

CLIENTE:	AgriEko Campomarino srl Via G. Pastore 1/A - 86039 Termoli (CB)
LOCALITA':	Terreni in agro di Campomarino (CB) individuati al N.C.T. al Foglio 45 Part. 30, 31, 35, 38, 39, 40, 41, 120, 122, 123, 124, 125, 126, 130, 135, 166, 168, 171 Foglio 39 Part. 75, 309
OGGETTO:	Parco Agrivoltaico per la produzione congiunta di energia elettrica e coltivazione seminativa con immissione su RTN della potenza di picco di 46,75 MWp

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

COMM. 02923	SETT. ELETT.	TIP. RELAZ.	NUM. 81	DETT. ESECUTIVO	REV. 01	CM_81
----------------	-----------------	----------------	------------	--------------------	------------	--------------

REV.	DATA	DESCRIZIONE	RED.	VER.	APP.
1	20/12/2023	PRIMA EMISSIONE	AC - SC	EG	GM

<p>PROGETTAZIONE</p>  <p>STUDIO EKO' s.r.l. Società di Ingegneria Via Dante n. 6 86039 TERMOLI (CB) Tel/Fax: +39 0875 81344 E-mail: info@studioeko.biz Pec: studioeko@pec.it www.studioeko.biz P.IVA IT01658470701</p> <p><small>SISTEMA DI GESTIONE DELL'ENERGIA CERTIFICATO</small></p>  <p><small>UNICEF ENISO 9001:2015</small></p>	<p>Proponente: AgriEko Campomarino srl</p> <hr/> <p>GRUPPO DI PROGETTAZIONE:</p> <p>Ing. Gianluca MEDULLI: progettazione generale, studio impatto ambientale, progettazione elettrica</p> <p>Ing. Ernesto STORTO: studio impatto acustico</p> <p>Dott. agr. Luciano GRILLI: studi e progettazione agronomica</p> <p>Dott. Rodolfo CARMAGNOLA: studi e indagini archeologiche</p> <p>Dott. geol. Carmine MARINARO: studi e indagini geologiche e sismiche</p> <p>Elaborato redatto da:</p> <p>Dott. geol. Carmine MARINARO:</p> <div style="text-align: right;">  <p>Il geologo Carmine MARINARO</p>  </div>
--	---

SOMMARIO

PREMESSA

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROLOGICO	Pag.	1
LINEAMENTI DI GEOLOGIA REGIONALE	"	5
LINEAMENTI DI GEOLOGIA LOCALE	"	7
ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO	"	11
INDAGINI ESEGUITE	"	14
Prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH)	"	14
Caratterizzazione geotecnica indicativa dei terreni impegnati	"	19
Prospezioni sismiche a rifrazione RF e sismiche MASW	"	20
CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE	"	23
SISMICITA' LOCALE	"	26
CONCLUSIONI E MISURE DI SALVAGUARDIA	"	28

ALLEGATI

Corografia (1:10.000)

Planimetria catastale con ubicazione indagini

Carta del rilievo geologico (1:10.000)

Carta della pericolosità idraulica e delle zone ZPS - SIC

Quaderno indagini:

- **Prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH)**
- **Indagine sismica di superficie Rifrazione - MASW**

PREMESSA

La presente relazione geologica ed idrogeologica è a corredo del progetto riguardante un *Parco Agrivoltaico per la produzione congiunta di energia elettrica e coltivazione seminativa con immissione su RTN della potenza di picco di 46.75 MWp* in località Convento Vecchio - Nuova Cliternia, agro di Campomarino (CB).

Detta consulenza è stata condotta dallo scrivente Carmine Marinaro -geologo-, iscritto all'Albo Professionale Sez. A dell'Ordine Regionale dei Geologi del Molise con numero di riferimento 048, per conto dello **STUDIO EKO' Srl**, con sede in Termoli (CB) alla Via Dante 6, C.F./P.IVA: 01658470701 e su incarico del legale rappresentante Ing. Gianluca Medulli, nato il 24/12/1985 a Roma e residente in Termoli (CB) alla Via Dante 6 (MDLGLC85T24H501C).

Lo studio geologico, ha avuto lo scopo di delineare le caratteristiche geomorfologiche, geolitologico-tecniche, idrogeologiche e sismiche delle aree interessate, tale da fornire dati tecnici di natura idrogeomorfologica e sismica necessari per una corretta progettazione del Parco Agrivoltaico, che si è così articolato:

- analisi dello stato dei luoghi che ha consentito di definire il quadro geomorfologico e geolitologico di superficie dei siti d'intervento;

- un'adeguata campagna geognostica finalizzata alla determinazione della natura dei terreni presenti e delle relative caratteristiche geomeccaniche e sismiche degli stessi. In particolare, detta campagna indagini è consistita nell'esecuzione di n. 7 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH), n. 3 profili sismici con metodologia MASW e n. 2 profili sismici a rifrazione;
- valutazione complessiva dell'idoneità dei siti ai fini della realizzazione del parco agrivoltaico.

Nelle pagine che seguono verranno esposti i risultati scaturiti dal presente studio, adeguati alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e le relative considerazioni conclusive in merito al corretto inserimento del suddetto impianto fotovoltaico, nel locale contesto geomorfologico, geolitologico e sismico.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROLOGICO

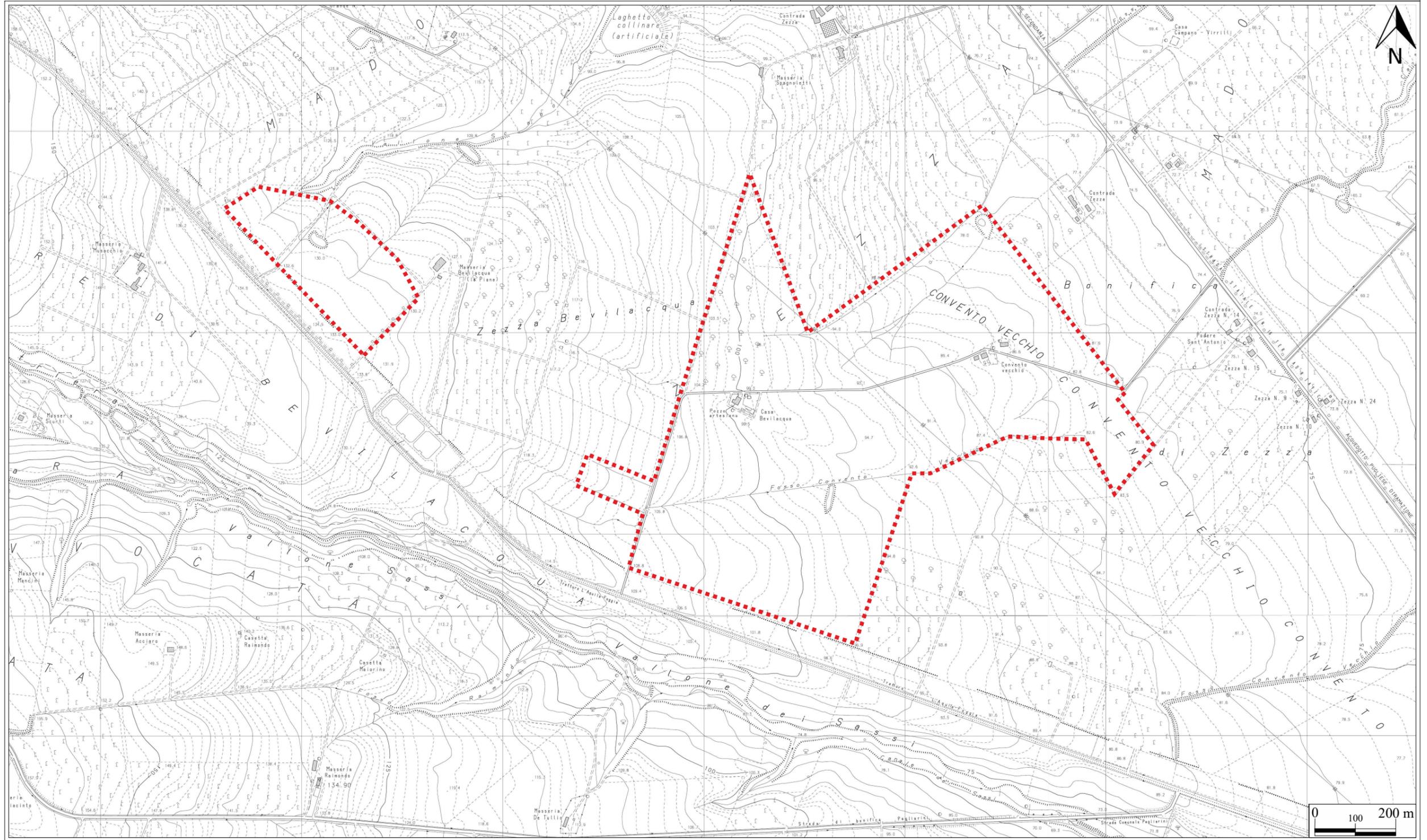
Le aree interessate dalla realizzazione del parco agrivoltaico, ricadono nelle tavolette I.G.M., - San Martino in Pensilis - IV S.O. e - Chieuti - IV S.E.. in scala 1:25000 e nella Carta Geologica del Molise A. Festa, F. Ghisetti e L. Vezzani in scala 1:100.000; relativamente alla Carta Tecnica Regionale sono inserite negli elementi nn. 382091 e 382104 denominati rispettivamente “Nuova Cliternia Sud” e “Zezza”, ed in grande linee sono ubicate nel settore sud e sud-occidentale dell’abitato di Nuova Cliternia, tra la S.S. 16 Ter Adriatica ed il Tratturo L’Aquila - Foggia in località Convento Vecchio. In particolare, il parco agrivoltaico sarà realizzato su terreni identificati catastalmente come di seguito:

FOGLIO n. 39 P.lle nn. 75-309;

FOGLIO n. 45 P.lle nn. 30-31-35-38-39-40-41-120-122-123-124-
125-126-130-135-166-168-171.

L’aspetto orografico d’insieme è tipico di un paesaggio prossimo alla linea di costa contraddistinto da una conformazione tabulare della superficie topografica, la quale risulta degradare blandamente verso nord-est. Le aree d’interesse presentano quote altimetriche comprese tra 80 e 134 m s.l.m. .

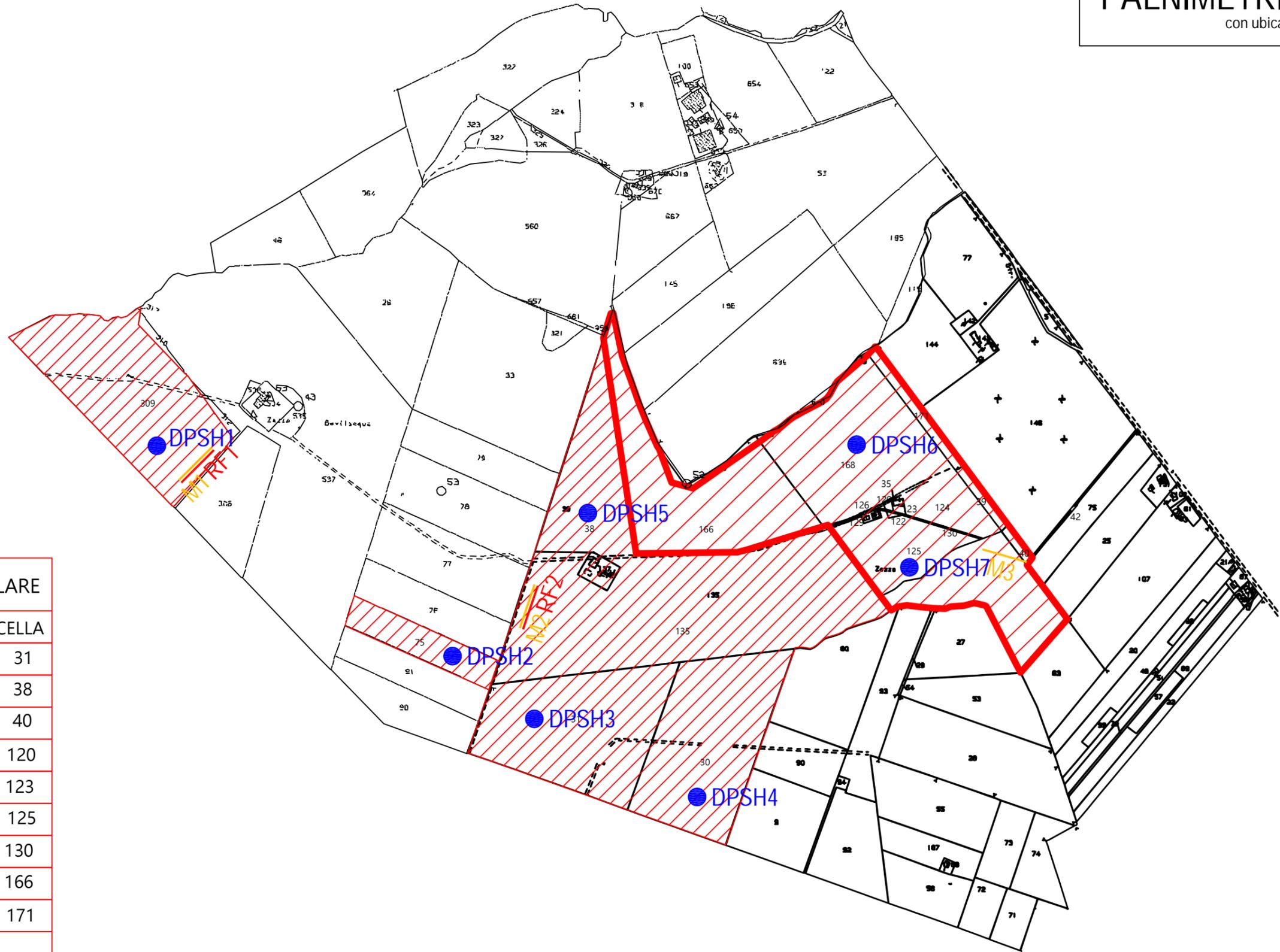
Corografia su CTR Molise - Scala 1:10.000 -



Perimetrazione indicativa dell'area di intervento.

PALNIMETRIA CATASTALE

con ubicazione indagine



PIANO PARTICELLARE		
FOGLIO	PARTICELLA	
45	30	31
	35	38
	39	40
	41	120
	122	123
	124	125
	126	130
	135	166
	168	171
39	75	309

LEGENDA:



Aree di intervento



DPSHn Prova penetrometrica dinamica pesante

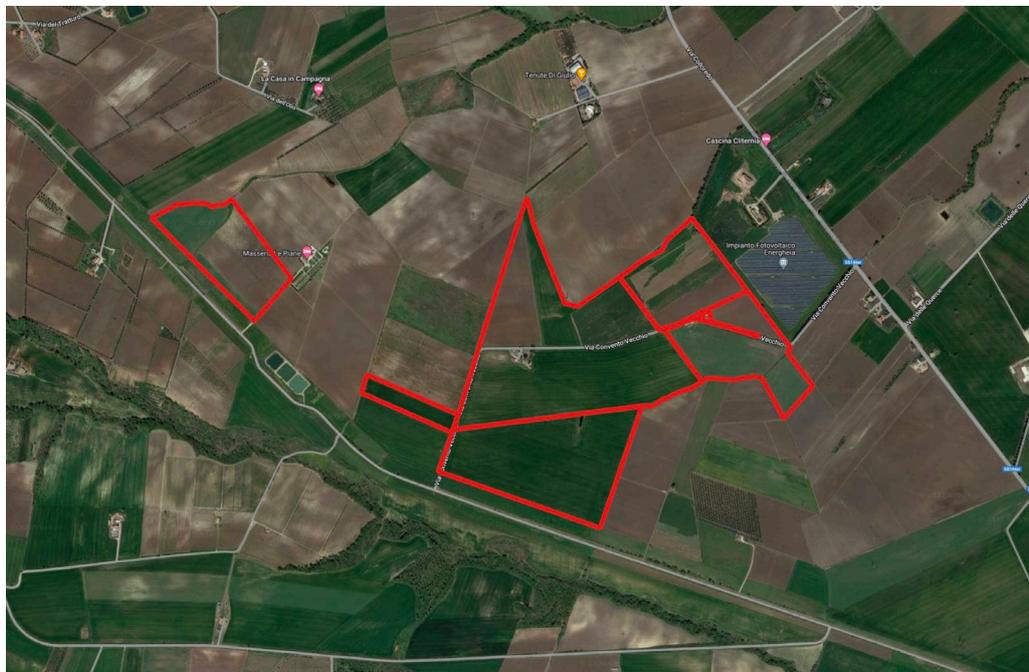


Mn Sistema superficiale MASW



RFn Sistema a rifrazione (RF)

In particolare, la superficie topografica d'interesse, si presenta con una morfologia sub-pianeggiante, inquadrabile rispettivamente in sinistra idrografica del *Torrente Saccione* con direttrice nord orientale. Il paesaggio in generale, è dominato da dorsali poco acclivi, il cui territorio risulta modellato nei terreni argillosi ed argilloso-limosi, che si vanno a raccordano con le aree sub-pianeggianti.



Siti interessati dalla realizzazione del Parco Agrivoltaico

In particolare, i sopralluoghi condotti sulle aree d'intervento allo stato attuale, hanno consentito di accertare la buona condizione di stabilità e pertanto, le stesse possono ritenersi idonee sotto il profilo geomorfologico ai fini progettuali, fatta la dovuta eccezione circa la coltre di co-

apertura di natura eluvio-colluviale. In aree limitrofe ed in posizioni più sommitali, di contro, è possibile constatare dei fenomeni superficiali quali creep e soliflussi, legati all'azione delle acque meteoriche e/o incanalate.

Dal punto di vista idrografico, i siti d'intervento fanno capo al tratto finale del corso del Torrente Saccione. Lo stesso, presenta nel dettaglio un modesto sviluppo areale dovuto alle caratteristiche di permeabilità dei litotipi affioranti, tendenti in parte a favorire l'infiltrazione nel sottosuolo, a discapito del ruscellamento di superficie; ciò è più evidente alle quote più elevate dove prevalgono litotipi con sabbie e ghiaie o sabbie argillose a granulometria medio-grossa con permeabilità medio-alta. I corsi d'acqua della zona sono rappresentati da Fossi e Canali (F.so Convento Vecchio - C.le degli Osci), oltre a Valloni (V.ne Sciabolare, V.ne dei Sassi o Sassano e V.ni Zezza Primo, Zezza Secondo e Zezza Terzo), che fanno tutti capo come tributari di sinistra al sopra menzionato Torrente Saccione che si origina dal Colle Frasconi (478m) in località Difesa Nuova nei pressi di Montelongo, e sfocia nell'Adriatico con reticolo idrografico di tipo convergente.

Infine, dette aree d'intervento non rientrano tra quelle censite come siti protetti (SIC - ZPS) e/o a pericolosità idraulica (ITF 2018) (allegato)



Vista panoramica dei siti interessati dalla realizzazione del Parco Agrivoltaico

LINEAMENTI DI GEOLOGIA REGIONALE

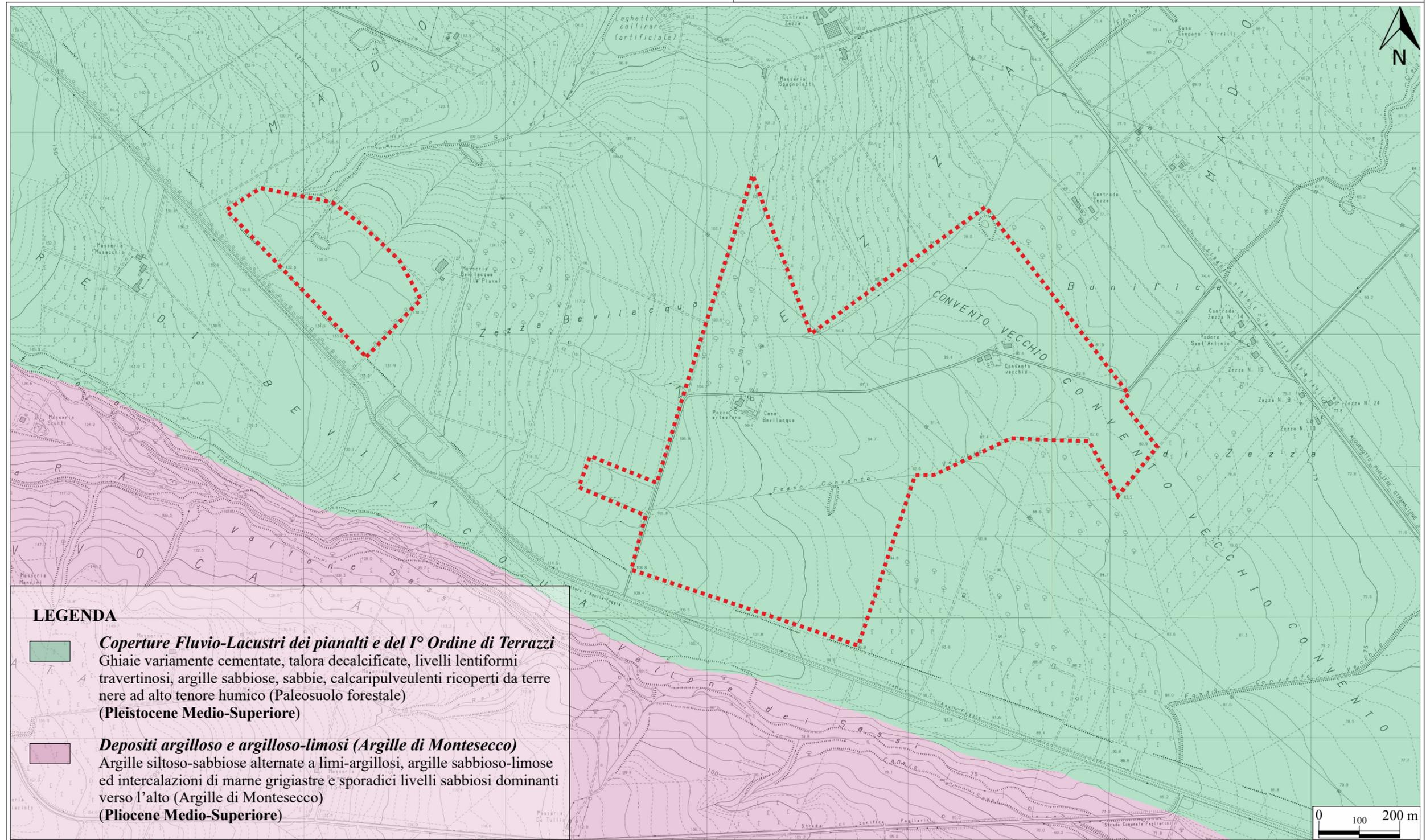
Per quanto riguarda l'assetto geologico regionale, nel medio e basso bacino del Torrente Saccione affiorano le porzioni più orientali delle successioni sedimentarie della catena appenninica, aventi un'età compresa tra il Cretaceo Sup. ed il Pliocene Inf., accostate, inoltre, tettonicamente, ai sedimenti di avanfossa plio-pleistocenici.

I terreni affioranti sono stati suddivisi in complessi ed unità, ciascuna delle quali rappresenta un'originaria situazione paleogeografica distinta e ben definita. In particolare, affiorano terreni appartenenti al Complesso Sicilide, alle Unità Molisane, ai sedimenti postorogenici alloctoni ed ai sedimenti plio-pleistocenici della Fossa Bradanica.

Il Complesso Sicilide comprende le successioni sedimentatesi nella originaria fossa subsidente interna ed è rappresentato, in zona, dalla Formazione delle Argille Variegate (Cretaceo superiore-Oligocene) la quale è stata divisa in due membri: uno inferiore pelitico ed uno superiore a dominante calcarea. Il membro inferiore, costituito da blocchi competent inglobati nella massa argillosa è caratterizzato dalla giacitura caotica e dalla scagliosità molto marcata. Le argille del membro inferiore passano, con continuità stratigrafica, al membro superiore, costituito da un'alternanza di calcari prevalenti e sottili livelli pelitici. I calcari sono

Carta del Rilievo Geologico

- Scala 1:10.000 -



Perimetrazione indicativa dell'area di intervento.

dati da breccie calcaree bianco-grigie, calcari talora grossolani, più rari livelli di calcari ceroidi, frequenti micro-conglomerati, alla base dei più grossi banchi. Le peliti intercalate, sempre subordinate, sono date da mar-ne e marne calcaree di colore variabile dal grigio al rossastro e al bianco.

Con il nome di Unità Molisane vengono designati i depositi che si sono sedimentati nella fossa venutasi a creare nel Miocene inferiore. Dette Unità Molisane, costituite tra l'altro anche dall'Unità tettonica più esterna, "Unità della Daunia". In relazione alla loro posizione nel bacino e quindi in relazione ai diversi tipi di apporto, si distinguono ancora, due successioni flyscioidi, entrambe di età elveziana, una a componente psammitica più interna, l'altra calcarea più esterna, ricoperte ambedue da una formazione argillosa di età tortoniana.

LINEAMENTI DI GEOLOGIA LOCALE

Per quanto riguarda l'assetto geolitologico delle aree d'intervento e a contorno, il rilievo di superficie all'uopo eseguito, suffragato anche dai dati bibliografici e dalle indagini in sito espletate, ha consentito di riconoscere in affioramento prevalentemente terreni di età Pliocenica/Pleistocenica e Olocenica che presentano la seguente successione stratigrafica:

- *Depositi argillosi ed argilloso-limosi* (Argille di Montesecco), ascrivibili al Pliocene Sup.;
- *Depositi sabbiosi* (Sabbie di Serracapriola) più o meno cementati, con lenti di conglomerati ed argille del Pleistocene Inf.;
- *Depositi conglomeratici* (Conglomerati di Campomarino) di facies marina al letto della formazione e continentale verso il top del Pleistocene Medio;
- *Coperture fluvio-lacustri fII* (coperture dei pianalti e del I° ordine di terrazzi ascrivibile al Pleistocene Medio-Sup. .

Tale sequenza è inquadrabile nel contesto regionale che prevede una fase di progressiva regressione marina, accompagnata da innalzamento tettonico: ad esempio i Depositi conglomeratici, che chiudono la sequenza stratigrafica, si rinvengono solo in alcuni alti topografici lasciando supporre una loro erosione o mancata deposizione a quota inferiore.

Di seguito si descrivono le formazioni geologiche rilevate:

I *Depositi argillosi ed argilloso-limosi* sono costituiti da argille marnose siltoso-sabbiose di colore grigio azzurro, giallastre all'alterazione, con nere e sottili intercalazioni sabbioso-siltose, che ne sottolineano la stratificazione. Nella parte mediana della formazione sono presenti banchi di sabbie potenti qualche decina di metri, questi ultimi diventano via via più frequenti nella parte sommitale della stessa, in modo da fare graduale passaggio ai sovrastanti "Depositi sabbiosi". Lo spessore complessivo di tali depositi, inoltre, è di difficile valutazione, in quanto i livelli basali non sono mai esposti. Detti *Depositi argillosi ed argilloso-limosi* affiorano estesamente a sud di Portocannone "Masseria Spagnoletti" - "località Difensola", in agro di San Martino in Pensilis, estendendosi lungo le sponde dei locali valloni e ad ovest dell'abitato di Chieuti.

I *Depositi sabbiosi* si presentano in concordanza sui "Depositi argillosi ed argilloso-limosi" avanti descritti e sono costituiti da un'alternanza di argille, limi e sabbie che gradualmente danno luogo prevalentemente a sabbie giallastre o rossastre a grana più o meno grossolana, a diverso grado di cementazione, con stratificazione spesso mal definita e con intercalazioni lentiformi di conglomerati grossolani ad elementi perlopiù arenacei e calcareo marnosi. Nel loro complesso detti

depositi sabbiosi risultano costituiti in netta prevalenza da sabbie giallastre quarzose in grossi banchi con locali intercalazioni di arenarie ben cementate e di argille biancastre o verde chiaro. Il limite tra i Depositi sabbiosi ed i Depositi argillosi ed argilloso-limosi, è di frequente eteropico ed è stato posto convenzionalmente dove più potenti risultano essere i banchi sabbiosi. Lo spessore è piuttosto limitato e normalmente non supera qualche decina di metri.

I ***Depositi conglomeratici*** (Pleistocene Medio) rappresentano la “formazione” che chiude la successione del substrato geologico di facies marina. Trattasi di ghiaie e conglomerati di ambiente di deposizione dal marino al continentale; si compongono di lenti e letti di ghiaie, più o meno cementate, talvolta con livelli di conglomerati compatti. A luoghi sono presenti sabbie a stratificazione incrociata ed intercalazioni di argille verdastre. Gli elementi conglomeratici sono di litologia molto varia, essendo eterogenee le rocce di origine; in genere, si presentano arrotondati ed appiattiti. Il passaggio con i sottostanti “Depositi sabbiosi” è di tipo concordante e graduale, con cenno di discordanza solo nelle aree più pendenti interne. Lo spessore, risulta più elevato (~ 20 metri) in prossimità della costa (Campomarino), dove gli affioramenti mostrano il loro maggiore sviluppo. Tali depositi presentano localmente un arrossamento

per alterazione superficiale. Detti depositi, inoltre, stanno ad indicare la fine del ciclo sedimentario marino per il progressivo ritiro del mare ed il conseguente passaggio ad un ambiente lagunare-continentale-alluvionale, il tutto avvalorato anche dall'esame fossili rinvenuti. Infine, spesso tali sedimenti si confondono con quelli alluvionali terrazzati.

Le Coperture fluvio-lacustri fl1, dei pianalti e del I° ordine di terrazzi sono costituite da ghiaie più o meno cementate, da livelli lentiformi tra-vertinosi con impronte di piante e gasteropodi, da argille sabbiose, da sabbie e da calcari pulverulenti bianchi, ricoperti in generale da “terre nere” ad alto tenore humico (paleosuolo forestale). La distribuzione degli affioramenti fa ipotizzare che la rete idrografica, che li ha determinati, non presentasse grande analogia con l'attuale. Probabilmente, trattasi di una successione di fasi di accumulo e di erosione caratterizzate dalla presenza di depressioni interne, ove, a depositi di natura essenzialmente lacustre, si alternavano episodi di facies deltizia/fluviale. Essi poggiano sulla superficie erosa della serie marina pliocenico-calabriana o nelle aree più vicine alla costa, sui Depositi conglomeratici.

ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO

L'idrogeologia del comprensorio comunale di Campomarino è in-

fluenzato dalla locale litologia dei terreni affioranti: in genere si tratta di litotipi dalla media permeabilità per i depositi sabbiosi-conglomeratici e bassa/moderata per i depositi argillosi ed argilloso-limosi. La densità di drenaggio, in corrispondenza degli affioramenti maggiormente permeabili risulta essere medio/bassa, di contro, alta dove affiora la componente prettamente pelitica argillosa. A differenza del corso d'acqua principale del Torrente Saccione, le aste drenanti secondarie affluenti sono prettamente a portata stagionale.

In generale è possibile attribuire un coefficiente "K" di permeabilità medio, compreso tra $10^{-4}\text{cm/s} < K < 10^{-2}\text{cm/s}$ ai depositi sabbiosi e/o conglomeratici e delle coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I° ordine di terrazzi; mentre per i depositi argillosi ed argilloso-limosi, un coefficiente piuttosto basso pari a $10^{-6}\text{cm/s} < K < 10^{-4}\text{cm/s}$.

In generale, l'acquifero in questa zona risulta caratterizzato da una falda freatica a carattere marcatamente stagionale, tamponata verso il basso dai terreni *dei Depositi argillosi ed argillosi limosi*. Nei periodi di magra la falda risulta assente o comunque posta immediatamente al disopra del contatto litologico tra le Coperture fluvio-lacustri e i Depositi argillosi. Nei periodi più piovosi dell'anno, gli apporti meteorici possono saturare gli orizzonti più grossolani e permeabili, facendo innalzare la

superficie piezometrica fino a profondità presumibilmente variabili tra i -6.00 e -7.00 metri dal piano campagna.

Nello specifico, la caratterizzazione idrogeologica dei terreni affioranti può essere schematizzata attraverso la distinzione delle seguenti unità idrogeologiche:

➤ **Unità a permeabilità bassa:** in tale unità si raggruppano i termini pelitici dei *Depositi argillosi ed argilloso-limosi* (Argille di Montesecco) Si tratta di terreni a composizione argillosa e limoso-argillosa con intercalazioni litoidi e/o sabbioso-arenacee. La permeabilità del tipo per porosità è da considerarsi scarsa in relazione alla prevalenza della frazione argillosa. La falda risulta assente; sono comunque possibili limitate circolazioni idriche, discontinue e stagionali, concentrate in corrispondenza delle coltri alterate di copertura e delle intercalazioni litoidi presenti nell'ammasso.

➤ **Unità a permeabilità variabile da bassa a media:** tale unità si identifica con la successione sabbiosa e sabbioso-argillosa dei *Depositi sabbiosi* (Sabbie di Serracapriola), dei *Depositi conglomeratici* (Conglomerati di Campomarino) e delle *Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I° ordine di terrazzi*. La permeabilità per porosità è legata essenzialmente allo stato di addensamento delle sabbie ed alla maggiore o minore pre-

senza delle intercalazioni argillose e/o litoidi fratturate presenti nella successione stratificata. In linea generale, la circolazione idrica sotterranea avviene in modo limitato lungo i giunti di strato e all'interno degli orizzonti sabbiosi e/o ghiaiosi meno addensati, e risulta confinata tra i livelli argilloso-sabbiosi scarsamente permeabili.

➤ **Unità a permeabilità da media ad alta:** in tale unità si raggruppano i materiali di riporto antropico e i “Depositi alluvionali recenti ed attuali” di fondo alveo, caratterizzati da alti valori di permeabilità la quale è sostanzialmente di tipo primario per porosità.

INDAGINI ESEGUITE

Allo scopo di giungere alla definizione delle caratteristiche litotecniche e litodinamiche dei terreni localmente impegnati, si è partiti dal ri-

lievo geomorfologico di dettaglio per poi decidere un'appropriata campagna di indagini geognostiche.

Visto l'assetto geomorfologico, altopiano terrazzato, e la finalità di tale consulenza geologica, si è ritenuto necessario, ai fini delle caratterizzazioni geolitologiche, geotecniche e sismiche locali, effettuare:

- n. 7 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH;
- n. 3 profili sismici di superficie con metodologia Masw per la caratterizzazione sismica con individuazione delle $V_{s,eq}$;
- n. 2 profili sismici a rifrazione con ricostruzione tomografica.

Prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH

Tali prove sono state eseguite utilizzando, come attrezzatura un penetrometro semovente auto-ancorante, super pesante, della PAGANI (mod. TG 63-200), le cui caratteristiche meccaniche sono menzionate in appositi moduli allegati in calce alla presente. I risultati, che scaturiscono da tale tipo di prova, vengono generalmente diagrammati, prendendo in considerazione come parametri il numero di colpi (N_{20}) per infissioni successive di 20 cm, in grado di fornire indicazioni quantitative sulla resistenza dei terreni investigati. Detto parametro va successivamente correlato con quello dello Standard Penetration Test (N_{SPT}). La resistenza dinamica alla punta (R_d) inoltre, va valutata, tramite la cosiddetta "for-

mula degli Olandesi”, sulla base delle caratteristiche meccaniche dell’attrezzatura e valida in assenza di attrito laterale.

I dati penetrometrici emersi dalle prove eseguite (DPSH1-2-3-4-5-6-7) sono riportati in due diagrammi i cui grafici relativi correlano la profondità di rilevazione rispettivamente con il fattore N_{20} e con la resistenza dinamica alla punta R_d .

Le prove penetrometriche DPSH hanno investigato rispettivamente fino alle profondità di 6.20m, 3.80m (rifiuto strumentale), 4.60m (rifiuto strumentale), 4.40m (rifiuto strumentale), 5.20m, 2,60m (rifiuto strumentale) e 5.20m dal piano campagna; l’analisi speditiva dei grafici ottenuti ha permesso di caratterizzare il sottosuolo dei settori investigati attraverso le seguenti “stratigrafie penetrometriche”:

- Settore prova DPSH1

- terreno di scarsa resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 3$, $R_d = 31,50$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 4$
con spessore pari a m 0.40

- terreno di moderata/media resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 7\div 8$, $R_d = 51\div 72$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 11$
con spessore pari a m 1.80

- terreno di buona resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 11\div 13$, $R_d = 67\div 81$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 17$
con spessore pari a m 2.20

- terreno di media/buona resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 9\div 11$, $R_d = 53\div 68$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 15$
intercettato al di sotto dei 4.40 metri fino al termine della prova

-6.20 m dal p.c. .

- Settore prova DPSH2

- terreno di scarsa o nulla resistenza con valori medi pari a:

$$N_{20} = 2, R_d = 17,88 \text{ Kg/cmq e } N_{SPT} = 2$$

con spessore pari a m 0.40

- terreno di moderata resistenza con valori medi pari a:

$$N_{20} = 5\div 6, R_d = 40\div 59 \text{ Kg/cmq e } N_{SPT} = 9$$

con spessore pari a m 1.20

- terreno di media resistenza con valori medi pari a:

$$N_{20} = 9\div 11, R_d = 65\div 80 \text{ Kg/cmq e } N_{SPT} = 15$$

con spessore pari a m 1.20

- terreno di buona resistenza con valori medi pari a:

$$N_{20} = 17\div 24, R_d = 81\div 102 \text{ Kg/cmq e } N_{SPT} = 37$$

intercettato al di sotto dei 2.60 metri fino al termine della prova

-3.80 m dal p.c. (rifiuto strumentale).

- Settore prova DPSH3

- terreno di scarsa resistenza con valori medi pari a:

$$N_{20} = 2, R_d = 16\div 18 \text{ Kg/cmq e } N_{SPT} = 3$$

con spessore pari a m 1.20

- terreno di moderata/media resistenza con valori medi pari a:

$$N_{20} = 6\div 8, R_d = 40\div 58 \text{ Kg/cmq e } N_{SPT} = 9$$

con spessore pari a m 1.00

- terreno di media/buona resistenza con valori medi pari a:

$$N_{20} = 10\div 12, R_d = 67\div 81 \text{ Kg/cmq e } N_{SPT} = 17$$

con spessore pari a m 1.20

- terreno di buona resistenza con valori medi pari a:

$$N_{20} = 13\div 18, R_d = 74\div 104 \text{ Kg/cmq e } N_{SPT} = 29$$

intercettato al di sotto dei 3.40 metri fino al termine della prova

-4.60 m dal p.c. (rifiuto strumentale).

- Settore prova DPSH4

- terreno di scarsa resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 2 \div 3$, $R_d = 16 \div 18$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 3$
con spessore pari a m 0.80
- terreno di media/buona resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 5 \div 6$, $R_d = 73 \div 90$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 18$
con spessore pari a m 2.60
- terreno di media resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 8 \div 10$, $R_d = 53 \div 61$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 12$
intercettato al di sotto dei 3.40 metri e fino al termine della
prova -4.40 m dal p.c. (rifiuto strumentale).

- Settore prova DPSH5
 - terreno di scarsa resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 2$, $R_d = 16 \div 19$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 3$
con spessore pari a m 1.40
 - terreno di moderata/media resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 6 \div 8$, $R_d = 40 \div 58$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 9$
con spessore pari a m 2.20
 - terreno di media/buona resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 6 \div 8$, $R_d = 67 \div 81$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 17$
con spessore pari a m 1.20
 - terreno di media/buona resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 12 \div 15$, $R_d = 74 \div 104$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 17$
intercettato al di sotto dei 3.60 metri fino al termine della prova
-5.20 m dal p.c. .

- Settore prova DPSH6
 - terreno di scarsa o nulla resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 2$, $R_d = 16,34$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 2$
con spessore pari a m 0.60
 - terreno di moderata/media resistenza con valori medi pari a:
 $N_{20} = 6 \div 9$, $R_d = 48 \div 66$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 14$
con spessore pari a m 1.00
 - terreno di buona resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 15$, $R_d = 73 \div 103$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 22$
intercettato al di sotto di 1.60 metri fino al termine della prova
-2.60 m dal p.c. (rifiuto strumentale).

- Settore prova DPSH7

- terreno di scarsa o nulla resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 2$, $R_d = 16,27$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 2$
con spessore pari a m 0.80

- terreno di bassa resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 2 \div 5$, $R_d = 15 \div 23$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 6$
con spessore pari a m 1.60

- terreno di media/buona resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 12 \div 14$, $R_d = 68 \div 88$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 19$
con spessore pari a m 1.20

- terreno di moderata/media resistenza con valori medi pari a:

$N_{20} = 8$, $R_d = 45,57$ Kg/cmq e $N_{SPT} = 11$
intercettato al di sotto dei 4.20 metri fino al termine della prova
-5.20 m dal p.c. .

Tarando i suddetti dati penetrometrici sulla base delle evidenze lito-stratigrafiche raccolte, è stato possibile definire i suddetti orizzonti penetrometrici attraverso le seguenti fasce litologiche:

- a) - coltre pedologica;
- b) - limi argillosi brunastri e destrutturati
- c) - limi sabbioso-argillosi e litici decalcificati;
- d) - limi biancastri, argille limose e ghiaie sabbiose.

In riferimento alla presenza dell'eventuale falda acquifera, dalle prove penetrometriche dinamiche eseguite, allo stato attuale ed in rappor-

to alle relative profondità investigate, non è stata rilevata alcun acquifero.

Caratterizzazione geotecnica indicativa dei terreni impegnati

L'elaborazione dei dati scaturiti dalle prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH1-2-3-4-5-6-7) ha consentito di caratterizzare geotecnicamente i siti interessati dal parco agrivoltaico da realizzare.

Viene di seguito schematizzata la parametrizzazione fisico-meccanica indicativa relativa alle fasce litologiche che si intercettano in corrispondenza dei siti investigati:

Schema litotecnico indicativo di riferimento

Prof. (m)	Stratigrafia sintetizzata	Caratterizzazione geotecnica
0.00÷1.20	Terreno vegetale e/o alterato destrutturato di natura limo argilloso brunastro e presenza di litici eterometrici	Geotecnicamente non significativa
1.20÷2.40	Limo sabbioso e/o debomente argilloso moderatamente addensato e/o consistente	$\gamma = 1.80\div 1.85$ t/mc $\phi' = 22\div 24^\circ$ $c' = 0.00\div 0.10$ kg/cmq $E_{cd} = 50\div 60$ kg/cmq

> 2.40	Limo sabbioso e/o argilloso con litici ghiaiosi decalcificati di media buona consistenza e/o addensamento	<p><u>Limi argillosi</u> $\gamma = 1.90 \div 1.98 \text{ t/mc}$ $\phi' = 24^\circ \div 25^\circ$ $c' = 0.18 \div 0.20 \text{ kg/cmq}$ $c_u = 0.65 \div 0.95 \text{ kg/cmq}$ $E_{ed} = 70 \div 150 \text{ kg/cmq}$</p> <p><u>Sabbie e sabbie limose con lente ghiaiosa</u> $\gamma = 1.85 \div 1.90 \text{ t/mc}$ $\phi' = 29 \div 32^\circ$ $c' = 0.00 \div 0.05 \text{ kg/cmq}$ $E_{ed} = 70 \div 150 \text{ kg/cmq}$</p>
------------------	---	--

γ = Peso di volume
 ϕ' = Angolo di attrito interno
 c' = Coesione drenata
 c_u = Coesione non drenata
 E_{ed} = Modulo edometrico

Prospezioni sismiche MASW con determinazione delle $V_{s,eq}$ e sismiche a rifrazione RF

In base a come prescritto dalla vigente normativa in ambito delle costruzioni (D.M. del 17 gennaio 2018), è necessario classificare il sottosuolo di fondazione del sito di interesse sotto il profilo della risposta sismica locale. Pertanto sono state eseguite tre prospezioni sismiche *Masw*, che hanno permesso di valutare quantitativamente le velocità di propagazione delle onde di taglio e quindi giungere alla determinazione della classe di suolo.

Da tali indagini geofisiche sono risultati valori della velocità equi-

valente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definite dall'espressione:

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

con

- h_i** spessore dell'*i*-esimo strato;
- V_{S,i}** velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- N** numero di strati;
- H** profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

pari a:

- **Masw 1 :** $V_{S,eq}$ **327,00 m/s**
- **Masw 2 :** $V_{S,eq}$ **380,00 m/s**
- **Masw 3 :** $V_{S,eq}$ **387,00 m/s**

da cui si evince:

Categorie del suolo di fondazione pari a : **“B”** e **“C”**

Si fa presente che i 30 m considerati per i calcoli sono quelli sottostanti la coltre di copertura maggiormente alterata, in accordo con lo stesso D.M. che specifica di considerare il valore di $V_{S30}/V_{S,eq}$ dal piano di fondazione. Inoltre, sono state eseguite due prospezioni sismiche a rifrazione (RF) che hanno permesso di riconoscere con adeguato dettaglio

la geometria e lo spessore dei materiali costituenti il sottosuolo investigato.

Da dette indagini indirette di sismica a rifrazione è stato possibile accertare che la falda acquifera è generalmente posta ad una profondità di non meno -6.00÷-7.00 m dal p.c. suscettibile di variazioni positive e/o negative in rapporto agli eventi meteorici.

Per quanto riguarda l'analisi dettagliata dei profili litostratigrafici e litotecnici scaturiti dalle prove penetrometriche dinamiche pesanti, e quelle delle indagini sismiche eseguite, si rimanda alla visione degli appositi tabulati allegati (Quaderno Indagini), nei quali sono indicati i valori puntuali dei parametri sismici locali e geotecnici stimati sfruttando le correlazioni esistenti tra questi e l' N_{SPT} , desunte dalla bibliografia specializzata.

CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE

Il Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 recante “Norme Tecniche per le Costruzioni”, raccoglie in modo unitario le norme nazionali che disciplinano la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle costruzioni, al fine di garantire criteri univoci di sicurezza e pubblica incolumità.

In particolare, per quanto di competenza, nel decreto sono definiti i modelli per la descrizione delle azioni agenti sulle strutture con particolare riferimento all’azione sismica. Come indicato nel Decreto, le azioni sismiche di progetto sono definite sulla base della “pericolosità sismica di base”, caratteristica del sito d’intervento.

Questa è funzione di diversi parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Allo stato attuale, ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, la normativa definisce le seguenti categorie di sottosuolo a cui si può fare riferimento per valutare la risposta sismica locale:

- 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 fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- C.** Depositati 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;
- D.** Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 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.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche. Inoltre, l'andamento dello spettro di risposta elastico, oltre che dalla litologia, è anche influenzato dalle condizioni topografiche del sito in esame. Queste ultime sono definite e classificate come mostrato nella tabella seguente:

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$

T3	Rilievi con larhezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larhezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le categorie di suolo per i terreni in oggetto sono state valutate tramite indagine sismica con metodologia Masw per la caratterizzazione sismica locale con individuazione delle $V_{s,eq}$, nell'ambito delle quali sono stata individuate due categorie, in particolare di tipo "B" e "C".

Per quanto riguarda la categoria topografica, i siti in studio appartengono alla categoria "T1". Nella definizione della pericolosità sismica di base, importante risulta l'evidenziare il comportamento dei valori di ag/g; attraverso l'applicazione Webgis, nel sito ufficiale dell'INGV, è possibile visualizzare detti valori.

In accordo con l'allegato 7 OPCM 3907/2010, questi ultimi, sono espressi con rettangoli colorati (in corrispondenza dei nodi della maglia di riferimento) in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno (ag), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi orizzontali ($V_{s30} > 800$ m/s).

SISMICITA' LOCALE

Il comune di Campomarino con l'O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003, che definiva il grado di sismicità con riferimento ai valori delle accelera-

zioni al suolo, veniva dichiarato sismico ed inserito in **zona sismica 3**, a cui corrispondeva un'accelerazione orizzontale di picco del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari ad $a_g = 0.05 \div 0.15g$, e che si traduceva in una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0.15 (a_g/g). Successivamente, in ottemperanza a quanto espresso nell'O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006, approvato con deliberazione 194/96 dal Consiglio Regionale della Regione Molise, il territorio comunale di Campomarino, è stato inserito in **zona sismica 2**, ed il valore dell'accelerazione orizzontale da adottare è $a_g = 0.175g$.

Per quanto riguarda l'attribuzione della specifica categoria di suolo di fondazione, si ritiene, in base ai rilievi litotecnici effettuati ed ai dati delle indagini geofisiche relative all'area di interesse, di poter classificare i siti d'interesse alle categorie **C** ($180 \text{ m/sec} < V_s < 360 \text{ m/sec}$) e **B** ($360 \text{ m/sec} < V_s < 800 \text{ m/sec}$); nello specifico, dalle prospezioni sismiche di superficie eseguite su detti siti, sono risultati valori delle $V_{s,eq}$ rispettivamente pari a :

- Masw 1 : $V_{s,eq} 327,00 \text{ m/s}$
- Masw 2 : $V_{s,eq} 380,00 \text{ m/s}$
- Masw 3 : $V_{s,eq} 387,00 \text{ m/s}$

Per il sito di interesse, di coordinate geografiche WGS84 pari a Latitudine 41.524813° N e Longitudine 15.034327° E, relativo ad un terreno di tipo C, può attribuirsi un coefficiente d'amplificazione stratigrafica $S_s = 1.44$ e per i siti di coordinate geografiche WGS84 pari rispettivamente a Latitudini 41.523783° N - 41.524482° N e Longitudini 15.041470° E - 15.050380° E, un coefficiente d'amplificazione stratigrafica $S_s = 1.20$.

Da considerare, inoltre, i seguenti parametri di pericolosità sismica:

- tempo di ritorno $T_r = 475$ anni (Costruzioni di Classe II);
- a_g/g pari a 0.169, F_0 pari a 2.513 e T_C pari a 0.345; (M1)
- a_g/g pari a 0.171, F_0 pari a 2.510 e T_C pari a 0.344; (M2-M3)

L'azione sismica di progetto $S_s \times a_g \times S_T$, pertanto, posto il coefficiente d'amplificazione topografica $S_T = 1.0$, è pari rispettivamente a:

$$1.44 \times 0.169 \times 1.0 = \mathbf{0.243 \text{ g.}} \quad \text{e} \quad 1.20 \times 0.171 \times 1.0 = \mathbf{0.205 \text{ g.}}$$

CONCLUSIONI E MISURE DI SALVAGUARDIA

Dal punto di vista geologico, i siti d'intervento in cui è previsto il *Parco Agrivoltaico per la produzione congiunta di energia elettrica e coltivazione seminativa con immissione su RTN della potenza di picco di 46.75 MWp* sono caratterizzati dalla presenza di *Coperture Fluvio-La-*

custri dei pianalti e del I° Ordine di Terrazzi.

Tali “Coperture” presentano spessori variabili e poggiano su termini prevalentemente argillo-limo-sabbiosi e argillo-marnosi dei *Depositi argilloso e argilloso-limosi* (Argille di Montesecco).

Sotto il profilo geomorfologico, i siti ricadono allo interno della superficie alluvionale del Torrente Saccione, in un settore sub-pianeggiante. Dal punto di vista idrogeologico, le aree sono caratterizzate dalla presenza di un acquifero alluvionale, al cui interno è possibile la presenza di falda freatica a carattere marcatamente stagionale, per cui la superficie piezometrica risente fortemente del regime pluviometrico.

In relazione a quanto emerso dal presente studio, i siti di intervento risultano privi di elementi di pericolosità geomorfolitologica potenziale o in atto, che possano determinare condizioni di rischio imminente ed interferenze, con le opere in progetto. Tuttavia, dette “Coperture Fluvio-La-custri” non garantiscono, neanche nel breve periodo, alcun tipo di tenuta lungo i fronti di scavo e soprattutto se esposti agli agenti atmosferici; per cui, nel caso di tagli o sbancamenti all'interno di tali terreni, dovranno predisporre opportune opere di protezione, provvisorie o definitive, atte a garantire la stabilità degli scavi.

La ricostruzione litostratigrafica desunta dalle indagini penetrome-

triche dinamiche pesanti evidenzia l'assetto geologico locale del sottosuolo per una profondità max di ~ 6.20 metri dal p.c. che, fatta eccezione della coltre vegetale e/o di alterazione limoso-argillosa pari a ~0.50÷1.20 m. di scarsa o nulla caratterizzazione geotecnica, si compone di terreni a prevalente componente limoso-argillosa e argilloso-marnosa con inclusioni di elementi ghiaiosi, in matrice sabbiosa, parzialmente decalcificati.

Per una dettagliata caratterizzazione geotecnica quantitativa dei terreni presenti nel sottosuolo, occorre attenersi allo “*schema litotecnico indicativo di riferimento*” esposto in precedenza e comunque, data la vastità delle aree, i materiali in esame, per via degli ambienti deposizionali, possono caratterizzarsi da importanti variazioni laterali litotecniche, che in fase di progettazione esecutiva dovranno essere puntualmente verificate. Particolare attenzione occorre prestare per ciò che riguarda la tipologia delle fondazioni dei previsti manufatti (cabine elettriche e opere accessorie), in merito, si consiglia la scoticatura della coltre vegetale e/o alterato/destrutturato con la posa in opera di materiale arido di adeguato spessore e ben compattato.

Al fine di una corretta e fluida installazione dei pali per i moduli fotovoltaici, si suggeriscono le seguenti indicazioni progettuali geologico-geotecniche e idrologiche:

- dal momento che il comportamento meccanico del sistema palo-terreno, oltre che dal tipo di terreno dipende fortemente anche dalle modalità di messa in opera del palo e dalle conseguenti modifiche dello stato tensionale preesistente, si consiglia di ricorrere all'installazione per infissione, senza asportazione di materiale, in quanto l'infissione dell'asta, previa asportazione potrebbe creare disturbo nel terreno circostante, alterandone lo stato tensionale e di resistenza al taglio; evitare, inoltre, sistemi continui di fondazioni che comportino scavi e gettate di cemento;
- le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici dovranno essere costituite da pali in acciaio, di adeguato profilo in accordo con le NTC 2018 e l'avanzamento nel terreno dovrà, previo processo di battitura del palo, raggiungere una profondità tale da superare lo strato di terreno vegetale/destrutturato attestandosi sufficientemente nel substrato integro;
- prestare attenzione all'impatto al suolo delle acque meteoriche, favorendo al libero deflusso evitando nel contempo il flusso concentrato;
- vista l'esposizione della costa adriatica alle masse d'aria relativamente fredde da nord-est (anche se sporadiche) durante la stagione invernale e nonostante la posizione a quote relativamente basse “ ~ 80÷150 m s.l.m.”, dei siti di intervento, gli stessi, possono essere soggetto ad

episodi nevosi (Adriatic Sea Effect Snow - ASES); per cui occorre, pertanto, tener presente anche l'eventuale carico della neve sulle coperture.

Sulla base di ciò, si dovranno determinare le azioni della neve e del vento, tramite rispettive verifiche, a carico limite verticale, a ribaltamento e a sfilamento dei pali, secondo quanto definito dalla normativa vigente (NTC 2018).

Alla luce delle risultanze emerse dal Piano stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico (PAI) dei fiumi Biferno e minori, da parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, circa la pericolosità idraulica e approvato con DPCM del 19/06/2019, si segnala che detti siti d'intervento, non rientrano in tale perimetro.

Termoli, Dicembre 2023

Geol. Carmine MARINARO

Legenda

 Area di intervento

-  SIC
-  SIC/ZPS
-  ZSC
-  ZSC/ZPS
-  ZPS
-  SIC
-  Pericolosità idraulica (ITF 2018)

