



PROGETTO:

Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto agrovoltaico denominato "PV Melfi" di P_n pari a 19,8 MW da realizzarsi nel Comune di Melfi (PZ)

Progetto Definitivo

PROPONENTE:



DREN SOLARE 5 s.r.l.
SORESINA (CR)
VIA PIETRO TRIBOLDI 4 CAP 26015
PIVA 01771790191

ELABORATO:

Relazione geologica

STUDI AMBIENTALI:
VAMIRGEOIND



Gruppo di lavoro:
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo
Dott.ssa Maria Antonietta Marino
Dott. Agr. Fabio Interrante
Dott. Stefano di Stefano

Scala:

PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Cangelosi



Ing. Gaetano Scurto



Relazione:

MF-R-0502

Data:

16-03-2023

Rev. Data Revisione

00 16-03-2023

Descrizione

emissione

INDICE

1. PREMESSE	1
2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE	7
3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDRO- GEOLOGICHE	10
4. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI IN- TERESSATI	13
5. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	16
6. INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA	24
7. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO	38
8. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNI- CHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESE- CUTIVA	42
9. CONCLUSIONI	44

REGIONE BASILICATA

COMUNE DI MELFI (PZ)

***PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO AGRO-VOLTAICO***

Committente: DREN Solare 5 srl

***RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E DI
COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA***

1. PREMESSE

Il presente studio geologico-geomorfologico-idrogeologico preliminare è stato eseguito in ossequio a quanto descritto nelle normative vigenti in materia (D.M. 17/01/2018 con particolare riguarda al paragrafo 6.12).

Nello specifico ha previsto l'analisi critica dei dati forniti dal Committente e l'esecuzione di specifici rilievi di superficie per:

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- individuare tutte le problematiche geologico-tecniche che possono interferire con le opere in progetto;

- indicare, in linea di prima approssimazione, eventuali opere di consolidamento o presidio per garantire la realizzazione ottimale delle opere in progetto;
- determinare, in linea di prima approssimazione, le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni con maggiore interesse a quelle che più da vicino riguardano gli aspetti progettuali;
- verificare l'eventuale presenza di problematiche legate a fenomeni di liquefazione;
- indicare un programma di indagini geognostiche e geotecniche da eseguire nelle successive fasi di progettazione.

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

a) Studio geologico dell'area interessata comprendente la descrizione delle formazioni geologiche presenti, delle loro caratteristiche litologiche, dei reciproci rapporti di giacitura, dei loro spessori, nonché l'indicazione di tutti i lineamenti tettonici.

b) Studio geomorfologico dell'area interessata comprendente la descrizione dei principali lineamenti morfologici, degli eventuali fenomeni di erosione e dissesto, dei principali processi indotti da antropizzazione.

c) Studio idrogeologico dell'area interessata comprendente la descrizione dei lineamenti essenziali sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea in relazione alla loro interferenza con le problematiche geotecniche ed all'individuazione delle aree soggette ad esondazione.

d) Studio delle pericolosità geologiche dell'area interessata comprendente tutto quanto necessario ad evidenziare le aree interessate da "pericolosità geologiche" quali frane, colate, crolli, erosioni, esondazioni, rappresentando, cioè, un'attenta analisi ed interpretazione degli studi precedenti.

e) Studio della pericolosità sismica locale atto ad evidenziare le aree con particolari problematiche sismiche e tali da poter provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità.

Da quanto detto prima si evince che in una prima fase il nostro lavoro è stato organizzato eseguendo numerosi sopralluoghi finalizzati allo studio di una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal progetto per inquadrare, in una più ampia visione geologica, la locale situazione geostrutturale.

Nostro interesse era, inoltre, quello di definire l'habitus geomorfologico e l'assetto idrogeologico concentrando la nostra attenzione sulle condizioni di stabilità dei versanti, sullo stato degli agenti morfogenetici attivi e sulla presenza e profondità di eventuali falde freatiche.

Per la ricostruzione della serie stratigrafica locale, del modello geologico e per la caratterizzazione sismica, nonché per l'individuazione dell'eventuale presenza di falde freatiche e della profondità del livello piezometrico, sono stati utilizzati i dati in nostro possesso derivanti da studi eseguiti in aree limitrofe a quella direttamente interessata dallo studio ed i dati delle indagini sismiche eseguite per il presente studio, che hanno consentito di ottenere informazioni sulle velocità delle onde sismiche V_s nei primi 30 m di profondità a partire dal p.c.

Le aree oggetto di studio (considerando per tali tutte le aree in disponibilità del proponente, anche se di maggior estensione rispetto alle effettive aree d'impianto) sono suddivise come visibile negli stralci allegati.



Area 1



Area 2



Area 3



Sottostazione

Con i dati in nostro possesso, abbiamo redatto la presente relazione geologico-tecnica corredata da:

- ❖ n. 1 carte geologica, geomorfologica ed idrogeologica in scala 1/10.000 fuori testo;
- ❖ n. 2 carte relative al “Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.)”, con l’ubicazione delle aree interessata delle opere in progetto;
- ❖ n. 2 carte relative al “Piano di Gestione del Rischio Alluvioni” redatte dall’Autorità di Bacino”, con l’ubicazione delle aree interessata delle opere in progetto;
- ❖ risultati delle indagini geofisiche eseguite.

Le ipotesi geologiche formulate in questa sede sono da confermare con l’esecuzione delle indagini indicate nell’apposito capitolo, nella successiva fase di progettazione esecutiva.

2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili ed, infine, una campagna di rilievi effettuati nell'area strettamente interessata dallo studio.

Entrando nel particolare, la situazione litostratigrafica locale è caratterizzata, dall'alto verso il basso, dall'affioramento di:

⇒ **DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI ED ATTUALI (Olocene):**

Comprendono i depositi ubicati lungo gli alvei dei corsi d'acqua e nelle piane alluvionali limitrofe. Si tratta di rocce prevalentemente sciolte costituite da limi, limi sabbiosi e limi argillosi, con sabbie a grana da fine a grossolana, sabbie limose, sabbie ghiaiose e ghiaie poligeniche ed eterometriche, con blocchi angolosi e con intercalazioni sabbioso-ghiaiose.

Detti depositi affiorano in corrispondenza di un breve tratto del cavidotto in prossimità di Ponte Capatano.

⇒ **TUFI DEL VULTURE (Pleistocene medio - inf.):** Sono depositi costituiti da tufi sabbiosi e conglomeratici di ambiente fluvio-lacustre ed in parte da tufi cineritici. Presentano uno spessore pari a circa 3-4 m ed affiorano in corrispondenza di una parte dei sottocampi 1 e 2.

⇒ **DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI (Pleistocene):** Sono depositi costituiti da argille, argille sabbiose con lenti di ghiaie e sabbie. Presentano uno spessore pari a circa 4-5 m e sono ricoperti dai Tufi del Vulture in corrispondenza di una parte del sottocampo 1.

⇒ **COMPLESSO SABBIOSO PLIOCENICO (*Pliocene sup.*):** si tratta di sabbie di colore giallo bruno con lenti ciottolose, localmente fossilifere e, saltuariamente, con livelli di argille grigie a struttura omogenea, uniformi. Detti terreni presentano uno spessore pari a circa 6-7 m e poggiano sul complesso argilloso pliocenico. La porzione superficiale alterata si presenta plastica e scarsamente addensata mentre le proprietà meccaniche generalmente aumentano con la profondità. Detto complesso affiora in corrispondenza della sottostazione.

⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO PLIOCENICO (*Pliocene sup.*):** si tratta di argille, argille sabbiose di colore beige quando alterate e argille marnose grigio-azzurrognole quando inalterate.

La porzione superficiale alterata, di spessore pari a circa 4-5 m si presenta plastica e scarsamente consistente mentre le proprietà meccaniche generalmente aumentano con la profondità. Detto complesso, che affiora in corrispondenza del sottocampo 3, ha un ruolo fondamentale nella ricostruzione del modello geologico ed idrogeologico in quanto costituisce, anche, il substrato impermeabile che funge da letto della falda freatica presente dove affiorano i terreni alluvionali, sabbiosi e tufacei.

In conclusione, nell'area direttamente interessata dal progetto sono individuabili 4 situazioni geologicamente diverse, dettagliatamente rappresentate nelle colonne stratigrafiche tipo allegate.

- ✓ Tipo 1 (Area 1) - Tufi del Vulture di spessore pari a 3-4 m che ricoprono i depositi terrazzati di spessore pari a 4-5 m. Detti terreni poggiano sul Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per 4-5 m di profondità;

- ✓ Tipo 2 (Area 3) - Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per 4-5 m di profondità;
- ✓ Tipo 3 (Area 2) - Tufi del Vulture di spessore pari a 3-4 m che ricoprono il Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per 4-5 m di spessore;
- ✓ Tipo 4 (Sottostazione) - Complesso Sabbioso Pliocenico di spessore 6-7 m che ricopre il Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per 4-5 m di spessore.

I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale e sovrastano i litotipi (alterati ed inalterati) dei complessi precedentemente descritti.



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 1 (Area impianto)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)
		Tufi del Vulture - Tufi sabbiosi e conglomeratici (spessore variabile tra 3-4 m) $\varphi' = 30^\circ$, $C' = 00,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $1,8 \text{ kN/m}^3$.
		Depositi terrazzati - Argille, argille sabbiose e ghiaie (spessore da 4-5 m) $\varphi' = 20^\circ$, $C' = 19,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $1,9 \text{ kN/m}^3$.
		Complesso argilloso pliocenico - Argille ed argille sabbiose - Frazione alterata (spessore da 4-5 m) $\varphi' = 20^\circ$, $C' = 19,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $1,9 \text{ kN/m}^3$.
		Complesso argilloso pliocenico - Argille - Frazione inalterata $\varphi' = 25^\circ$, $C' = 20,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $2,0 \text{ kN/m}^3$.



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 2 (Area impianto)

Stratigrafia	Profondità'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)
		Complesso argilloso pliocenico - Argille, ed argille sabbiose - Frazione alterata (spessore 4 - 5 m) $\varphi' = 20^\circ$, $C' = 19,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $1,9 \text{ kN/m}^3$.
		Complesso argilloso pliocenico - Argille - Frazione inalterata $\varphi' = 25^\circ$, $C' = 20,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $2,0 \text{ kN/m}^3$.



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 3 (Area impianto)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)
		Tufi del Vulture - Tufi sabbiosi e conglomeratici (spessore variabile tra 3-4 m) $\varphi' = 30^\circ$, $C' = 00,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $1,8 \text{ kN/m}^3$.
		Complesso argilloso pliocenico - Argille, ed argille sabbiose - Frazione alterata (spessore 4-5 m) $\varphi' = 20^\circ$, $C' = 19,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $1,9 \text{ kN/m}^3$.
		Complesso argilloso pliocenico - Argille - Frazione inalterata $\varphi' = 25^\circ$, $C' = 20,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $2,0 \text{ kN/m}^3$.



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO (Sottostazione)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)
		Complesso sabbioso pliocenico - Sabbie e sabbie limose - (spessore variabile tra 6-7 m) $\varphi' = 30^\circ$, $C' = 00,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $1,8 \text{ kN/m}^3$.
		Complesso argilloso pliocenico - Argille, ed argille sabbiose - Frazione alterata (spessore 4-5 m) $\varphi' = 20^\circ$, $C' = 19,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $1,9 \text{ kN/m}^3$.
		Complesso argilloso pliocenico - Argille - Frazione inalterata $\varphi' = 25^\circ$, $C' = 20,0 \text{ kN/m}^2$, peso specifico = $2,0 \text{ kN/m}^3$.

3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

Nell'area vasta l'habitus geomorfologico è piuttosto regolare, costituito da un paesaggio contraddistinto da aree sub pianeggianti o con modesta pendenza.

Le condizioni di stabilità dell'area sia dei sottocampi agro-voltaici che della sottostazione sono ottime in relazione alla favorevole giacitura dei terreni presenti, nonché alla mancanza assoluta di agenti geodinamici che possano in futuro turbare il presente equilibrio.

Non si ritiene, quindi, di eseguire verifiche di stabilità poiché essendo l'area pianeggiante e totalmente esente da qualunque fenomenologia che possa modificare l'attuale habitus geomorfologico, non è possibile l'instaurarsi di alcun movimento franoso e, quindi, i calcoli farebbero registrare valori del coefficiente di sicurezza decisamente superiori ai minimi previsti dalla legge.

Quanto detto prima è confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) e il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) che esclude tali aree da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico ed idraulico (vedi cartografia allegata fuori testo).

Dal punto di vista idrogeologico l'area direttamente interessata dal progetto è caratterizzata dall'affioramento di terreni diversi che abbiamo suddiviso in 2 tipi di permeabilità prevalente:

- ❖ **Rocce permeabili per porosità**: Si tratta di rocce caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia al variare delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti. In particolare la permeabilità risulta

essere medio-bassa nella frazione limosa mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi e ghiaiosi. Di conseguenza la circolazione idrica sotterranea è discontinua con livelli acquiferi sospesi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti ai depositi alluvionali recenti e terrazzati, i Tufi del Vulture ed il Complesso sabbioso Pliocenico.

❖ **Rocce impermeabili:** Questo complesso è costituito dal Complesso Argilloso Pliocenico. In queste rocce l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili anche se la porzione alterata superficiale acquista una bassa permeabilità per porosità che non permette la presenza di falde freatiche ma consente il formarsi di livelli idrici a carattere stagionale che mantengono, nel periodo delle piogge, i primi 5-6 mt. in condizioni di saturazione.

Vista la natura dei terreni presenti si può affermare che il livello piezometrico della falda presente si attesta a una quota pari a circa 2.0 m dal p.c., ma può raggiungere il piano campagna durante i periodi di pioggia.

Da un punto di vista dell'interferenza delle opere in progetto si deve escludere qualunque impatto sulla falda per i seguenti motivi:

- ⇒ quelle presenti nei tufi e nel complesso sabbioso sono di modestissima potenzialità in ragione dello spessore molto limitato e di un bacino di alimentazione di ridotta estensione;
- ⇒ anche quella di sub alveo nei depositi alluvionali appare di scarsa potenzialità e generalmente legata al ciclo annuale del corso d'acqua. Anche in questo caso la modestia degli spessori e la presenza di prevalenti materiali fini rende tale falda molto modesta;

- ⇒ trattandosi di depositi a giacitura sub orizzontale il deflusso idrico sotterraneo è estremamente lento;
- ⇒ le cabine sono prefabbricate e fondate su platea superficiale che non interferisce in alcun modo con il deflusso idrico sotterraneo e superficiale;
- ⇒ i pannelli sono fondati su pali di diametro e profondità molto limitata e posti a distanza notevole tra loro per cui non è possibile alcun effetto diga né interferenza sul regolare deflusso idrico sotterraneo;
- ⇒ l'esercizio dell'impianto non provoca alcuna immissione nel suolo e nel sottosuolo di sostanze inquinanti.

4. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI

Da quanto desumibile dalle indagini geotecniche in situ in nostro possesso, dalla carta geologica allegata, dai rilievi e dalle indagini geofisiche eseguite per il presente lavoro, i terreni di sedime direttamente interessati dalle opere in studio sono dall'alto verso il basso:

- a) *Terreno vegetale;*
- b) *Depositi alluvionali;*
- c) *Tufi del Vulture;*
- d) *Complesso Sabbioso Pliocenico;*
- e) *Complesso Argilloso Pliocenico.*

Nel seguito si descrivono singolarmente le caratteristiche litotecniche essenziali dei vari terreni presenti da confermare, nella successiva fase di progettazione, con l'esecuzione delle indagini sotto indicate.

a) Terreno vegetale: è costituito da limi debolmente sabbiosi scarsamente consistenti di colore rosso/marrone con inclusi numerosi ciottoli di dimensioni da millimetriche a centimetriche. Lo spessore è generalmente variabile tra 1,00 e 2,00 m dal p.c. Detti terreni non sono idonei come terreni di fondazione e quindi dovranno essere totalmente asportati/superati in corrispondenza delle opere in progetto in modo da scaricare le tensioni sul substrato in posto.

b) Depositi alluvionali: Si tratta di rocce prevalentemente sciolte costituite da limi, limi sabbiosi e limi argillosi, con sabbie a grana da fine a grossolana, sabbie limose e sabbie ghiaiose e ghiaie poligeniche ed eterometriche, con blocchi angolosi e con intercalazioni sabbioso-ghiaiose. Le frazioni limose e sabbiose si

presentano scarsamente addensati e saturi. Dove prevalgono i limi sabbiosi e torbosi sono compressibili e molto plastici. Si mette in evidenza che nelle aree dove la frazione limosa si trova in affioramento sono presenti litotipi palustri caratterizzati da elevata plasticità. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti range di parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 20^\circ, c' = 1.9 \text{ t/mq}, \gamma = 1.9 \text{ t/mc}$$

c) Tufi del Vulture: Sono depositi costituiti da tufi sabbiosi e conglomeratici di ambiente fluvio-lacustre ed in parte da tufi cineritici.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 28^\circ, c' = 0.2 \text{ t/mq}, \gamma = 1.9 \text{ t/mc}$$

d) Complesso Sabbioso Pliocenico: sabbie di colore giallo bruno con lenti ciottolose, localmente fossilifere e, saltuariamente, con livelli di argille grigie, a struttura omogenea, uniformi. La porzione superficiale alterata si presenta scarsamente addensata mentre le proprietà meccaniche generalmente aumentano con la profondità.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$e) \varphi' = 30^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.8 \text{ t/mc}$$

f) Complesso Argilloso Pliocenico: si tratta di argille, argille sabbiose di colore beige quando alterate e argille marnose grigio-azzurrognole quando inalterate. La porzione superficiale alterata si presenta

plastica e scarsamente consistente mentre le proprietà meccaniche generalmente aumentano con la profondità.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 22^\circ, c' = 2.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.9 \text{ t/mc}$$

Ai fini della corretta valutazione sito-specifica del terreno di sedime dei vari sub parchi si ritiene indispensabile che il geologo incaricato nelle successive fasi di progettazione esegua specifiche indagini ai sensi del D.M. 17/01/2018.

5. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il problema della liquefazione dei terreni è di estrema importanza in aree a rischio sismico, come quella in cui si deve realizzare il progetto.

Si tratta di un fenomeno estremamente importante e pericoloso in particolari condizioni.

Il termine *liquefazione* viene usato, per definire un processo per cui una massa di terreno saturo, a seguito dell'intervento di forze esterne, statiche o dinamiche perde resistenza al taglio e si comporta come un fluido.

Ricordando la relazione di un terreno incoerente saturo:

$$\tau_f = (\sigma_f - u) \operatorname{tg} \varphi$$

se per effetto delle azioni esterne la pressione applicata si trasferisce integralmente alla fase liquida, ossia $\sigma = u$, viene $\tau_f = 0$ e quindi resistenza tangenziale nulla.

Sono soprattutto le azioni dinamiche a disturbare l'equilibrio dello scheletro solido orientando le particelle di roccia, immerse in acqua, verso una maggiore compattezza.

Le particelle di terreno sotto la vibrazione, si dispongono infatti facilmente in un nuovo assetto ed in questa fase di transizione perdono il contatto fra di loro e, quindi, sono «flottanti» temporaneamente nell'acqua perdendo ogni funzione portante.

La presenza dell'acqua pone le sabbie, sottoposte a rapide alternanze di carico, in situazione analoga a quella delle argille sature sottoposte rapidamente a carichi statici; infatti la velocità con la quale si producono le variazioni di volume è talmente elevata che, nonostante la forte permeabilità dello scheletro granulare della sabbia, l'acqua non riesce a sfuggire

mentre avviene la riduzione di volume del tessuto e, quindi, le pressioni interstiziali annullano la resistenza di attrito.

Di qui la liquefazione del terreno e lo sprofondamento delle opere.

La predisposizione alla liquefazione dipende, quindi, dalla capacità del terreno ad aumentare la propria densità, il che è legato evidentemente alla percentuale di vuoti iniziale.

Il fenomeno della liquefazione si verifica per stratificazioni superficiali, a profondità di 15 m può dirsi che esso sia escluso a causa della compattezza prodotta dalla pressione geostatica.

Notevoli assestamenti possono verificarsi con terreni anche asciutti sottoposti a vibrazioni ma senza la presenza della falda non è possibile l'istaurarsi del fenomeno della liquefazione.

I metodi con cui si calcola la tendenza alla liquefazione sono divisi in due categorie: a) Metodi semplificati; b) Metodi empirici ed il nostro studio utilizza quelli definiti dal programma Liquiter della Geostru.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ ed indagini geofisiche per il calcolo delle Vs30.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene, quindi, valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione.

Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove di misurazione delle onde di taglio Vs.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

- 1) *Metodo di Seed e Idriss (1982);*
- 2) *Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);*
- 3) *Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);*
- 4) *Metodo di Finn (1985);*
- 5) *Metodo di Cortè (1985);*
- 6) *Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);*
- 7) *Metodo di Andrus e Stokoe (1998);*
- 8) *Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);*
- 9) *Metodo basato sull'NTC 2008.*

In base all'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- ❖ contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;
- ❖ contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$;

❖ frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$.

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

<i>Categoria suolo</i>	<i>Spettri di Tipo 1 - S (M > 5,5)</i>	<i>Spettri di Tipo 2 - S (M < 5,5)</i>
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys.

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT, la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

(a)

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove $N_{1,60}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato.

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

$\alpha = 0$	per $FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp [1,76 -(190 / FC^2)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$	per $FC > 35\%$
$\beta = 1,0$	per $FC \leq 5\%$
$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = 1,2$	per $FC > 35\%$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (CPT), i valori di resistenza alla punta misurati q_c devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la seguente formula

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

Per poter tenere conto della eventuale presenza di particelle fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride.

Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

come proposto dall'EC8, derivato $(N_{1,60})_{cs}$, si utilizza la (a) per il calcolo di CRR.

Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la formula:

$$V_{S1} = V_s \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe:

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{S1})_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{cs}} \right]$$

Rispetto alla normativa europea, la normativa italiana (NTC 2008) è meno accurata e non fornisce proposte di metodologie per valutare il potenziale di liquefazione.

La normativa richiede che il controllo della possibilità di liquefazione venga effettuato 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 limo-argillosa.

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati.

La probabilità di liquefazione P_L , invece, è data dall'espressione di Juang et al. (2001):

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_s}{0,72} \right)^{3,1}}$$

Nello specifico del nostro lavoro si evince che in corrispondenza di gran parte dell'impianto la falda freatica si attesta alla profondità variabile tra 2.00 m ed il piano campagna e la serie stratigrafica locale è data in prevalenza dal complesso sabbioso pliocenico, dai Tufi del Vulture e dai Depositi alluvionali terrazzati che poggiano sul complesso argilloso.

Evidentemente il complesso argilloso non è soggetto a liquefazione, mentre per quelli su citati in astratto non può essere esclusa tale possibilità e, quindi, la normativa prevede che vengano eseguiti specifici calcoli secondo le metodologie sopra esplicitate.

In questa fase sono stati eseguiti i primi preliminari calcoli che ci confortano in base alla notevole presenza di materiali a granulometria grossolana e/o fine che inibiscono l'istaurarsi di tale fenomeno per cui si può dire che in generale il problema non sussiste, come peraltro dimostra la serie storica dei terremoti che si sono avvertiti in zona.

Infatti, in tutta la storia recente, pur in presenza di terremoti anche di magnitudo importante, non si sono osservati fenomeni di liquefazione in sito.

I calcoli del coefficiente di liquefazione sono, come è ovvio, molto specifici del sito di sedime in quanto dipendono prevalentemente dalla granulometria dei terreni che in questi terreni è molto variabile anche a distanza di pochi metri, per cui si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini sotto indicate al fine di procedere alla calcolo dei coefficienti di liquefazione sito-specifici per ogni singolo sub parco ai sensi del D.M. 17/01/ 2018.

6.INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA

Nell'ambito del presente studio sono state eseguite n. 4 misure di microtremore ambientale, a partire dal piano di campagna, con un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico, al fine di verificare il valore delle VS30 caratteristiche del sito.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

La sismica passiva è una tecnica che permette di definire la serie stratigrafica locale basandosi sul concetto di contrasto di impedenza dove per strato si intende un'unità distinta in relazione al rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

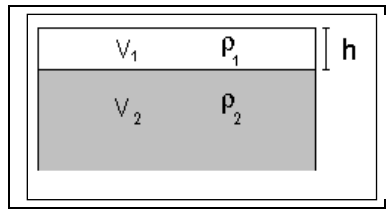
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSr), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Successivamente Nakamura (1989) ha applicato tale metodo come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Le basi teoriche dell'HVSr sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando lo schema illustrato nella figura seguente si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità (ρ_1 e ρ_2) e le velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).



Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

In questo caso un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dalla superficie di strato.

L'onda riflessa interferendo con quelle incidenti si somma e raggiunge le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

Ne consegue che la frequenza di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1}/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{S1}/(4 H). \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra, come massimi relativi, le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo dato, insieme alla stima delle velocità, è in grado di fornire utili previsioni sullo spessore H degli strati.

Questa informazione è contenuta principalmente nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- ❖ il contenuto in frequenza;
- ❖ la risposta strumentale;

- ❖ l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Da evidenziare, inoltre, che i microtremori sono costituiti da onde di volume, P o S, ed in misura maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tale inconveniente è facilmente superabile sia perché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva, sia perché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

D'altro canto l'applicabilità pratica della formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati sperimentali, consiste in un tromografo digitale denominato "Tromino", dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR che sono state ottenute col software Grilla eseguendo un processing con i seguenti parametri:
 - ✓ larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s per tempi di acquisizione di 20 minuti;
 - ✓ liscio secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 15% della frequenza centrale,

- ✓ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore ad 2;
 - ✓ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto sono state ottenute dopo l'analisi con gli stessi parametri sopra riportati.

Le profondità H delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula sotto riportata, in cui:

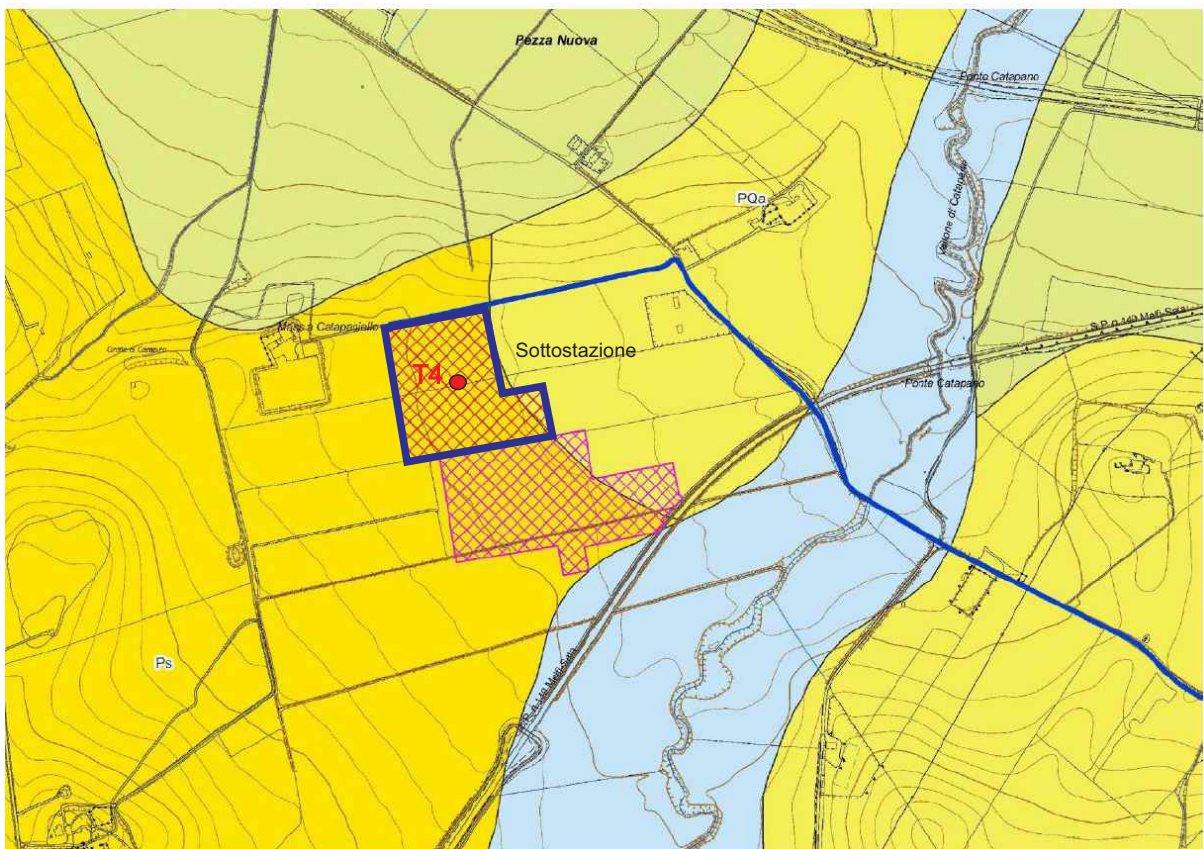
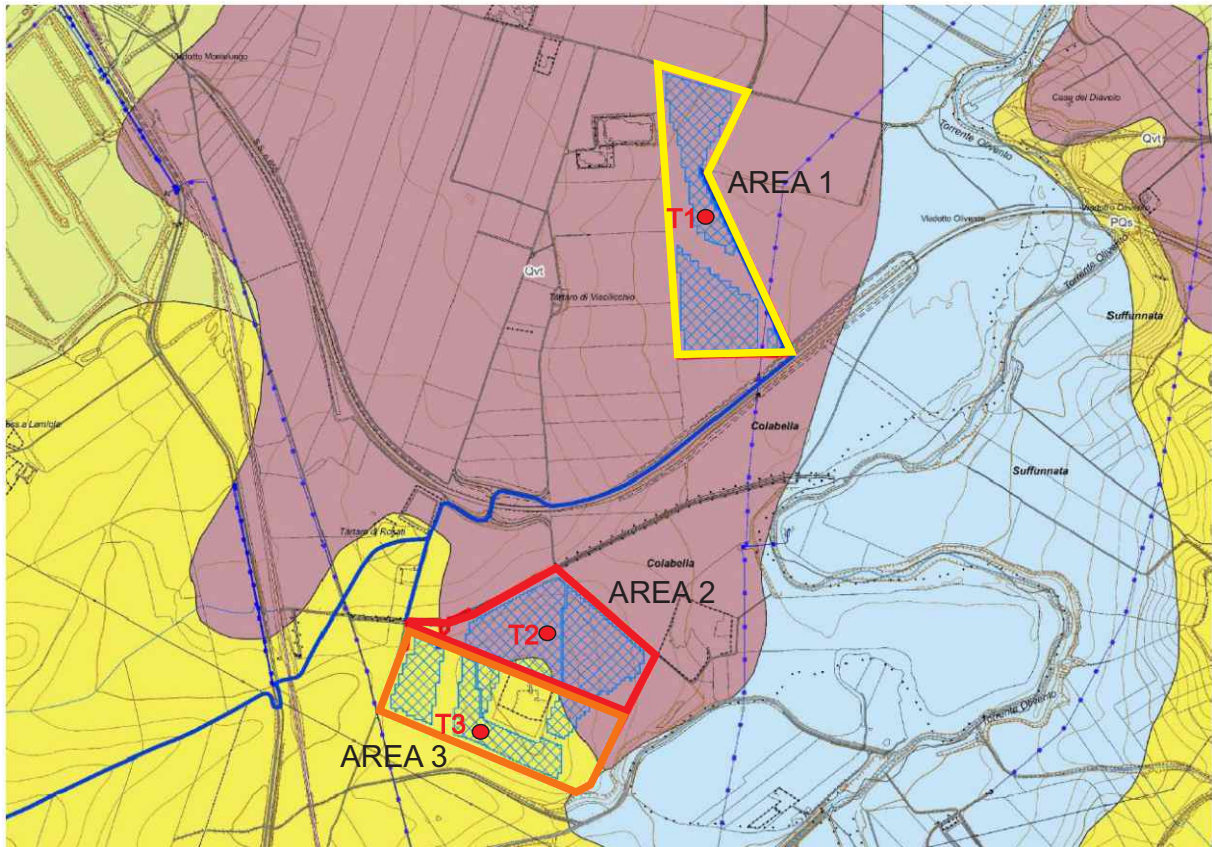
- ⇒ V_0 è la velocità al tetto dello strato;
- ⇒ a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ⇒ ν la frequenza fondamentale di risonanza.

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\hat{\nu}_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

Le ubicazioni dei sondaggi eseguiti sono visibili nella planimetria allegata.

Di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

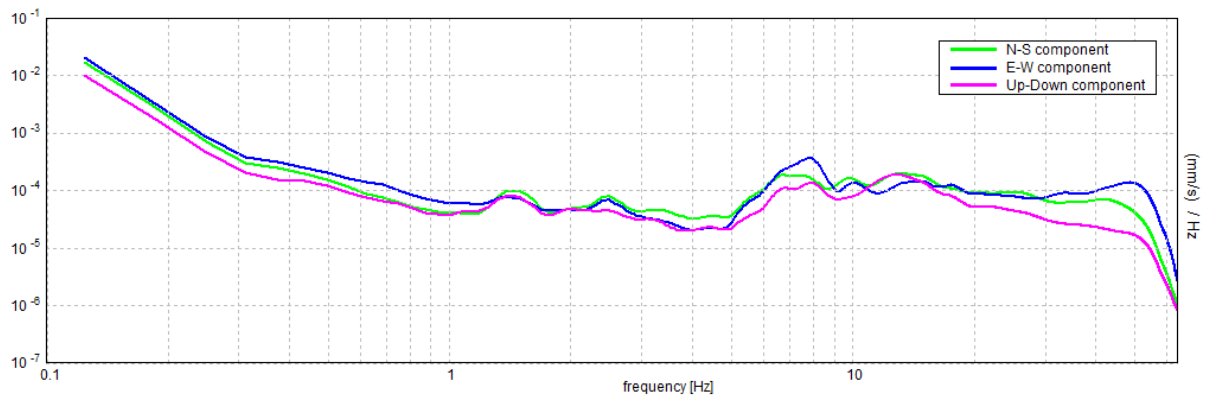
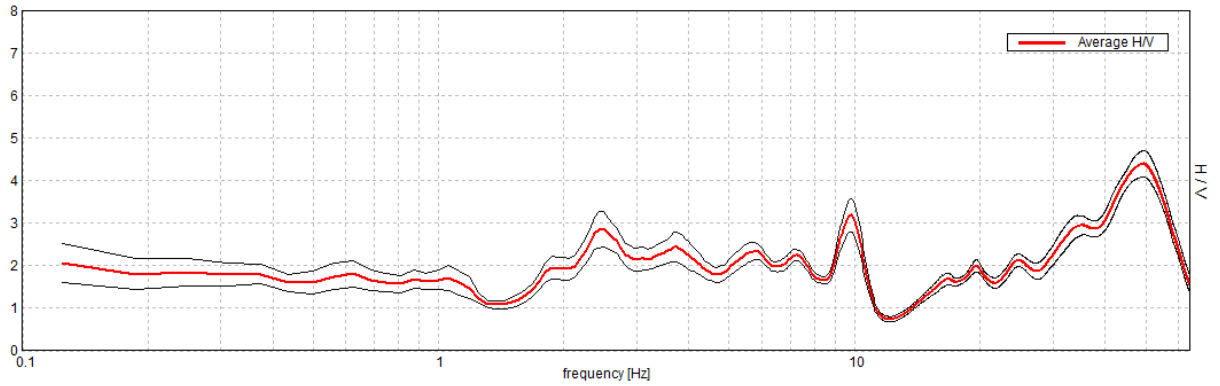
CARTE CON L'UBICAZIONE DELLE INDAGINI SIMICHE



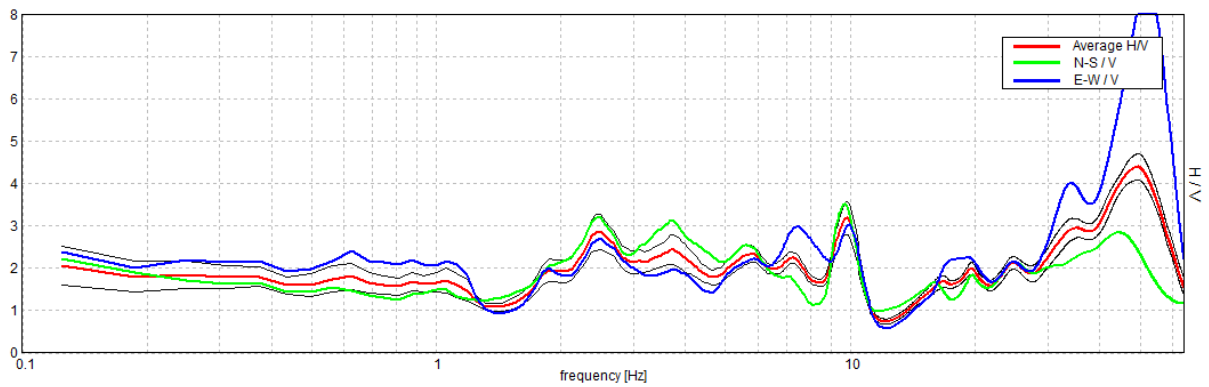
T1 ● Indagine di simica passiva a stazione singola

Sondaggio T1

Max. H/V at 49.38 ± 1.04 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

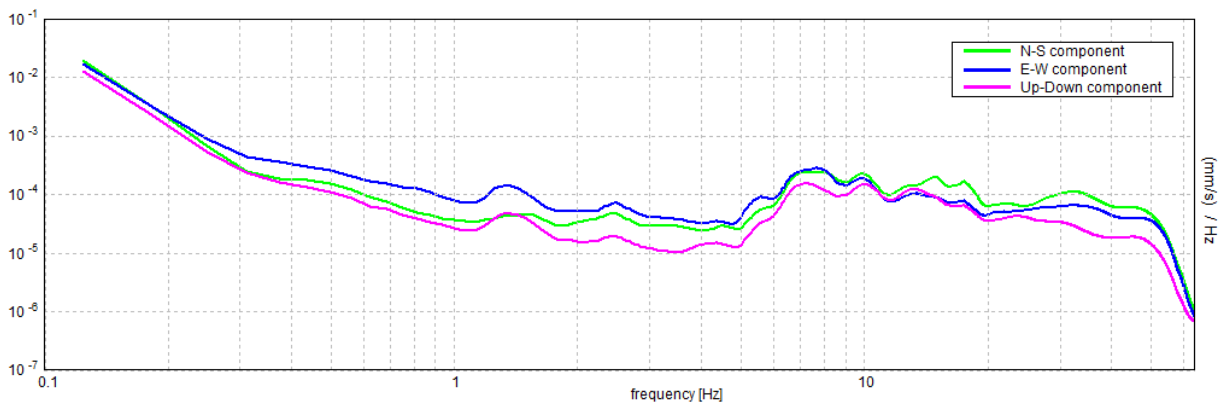
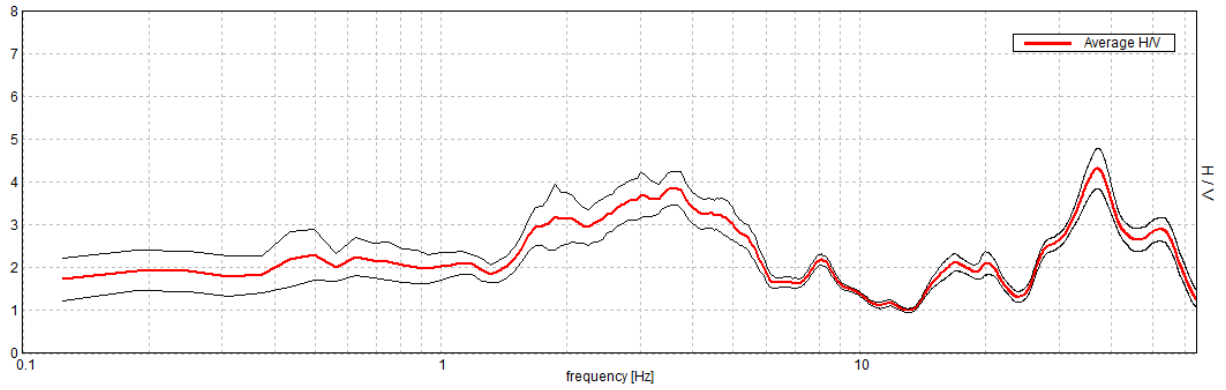


Max. H/V at 49.38 ± 1.04 Hz. Max.(N-S)/V: 9.69 ± 5.24 Hz. Max.(E-W)/V: 51.88 ± 1.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

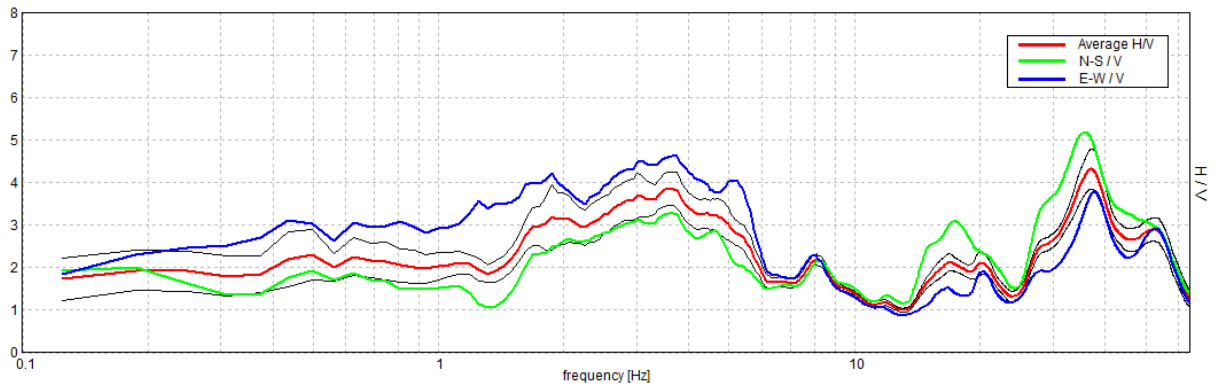


Sondaggio T2

Max. H/V at 36.88 ± 20.66 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

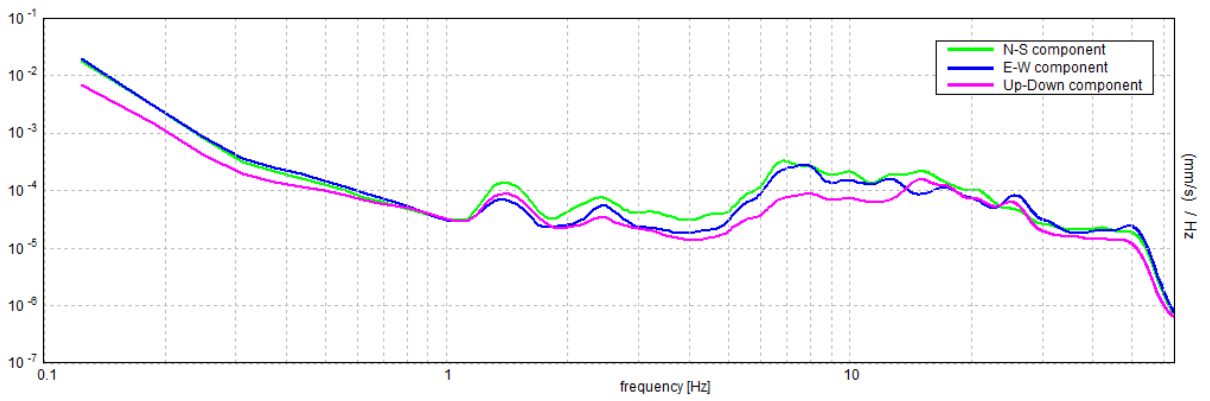
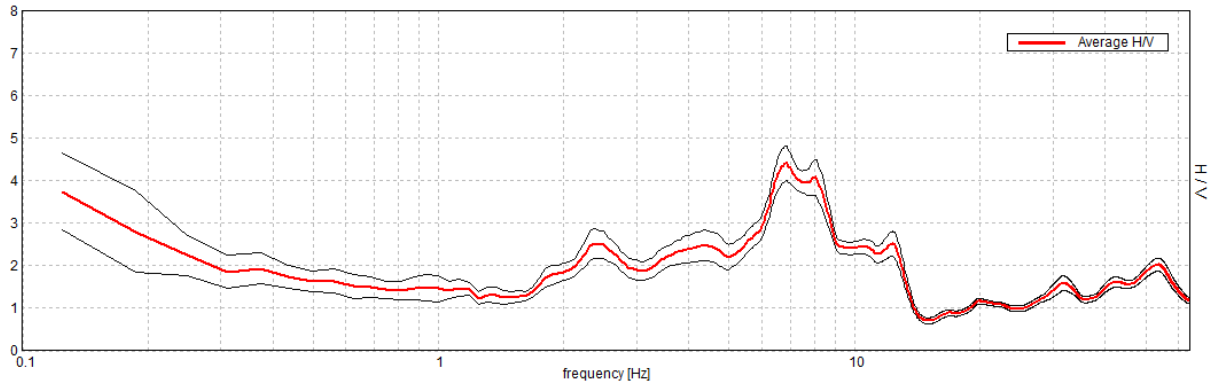


Max. H/V at 36.88 ± 20.66 Hz. Max.(N-S)/V: 35.63 ± 4.82 Hz. Max.(E-W)/V: 3.63 ± 1.97 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

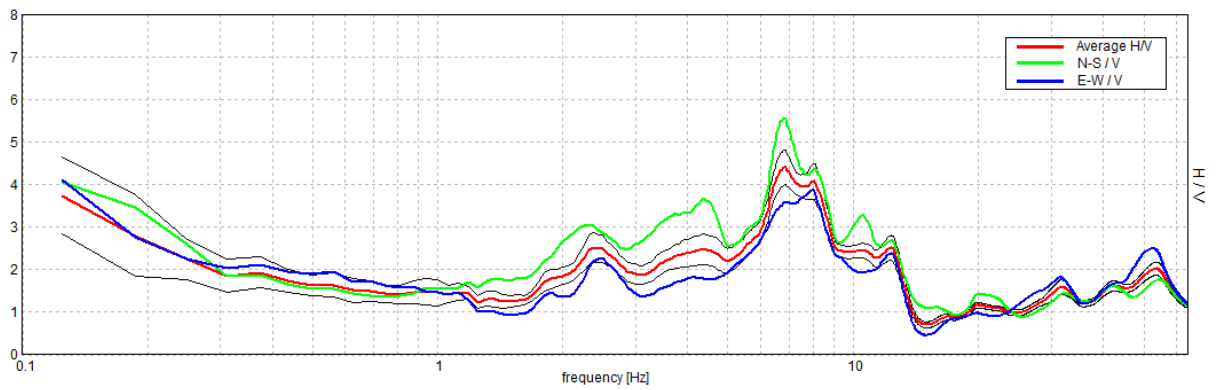


Sondaggio T3

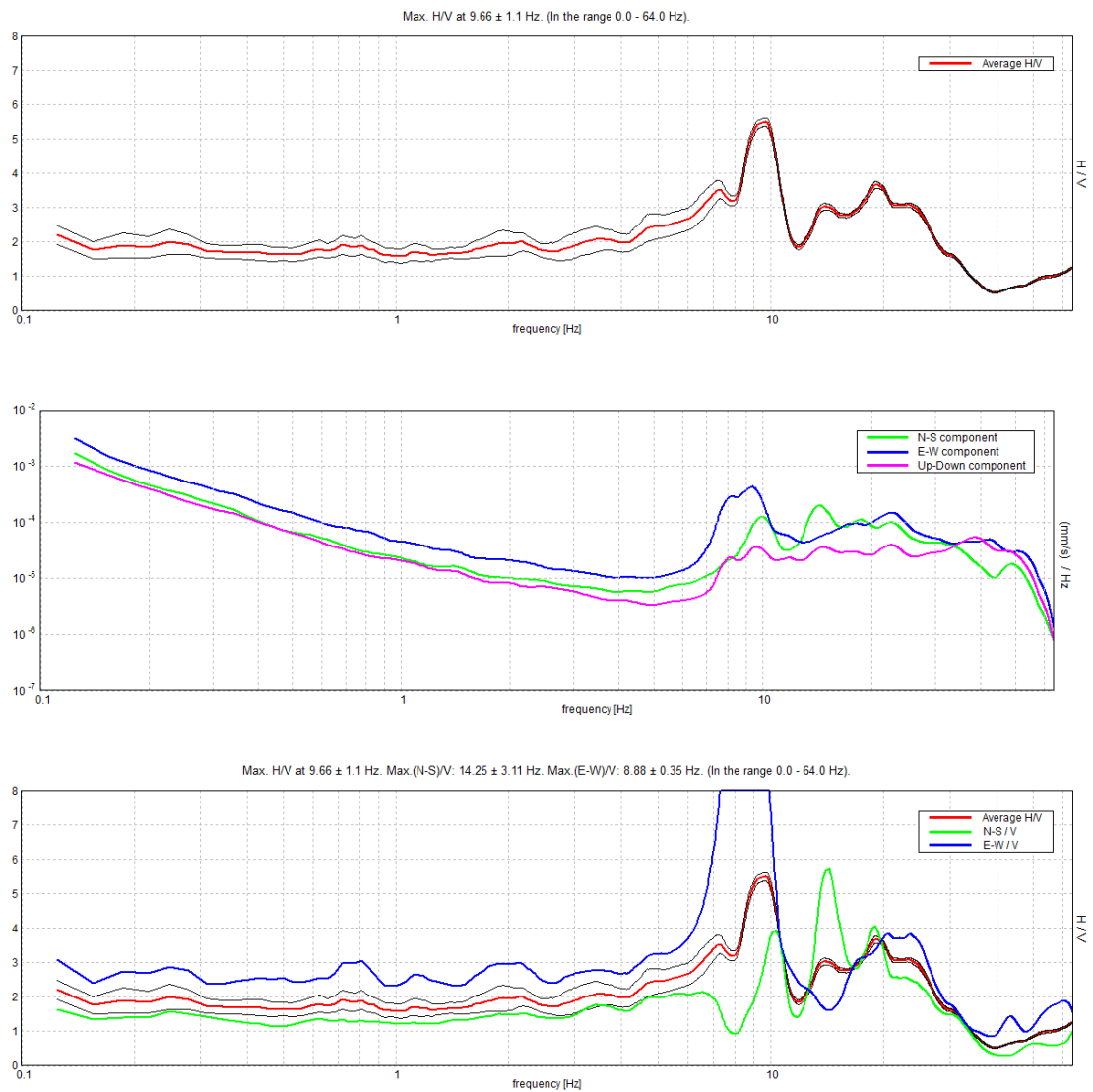
Max. H/V at 6.88 ± 2.47 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 6.88 ± 2.47 Hz. Max.(N-S)/V: 6.81 ± 2.15 Hz. Max.(E-W)/V: 0.13 ± 3.48 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Sondaggio T4 - SOTT



Strumentazione utilizzata – Tromografo digitale - Micromed



I dati sperimentali ricavati dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocità delle onde di taglio V_s .

In generale, la frequenza di risonanza delle onde S che viaggiano all'interno di uno strato è legata al tempo di tragitto delle onde S nello strato stesso dalla relazione:

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

Dove T_H è il tempo di tragitto dall'interfaccia risonante e f_r è la frequenza di risonanza.

A partire dalla formula precedente e conoscendo la profondità h dell'interfaccia risonante è definibile la velocità media delle onde S nella struttura risonante:

$$V = \frac{H}{T_H}$$

e

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

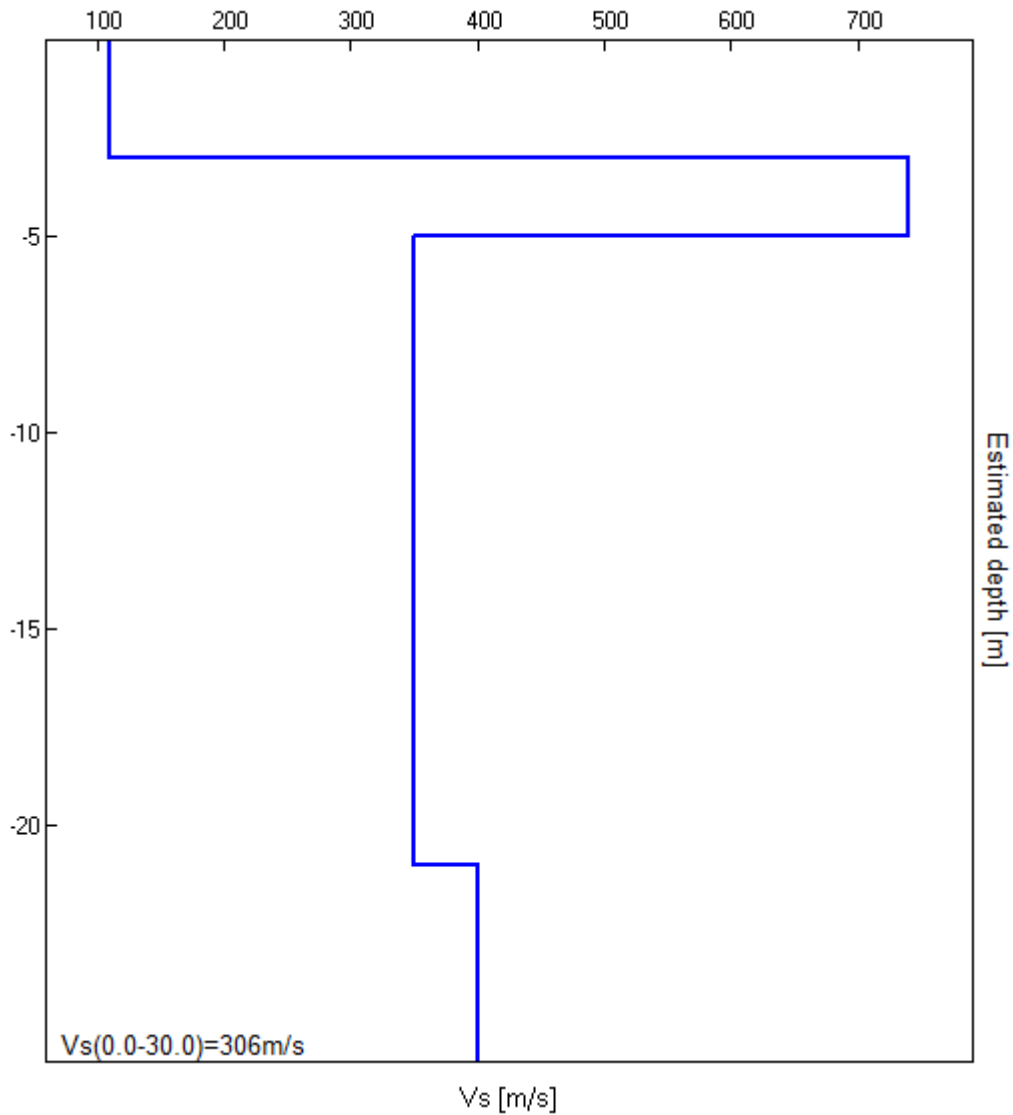
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

In allegato sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

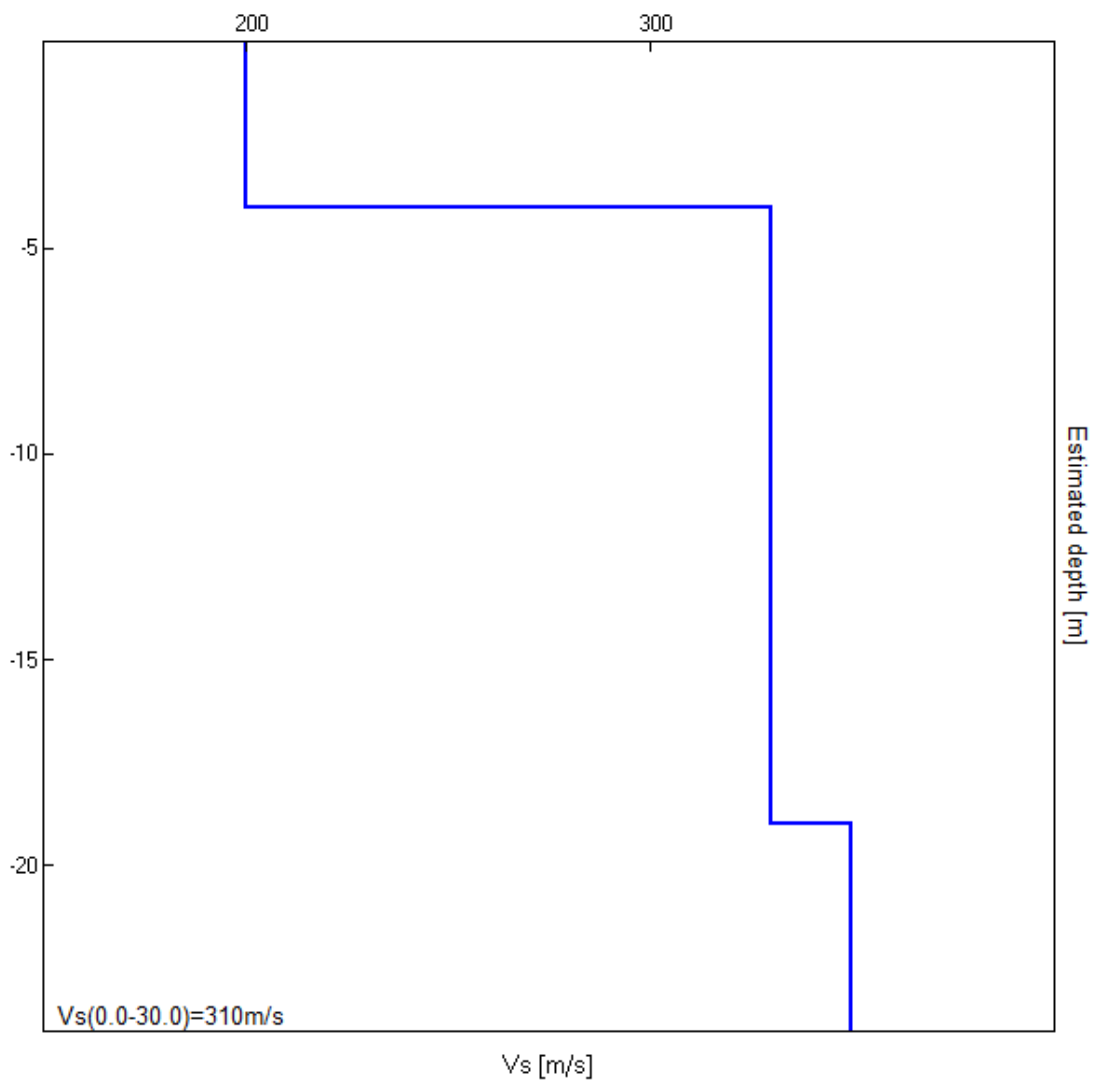
Sondaggio T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-3.00	110	D	C (Vs,eq =306 m/s)
3.00-5.00	740	B	
5.00-21.00	350	C	
21.00-30.00	400	B	



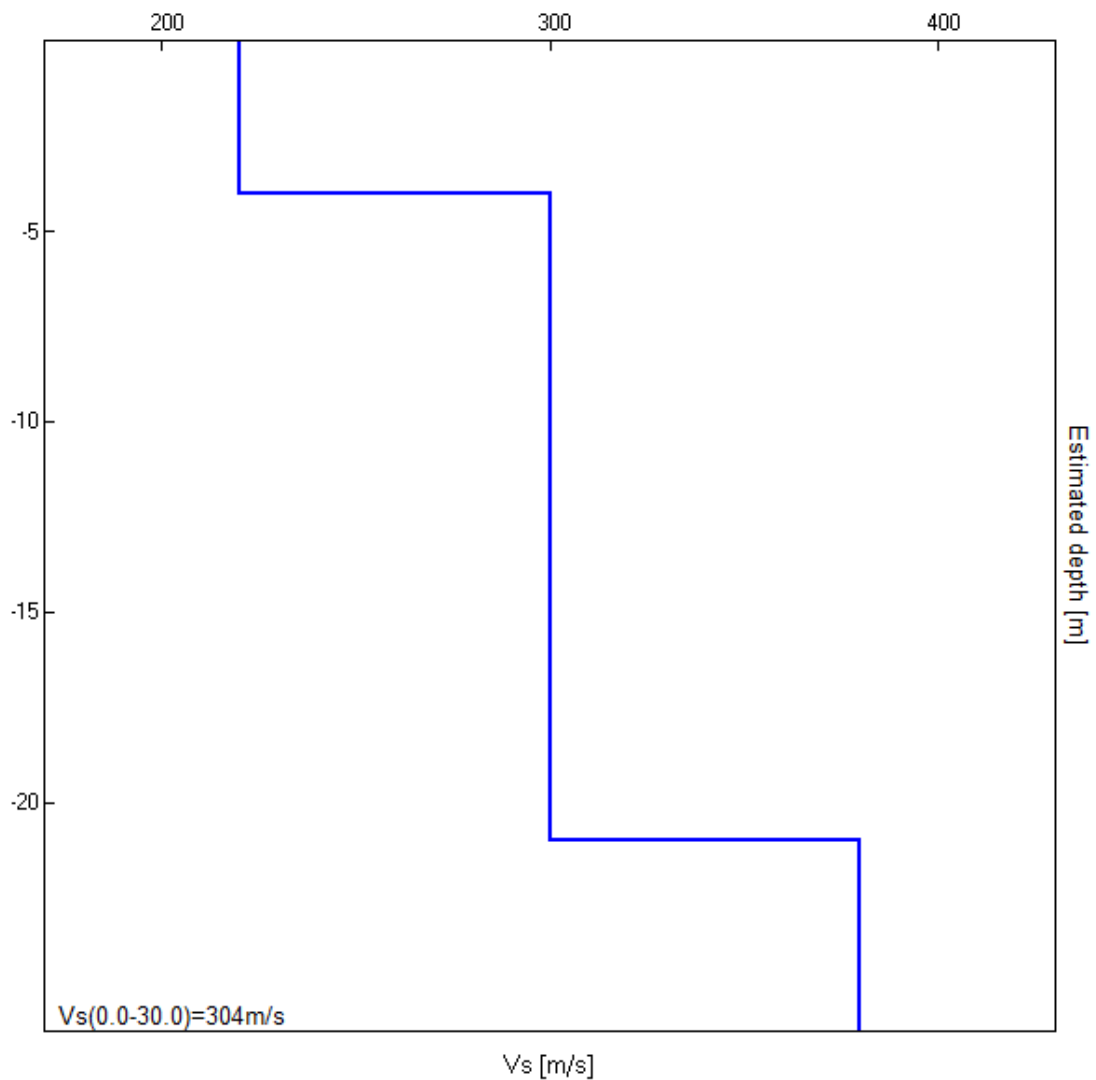
Sondaggio T2

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 4.00	200	C	C (Vs,eq =310 m/s)
4.00 – 19.00	330	C	
19.00 – 30.00	350	C	



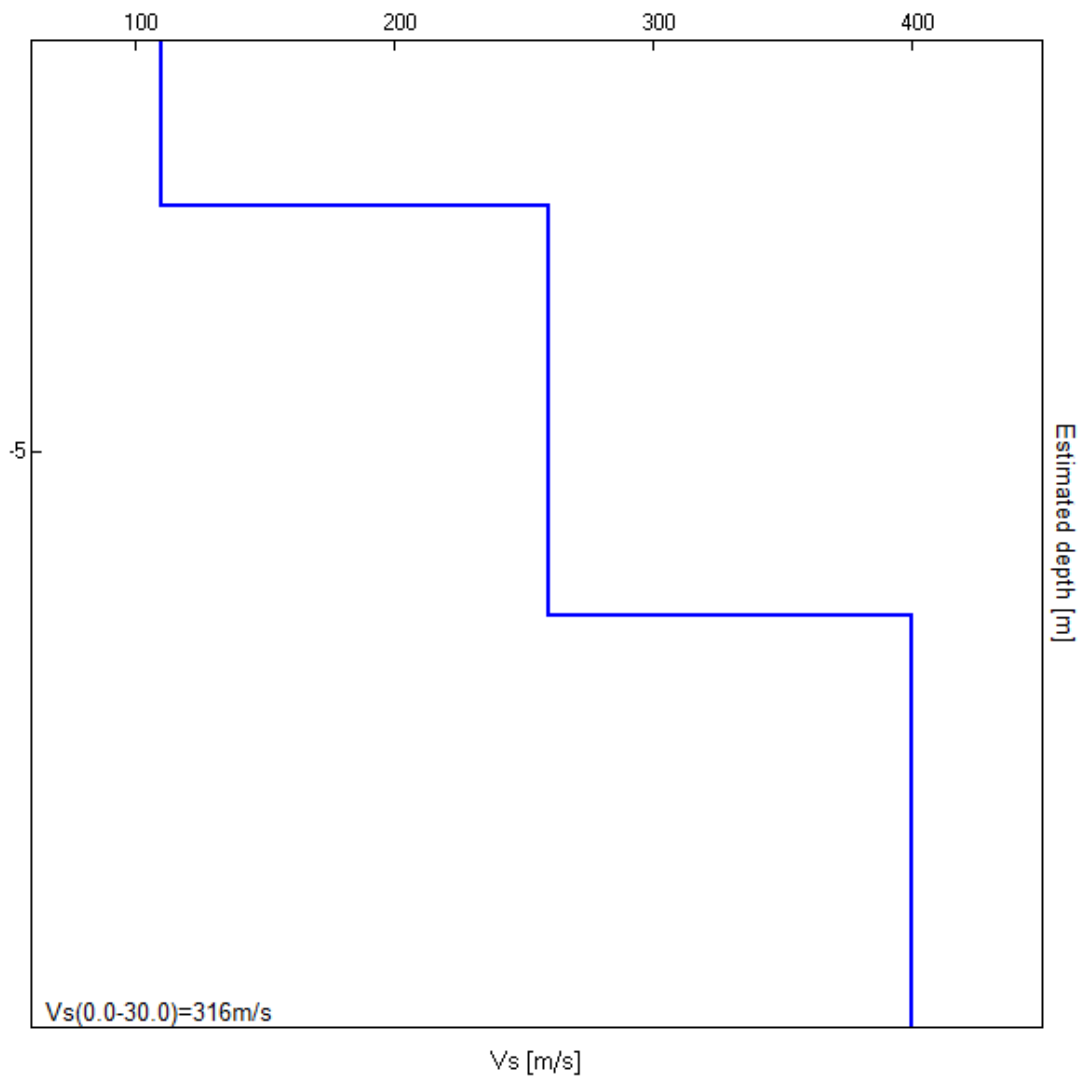
Sondaggio T3

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 4.00	220	C	C (Vs,eq =304 m/s)
4.00 – 21.00	300	C	
21.00 – 30.00	380	B	



Sondaggio T4 - SOTT (Sottostazione)

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-2.00	110	D	C (Vs,eq=316 m/s)
2.00-7.00	250	C	
7.00-30.00	400	B	



7. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 1. Tale classificazione è stata dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 e dall'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519 e confermata dalla Regione Basilicata (DGR 731/03).

In generale si può dire che le modificazioni che subiscono le sollecitazioni sismiche dipendono molto dai fattori morfologici, strutturali e litologici dei terreni.

Gli studi, eseguiti in Italia nelle zone dell'Irpinia e del Friuli, hanno evidenziato notevoli differenze di effetti da zona a zona nell'ambito di brevi distanze, associate a differenti morfologie dei siti o a differenti situazioni geologiche e geotecniche dei terreni.

Risulta di grande interesse, quindi, la valutazione del livello di rischio sismico regionale e locale cui sono esposti il territorio e gli insediamenti umani.

Tale valutazione non va limitata solo agli aspetti prima richiamati, ovvero morfologici, geologico-strutturali e litologici dei terreni, ma estesa ed associata alla probabilità del manifestarsi del fenomeno, alla sua intensità e distanza della sorgente sismogenetica dal sito.

Grande importanza, infine, assume la conoscenza delle tecnologie e tecniche costruttive utilizzate per la realizzazione dei manufatti e dello stato di conservazione, dai quali dipende il comportamento delle strutture nei confronti delle sollecitazioni dinamiche indotte dal sisma.

Dettagliate caratterizzazioni sismiche del territorio o meglio valutazioni della risposta dinamica locale, inserite nel più ampio problema della zonizzazione sismica del territorio, presentano difficoltà legate soprattutto

alla quantità dei dati che tale caratterizzazione richiederebbe, al momento non disponibili, ed ai notevoli costi necessari.

Sembra opportuno soffermarsi, però, su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati.

Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei (es. calcari e calcareniti) gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione ed in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bed-rock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di propa-

gazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

Di particolare importanza è, inoltre, lo studio dei contatti stratigrafici in affioramento soprattutto tra terreni a risposta sismica differenziata.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche in nostro possesso ed eseguite nell'ambito di questo lavoro i terreni presenti appartengono alla **Categoria 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*”.

Ai fini della corretta valutazione sito-specifica della categoria sismica di suolo si ritiene indispensabile che il geologo incaricato nelle successive fasi di progettazione esegua specifiche indagini sismiche per ogni singolo sub parco ai sensi del D.M. 17/01/2018.

La classificazione topografica si basa sulle categorie esposte nella Tabella 3.2.III (N.T.C. 2018), che si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, da considerarsi nella definizione dell'azione sismica solo se di altezza maggiore di 30 m.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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 $i > 30^\circ$

Considerato che l'area è sub-pianeggiante, la categoria topografica risulta essere T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

8.CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Fermo restando che il piano di indagini sotto indicato sarà individuato in modo definitivo prima della redazione della progettazione esecutiva utile per la realizzazione dell'impianto, sulla base di un'analisi preliminare si ritiene opportuno eseguire, nelle successive fasi di progettazione, le indagini di seguito elencate.

In corrispondenza di ciascuna area:

- ✓ n. 4 sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 15 mt. dal p.c.;
- ✓ prelievo di n. 4 campioni indisturbati per ogni sondaggio sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ 10 prove penetrometriche DPSH;
- ✓ n. 20 S.P.T. in foro;
- ✓ esecuzione di n. 20 prove granulometriche in laboratorio per lo studio del potenziale di liquefazione;
- ✓ n. 1 indagine di sismica attiva “Masw”;

In corrispondenza della stazione:

- ✓ n. 1 sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 20 mt. dal p.c.;
- ✓ prelievo di n. 2 campioni indisturbati per ogni sondaggio sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 5 S.P.T. in foro;

- ✓ esecuzione di n. 5 prove granulometriche in laboratorio per lo studio del potenziale di liquefazione;
- ✓ n. 1 indagine di sismica attiva “Masw”.

9. CONCLUSIONI

Da quanto detto precedentemente, in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito si evince che:

- nell'area direttamente interessata dal progetto sono individuabili 4 situazioni geologicamente diverse ed in particolare:
 - ✓ Tipo 1 (Area 1) - Tufi del Vulture di spessore pari a 3-4 m che ricoprono i depositi terrazzati di spessore pari a 4-5 m. Detti terreni poggiano sul Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per 4-5 m di profondità;
 - ✓ Tipo 2 (Area 3) - Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per 4-5 m di profondità;
 - ✓ Tipo 3 (Area 2) - Tufi del Vulture di spessore pari a 3-4 m che ricoprono il Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per 4-5 m di spessore;
 - ✓ Tipo 4 (Sottostazione) - Complesso Sabbioso Pliocenico di spessore 6-7 m che ricopre il Complesso Argilloso Pliocenico che si presenta alterato per 4-5 m di spessore.
- I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale e sovrastano i litotipi dei terreni precedentemente descritti.
- nell'area vasta l'habitus geomorfologico è piuttosto regolare, costituito da un paesaggio contraddistinto da aree sub pianeggianti o con modesta pendenza;
- le condizioni di stabilità delle aree sia dei sottocampi agro-voltaici che della sottostazione sono ottime in relazione alla favorevole giacitura dei terreni presenti, nonché alla mancanza assoluta di

agenti geodinamici che possano in futuro turbare il presente equilibrio;

- non si ritiene, quindi, di eseguire verifiche di stabilità poiché essendo le aree pianeggianti e totalmente esente da qualunque fenomenologia che possa modificare l'attuale habitus geomorfologico, non è possibile l'instaurarsi di alcun movimento franoso e, quindi, i calcoli farebbero registrare valori del coefficiente di sicurezza decisamente superiori ai minimi previsti dalla legge;
- quanto detto prima è confermato dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) che esclude tale area da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico ed idraulico;
- il livello piezometrico della falda presente si attesta a una quota pari a circa 2.0 m dal p.c., ma può raggiungere il piano campagna durante i periodi di pioggia;
- da un punto di vista dell'interferenza delle opere in progetto si deve escludere qualunque impatto sulla falda per i seguenti motivi:
 - ⇒ quelle presenti nei tufi e nel complesso sabbioso sono di modestissima potenzialità in ragione dello spessore molto limitato e di un bacino di alimentazione di ridotta estensione;
 - ⇒ anche quella di sub alveo nei depositi alluvionali appare di scarsa potenzialità e generalmente legata al ciclo annuale del corso d'acqua. Anche in questo caso la modestia degli spessori e la presenza di prevalenti materiali fini rende tale falda molto modesta;

- ⇒ trattandosi di depositi a giacitura sub orizzontale il deflusso idrico sotterraneo è estremamente lento;
- ⇒ le cabine sono prefabbricate e fondate su platea superficiale che non interferisce in alcun modo con il deflusso idrico sotterraneo e superficiale;
- ⇒ i pannelli sono fondati su pali di diametro e profondità molto limitata e posti a distanza notevole tra loro per cui non è possibile alcun effetto diga né interferenza sul regolare deflusso idrico sotterraneo;
- ⇒ l'esercizio dell'impianto non provoca alcuna immissione nel suolo e nel sottosuolo di sostanze inquinanti.
- ai sensi del D.M. 17/01/2018 i terreni presenti appartengono alla **Categoria 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*”;
- i terreni interessati dalle opere in progetto sono dall'alto verso il basso:
 - a) *Terreno vegetale;*
 - b) *Depositi alluvionali;*
 - c) *Tufi del Vulture;*
 - d) *Complesso Sabbioso Pliocenico;*
 - e) *Complesso Argilloso Pliocenico.*
- non esistono pericolosità geologiche e sismiche che possano ostacolare la realizzazione del progetto;

- dai primi calcoli preliminari i terreni non danno luogo a fenomeni di liquefazione in caso di sisma ma vista l'enorme eterogeneità del complesso alluvionale si rende necessario eseguire, in fase di progettazione esecutiva calcoli del coefficiente di liquefazione sito-specifico per ogni sub campo;
- in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito si evince che, coerentemente con il D.M. 17/01/2018 cap. 6 comma 12 e 12.1, gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica sono stati estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti ed idonei ad accertare che la destinazione d'uso è perfettamente compatibile con il territorio in esame. In particolare, le indagini e gli studi hanno caratterizzato la zona di interesse in termini vulnerabilità ambientale, per processi geodinamici interni (sismicità, vulcanismo,...) ed esterni (stabilità dei pendii, erosione, subsidenza,...) ed hanno consentito di individuare l'assenza di limiti imposti al progetto (ad esempio: modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee, subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo) ed in particolare:
 - ✓ la destinazione d'uso è compatibile con il territorio in esame;
 - ✓ non ci sono problemi di subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo;
 - ✓ non si impongono modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee;
- si ritiene indispensabile eseguire, in fase di progettazione esecutiva e dei calcoli delle strutture, una campagna di indagini ai sensi del D.M. 17/01/2018, come sopra descritta.

