figura 6. Spettri elastici NTC/isoprobabili (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

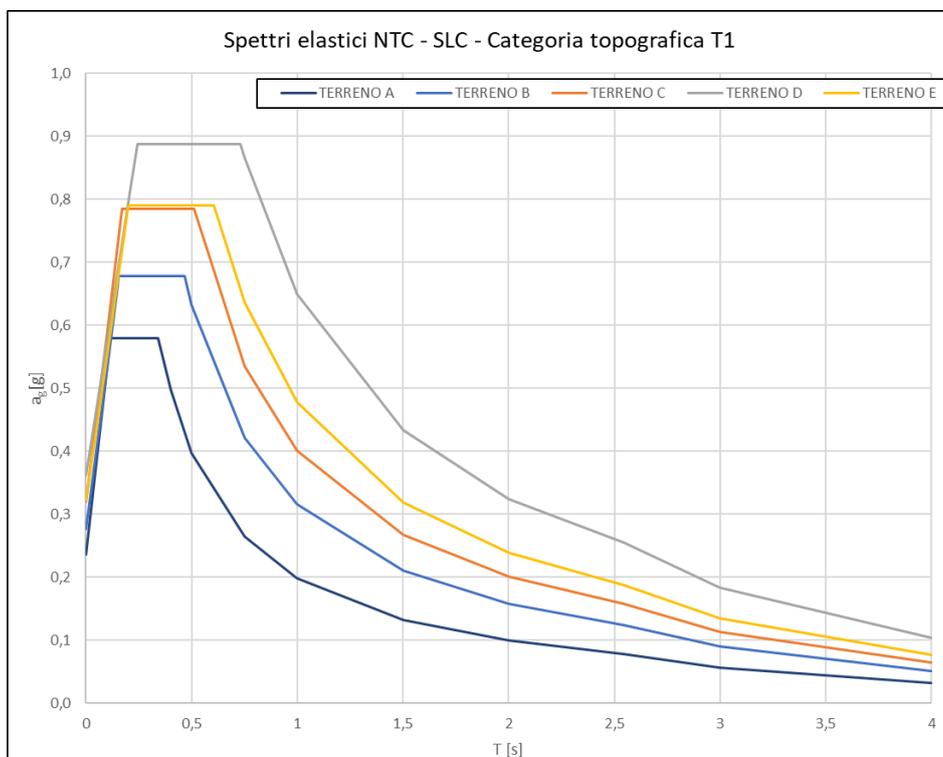


Figura 7. Spettri elastici per SLC (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

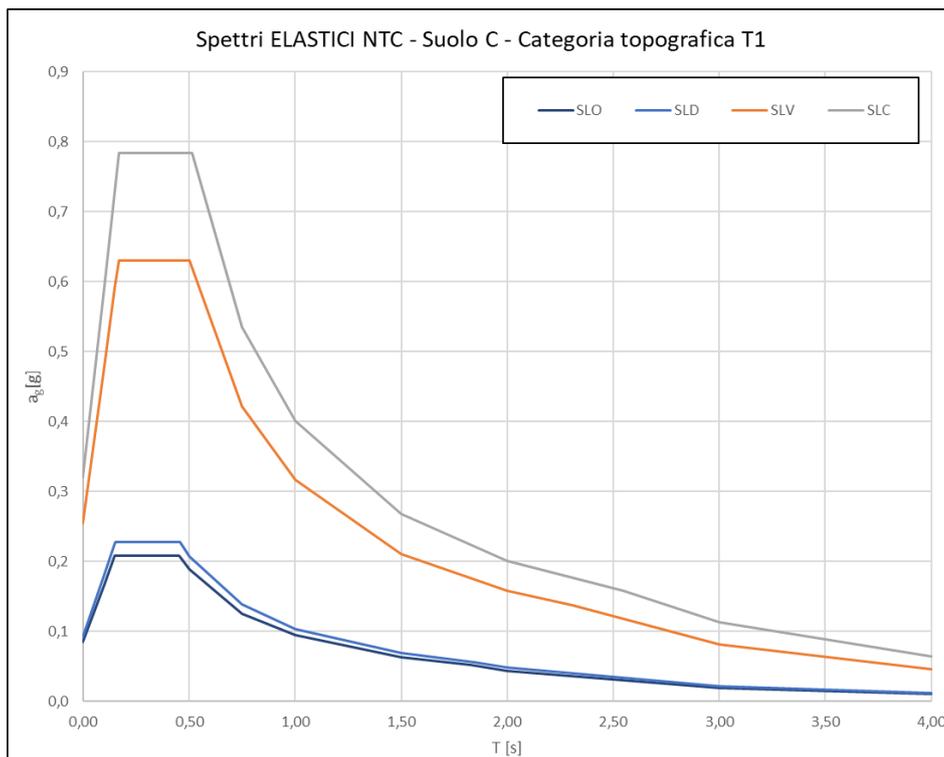


Figura 8. Spettri elastici per categoria di sottosuolo C (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

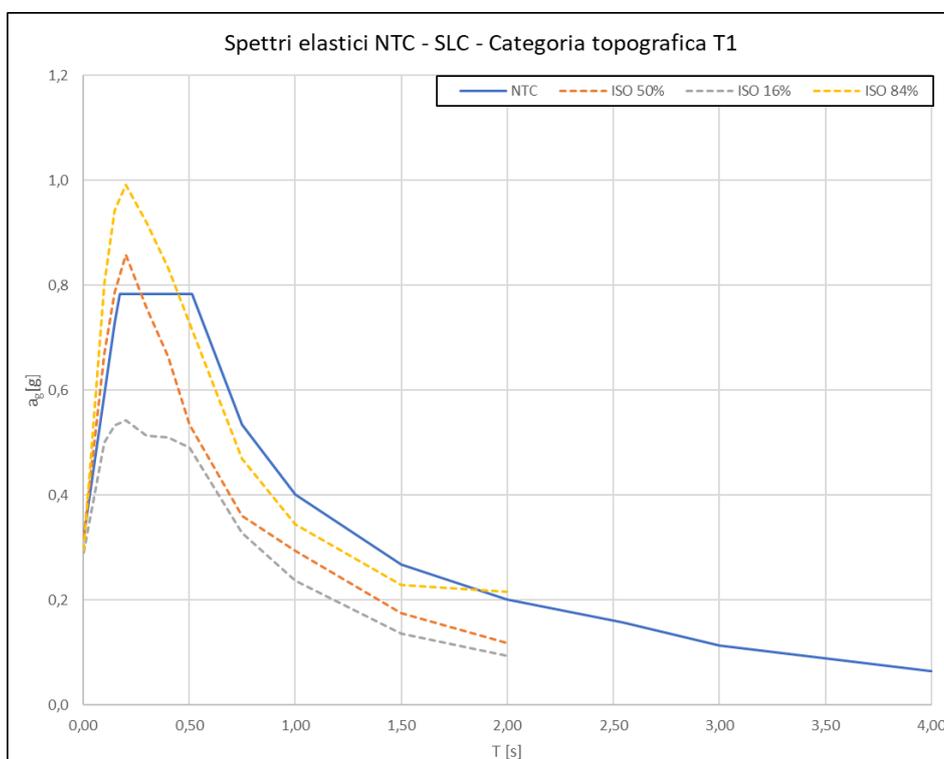


Figura 9. Spettri elastici per SLC (da SPETTRI 6.3 di Ing. Roberto Di Girolamo).

**Eolica s.r.l.**

**P.IVA: 04069440719**

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



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Raffaele Di Ceglie".

**Data:**

**aprile 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: "Rotello Nord"**

**Coordinate: 41.773019, 15.066728**

# 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.

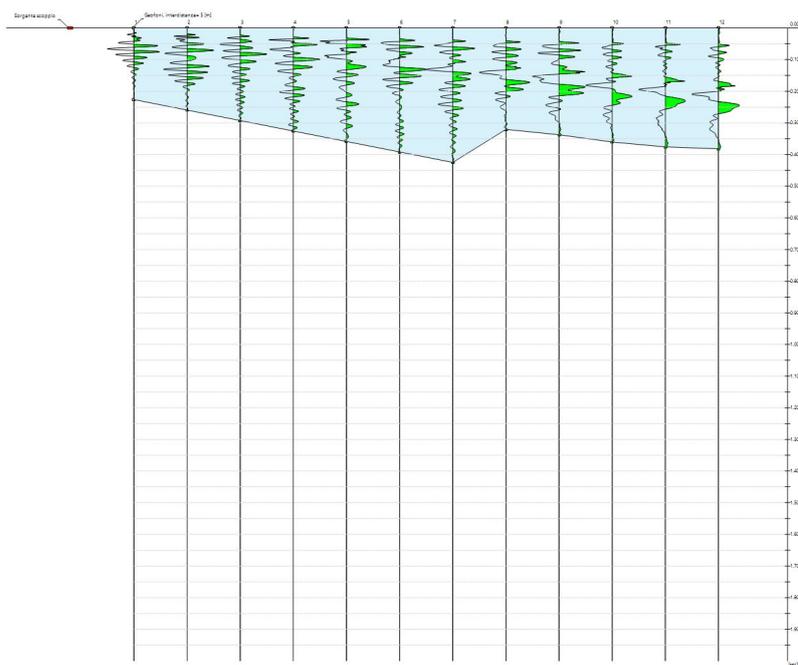
## Dati generali

<b>Cantiere</b>	Rotello Nord
<b>Operatore</b>	Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie
<b>Data</b>	29/04/2023 03:15
<b>Latitudine</b>	41.7730
<b>Longitudine</b>	15.0667



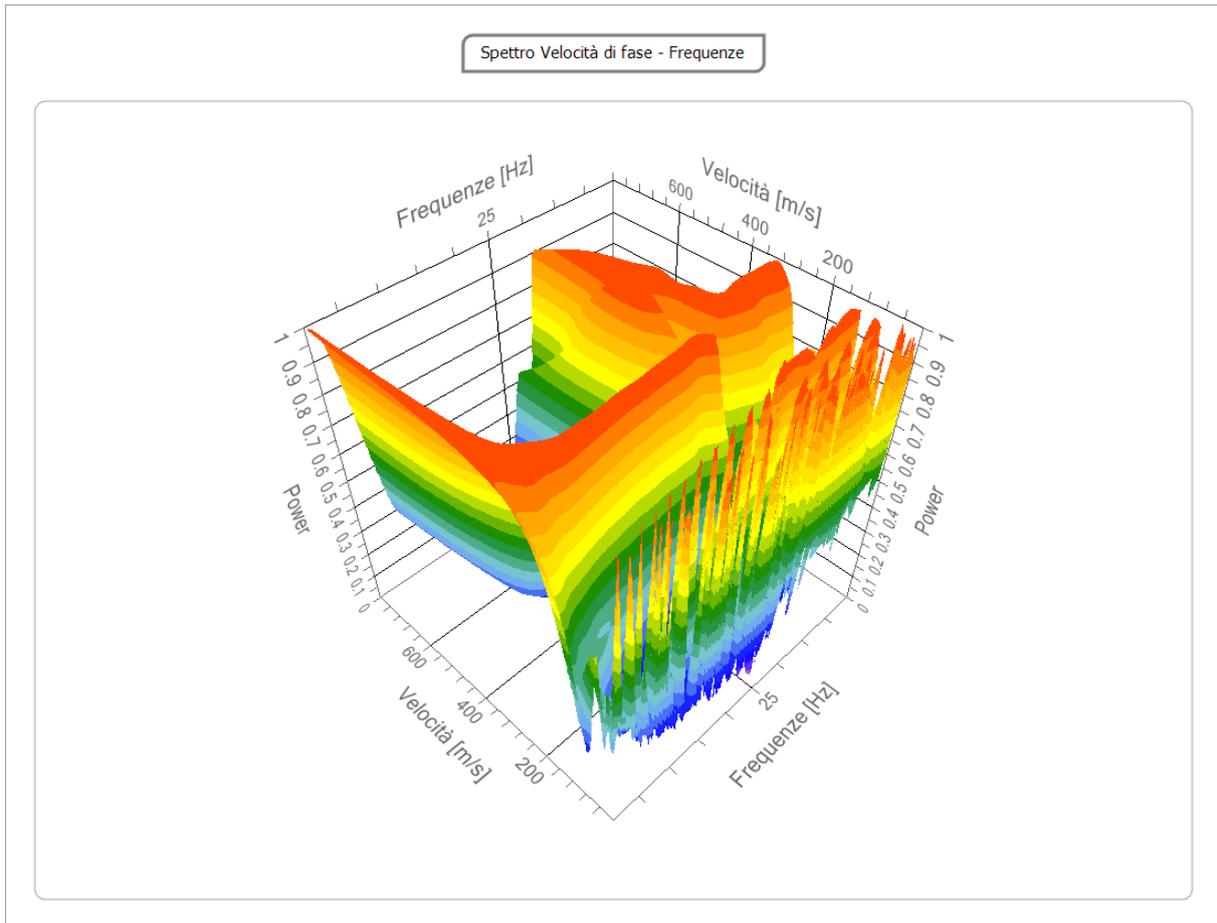
## Tracce

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



## Analisi spettrale

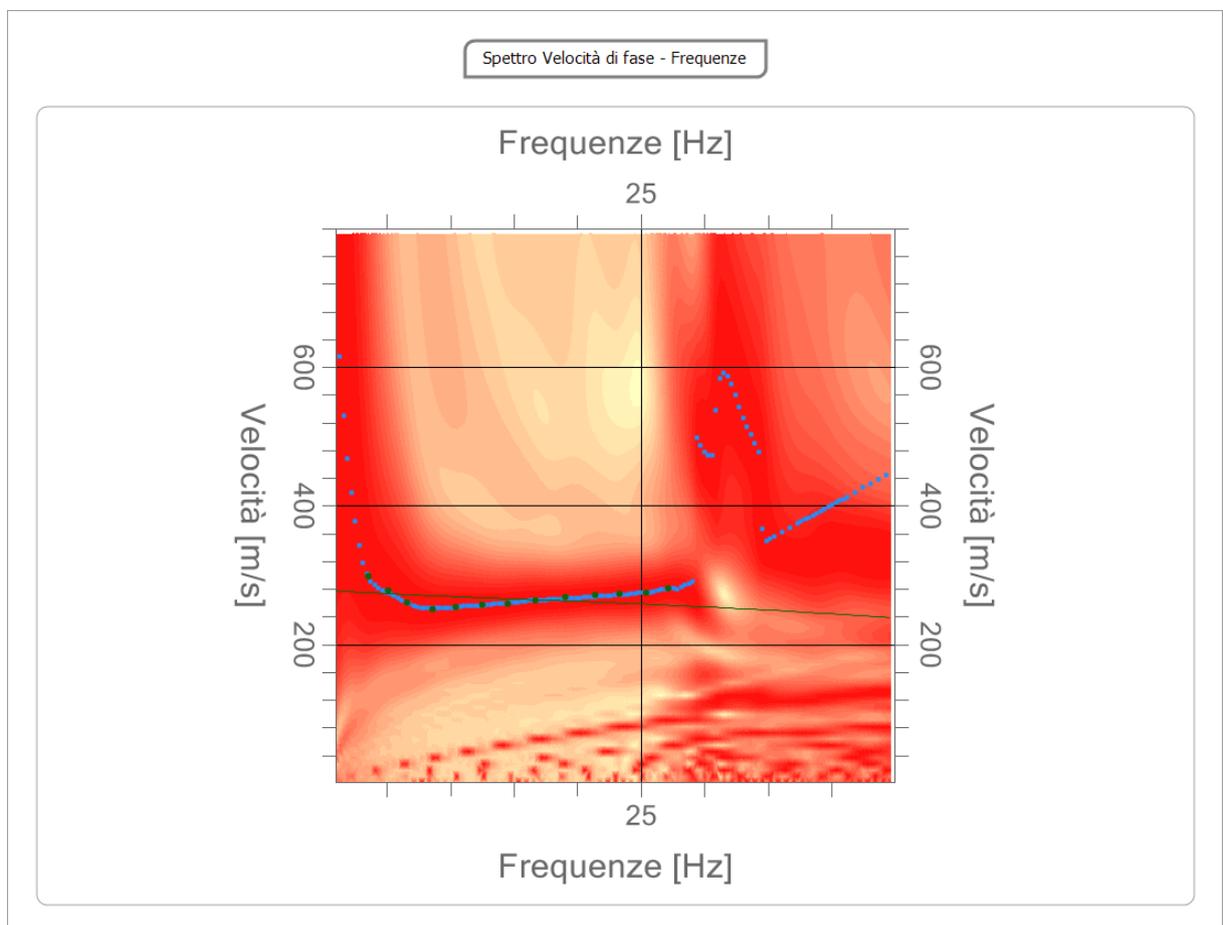
<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	45
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.5	298.8	0
2	5.1	277.3	0
3	6.6	260.7	0
4	8.6	250.8	0
5	10.4	254.1	0
6	12.5	257.4	0
7	14.5	259.1	0

8	16.7	264.0	0
9	19.1	269.0	0
10	21.4	270.6	0
11	23.3	272.3	0
12	25.4	274.0	0
13	27.1	280.6	0



## Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.45	1.45	1800.0	0.30	No	392.7	209.9
2		2.93	1.48	1800.0	0.30	No	571.4	305.4
3		oo	oo	1800.0	0.30	No	562.0	300.4

Percentuale di errore

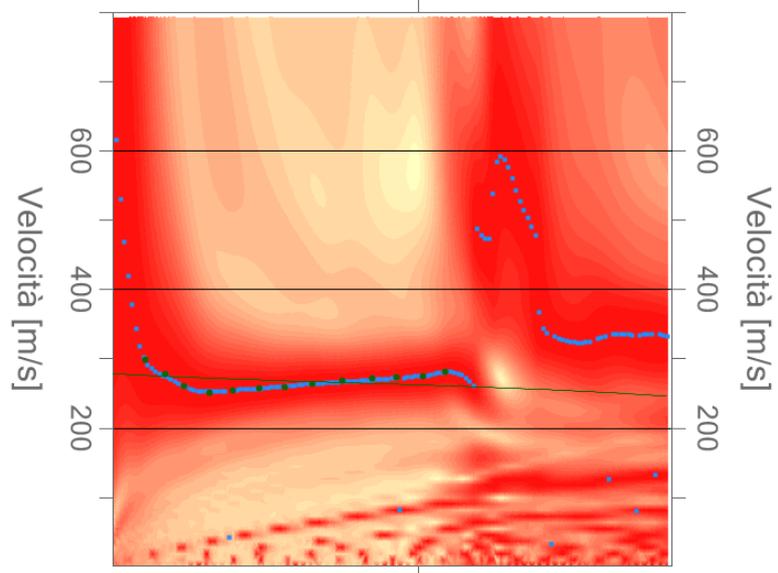
0.247 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.049

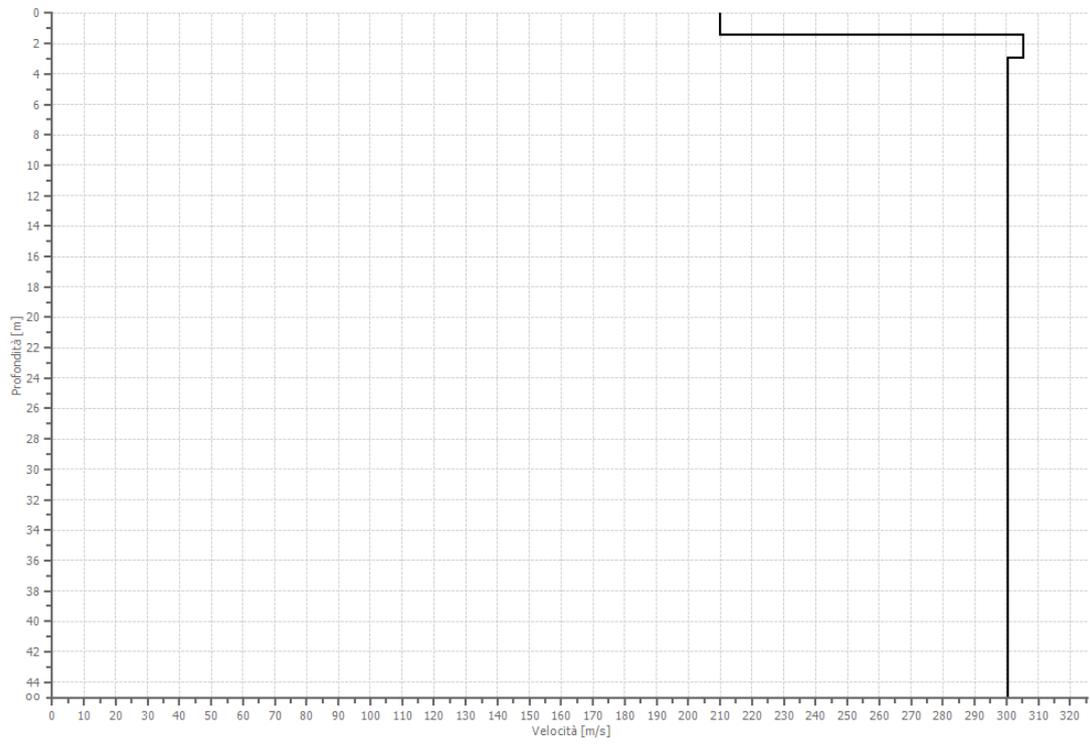
Inversione

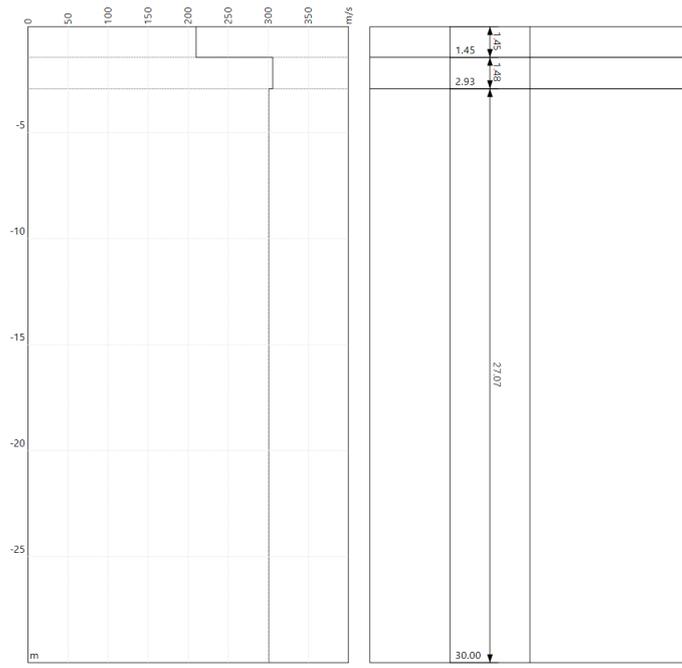
Frequenze



Frequenze

Profilo di velocità





## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	294.52
<b>Categoria del suolo</b>	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

## 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	1.45	1.45	209.93	392.74	1800.00	0.30	79.33	277.64	171.88	206.25	N/A	970.14
2	2.93	1.48	305.45	571.44	1800.00	0.30	167.94	587.78	363.86	436.64	N/A	N/A
3	oo	oo	300.41	562.02	1800.00	0.30	162.44	568.55	351.96	422.35	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: 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

**Eolica s.r.l**

**P.IVA: 04069440719**

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



**Data:**

**aprile 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: "Rotello Sud"**

**Coordinate: 41.765503, 15.052341**

# 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.

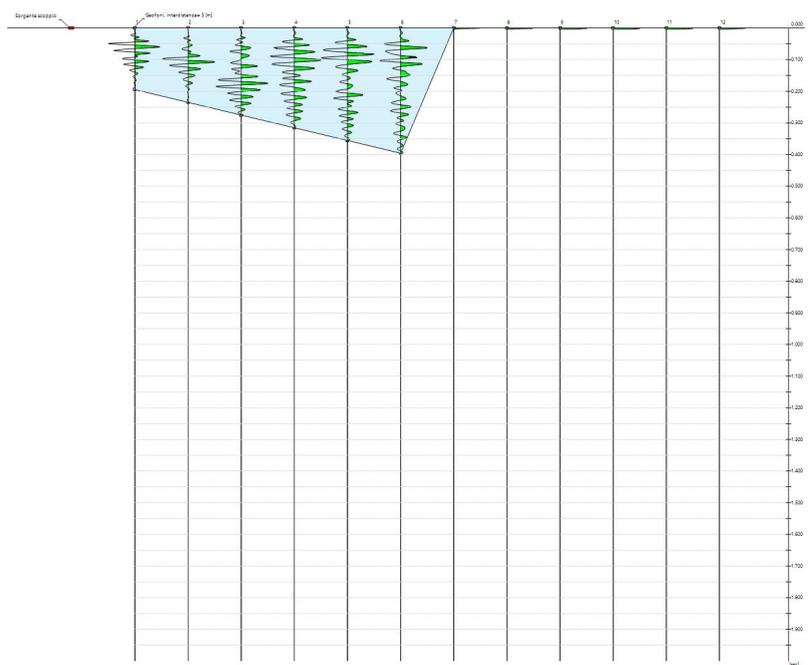
## Dati generali

<b>Cantiere</b>	Rotello
<b>Operatore</b>	Dott. Geol. Raffaele Di Ceglie
<b>Data</b>	29/04/2023 02:40
<b>Latitudine</b>	41.7655
<b>Longitudine</b>	15.0523



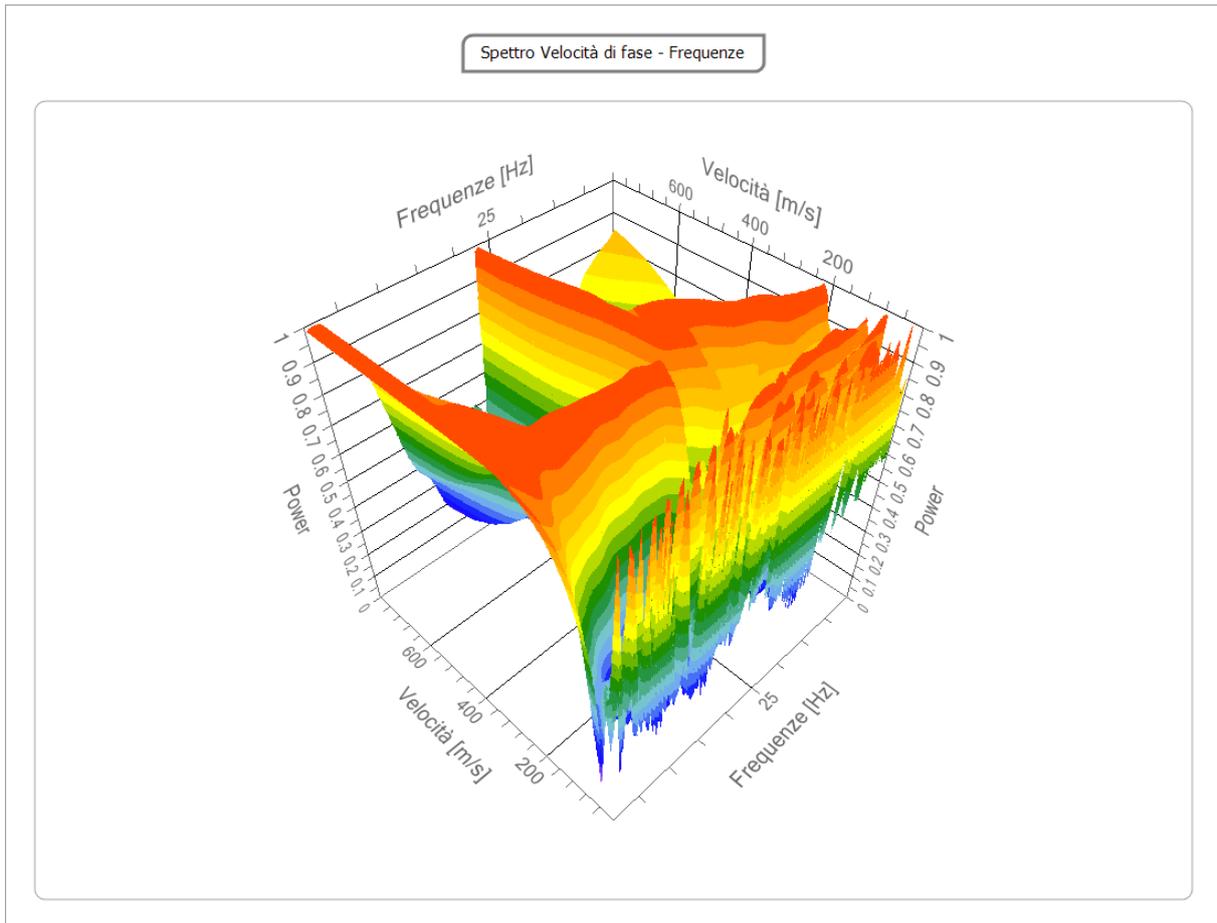
## Tracce

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



## Analisi spettrale

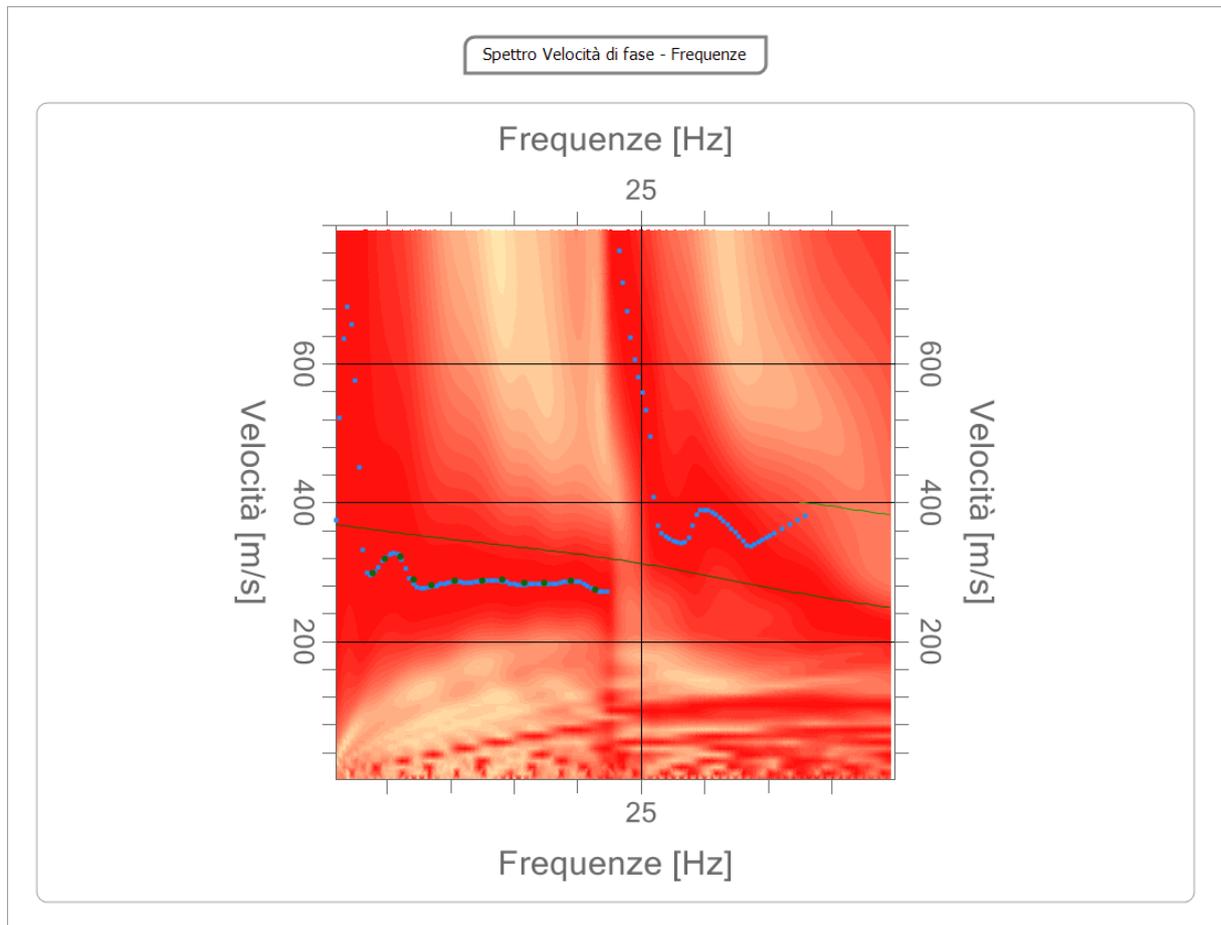
<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	45
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.9	298.8	0
2	4.8	318.6	0
3	6.1	321.9	0
4	7.1	288.8	0
5	8.5	280.6	0
6	10.4	287.2	0
7	12.5	287.2	0

8	14.1	288.8	0
9	15.8	283.9	0
10	17.4	283.9	0
11	19.5	287.2	0
12	21.4	274.0	0



## Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.50	1.50	1800.0	0.30	Si	343.8	183.8
2		2.60	1.10	1800.0	0.30	No	491.1	262.5
3		3.82	1.22	1800.0	0.30	No	616.7	329.6
4		oo	oo	1800.0	0.30	No	628.7	336.1

Percentuale di errore

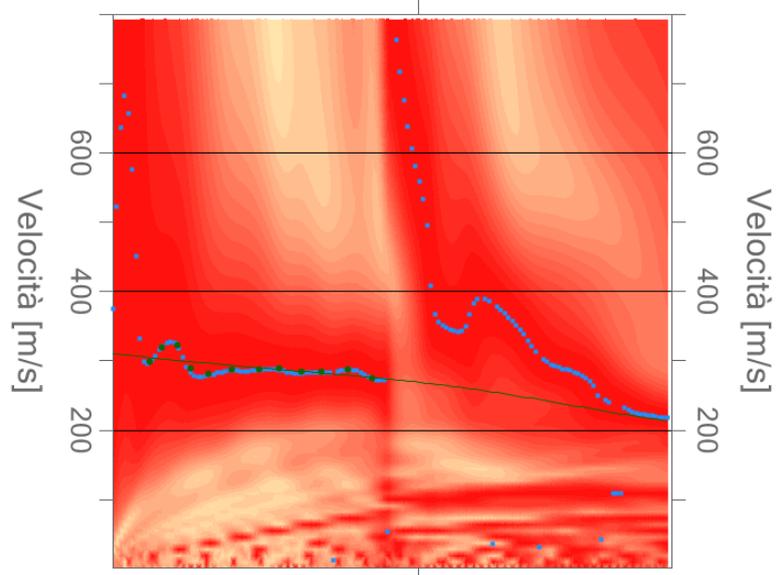
0.118 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.033

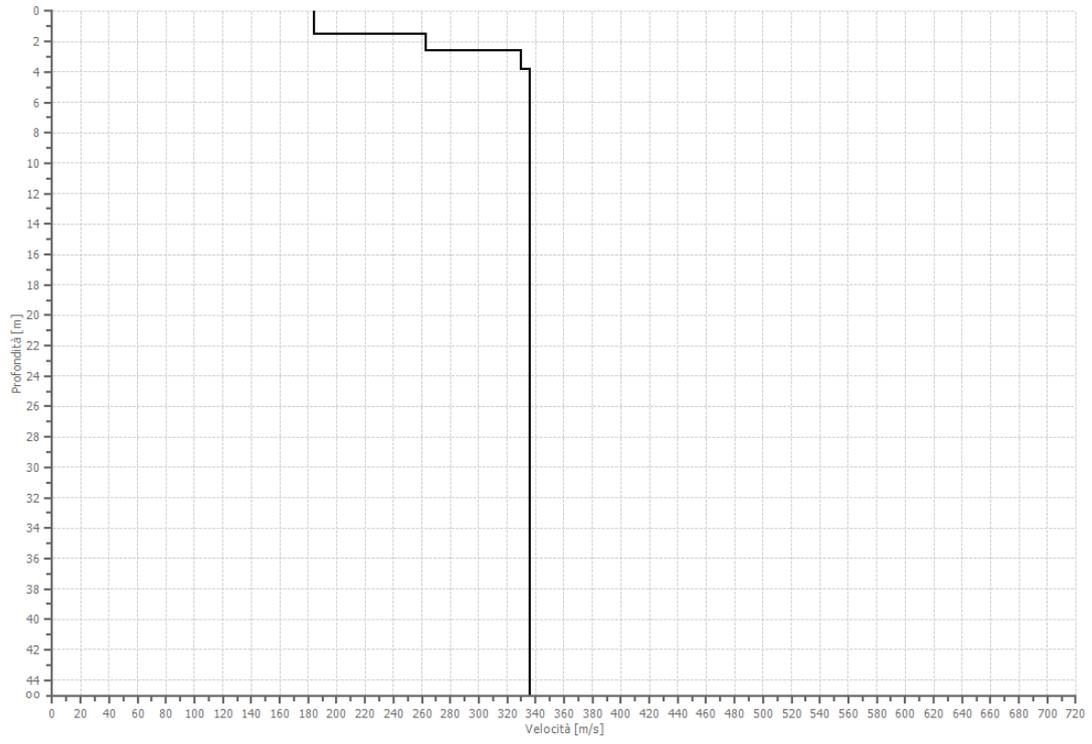
Inversione

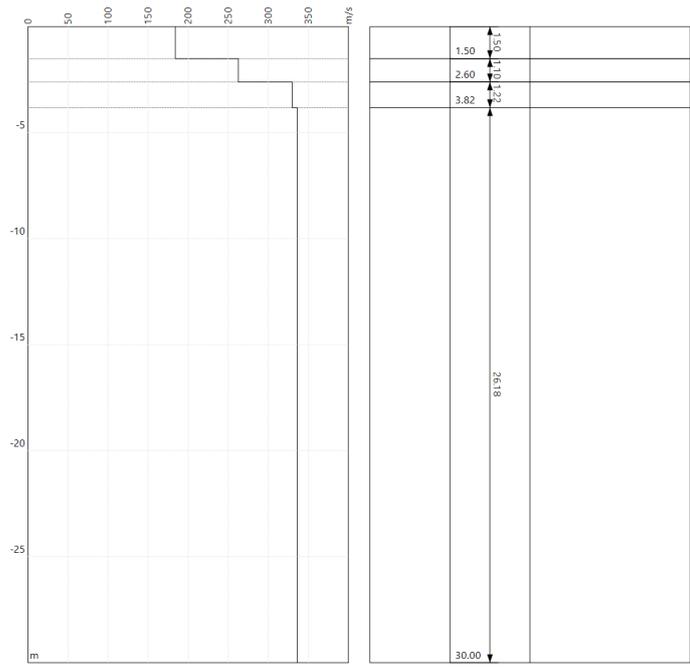
Frequenze



Frequenze

Profilo di velocità





## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	319.27
<b>Categoria del suolo</b>	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

## 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	1.50	1.50	183.79	343.83	1800.00	0.30	60.80	212.80	131.73	158.08	N/A	497.25
2	2.60	1.10	262.50	491.09	1800.00	0.30	124.03	434.10	268.73	322.48	N/A	2982.17
3	3.82	1.22	329.64	616.69	1800.00	0.30	195.59	684.56	423.78	508.53	N/A	N/A
4	oo	oo	336.07	628.72	1800.00	0.30	203.29	711.53	440.47	528.56	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: 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

REGIONE MOLISE

# COMUNE DI ROTELLO

provincia CAMPOBASSO

OGGETTO: **Prove in Sito**

COMMESSA n°  
**PRSE -757**

LOCALITA' : Rotello (CB)  
CANTIERE : Parco agrovoltaiico

COMMITTENTE :

**Eolica S.r.l.**

**GeoSveva** di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- via Montesanto n°64  
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718  
- Cod. Fisc. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66  
F +39 0881 31 81 67

[www.geosveva.it](http://www.geosveva.it)

[geosvevalaboratori@gmail.com](mailto:geosvevalaboratori@gmail.com)  
[geosvevalaboratori@mailcertificata.it](mailto:geosvevalaboratori@mailcertificata.it)

c/o SANPAOLO Banco di Napoli Via Gramsci 13  
Lucera (FG)  
IBAN : IT94N0306978444100000000506



Ministero delle  
Infrastrutture  
e dei Trasporti



Socio  
ALGI



Sistema di gestione  
Qualità certificato  
UNI EN ISO 9001:2008

CONTIENE:

-Prove penetrometriche dinamiche continue

DATA  
ACCETTAZIONE

**18/04/2023**

DATA  
INIZIO

**13/06/2023**

DATA  
EMISSIONE

**16/06/2023**

## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

### CANTIERE: PARCO AGRIVOLTAICO ROTELLO (CB)



PRSE 757	DATA DI ESECUZIONE	DATA DI EMISSIONE	Firma
	13/06/2023	18/06/2023	Ing. Luigi Di Carlo

## 1) PREMESSA

La società Eolica S.r.l. ha affidato al laboratorio Geosveva di Luigi Di Carlo - Servizi per l'ingegneria, l'esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche continue.

Sono intervenuti alla prova:

- Geom. Giovanni Turco
- Ing. Vittorio Grasso

## 2) PROVA DI CARICO STATICA SU PALO DI FONDAZIONE

### 2.1 Introduzione

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste.

L'infissione avviene facendo cadere sull'estremità superiore delle aste, da un'altezza costante, un maglio con peso prestabilito. Si contano i colpi necessari affinché si verifichi, per ciascun tratto, una penetrazione di lunghezza stabilita. La prova consente la determinazione qualitativa del profilo di un terreno e, attraverso appropriate correlazioni con altre prove in sito, la caratterizzazione stratigrafica (resistenza e deformabilità).

La prova viene standardizzata dalla normativa EN ISO 22-476-2:2003

### 2.2 Tipologie di penetrometri dinamici

Le differenze nei penetrometri esistenti e delle modalità esecutiva sono purtroppo numerose:

- massa del maglio: 10-100 Kg
- altezza di caduta: 200-760 mm
- diametro della punta: 22-63 mm
- forma della punta: angolo di apertura del cono, tratto cilindrico alla base del cono
- diametro esterno delle aste: 16-45 mm
- penetrazione di riferimento: 100-300mm
- metodo per eliminare o ridurre l'attrito laterale: rivestimento, fango attraverso le aste.

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

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

In tabella vengono definite, secondo l'EN ISO 22-476-2:2003 le dimensioni delle differenti attrezzature standard

	DPL (leggero)	DPM (medio)	DPH (pesante)	DPSH (superpesante)
<b>Dispositivo di infissione</b>				
Martello: massa $m$ (kg) altezza di caduta $h$ (mm) rapporto lunghezza/diametro ( $D_h$ )	$10 \pm 0,1$ $500 \pm 10$ $\geq 1 \leq 2$	$30 \pm 0,3$ $500 \pm 10$ $\geq 1 \leq 2$	$50 \pm 0,5$ $500 \pm 10$ $\geq 1 \leq 2$	$63,5 \pm 0,5$ $750 \pm 20$ $\geq 1 \leq 2$
<b>Incidine</b>				
diametro, $d$ (mm) massa (kg) (max.) (incluso asta guida)	$100 < d < 0,5 D_h$ 6	$100 < d < 0,5 D_h$ 18	$100 < d < 0,5 D_h$ 18	$100 < d < 0,5 D_h$ 30
<b>Cono 90°</b>				
area base nominale $A$ (cm <sup>2</sup> ) diametro base ( $D$ ) nuovo (mm) diametro base, logorato (mm) (min.) lunghezza mantello (mm) angolo filettato superiore (gradi) lunghezza punta del cono, (mm) punta max. Usura ammessa (mm)	10 $35,7 \pm 0,3$ 34  $35,7 \pm 1$ 11 $17,9 \pm 0,1$ 3	10 $35,7 \pm 0,3$ 34  $35,7 \pm 1$ 11 $17,9 \pm 0,1$ 3	5 $43,7 \pm 0,3$ 42  $43,7 \pm 1$ 11 $21,9 \pm 0,1$ 4	20 $51 \pm 0,5$ 49  $51 \pm 2$ 11 $25,3 \pm 0,4$ 5
<b>Aste di infissione</b>				
massa (kg/m) (max.) diametro OD (mm) (max.) scostamento asta: più basso 5 m, % restante, %	3 22 0,1 0,2	6 32 0,1 0,2	6 32 0,1 0,2	6 32 0,1 0,2
<b>Operazioni specifiche per colpo</b>				
( $mgh/A$ ) in kJ/m <sup>2</sup>	50	150	167	238

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

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE) massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE) massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE) massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $\delta = 30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A = 20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;



### GeoSveva di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di  
analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- via Montesanto 64-66  
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA: 01062020718  
- C.F. DCR/CUB1A090643E

T +39 0881 31 81 66  
F +39 0881 31 81 67

[www.geosveva.it](http://www.geosveva.it)  
[geosvevalaboratori@alice.it](mailto:geosvevalaboratori@alice.it)



Ministero delle  
Infrastrutture  
e dei Trasporti



Società  
ALGI

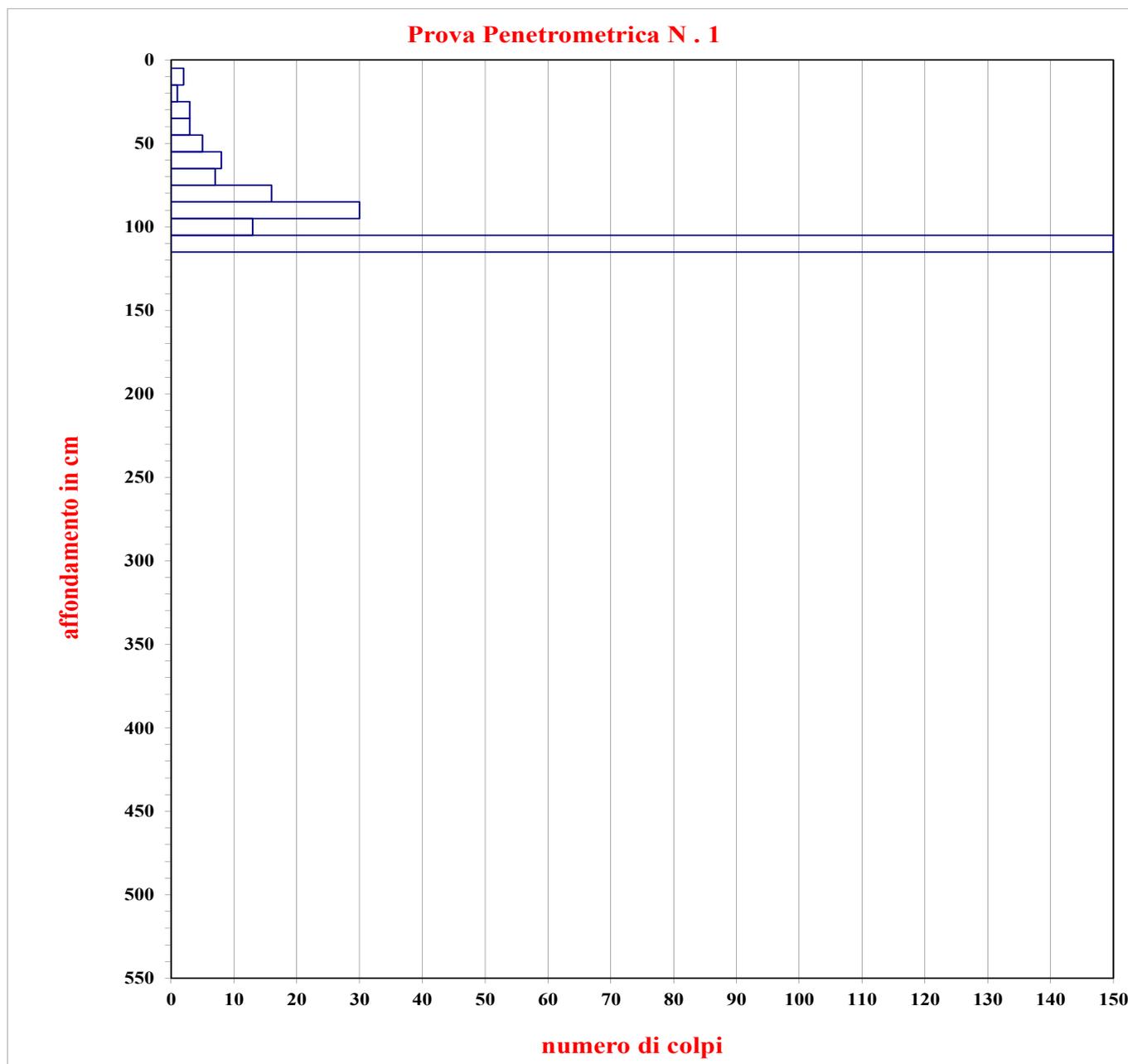


Società di gestione  
qualità certificata  
UNI EN ISO 9001:2008

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA) massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

## Prova PENETROMETROMETRICA 1

Committente: Eolica S.r.l.  
Località: Rotello (CB)  
Cantiere: Parco Agrivoltaico  
Data : 13/06/2023  
Tipo di penetrometro dinamico: leggero (h=20 cm; p= 30Kg)



Penetrometro dinamico leggero <b>SUNDA DL030</b> Altezza di caduta 20 cm Peso maglio 30 Kg	Committente : Eolica S.r.l. Località : Rotello (CB) Cantiere : Parco agrivoltaico Coord. UTM WGS 84 : 41°46'24.88" 15°03'59.94 Data : 13/06/2023
---	--

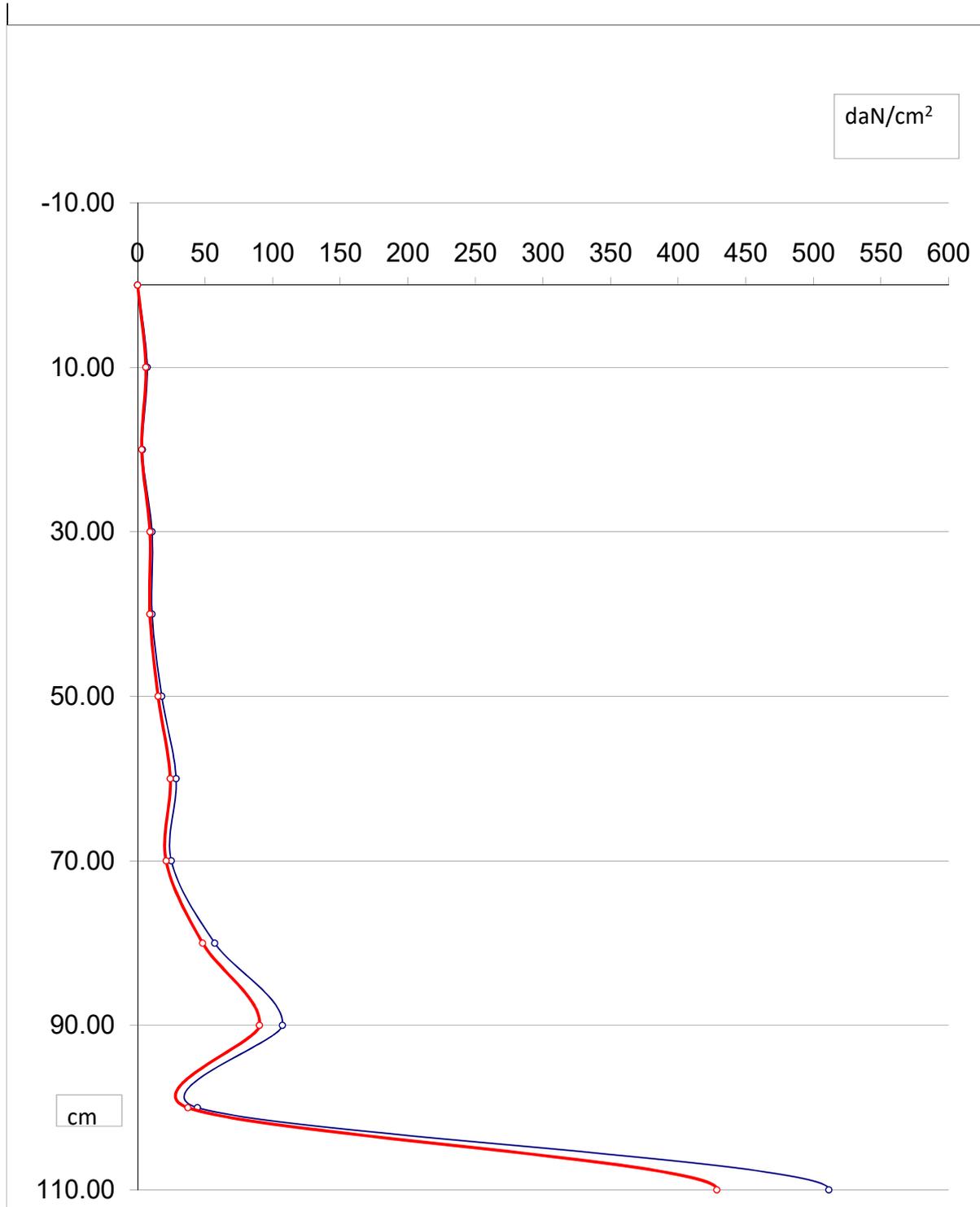
Prova n° 1

Profondità	N° colpi	Coeff. Chi	Rd	Rd ridotta
			daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
0	0			
10.00	2	0.857	7.143	6.121
20.00	1	0.855	3.571	3.054
30.00	3	0.853	10.714	9.139
40.00	3	0.851	10.714	9.118
50.00	5	0.849	17.857	15.161
60.00	8	0.847	28.571	24.200
70.00	7	0.845	25.000	21.125
80.00	16	0.843	57.143	48.171
90.00	30	0.842	107.143	90.214
100.00	13	0.840	44.318	37.227
110.00	150	0.838	511.364	428.523
120.00		0.836		
130.00		0.835		
140.00		0.833		
150.00		0.831		
160.00		0.830		
170.00		0.828		
180.00		0.826		
190.00		0.825		
200.00		0.823		
210.00		0.822		
220.00		0.820		
230.00		0.819		
240.00		0.817		
250.00		0.816		
260.00		0.814		
270.00		0.813		
280.00		0.811		
290.00		0.810		
300.00		0.809		
310.00		0.807		
320.00		0.806		
330.00		0.755		
340.00		0.753		
350.00		0.752		
360.00		0.751		
370.00		0.750		
380.00		0.748		
390.00		0.747		
400.00		0.746		
410.00		0.695		
420.00		0.694		
430.00		0.693		
440.00		0.691		
450.00		0.690		
460.00		0.699		
470.00		0.688		
480.00		0.687		
490.00		0.686		
500.00		0.635		
510.00		0.634		
520.00		0.633		
530.00		0.632		
540.00		0.581		
550.00		0.580		
560.00		0.579		
570.00		0.578		
580.00		0.577		
590.00		0.576		
600.00		0.575		

Profondità	N° colpi	Coeff. Chi	Rd	Rd ridotta
			daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
610.00		0.575		
620.00		0.574		
630.00		0.573		
640.00		0.572		
650.00		0.571		
660.00		0.570		
670.00		0.570		
680.00		0.569		
690.00		0.568		
700.00		0.567		
710.00		0.566		
720.00		0.565		
730.00		0.564		
740.00		0.563		
750.00		0.562		
760.00		0.561		
770.00		0.560		
780.00		0.559		
790.00		0.558		
800.00		0.557		
810.00		0.556		
820.00		0.555		
830.00		0.554		
840.00		0.553		
850.00		0.552		
860.00		0.551		
870.00		0.550		
880.00		0.549		
890.00		0.548		
900.00		0.547		
910.00		0.546		
920.00		0.545		
930.00		0.544		
940.00		0.543		
950.00		0.542		
960.00		0.541		
970.00		0.540		
980.00		0.539		
990.00		0.538		
1000.00		0.537		
1010.00		0.536		
1020.00		0.535		
1030.00		0.534		
1040.00		0.533		
1050.00		0.532		
1060.00		0.531		
1070.00		0.530		
1080.00		0.529		
1090.00		0.528		
1100.00		0.527		
1110.00		0.526		
1120.00		0.525		
1130.00		0.524		
1140.00		0.523		
1150.00		0.522		
1160.00		0.521		
1170.00		0.520		
1180.00		0.519		
1190.00		0.518		
1200.00		0.517		
1210.00		0.516		

Penetrometro dinamico leggero <b>SUNDA DL030</b> Altezza di caduta 20 cm Peso maglio 30 Kg	Committente : Eolica S.r.l. Località : Rotello (CB) Cantiere : Parco agrivoltaico Coord. UTM WGS 84 : 41°46'24.88" 15°03'59.94"      Data : 13/06/2023
---	---

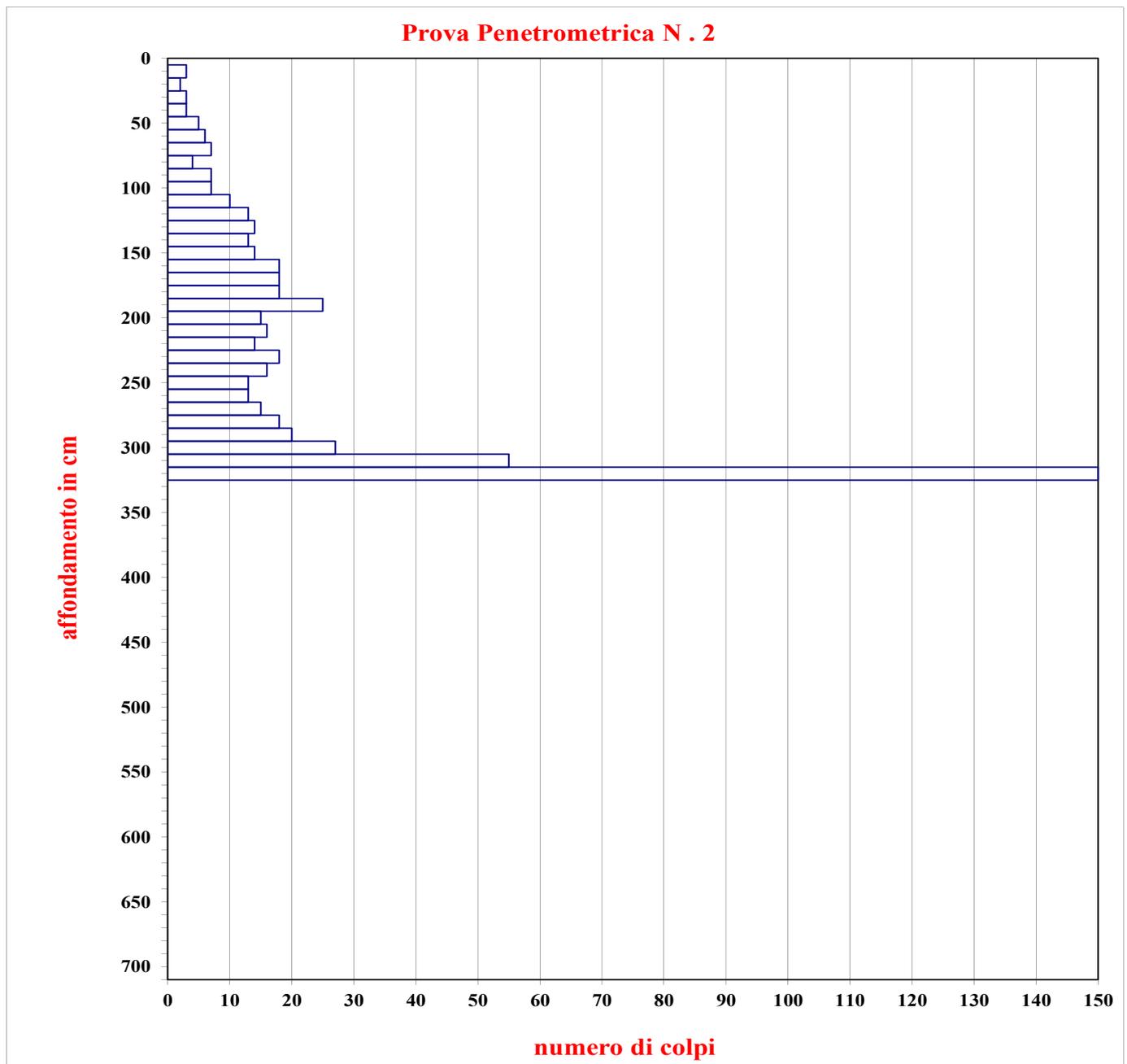
Prova n° **1**





## Prova PENETROMETROMETRICA 2

Committente: Eolica S.r.l.  
Località: Rotello (CB)  
Cantiere: Parco Agrivoltaico  
Data : 13/06/2023  
Tipo di penetrometro dinamico: leggero (h=20 cm; p= 30Kg)



Penetrometro dinamico leggero <b>SUNDA DL030</b> Altezza di caduta 20 cm Peso maglio 30 Kg	Committente : Eolica S.r.l. Località : Rotello (CB) Cantiere : Parco agrivoltaico Coord. UTM WGS 84 : 41°46'12.52 15°03'29.25 Data : 13/06/2023
---	---

Prova n° 2

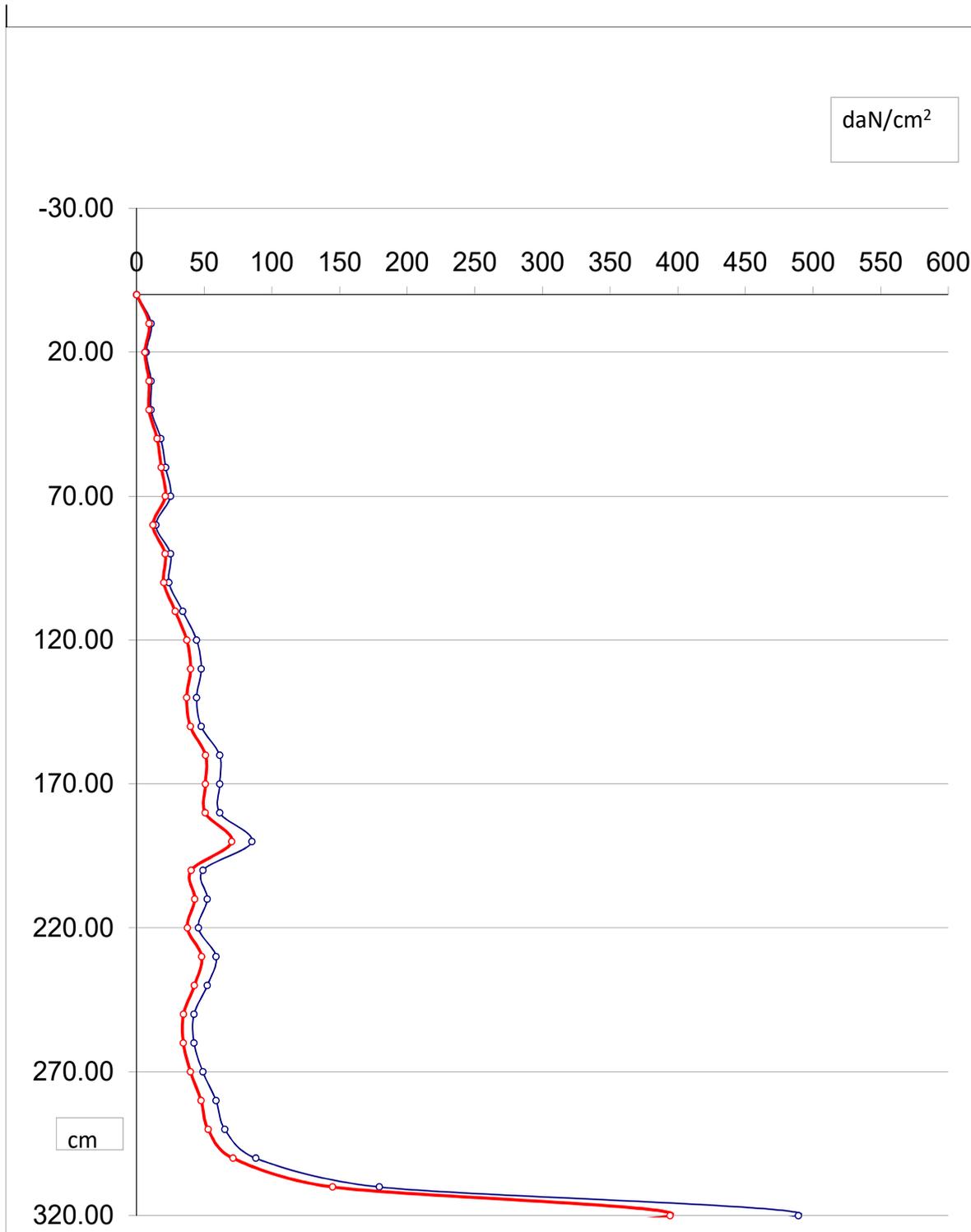
Profondità	N° colpi	Coeff. Chi	Rd	Rd ridotta
			daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
0	0			
10.00	3	0.857	10.714	9.182
20.00	2	0.855	7.143	6.107
30.00	3	0.853	10.714	9.139
40.00	3	0.851	10.714	9.118
50.00	5	0.849	17.857	15.161
60.00	6	0.847	21.429	18.150
70.00	7	0.845	25.000	21.125
80.00	4	0.843	14.286	12.043
90.00	7	0.842	25.000	21.050
100.00	7	0.840	23.864	20.045
110.00	10	0.838	34.091	28.568
120.00	13	0.836	44.318	37.050
130.00	14	0.835	47.727	39.852
140.00	13	0.833	44.318	36.917
150.00	14	0.831	47.727	39.661
160.00	18	0.830	61.364	50.932
170.00	18	0.828	61.364	50.809
180.00	18	0.826	61.364	50.686
190.00	25	0.825	85.227	70.313
200.00	15	0.823	48.913	40.255
210.00	16	0.822	52.174	42.887
220.00	14	0.820	45.652	37.435
230.00	18	0.819	58.696	48.072
240.00	16	0.817	52.174	42.626
250.00	13	0.816	42.391	34.591
260.00	13	0.814	42.391	34.507
270.00	15	0.813	48.913	39.766
280.00	18	0.811	58.696	47.602
290.00	20	0.810	65.217	52.826
300.00	27	0.809	88.043	71.227
310.00	55	0.807	179.348	144.734
320.00	150	0.806	489.130	394.239
330.00		0.755		
340.00		0.753		
350.00		0.752		
360.00		0.751		
370.00		0.750		
380.00		0.748		
390.00		0.747		
400.00		0.746		
410.00		0.695		
420.00		0.694		
430.00		0.693		
440.00		0.691		
450.00		0.690		
460.00		0.699		
470.00		0.688		
480.00		0.687		
490.00		0.686		
500.00		0.635		
510.00		0.634		
520.00		0.633		
530.00		0.632		
540.00		0.581		
550.00		0.580		
560.00		0.579		
570.00		0.578		
580.00		0.577		
590.00		0.576		
600.00		0.575		

Profondità	N° colpi	Coeff. Chi	Rd	Rd ridotta
			daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
610.00		0.575		
620.00		0.574		
630.00		0.573		
640.00		0.572		
650.00		0.571		
660.00		0.570		
670.00		0.570		
680.00		0.569		
690.00		0.568		
700.00		0.567		
710.00		0.566		
720.00		0.565		
730.00		0.564		
740.00		0.563		
750.00		0.562		
760.00		0.561		
770.00		0.560		
780.00		0.559		
790.00		0.558		
800.00		0.557		
810.00		0.556		
820.00		0.555		
830.00		0.554		
840.00		0.553		
850.00		0.552		
860.00		0.551		
870.00		0.550		
880.00		0.549		
890.00		0.548		
900.00		0.547		
910.00		0.546		
920.00		0.545		
930.00		0.544		
940.00		0.543		
950.00		0.542		
960.00		0.541		
970.00		0.540		
980.00		0.539		
990.00		0.538		
1000.00		0.537		
1010.00		0.536		
1020.00		0.535		
1030.00		0.534		
1040.00		0.533		
1050.00		0.532		
1060.00		0.531		
1070.00		0.530		
1080.00		0.529		
1090.00		0.528		
1100.00		0.527		
1110.00		0.526		
1120.00		0.525		
1130.00		0.524		
1140.00		0.523		
1150.00		0.522		
1160.00		0.521		
1170.00		0.520		
1180.00		0.519		
1190.00		0.518		
1200.00		0.517		
1210.00		0.516		

Penetrometro dinamico leggero  
**SUNDA DL030**  
Altezza di caduta 20 cm  
Peso maglio 30 Kg

Committente : Eolica S.r.l.  
Località : Rotello (CB)  
Cantiere : Parco agrivoltaico  
Coor. UTM WGS 84 : 41°46'12.52 15°03'29.25 Data : 13/06/2023

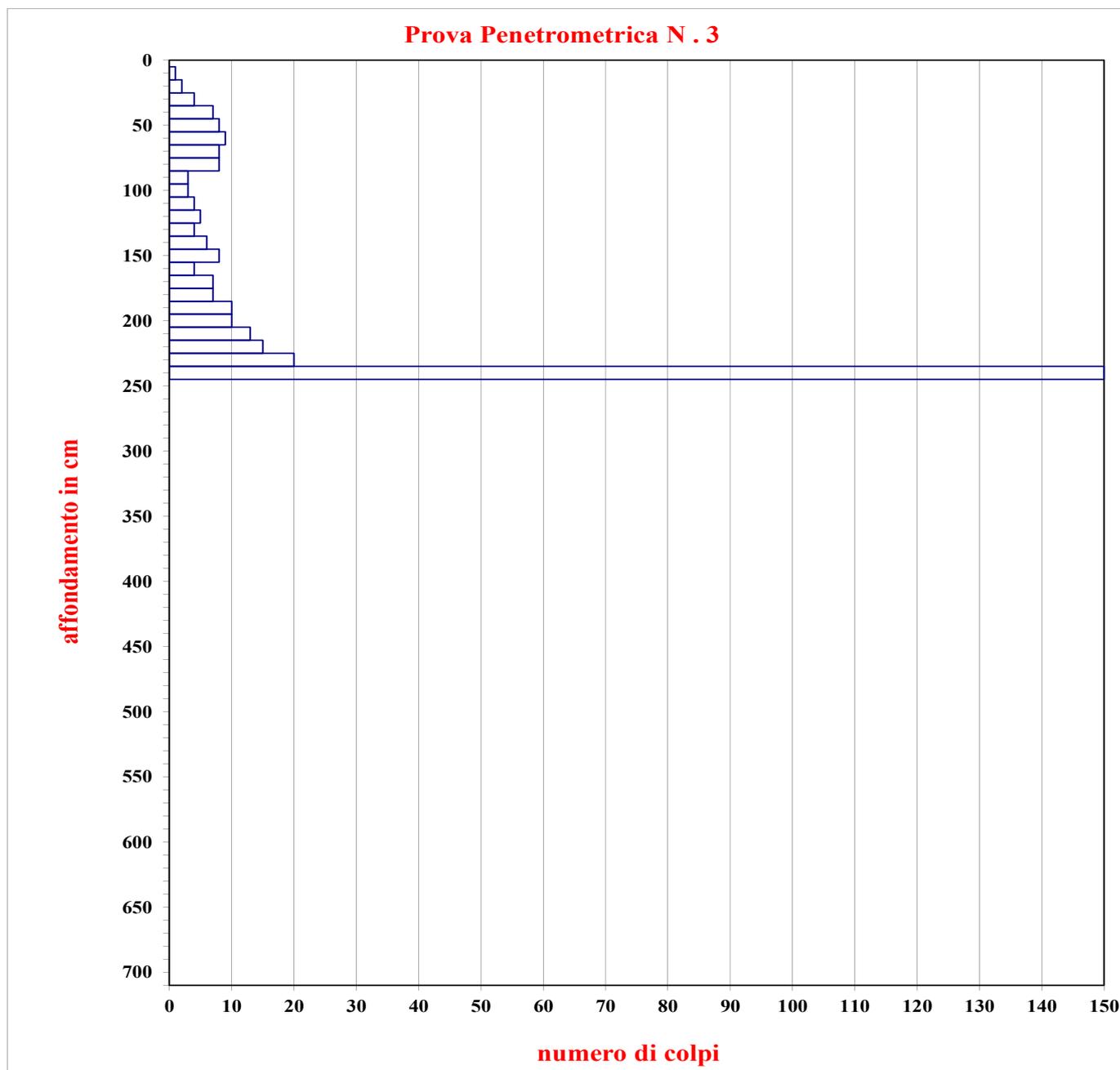
Prova n° 2





## Prova PENETROMETROMETRICA 3

Committente: Eolica S.r.l.  
Località: Rotello (CB)  
Cantiere: Parco Agrivoltaico  
Data : 13/06/2023  
Tipo di penetrometro dinamico: leggero (h=20 cm; p= 30Kg)



Penetrometro dinamico leggero <b>SUNDA DL030</b> Altezza di caduta 20 cm Peso maglio 30 Kg	Committente : Eolica S.r.l. Località : Rotello (CB) Cantiere : Parco agrivoltaico Coord. UTM WGS 84 : 41°15'49.33 15°03'1.66"	Data : 13/06/2023
---	--	-------------------

Prova n° **3**

Profondità	N° colpi	Coeff. Chi	Rd	Rd ridotta
			daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
0	0			
10.00	1	0.857	3.571	3.061
20.00	2	0.855	7.143	6.107
30.00	4	0.853	14.286	12.186
40.00	7	0.851	25.000	21.275
50.00	8	0.849	28.571	24.257
60.00	9	0.847	32.143	27.225
70.00	8	0.845	28.571	24.143
80.00	8	0.843	28.571	24.086
90.00	3	0.842	10.714	9.021
100.00	3	0.840	10.227	8.591
110.00	4	0.838	13.636	11.427
120.00	5	0.836	17.045	14.250
130.00	4	0.835	13.636	11.386
140.00	6	0.833	20.455	17.039
150.00	8	0.831	27.273	22.664
160.00	4	0.830	13.636	11.318
170.00	7	0.828	23.864	19.759
180.00	7	0.826	23.864	19.711
190.00	10	0.825	34.091	28.125
200.00	10	0.823	32.609	26.837
210.00	13	0.822	42.391	34.846
220.00	15	0.820	48.913	40.109
230.00	20	0.819	65.217	53.413
240.00	150	0.817	489.130	399.620
250.00		0.816		
260.00		0.814		
270.00		0.813		
280.00		0.811		
290.00		0.810		
300.00		0.809		
310.00		0.807		
320.00		0.806		
330.00		0.755		
340.00		0.753		
350.00		0.752		
360.00		0.751		
370.00		0.750		
380.00		0.748		
390.00		0.747		
400.00		0.746		
410.00		0.695		
420.00		0.694		
430.00		0.693		
440.00		0.691		
450.00		0.690		
460.00		0.699		
470.00		0.688		
480.00		0.687		
490.00		0.686		
500.00		0.635		
510.00		0.634		
520.00		0.633		
530.00		0.632		
540.00		0.581		
550.00		0.580		
560.00		0.579		
570.00		0.578		
580.00		0.577		
590.00		0.576		
600.00		0.575		

Profondità	N° colpi	Coeff. Chi	Rd	Rd ridotta
			daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
610.00		0.575		
620.00		0.574		
630.00		0.573		
640.00		0.572		
650.00		0.571		
660.00		0.570		
670.00		0.570		
680.00		0.569		
690.00		0.568		
700.00		0.567		
710.00		0.566		
720.00		0.565		
730.00		0.564		
740.00		0.563		
750.00		0.562		
760.00		0.561		
770.00		0.560		
780.00		0.559		
790.00		0.558		
800.00		0.557		
810.00		0.556		
820.00		0.555		
830.00		0.554		
840.00		0.553		
850.00		0.552		
860.00		0.551		
870.00		0.550		
880.00		0.549		
890.00		0.548		
900.00		0.547		
910.00		0.546		
920.00		0.545		
930.00		0.544		
940.00		0.543		
950.00		0.542		
960.00		0.541		
970.00		0.540		
980.00		0.539		
990.00		0.538		
1000.00		0.537		
1010.00		0.536		
1020.00		0.535		
1030.00		0.534		
1040.00		0.533		
1050.00		0.532		
1060.00		0.531		
1070.00		0.530		
1080.00		0.529		
1090.00		0.528		
1100.00		0.527		
1110.00		0.526		
1120.00		0.525		
1130.00		0.524		
1140.00		0.523		
1150.00		0.522		
1160.00		0.521		
1170.00		0.520		
1180.00		0.519		
1190.00		0.518		
1200.00		0.517		
1210.00		0.516		

Penetrometro dinamico leggero <b>SUNDA DL030</b> Altezza di caduta 20 cm Peso maglio 30 Kg	Committente : Eolica S.r.l. Località : Rotello (CB) Cantiere : Parco agrivoltaico Coord. UTM WGS 84 : 41°15'49.33 15°03'1.66"	Data : 13/06/2023
---	--	-------------------

Prova n° 3

