

REGIONE SICILIA
COMUNE DI CARLENTINI (SR)

Livello di progettazione/Level of design

Progetto Definitivo

Oggetto/Object

PROGETTO AUGUSTA
Realizzazione impianto agrovoltaico in area agricola nel Comune di Carlentini (SR) e Mellili (SR)

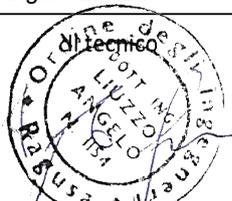
Elaborato/Drawing

Relazione geologica

Formato/Size A4	Scala/Scale ---	Codice/code MITEPUAREL012A0
	Data/Date 25/03/2022	
	Nome file/File name	MITEPUAREL012A0.pdf
Revision 00	Date 25/03/2022	Description Prima emissione

Commessa/Project order

Progettazione Impianto Fotovoltaico

Redatto: Dott. Gualtiero Bellomo	Approvato: Dott.ssa Maria A. Marino	Progettista impianto: Ing. Vincenzo Crucillà	Verificato: Ing. Angelo Liuzzo
			

Committente/Customer

MEGARA SOLAR S.R.L.

Corso Buenos Aires, 54 - 20124 Milano (MI)
P.IVA: 02052840895

Progettazione e sviluppo/Planning and development

ICS S.R.L.

Via Pasquale Sottocorno, 7, 20129, Milano (MI)
+39(0) 0931 999730 - P.IVA: 00485050892

Project Manager: Ing. Raimondo Barone



INDICE

1.	<i>PREMESSE</i>	1
2.	<i>CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE</i>	5
3.	<i>CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE</i>	8
4.	<i>CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI</i>	12
5.	<i>LIQUEFAZIONE DEI TERRENI</i>	15
6.	<i>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA</i>	23
7.	<i>CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO</i>	39
8.	<i>CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTEC- NICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIO- NE ESECUTIVA</i>	44
9.	<i>CONCLUSIONI</i>	45

REGIONE SICILIA
COMUNI DI CARLENTINI E MELILLI (SR)

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO AGRO VOLTAICO DENOMINATO
“AUGUSTA”

Committente: MEGARA SOLAR S.R.L.

RELAZIONE GEOLOGICA

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).

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 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.

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

- ❖ 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 interessata delle opere in progetto (fuori testo);

- ❖ n. 2 carte del Piano regionale di Gestione del Rischio Alluvioni (PRGRA) 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 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 (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 e limi sabbiosi, con ciottoli quarzarenitici, 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. Generalmente si presentano scarsamente addensate e, dove prevalgono i limi sabbiosi e torbosi, sono compressibili e molto plastici. Detti terreni affiorano in corrispondenza dell'area della sottostazione.
- ⇒ **COMPLESSO CALCARENITICO-SABBIOSO (Pleistocene medio-sup.):** si tratta di calcareniti e sabbie grossolane organogene e fossilifere. Non interessano direttamente l’area di progetto ma è presente nell’area vasta.
- ⇒ **COMPLESSO ARGILLOSO (Plio-Pleistocene):** si tratta di argille, argille siltoso-marnose, a struttura omogenea, uniformi. La porzione superficiale alterata si presenta plastica e scarsamente consistente mentre le proprietà meccaniche generalmente

aumentano con la profondità. Detto complesso ha un ruolo fondamentale nella ricostruzione del modello geologico ed idrogeologico in quanto costituisce il substrato impermeabile che funge da letto della falda freatica presente dove affiora il complesso alluvionale ed il complesso vulcanico. Detti terreni affiorano in corrispondenza di una porzione del sottocampo 1.

⇒ ***FM. S. FEBRONIA (Pleistocene inf.):*** Prodotti vulcanici costituiti da scorie e corpi vulcanici di spessore anche superiore a 10 m. Non interessano direttamente l’area di progetto ma è presente nell’area vasta.

⇒ ***FM. MILITELLO VAL DI CATANIA (Pliocene medio-sup):*** Basalti tholeiitici di colore grigio in corpi lavici subaerei tabulari. Non interessano direttamente l’area di progetto ma è presente nell’area vasta.

⇒ ***FM. MONTE CARRUBBA (Tortoniano sup. – Messiniano inf.):*** calcareniti friabili bianco-giallastre, calcareniti con marne e calcareniti laminate. Non interessano direttamente l’area di progetto ma è presente nell’area vasta.

⇒ ***FM. CARLENTINI (Tortoniano):*** si tratta di vulcanoclastiti a granulometria variabile da blocchi a ceneri con più o meno abbondante frazione carbonatica sedimentaria e di colate basaltiche. Detti terreni affiorano in corrispondenza del sottocampo 2 e in una porzione del sottocampo 1.

In conclusione, nell’area direttamente interessata dal progetto sono individuabili 3 situazioni geologicamente diverse:

- ❖ nelle aree dove affiora la Fm. Militello Val di Catania (ampie porzioni dei sottocampi 1 e 2) i terreni di sedime i litotipi

rappresentati basalti tholeiitici di colore nero e fratturati (vedi colonna stratigrafica tipo);

- ❖ nelle aree dove affiorano i depositi alluvionali (sottostazione) i litotipi di sedime sono rocce prevalentemente sciolte costituite da ghiaie, sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi. Si presentano generalmente scarsamente addensate e sature. I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale e sovrastano i litotipi del Complesso argilloso (vedi colonna stratigrafica tipo),
- ❖ nelle aree dove affiora il Complesso argilloso pleistocenico (porzione del sottocampo 1) i litotipi di sedime sono argille, argille siltoso-marnose, a struttura omogenea. Si presentano alterate per i primi 5- 6 m di profondità. I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale (vedi colonna stratigrafica tipo).

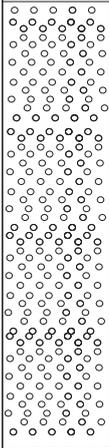
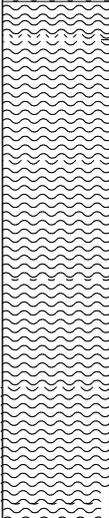


COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 1

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
  		Terreno vegetale (spessore variabile da 0.50 a 1.50 m)
                                                                                               		<p>Complesso lavico (basalti)</p> <p style="text-align: right;">Livello freatico superiore a 15.00 ed il piano campagna</p>



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 2

Stratigrafia	Profondità	Descrizione	
  		Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)	
		Depositi alluvionali (spessore variabile tra 5.00 e 6.00 m)	
		Complesso argilloso	Livello freatico variabile tra 1.00 ed il piano campagna



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 3

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione
		<p data-bbox="300 499 1114 533">Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)</p> <p data-bbox="300 555 1437 629">Argille pleistoceniche alterate (spessore variabile tra 5.00 e 6.00 m) sature e sede di livelli idrici a carattere stagionale</p> <p data-bbox="300 786 767 819">Argille pleistoceniche inalterate</p>

3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDRO- GEOLOGICHE

Nell'area vasta l'habitus geomorfologico è piuttosto irregolare e costituito da un paesaggio contraddistinto prevalentemente dall'affioramento dei terreni vulcanici che danno luogo ad aree caratterizzate da media e bassa pendenza nella zona di cresta ed a versanti con media-alta pendenza interrotti da solchi ad elevata erosione di fondo.

Le aree di fondovalle si presentano sub-pianeggianti in corrispondenza dei corsi d'acqua che bordano rilievi.

Infine dove affiorano le argille e le calcareniti troviamo aree pianeggianti o sub pianeggianti intercalate da versanti a pendenza generalmente modesta.

È quindi, possibile effettuare una prima grande distinzione in tre zone ad assetto morfologico generale differente:

- ❖ una zona in cui affiorano i termini vulcanici, caratterizzata da rilievi acclivi a morfologia piuttosto accidentata, con frequenti rotture di pendenza e generalmente stabili che culminano in una zona di cresta da aree a media e bassa pendenza;
- ❖ aree pianeggianti o sub pianeggianti intercalate da versanti a pendenza generalmente modesta dove affiorano le argille e le calcareniti;
- ❖ una zona di fondovalle dove affiorano i termini alluvionali recenti 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 articolato, come desumibile dal rilievo aerofotogeologico.

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 coinvolte da fenomeni di instabilità.

Infine, le aree dell'impianto e del cavidotto non sono interessate da dissesti indicati dal P.A.I. come a rischio e pericolosità idraulica.

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 3 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. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti ai Depositi alluvionali, al Complesso Calcarenitico-sabbioso, alla Fm. San Febbronia, alla Fm. Monte Carrubba ed alla frazione vulcanoclasitica della Fm. Carlentini.
- ❖ **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. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti al Complesso argilloso.
- ❖ **Rocce permeabili per fratturazione:** Si tratta di rocce che presentano fratture generalmente di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica lentamente da essere considerate con permeabilità bassa per fratturazione. Appartengono a questa categoria i litotipi afferenti alla Fm. Militello Val di Catania ed alla frazione basaltica della Fm. Carlentini.

Nello specifico dalle notizie assunte in loco durante i sopralluoghi eseguiti e dai dati acquisiti dalle pubblicazioni scientifiche e da indagini eseguite da altri professionisti si può affermare che:

- 1) dove affiora il complesso argilloso (porzione del sottocampo 1) non è presente alcuna falda freatica ma lo strato superficiale di

argille alterate nei periodi di piogge intense si presenta satura e può essere sede di livelli idrici a carattere stagionale;

- 2) dove affiora la Fm. Carlentini (porzione del sottocampo 1) il livello piezometrico della falda presente si attesta a una quota pari a circa 10 m dal p.c.
- 3) dove affiorano i depositi alluvionali (area sottostazione) il livello piezometrico della falda presente si attesta a una quota pari a circa 3 m dal p.c.
- 4) dove affiora la Fm. Carlentini (porzione del sottocampo 2) il livello piezometrico della falda presente si attesta a una quota pari superiore a 15 m dal p.c.

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 recenti;*
- d) *Complesso argilloso pleistocenico.*
- e) *Complesso vulcanico*

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 attuali e recenti: sono rocce prevalentemente sciolte costituite da ghiaie, sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi e limi palustri. Generalmente si presentano scarsamente addensati e saturi. 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:

$$\varphi' = 20-30^\circ, c' = 0.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.7-1.9 \text{ t/mc}$$

c) Complesso Argilloso pleistocenico: sono costituiti da argille, argille siltoso-marnose, a struttura omogenea, uniformi. La porzione superficiale alterata si presenta plastica e scarsamente consistente mentre le proprietà meccaniche generalmente migliorano con la profondità. Detto complesso costituisce il substrato impermeabile della falda presente nel complesso alluvionale e dei terreni vulcanici. 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:

$$\varphi' = 20 - 22^\circ, c' = 1.0 - 2.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.8 - 2.00 \text{ t/mc}$$

d) Complesso vulcanico: sono costituiti da basalti tholeiitici di colore nero e fratturati. La porzione superficiale alterata si presenta incoerente prevalentemente sabbiosa e scarsamente addensata mentre le proprietà meccaniche generalmente migliorano 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, tenendo conto del fatto che in questi terreni non è possibile utilizzare come fondazioni i pali battuti:

$$\varphi' = 30 - 40^\circ, c' = 0.0 - 3.0 \text{ t/mq}, \gamma = 1.9 - 2.20 \text{ t/mc}$$

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:

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)

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

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

I parametri α e β , 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 $5\% < FC \leq 35\%$

$$\beta = 1,2 \quad \text{per FC} > 35\%$$

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

$$q_{e1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

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:

$$\frac{(q_{e1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

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 lavico e da quello argilloso.

Detti terreni non sono soggetti a liquefazione, mentre quello alluvionale, che affiora in corrispondenza della sottostazione, potrebbe essere soggetto a questi fenomeni se dovesse presentare una granulometria sabbiosa omogenea.

Vista la natura dei terreni presenti non può essere esclusa localmente tale possibilità e, quindi, la normativa prevede che vengano eseguiti specifici calcoli secondo le metodologie sopra esplicitate.

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 nel complesso alluvionale è molto variabile anche a distanza di pochi metri.

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.

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 calcolazione dei coefficienti di liquefazione sito-specifici per ogni singolo sub parco e in corrispondenza della sottostazione ai sensi del D.M. 17/01/ 2018.

6. INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA

Nell'ambito del presente studio sono state eseguite n. 5 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 1 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).

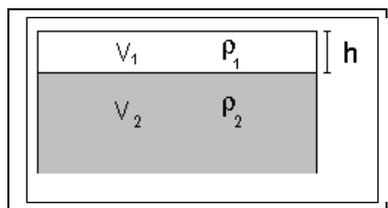


Figura 1. Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

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;
 - ✓ 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 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:

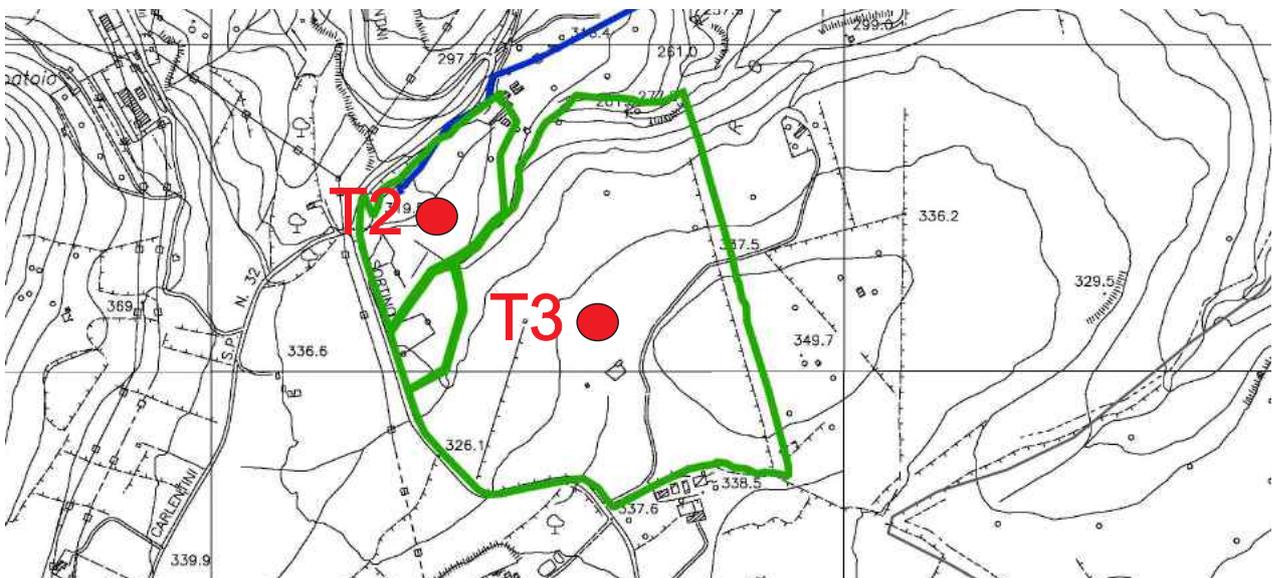
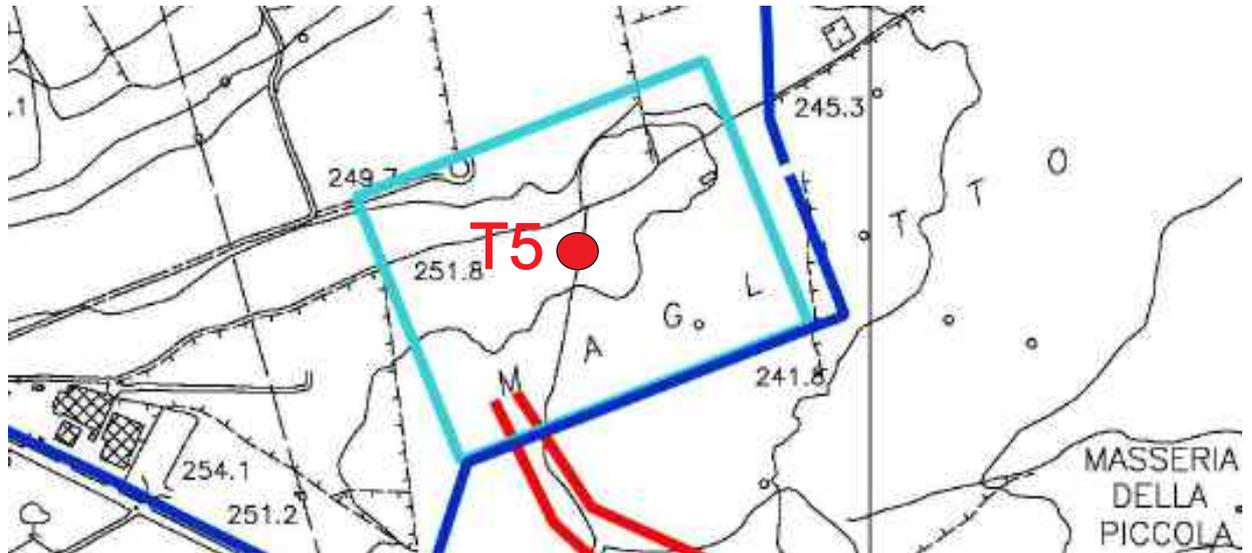
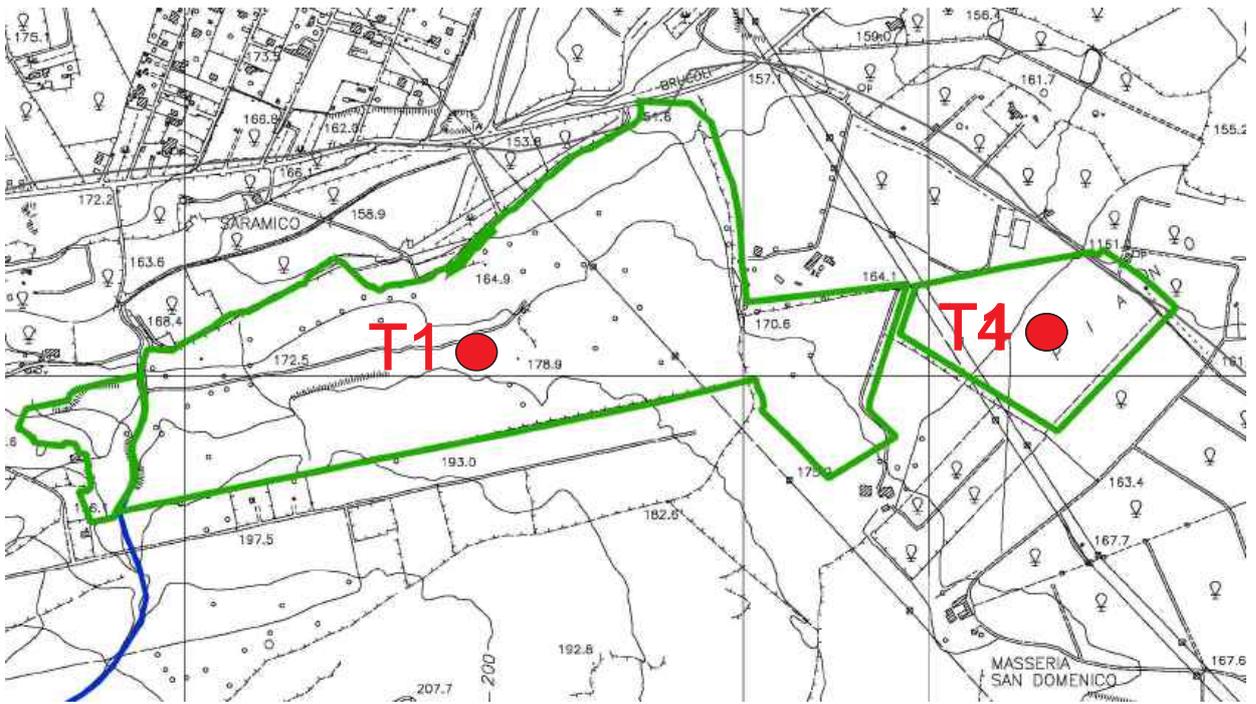
- ⇒ V_0 è la velocità al tetto dello strato;
- ⇒ a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ⇒ ν la frequenza fondamentale di risonanza.

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

Le ubicazioni dei sondaggi eseguiti sono visibili nella planimetria allegata.

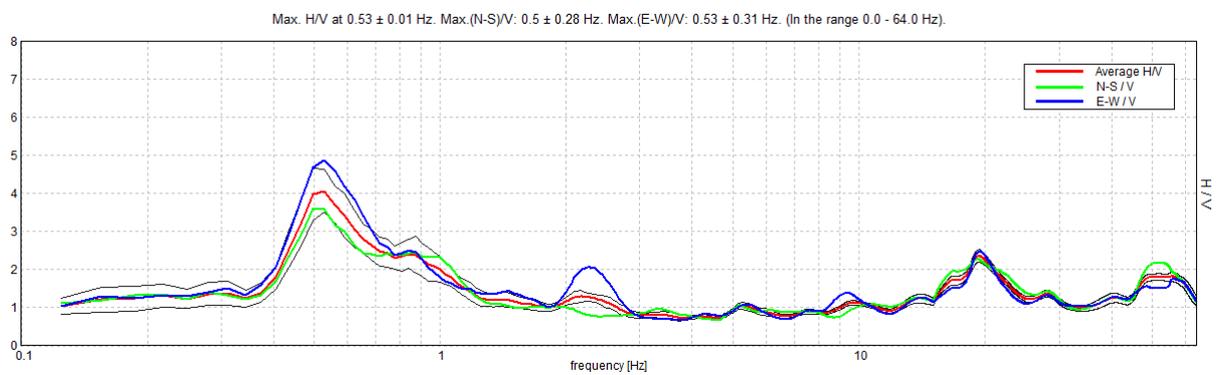
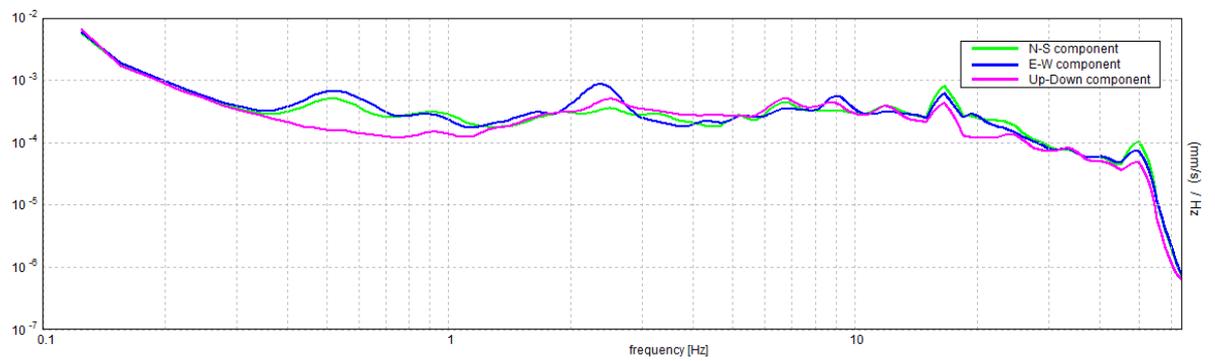
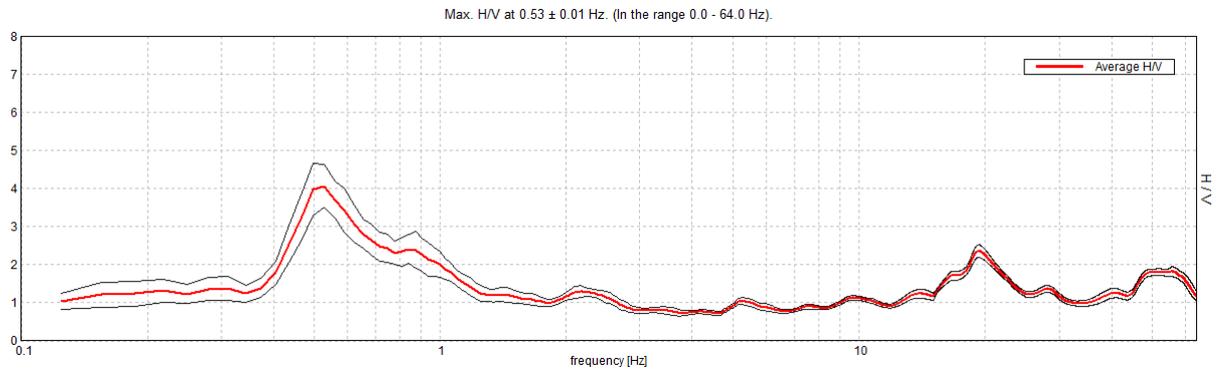
Di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

CARTA CON L'UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE



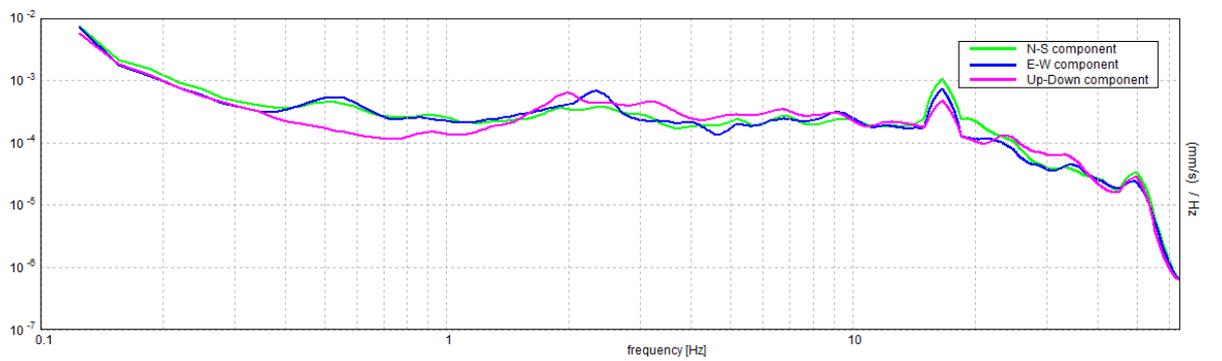
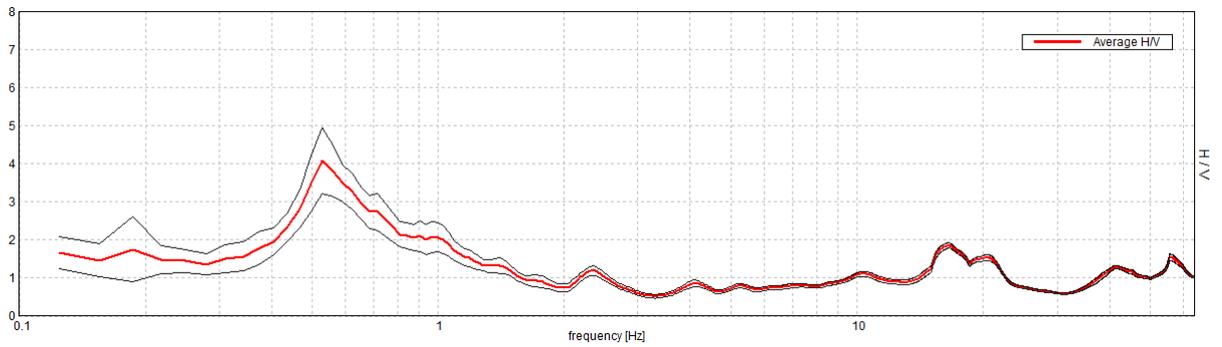
T1 ● Indagini di sismica passiva a stazione singola

Sondaggio T1

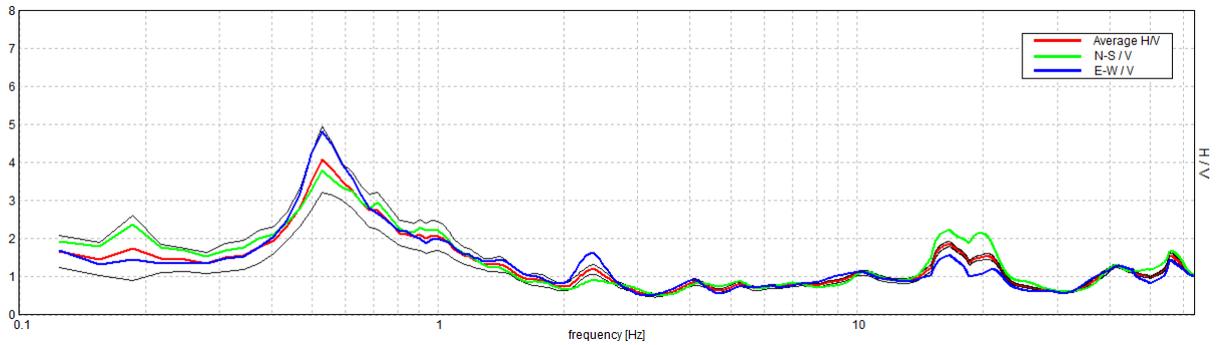


Sondaggio T2

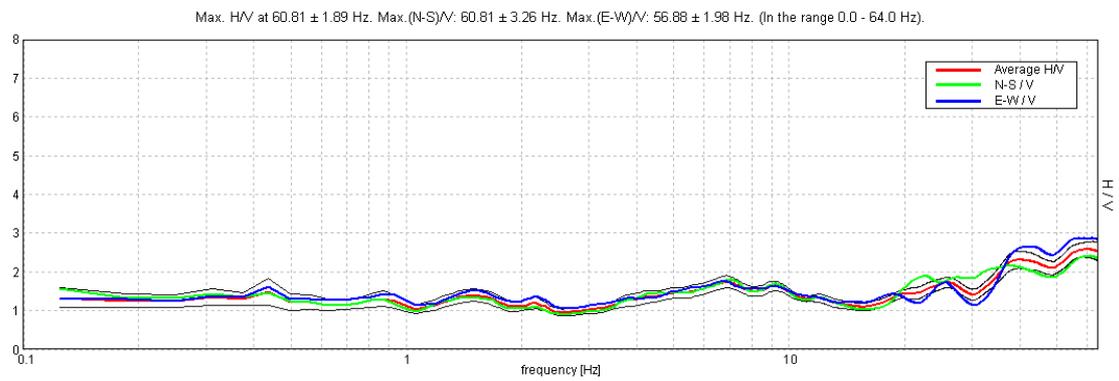
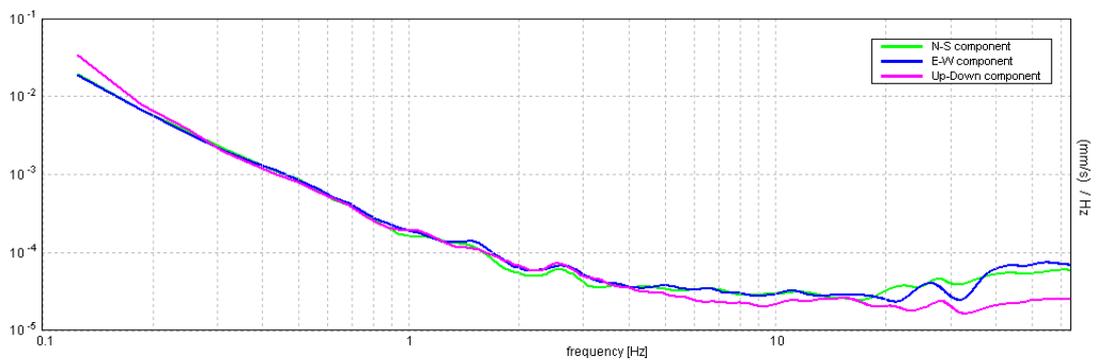
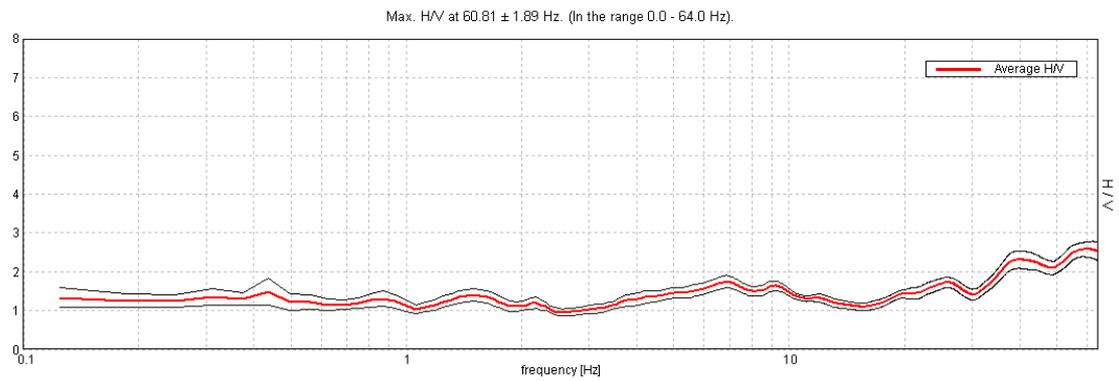
Max. H/V at 0.53 ± 0.11 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 0.53 ± 0.11 Hz. Max.(N-S)/V: 0.53 ± 0.18 Hz. Max.(E-W)/V: 0.53 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

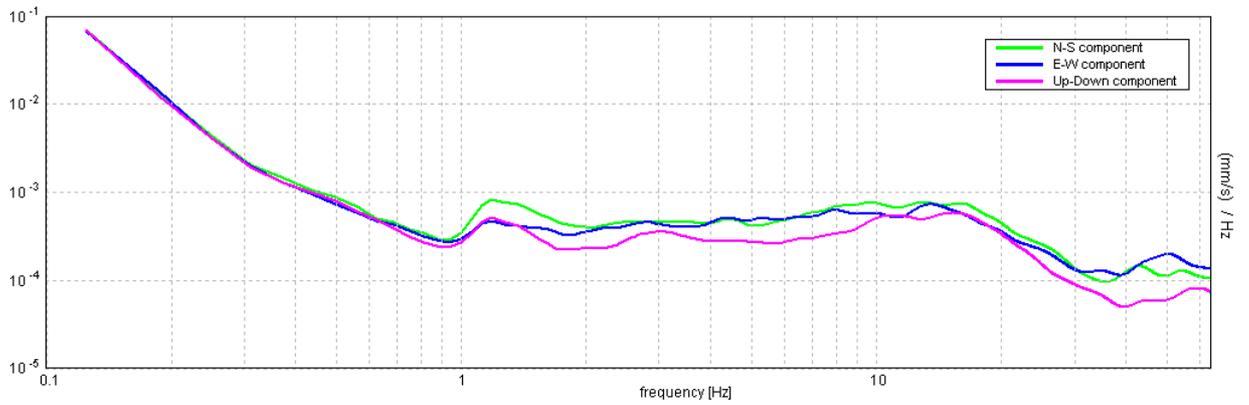
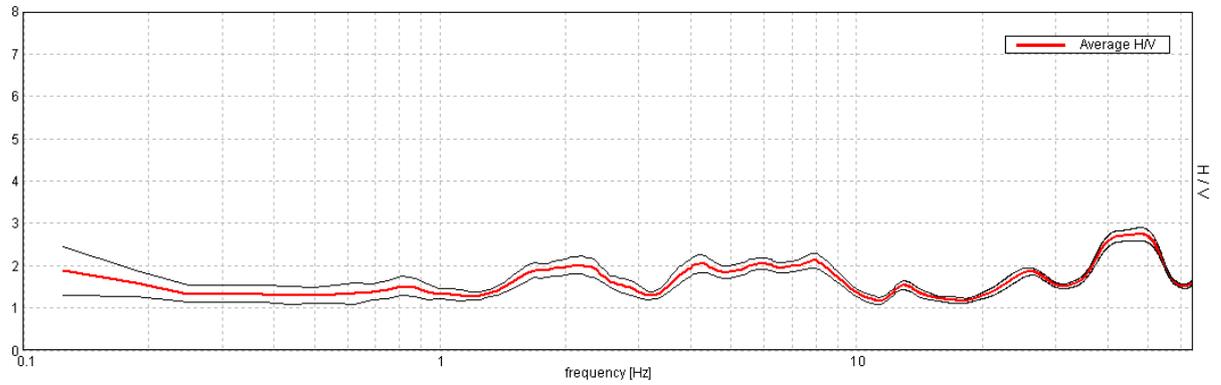


Sondaggio T3

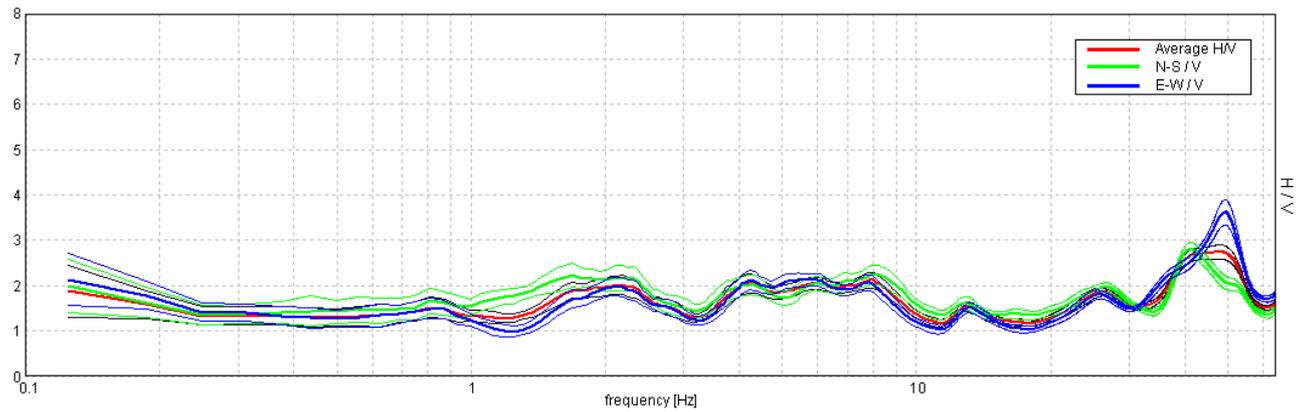


Sondaggio T4

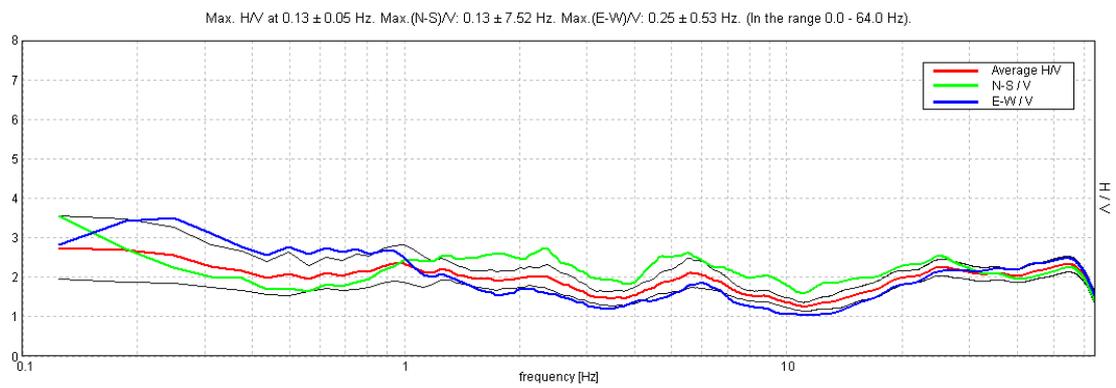
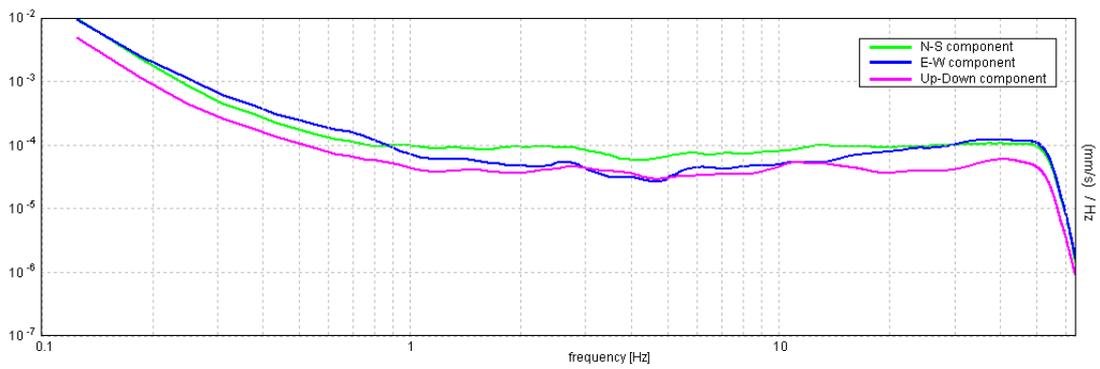
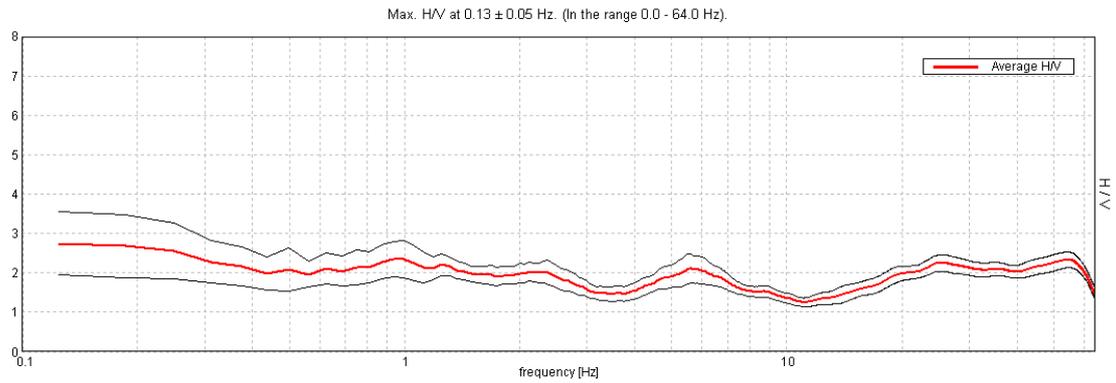
Max. H/V at 47.81 ± 0.47 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 47.81 ± 0.47 Hz. Max. (N-S)/V: 41.25 ± 3.0 Hz. Max. (E-W)/V: 49.31 ± 0.34 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Sondaggio T5 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

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

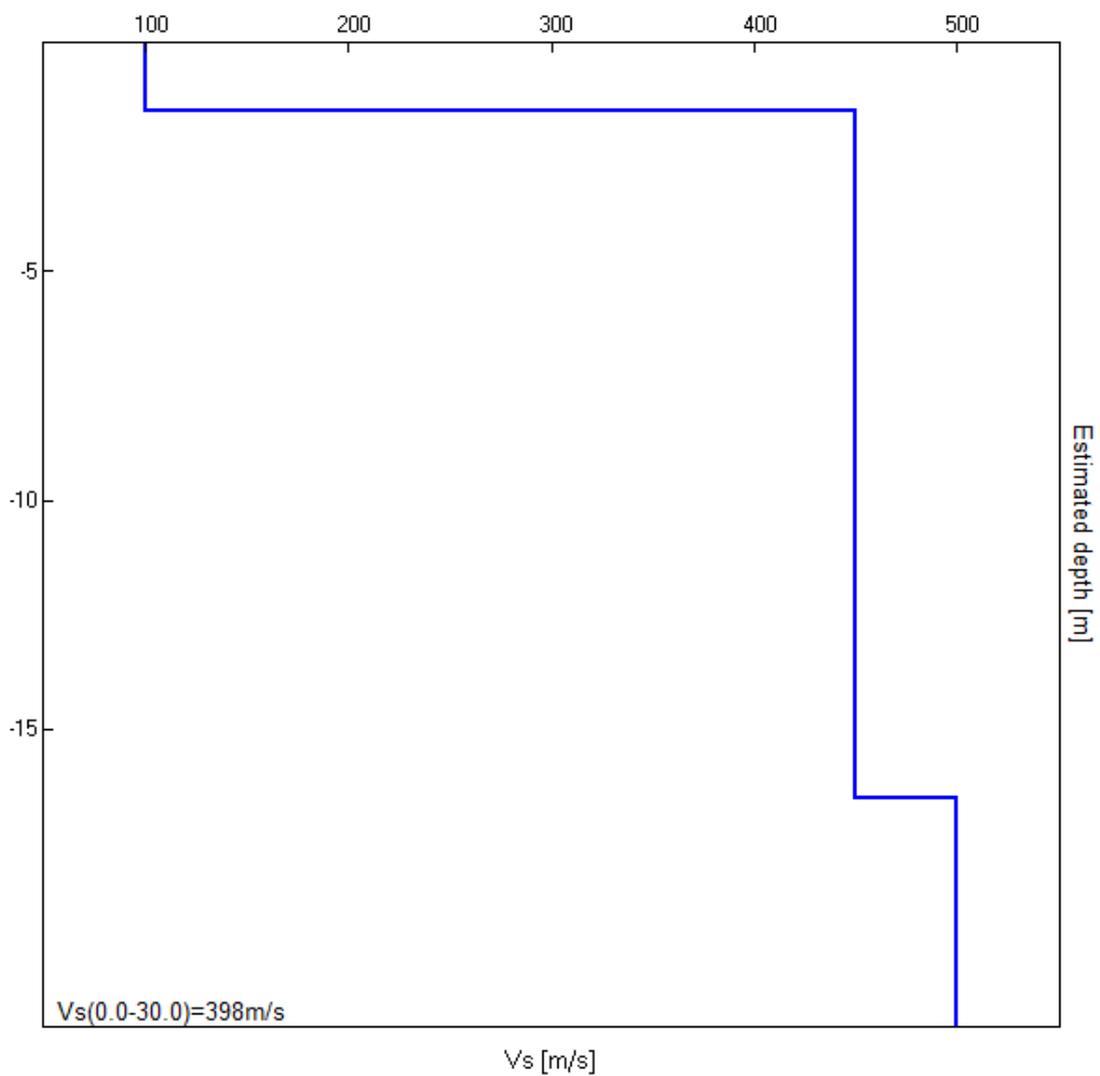
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

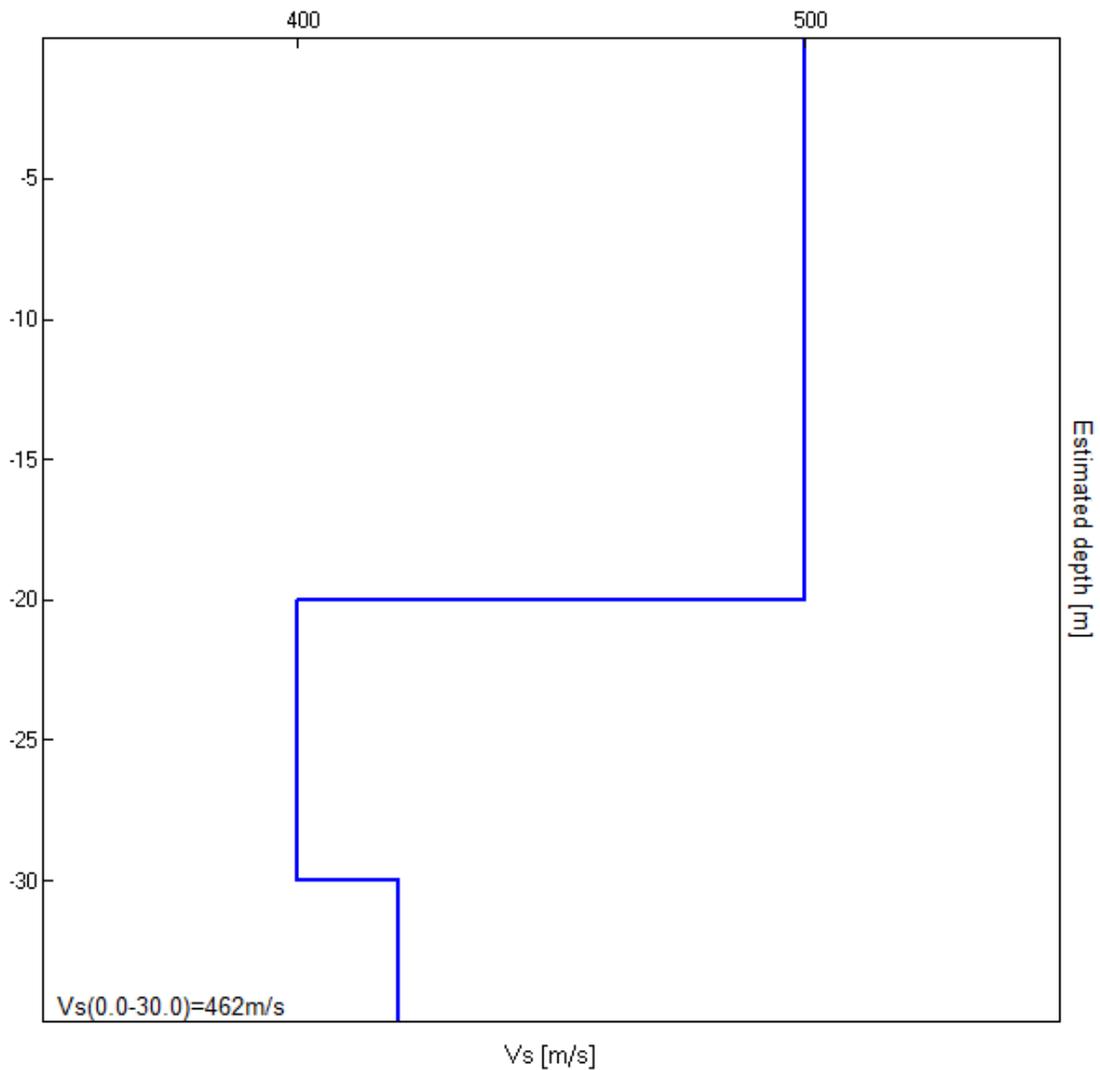
Sondaggio T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-1.50	100	D	B (Vs,eq=398 m/s)
1.50-13.50	450	B	
13.50-30.00	500	B	



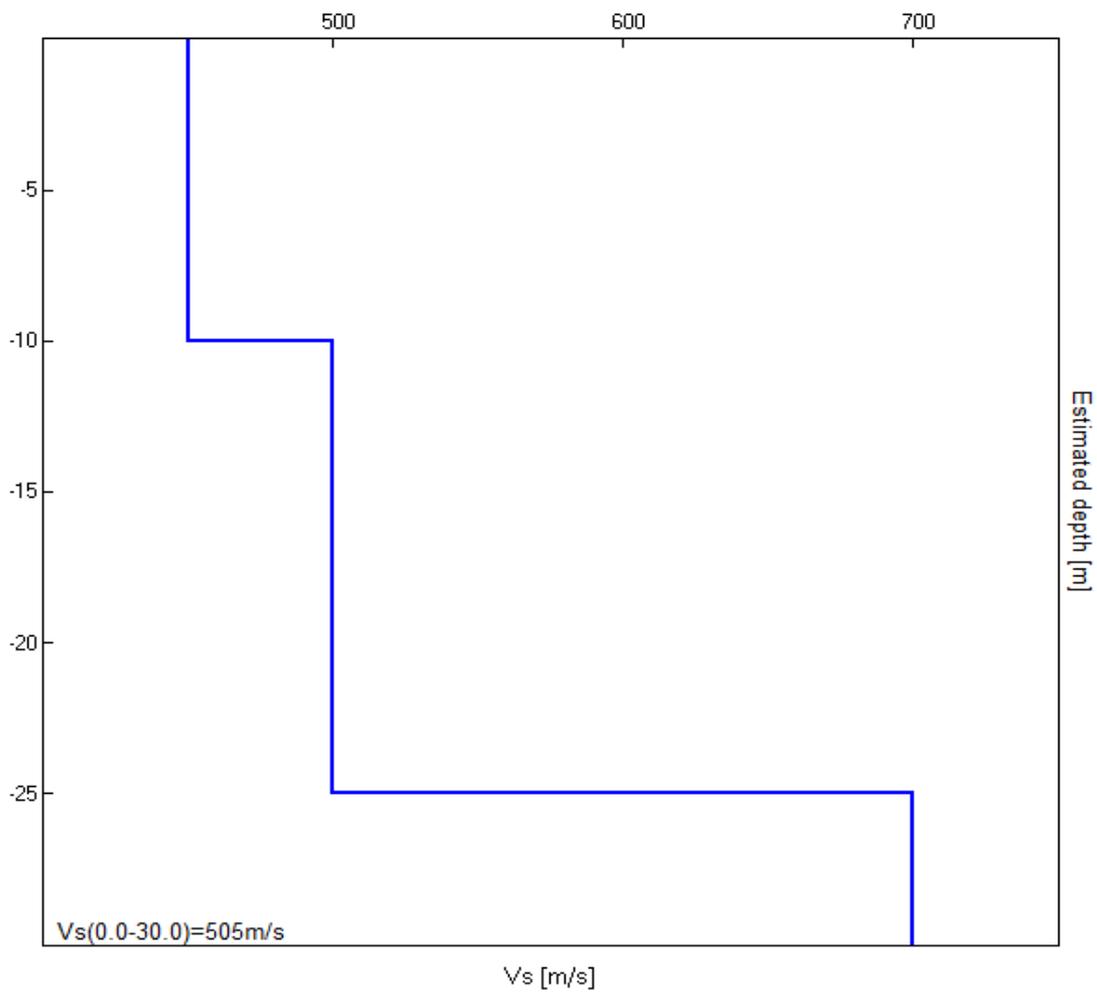
Sondaggio T2

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 20.00	500	B	B (Vs,eq =462 m/s)
20.00 – 30.00	400	B	
30.00 – 40.00	420	B	



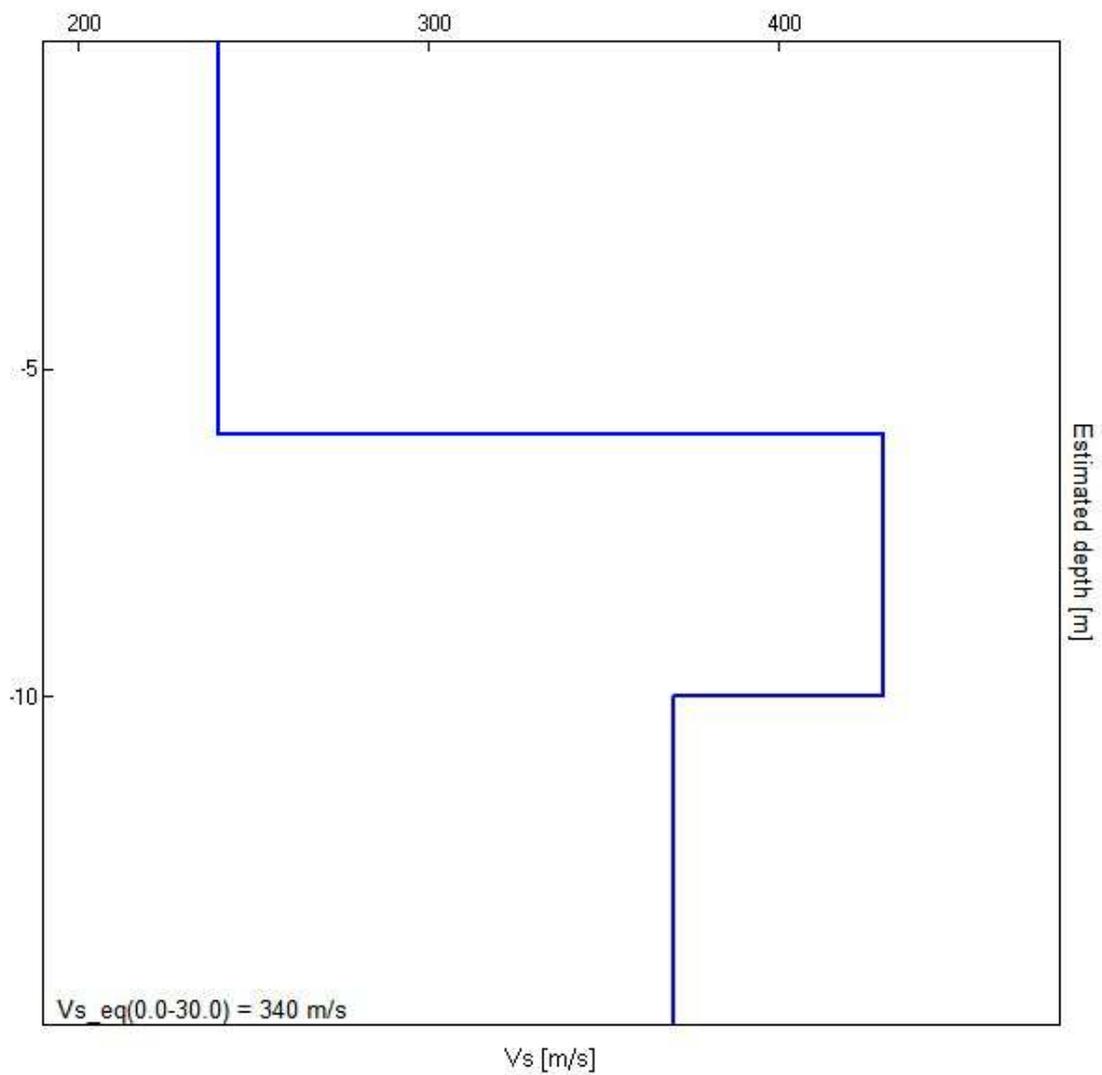
Sondaggio T3

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 10.00	450	B	B (Vs,eq =505 m/s)
10.00 – 25.00	500	B	
25.00 – 30.00	700	B	



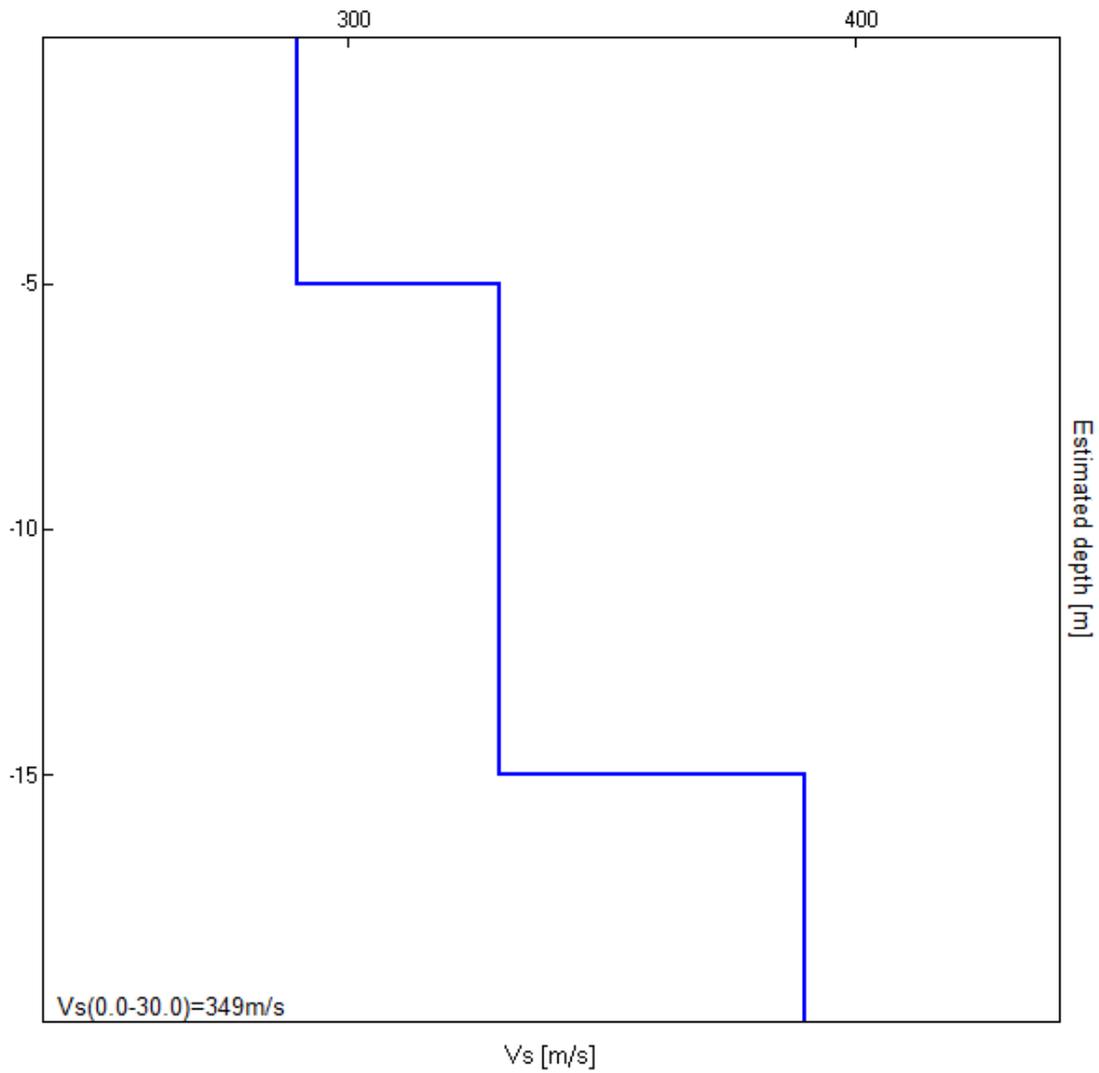
Sondaggio T4

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 6.00	240	C	C (Vs,eq = 340 m/s)
6.00 – 10.00	430	B	
10.00 – 30.00	370	B	



Sondaggio T5 sott

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00-5.00	290	C	C (Vs,eq=349 m/s)
5.00-15.00	330	C	
15.00-30.00	390	B	



7. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 2. 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 Sicilia (DGR 408 del 19/12/2003).

La sismicità dell'area va interpretata nell'ambito della sismicità di tutta la fascia orientale dell'Isola.

Esiste nella letteratura tutta una serie di notizie relative ad eventi sismici che hanno fatto sentire il proprio effetto in zona.

Sono stati, pertanto, presi in considerazione tutti i terremoti (catalogo delle mappe isosismiche dei terremoti verificatisi in Sicilia e Calabria) con intensità M.S.K. pari o superiore a 3, avvenuti nella regione durante il periodo compreso tra il 1783 ed il 1973 (Barbano, Cosentino, Lombardo, Patanè, Novembre 1980).

I terremoti considerati ai fini della valutazione di cui trattasi, sono quelli che hanno fatto registrare, nell'area di interesse, effetti di intensità (I M.S.K. - 64) pari o superiore a 3 nella scala proposta da Medvedev, Sponhauer e Karnik, raggruppati in funzione delle relative aree sismo-genetiche.

<u>Regione Peloritani e Calabria</u>	<u>Intensità I. M.S.K</u>
28/12/1908	6
<u>Costa Tirrenica Siciliana</u>	
08/03/1823	6
16/03/1892	3
31/10/1893	3

15/08/1908	4.5
11/09/1934	5
31/10/1967	5
05/06/1977	5
15/04/1978	4
<u><i>Catena degli Iblei</i></u>	
23/12/1959	5

N.B. Le intensità si riferiscono agli effetti registrati in zona e non alle relative intensità epicentrali.

Inoltre da evidenziare che la zona è stata coinvolta dai seguenti ulteriori terremoti:

- Catania - Febbraio 1169 con intensità X (scala Mercalli)
- Val di Noto - Gennaio 1693 con intensità VII-VIII (scala Mercalli)
- Etna - Febbraio 1818 con intensità IV (scala Mercalli);
per continuare con quelli più recenti della Val di Noto.

Si ritiene, quindi, ragionevole attuare nel territorio una razionale politica di difesa dai terremoti.

In tal senso 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 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 in nostro possesso ed eseguite nell'ambito di questo lavoro i terreni presenti appartengono:

1) in corrispondenza di una porzione del sottocampo 1 e della sottostazione 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”.

2) in corrispondenza di una porzione del sottocampo 2 ed in una porzione del sottocampo 1 alla ***Categoria B “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.***

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 per la realizzazione dell'impianto si ritiene opportuno eseguire, nelle successive fasi di progettazione, le indagini di seguito elencate.

In corrispondenza di ciascun sub-campo fotovoltaico:

- ✓ n. 6 sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza del sottocampo 1;
- ✓ n.5 sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza del sottocampo 2;
- ✓ prelievo di n. 2 campioni indisturbati per ogni sondaggio sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 10 S.P.T. in foro;
- ✓ n. 8 indagine di sismica attiva “Masw”;

In corrispondenza della sottostazione:

- ✓ n. 2 sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 30 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. 10 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 3 situazioni geologicamente diverse ed in particolare:
 - ✓ nelle aree dove affiora la Fm. Militello Val di Catania (ampie porzioni dei sottocampi 1 e 2) i terreni di sedime i litotipi rappresentati basalti tholeiitici di colore nero e fratturati (vedi colonna stratigrafica tipo);
 - ✓ nelle aree dove affiorano i depositi alluvionali (sottostazione) i litotipi di sedime sono rocce prevalentemente sciolte costituite da ghiaie, sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi. Si presentano generalmente scarsamente addensate e sature. I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale e sovrastano i litotipi del Complesso argilloso (vedi colonna stratigrafica tipo),
 - ✓ nelle aree dove affiora il Complesso argilloso pleistocenico (porzione del sottocampo 1) i litotipi di sedime sono argille, argille siltoso-marnose, a struttura omogenea. Si presentano alterate per i primi 5- 6 m di profondità. I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale (vedi colonna stratigrafica tipo).
- le condizioni di stabilità dell'area 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.) che esclude tale area da qualunque fenomenologia di dissesto e di rischio geomorfologico ed idraulico;
- per quanto riguarda il livello piezometrico della falda si può dire che:
 - ⇒ dove affiora il complesso argilloso (porzione del sottocampo 1) non è presente alcuna falda freatica ma lo strato superficiale di argille alterate nei periodi di piogge intense si presenta satura e può essere sede di livelli idrici a carattere stagionale;
 - ⇒ dove affiora la Fm. Carlentini (porzione del sottocampo 1) il livello piezometrico della falda presente si attesta a una quota pari a circa 10 m dal p.c.
 - ⇒ dove affiorano i depositi alluvionali (area sottostazione) il livello piezometrico della falda presente si attesta a una quota pari a circa 3 m dal p.c.
 - ⇒ dove affiora la Fm. Carlentini (porzione del sottocampo 2) il livello piezometrico della falda presente si attesta a una quota pari superiore a 15 m dal p.c.

- 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:
- 1) in corrispondenza di una porzione del sottocampo 1 e della sottostazione 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”**.
 - 2) in corrispondenza di una porzione del sottocampo 2 ed in una porzione del sottocampo 1 alla **Categoria B** **“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s**.
- i terreni interessati dalle opere in progetto sono dall'alto verso il basso:
- ✓ *Terreno vegetale;*
 - ✓ *Depositi alluvionali;*
 - ✓ *Complesso argilloso;*
 - ✓ *Complesso argilloso pliocenico;*
- non esistono pericolosità geologiche e sismiche che possano ostare 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 com-

plesso alluvionale si rende necessario eseguire, in fase di progettazione esecutiva calcoli del coefficiente di liquefazione sito-specifico per ogni sub parco;

- 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.

Il Geologo

Dott. ~~Qualiero~~ Bellomo

