



# REGIONE SICILIA

## COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA COMUNE DI MONREALE

**PROGETTO:**

Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto agrovoltaico denominato "PV Gallitello" di Pn pari a 99,026 MW e sistema di accumulo di capacità pari a 45 MWh, da realizzarsi nei Comuni di Calatafimi-Segesta (TP) e Monreale (PA)

## Progetto Definitivo

**PROPONENTE:**

**DREN SOLARE 4 s.r.l.**  
SORESINA (CR)  
VIA PIETRO TRIBOLDI 4 CAP 26015  
PIVA 01771780192



**ELABORATO:**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

**STUDI AMBIENTALI:**



**VAMIRGEOIND S.r.l.**

PALERMO (PA)  
VIA TEVERE 9 CAP 90144  
PIVA 01698240197

VAMIRGEOIND  
AMBIENTE GEOLOGIA E GEOFISICA s.r.l.  
Direttore tecnico  
Dott. ssa MARINO MARIA ANTONIETTA

Scala:

Tavola:  
**R-022**

Data:

07-06-2023

Rev. Data Revisione

00 07-06-2023

Descrizione

emissione

**REGIONE SICILIA**

**COMUNI DI CALATAFIMI-SEGESTA (TP) E MONREALE (PA)**

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO  
AGROVOLTAICO E RELATIVE OPERE CONNESSE DENOMINATO  
“PV CALATAFIMI”**

**RELAZIONE GEOLOGICA E SULLA COMPATIBILITA’  
GEOMORFOLOGICA**

SOMMARIO

<b>1. PREMESSE</b>	<b>2</b>
<b>2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE</b>	<b>6</b>
<b>3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEO-LOGICHE</b>	<b>9</b>
<b>4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (TROMOGRAFIA)</b>	<b>18</b>
<b>5. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO</b>	<b>32</b>
<b>6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI</b>	<b>35</b>
<b>7. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA DEI TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE IN PROGETTO</b>	<b>42</b>
<b>8. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA</b>	<b>44</b>
<b>9. CONCLUSIONI</b>	<b>46</b>

## **1. PREMESSE**

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

In particolare, il paragrafo 6.12 delle NTC 2018 così testualmente recita:

### **6.12. FATTIBILITÀ DI OPERE SU GRANDI AREE.**

*Le presenti norme definiscono i criteri di carattere geologico e geotecnico da adottare nell’elaborazione di piani urbanistici e nel progetto di insiemi di manufatti e interventi che interessano ampie superfici, quali:*

- a) nuovi insediamenti urbani civili o industriali;*
- b) ristrutturazione di insediamenti esistenti, reti idriche e fognarie urbane e reti di sottoservizi di qualsiasi tipo;*
- c) strade, ferrovie ed idrovie;*
- d) opere marittime e difese costiere;*
- e) aeroporti;*
- f) bacini idrici artificiali e sistemi di derivazione da corsi d’acqua;*
- g) sistemi di impianti per l’estrazione di liquidi o gas dal sottosuolo;*
- h) bonifiche e sistemazione del territorio;*
- i) attività estrattive di materiali da costruzione.*

**6.12.1. INDAGINI SPECIFICHE.** *Gli studi geologici e la caratterizzazione geotecnica devono essere estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti, al fine di accertare che la destinazione d’uso sia compatibile con il territorio in esame. In particolare, le indagini e gli studi devono caratterizzare la zona di interesse in termini vulnerabilità ambientale, per processi geodinamici interni (sismicità, vulcanismo,...) ed*

*esterni (stabilità dei pendii, erosione, subsidenza,...) e devono consentire di individuare gli eventuali limiti imposti al progetto di insiemi di manufatti e interventi (ad esempio: modifiche del regime delle acque superficiali e sotterranee, subsidenza per emungimento di fluido dal sottosuolo).*

Nello specifico ha previsto l'analisi critica dei dati acquisiti nell'ambito di altri lavori redatti dal sottoscritto nelle vicinanze 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 e del modello geologico, nonché per l'individuazione dell'eventuale presenza di falde freatiche e della profondità del livello piezometrico, sono stati utilizzati i dati in nostro possesso e derivanti da studi eseguiti dal sottoscritto in aree limitrofe all'area direttamente interessata dallo studio.

Per la caratterizzazione sismica sono stati utilizzati i dati delle indagini sismiche eseguite per il presente studio, che hanno consentito di ottenere informazioni sulle velocità delle onde sismiche Vs nei primi 30 m di profondità a partire dal p.c.

- ❖ n. 1 carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica in scala 1/10.000 fuori testo;
- ❖ n. 4 carte relative al “Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)” redatte dall'Assessorato Territorio e Ambiente – Servizio 4 “Assetto del territorio e difesa del suolo”, con l'ubicazione delle aree interessate delle opere in progetto (fuori testo);
- ❖ n. 2 carte del Piano regionale di Gestione del Rischio Alluvioni (PRGRA) fuori testo
- ❖ n. 1 carta del Piano di Gestione del Distretto Idrografico fuori testo;
- ❖ n. 1 carta del Piano di tutela delle acque fuori testo;
- ❖ n. 3 colonne stratigrafiche tipo dell'area;
- ❖ 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.

## **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 direttamente nell'area strettamente interessata dallo studio.

L'insieme dei terreni presenti, delle relative aree di affioramento e dei rapporti stratigrafici e strutturali è riportato nella carta geologica allegata alla presente relazione.

I tipi litologici affioranti nell'area studiata sono riferibili ad un ampio periodo di tempo che va dall'Olocene al Messiniano inferiore e che distinguiamo dal più recente al più antico:

- **DEPOSITI ALLUVIONALI (Olocene):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da limi, silt, ghiaie, sabbie e sabbie limose con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti calcarei arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetriche. Interessano alcuni limitati tratti del cavidotto.
- **DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI (Olocene):** Sono prevalentemente costituito da ghiaie, sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con intercalazioni di strati e banchi calcarenitici. Interessano alcuni tratti del cavidotto.
- **FM. TERRAVECCHIA (Tortoniano-Messiniano inf.):** Questa formazione è stata introdotta da Schmidt di Friedberg nel 1962 e prende il nome dalla località tipo: il fianco settentrionale di Cozzo

Terravecchia, circa 2 km a nord di S. Caterina Villaerrosa. I depositi sono costituiti in basso da una sequenza conglomeratica più o meno potente, passante verso l'alto a sabbie, arenarie, molasse calcaree, molasse dolomitiche, quindi ad argille ed argille marnose, spesso siltose, ricche di livelli sabbiosi di potenza variabile, talora anche con lenti conglomeratiche. Si distinguono due litofacies tipiche:

1. **Litofacies conglomeratica:** comprende le sequenze prevalentemente conglomeratiche presenti nella formazione. I conglomerati sono costituiti da conglomerati poligenici e ghiaie con elementi a spigoli arrotondati di natura arenacea e quarzarenitica.
2. **Litofacies sabbiosa:** comprende le sequenze prevalentemente sabbiose, arenacee presenti nella formazione. Si tratta di sabbie e/o arenarie in cui si distinguono sabbie, sabbie limose ed arenarie, di colore da giallastro al tabacco, limi sabbiosi e sabbie limose. In particolare si rinvengono sabbie quarzose da bruno giallastre a rossastre, in genere incoerenti o debolmente cementate, cui si alternano banchi di arenarie quarzose e sottili livelli conglomeratici con ciottoli appiattiti.
3. **Litofacies argilloso-marnosa:** Si tratta di argille ed argille sabbiose, di colore grigio e tabacco, con intercalati sottili livelli sabbiosi che ne marcano la stratificazione e da marne e marne argillose con tenori variabili di sabbie quarzose con foraminiferi planctonici passanti verso l'alto a marne e marne sabbiose brune a foraminiferi. Dal punto di vista mineralogico sono costituite da un abbondante scheletro sabbioso in cui prevalgono quarzo, gesso, calcite, tracce di dolomite, feldspati, pirite, ossidi di ferro, mentre la frazione argillosa è costituita da kaolinite, illite e scarsa clorite,

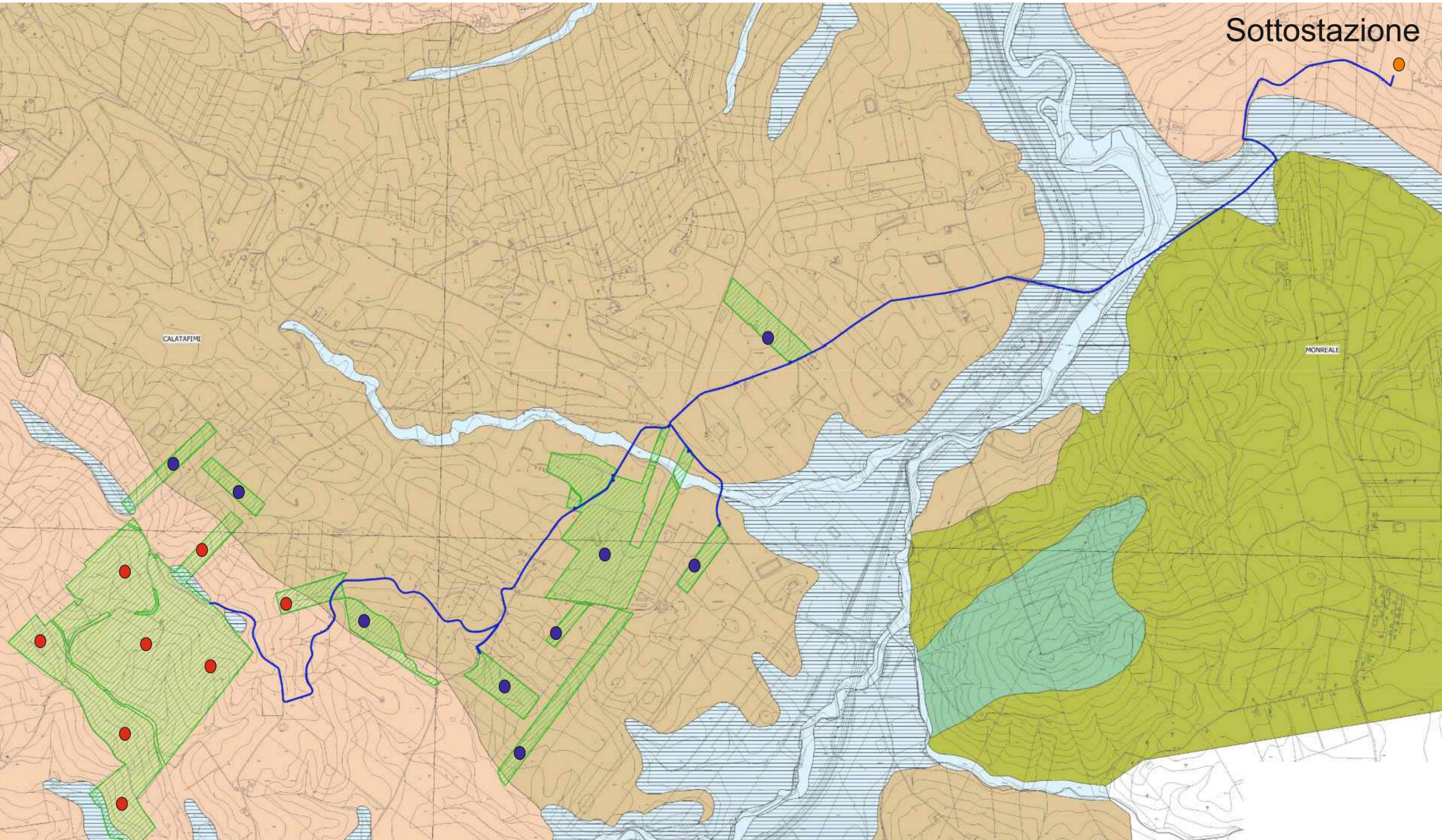
cui si aggiungono in minori quantità interlaminazioni illitiche-montmorillonitiche. La tessitura è brecciata e talora a scaglie; la stratificazione è marcata dai sottili livelli sabbiosi intercalati. Le argille spesso si presentano piuttosto tettonizzate con giunti variamente orientati con superfici lucide.

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

In particolare:

- ✓ Tipo 1 (Area impianto) – Sabbie e sabbie limose di spessore pari a 5-6 m che ricoprono le argille ed argille limose che si presentano alterate per i primi 4-6 m di spessore. Detti terreni appartengono alla Fm. Terravecchia;
- ✓ Tipo 2 (Area impianto) – Argille ed argille limose della Fm. Terravecchia che si presentano alterate per uno spessore pari a 4-6 m;
- ✓ Tipo 3 (Sottostazione e stazione di utenza) – Sabbie e sabbie limose di spessore pari a circa 10 m che ricoprono le argille ed argille limose che si presentano alterate per i primi 4-6 m di spessore. Detti terreni appartengono alla Fm. Terravecchia.

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.



- Tipo 1
- Tipo 2



## COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 1 (Area impianto)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00-2.00 m)
		Sabbie e sabbie limose (Frazione alterata e rimaneggiata) - Fm. Terravecchia (spessore variabile tra 3-4 m)
		Sabbie e sabbie limose - Fm. Terravecchia (spessore pari a circa 7 m) $\varphi' = 30^\circ, C' = 00,0 \text{ kN/m}^2, = 1,8 \text{ kN/m}^3.$
		Argille ed argille limose - Frazione alterata - Fm. Terravecchia (spessore variabile tra 4-5 m) $\varphi' = 20^\circ, C' = 20,0 \text{ kN/m}^2, = 1,9 \text{ kN/m}^3.$
		Argille - Frazione inalterata - Fm. Terravecchia $\varphi' = 25^\circ, C' = 20,0 \text{ kN/m}^2, = 2,0 \text{ kN/m}^3.$



## COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 2 (Area impianto)

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m)
		Argille ed argille limose - Frazione alterata - Fm. Terravecchia (spessore variabile tra 4-6 m)  $\varphi' = 20^\circ, C' = 20,0 \text{ kN/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3.$
		Argille - Frazione inalterata - Fm. Terravecchia  $\varphi' = 25^\circ, C' = 20,0 \text{ kN/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3.$



## COLONNA STRATIGRAFICA TIPO (Sottostazione)

Stratigrafia	Profondità'	Descrizione
		Terreno vegetale (spessore variabile tra 1.00 - 2.00 m)
		Sabbie e sabbie limose - Fm. Terravecchia (spessore variabile tra 7-8 m)  $\varphi' = 30^\circ, C' = 00,0 \text{ kN/m}^2, \gamma = 1,8 \text{ kN/m}^3.$
		Argille ed argille limose - Frazione alterata - Fm. Terravecchia (spessore variabile tra 4-5 m)  $\varphi' = 20^\circ, C' = 20,0 \text{ kN/m}^2, \gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3.$
		Argille - Frazione inalterata - Fm. Terravecchia  $\varphi' = 25^\circ, C' = 20,0 \text{ kN/m}^2, \gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3.$

### **3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE**

Da un punto di vista geomorfologico, l'area vasta in cui sono ubicate le opere in progetto può essere divisa in tre settori:

- ⇒ un settore occidentale caratterizzato da un habitus geomorfologico piuttosto irregolare e contraddistinto dall'affioramento dei terreni riferibili alla frazione conglomeratica della Fm. Terravecchia,
- ⇒ un settore ad habitus geomorfologico regolare, caratterizzato da rilievi dolci e mammellonati dove prevalgono i litotipi argillosi e sabbiosi della stessa formazione con frequenti fenomeni geodinamici sia attivi che quiescenti anche di notevoli proporzioni,
- ⇒ una zona di fondovalle stabile dove affiorano i termini alluvionali recenti e terrazzati caratterizzati dalla presenza di limi sabbiosi, sabbie e ghiaie.

Questa marcata differenziazione di origine “strutturale” viene ulteriormente accentuata dalla cosiddetta “erosione selettiva”, ossia dalla differente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici, che nel sistema morfoclimatico attuale sono dati essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica e da quelle di scorrimento superficiale.

Le litologie più coerenti vengono erose in misura più ridotta e tendono, quindi, a risaltare nei confronti delle circostanti litologie pseudo-coerenti o incoerenti.

I processi morfodinamici prevalenti nel sistema morfoclimatico attuale vedono, infatti, come agente dominante l'acqua, sia per quanto riguarda i

processi legati all'azione del ruscellamento ad opera delle acque selvagge, che per i processi di erosione e/o sedimentazione operati dalle acque incanalate.

Sono essenzialmente i processi fluviali quelli che hanno esplicito e tutt'ora esplicito un ruolo fondamentale nell'evoluzione geomorfologica dell'area.

Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico risulta organizzato in maniera abbastanza indipendente da discontinuità iniziali, con un pattern molto articolato dove affiorano i materiali fini da poco permeabili ad impermeabili, mentre diventa poco articolato in corrispondenza delle aree caratterizzate dalla presenza di litologie conglomeratiche permeabili, come desumibile dal rilievo aereo fotogeologico.

Per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi eventualmente presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto, si mette in evidenza che tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dall'analisi del PAI, non sono state individuate aree di progetto coinvolte da fenomeni geodinamici eccetto che una limitata porzione nel settore sud Ovest dell'impianto (come visibile nella carta geomorfologica di dettaglio allegata a fine capitolo) ed un breve tratto del cavidotto come visibile nella “Carta dei dissesti” (allegata fuori testo) redatta dal P.A.I.

In particolare, si tratta di dissesti riferibili a “Soliflusso” attivi e “Colata lenta” inattiva con grado di pericolosità P2 (Livello medio) – Rischio R2 (Rischio medio) e P0 (Livello moderato) – Rischio R1 (Rischio moderato).

Detti dissesti, sono legati esclusivamente all'azione delle acque ed alla pendenza medio-bassa dei versanti in quanto la coltre superficiale si

imbibisce durante i periodi di piogge prolungate e tende a muoversi sia pure con movimenti di massa lenti.

Tale previsione non è ostativa alla realizzazione dell’impianto in progetto come meglio specificato dalle Norme Tecniche di Attuazione del PAI - Capitolo 11 all’Articoli 22 e 23.

Infatti ai sensi di detti articoli l’intervento è fattibile; riportiamo di seguito il testo integrale degli articoli su citati:

#### *Articolo 22*

##### *Aree a pericolosità media (P2)*

*22.1. Nelle aree a pericolosità media (P2) oltre agli interventi di cui all’articolo 21, è consentita, previa verifica di compatibilità, l’attuazione delle previsioni degli strumenti urbanistici, generali, attuativi, e di settore, sia per gli elementi esistenti sia per quelli di nuova realizzazione, purché corredati da indagini geologiche e geotecniche effettuate ai sensi della normativa vigente ed estese ad un ambito morfologico o ad un tratto di versante significativi, individuabili nel contesto del bacino idrografico di ordine inferiore in cui ricade l’intervento.*

*22.2. Gli studi geologici di cui al precedente comma devono tener conto degli elaborati cartografici del P.A.I., onde identificare le interazioni fra le opere previste e le condizioni geomorfologiche dell’area. Tali studi devono individuare gli interventi di mitigazione compatibili con il livello di criticità dell’area anche al fine di attestare che le opere non aggravino le condizioni di pericolosità dell’area o ne aumentino l’estensione, secondo quanto definito dal precedente articolo 20.*

### *Articolo 23*

#### *Aree a pericolosità moderata (P1) e bassa (P0)*

*23.1. Nelle aree a pericolosità moderata (P1) e bassa (P0), oltre agli interventi di cui ai precedenti articoli 21 e 22, sono ammessi, previa verifica di compatibilità, tutti gli interventi di carattere edilizio e infrastrutturale che non aggravino le condizioni di pericolosità dell'area o ne aumentino l'estensione, in accordo con quanto previsto dagli strumenti urbanistici e Piani di Settore vigenti, conformemente alle prescrizioni generali del presente provvedimento.*

Infatti, si mette in evidenza che nelle successive fasi di progettazione si eseguiranno le opportune indagini geognostiche e geotecniche che serviranno alla progettazione delle opere di ingegneria naturalistica per il completo consolidamento dei fenomeni geodinamici che interessano l'area in studio.

Nell'eventualità che le indagini programmate dovessero evidenziare spessori più elevati di quelli oggi indicati dai risultati delle indagini geofisiche eseguite in questa fase, le opere di ingegneria naturalistica saranno accompagnate da opere di consolidamento tradizionali.

Per preservare il sito da fenomeni di erosione superficiale verranno adottati tecniche utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di adattarsi alla presenza dei pannelli fotovoltaici, alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

In tal modo il consolidamento ed il ripristino delle condizioni ambientali sarà raggiunto impiegando opere relativamente leggere per non sovraccaricare il terreno, assicurando la massima protezione antierosiva.

Nello specifico del nostro caso, le aree interessate da questi interventi

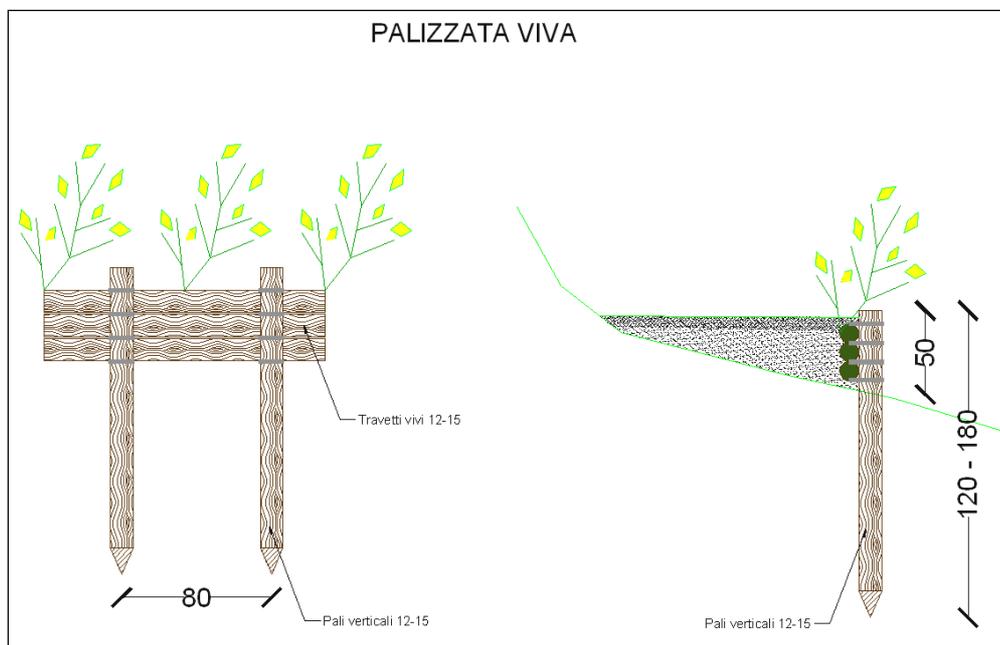
sono tutte quelle individuate da fenomeni geodinamici dove è prevista l'installazione dei pannelli fotovoltaici.

Nello specifico del nostro caso riteniamo di prevedere:

- ❖ **Palizzate vive.** La tecnica della palizzata in legname con talee e/o piantine unisce l'impiego di talee con strutture fisse in legno per la stabilizzazione di pendii e scarpate, naturali o artificiali.

Con questo sistema si tende a rinverdire le scarpate attraverso la formazione di piccoli gradoni lineari, sostenuti dalle strutture di legno, che corrono lungo le curve di livello del pendio e dove, a monte, si raccoglie del materiale terroso.

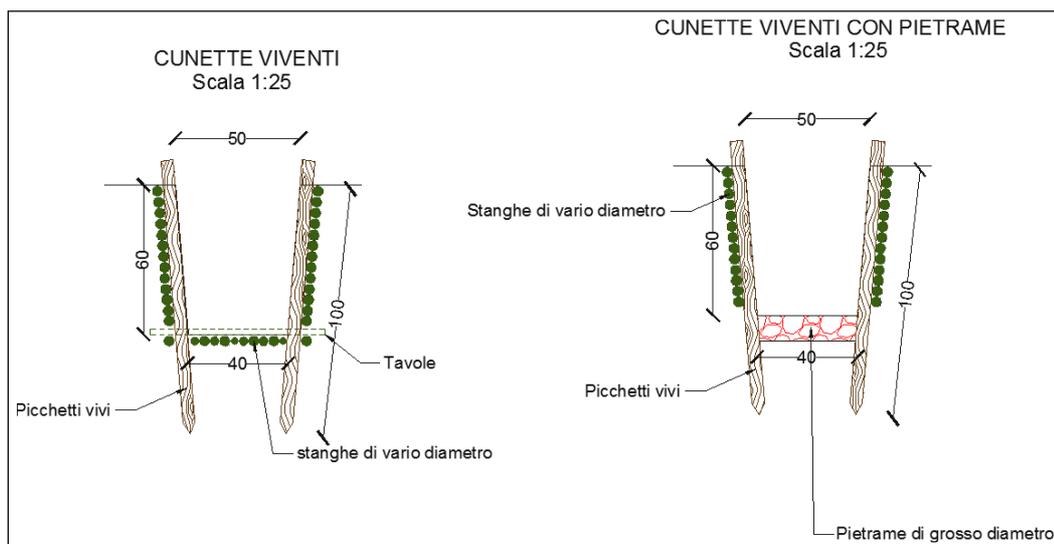
Le piante, una volta che la vegetazione si sarà sviluppata, garantiranno un consolidamento del terreno con l'apparato radicale e una resistenza all'erosione superficiale, con la loro parte epigea.



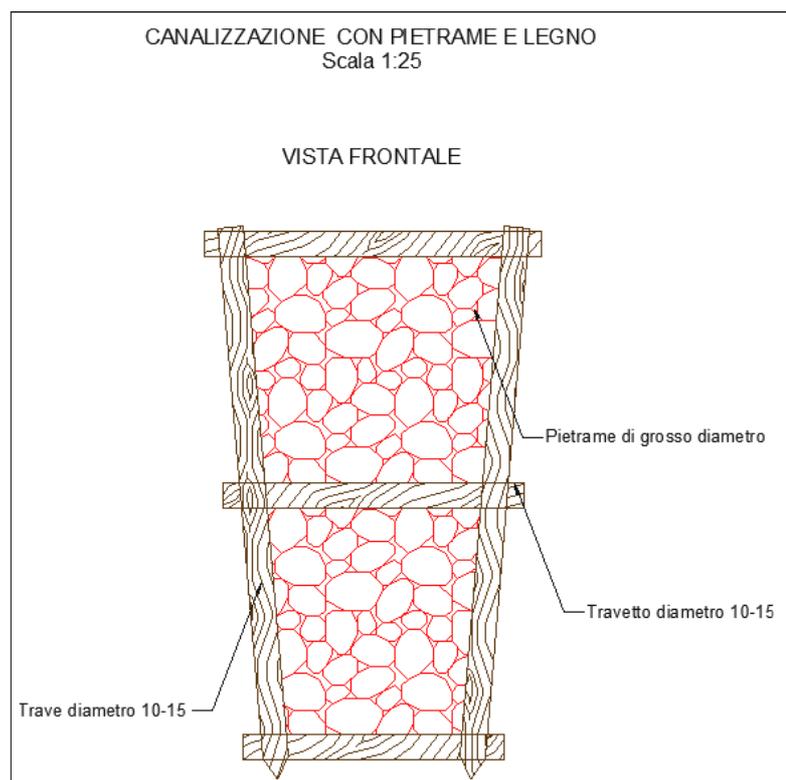
❖ **Cunetta vivente.** Le cunette sono di norma pensate in terra. E’ però importante sottolineare che nei tratti di maggiore pendenza l’acqua può destabilizzare la cunetta e con essa la strada. Pertanto si suggerisce l’adozione di cosiddette cunette viventi, maggiormente resistenti all’azione erosiva dell’acqua.

Sarà la fase cantieristica ed anche osservazionale ad indicare i tratti ove è opportuno realizzare le cunette “vive” al posto delle cunette in terra.

Esecuzione del lavoro: in un fosso a sezione trapezoidale vengono sistemati sul letto e sulle pareti del fosso, uno accanto all’altro, dei rami o delle stanghe vive in modo serrato, tenendoli fermi con pali vivi infissi nel terreno, ad intervalli da 2 a 4 m per mezzo di sagome in legno preparate in precedenza, oppure ad intervalli da 0,5 m fino ad 1 m uno dall’altro posti lungo le pareti del fosso. Nel caso di portata idrica permanente si può consolidare il letto e la parte inferiore della parete del fosso con tavoloni.



- ❖ **Canalizzazioni in pietrame e legno.** Nei casi di piccoli impluvi naturali che intercettano la viabilità di progetto causando spesso solchi ed erosione puntuale si può prevedere la costruzione di canalizzazioni in legname e pietrame, di sezione trapezia avente lo scopo di convogliare le acque nei punti di recapito.



Dal punto di vista idrogeologico l'area in studio è caratterizzata dall'affioramento di terreni diversi che, da un punto di vista idrogeologico, abbiamo suddiviso in 2 tipi di permeabilità prevalente:

- ❖ **Rocce permeabili per porosità:** Si tratta di rocce incoerenti e coerenti caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia al variare del grado di cementazione e delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti.

In particolare la permeabilità risulta essere media nella frazione sabbiosa fine mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi grossolani e ghiaiosi.

Di conseguenza la circolazione idrica sotterranea è discontinua con livelli acquiferi sospesi.

Rientrano in questo complesso i terreni afferenti ai depositi alluvionali ed alla frazione sabbiosa della Fm. Terravecchia.

❖ **Rocce impermeabili:** Questo complesso è costituito dalle argille che presentano fessure o pori di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili.

Si mette in evidenza, però, che l'acqua, riuscendo a permeare la frazione alterata superficiale ed aumentare le pressioni neutre, tende a destrutturare la frazione alterata azzerando la coesione e rendendola soggetta a possibili movimenti gravitativi lungo i versanti.

Rientrano in questo complesso i terreni afferenti la frazione argillosa della Fm. Terravecchia.

***Vista la presenza di litotipi argillosi su gran parte dell'impianto e della sottostazione e dai rilievi eseguiti in campo si evince che non è presente una vera e propria falda freatica ma solo lo strato alterato si presenta saturo nei periodi in intense piogge.***

Nell'area posta a est, dove affiora la frazione sabbiosa della Fm. Terravecchia, si forma un sistema multifalde a carattere stagionale a profondità superiori di 4 m dal p.c. che drena verso sud sull'impluvio più vicino a valle per cui non è possibile alcuna interferenza negativa tra la realizzazione/esercizio/dismissione delle opere in progetto e la falda, anche

in considerazione del fatto che non è possibile alcun impatto sulla circolazione idrica sotterranea sia perché i pali di fondazione non raggiungono il livello freatico, sia perché in ogni caso, vista la distanza relativa tra i pali, non è possibile alcun effetto diga.

Inoltre, le opere in progetto non rilasciano alcuna sostanza inquinante né nel suolo, né nelle acque.

***Si mette inoltre in evidenza che l'area non rientra all'interno di acquiferi considerati dalla Regione come significativi ma l'area è comunque ricca di risorse idriche sia pure di scarso interesse e potenzialità.***

Un pozzo tutelato dal Piano di Tutela delle Acque è individuato a nord est all'impianto ma a distanza tale che quest'ultimo non interferisce con l'area di protezione e di riserva dei corpi idrici sotterranei. (vedi carte dei Corpi Idrici Sotterranei e delle Aree Protette Associate fuori testo).

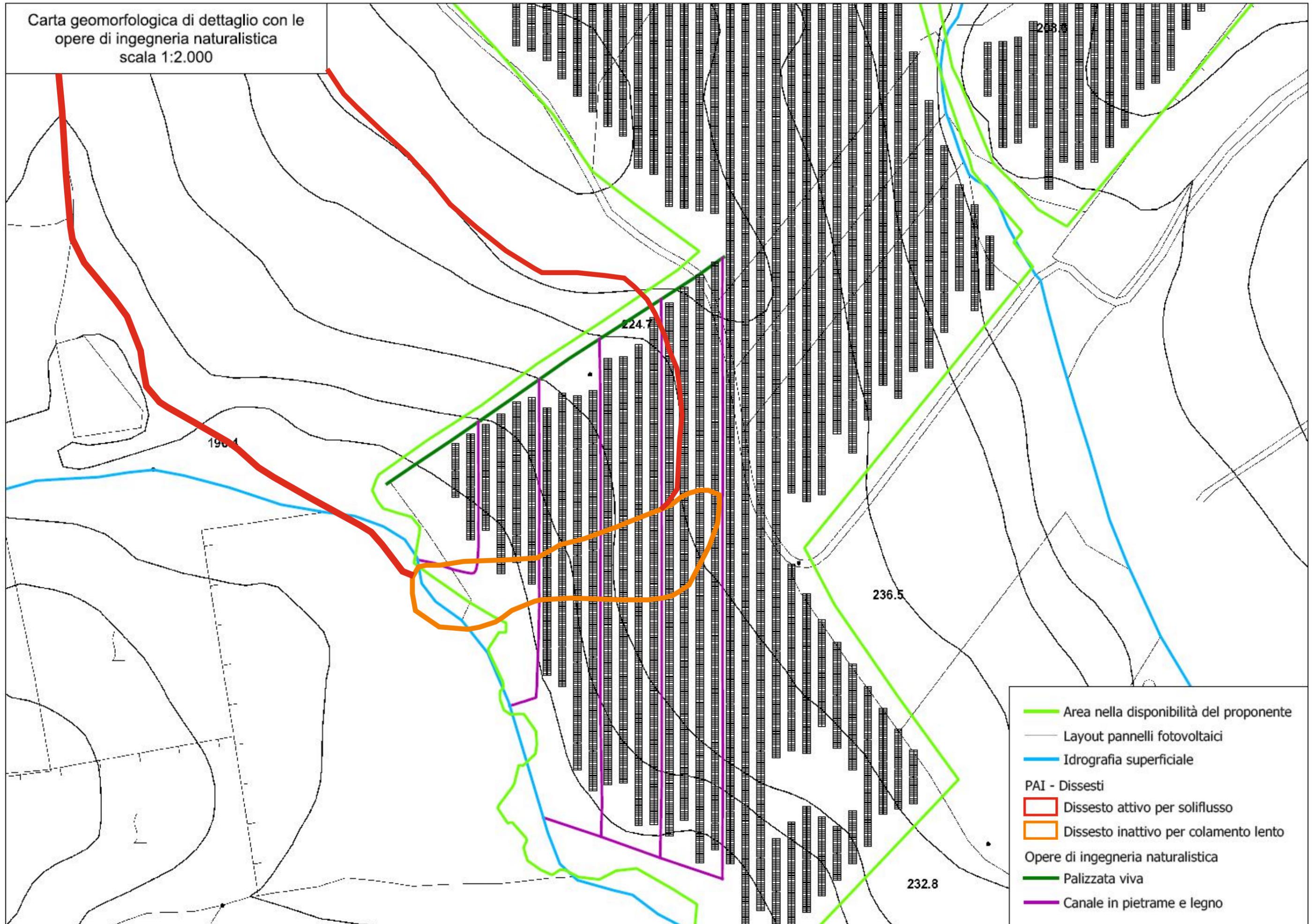
Le fondazioni dei pannelli vista la loro limitata profondità, non interferiscono con le falde freatiche presenti, né con il loro deflusso sotterraneo.

Infine, si evidenzia che le aree dell'impianto non sono interessate da a rischio e pericolosità idraulica come indicato dal P.A.I. e dal P.G.R.A.

Solo un breve tratto di cavidotto di lunghezza pari a circa 300 m intercetta un'area a pericolosità P3 elevata - Tr = 50 anni e a Rischio R2 in corrispondenza strada di collegamento tra l'Autostrada E90 e la Strada statale SS119.

In tale area il cavidotto sarà interrato utilizzando la tecnica T.O.C., di conseguenza non interferirà con il vincolo idraulico presente.

Carta geomorfologica di dettaglio con le  
opere di ingegneria naturalistica  
scala 1:2.000



#### **4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (TROMOGRAFIA)**

Si è ritenuto necessario l'utilizzo della tecnica di sismica passiva a stazione singola HVSR (tomografia) allo scopo di determinare le velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) dei terreni presenti, in corrispondenza delle opere progettate.

In particolare sono state eseguite n. 4 misure di microtremore ambientale, con un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico (vedi planimetria ubicazione tromini allegata di seguito).

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.

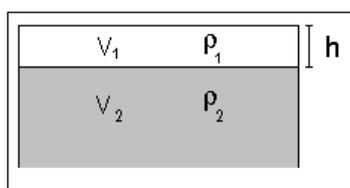
I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

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 sotto riportata si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) 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 ( $\lambda$ ) 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:

$$f_r = VP1/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = VS1/(4 H). \quad [2]$$

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;
  - ✓ lisciamento 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 a 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;
- ✓ ad un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ✓  $\nu$  la frequenza fondamentale di risonanza.

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

Le ubicazioni dei sondaggi che sono stati eseguiti sono visibili nelle planimetrie allegate mentre di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

I dati sperimentali ricavate 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

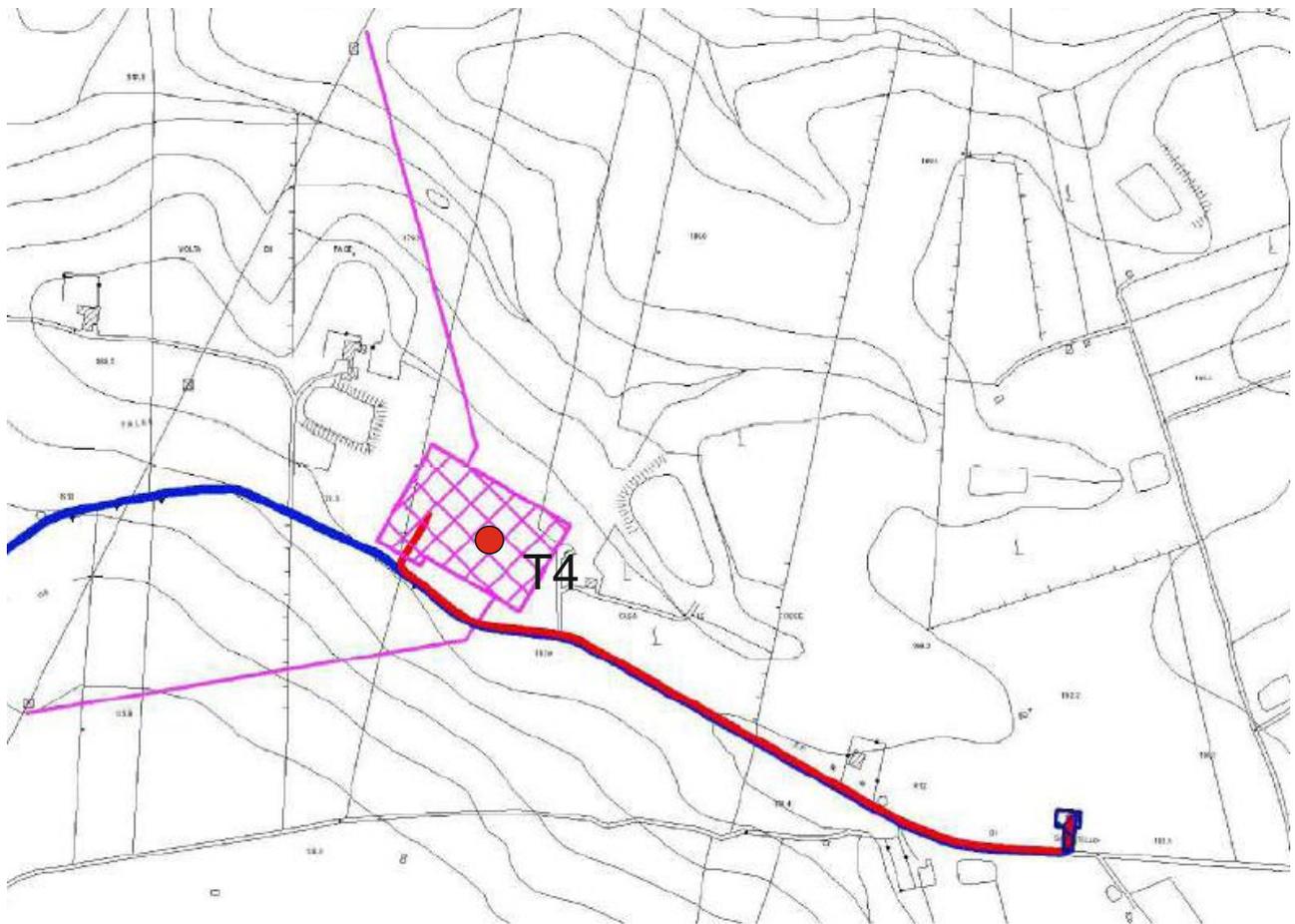
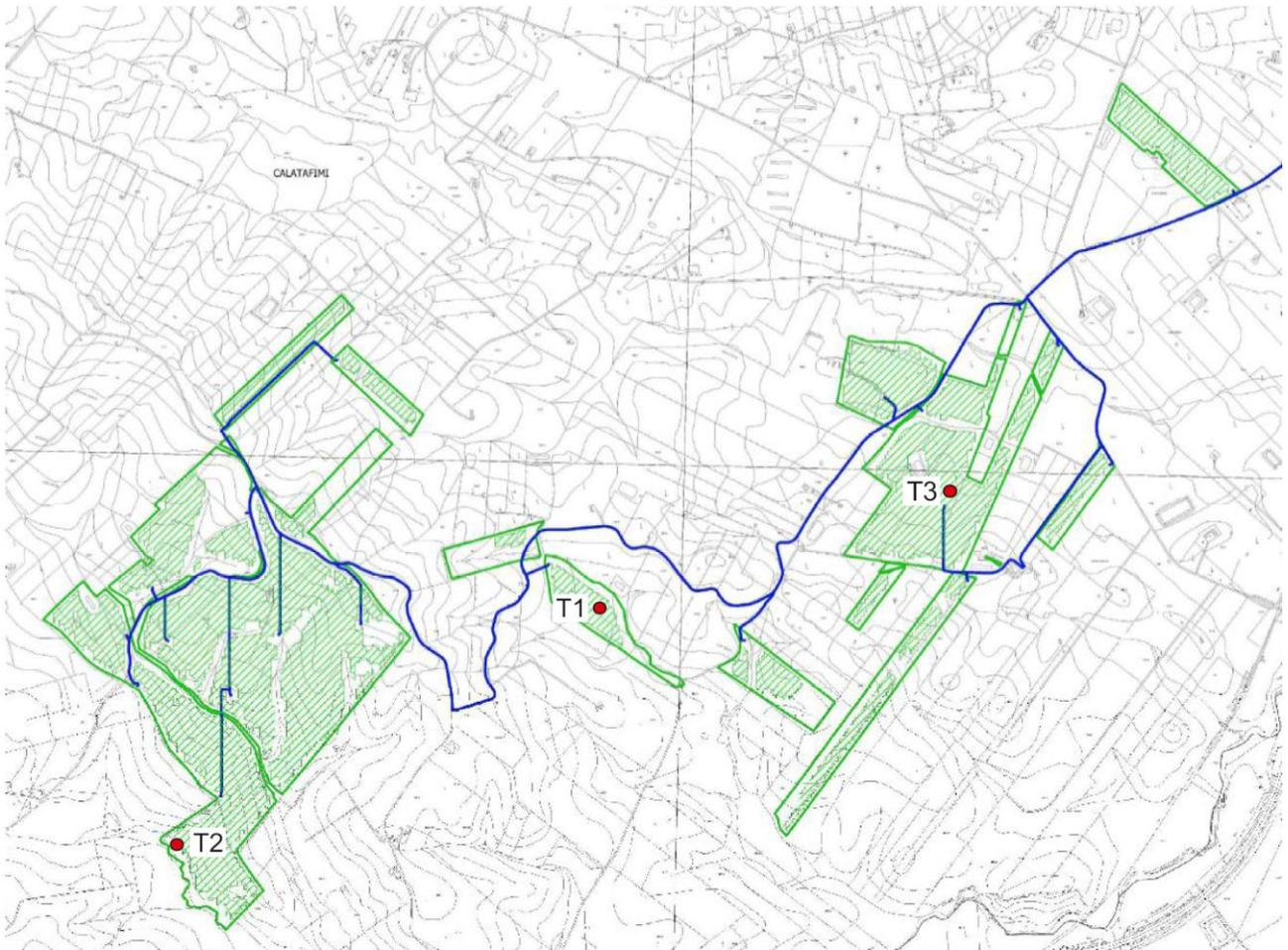
$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

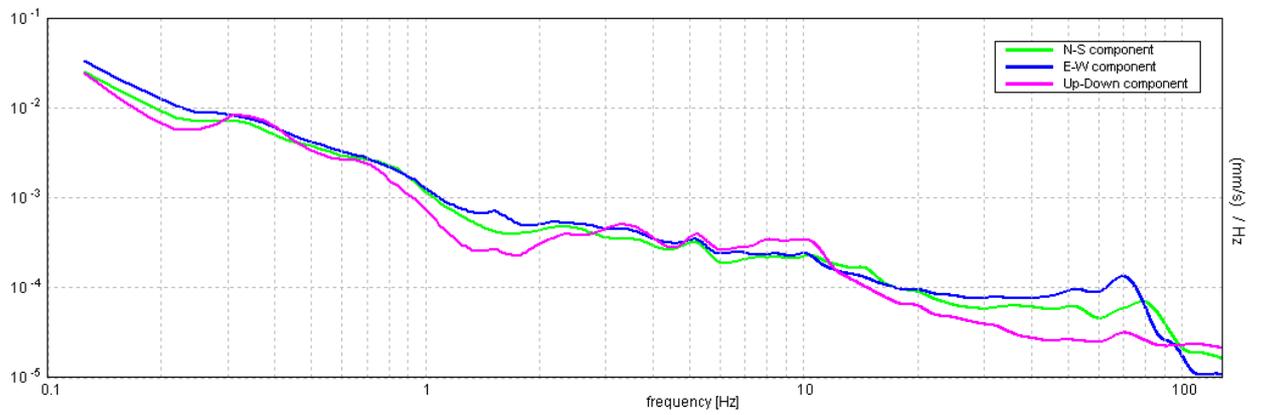
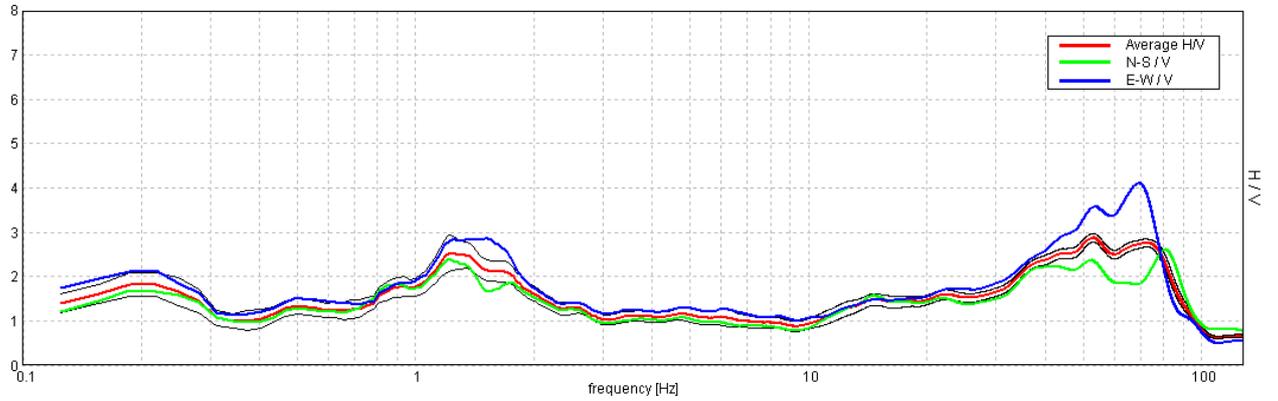
# CARTA SCHEMATICA CON L'UBICAZIONE DELLE INDAGINI HVSR



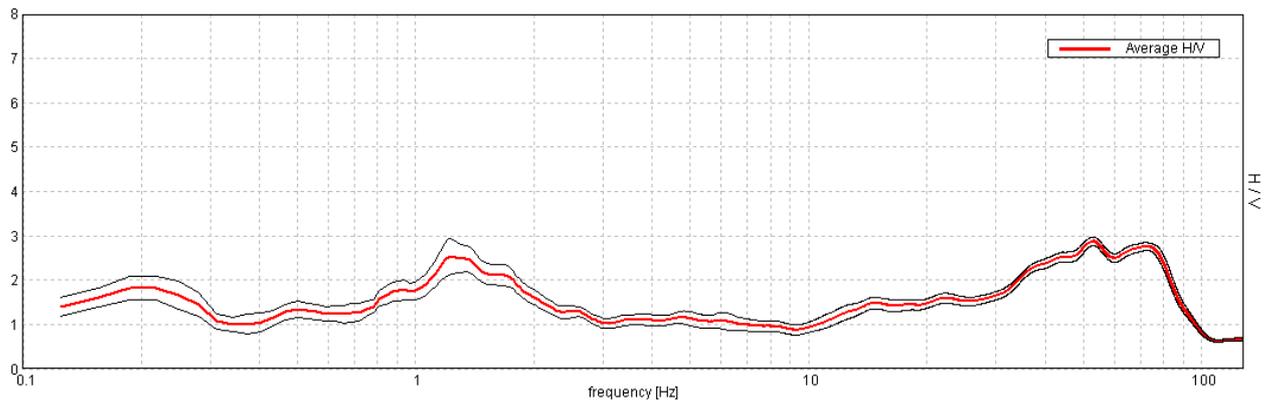
T1 ● Indagine HVSR

**Sondaggio tromografico T1**

Max. HV at 53.09 ± 7.14 Hz. Max. (N-S)/V: 80.94 ± 14.44 Hz. Max. (E-W)/V: 69.38 ± 3.48 Hz. (In the range 0.0 - 128.0 Hz).

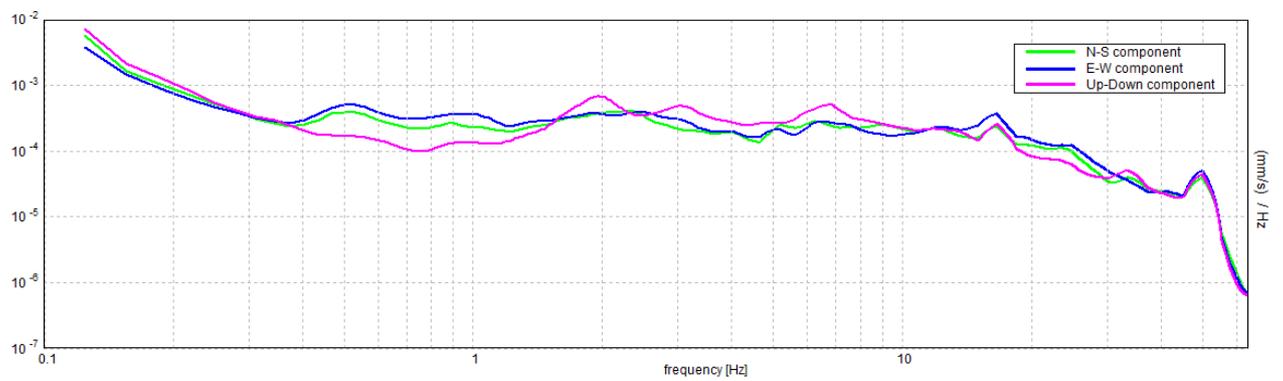
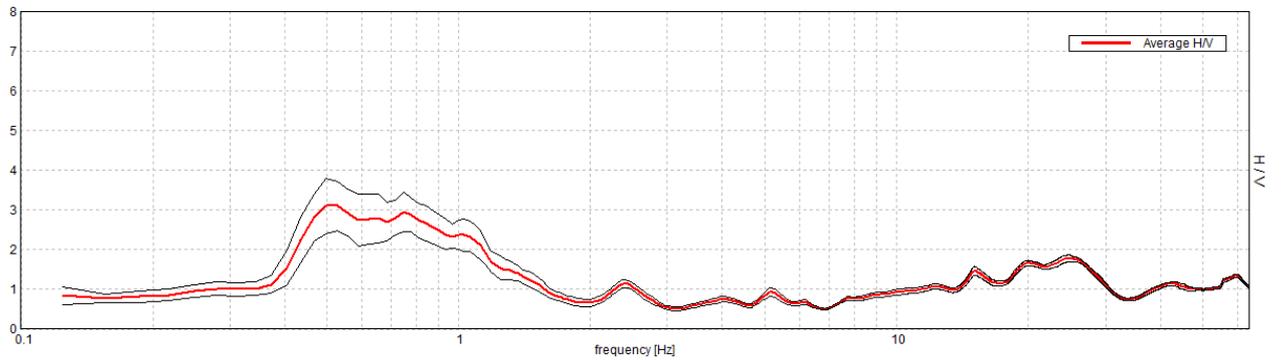


Max. HV at 53.09 ± 7.14 Hz. (In the range 0.0 - 128.0 Hz).

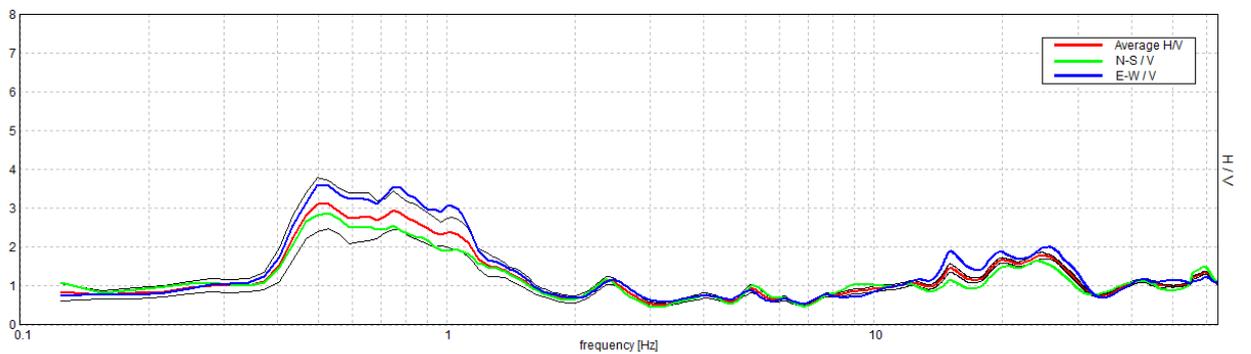


### Sondaggio tromografico T2

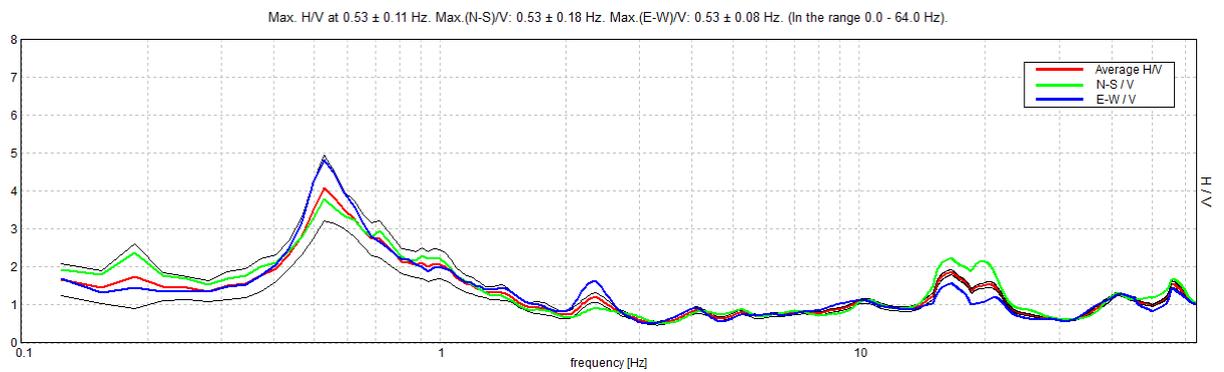
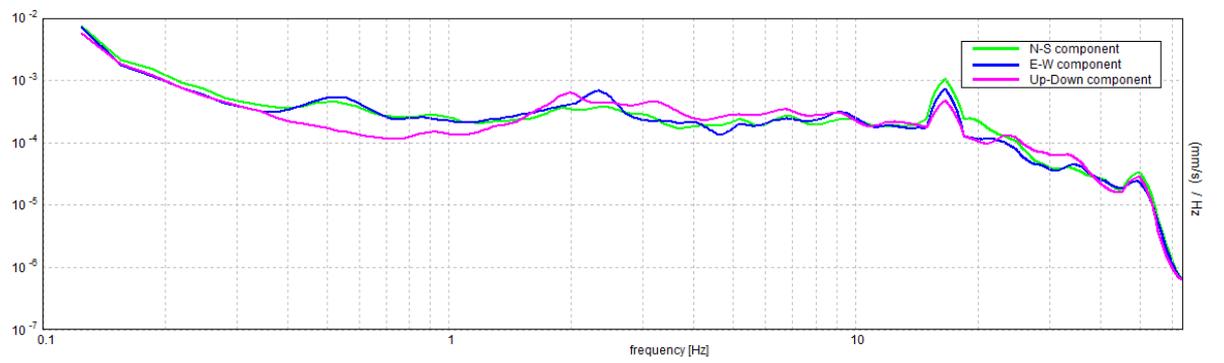
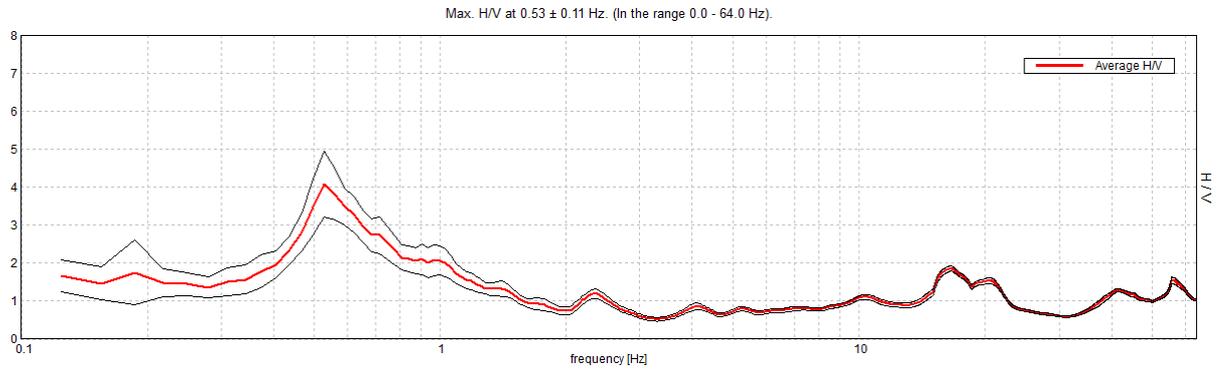
Max. H/V at  $0.5 \pm 0.05$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



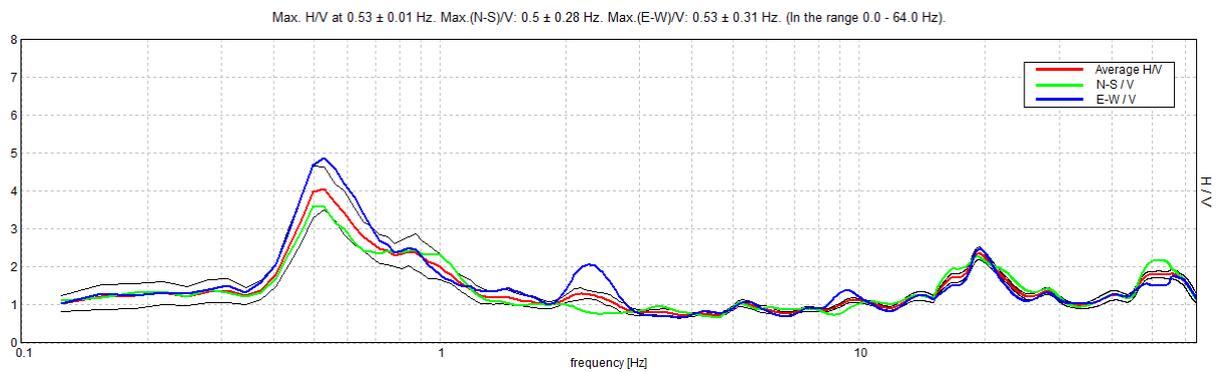
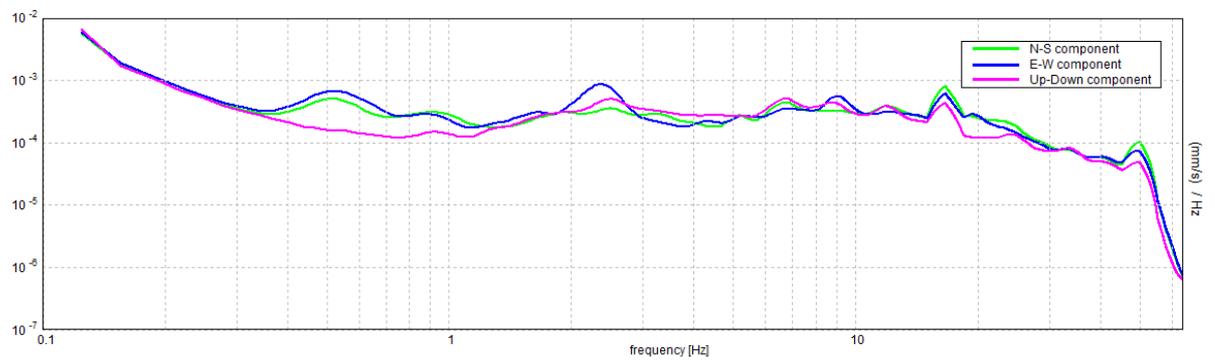
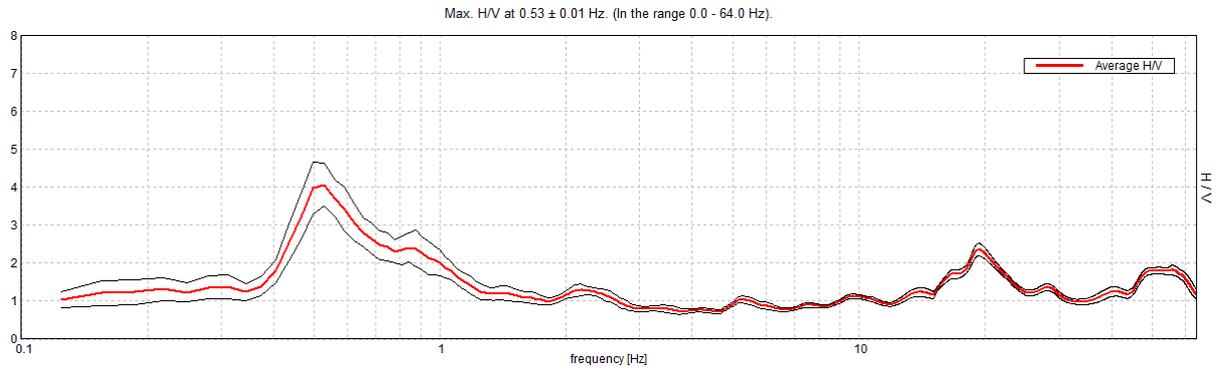
Max. H/V at  $0.5 \pm 0.05$  Hz. Max.(N-S)/V:  $0.53 \pm 0.1$  Hz. Max.(E-W)/V:  $0.5 \pm 0.18$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



**Sondaggio tromografico T3**



**Sondaggio tromografico TSott**



I dati sperimentali ricavate 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

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

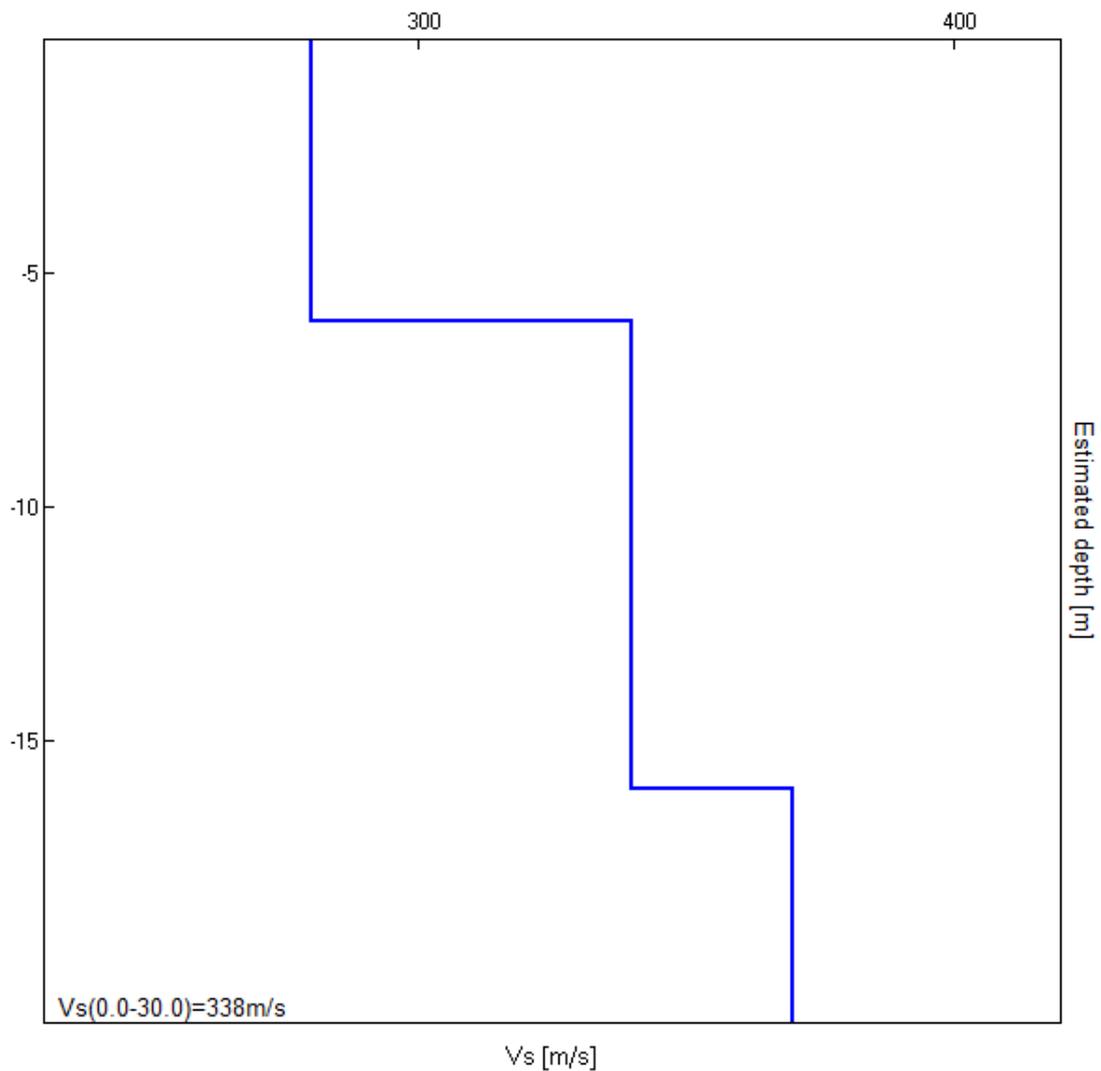
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

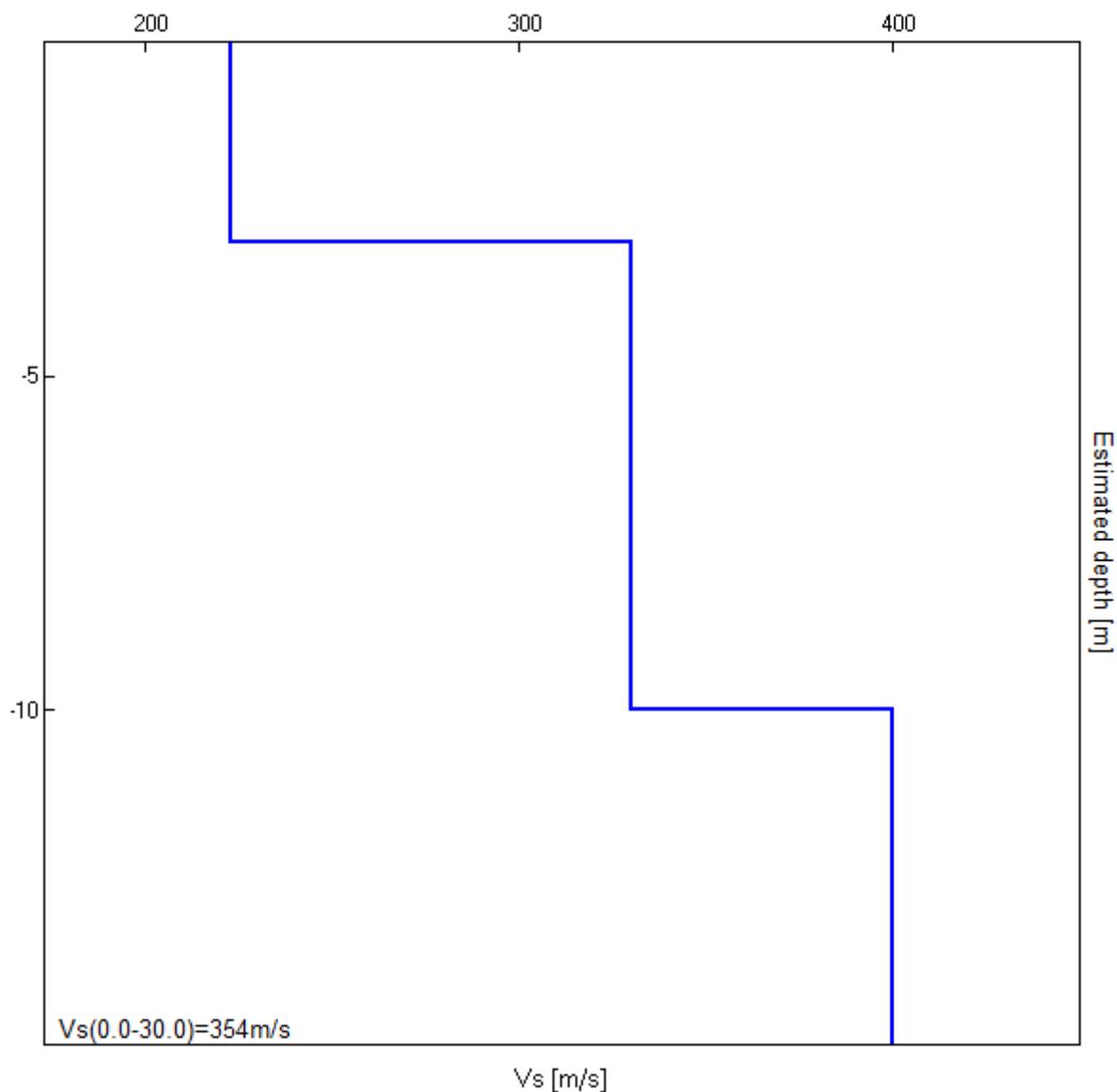
**Sondaggio tomografico T1**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</b>	
0.00-6.00	280	D	C (Vs,eq =338 m/s)
6.00-16.00	340	C	
16.00-30.00	370	B	



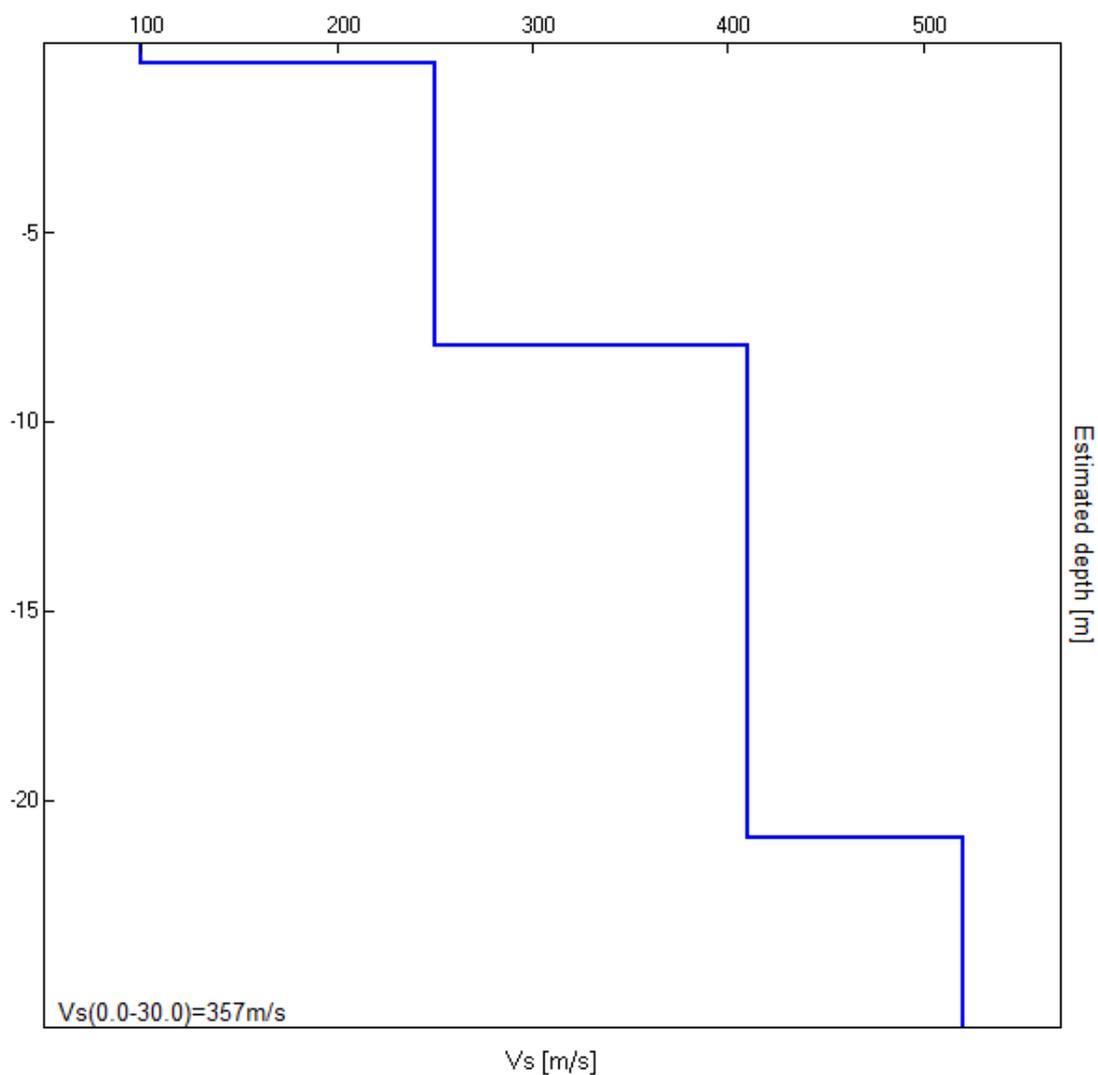
**Sondaggio tromografico T2**

<b>Profondità (m)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</b>	
0.00 – 3.00 (depositi rimaneggiati)	220	C	<b>C</b> (Vs,eq =354 m/s)
3.00 – 10.00	330	C	
10.00 – 30.00	400	B	



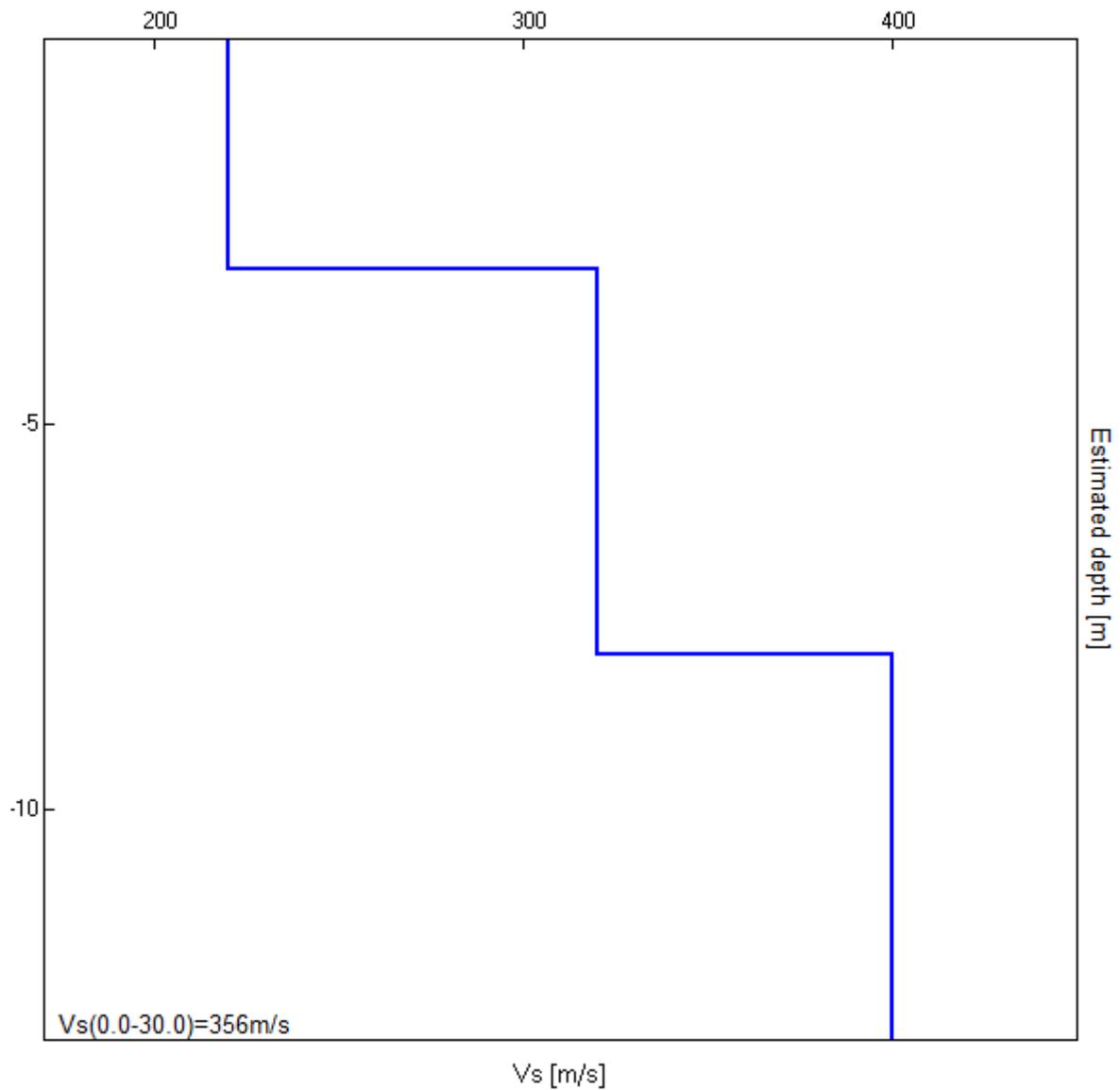
### **Sondaggio tromografico T3**

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-0.50	100	D	<b>C</b> (Vs30=357 m/s)
0.50-6.00	250	C	
6.00-21.00	410	B	
21.00-30.00	520	B	



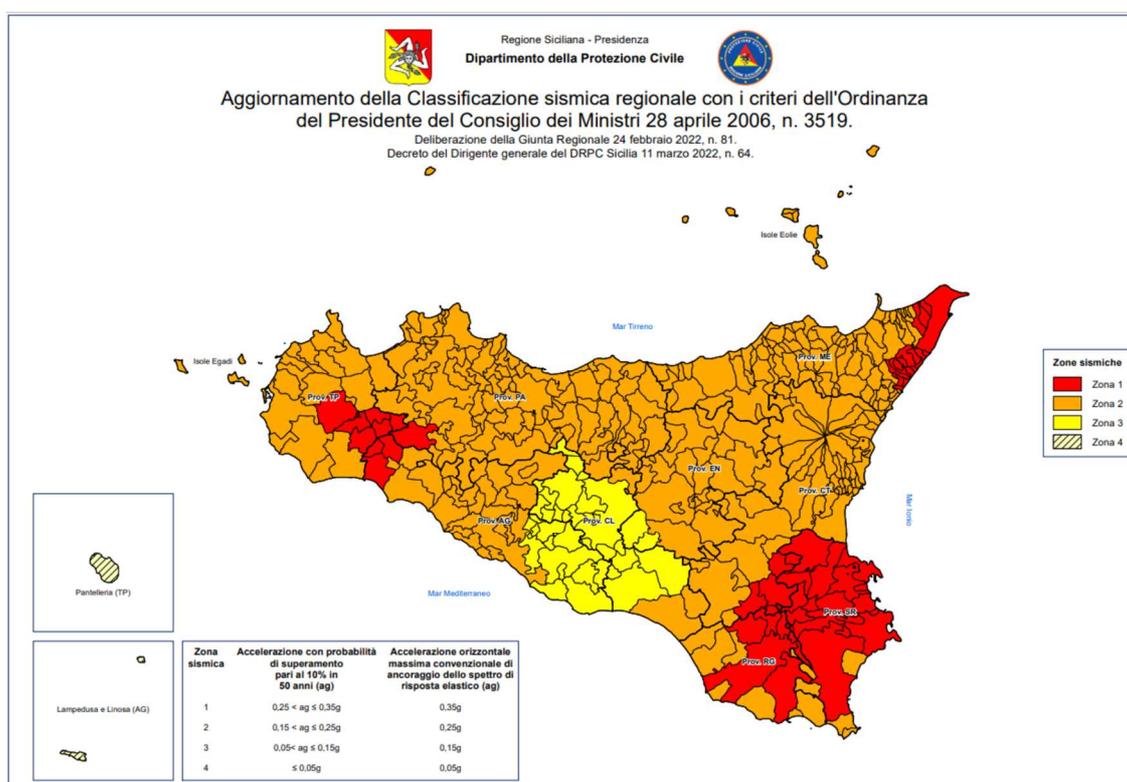
**Sondaggio tromografico Tsott**

<i>Profondità (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2008</i>	
0.00 – 3.00	220	C	<b>C</b> (Vs,eq =356 m/s)
3.00 – 8.00	320	C	
8.00 – 30.00	400	B	



## 5. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

I territori dei Comuni di Calatafimi-Segesta e Monreale, in cui si trovano le aree oggetto di intervento progettuale, a seguito di aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia con Decreto del Dirigente Generale del DRPC Sicilia dell’11 marzo 2022, n. 64 ricadono entrambi in zona sismica 2.



In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell’area e la necessità di studiare le eventuali modificazioni che dovessero subire le sollecitazioni sismiche ad opera dei fattori morfologici, strutturali e litologici.

Tali studi, eseguiti anche in Italia nelle zone dell'Irpinia, del Friuli, dell’Umbria e più recentemente di Palermo e del Molise, 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.

In tal senso sembra opportuno soffermarsi 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 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 bedrock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di

propagazione 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 eseguite i terreni presenti appartengono alla 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.*

## 6. 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:

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1- S (M > 5,5)	Spettri di Tipo 2 - S (M < 5,5)
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)

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

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.

<b>Attrezzatura</b>	<b>C<sub>E</sub></b>
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

I parametri  $\alpha$  e  $\beta$ , invece, dipendono dalla frazione fine (FC):

$\alpha = 0$	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 dell'impianto la serie stratigrafica locale è data in prevalenza dal complesso argilloso-marnoso, mentre nell'area delle cabine di trasformazione utente sono presenti la frazione limosa dei depositi fluviali che sovrastano i Trubi.

Viste le caratteristiche litologiche dei terreni può essere esclusa la possibilità che si possano instaurare fenomeni di liquefazione.

A vantaggio della sicurezza, in questa fase sono stati eseguiti i primi preliminari calcoli, simulando la presenza di falda, che ci confortano in base alla notevole presenza di materiali a granulometria 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.

Si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini di verifica delle su esposte ipotesi geologiche.

## **7. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA DEI TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE IN PROGETTO**

Da quanto desumibile dalle indagini eseguite in questa prima fase, i terreni che costituiscono il volume geotecnicamente significativo delle opere in progetto sono riferibili alle seguenti litologie: **a) Fm Terravecchia (Frazione argillosa), b) Fm Terravecchia (Frazione sabbiosa).**

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche e meccaniche così come desumibili dalle pubblicazioni scientifiche e dall'esperienza maturata su questi terreni, tenendo conto che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture fondali sarà necessario integrare le indagini eseguite di questa fase come descritto in premessa.

**a) Fm Terravecchia (facies sabbiosa):** si tratta di "rocce incoerenti" costituite da sequenze prevalentemente sabbiose ed arenacee. Si tratta di sabbie, sabbie limose ed arenarie, di colore da giallastro al tabacco, limi sabbiosi e sabbie limose. In particolare si rinvengono sabbie quarzose da bruno giallastre a rossastre, in genere incoerenti o debolmente cementate, cui si alternano banchi di arenarie quarzose e sottili livelli conglomeratici con ciottoli appiattiti. Si presentano alterate per una profondità variabile tra 5-8 m dal p.c.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento ai seguenti valori desunti dall'esperienza maturata su questo litotipo:

$$\varphi' = 30^\circ, c' = 0 \text{ t/mq}, \gamma = 1,8 \text{ t/mc}$$

**b) Fm Terravecchia (facies argillosa):** si tratta di "rocce pseudo-coerenti" costituite da argille ed argille limose quando alterate, di colore dal nocciola al grigio. Si presentano alterate per una profondità

variabile tra 4-5 m dal p.c. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso, il progettista può fare riferimento ai seguenti valori desunti dall'esperienza maturata su questo litotipo:

$$\varphi' = 20^\circ, c' = 2 \text{ t/mq}, \gamma = 1,9 \text{ t/mc}$$

## **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. 1 sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 15 mt. dal p.c.;
- ✓ prelievo di n. 2 campioni indisturbati sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ 5 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 sondaggio a carotaggio continuo di profondità pari a 15 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;

*VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.*  
*Relazione Geologica e di Compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un*  
*impianto agro-voltaico denominato “PV Calatafimi”, sito nel territorio comunale di*  
*Calatafimi-Segesta (TP) e Monreale (PA)*

- ✓ 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:

- in generale le aree direttamente interessate dal progetto sono costituite dai depositi alluvionali terrazzati e dalle frazioni sabbiosa e argillosa della Fm. Terravecchia. In particolare sono state individuate 3 situazioni geologicamente diverse, dettagliatamente rappresentate nelle colonne stratigrafiche tipo allegate.
- ✓ Tipo 1 (Area impianto) – Sabbie e sabbie limose di spessore pari circa 10 m che ricoprono le argille ed argille limose che si presentano alterate per i primi 4-6 m di spessore. Detti terreni appartengono alla Fm. Terravecchia;
- ✓ Tipo 2 (Area impianto) – Argille ed argille limose della Fm. Terravecchia che si presentano alterate per uno spessore pari a 4-6 m.
- ✓ Tipo 3 (Sottostazione) – Sabbie e sabbie limose di spessore pari a circa 10 m che ricoprono le argille ed argille limose che si presentano alterate per i primi 4-4 m di spessore. Detti terreni appartengono alla Fm. Terravecchia.

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.

- per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi eventualmente presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto, si mette in evidenza che tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dall'analisi del PAI, non sono state individuate aree di progetto coinvolte da fenomeni geodinamici eccetto

che una limitata porzione nel settore sud Ovest dell’impianto ed un breve tratto del cavidotto come visibile nella “Carta dei dissesti” (allegata fuori testo) redatta dal P.A.I.;

- in particolare, di tratta di dissesti riferibili a “Soliflusso” attivi e “Colata lenta” inattiva con grado di pericolosità P2 (Livello medio) – Rischio R2 (Rischio medio) e P0 (Livello moderato) – Rischio R1 (Rischio moderato) e sono legati esclusivamente all’azione delle acque ed alla pendenza medio-bassa dei versanti in quanto la coltre superficiale si imbibisce durante i periodi di piogge prolungate e tende a muoversi sia pure con movimenti di massa lenti.
- Tale previsione non è ostativa alla realizzazione dell’impianto in progetto come meglio specificato dalle Norme Tecniche di Attuazione del PAI - Capitolo 11 all’Articoli 22 e 23.
- si mette in evidenza che nelle successive fasi di progettazione si eseguiranno le opportune indagini geognostiche e geotecniche che serviranno alla progettazione delle opere di ingegneria naturalistica per il completo consolidamento dei limitati fenomeni geodinamici che interessano l’area in studio. Nell’eventualità che le indagini programmate dovessero evidenziare spessori più elevati di quelli oggi indicati dai risultati delle indagini geofisiche eseguite in questa fase, le opere di ingegneria naturalistica saranno accompagnate da opere di consolidamento tradizionali;
- vista la presenza di litotipi argillosi su gran parte dell’impianto e della sottostazione e dai rilievi eseguiti in campo si evince che non è presente una vera e propria falda freatica, ma solo lo strato alterato si presenta saturo nei periodi in intense piogge;

- nell’area posta a est, dove affiora la frazione sabbiosa della Fm. Terravecchia, si forma un sistema multifalde a carattere stagionale a profondità superiori di 4 m dal p.c. che drena verso sud sull’impluvio più vicino a valle per cui non è possibile alcuna interferenza negativa tra la realizzazione/esercizio/dismissione delle opere in progetto e la falda, anche in considerazione del fatto che non è possibile alcun impatto sulla circolazione idrica sotterranea sia perché i pali di fondazione non raggiungono il livello freatico, sia perché in ogni caso, vista la distanza relativa tra i pali, non è possibile alcun effetto diga;
- le opere in progetto non rilasciano alcuna sostanza inquinante né nel suolo, né nelle acque.
- 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*”.
- non esistono pericolosità geologiche e sismiche che possano ostare la realizzazione del progetto;
- in questa fase sono stati eseguiti i primi preliminari calcoli, simulando la presenza di falda, che ci confortano in base alla notevole presenza di materiali a granulometria 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;

*VAMIRGEOIND Ambiente Geologia e Geofisica s.r.l.*  
*Relazione Geologica e di Compatibilità geomorfologica – Progetto per la realizzazione di un  
impianto agro-voltaico denominato “PV Calatafimi”, sito nel territorio comunale di  
Calatafimi-Segesta (TP) e Monreale (PA)*

- 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.

Dott. Geo. ~~Gualtieri~~ Bellomo

