



Regione Puglia
 Provincia di Foggia
 Comuni di San Giovanni Rotondo e
 San Marco in Lamis



Impianto FV "San Giovanni Rotondo"

Potenza DC di impianto 28,106 MWp – potenza AC di immissione in RTN 24,442 MWp
 Integrato con l'Agricoltura
 con annesso sistema di accumulo di energia a batterie
 Potenza 10,00 MW

Titolo:

UWU1WA4_RELAZIONEGEOTECNICA

Numero documento:

Commissa	Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.
2 0 3 6 0 7	D	R	0 1 1 2	0 0

Committente:



SINERGIA GP10

SINERGIA GP10 S.R.L.
 CENTRO DIREZIONALE, IS. G1, SCC, INT 58
 80143 NAPOLI
 PEC: sinergia.gp10@pec.it
 Rappresentante, Sviluppatore e Coordinatore: *ing. Filippo Mercorio*



PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



PROGETTO ENERGIA S.R.L.

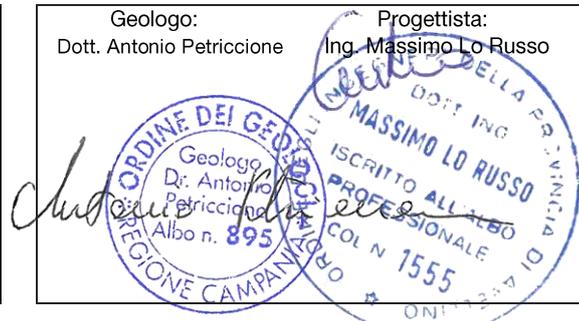
Via Serra 6 83031 Ariano Irpino (AV)
 Tel. +39 0825 891313
www.progettoenergia.biz - info@progettoenergia.biz

SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI
 INTEGRATED ENGINEERING SERVICES



Geologo:
 Dott. Antonio Petriccione

Progettista:
 Ing. Massimo Lo Russo



Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
		00	25.10.2021	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	A. PETRICCIONE	A. PETRICCIONE

INDICE

1	PREMESSA.....	3
1.1	SCOPO.....	3
1.2	UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO	3
1.3	ARTICOLAZIONE DEL LAVORO	4
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE	4
2.1	GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	4
2.2	IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO.....	5
2.3	PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA DA NORMATIVA	6
3	MODELLIZZAZIONE GEOLOGICA.....	7
3.1	ANALISI GEOLOGICA E STRATIGRAFICA.....	7
3.2	ANALISI GEOMORFOLOGICA E IDROGRAFICA.....	8
3.3	ANALISI IDROGEOLOGICA.....	9
4	MODELLAZIONE SISMICA.....	9
4.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	9
4.2	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE	12
4.3	ANALISI DEL SUOLO DI FONDAZIONE.....	13
4.4	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	14
5	MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA.....	15
5.1	INDAGINI GEOTECNICHE.....	15
5.1.1	INTERPRETAZIONI DELLE INDAGINI GEOTECNICHE.....	15
5.2	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO E VALORI CARATTERISTICI ADOTTATI	16
5.3	STABILITÀ DELL'AREA	17
5.3.1	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	17
6	CONCLUSIONI.....	18

ALLEGATI:

- Stralcio Corografia di Inquadramento Scala 1:25.000 con individuazione delle opere in progetto e ubicazione indagini.
- Stralcio Carta Geologica area in esame Scala 1:100.000
- Elaborati indagine sismica Masw



1 PREMESSA

1.1 SCOPO

Scopo del presente documento è la redazione dello Studio Geologico finalizzato all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione ed esercizio dell'Impianto Fotovoltaico integrato con l'Agricoltura, costituito da due lotti di impianti denominati Impianto SG1 e Impianto SG2, con potenza di picco 28,106 MWp e annesso sistema di accumulo di energia a batterie (nel seguito definito come BESS – Battery Energy Storage System), potenza 10,00 MWp, nel comune di San Giovanni Rotondo (FG), collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante connessione in antenna su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Smistamento a 150kV "Innanzi" della RTN ubicata nel comune di San Marco in Lamis, nel seguito definito il "Progetto". L'Impianto SG1 sarà realizzato in località Posta delle Capre d'Alto, mentre l'Impianto SG2 in località Mosce.

1.2 UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO

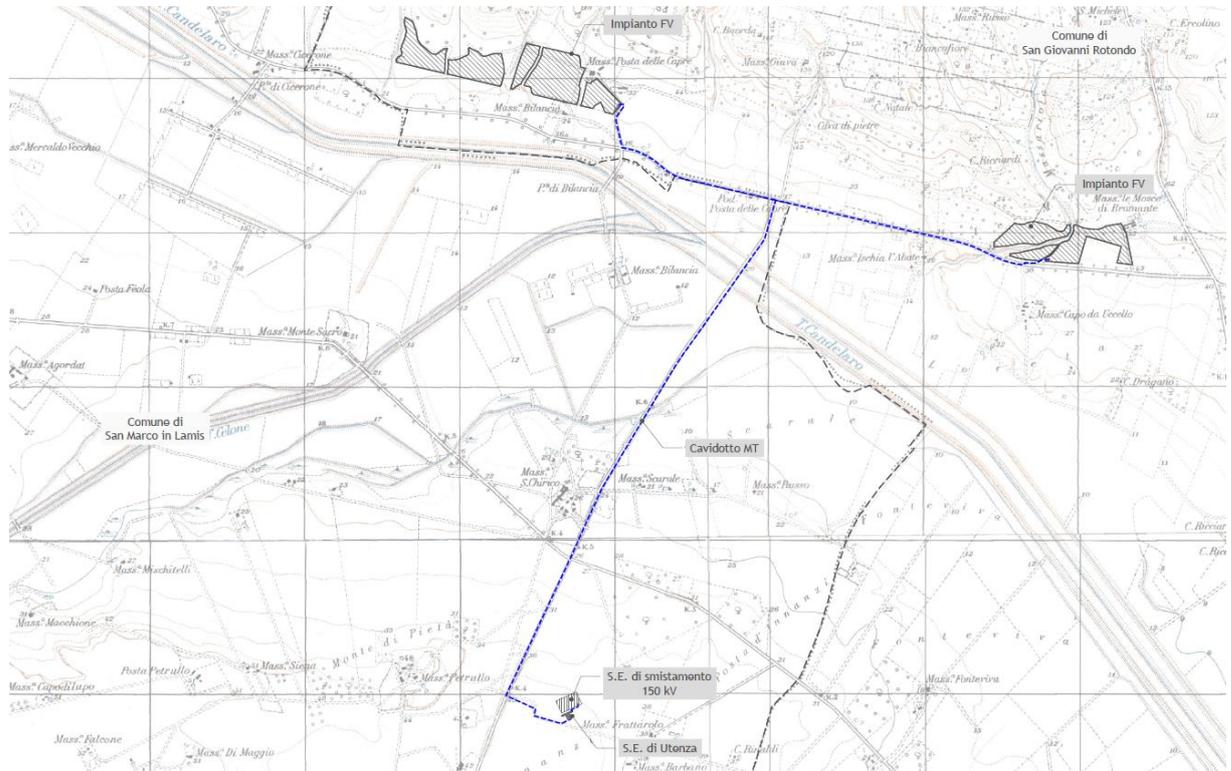
L'intervento consiste nella realizzazione di un Impianto Fotovoltaico nel comune di San Giovanni Rotondo (FG) in località "Mosce" e "Posta delle Capre d'Alto" della potenza di 28.106,40 kWp (tenuto conto del rapporto di connessione DC/AC= 1,15 potenza di connessione pari 24.443,00 KWp) con annesso sistema di accumulo di energia a batterie BESS della potenza di 10,00 MW, del relativo Cavidotto MT di collegamento alla Stazione Elettrica di Utenza, connessa in A.T. 150 kV in antenna alla Stazione Elettrica (SE) a 150kV RTN denominata "Innanzi" di San Marco in Lamis (FG).

L'Impianto fotovoltaico, il cavidotto MT, la Stazione elettrica di utenza, l'Impianto di Utenza per la Connessione e l'Impianto di Rete per la Connessione ricadono all'interno dei comuni di San Giovanni Rotondo e San Marco in Lamis e sulle seguenti particelle catastali:

- *Giovanni Rotondo (FG): Foglio 119, particelle 108-214; Foglio 129, particelle 3- 30;*
- *Comune di San Marco in Lamis (FG): Foglio 135, particelle 2-197-222-223;*
- *Comune di San Marco in Lamis (FG): Foglio 136, particelle 227-229-287.*

Cartograficamente, l'intero territorio comunale è riportato sul Foglio n. 164 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 denominato "Foggia", mentre gli stralci delle carte tecniche regionali nelle quali ricadono le opere in esame sono la n° 397132 – 397133 – 409013 e 409014 rispettivamente denominate "Masseria Posta delle Capre – Costarelle – Villaggio Amendola e Monte di Pietà.

In allegato è riportato uno stralcio cartografico in scala 1:25.000 con l'ubicazione dell'impianto fotovoltaico da realizzare.



Stralcio cartografico con ubicazione delle opere a farsi

1.3 ARTICOLAZIONE DEL LAVORO

L'indagine è stata articolata, previa consultazione del progetto, nelle seguenti fasi:

- Rilevamento delle caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche di superficie integrato dalla lettura della carta geologica d'Italia in scala 1:100.00 foglio N° 164 - Foggia nel quale ricade cartograficamente l'area in esame;
- Acquisizione di dati dal piano regolatore generale;
- Analisi della cartografia a corredo del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (carta degli scenari di rischio);
- Reperimento e analisi indagini e prove geotecniche eseguite nelle aree immediatamente prospicienti a quella in studio;
- Indagini di superficie di tipo MASW.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

2.1 GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio comprendente l'area di più stretto interesse progettuale è localizzato in avanfossa nel tratto compreso tra l'Avampaese Apulo a NE, e la catena sud-appenninica a SO.

L'area è caratterizzata dalla presenza di sedimenti plio-quadernari che hanno colmato la parte orientale dell'avanfossa appenninica compresa tra la Daunia e il promontorio garganico. A Nord del Torrente Candelaro, affiorano i calcari mesozoici che costituiscono la porzione più meridionale del sollevamento del Gargano. Questi calcari di retroscogliera, formano due gruppi con facies distinta: nella parte orientale vi sono le formazioni caratterizzate da calcari detritico-organogeni ed oolitici, legati ad una vicina scogliera. Nella parte occidentale vi sono i calcari generalmente a grana fine, i quali non hanno ricevuto apporto detritico dalla scogliera. I sedimenti plio-pleistocenici non si differenziano da quelli di facies marina

Tettonicamente le deboli inclinazioni rilevate riflettono per lo più l'originale inclinazione del fondo marino su cui i sedimenti stessi si

sono depositi. L'assetto geologico-strutturale dell'area è interessato da una tettonica disgiuntiva, a faglie normali, con prevalente direzione ONO-ESE. L'affioramento mesozoico, i cui strati hanno generalmente un'inclinazione verso SO, costituisce il fianco meridionale del sollevamento del Gargano. Le due scarpate che lo delimitano sono probabilmente legate a faglie.

L'area di realizzazione del progetto è ubicata a sud del blocco calcareo garganico, ed è delimitata da un lineamento tettonico principale ad andamento E-O (Candelaro) lungo il quale si è avuto un abbassamento della parte meridionale di 200-600m, permettendo quindi l'accumularsi di depositi clastici pliocenici e quaternari che vanno a formare la pianura della Capitanata.



Stralcio Carta geologica d'Italia 1:100.000 - Foglio 164 (Foggia).

Dall'esame della cartografia geologica esistente per l'area in esame si evince che i terreni sui quali si realizzeranno le opere in progetto sono rappresentati dalle seguenti formazioni:

Q^{2m} "Sabbie" (Pleistocene): tale formazione è costituita da sabbie giallastre, pulverulente, con concrezioni calcaree e molluschi marini di facies litorale. Quasi dovunque coperte da un crostone calcareo-sabbioso straterellato.

Nella zona studiata affiorano terreni sabbiosi e concrezionati relativi ai terrazzamenti del Pleistocene.

Q^{3t} "Alluvioni terrazzate recenti" (Olocene): tali formazioni si distribuiscono nei tratti poco superiori agli alvei attuali e sono costituite da ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose.

Q "Alluvioni recenti e attuali" (Olocene): tale formazione è costituita da materiali incoerenti a granulometria sabbioso ghiaiosa, talora ghiaioso sabbiosa a spigoli subarrotondati, parzialmente alterati.

Nell'area del foglio 164 "Foggia" della Carta Geologica d'Italia 1:100.000, sono distinguibili morfologicamente due zone, grazie all'azione modellatrice delle forze esogene. Nella zona capitanata, a sud del Torrente Candelaro, la morfologia si presenta con vaste spianate debolmente inclinate verso mare, interrotte da valli ampie con fianchi alquanto ripidi. A nord del corso del Candelaro, dove affiora la Serie Mesozoica, l'elemento morfologico più evidente è rappresentato da un terrazzo di abrasione marina. Essa è delimitata a sud da un gradino, che con un salto di un centinaio di metri, la sopraeleva rispetto al tavoliere foggiano e a nord da una falesia che si eleva sopra di essa per circa 200m.

2.2 IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

L'idrologia dell'area è rappresentata da tre corsi d'acqua principali, ad andamento torrentizio e stagionale; in particolare sono presenti il torrente Candelaro, il torrente Cervaro e il torrente Carapelle e da tutta una rete di tributari che hanno spesso un deflusso esclusivamente stagionale.

Essi sono stati regimati per buona parte del loro corso e sfruttati per la bonifica costiera. L'area in oggetto si localizza sulla piana

alluvionale del Tavoliere e il torrente Candelaro, che costituisce un antico terrazzamento fluviale, delimita il margine settentrionale dell'area in oggetto.

Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea si possono distinguere diversi tipi di acque: freatiche, artesiane e carsiche. La porzione del Tavoliere compreso tra il Gargano, il golfo di Manfredonia e il fiume Ofanto è interessato da acque freatiche dolci e da acque salmastre, di difficile delimitazione. La superficie freatica viene incontrata da pochi decimetri sotto il piano campagna fino a profondità superiori ai 20m.

La piana alluvionale in oggetto non presenta un andamento omogeneo degli strati sommitali ma essi tendono ad aumentare di spessore verso Nord Est.

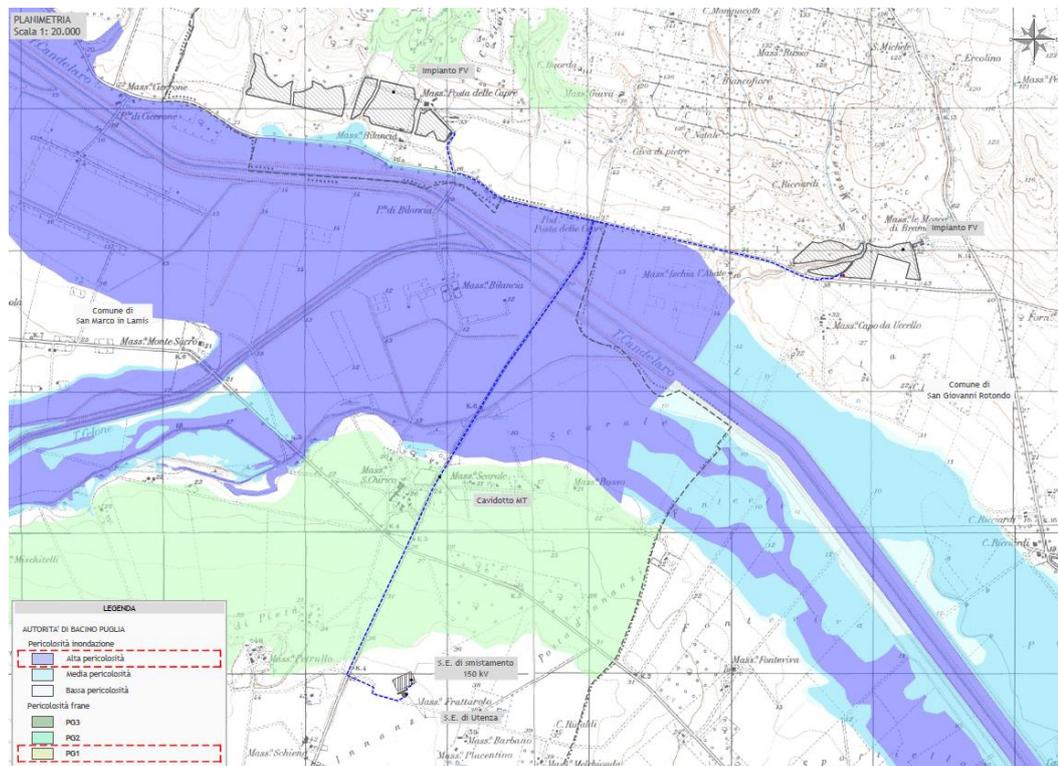
Per l'acquifero locale, impostato nelle terre di copertura a matrice sabbiosa soprastante il basamento pliocenico delle argille blu, la falda locale si attesta a profondità superiori ai 30 m dal piano campagna.

2.3 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA DA NORMATIVA

Nell'ambito della definizione degli scenari di rischio presenti sul territorio dei comuni di San Giovanni Rotondo e San Marco in Lamis, l'Autorità di Bacino della Puglia ha individuato una serie di aree a diverso grado di rischio idrogeologico e idraulico. Sono presenti aree a rischio R4 ovvero a rischio molto elevato in zone con presenza di infrastrutture, aree A4 ovvero aree di alta attenzione con elevata pericolosità ma senza presenza di infrastrutture. Tali aree sono concentrate nelle zone vallive pedemontane con aree di invasione che spesso interessano il centro abitato. Sono presenti, inoltre aree a diverso grado di rischio in funzione delle caratteristiche geomorfologiche ed idrauliche in cui sono inserite.

Dall'esame della cartografia tematica si nota che l'area in esame alcuni tratti del cavidotto MT attraversano aree cartografate a rischio idrogeologico R1 e R4, a pericolosità idraulica alta e pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1).

Di seguito si riporta uno stralcio della carta degli scenari di rischio dell'Autorità di Bacino competente con individuazione del tratto di cavidotto sottoposta a vincolo.



Stralcio carta scenari di rischio AdB Puglia

3 MODELLIZZAZIONE GEOLOGICA

3.1 ANALISI GEOLOGICA E STRATIGRAFICA

Dall'esame della cartografia geologica esistente per l'area in esame si evince che i terreni sui quali si realizzeranno le opere in progetto sono rappresentati dalle seguenti formazioni:

Q²m "Sabbie" (Pleistocene): tale formazione è costituita da sabbie giallastre, pulverulente, con concrezioni calcaree e molluschi marini di facies litorale. Quasi dovunque coperte da un crostone calcareo-sabbioso straterellato.

Nella zona studiata affiorano terreni sabbiosi e concrezionati relativi ai terrazzamenti del Pleistocene.

Q^{3t} "Alluvioni terrazzate recenti" (Olocene): tali formazioni si distribuiscono nei tratti poco superiori agli alvei attuali e sono costituite da ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose.

Q "Alluvioni recenti e attuali" (Olocene): tale formazione è costituita da materiali incoerenti a granulometria sabbioso ghiaiosa, talora ghiaioso sabbiosa a spigoli subarrotondati, parzialmente alterati.

Di seguito si riporta la stratigrafia di un sondaggio geognostico eseguito in aree limitrofe al sito in esame:

metri	B	Ø mm	R w	A	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE
0.50						0.50	0.50	Terreno vegetale di colore marrone bruno a granulometria limoso argillosa con presenza di resti vegetali indecomposti (radici).
1								Limi argillosi di colore variabile da beige a marroncino con presenza di venature arancio e nerastre e rari inclusi litici di natura calcarea di dimensioni variabili da 1 a 2-3 centimetri a spigoli subangolari. Materiale moderatamente consistente.
2								Da m 1.60 a m 2.20 si rinviene un livello di ghiaie calcaree di colore grigio chiaro biancastro di dimensioni eterometriche variabili da 1 a 5-6 centimetri a spigoli subarrotondati immerse in scarsa matrice a granulometria sabbioso limosa di colore beige.
3								
4						4.00	3.50	Limi sabbiosi di colore beige con rara presenza di inclusi litici calcarei di dimensioni variabili dal millimetro a 1-2 centimetri a spigoli subarrotondati. Materiale poco consistente.
5						5.00	1.00	Ghiaie calcaree di colore grigio chiaro biancastro di dimensioni eterometriche variabili da 1 a 5-6 centimetri a spigoli subarrotondati immerse in matrice a granulometria limoso sabbiosa di colore beige. Materiale da moderatamente addensato a addensato.
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15	101					15.00	10.00	

Stratigrafia sondaggio eseguito in prossimità dell'area in esame



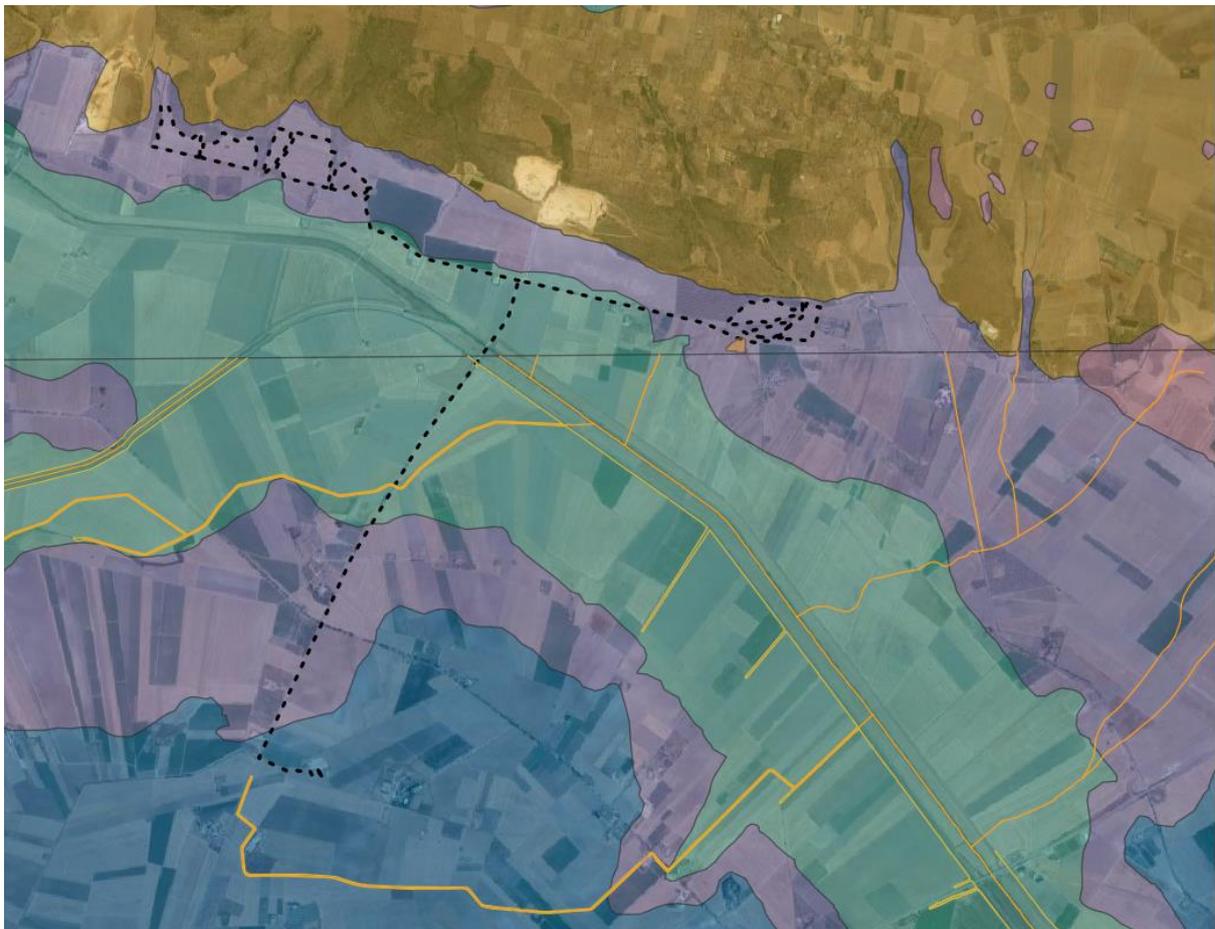
3.2 ANALISI GEOMORFOLOGICA E IDROGRAFICA

L'impianto fotovoltaico sarà realizzato nel comprensorio comunale di San Giovanni Rotondo, a ridosso della Strada Provinciale N° 28, mentre il cavidotto MT attraverserà i comuni di San Giovanni Rotondo e San Marco in Lamis, terminando in corrispondenza della stazione utente di San Marco in Lamis che sarà realizzata lungo l'estremità orientale del territorio comunale.

Lungo il tracciato del cavidotto, il territorio si presenta con un andamento pianeggiante dove la quota media si aggira intorno ai 35m s.l.m.

Alla luce di quanto detto l'intera area attualmente si presenta stabile.

Di seguito si riporta lo stralcio della carta idrogeomorfologica dell'AdB Puglia con individuazione delle opere da realizzare e del contesto geomorfologico in esame.



Stralcio Carta Idrogeomorfologica area in esame con individuazione delle opere da realizzare



<ul style="list-style-type: none"> ✓ <input checked="" type="checkbox"/> Formemodellamento_fluviale <ul style="list-style-type: none"> ✓ Reticolo 409_reticolo ✓ Formemodellamento_fluviale 409_cigli_sponda_fluviale ✓ Formemodellamento_fluviale 409_ripe_erosione_fluviale > <input checked="" type="checkbox"/> Reticolo ✓ <input checked="" type="checkbox"/> Impianto ✓ <input checked="" type="checkbox"/> Litologia 409_litologia <ul style="list-style-type: none"> ✓ Depositi sciolti a prevalente componente pelitica ✓ Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa ✓ Unità a prevalente componente arenitica ✓ Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica ✓ Unità prevalentemente calcarea o dolomitica ✓ <input checked="" type="checkbox"/> Litologia 397_litologia <ul style="list-style-type: none"> ✓ Depositi sciolti a prevalente componente pelitica ✓ Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa ✓ Unità a prevalente componente arenitica ✓ Unità prevalentemente calcarea o dolomitica ✓ <input checked="" type="checkbox"/> Google Satellite 	<p>FORME DI VERSANTE</p> <ul style="list-style-type: none"> Nicchia di distacco Corpo di frana Cono di detrito Area interessata da dissesto diffuso Area a calanchi e forme similari Orlo di scarpata delimitante forme semispianate Cresta affilata Cresta smussata Asse di displuvio <p style="text-align: right;">} Dissesto gravitativo</p>
--	--

Legenda Carta Idrogeomorfologica della Puglia

3.3 ANALISI IDROGEOLOGICA

La disposizione spaziale dei litotipi presenti nell'area in esame, la loro permeabilità e il modo in cui gli stessi vengono a contatto tra loro, condiziona sia la distribuzione degli acquiferi sia la circolazione idrica sotterranea.

I terreni che rappresentano il sottosuolo dell'area in esame appartengono al "Complesso idrogeologico dei materiali permeabili per porosità interstiziale".

La permeabilità per porosità di interstizi, è propria di materiali granulari e si riscontra nei depositi sabbioso limosi contenente elementi litici di natura arenacea e calcareo arenacea caratteristici dell'area in esame.

Tale complesso presenta un grado di permeabilità medio-alto, a luoghi basso per la presenza di una cospicua frazione limosa.

Nell'area in esame, il livello di una prima falda acquifera, da misure eseguite in fori di sondaggio realizzati in aree limitrofe al tratto in esame, si attesta a profondità superiori di 30.00 m di profondità dal piano campagna.

4 MODELLAZIONE SISMICA

4.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le norme per le costruzioni in zona sismica (Ordinanza del O.P.C.M. 3274 e Decreto 14 settembre 2005), avevano suddiviso il territorio nazionale in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale erano riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Tabella che segue:

Zona	Valore di a_g
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

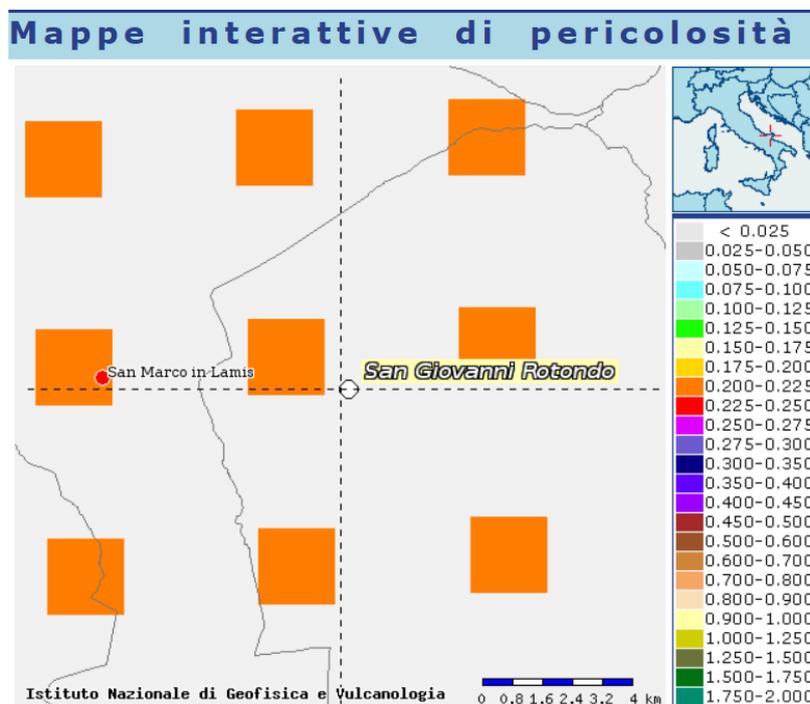
I comuni di San Giovanni Rotondo e San Marco in Lamis con D.G.R. n. 1626 del 15/09/2009 che approvò l'aggiornamento della

classifica sismica, vennero classificati di **categoria 2**.

Con l'entrata in vigore del D.M. 17/01/2018 e ancor prima del D.M. 14/01/2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Quindi per la stima della pericolosità sismica di base, si determinano le coordinate geografiche del sito di interesse, si sceglie la maglia di riferimento, e si ricavano i valori dei parametri spettrali come media pesata dei valori corrispondenti ai vertici della maglia (forniti in allegato al D.M. 17.01.2018), moltiplicati per le distanze dal punto.

Le nuove Norme Tecniche per le costruzioni del 2008 forniscono, per l'intero territorio nazionale, i parametri da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica. Tali parametri sono forniti in corrispondenza dei nodi, posti ad una distanza massima di 10 km, all'interno di un reticolo che copre l'intero territorio nazionale. I valori forniti di a_g , T_r , F_o e T_c da utilizzare per la risposta sismica del sito sono riferiti al substrato, inteso come litotipo con $V_s > 800$ m/sec.

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).



Mappa di pericolosità sismica e relativa legenda per i comuni di San Giovanni Rotondo e San Marco in Lamis

(<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Secondo la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, per il sito in esame l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico a_g varia tra 0,200 a 0,225 g espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

La disaggregazione dei valori di a_g con la medesima probabilità di eccedenza, mostra come il contributo percentualmente maggiore alla pericolosità sismica di base nella parte centrale del territorio interessato dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico e delle opere connesse sia determinato da sismi con **magnitudo massima pari a 5.3** con epicentri individuati ad una distanza media maggiore di 7 km.

L'azione sismica sulle costruzioni viene dunque valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale (categoria A nelle NTC). La "pericolosità sismica di base" costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Come anzi detto, essa, in un generico sito viene

descritta in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, sopra definito, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri: a_g accelerazione orizzontale massima del terreno; 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. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- F_o e T_c i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento, previste dalle NTC, scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è impostata operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare: la vita di riferimento V_R della costruzione, le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} , associate a ciascuno degli stati limite considerati. Si possono così individuare, partendo dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Considerando che lo sviluppo complessivo delle opere in progetto appartengono alla categoria sismica B e alla categoria topografica T1, si riportano i valori di tali parametri ai vari stati limite previsti dalla normativa (SLO stato limite di operatività, SLD stato limite di danno, SLV stato limite di salvaguardia della vita, SLC stato limite di prevenzione del collasso).

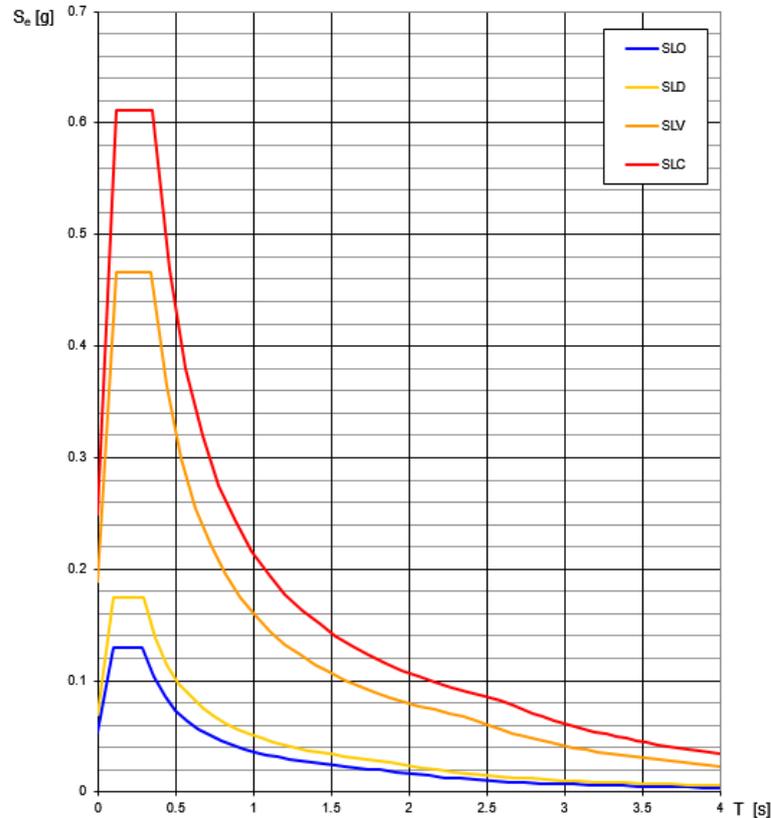
Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0.053	2.449	0.281
SLD	50	0.070	2.496	0.293
SLV	475	0.188	2.480	0.343
SLC	975	0.249	2.461	0.350

Gli stessi valori sono di seguito riportati sotto forma di grafico



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Grafici spettri di risposta per i diversi stati limite

4.2 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico e delle opere connesse è stata eseguita un'indagine sismica di tipo Masw.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$, è definita dall'espressione:

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

dove h_i e $V_{S,i}$ sono gli spessori e le velocità delle onde di taglio dei singoli strati e H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s. Quando la profondità H del substrato è superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Di seguito si riportano i risultati dell'indagine sismica eseguita:

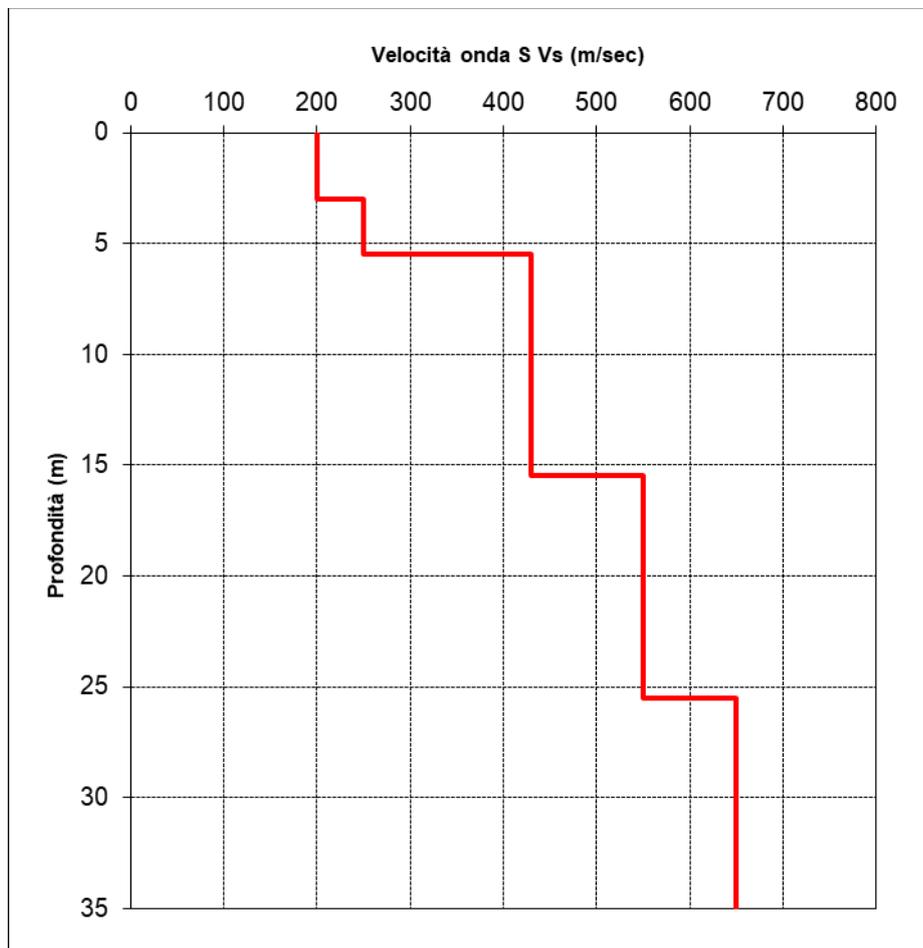


Grafico profondità/velocità indagine Masw

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	3.00	200	0.0150
3.00	5.50	250	0.0100
5.50	15.50	430	0.0233
15.50	25.50	550	0.0182
25.50	35.00	650	0.0146

Tabella sismostrati individuati con relative velocità Vs

4.3 ANALISI DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. Qualora, come nel caso in questione, tali studi non sono disponibili, si utilizza la classificazione dei terreni descritta nelle NTC 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni". La classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq.

Pertanto il valore del parametro $V_{s,eq}$ è stato calcolato con la formula seguente come previsto dalla norma:



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

Dall'analisi delle indagini è emerso che i terreni appartengono alla categoria di sottosuolo sismico B.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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	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.
D	Depositi 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.

Tabella 1 Categorie di sottosuolo sismico per l'approccio semplificato

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 2 Espressioni di S_s e C_c

4.4 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

La norma citata, per la risposta sismica del sito, stabilisce 4 categorie, in relazione alle caratteristiche topografiche dell'area in esame. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

- 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 $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se presentano altezze maggiori di 30 m.

Per ciò che concerne l'area in studio, la cabina di impianto è ubicata in un'area praticamente pianeggiante con valori di inclinazione media \leq di 15° .

Pertanto, il coefficiente topografico da adottare è quello relativo alla categoria T1.

5 MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1 INDAGINI GEOTECNICHE

Dalle conoscenze pregresse e dal modello geologico risultante dell'area di studio si è proceduto ad analizzare una serie di indagini eseguite in aree limitrofe al sito in esame.

In particolare è stata presa in considerazione una prova penetrometrica dinamica pesante eseguita in aree limitrofe al sito in esame.

Come si può notare dal grafico della prova penetrometrica, il numero di colpi testimonia la presenza di due differenti strati, di cui il primo con numero di colpi medio superiore a 15, ascrivibile ad una formazione di copertura di spessore di circa 4.00 metri, e di un secondo strato che si approfondisce fino alla massima profondità della prova, alla quale si registra il rifiuto strumentale e coincide probabilmente con la presenza di litologie a granulometria sabbioso ghiaiosa da parzialmente cementate a cementate.

5.1.1 INTERPRETAZIONI DELLE INDAGINI GEOTECNICHE

In particolare è stata presa in considerazione una prova penetrometrica dinamica pesante eseguita in aree limitrofe al sito in esame.

Di seguito si riporta il grafico della prova penetrometrica presa in esame:

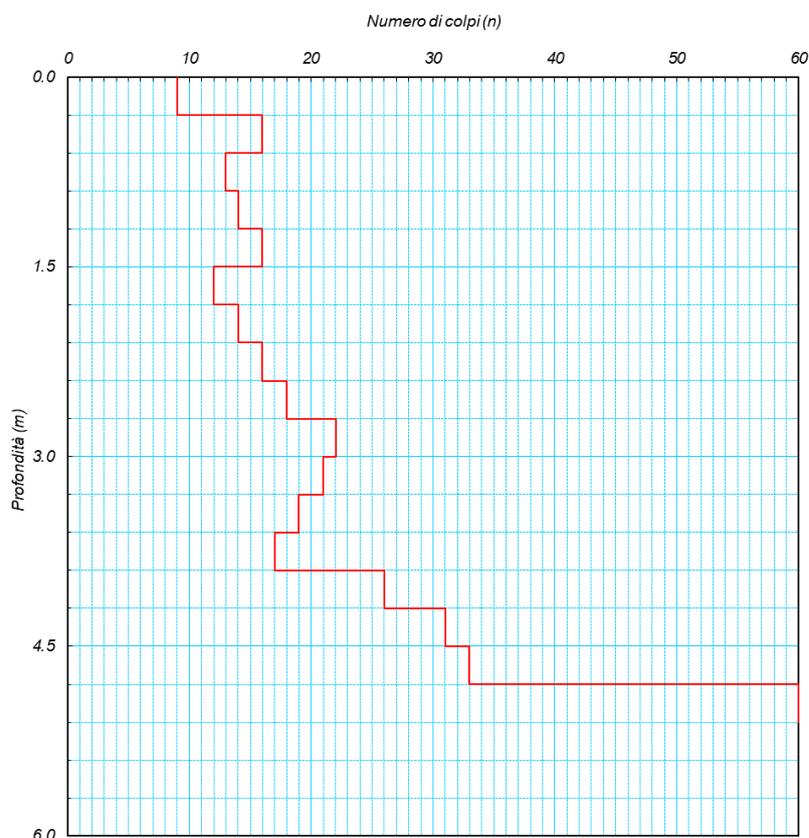


Grafico prova penetrometrica DPSH

Come si può notare dal grafico su riportato, il numero di colpi testimonia la presenza di due differenti strati; il primo con numero di colpi medio pari a 16, ascrivibile a materiale di copertura costituito da litologie sabbioso limose, limoso sabbiose parzialmente alterate moderatamente addensate/consistenti, ed il secondo costituito da litologie a granulometria sabbioso ghiaiosa da parzialmente cementate a cementate.

5.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO E VALORI CARATTERISTICI ADOTTATI

Dall'analisi delle conoscenze dello scrivente, del modello geologico e dalle indagini geotecniche in sito prese come riferimento, è stato possibile definire il modello geotecnico del sottosuolo. Di seguito si riporta la tabella con i parametri geotecnici medi rappresentativi.

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI PRESENTI NEL SOTTOSUOLO				
Prof. della Falda: non presente				
Profondità dal piano campagna Da (m) a (m)	Unità Litotecnica	Peso di volume naturale	Angolo di attrito di picco	Coesione non drenata
(m)	(Formazione)	g/cm ³	(°)	Kg/cm ²
0.00 4.00	Sabbie limose e limi sabbiosi moderatamente addensati/consistenti	1.40-1.60	32-34	2.00-2.50
4.00 20.00	Sabbie ghiaiose da parzialmente cementate a cementate	1.60-1.80	34-36	4.00-6.00

Tabella parametri geotecnici medi



5.3 STABILITÀ DELL'AREA

Dal punto di vista della stabilità dell'area, considerato che la franosità è funzione delle caratteristiche geotecniche, litologiche, idrogeologiche e morfologiche dell'area, è quindi in relazione a parametri quali la litologia, l'angolo di attrito interno, il contenuto d'acqua, la coesione, la giacitura dei terreni e, soprattutto, la pendenza dei versanti dove essi affiorano, il fatto che l'area in esame è quasi completamente pianeggiante, fa escludere la presenza di fenomeni gravitativi in atto o quiescenti, nonché l'innescarsi di potenziali dissesti. Inoltre, non esiste, allo stato, alcuna alterazione antropica (gallerie o cavità artificiali) che possa mutare completamente il regime statico del terreno sedime di fondazione e la sua capacità portante.

5.3.1 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno si 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

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = 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:

a) c = 0;

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

(il caso $\varphi = 0$ non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione "c=0" non può ovviamente verificarsi).

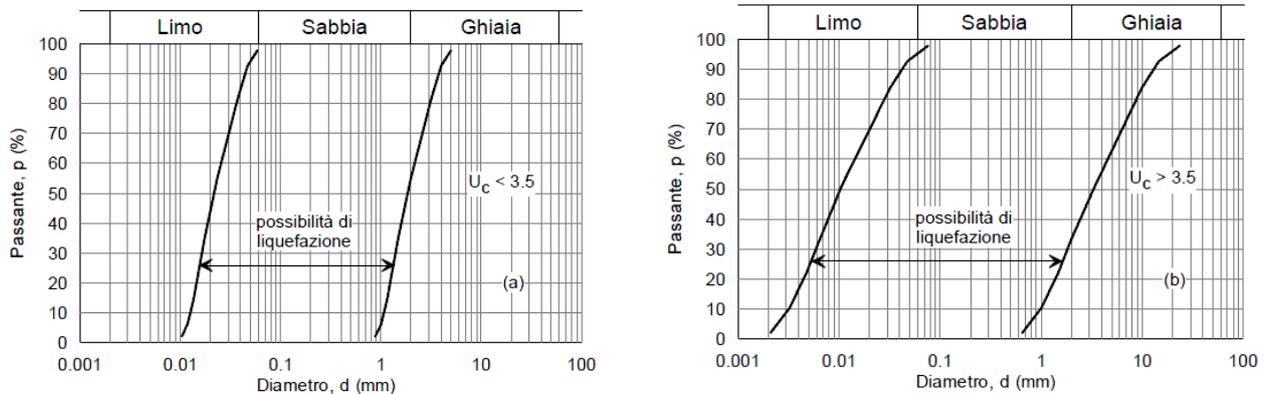
La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{v0} = u$). In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producono un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

Il D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), richiede di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nel sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione in caso di sisma.

Nelle stesse NTC è riportato che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura che segue: (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Alla luce di queste considerazioni, considerando l'assenza di una falda nei primi 15.00 metri di profondità e la presenza di materiali lapidei, si può escludere la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione in caso di evento sismico.

6 CONCLUSIONI

L' impianto fotovoltaico verrà realizzato nell'ambito del comprensorio comunale di San Giovanni Rotondo, mentre il cavidotto MT attraverserà il territorio comunale di San Marco in Lamis.

Dall'esame della cartografia geologica esistente per l'area in esame si evince che i terreni sui quali si realizzeranno le opere in progetto sono rappresentati dalle seguenti formazioni:

Q²m "Sabbie" (Pleistocene): tale formazione è costituita da sabbie giallastre, pulverulente, con concrezioni calcaree e molluschi marini di facies litorale. Quasi dovunque coperte da un crostone calcareo-sabbioso straterellato.

Nella zona studiata affiorano terreni sabbiosi e concrezionati relativi ai terrazzamenti del Pleistocene.

Q³t "Alluvioni terrazzate recenti" (Olocene): tali formazioni si distribuiscono nei tratti poco superiori agli alvei attuali e sono costituite da ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose.

Q "Alluvioni recenti e attuali" (Olocene): tale formazione è costituita da materiali incoerenti a granulometria sabbioso ghiaiosa, talora ghiaioso sabbiosa a spigoli subarrotondati, parzialmente alterati.

Dal punto di vista geomorfologico l'area esaminata si sviluppa lungo superficie praticamente pianeggianti con deboli pendenze digradanti verso sud.

Per quanto attiene le caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame i terreni che rappresentano il sottosuolo dell'area in esame appartengono al "Complesso idrogeologico dei materiali permeabili per porosità interstiziale".

Tale complesso presenta un grado di permeabilità medio-alto, a luoghi basso per la presenza di una cospicua frazione limosa.

Dall'esame della cartografia tematica si nota che l'area in esame alcuni tratti del cavidotto MT attraversano aree cartografate a rischio idrogeologico R1 e R4, a pericolosità idraulica alta e pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1).

La caratterizzazione sismica dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico è stata conseguita attraverso la realizzazione di una indagine sismica di superficie di tipo Masw.

Dall'analisi delle indagini è emerso che i terreni appartengono alla categoria di sottosuolo sismico B e alla categoria topografica T1.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è scaturita dalle esperienze mature dallo scrivente nelle aree in esame e dalla consultazione di alcune indagini geotecniche realizzate in aree adiacenti.

In particolare, la stratigrafia geotecnica del sottosuolo è rappresentata da due unità litotecniche; la prima ascrivibile ad una formazione di copertura di spessore di circa 4.00 metri, costituita da litologie sabbioso limose e limoso sabbiose moderatamente addensate/consistenti e la seconda, rappresentata da litologie a granulometria sabbioso ghiaiosa da parzialmente cementate a



SINERGIA GP10

UWU1WA4_RELAZIONEGEOTECNICA

*Impianto FV "San Giovanni Rotondo"
con annesso Sistema di accumulo di energia a batterie*



Codifica Elaborato: **203607_D_R_0112** Rev. 00

cementate.

In merito alla stabilità dell'area interessata dal progetto, considerato che la franosità è funzione delle caratteristiche geotecniche, litologiche, idrogeologiche e morfologiche e dipende, quindi, da parametri quali litologia, angolo di attrito interno, contenuto d'acqua, coesione, giacitura dei terreni e, soprattutto, pendenza dei versanti si può asserire che l'area in esame si presenta stabile.

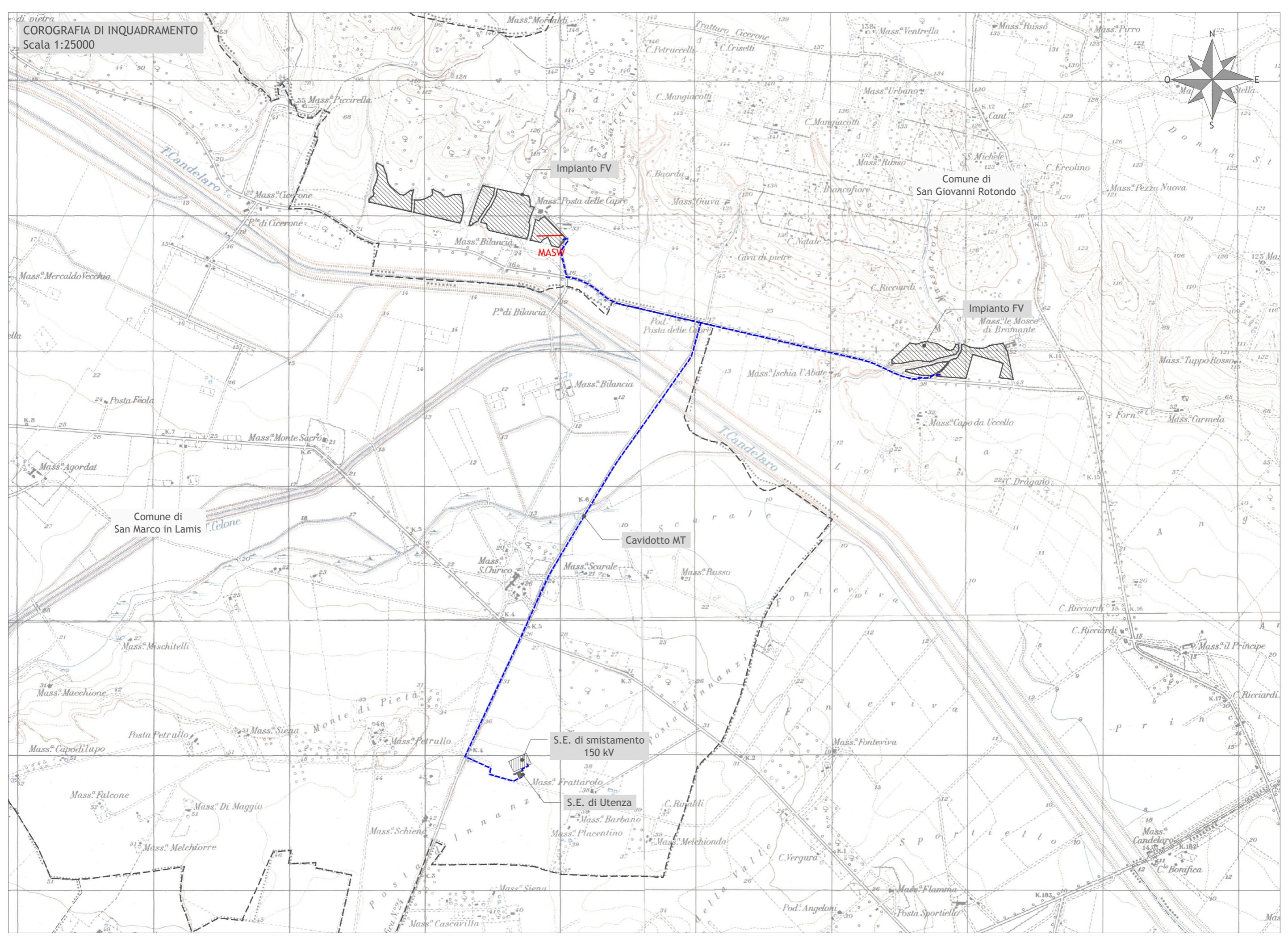
In definitiva vista la morfologia, la strutturazione geologica dell'area in studio, si può asserire che questi offrono sufficienti garanzie ai fini della loro utilizzazione e quindi, tenuto conto di tutte le indicazioni riportate nella presente, non esiste alcuna controindicazione circa la fattibilità di quanto previsto nell'ipotesi progettuale.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Castel Morrone, 25/10/2021

Il Geologo
Dott. Antonio Petriccione
C. Petriccione
Albo n. 895





Comune di
San Marco in Lamis

Impianto FV

MASW

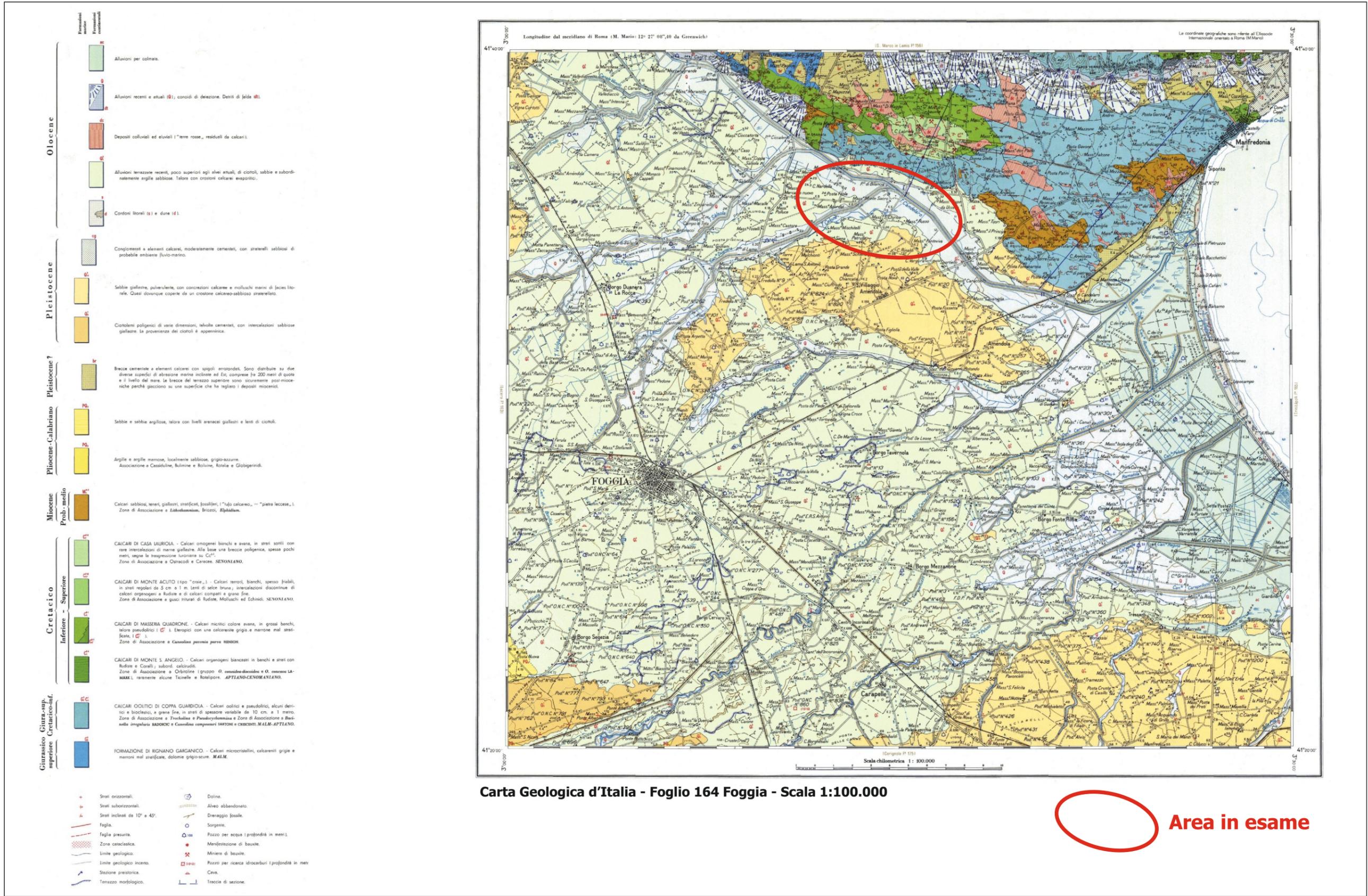
Cavidotto MT

S.E. di smistamento
150 kV

S.E. di UtENZA

Comune di
San Giovanni Rotondo

Impianto FV



Carta Geologica d'Italia - Foglio 164 Foggia - Scala 1:100.000

Area in esame

PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

Committente: *Progetto Energia s.r.l.*

Protocollo n.: *PE/028/20*

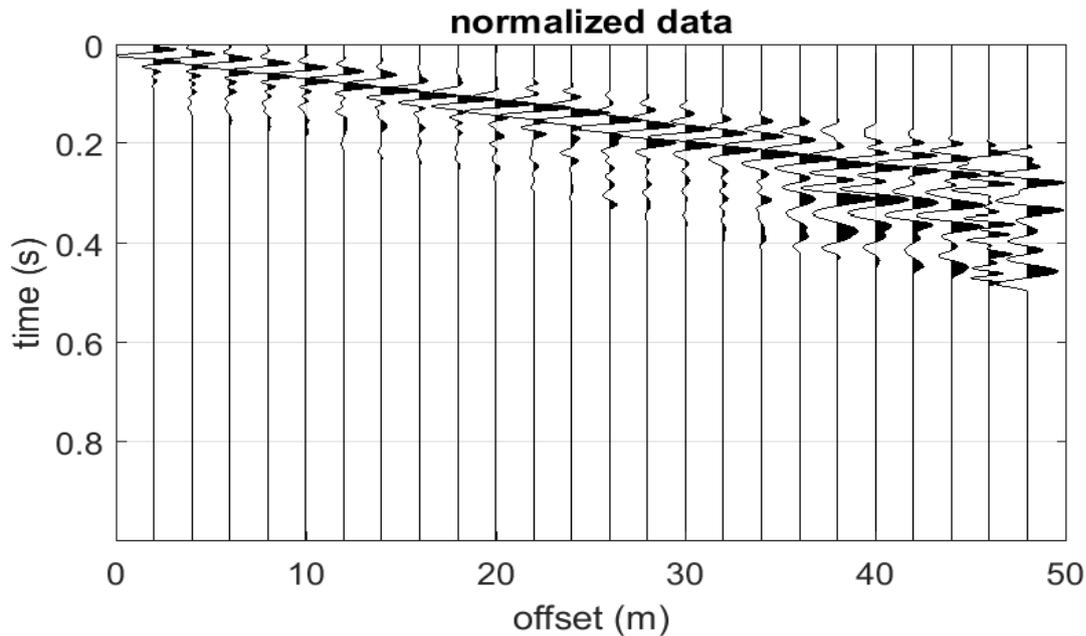
Cantiere: *Impianto fotovoltaico Comuni di San Giovanni Rotondo e San Marco in Lamis (FG)*

Data esecuzione prova: *25/11/2020*

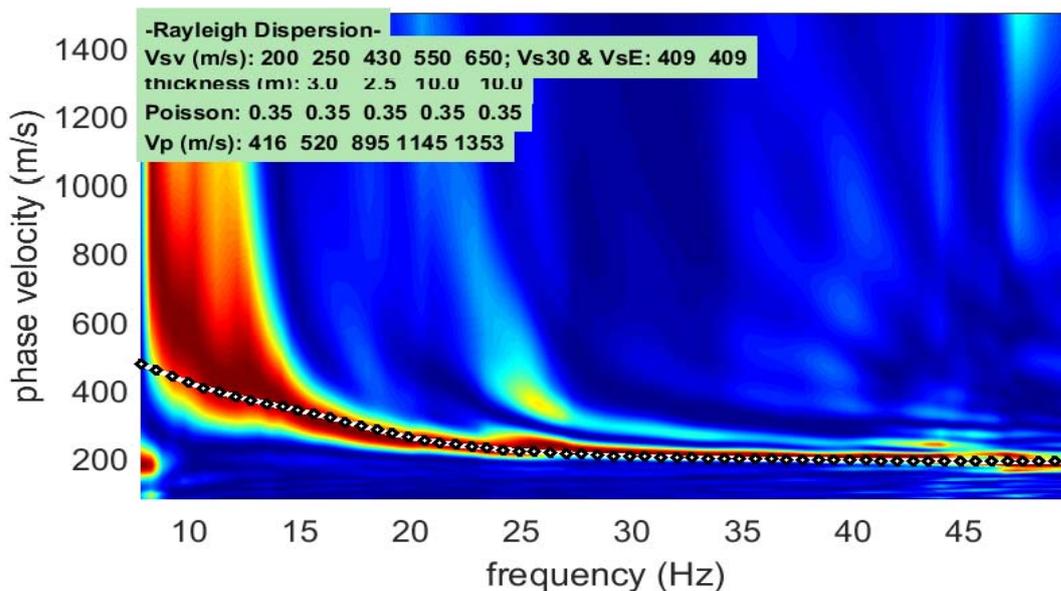
Prova MASW: **M1**

Data emissione certificato: *29/12/2020*

Registrazione di campagna delle tracce



Analisi delle frequenze e curva di dispersione calcolata dal modello del terreno



IL RESPONSABILE DEL SETTORE

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

Committente: Progetto Energia s.r.l.

Protocollo n.: PE/028/20

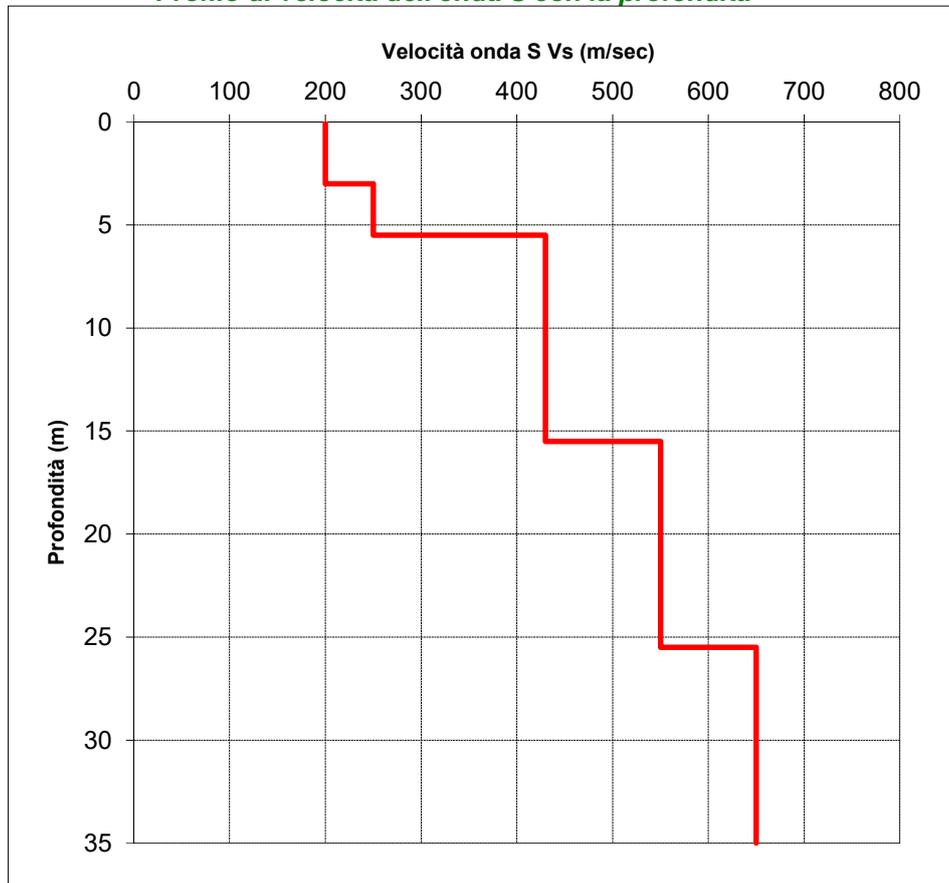
Cantiere: Impianto fotovoltaico Comuni di San Giovanni Rotondo e San Marco in Lamis (FG)

Data esecuzione prova: 25/11/2020

Prova MASW: M1

Data emissione certificato: 29/12/2020

Profilo di velocità dell'onda S con la profondità



Calcolo del Vs,eq

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	3.00	200	0.0150
3.00	5.50	250	0.0100
5.50	15.50	430	0.0233
15.50	25.50	550	0.0182
25.50	35.00	650	0.0146

VALORE DI Vs,eq CALCOLATO (m/s)
409

Categoria di sottosuolo
B

IL RESPONSABILE DEL SETTORE

Dott. Geol. Carmencita Ventrone