

REGIONE SICILIA

Livello di progettazione/Level of design

Progetto Definitivo

Oggetto/Object

PROGETTO OLYMPIA

Realizzazione impianto fotovoltaico in area agricola

Elaborato/Drawing

RELAZIONE GEOLOGICA

Formato/Size A4	Scala/Scale	---	Codice/code	MITEPUAREL013A0	
	Data/Date	30/11/2021			
	Nome file/File name	MITEPUAREL013A0.pdf			
Revision	00	Date	30/11/2021	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

GGP SOLAR 1 S.R.L.

VIA Romagnosi, 96, 96014, Florida (SR)
P.IVA: 02013720897

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>	9
4.	<i>CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI</i>	20
5.	<i>LIQUEFAZIONE DEI TERRENI</i>	22
6.	<i>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA</i>	30
7.	<i>CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO</i>	48
8.	<i>CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGET- TAZIONE ESECUTIVA</i>	54
9.	<i>CONCLUSIONI</i>	55

REGIONE SICILIA
COMUNE DI MONREALE (PA)

PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO
OLYMPIA

Committente: GGP SOLAR 1 S.R.L.

RELAZIONE GEOLOGICA

1. PREMESSE

Il presente studio geologico-idrogeologico 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 ed indagini geofisiche 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 quelli derivanti dai sopralluoghi e dalle indagini eseguite per il presente lavoro e 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:

- ❖ carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica in scala 1/10.000 fuori testo;
- ❖ 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;
- ❖ 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:

⇒ **DETRITO DI FALDA (Olocene)**: è costituito da numerosi inclusi di natura calcarea, di colore grigio-biancastro immersi in una matrice limo-sabbiosa di colore bruno-rossiccio. Gli elementi ghiaiosi in essa contenuti risultano spigolosi e di dimensioni variabili da pochi centimetri a frequenti blocchi di qualche metro cubo. Quando il detrito è cementato si presenta come una vera e propria breccia calcarea.

Interessa direttamente le strutture di fondazione dell'impianto.

⇒ **DEPOSITI ALLUVIONALI (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 ghiaie, sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi palustri. Generalmente si presentano scarsamente addensate e dove prevalgono i limi sabbiosi e torbosi sono compressibili e molto plastici. Interessano direttamente una limitata area dell'impianto.

MARNE DI SAN CIPIRELLO (Langhiano sup. - Tortoniano inf.): in generale si tratta di marne argillose e sabbiose, grigio-azzurrognole, ricche di plancton calcareo. Verso l'alto sono presenti livelli arenacei

intercalati, mal classati, prevalentemente quarzosi. Interessano direttamente le strutture di fondazione dell'impianto.

⇒ **FORMAZIONE FLYSCH NUMIDICO - Membro di Portella Colla (Chattiano-Aquitano):** In generale, questa formazione geologica è data, in tutta la sua estensione verticale da un'alternanza di peliti ed argilliti brune manganesifere e di quarzareniti gradate di colore grigio-giallastre o rossastre. In generale nella parte bassa della formazione predominano le argille brune, nella parte mediana le quarzareniti mentre la parte superiore è caratterizzata da argille siltose o marnose grigio-azzurre con intercalazioni di livelli sabbiosi e quarzarenitici. Le argille brune di base sono a struttura scagliosa, con superfici lucide e con striature dovute a sforzi tettonici. La stratificazione non è evidente, la giacitura è caotica e sono presenti intercalazioni di livelli sabbiosi. Le quarzareniti sono, invece, a grana medio-grossolana fortemente cementate da cemento siliceo secondario. Tra i vari banchi si ritrovano intercalazioni di argille siltose grigio scure sottilmente stratificate. Le argille siltose o marnose che costituiscono la parte terminale del deposito sono, generalmente, omogenee, compatte, prive di stratificazione evidente. Nella formazione flyscoide sono, inoltre, presenti estesi fenomeni di slumpings intraformazionali e corrugamenti disarmonici.

Interessano direttamente le strutture di fondazione dell'impianto e della sottostazione.

⇒ **FORMAZIONE POLIZZI (Eocene sup.):** si tratta di calcilutiti marnose bianche localmente laminate e sottili livelli di biocalcareniti a macroforaminiferi. Interessa direttamente le strutture di fondazione dell'impianto;

ARGILLE VARICOLORI INFERIORI (Maastrichtiano): si tratta di argille ed argilliti varicolori localmente laminate, fissili o scagliettate, spesso tettonizzate. A luoghi si intercettano marne di colore rosso-verdastre. Non interessano direttamente le strutture di fondazione dell'impianto e della sottostazione;

FORMAZIONE INICI (Hettanghiano-Sinemuriano): si tratta di calcari e calcari dolomitici bianchi ad alghe e molluschi, alternati a calcari stromatolitici e loferitici in banchi. verso l'alto si può riscontrare la presenza di calcareniti oolitico-bioclastiche con alghe, foraminiferi, gasteropodi e crinoidi. Interessa direttamente le strutture di fondazione dell'impianto.

In conclusione, nelle aree direttamente interessate dal progetto sono individuabili situazioni geologicamente diverse.

In particolare:

⇒ **SOTTOCAMPO OLYMPIA 1 e STAZIONE DI UTENZA:** in queste aree affiorano prevalentemente le argille e le marne argillose grigiastre, più o meno sabbiose afferenti alla Fm. Flysch Numidico. La frazione alterata superficiale avente spessore medio pari a circa 5 m è costituita da argille, argille limose a struttura alterata, plastiche e scarsamente consistenti. Detti terreni ricoprono il substrato inalterato che si presenta costituito da argille e marne di colore grigio azzurro, consistenti, a struttura scagliettata e a frattura sub-concoide. In una limitata area interessata dai pannelli fotovoltaici il terreno di sedime sarà costituito dalle argille varicolori che si presentano alterate per uno spessore pari a circa 5 m alterate, plastiche e

scarsamente consistenti. La frazione inalterata si presenta a struttura omogenea da mediamente consistenti a consistenti.

⇒ **SOTTOCAMPO OLYMPIA 2:** in questo sottocampo affiora prevalentemente la frazione argillosa della Fm. Flysch Numidico ed in parte delle Marne di San Cipirello. In alcune limitate aree sono presenti piccoli affioramenti calcilutitici e calcarei afferenti alla Fm. Polizzi ed alla Fm. Inici. Si tratta di porzioni limitate arealmente, come visibile nella carta geologica allegata, ma di interesse per l'istallazione dei pannelli essendo di natura lapidea. Gli spessori risultano limitati a qualche metro.

La frazione argillosa della Fm. Flysch Numidico si presenta come descritta nel sottocampo Olympia 1 mentre le marne di San Cipirello sono costituite da argille sabbiose ed argille marnose di colore beige, scarsamente consistenti e plastiche nei primi 5-6 m di profondità. Detti terreni ricoprono la frazione argillosa inalterata che si presenta consistente ed a struttura omogenea.

I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale.

3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDRO- GEOLOGICHE

Nell'area vasta l'habitus geomorfologico è piuttosto irregolare e costituito da un paesaggio contraddistinto da formazioni geologiche di varia natura litologica.

Risulta molto tormentato e caratterizzato da strette valli che convergono in ampie vallate circondate da rilievi a differente andamento.

Infatti, da un lato le litologie di tipo pseudocoerente, che sono rappresentate dai termini argillosi, affiorano in corrispondenza di rilievi dall'andamento dolce, dall'altro quelle coerenti, ovvero le litologie calcaree, danno luogo a rilievi molto più acclivi e dall'andamento accidentato.

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

- ❖ una zona nella quale affiorano i termini argillosi caratterizzata da rilievi collinari a morfologia arrotondata con versanti da poco a mediamente acclivi, spesso caratterizzati da fenomeni geodinamici legati ad attività erosiva concentrata o diffusa;
- ❖ una zona in cui affiorano i termini calcarei, caratterizzata da rilievi acclivi a morfologia piuttosto accidentata, con frequenti rotture di pendenza e generalmente stabili;
- ❖ una zona di fondovalle dove affiorano i termini alluvionali 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 morfo-

climatico 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 esplicitato e tutt'ora esplicano 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, come desumibile dal rilievo aerofoto-geologico.

Per quanto concerne le forme geodinamiche 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 dalle pubblicazioni scientifiche, sono state individuate alcune aree coinvolte da fenomeni morfogenetici prevalentemente di tipo “Deformazione superficiale lenta”, così come confermato anche dal limitato spessore dello strato superficiale caratterizzato da basse velocità delle onde sismiche riscontrate durante l'esecuzione dei sondaggi sismici.

I fenomeni sopra citati, attivi o quiescenti hanno un livello di pericolosità P1, P2 e P3, sono esclusivamente legati all'azione delle acque

ed alla pendenza media dei versanti, essendo legati al fatto che la coltre superficiale si imbibisce durante i periodi di piogge prolungate e tende a muoversi sia pure con movimenti di massa lenti.

Ai sensi degli artt. 22 e 23 delle Norme di attuazione del P.A.I. redatte nell'anno 2021, 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.

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, alla presenza di affioramenti rocciosi 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 sia dove è prevista l'installazione dei pannelli fotovoltaici sia quelle in cui si è deciso di non installare i pannelli.

Riteniamo di prevedere:

- ❖ **Fascinate** che consistono nella "messa a dimora di fascine vive di specie legnose con capacità di riproduzione vegetativa".

Le fascinate sono utilizzate negli interventi di sistemazione dei

versanti con pendenza non superiore ai 30°-35°; con questo sistema si ottiene il rinverdimento ed il drenaggio superficiale dei pendii mediante la formazione di file di gradoni, disposti parallelamente alle curve di livello, nei quali sono sistemati delle fascine di astoni o ramaglia, possibilmente lunghi e dritti, prelevati da piante legnose con elevata capacità di diffusione vegetativa.

Le fascinate vive comprendono due tipologie costruttive differenziate in base al materiale vegetale impiegato:

- ⇒ fascinate vive con ramaglia;
- ⇒ fascinate vive con piantine.

Le fascinate vive con ramaglia comportano un ridotto movimento di terra; la loro realizzazione prevede lo scavo di solchi profondi da 0,3 a 0,5 m ed altrettanto larghi, dove si sistemano orizzontalmente le fascine di ramaglia, prelevate da specie legnose con buona capacità di propagazione vegetativa. In ogni sezione trasversale della fascina, dovranno essere presenti 5 verghe di almeno 1 cm di diametro, con punti di legatura distanti 70 cm l'uno dall'altro. La costruzione avviene fissando le fascine di ramaglia con paletti in legno vivo (pioppo o salici) o morto (castagno, larice etc) lunghi almeno 60-100 cm e diametro compreso tra 5 e 10 cm, infissi nel terreno attraverso la fascina o a valle di essa. Lo scavo viene quindi ricoperto con un leggero strato di terreno proveniente dagli scavi dei fossi superiori.

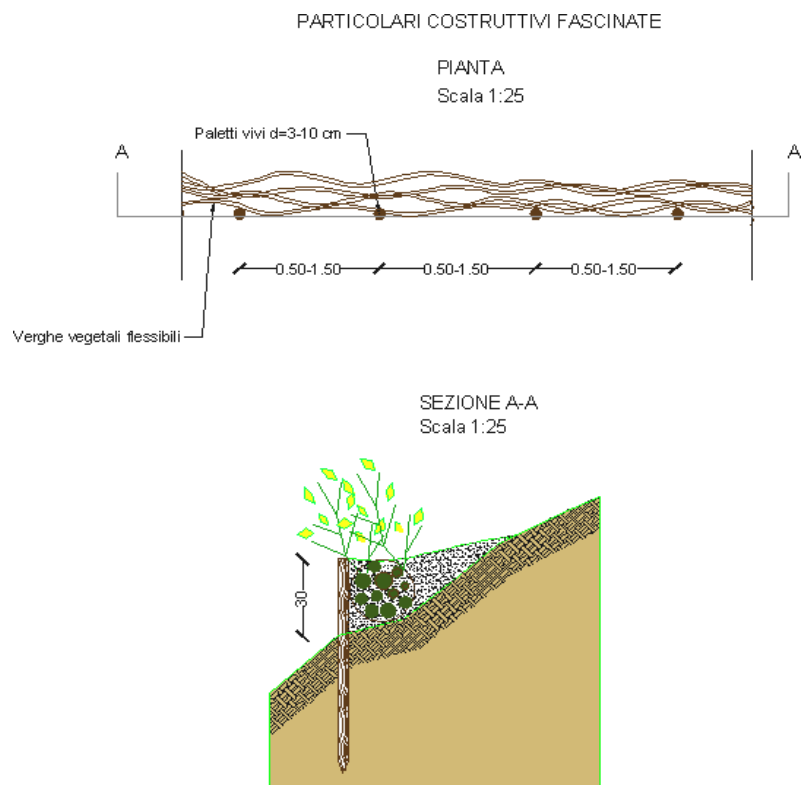
Le file di gradoni con le fascine di ramaglia sono eseguite orizzontalmente, secondo le curve di livello o con una leggera inclinazione obliqua rispetto al pendio per aumentare la capacità di deflusso delle acque superficiali e l'efficacia drenante del sistema. La distanza fra file successive si aggira mediamente intorno a 1,5-2 m. Una variante di questo sistema, applicata dove si richiede una maggiore efficacia

consolidante dell'intervento, prevede l'associazione delle fascine con viminate.

Nel caso di fascinata viva con piantine radicate di specie arbustive, l'esecuzione dell'intervento comporta alcuni accorgimenti e procedure diverse da quelle della tecnica precedente. Infatti le fascine di ramaglia sono più leggere e con un numero inferiore di verghe (3-6), i solchi sono più larghi di circa 10-15 cm e le piantine radicate sono messe a dimora in numero di circa 1-2 esemplari per metro.

Il solco, dopo la messa a dimora delle fascine e delle piantine, è riempito con il terreno, eventualmente ammendato, proveniente dagli scavi.

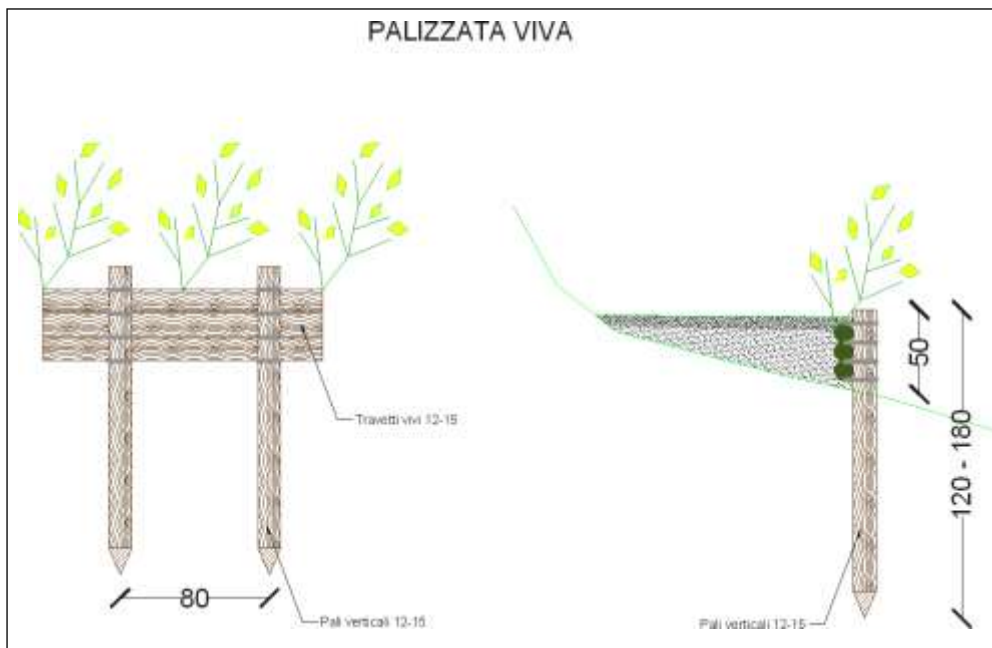
Le fascinate, come tutti gli altri interventi che impiegano materiali vivi, devono essere realizzate solo durante il periodo di riposo vegetativo.



❖ **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.

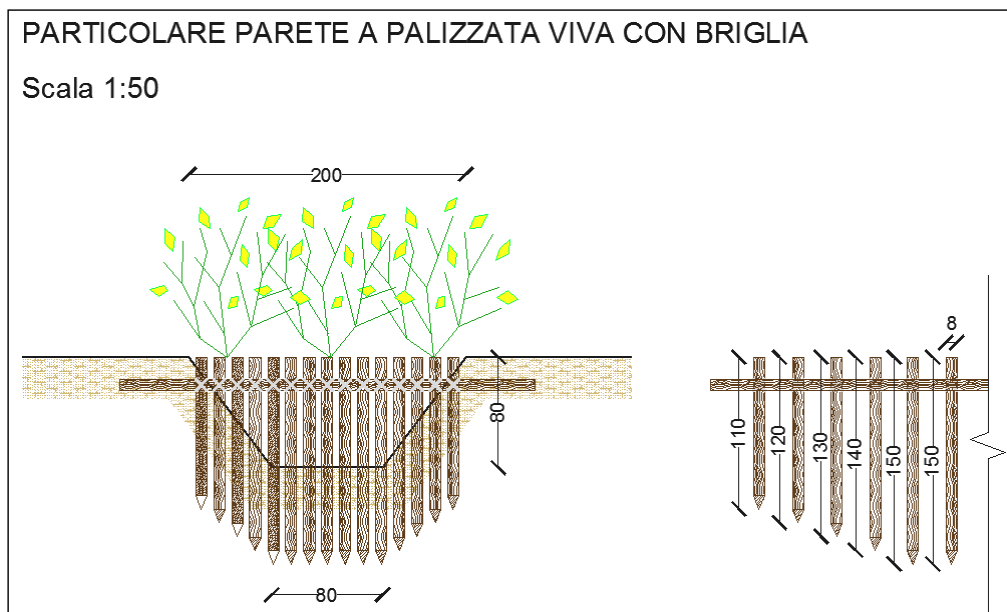
Con questo sistema si tende a rinverdire le scarpate attraverso la formazione di piccoli gradoni lineari, sostenuti dalle strutture di legno, che corrono lungo le curve di livello del pendio e dove, a monte, si raccolgono del materiale terroso.

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.



❖ **Palizzate vive a formare briglie:** E' possibile combinare le palizzate vive con briglie in legname, ottenendo particolari opere idrauliche in grado di garantire la stabilizzazione e la correzione del profilo del fondo (cioè della linea che individua l'andamento altimetrico del fondo) in impluvi, riducendo la pendenza media del corso d'acqua con l'inserimento di salti per rallentare la corrente; la trattenuta di materiale solido o legnoso trasportato dalle acque.

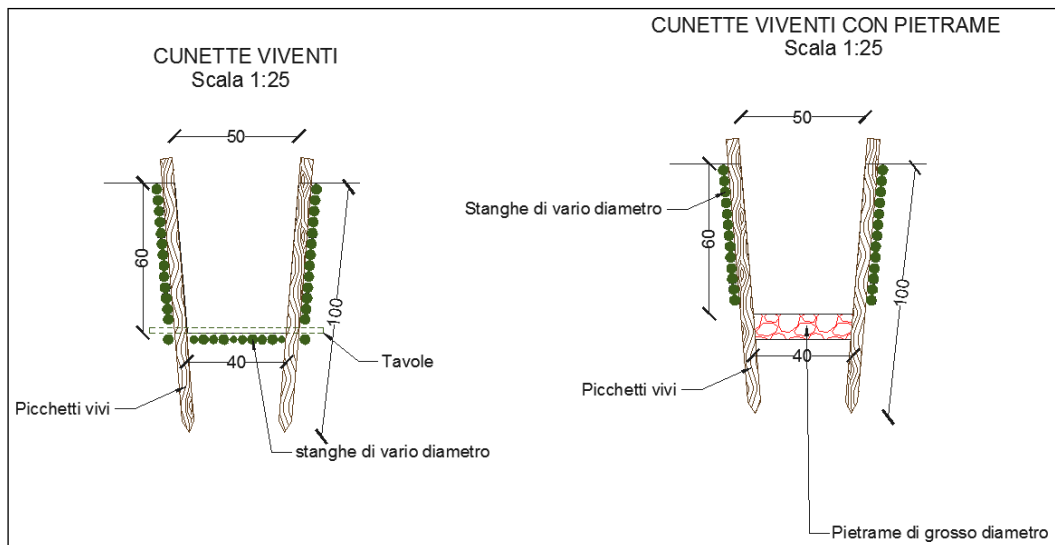
Le briglie vengono predisponendo un cassone di contenimento mediante incastellatura di pali in legno scortecciato, idoneo e durabile di latifoglia; hanno in genere una tipica sagoma a trapezio rovesciato, con la parte centrale ribassata rispetto alle parti laterali, per convogliare il deflusso delle acque da monte a valle del salto. Presentano buona adattabilità agli assestamenti dovuti a movimenti delle sponde e possono essere messe in opera anche in luoghi di difficile accesso.



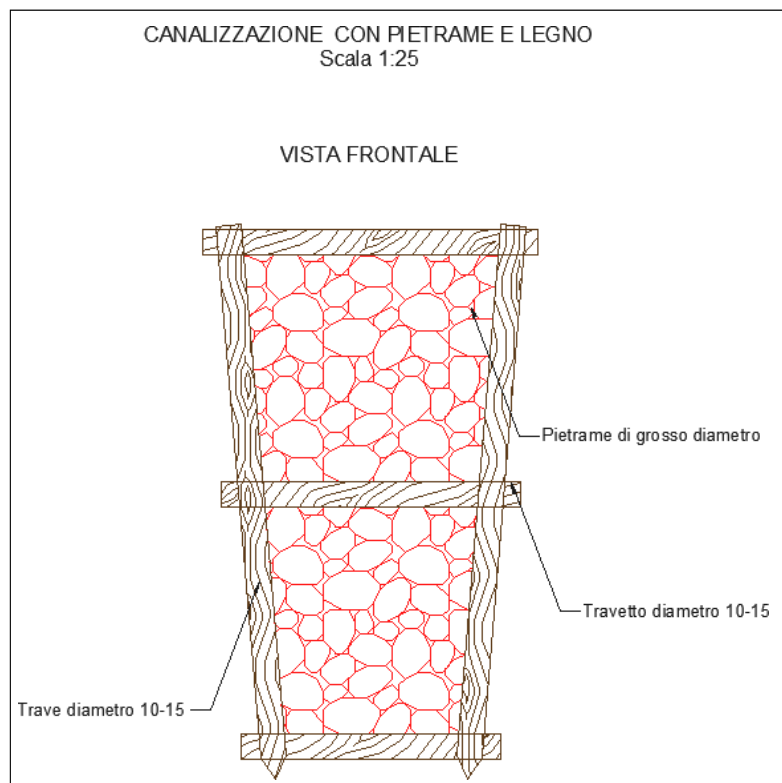
❖ **Cunetta vivente** Le cunette sono di norma pensate in terra. E' però importante sottolineare che nei tratti di maggiore pendenza l'acqua può destabilizzare la cunetta e con essa la strada. Pertanto si suggerisce l'adozione di cosiddette cunette viventi, maggiormente resistenti all'azione erosiva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

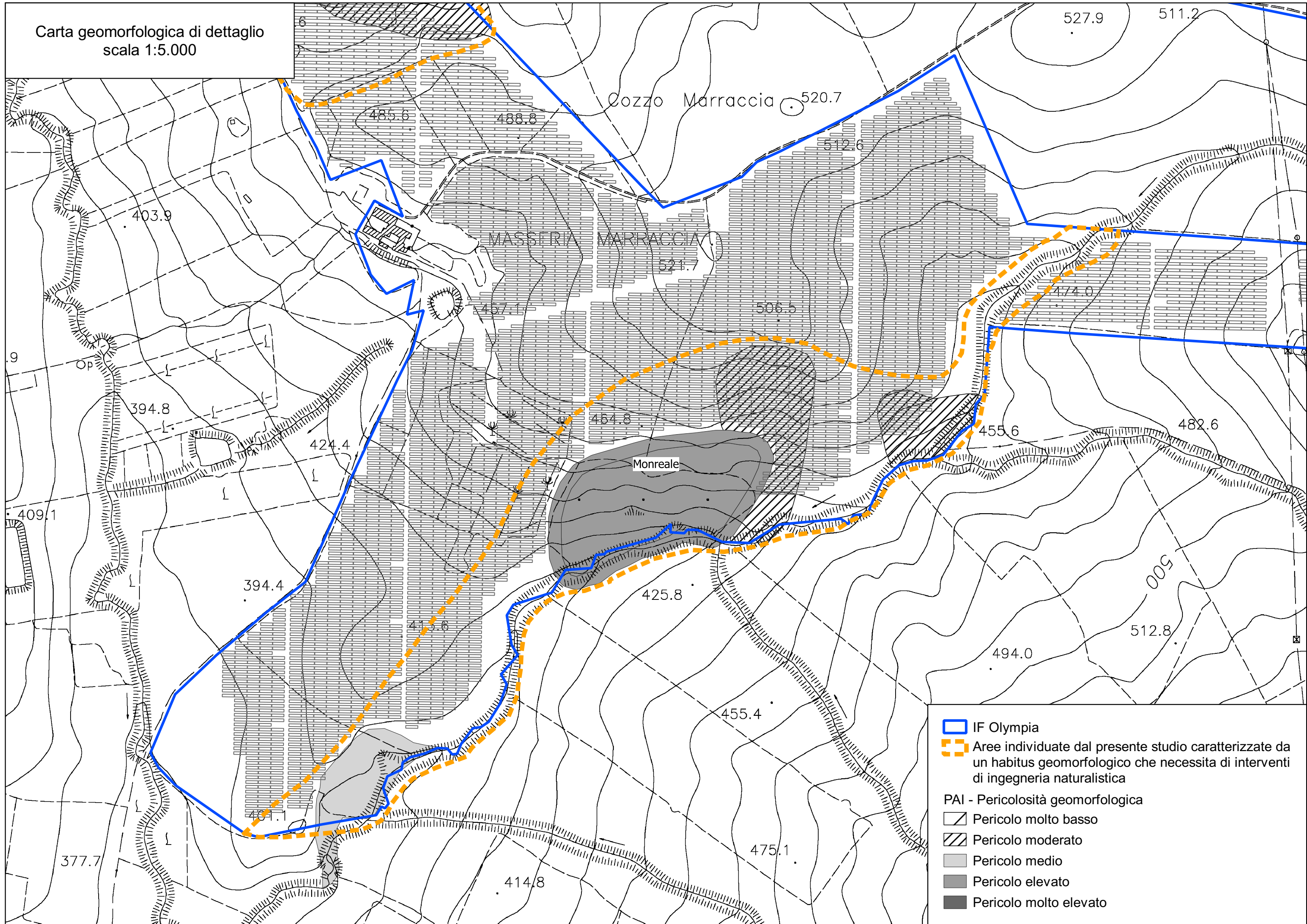
Esecuzione del lavoro: in un fosso a sezione trapezoidale vengono sistemati sul letto e sulle pareti del fosso, uno accanto all'altro, dei rami o delle stanghe vive in modo serrato, tenendoli fermi con pali vivi infissi nel terreno, ad intervalli da 2 a 4 m per mezzo di sagome in legno preparate in precedenza, 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.

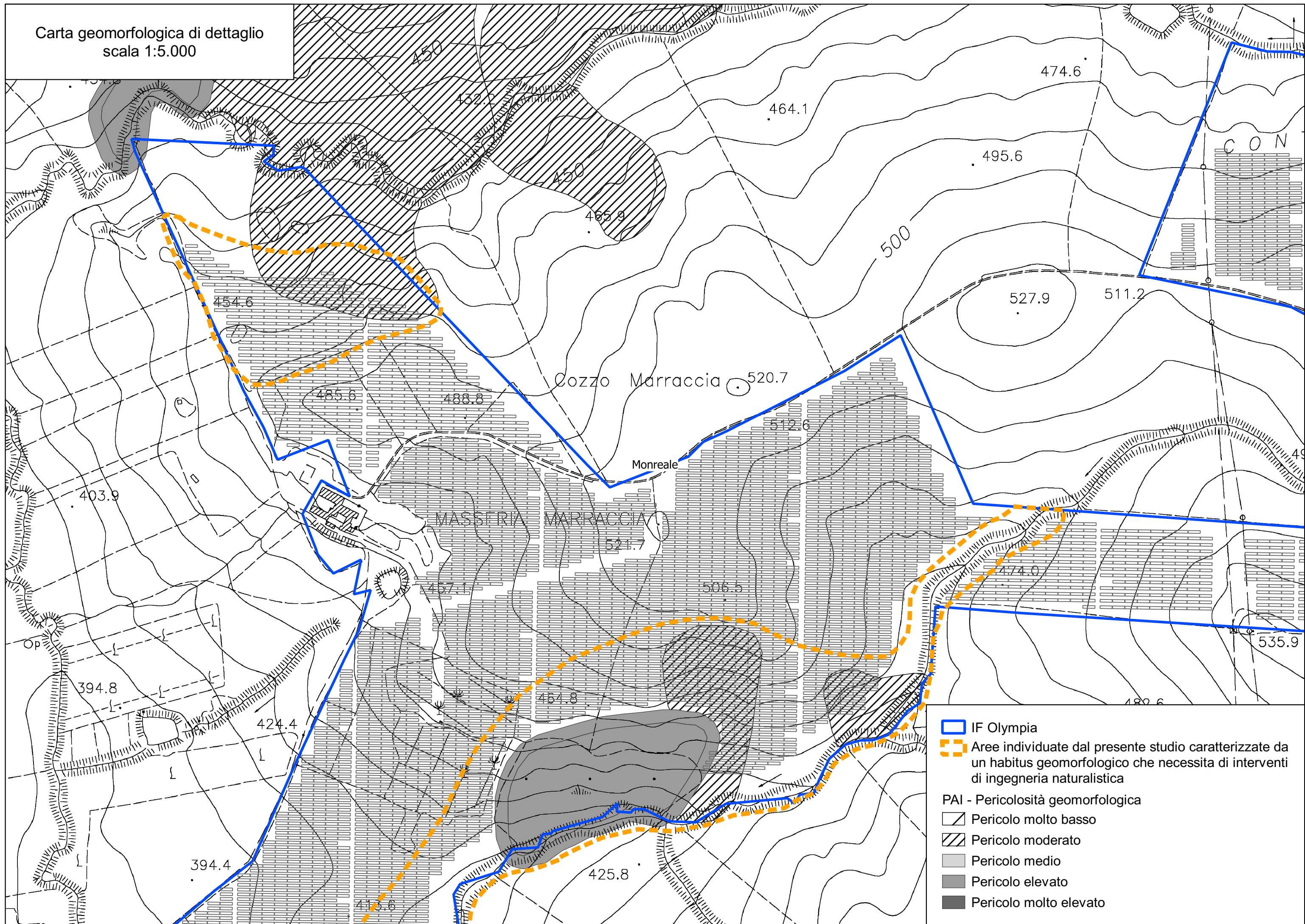



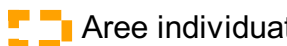
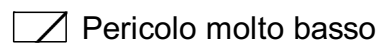



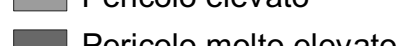
Carta geomorfologica di dettaglio
scala 1:5.000



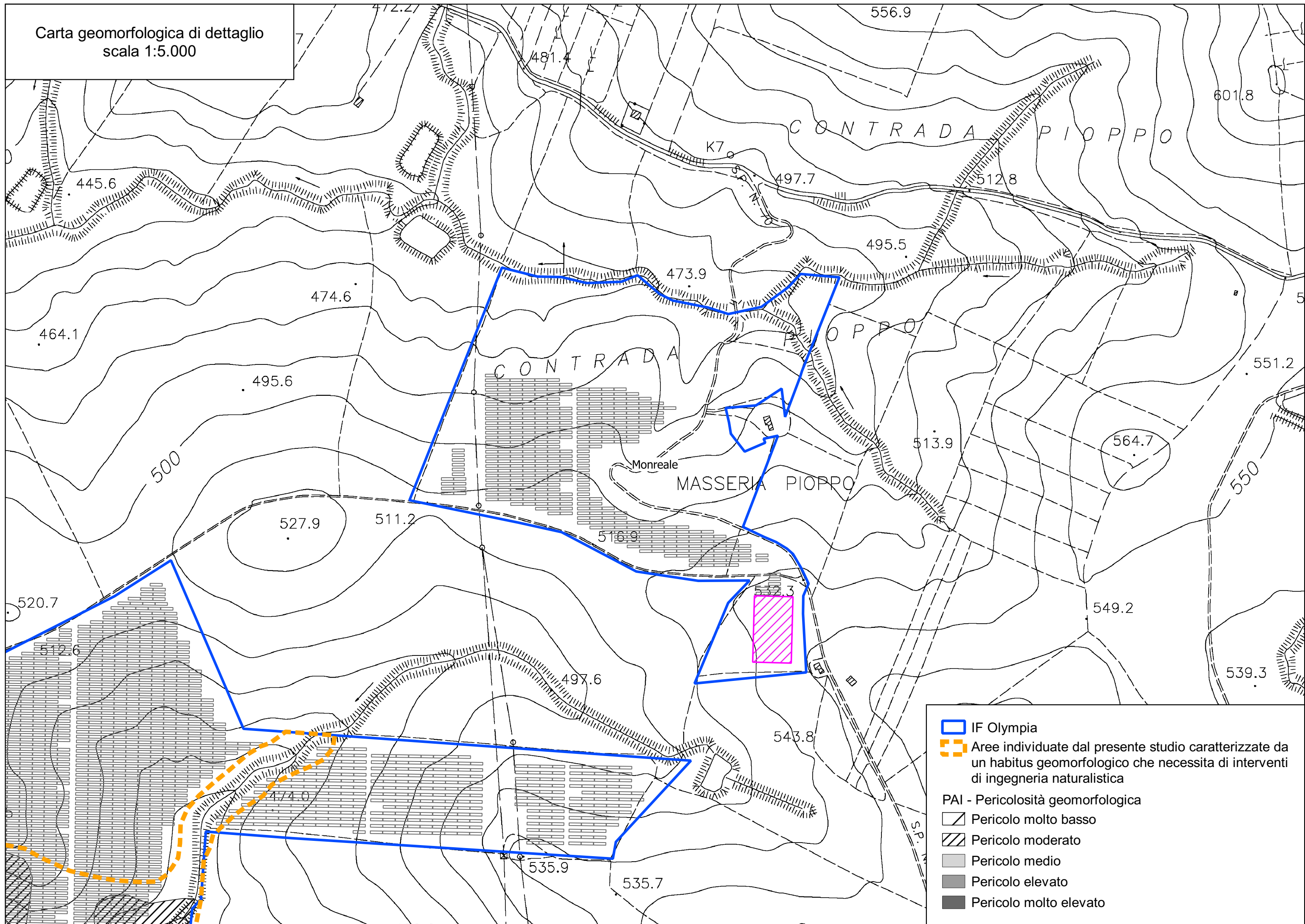
-  IF Olympia
-  Aree individuate dal presente studio caratterizzate da un habitus geomorfologico che necessita di interventi di ingegneria naturalistica
- PAI - Pericolosità geomorfologica
 -  Pericolo molto basso
 -  Pericolo moderato
 -  Pericolo medio
 -  Pericolo elevato
 -  Pericolo molto elevato








Carta geomorfologica di dettaglio
scala 1:5.000



-  IF Olympia
-  Aree individuate dal presente studio caratterizzate da un habitus geomorfologico che necessita di interventi di ingegneria naturalistica
- PAI - Pericolosità geomorfologica
 -  Pericolo molto basso
 -  Pericolo moderato
 -  Pericolo medio
 -  Pericolo elevato
 -  Pericolo molto elevato

Carta geomorfologica di dettaglio
scala 1:5.000



-  IF Olympia
-  Aree individuate dal presente studio caratterizzate da un habitus geomorfologico che necessita di interventi di ingegneria naturalistica
- PAI - Pericolosità geomorfologica
 -  Pericolo molto basso
 -  Pericolo moderato
 -  Pericolo medio
 -  Pericolo elevato
 -  Pericolo molto elevato

Dal punto di vista idrogeologico l'area in studio è caratterizzata dall'affioramento di terreni prevalentemente impermeabili dove non è presente alcuna falda freatica utilizzabile a scopi civili ed agricoli.

Numerosi, infatti, sono i laghetti collinari diffusi lungo i versanti argillosi.

Localmente sono presenti lembi di modesta estensione e blocchi isolati di rocce permeabili per fratturazione e carsismo (calcari).

Vista la limitatezza dell'estensione delle aree di alimentazione e la litologia ricca in solfati, carbonati e sali, tali affioramenti non danno luogo a falde freatiche di interesse.

In tal senso la previsione del PTA che inserisce un'appendice isolata del complesso idrogeologico afferente a Roccabusambra appare errato in quanto questo lembo calcareo isolato per l'estensione molto modesta e per gli spessori limitati non è sede, come detto prima, di alcuna falda di interesse. In ogni caso il nostro impianto non potrebbe avere alcuna interferenza negativa né con la qualità delle acque perché non rilascia alcuna sostanza inquinante nel sottosuolo, né con la sua eventuale potenzialità in quanto non sono previsti prelievi idrici da tale complesso, né sull'eventuale circolazione idrica sotterranea perché nei calcari le fondazioni saranno di tipo superficiale.

Anche le parti pianeggianti dove affiorano i depositi alluvionali sono di scarso interesse da un punto di vista idrogeologico per la presenza prevalente di terreni fini (limi, limi sabbiosi e sabbie limose) che non consentono la formazione di falde freatiche di interesse.

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) *Complesso argilloso;*
- c) *Calcari.*

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.

b) *Complesso argilloso:* pur facendo parte di formazioni geologiche diverse sono assimilabili da un punto di vista geotecnico ed è costituito da limi, limi sabbiosi ed argille, di colore variabile dal beige al grigio, a struttura scagliettata. La porzione superficiale alterata si presenta plastica e scarsamente consistente 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:

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

c) Calcari: si tratta di piccoli lembi sovrascorsi sulle argille sopra descritte. Sono di spessore limitato a qualche metro ma essendo di natura lapidea devono essere prese in considerazione in quanto la tipologia del palo battuto in questo caso non può essere applicata.

Quanto sopra è certamente sufficiente in questa fase di autorizzazione e di VIA ma ai fini della corretta valutazione sito-specifica del terreno di sedime 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)

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,00000371 4 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

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

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

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):

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

I calcoli del coefficiente di liquefazione sono, come è ovvio, molto specifici del sito di sedime in quanto dipendono prevalentemente dalla granulometria dei terreni che in questi complessi hanno caratteristiche molto variabili anche a distanza di pochi metri.

In questa fase sono stati eseguiti i primi preliminari calcoli sulla base delle indagini geofisiche eseguite 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 la serie storica dei terremoti che si sono avvertiti in zona dimostra.

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

Nello specifico del nostro lavoro si evince che la natura prevalentemente argillosa dei terreni che costituiscono le aree in studio permette di affermare che sono soddisfatte le condizioni di cui alla normativa vigente e

può essere esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di liquefazione dei terreni.

Si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini indicate nel capitolo successivo al fine di procedere alla calcolo dei coefficienti di liquefazione sito-specifici per ogni singolo sub parco e 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. 6 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.

Per quanto riguarda le aree dove in affioramento si individuano i litotipi del complesso alluvionale, si sono scelte due siti dove gli spessori del complesso sono presumibilmente quello minimo e quello massimo.

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).

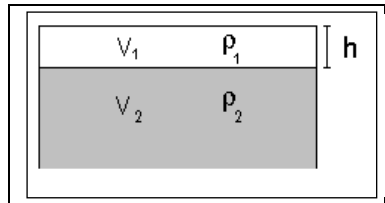


Figura 1. Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

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:

$$f_r = VP_1/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = VS_1/(4 H). \quad [2]$$

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.

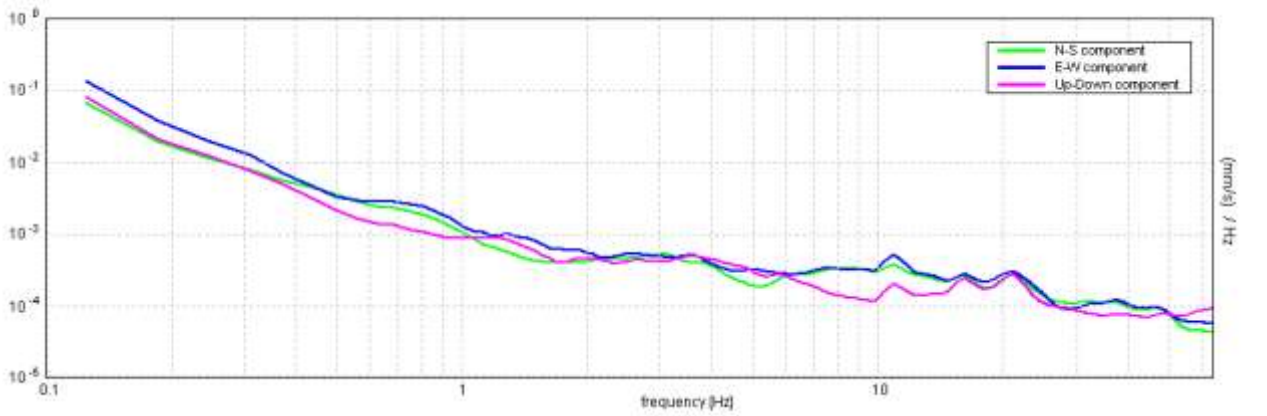
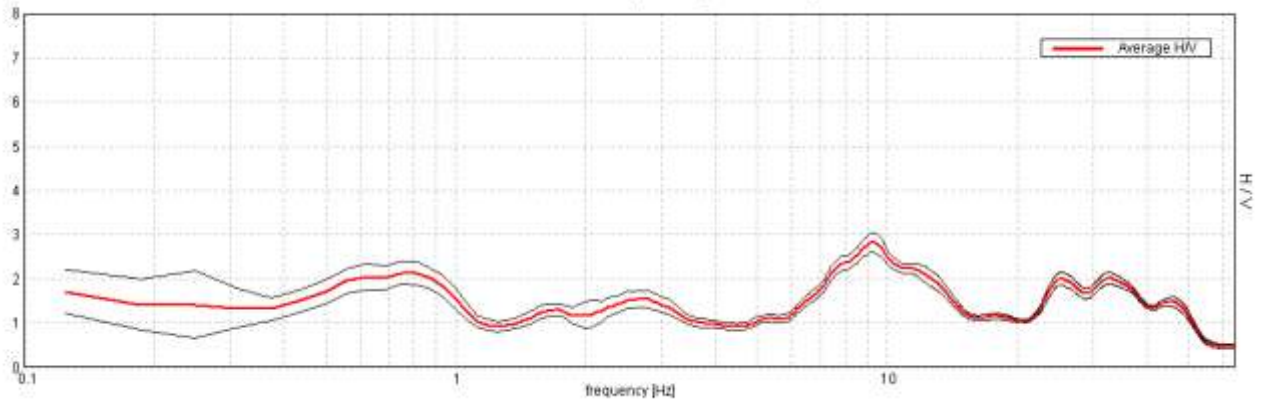
$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\hat{v}_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

Le ubicazioni dei sondaggi eseguiti sono visibili nella planimetria allegata.

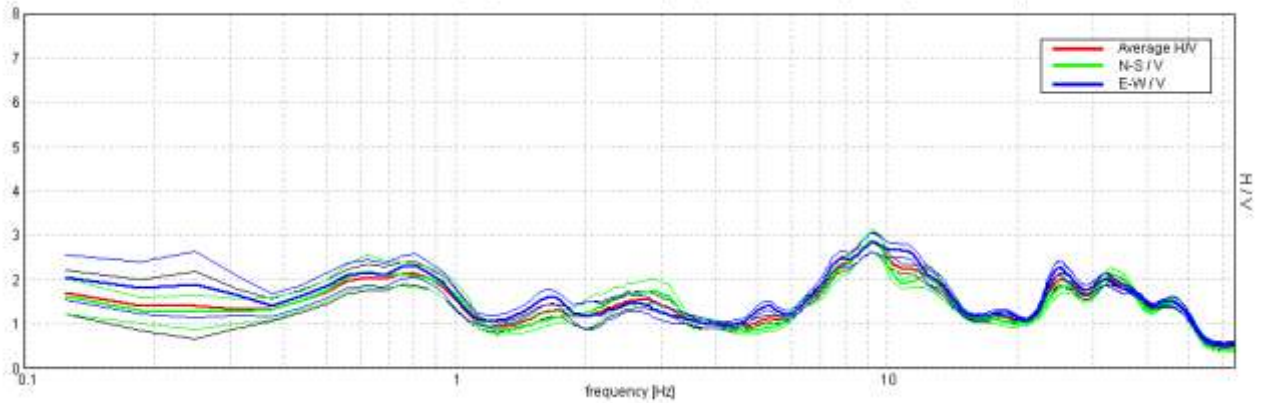
Di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

Sondaggio tomografico T1

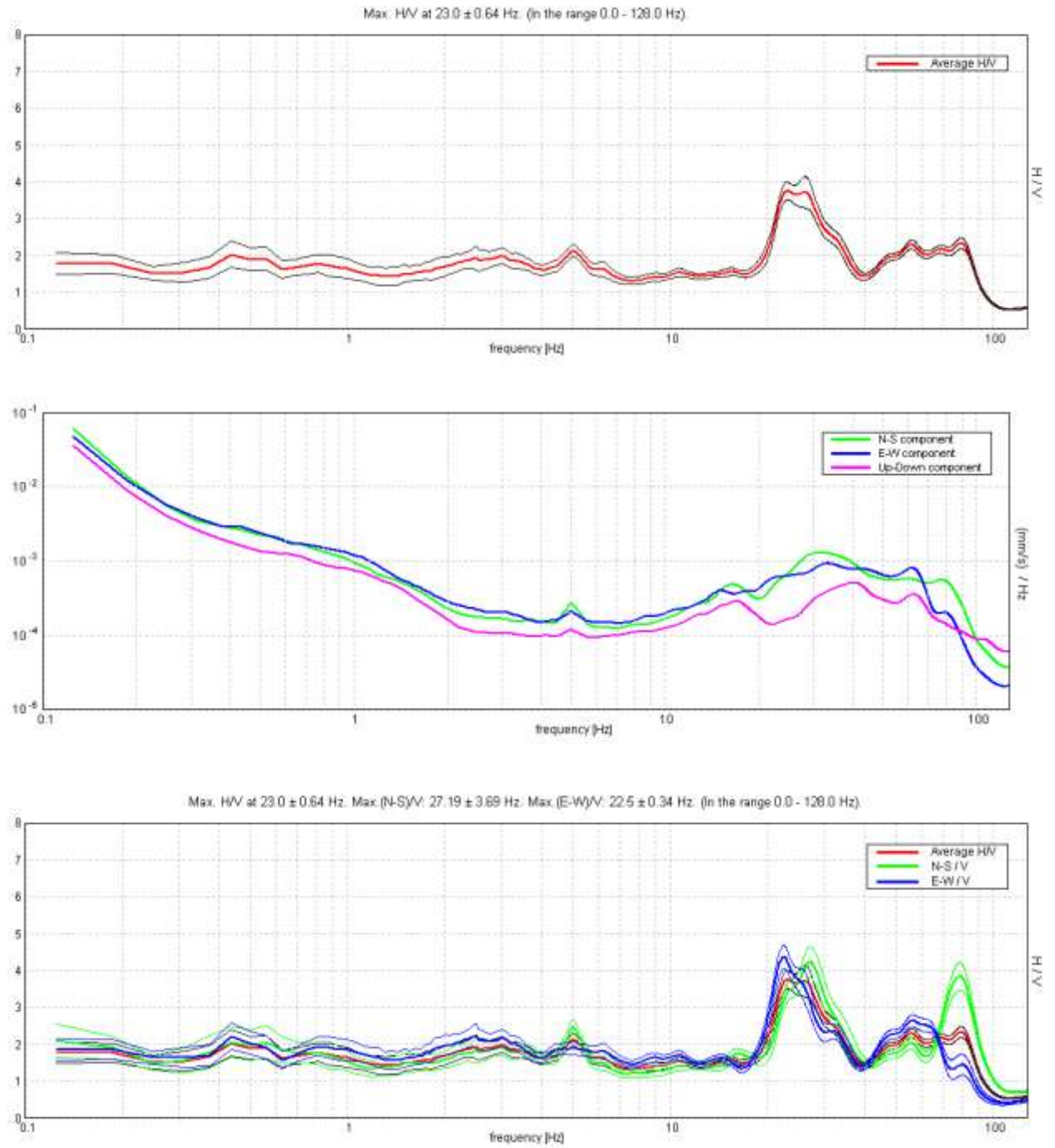
Max. HV at 9.19 ± 1.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



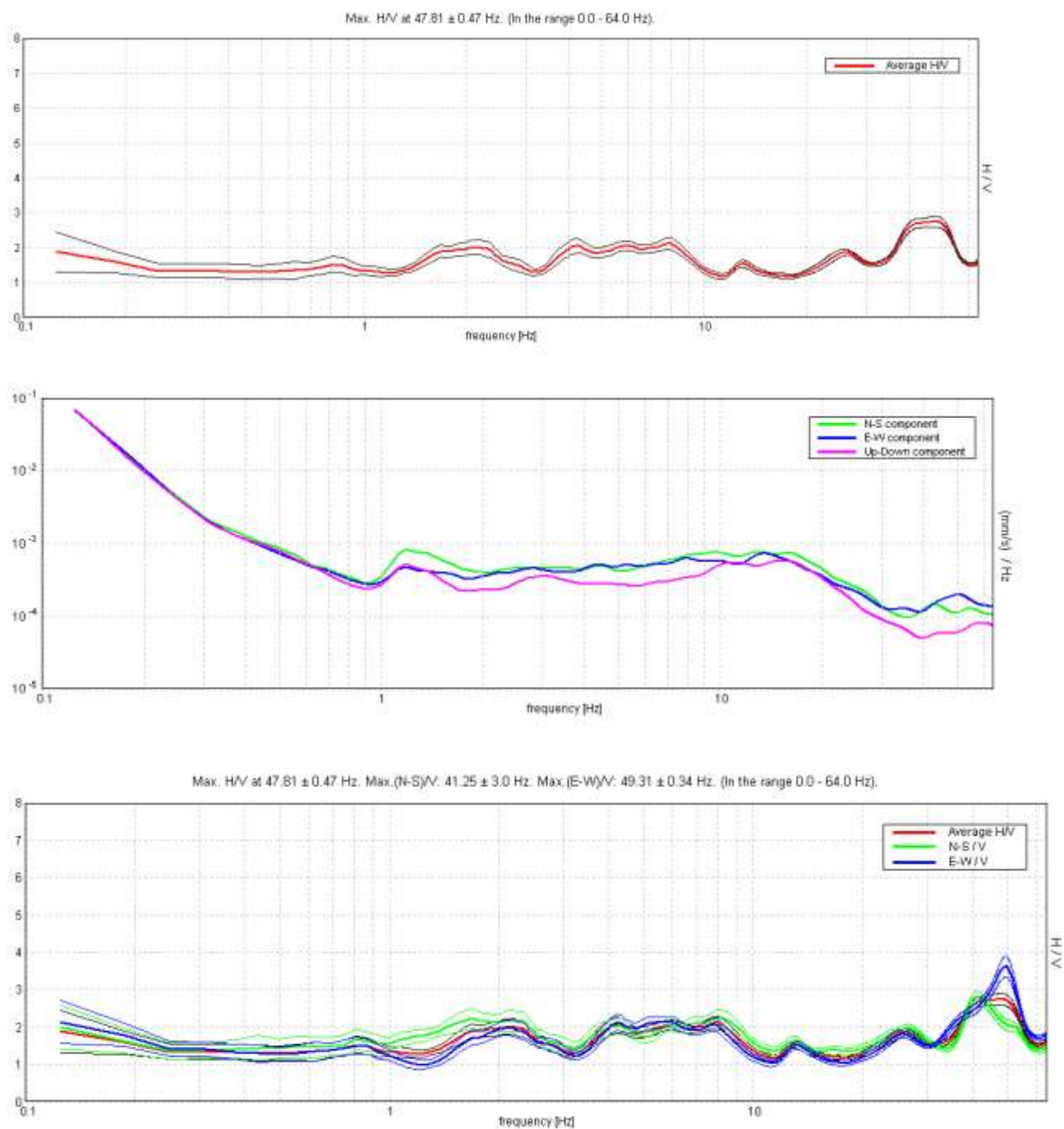
Max. HV at 9.19 ± 1.03 Hz. Max. (N-S)/V: 9.19 ± 0.93 Hz. Max. (E-W)/V: 9.31 ± 1.42 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



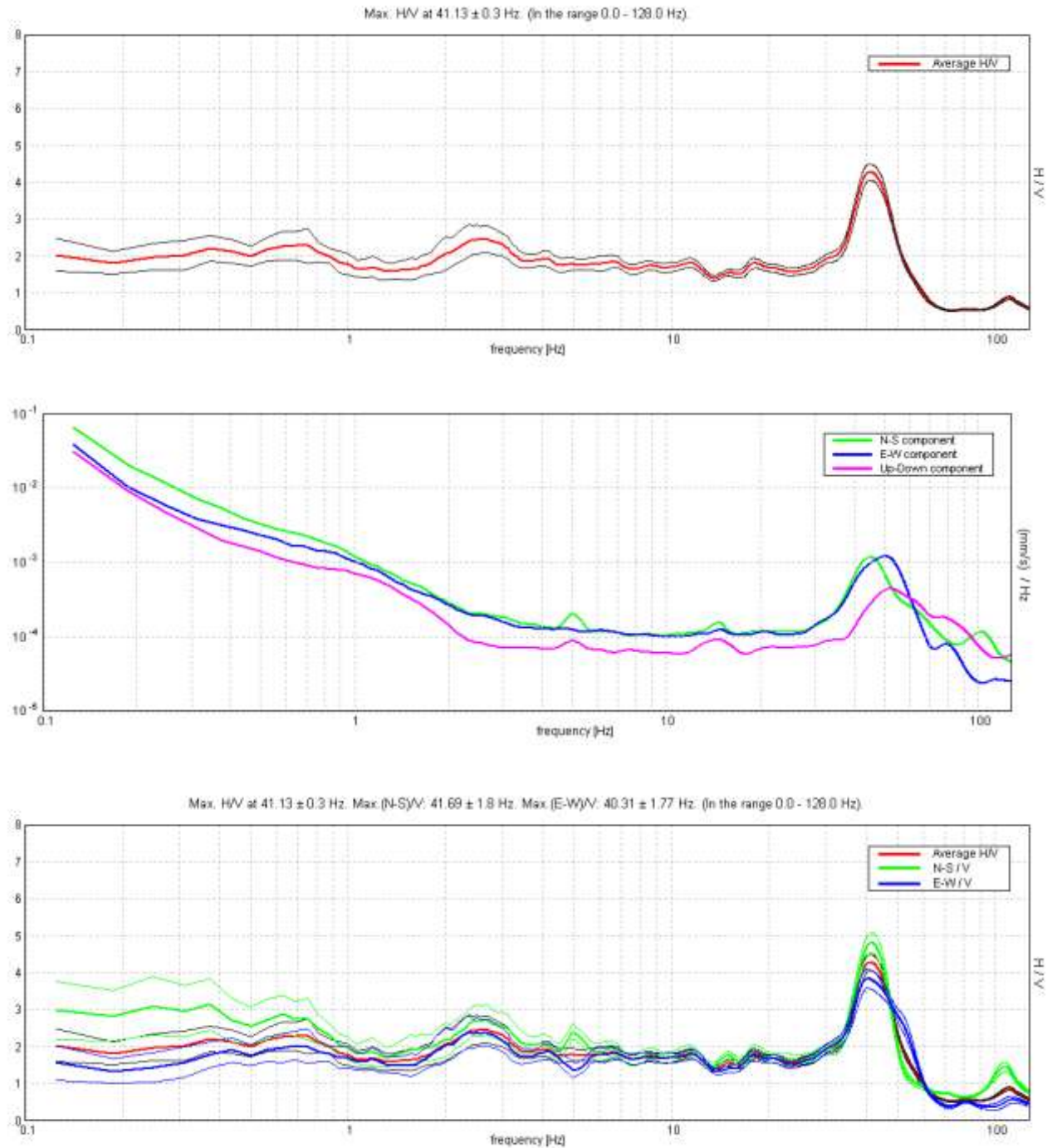
Sondaggio tomografico T2



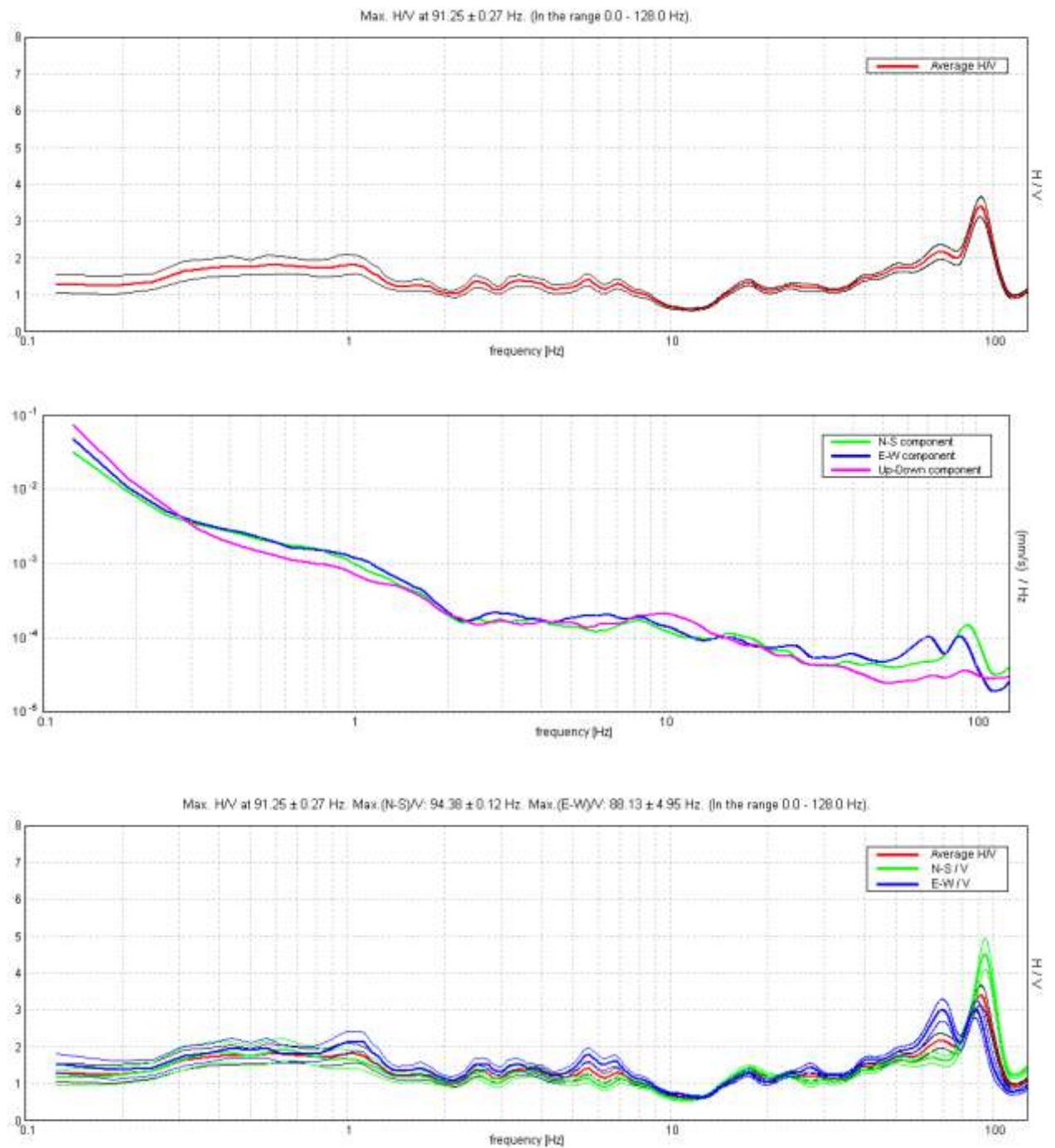
Sondaggio tromografico T3



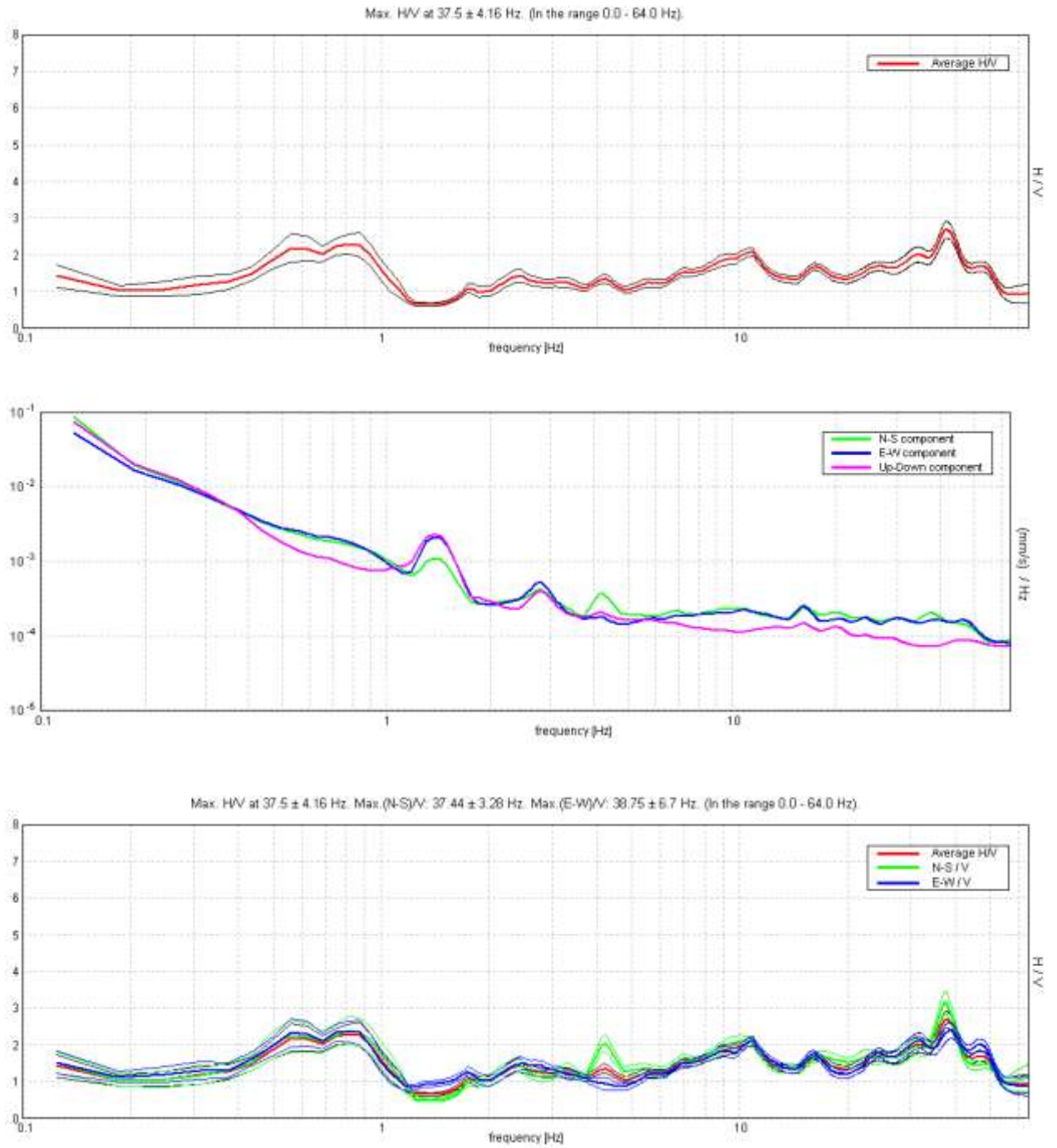
Sondaggio tomografico T4



Sondaggio tomografico T5



Sondaggio tromografico - TSOTT Sottostazione



Strumentazione utilizzata – Tromografo digitale - Micromed



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

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

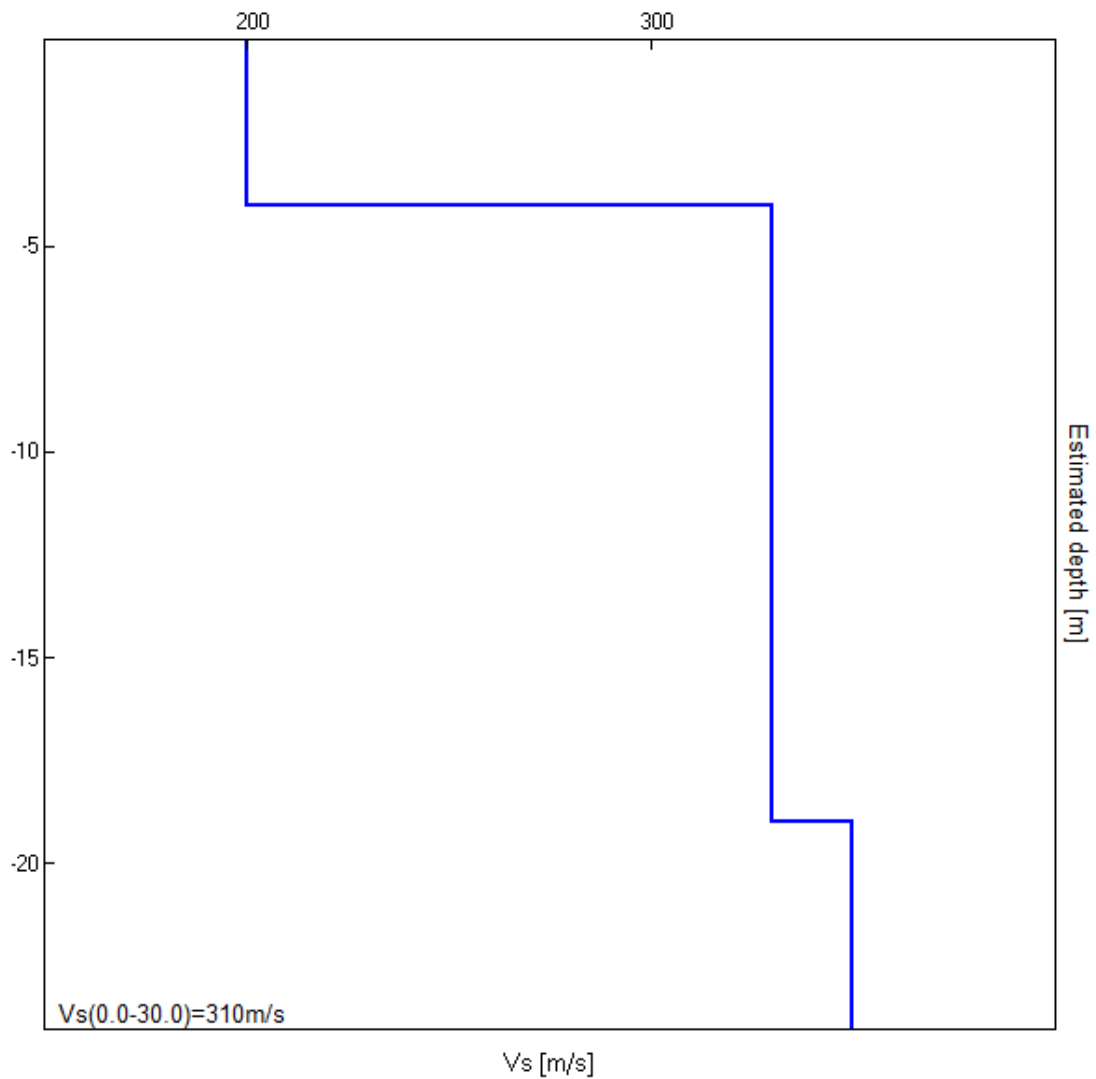
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

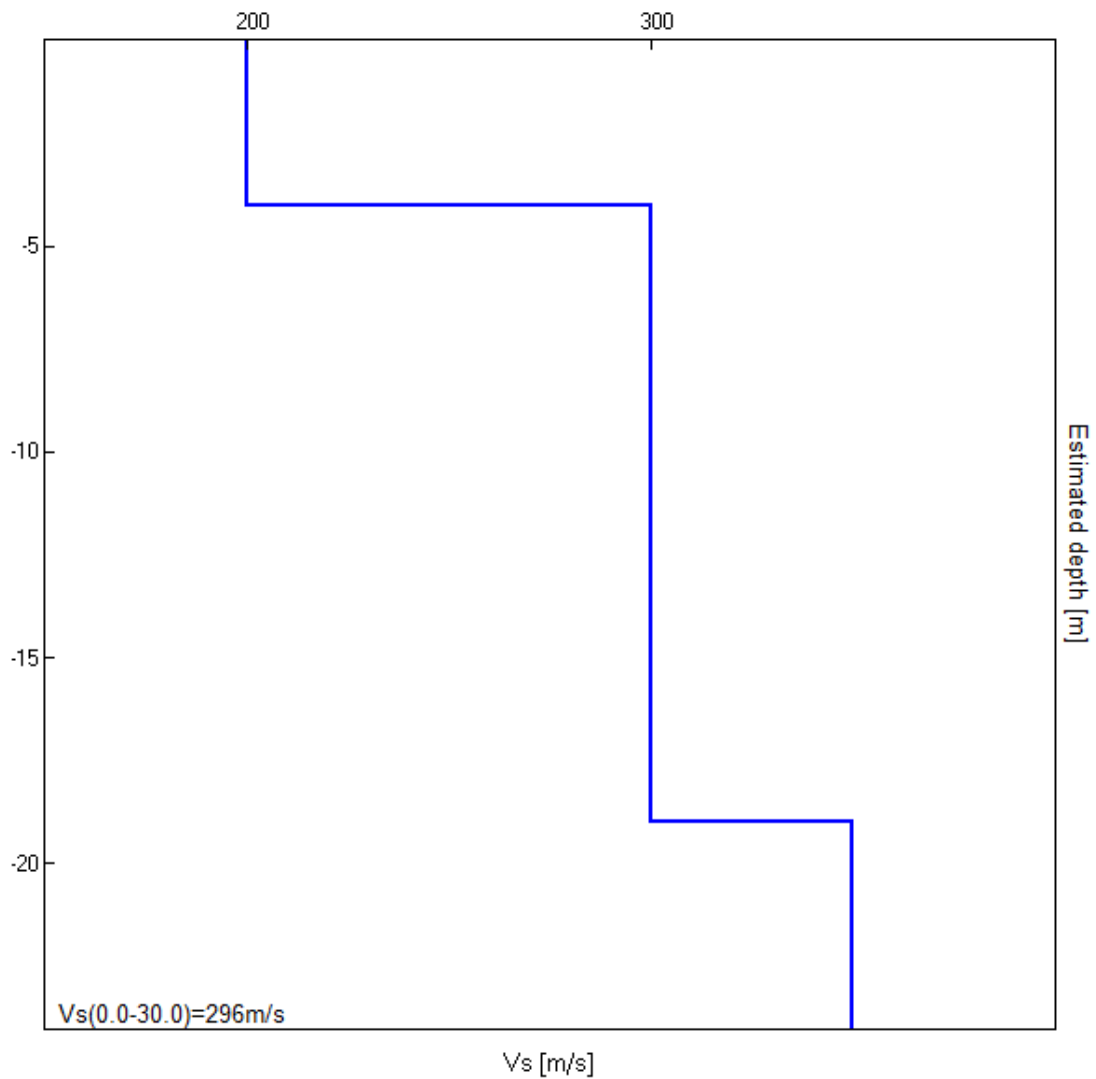
Sondaggio tomografico T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 4.00	200	C	C (Vs30=310 m/s)
4.00 – 19.00	330	C	
19.00 – 30.00	350	C	



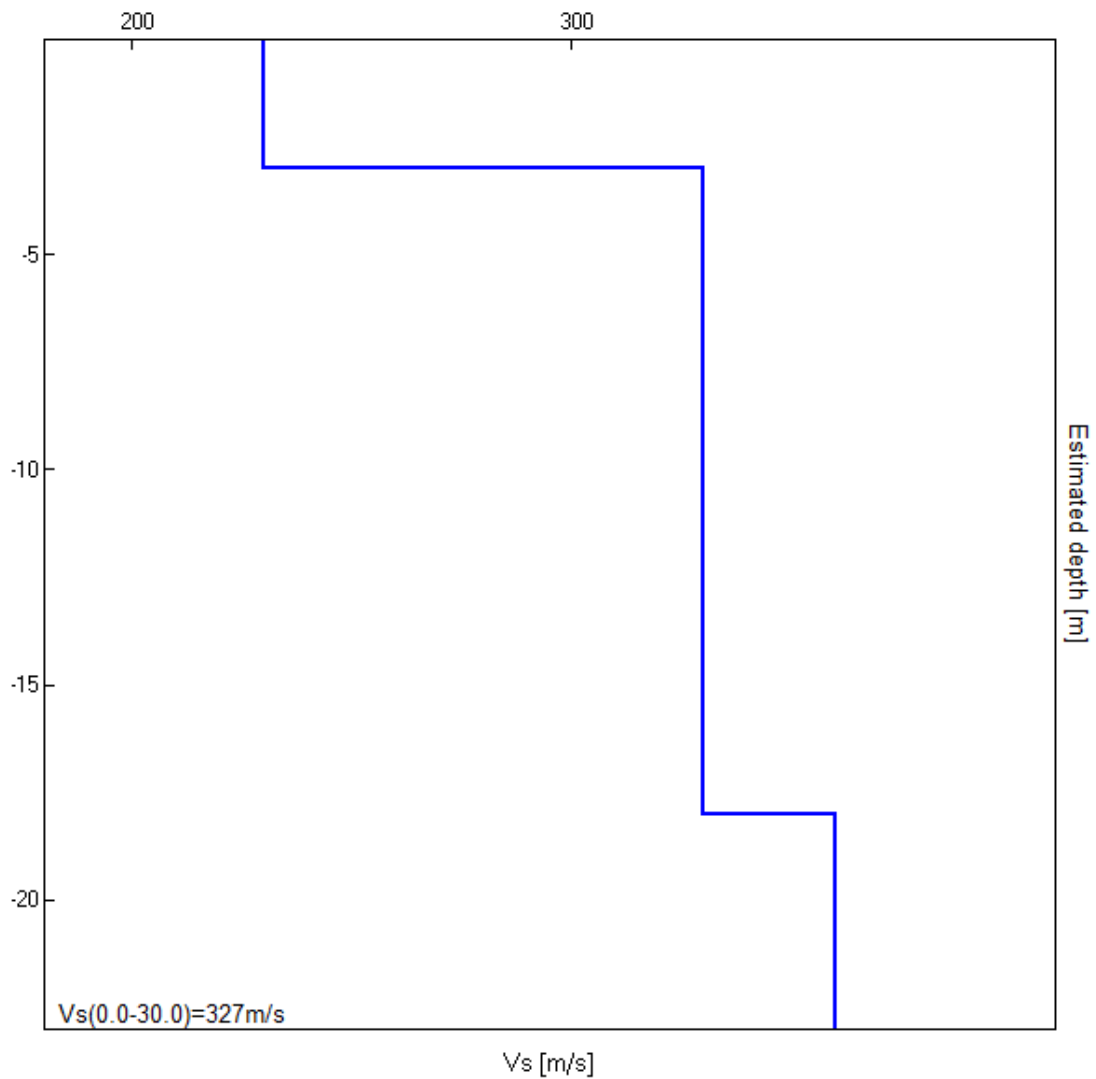
Sondaggio tomografico T2

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00 – 3.00	200	C	C (Vs30=296 m/s)
3.00 – 19.00	300	C	
19.00 – 30.00	360	C	



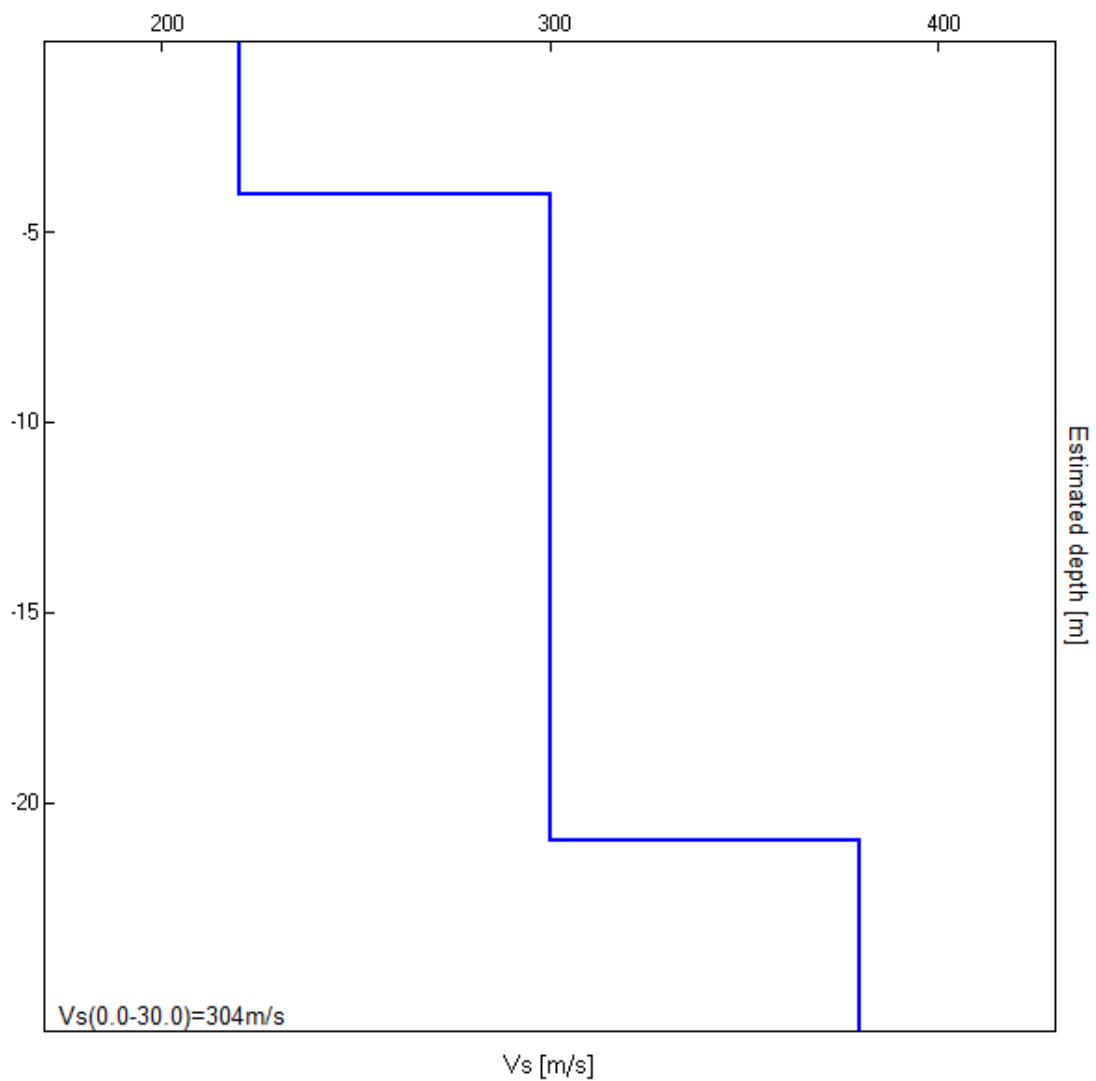
Sondaggio tomografico T3

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00 – 3.00	230	C	C (Vs30=327 m/s)
3.00 – 18.00	330	C	
18.00 – 30.00	360	C	



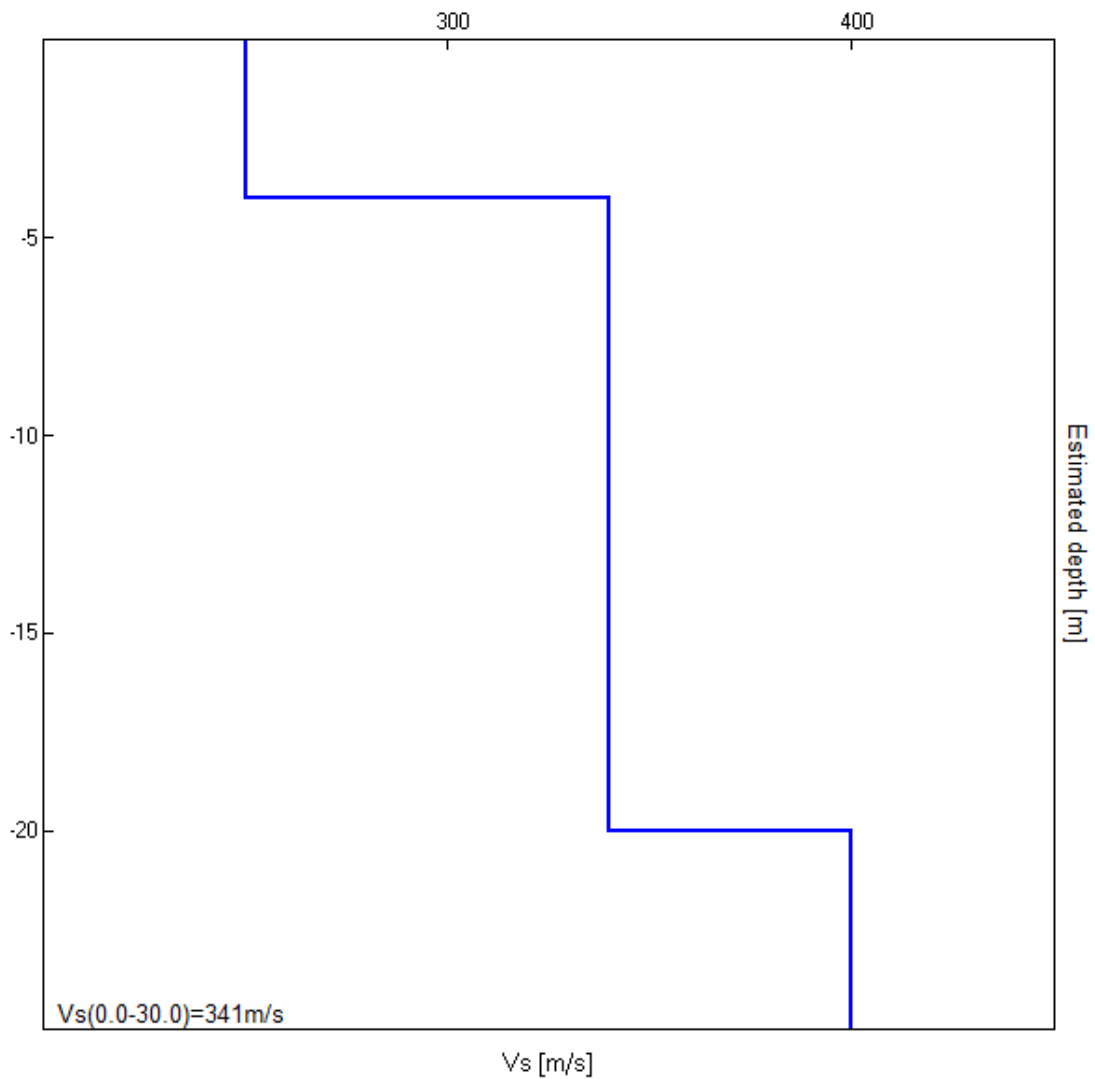
Sondaggio tomografico T4

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00 – 4.00	220	C	C (Vs30=304 m/s)
4.00 – 21.00	300	C	
21.00 – 30.00	380	B	



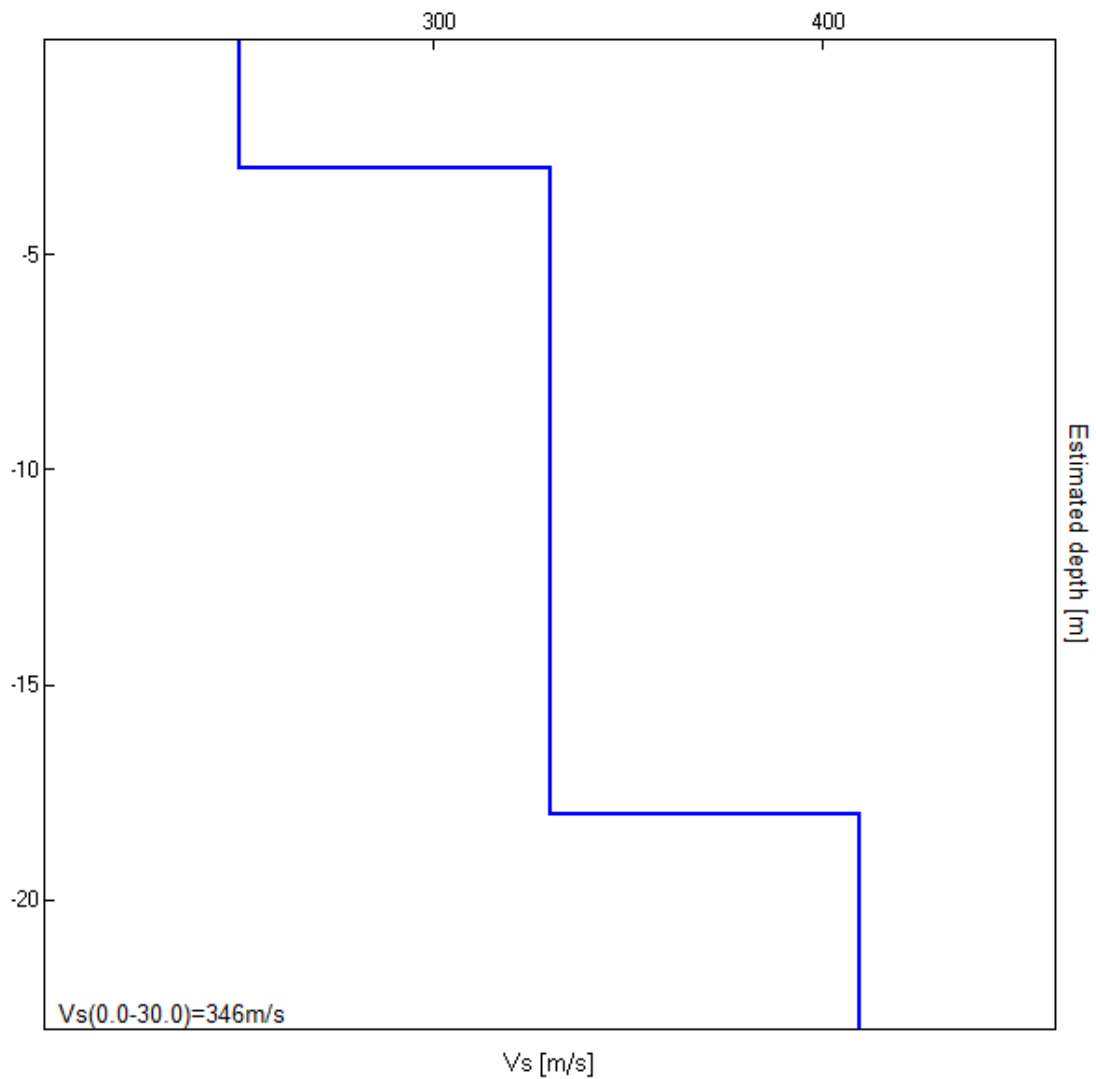
Sondaggio tomografico T5

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00 – 4.00	250	C	C (Vs30=341 m/s)
4.00 – 20.00	340	C	
20.00 – 30.00	400	B	



Sondaggio tomografico TSOTT - Sottostazione

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00 – 3.00	250	C	C (Vs30=346 m/s)
3.00 – 18.00	330	C	
18.00 – 30.00	410	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 scientifica (Baratta 1934, De Panfilis 1959, Cosentino, Mulone 1985, Barberi 1985) tutta una serie di notizie relative ad eventi sismici che hanno avuto i loro epicentri in zone limitrofe all'area in oggetto.

Le prime notizie di eventi che in qualche maniera si sono avvertite nella zona risalgono al 1593 e ricordano un terremoto con epicentro Corleone, successivamente nel 1724 e 1740 scosse sismiche furono avvertite a Monreale e dintorni.

Nel 1816-17 si sono avvertite in zona una serie di scosse sismiche con epicentro a Sciacca, Menfi e Sambuca di Sicilia.

Nel 1897 una nuova scossa sismica interessa Corleone, nel dicembre del 1909 una forte scossa con intensità pari al VII° grado si verificò con epicentro nella zona di Camporeale.

Un'intensa attività sismica si è verificata tra il 18 ed il 20 novembre 1954, con area epicentrale localizzata nei pressi dell'abitato di Grisi; la scossa principale, di intensità valutata del VI° grado della scala Mercalli, fu registrata negli osservatori di Palermo e Messina e fu risentita con intensità del IV° grado a Monreale; successivamente nel 1956 un movimento sismico a carattere locale ha interessato nuovamente il territorio di Grisi.

Nel 1957 alcune scosse sismiche, prevalentemente di carattere strumentale, furono avvertite con intensità pari al V° grado a Monreale, Contessa Entellina, Castelvetro, S. Margherita Belice e Sambuca di Sicilia.

Nel 1968 si è registrato il terremoto più importante della zona. In quella occasione una vasta area situata a cavallo della Valle del Belice fu interessata da una serie di forti scosse sismiche che provocarono gravissimi danni e vittime negli abitati di Gibellina, Salaparuta, Montevago, Poggioreale, Santa Margherita Belice, Salemi, Partanna, Menfi, mentre danni minori si ebbero a Camporeale, Bisacchino, Calatafimi, Castelvetro e Contessa Entellina.

Da allora numerose scosse di lieve entità sono state registrate e tutte legate ai terremoti che hanno coinvolto l'area del palermitano ed in particolare 06/09/02 (M=4.3), 09/04/07 (M=3.7), 22/10/08 (M=3.6), 25/04/11 (M=3.9), 13/04/12 (M=4.3), che sono stati avvertiti dalla popolazione ed hanno causato parecchi danni a monumenti ed edifici ubicati in particolari aree del centro abitato.

Per quanto riguarda l'interpretazione geotettonica degli eventi sismici che hanno interessato la zona, bisogna certamente ricollegarla alla più vasta area della Sicilia Occidentale ed in particolare della valle del Belice.

Vari autori hanno cercato di fornire valide spiegazioni all'improvvisa attivazione sismica di questa area.

In un lavoro preliminare sul terremoto della Valle del Belice (Bosi, Cavallo e Manfredini, 1968) gli autori identificano nella regione interessata dagli eventi sismici due zone, che almeno durante l'intervallo Miocene

medio-Calabriano, hanno avuto una evoluzione geologica sensibilmente diversa.

A Sud e a Sud-Est dell'allineamento Montevago-Contessa Entellina-Corleone, i Monti Sicani e le loro propaggini occidentali (M. Magaggiaro) costituiscono una zona in massima parte emersa durante il Miocene ed il Pliocene. A Nord ed a Nord-Ovest dell'allineamento precedentemente indicato, la valle di Mazara e probabilmente la massima parte della valle del Belice sono state interessate da una notevole subsidenza che ha portato il tetto della serie prevalentemente calcarea (Eocene – Oligocene) ad oltre 1000 m di profondità, come dimostrato dai sondaggi per ricerca petrolifera e da studi geofisici (Regione Siciliana, 1961).

Il bacino subsidente è colmato da depositi argilloso-arenacei, attribuibili al Miocene medio e dai terreni della serie gessoso-solfifera, che rappresenta la fine del riempimento del bacino subsidente ed il termine del relativo ciclo sedimentario.

I sedimenti del successivo ciclo pliocenico, almeno dalla parte alta del Pliocene inferiore, si sono depositati in due bacini subsidenti distinti, separati da una dorsale orientata circa NE-SO, disposta grosso modo lungo la direttrice Castelvetro-M.te Finestrelle, e corrispondenti dal punto di vista paleogeografico a due golfi del mare pliocenico che si aprivano verso Sud.

La notevole inclinazione degli strati miocenici e pliocenici verso i quadranti meridionali e l'andamento della linea di costa del mare Calabriano, che presenta una marcata insenatura nella zona di Partanna (Goggi, 1965), sono forse una conferma del prolungarsi della subsidenza durante il Calabriano in corrispondenza della zona compresa tra le due

linee strutturali precedentemente illustrate, e cioè la linea Montevago-Bisacquino-Corleone e la linea Castelvetro-M.te Finestrelle.

La zona epicentrale del terremoto del Belice può essere situata grosso modo nella zona di Gibellina e Salaparuta, cioè in vicinanza della linea strutturale Castelvetro-M.te Finestrelle. Dall'esame delle notizie raccolte sembra che, della lunga serie di eventi sismici che hanno distrutto gli abitati di Gibellina, Salaparuta e Montevago, le zone di Contessa Entellina, Bisacquino e Corleone potrebbero essere indicate come aree epicentrali di queste scosse.

Sulla base di tali risultanze il terremoto della Valle del Belice potrebbe essere inquadrato in uno schema geologico abbastanza preciso: l'area sismica, infatti, verrebbe a coincidere con la zona compresa tra due linee accelerogrammi che hanno separato per lunghi periodi zone a differente evoluzione geologica e che potrebbero rivestire pertanto carattere di giunzioni tra zolle crostali a diversa mobilità.

In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell'area e la necessità di studiare, nei siti interessati da edificazione, 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 (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 nell'area dei due impianti agro-voltaici appartengono alla **Categoria C** *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

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

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 dell'impianto:

- ⇒ n. 10 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 per ogni sondaggio;
- ⇒ esecuzione di n. 5 prove granulometriche in laboratorio per lo studio del potenziale di liquefazione in corrispondenza di ciascun sondaggio;
- ⇒ n. 10 indagini di sismica attiva "Masw".

9. CONCLUSIONI

Da quanto detto sopra e dalla lettura del progetto e delle carte allegate si evince quanto segue:

- ✓ In relazione alle necessità di utilizzo della risorsa idrica, appare chiaro come tale tipo di impianto non necessita, per tutto il periodo di esercizio, di utilizzare tale risorsa naturale. Per la tipologia di cantiere sia per la realizzazione dell'impianto che per la sua dismissione si prevede un utilizzo minimale pari a circa 500 mc/anno, che servirà soprattutto per il lavaggio dei pannelli con cadenza trimestrale. Quantità irrisoria che sarà reperita dai laghetti artificiali presenti in sito o con autobotti;
- ✓ in relazione alla problematica del consumo di suolo e della lotta alla desertificazione si deve chiarire che, nella sostanza, non vi sarà alcuna sottrazione di suolo né alcun impatto negativo sulla lotta alla desertificazione, perché:
 - ❖ tutte le aree non utilizzate per l'installazione dei pannelli fotovoltaici (aree verdi perimetrali, spazi interfilari ed aree intercluse) saranno oggetto di periodica rinzollatura che garantirà il mantenimento delle attuali caratteristiche di permeabilità dei terreni;
 - ❖ la realizzazione dell'impianto anche per quanto riguarda le aree occupate dai pannelli fotovoltaici non crea nessuna occupazione di suolo. E', infatti, segnalato da un recente studio tedesco (*Solarparks – Gewinne für die Biodiversität*), pubblicato dall'associazione federale dei mercati energetici innovativi (*Bundesverband Neue Energie-*

wirtschaft), un effetto positivo degli impianti fotovoltaici sul suolo e sulla biodiversità, compresa l'avifauna.

Gli autori dello studio hanno raccolto molteplici dati provenienti da 75 installazioni di impianti fotovoltaici in nove stati tedeschi, giungendo alla conclusione che questi parchi hanno un effetto positivo sul suolo e sulla biodiversità, perché consentono non solo di proteggere il clima attraverso la generazione di energia elettrica rinnovabile ma anche di migliorare il microclima del territorio.

I parchi fotovoltaici, come evidenziato dai ricercatori nel documento, possono perfino ***“aumentare la biodiversità rispetto al paesaggio circostante”***.

L'agricoltura intensiva, infatti, con l'uso massiccio di fertilizzanti, ostacola la diffusione di molte specie animali e vegetali; in molti casi le installazioni fotovoltaiche a terra determinano, al contrario, un ambiente favorevole e sufficientemente “protetto” per la colonizzazione di diverse specie, che difficilmente riescono a sopravvivere sui terreni troppo sfruttati, o su quelli abbandonati e incolti.

La stessa disposizione dei pannelli sul terreno influisce sulla densità di piante e animali (uccelli, rettili, insetti): in particolare, una spaziatura più ampia tra le fila di moduli, con strisce di terreno “aperto” illuminato dal sole, favorisce la biodiversità.

Già queste prime rilevazioni dimostrano come il legame tra fotovoltaico e habitat naturale è molto più complesso e, soprattutto, favorevole di quanto si pensi.

In particolare, dopo aver monitorato le condizioni climatiche nelle varie stagioni, si è notato che il sistema fotovoltaico ha permesso alle piante di sopportare meglio il caldo e la siccità dell'estate 2018, grazie all'ombreggiamento offerto dai moduli.

L'irraggiamento solare sul terreno sotto i moduli è del 30% circa inferiore rispetto al campo agricolo di riferimento (senza pannelli FV), quindi, la temperatura del suolo è più bassa e la terra più umida e fresca.

Altre sperimentazioni sono in corso negli Stati Uniti dove l'Università dell'Arizona sta collaborando con gli agricoltori nella zona di Tucson per selezionare le colture da piantare sotto i pannelli.

Secondo i ricercatori è sufficiente alzare i moduli da terra quanto basta per consentire alle piante di crescere quasi all'ombra, creando così una sorta di semi-serra.

Gli studi dimostrano che si può ridurre del 75% circa la luce solare diretta che colpisce le piante, favorendo la luce diffusa che arriva fin sotto i pannelli e ciò contribuisce a migliorare la crescita delle coltivazioni.

Per quanto riguarda i moduli fotovoltaici, la vegetazione che cresce sotto di loro fornisce a sua volta dei vantaggi non irrilevanti: ad esempio, quando le temperature superano i 24 gradi, si ha spesso un rendimento più basso dei pannelli a causa del calore ma con l'evaporazione dell'acqua creata dalle piante si ottiene una sorta di raffreddamento del modulo che riduce il suo stress termico e ne

migliora le prestazioni.

Si ritiene pertanto che gli impianti fotovoltaici in studio, per le loro intrinseche caratteristiche di produzione dell'energia, per la disposizione e l'altezza dei pannelli, per la superficie occupata, in relazione agli ampi spazi aperti che lo circondano, per le caratteristiche micro-climatiche, in particolare la ventosità, non possano costituire un impatto, in relazione al così detto "consumo di suolo";

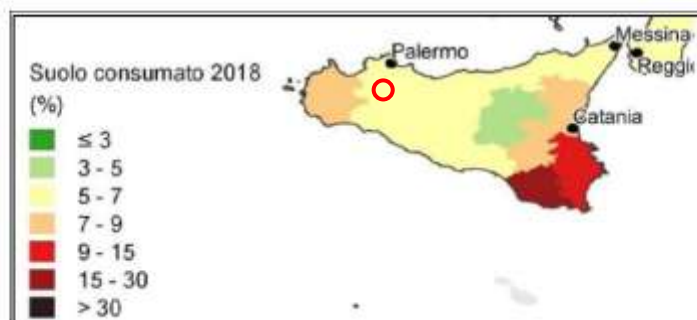
- ✓ al di là degli effetti benefici che un impianto fotovoltaico ha sulla fertilità dei suoli occupati e sulla biodiversità, come ampiamente dimostrato nei punti precedenti, si deve dire che la stessa pubblicazione ARPA Sicilia nella pubblicazione "Consumo di suolo in Sicilia Monitoraggio nel periodo 2017-2018" dimostra come il sito prescelto è ottimale per l'installazione di un campo fotovoltaico in quanto:
 - ❖ l'altezza delle strutture fisse permette l'insolamento del suolo e l'assorbimento delle acque meteoriche e dell'umidità mantenendo integre le caratteristiche di permeabilità dei suoli che è comunque garantita dalla periodica rizollatura che verrà eseguita sia nelle aree interfilari sia al di sotto dei pannelli;
 - ❖ in relazione alla pubblicazione dell'ARPA citata si evidenzia che i campi fotovoltaici sono inseriti tra le attività di consumo di suolo reversibile e, quindi, già la stessa ARPA, seguendo le linee guida dell'ISPRA, non considera la presenza di un campo fotovoltaico come un elemento che causa impatti irreversibili o che può

provocare fenomeni di desertificazione. In ogni caso si tratta di valutazioni in via di aggiornamento e con le nuove tecniche di realizzazione dei campi fotovoltaici la direzione verso cui si va è quella di modificare anche questa tipologia di valutazione; in ogni caso si evidenzia che la provincia di Palermo ed in particolare il territorio comunale di Monreale sono caratterizzati da percentuali di occupazione di suolo modeste, tra le più basse della Sicilia che tra l'altro ha performance decisamente migliori della media nazionale;

Provincia	Suolo Consumato 2018 (ha)	Suolo Consumato 2018 (%)	Suolo Consumato Pro capite 2018 (m ² /ab)	Consumo di suolo 2017-2018 (ha)	Consumo di suolo 2017-2018 (%)	Consumo di suolo pro capite 2017-2018 (m ² /ab/anno)	Densità consumo di suolo 2017-2018 (m ² /ha/anno)
Palermo	29.426	5,89	234	39	0,13	0,31	0,77

NOME Comune	NOME Provincia	Suolo consumato (ha)	Suolo consumato (%)	Incremento consumato (ha)	Incremento consumato (%)	Densità consumo (m ² /ha)	Consumo pro capite (m ² /ab)	Incremento pro capite (m ² /ab)	Area Totale (ha)	Popolazione residente	Abitanti per ettaro (ab/ha)
Monreale	PA	1833,05	1,467	0,41	0,001	0,08	469,6	0,11	52884	39047	0,738

Figura 1.5 - Suolo consumato a livello provinciale (% 2018). Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA (modificato)



- ✓ in relazione alle problematiche afferenti alla eventuale presenza di falde freatiche si chiarisce che le fondazioni non possono avere alcuna interferenza negativa sulla risorsa idrica perché in sito non è presente alcuna falda di interesse
- ✓ è presente un articolato reticolo idrografico superficiale, caratterizzato da intensa attività erosiva che crea situazioni geomorfologiche localizzate che necessitano di interventi di ingegneria naturalistica al fine di rendere perfettamente compatibile la presenza dei pannelli fotovoltaici;
- ✓ le opere in progetto garantiscono l'invarianza idrogeologica del sito in quanto non vi sarà né sottrazione, né aumento né concentrazione delle acque meteoriche che ruscellano, mantenendo del tutto inalterato il regolare e naturale deflusso delle acque superficiali.

Da quanto detto precedentemente, in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito, oltre quanto sopra esposto, si conferma che:

- le condizioni di stabilità dell'area dove verranno installati i pannelli garantiscono la fattibilità dell'intervento. Nelle aree dove sono presenti i fenomeni geodinamici (grado di pericolosità P1 e P2), ad eccezione di quelli caratterizzati da una pericolosità P3 non utilizzate dal progetto, si renderà necessario realizzare alcune opere di ingegneria naturalistica per garantire il drenaggio delle acque di saturazione della coltre alterata e la diminuzione dell'attività erosiva dei corsi d'acqua che hanno un effetto geodinamico sul versante;
- ai sensi del D.M. 17/01/2018 i terreni presenti appartengono alla **Categoria C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente adden-

sati 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;
- 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.



Dot. Geol. Gualtiero Bellomo