

REGIONE SICILIA
COMUNE DI PIAZZA ARMERINA (EN)

Livello di progettazione/Level of design

Progetto Definitivo

Oggetto/Object

PROGETTO SAN CONO
Realizzazione impianto agrovoltaico in area agricola
nel Comune di PIAZZA ARMERINA (EN)

Elaborato/Drawing

Relazione geologica

Formato/Size

Scala/Scale

Codice/code

MITEPUAREL013A0

A4

Data/Date

29/04/2022

Nome file/File name

MITEPUAREL013A0.pdf

Revision 00

Date

29/04/2022

Description

Prima emissione

Commessa/Project order

Progettazione Impianto Fotovoltaico

Redatto:

Dott. Gualtiero Bellomo

Approvato:

Dott.ssa Maria A. Marino

Progettista impianto:

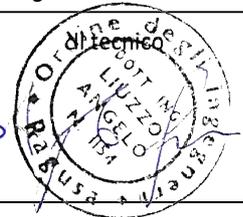
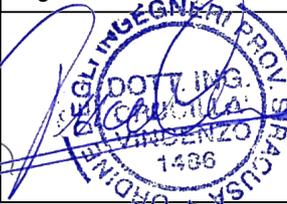
Ing. Vincenzo Crucillà

Verificato:

Ing. Angelo Liuzzo



VAMIRGEOIND
AMBIENTE GEOLOGIA E GEOPISICA s.r.l.
Direttore Tecnico
Dott.ssa MARINO MARIA ANTONIETTA



Committente/Customer

DEV SOLAR 1 S.R.L.

Corso Buenos Aires, 54 - 20124 Milano (MI)

P.IVA: 02031090893

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. PREMESSE.....	1
2. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE.....	5
3. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE.....	9
4. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	20
5. INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA.....	28
6. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO.....	48
7. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA.....	51
8. CONCLUSIONI.....	53

REGIONE SICILIA
COMUNE DI PIAZZA ARMERINA (EN)

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO AGROVOLTAICO IN AREA AGRICOLA NEL COMUNE
DI PIAZZA ARMERINA (EN) DENOMINATO SAN CONO

Committente: DEV 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 in scala 1/10.000 fuori testo 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” e al P.G.R.A., con l’ubicazione delle aree interessate delle opere in progetto;
- ❖ carte geomorfologiche di dettaglio con l’ubicazione dell’impianto e degli elementi geomorfologici di interesse;
- ❖ 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 del l'impianto in progetto, la situazione litostratigrafica locale è caratterizzata, dall'alto verso il basso, dall'affioramento di:

- ⇒ **DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI (Olocene):** comprendono i depositi ubicati lungo gli alvei dei corsi d'acqua e nelle piane alluvionali limitrofe. Si tratta di rocce prevalentemente sciolte costituite da ghiaie, sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi argillosi. Generalmente si presentano scarsamente addensate e dove prevalgono i limi sabbiosi e torbosi sono compressibili e molto plastici. Interessano direttamente una porzione dei sottocampi 2 e 7.
- ⇒ **SABBIE DI LANNARI (Gelasiano-Calabriano):** si tratta di sabbie di colore ocra a granulometria medio-fine talora limose, a stratificazione irregolare con intercalati livelli arenacei teneri e cementati. Interessano direttamente una porzione dei sottocampi 8 e 6.
- ⇒ **MARNE DI GERACELLO (Gelasiano):** si tratta di argille marnose ed argille siltose di colore grigio azzurro, talora biancastro, a stratificazione indistinta. Si possono riscontrare intercalati livelli centimetrici di sabbie grigio-giallastre. Interessano direttamente i sottocampi 1, 4 e 9, una porzione dei sottocampi 6, 7 e 8 e la sottostazione.

⇒ **FM. TERRAVECCHIA (Tortoniano-Messiniano inf):** Questa formazione è stata introdotta da Schmidt di Friedberg nel 1962 e prende il nome dalla località tipo: il fianco settentrionale di Cozzo Terravecchia, circa 2 km a nord di S. Caterina Villaerosa. I depositi sono costituiti in basso da una sequenza conglomeratica più o meno potente, passante verso l'alto a sabbie, arenarie, molasse calcaree, molasse dolomitiche, quindi ad argille ed argille marnose, spesso siltose, ricche di livelli sabbiosi di potenza variabile, talora anche con lenti conglomeratiche. Si distinguono due litofacies tipiche:

1. **Litofacies sabbioso-arenacea-conglomeratica:** comprende le sequenze prevalentemente sabbiose, arenacee e conglomeratiche presenti nella formazione. I conglomerati sono costituiti da conglomerati poligenici e ghiaie con elementi a spigoli arrotondati di natura arenacea e quarzarenitica. La sequenza continua con le sabbie e/o arenarie in cui si distinguono sabbie, sabbie limose ed arenarie, di colore da giallastro al tabacco, limi sabbiosi e sabbie limose.
2. **Litofacies argilloso-marnosa:** Si tratta di argille ed argille sabbiose, di colore grigio e tabacco, con intercalati sottili livelli sabbiosi che ne marcano la stratificazione. Dal punto di vista mineralogico sono costituite da un abbondante scheletro sabbioso in cui prevalgono quarzo, gesso, calcite, tracce di dolomite, feldspati, pirite, ossidi di ferro, mentre la frazione argillosa è costituita da kaolinite, illite e scarsa clorite, cui si aggiungono in minori quantità interlaminazioni illitiche-montmorillonitiche. La tessitura è brecciata e talora a scaglie; la stratificazione è marcata dai sottili livelli sabbiosi intercalati. Le argille spesso si presen-

tano piuttosto tettonizzate con giunti variamente orientati con superfici lucide. Interessano direttamente una porzione del sottocampo 2.

Per quanto riguarda il cavidotto, interessa tutte le litologie sopra descritte.

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

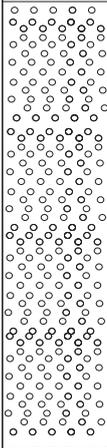
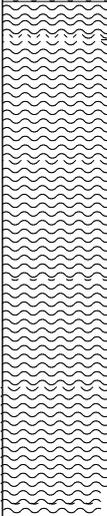
- ❖ nelle aree dove affiorano i depositi alluvionali (porzione dei sottocampi 2 e 7) i litotipi di sedime sono prevalentemente rocce sciolte costituite da ghiaie, sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi. Si presentano generalmente scarsamente addensate e sature. I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale e sovrastano i litotipi delle Marne di Geracello o quelle della Fm. Terravecchia (vedi colonna stratigrafica tipo);
- ❖ nelle aree dove affiorano le Sabbie di Lannari (porzione dei sottocampi 6 e 8) i litotipi di sedime sono sabbie di colore ocre a granulometria medio-fine talora limose, a stratificazione irregolare con intercalati livelli arenacei teneri e cementati. Si presentano alterate per i primi 3-5 m di profondità. I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale e sovrastano i litotipi delle Marne di Geracello (vedi colonna stratigrafica tipo).
- ❖ nelle aree dove affiorano le Marne di Geracello (sottocampi 1, 4 e 9, una porzione dei sottocampi 6, 7 e 8 e la sottostazione) i litotipi di sedime sono argille marnose ed argille siltose di colore grigio azzurro, talora biancastro, a stratificazione

indistinta. Si presentano alterate per i primi 6-7 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).

- ❖ nelle aree dove affiora la Fm. Terravecchia (porzione sottocampo 2) i litotipi di sedime sono marne, argille ed argille sabbiose, di colore grigio e tabacco, con intercalati sottili livelli sabbiosi che ne marcano la stratificazione. Si presentano alterate per i primi 6-7 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	Profondità	Descrizione	
  		Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)	
		Depositi alluvionali (spessore variabile tra 5.00 e 6.00 m)	
		Marne di Geracello e/o frazione argillosa della Fm. Terravecchia	Livello freatico variabile tra 2.00 ed il piano campagna

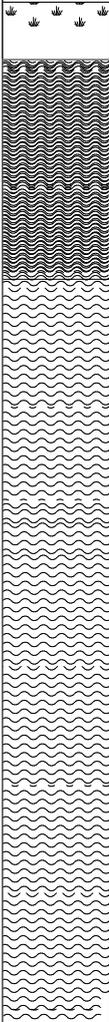


COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 2

Stratigrafia	Profondità	Descrizione	
		Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)	
		Sabbie di Lannari (spessore variabile tra 3.00 e 5.00 m)	
		Complesso argilloso (Marne di Geracello)	Livello freatico variabile tra 2.00 ed il piano campagna



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 3

Stratigrafia	Profondità	Descrizione
		<p data-bbox="300 499 1110 533">Terreno vegetale (spessore variabile da 1.00 a 2.00 m)</p> <p data-bbox="300 555 1406 629">Marne di Geracello alterate (spessore variabile tra 6.00 e 7.00 m) sature e sede di livelli idrici a carattere stagionale</p> <p data-bbox="300 786 735 819">Marne di Geracello inalterate</p>



COLONNA STRATIGRAFICA TIPO 4

Stratigrafia	Profondità	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 1433 629">Argille della Fm. Terravecchia alterate (spessore variabile tra 6.00 e 7.00 m) saturate e sede di livelli idrici a carattere stagionale</p> <p data-bbox="300 786 890 819">Argille della Fm. Terravecchia inalterate</p>

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, dai trubi e dalle sabbie, 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 trubi, i termini marnosi, argillosi e sabbiosi 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 gessosi e 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 diffe-

rente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici, che nel sistema morfoclimatico attuale sono dati essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica e da quelle di scorrimento superficiale.

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

I processi morfodinamici prevalenti nel sistema morfoclimatico attuale vedono, infatti, come agente dominante l'acqua, sia per quanto riguarda i processi legati all'azione del ruscellamento ad opera delle acque selvagge, che per i processi di erosione e/o sedimentazione operati dalle acque incanalate.

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

Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico risulta organizzato in maniera abbastanza indipendente da discontinuità iniziali, con un pattern molto articolato, 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, sono state individuate alcune aree coinvolte da fenomeni morfogenetici caratterizzati prevalentemente da dissesti di tipo “erosione concentrata o diffusa” attive.

I fenomeni sopra citati sono esclusivamente legati all'azione delle acque ed alla pendenza medio-bassa dei versanti, essendo legati al fatto che la coltre superficiale si imbibisce durante i periodi di piogge prolungate e

grazie alla concomitante attività erosiva dei corsi d'acqua presenti, soprattutto quelli secondari, tende a muoversi sia pure con movimenti di massa lenti.

Detti dissesti non interessano le opere in progetto e ciò è confermato da PAI che non include le opere in progetto come a rischio e pericolosità geomorfologica.

Si mette in evidenza che, in corrispondenza del Torrente Nocciara e degli impluvi presenti, caratterizzati da una forte erosione di fondo, si individuano smottamenti e colamenti delle sponde.

Quest'ultime sono interessate da un'attività geodinamica piuttosto spinta che si sviluppa gradualmente seguendo alcuni stadi:

- ✓ in un primo tempo si ha un'*erosione diffusa*, ad opera del velo d'acqua che bagna la superficie secondo la linea di massima pendenza;
- ✓ in seguito si genera la cosiddetta *erosione per rigagnoli*, in cui l'erosione si concentra nei solchi generati dalla precedente erosione ed in cui scorre l'acqua;
- ✓ infine si ha l'*erosione a solchi*, in cui l'acqua è riuscita a scavare nel terreno incisioni profonde.

In particolare, le aree indicate nelle carte geomorfologiche di dettaglio allegate sono interessate dai suddetti “fenomeni geodinamici” e debbono essere tenuti nella dovuta considerazione nella scelta del tracciato della viabilità e del cavidotto al fine di evitare che la loro evoluzione possa in futuro interferire negativamente con le stesse.

Queste aree non sono interessate dall'ubicazione dei pannelli fotovoltaici.

Vi sono alcuni elementi meritevoli di attenzione e che bisogna evidenziare:

- ✓ **SOTTOCAMPI 1, 7 e 8:** sono presenti fenomeni geodinamici attivi che sono stati evidenziati contestualmente al layout di progetto. Sono aree interessate da attività erosiva di sponda e di fondo in corrispondenza dell'impluvio presente. ***Il layout è stato studiato in modo da sistemare le opere in aree perfettamente stabili*** ma è consigliabile che in sede di progettazione esecutiva vengano previste opere di protezione afferenti alle tecniche di ingegneria naturalistica delle tipologie di seguito indicate non perché questi fenomeni possano nel futuro avere un'evoluzione che possa interferire con le opere in progetto ma per ridare a fine vita un territorio che presenta condizioni geomorfologiche migliori rispetto all'attuale.

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

- ❖ **Rocce permeabili per porosità:** Si tratta di rocce caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia al variare delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti. In particolare la permeabilità risulta essere medio-bassa nella frazione limosa mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi e ghiaiosi. Di conseguenza la circolazione idrica sotterranea è discontinua con livelli acquiferi sospesi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti ai depositi alluvionali attuali e le Sabbie di Lannari.
- ❖ **Rocce impermeabili:** Questo complesso è costituito dalle Marne di Geracello e dalla frazione argillosa della Fm. Terravecchia. In queste

rocce l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili anche se la porzione alterata superficiale acquista una bassa permeabilità per porosità.

Vista la natura dei terreni presenti si può affermare che il livello piezometrico della falda presente nei depositi alluvionali si attesta a una quota pari a circa 2.0 m dal p.c., ma può raggiungere il piano campagna durante i periodi di pioggia. Si tratta di una falda di poco interesse per la sua scarsa potenzialità e perché prevalentemente a carattere stagionale.

E' presente un'importante falda dove affiorano le Sabbie di Lannari.

Si tratta di un adunamento idrico legato all'esteso territorio dove affiora questa formazione geologica.

Il livello freatico è generalmente molto profondo, rispetto alle fondazioni dei manufatti in progetto ed in ogni caso questa formazione è interessata solo marginalmente ed in posizione estremamente periferica rispetto all'acquifero, per cui non è possibile alcuna interferenza negativa tra la realizzazione/esercizio/dismissione delle opere in progetto e la falda, anche in considerazione del fatto che non è possibile alcun impatto sulla circolazione idrica sotterranea sia perché i pali di fondazione non raggiungono il livello freatico, sia perché in ogni caso, vista la distanza relativa tra i pali , non è possibile alcun effetto diga.

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

In tutti gli altri sottocampi, caratterizzati dall'affioramento dei litotipi argillosi riferibili alle Marce di Geracello ed alla frazione argillosa dell Fm. Terravecchia, non sono presenti falde freatiche, ma nel periodo delle piogge i primi 5-6 mt. si possono trovare in condizioni di saturazione.

Si mette in evidenza, inoltre, nessuna delle aree interessate dalle opere non ricadono all'interno di zone indicate dal P.A.I. con pericolosità e rischio idraulico, come visibile delle carte allegare fuori testo.

Per migliorare l'habitus geomorfologico e preservare il sito dai fenomeni di erosione superficiale presenti in alcune porzioni dei lotti 1, 7 ed 8 verranno adottati tecniche utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo che hanno il vantaggio di essere molto elastiche e in grado di adattarsi alla presenza dei pannelli fotovoltaici, alle irregolarità del terreno ed a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

Nello specifico del nostro caso 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.

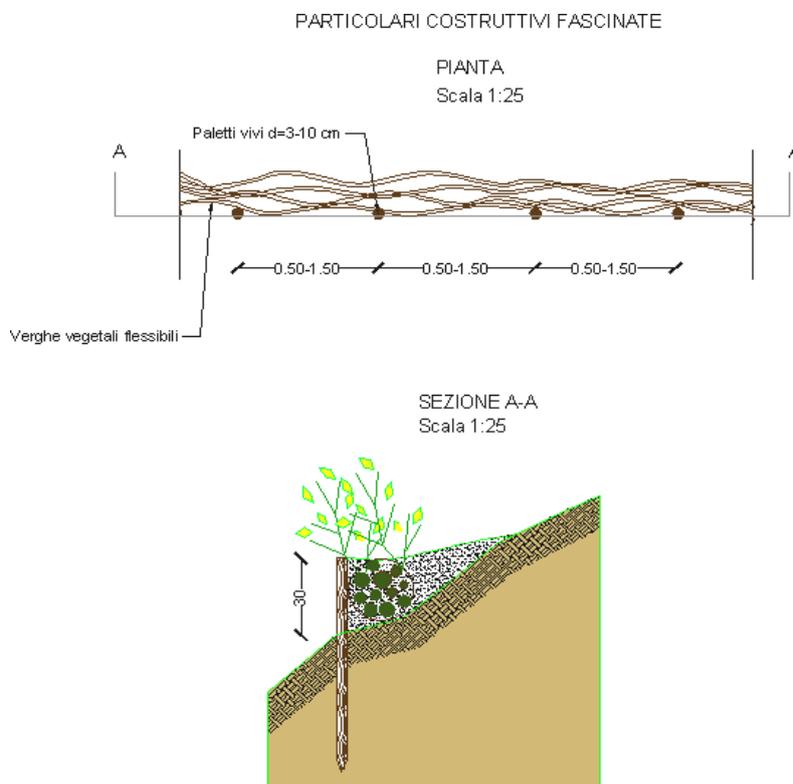
Le file di gradoni con le fascine di ramaglia sono eseguite orizzontalmente, secondo le curve di livello o con una leggera inclinazione obliqua rispetto al pendio per aumentare la capacità di deflusso delle acque superficiali e l'efficacia drenante del sistema. La distanza fra file successive si aggira 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,

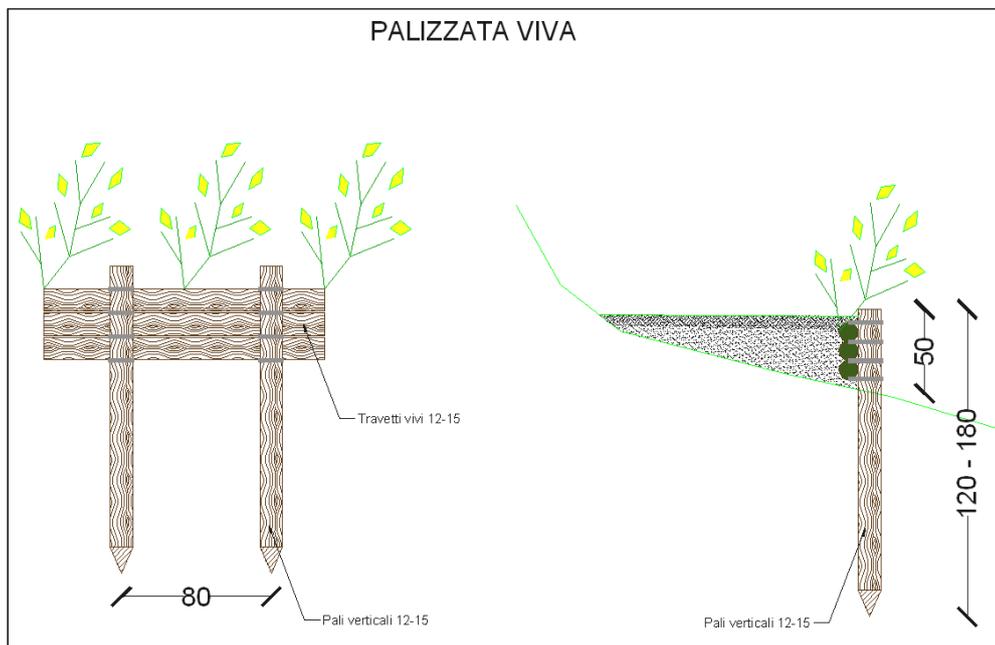
devono essere realizzati solo durante il periodo di riposo vegetativo.



❖ **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 raccoglie del materiale terroso.

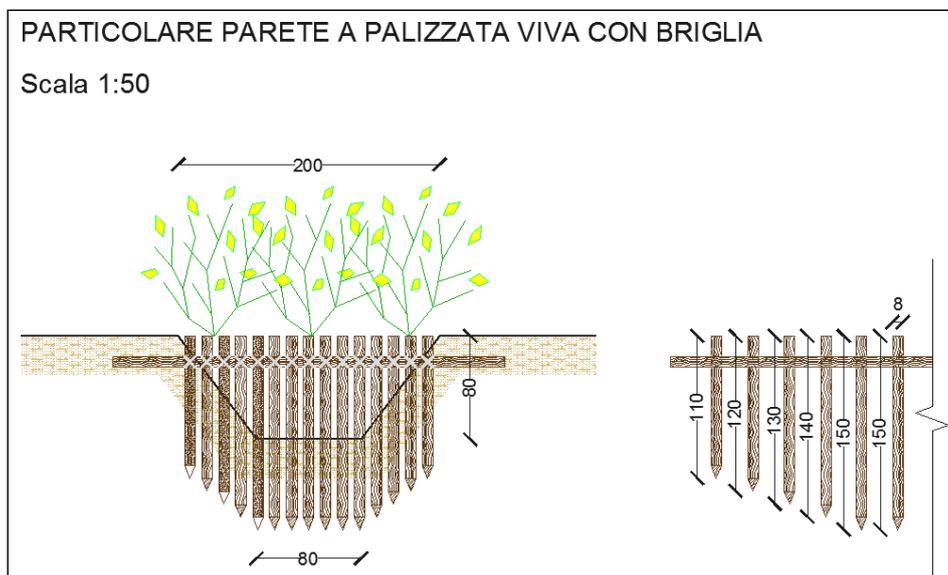
Le piante, una volta che la vegetazione si sarà sviluppata, garantiranno un consolidamento del terreno con l'apparato radicale e una resistenza all'erosione superficiale, con la loro parte epigea.



❖ **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 latifolia; 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

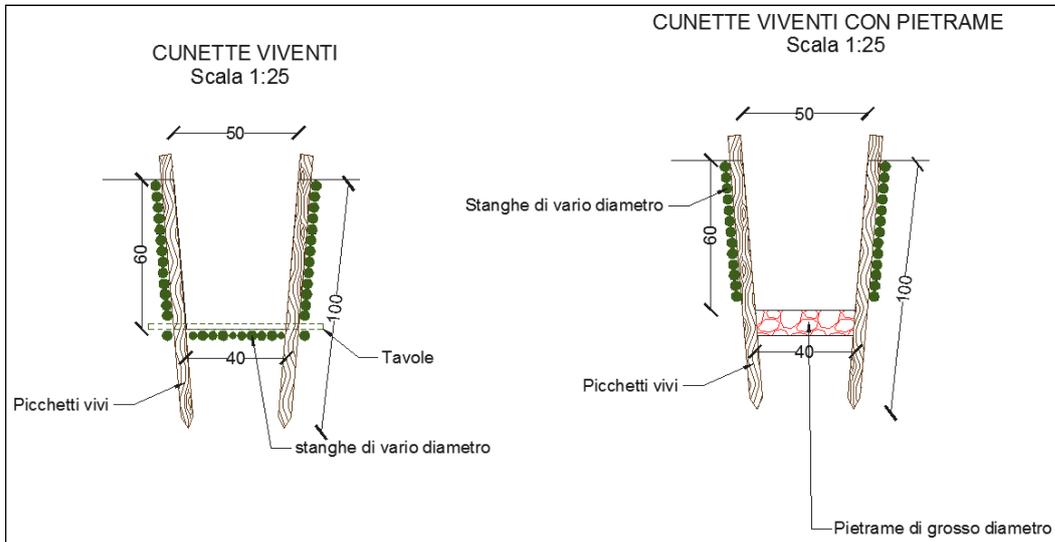
difficile accesso.



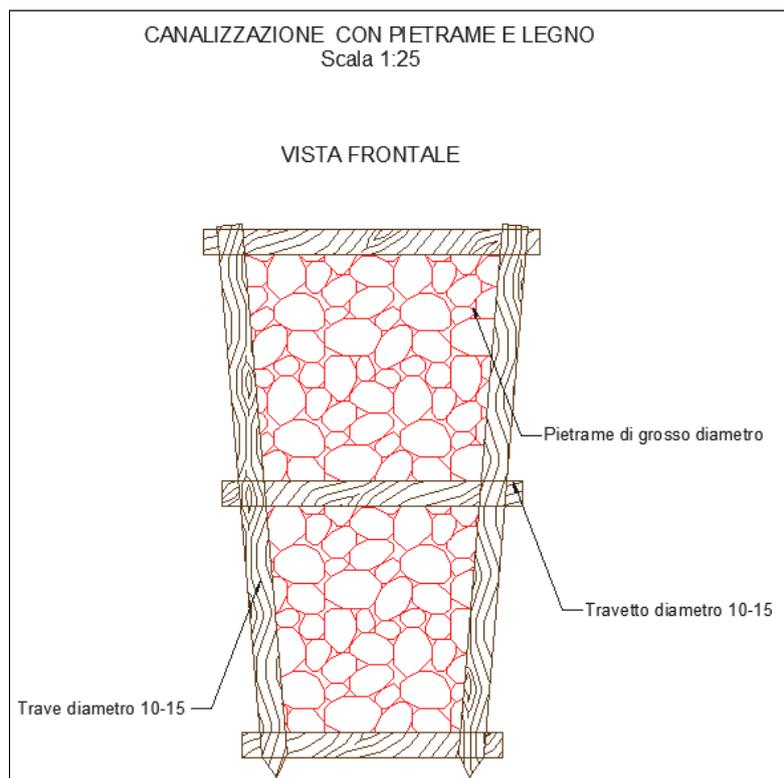
- ❖ **Cunetta vivente** Le cunette sono di norma pensate in terra. E' però importante sottolineare che nei tratti di maggiore pendenza l'acqua può destabilizzare la cunetta e con essa la strada. Pertanto si suggerisce l'adozione di cosiddette cunette viventi, maggiormente resistenti all'azione erosiva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

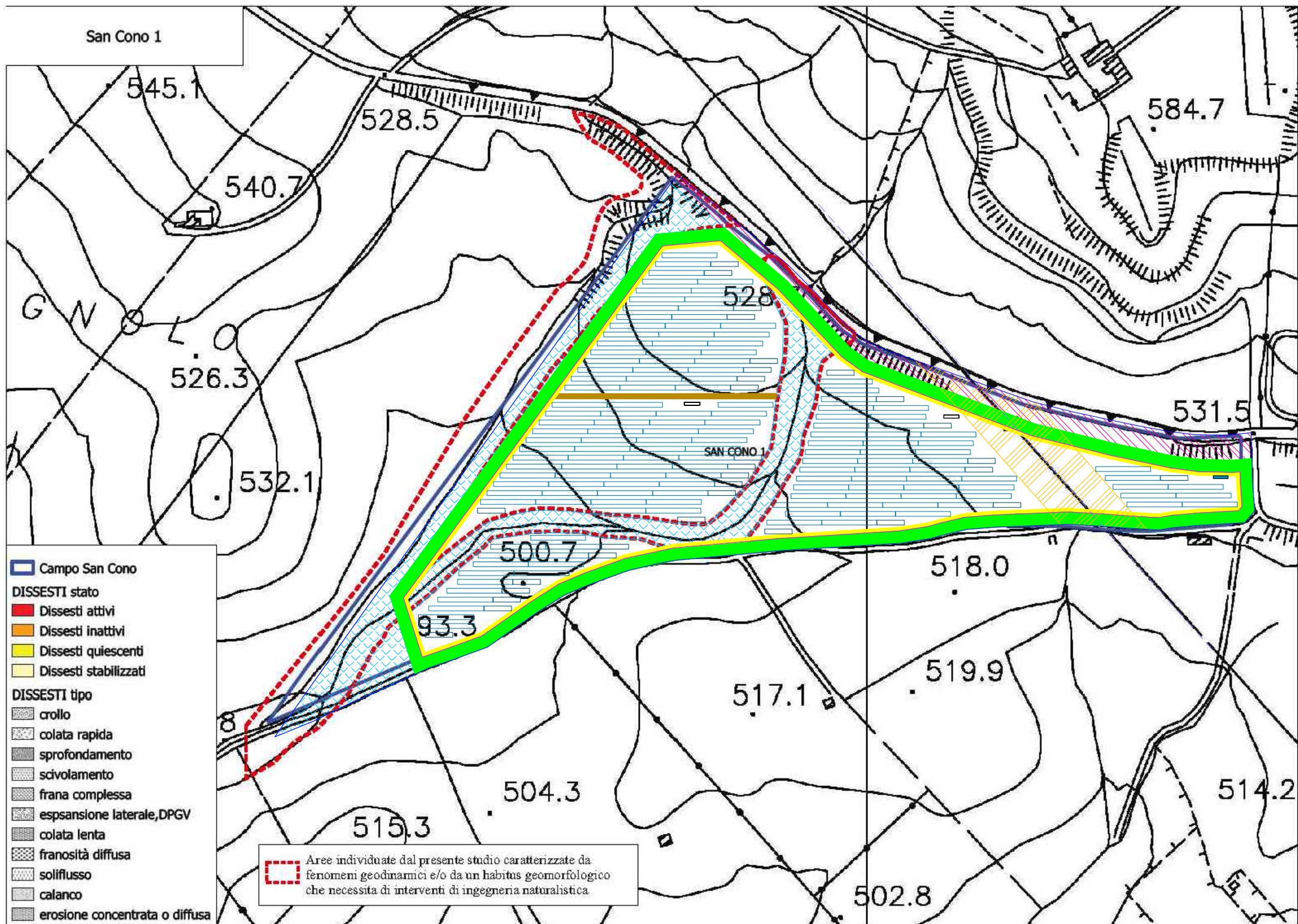
Sarà la fase cantieristica ed anche osservazionale ad indicare i tratti ove è opportuno realizzare le cunette "vive" al posto delle cunette in terra.

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.





San Cono 1

545.1

528.5

584.7

540.7

526.3

528

532.1

531.5

SAN CONO 1

500.7

518.0

- Campo San Cono
- DISSESTI stato
- Dissesti attivi
- Dissesti inattivi
- Dissesti quiescenti
- Dissesti stabilizzati
- DISSESTI tipo
- crollo
- colata rapida
- sprofondamento
- scivolamento
- frana complessa
- espansione laterale, DPGV
- colata lenta
- franosità diffusa
- soliflusso
- calanco
- erosione concentrata o diffusa

Aree individuate dal presente studio caratterizzate da fenomeni geodinamici e/o da un habitus geomorfologico che necessita di interventi di ingegneria naturalistica.

593.3

517.1

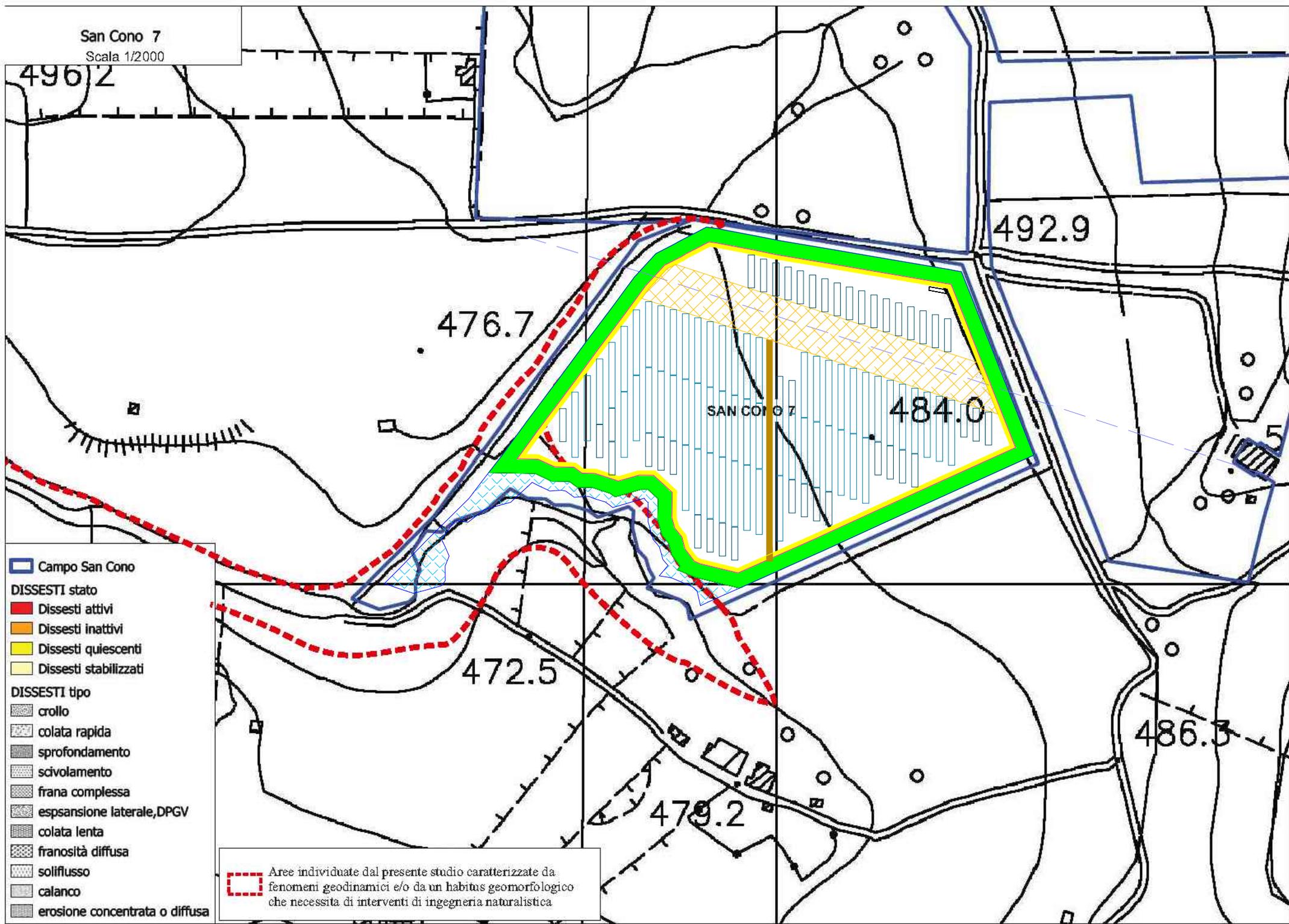
519.9

504.3

514.2

515.3

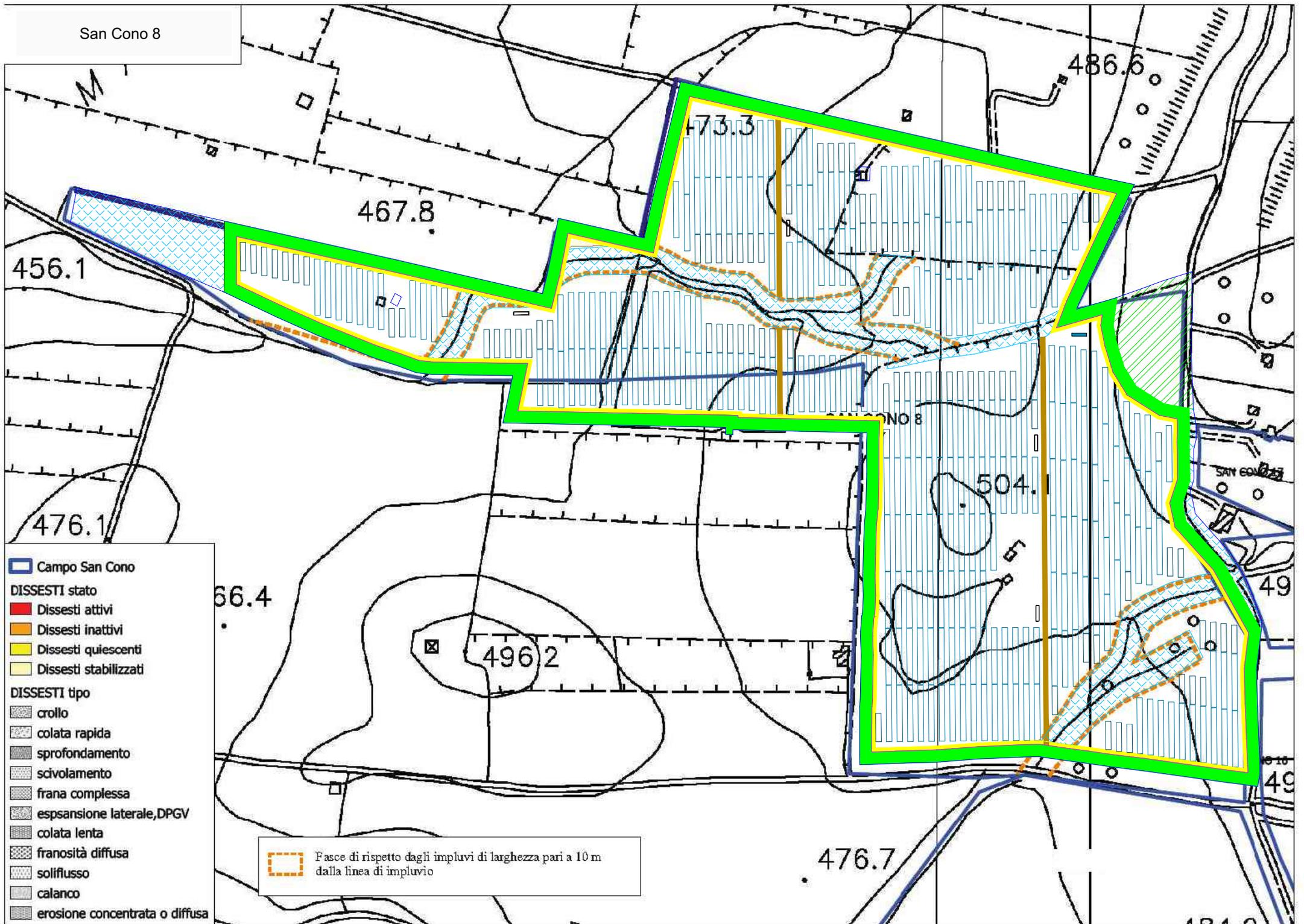
502.8



- Campo San Cono
- DISSESTI stato**
- Dissesti attivi
- Dissesti inattivi
- Dissesti quiescenti
- Dissesti stabilizzati
- DISSESTI tipo**
- crollo
- colata rapida
- sprofondamento
- scivolamento
- frana complessa
- espansione laterale, DPGV
- colata lenta
- franosità diffusa
- soliflusso
- calanco
- erosione concentrata o diffusa

Aree individuate dal presente studio caratterizzate da fenomeni geodinamici e/o da un habitus geomorfologico che necessita di interventi di ingegneria naturalistica

San Cono 8



4. 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):

$$\alpha = 0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{per } FC > 35\%$$

$$\beta = 1,0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

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

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):

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

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.

Nello specifico del nostro lavoro si evince che dove è presente la natura prevalentemente argillosa, sono soddisfatte le condizioni di cui alla normativa vigente e può essere esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di liquefazione dei terreni, mentre dove affiorano i litotipi sabbiosi ed alluvionali, 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.

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

5. INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA

Nell'ambito del presente studio sono state eseguite n. 7 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).

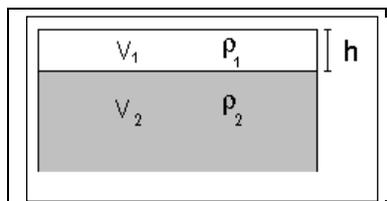


Figura 1. Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

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:

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

mentre quella relativa alle onde S è

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

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

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

Questa informazione è contenuta principalmente nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali

e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- ❖ il contenuto in frequenza;
- ❖ la risposta strumentale;
- ❖ l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

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

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

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

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

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

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

- le curve HVSR che sono state ottenute col software Grilla eseguendo un processing con i seguenti parametri:

- ✓ larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s per tempi di acquisizione di 20 minuti;
 - ✓ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 15% della frequenza centrale,
 - ✓ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore 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:

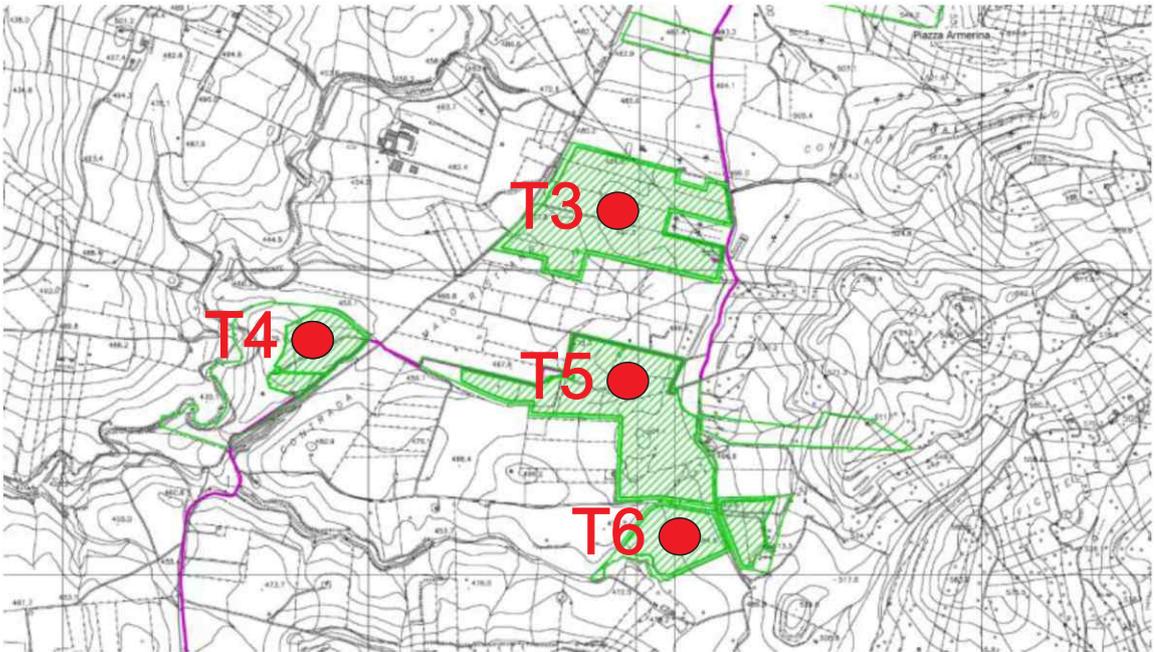
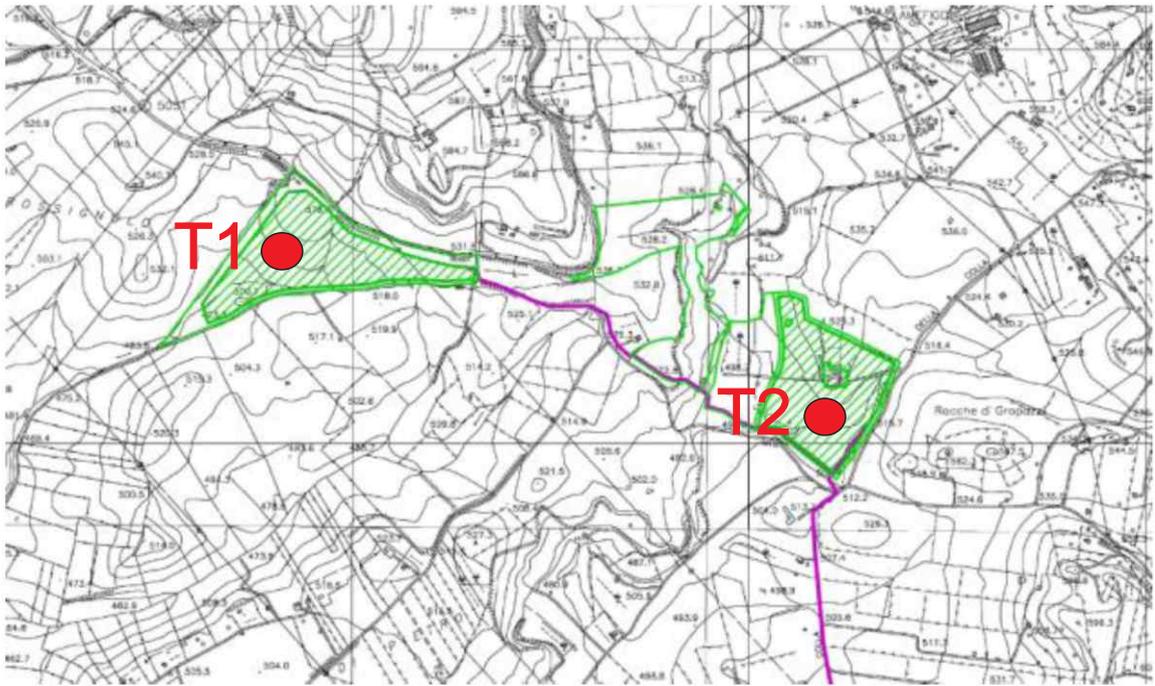
- ⇒ V_0 è la velocità al tetto dello strato;
- ⇒ a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ⇒ ν la frequenza fondamentale di risonanza.

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

Le ubicazioni dei sondaggi eseguiti sono visibili nella planimetria allegata.

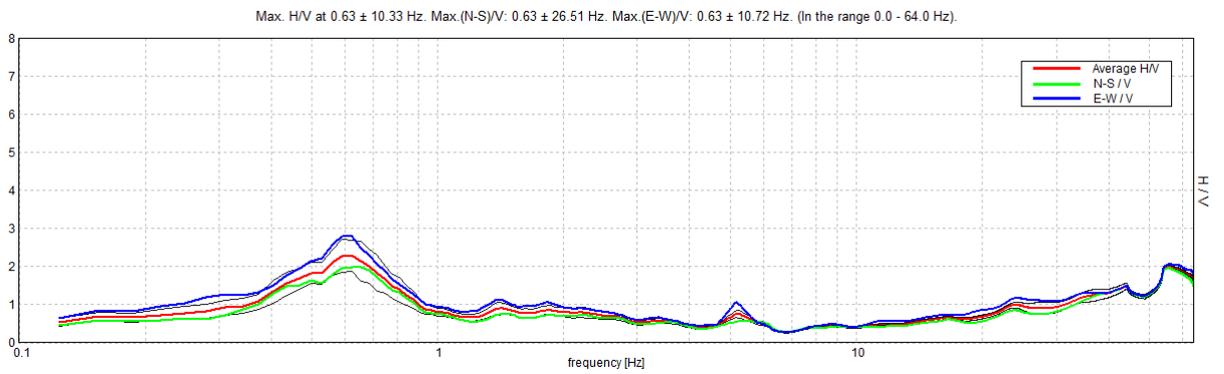
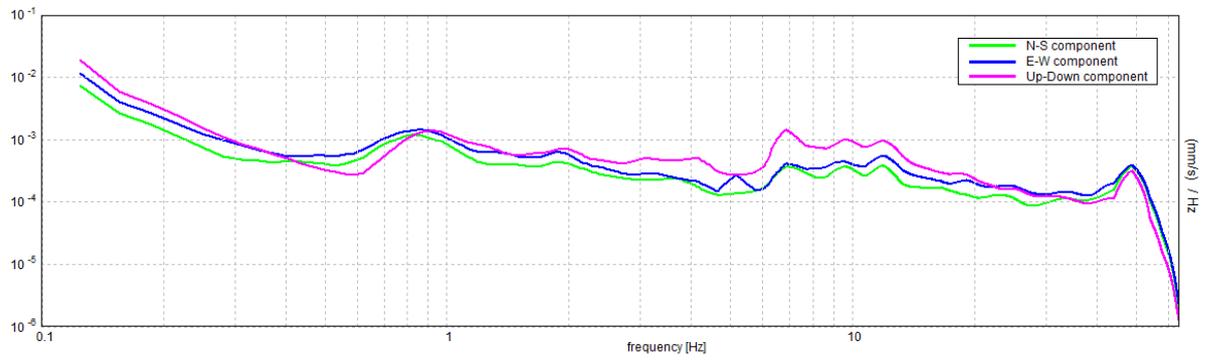
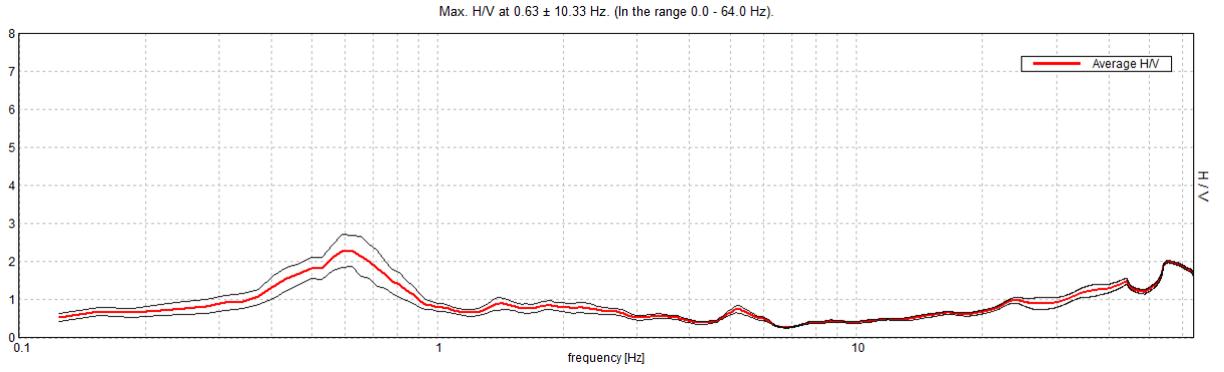
Di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

CARTA CON L'UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE



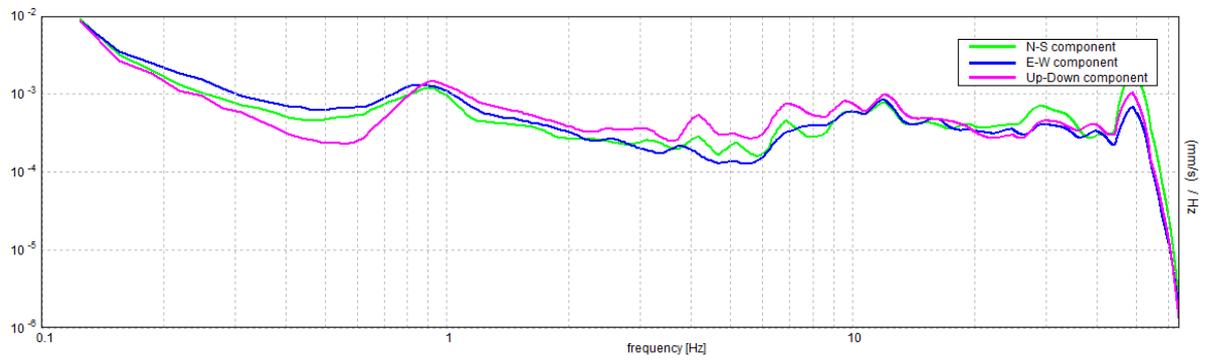
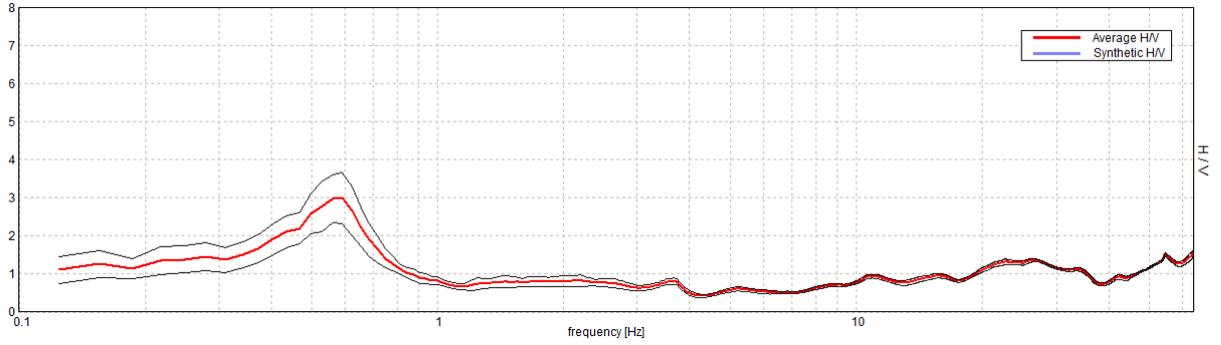
T1 ● Indagini di sismica passiva a stazione singola

Sondaggio T1

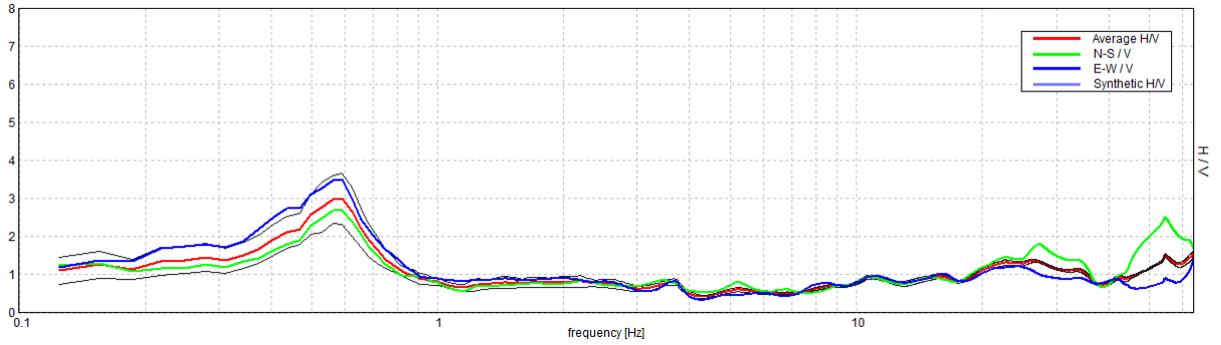


Sondaggio T2

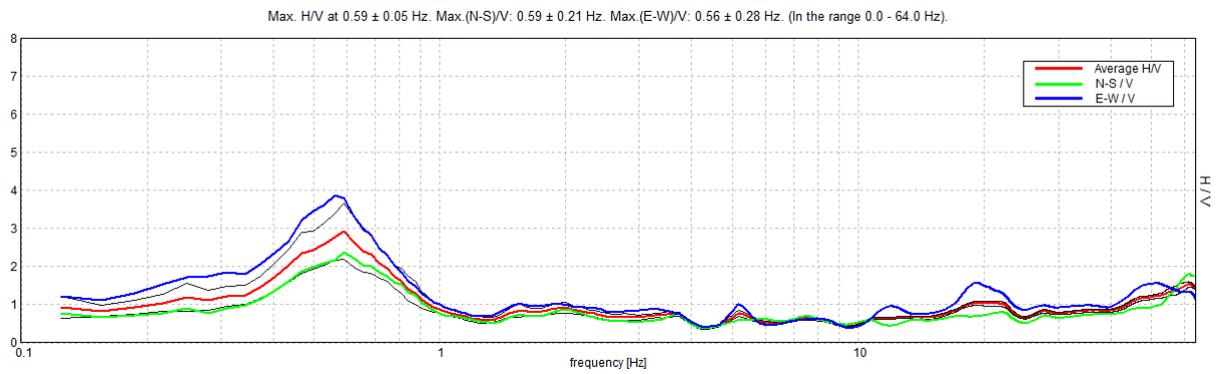
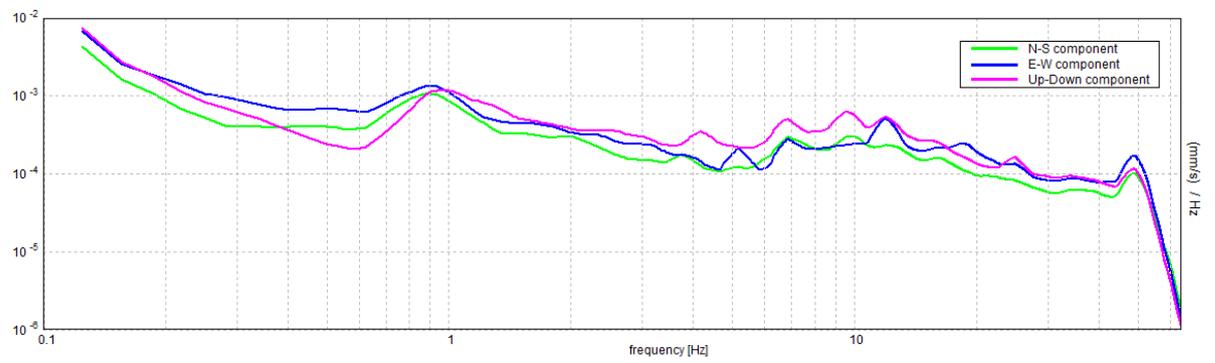
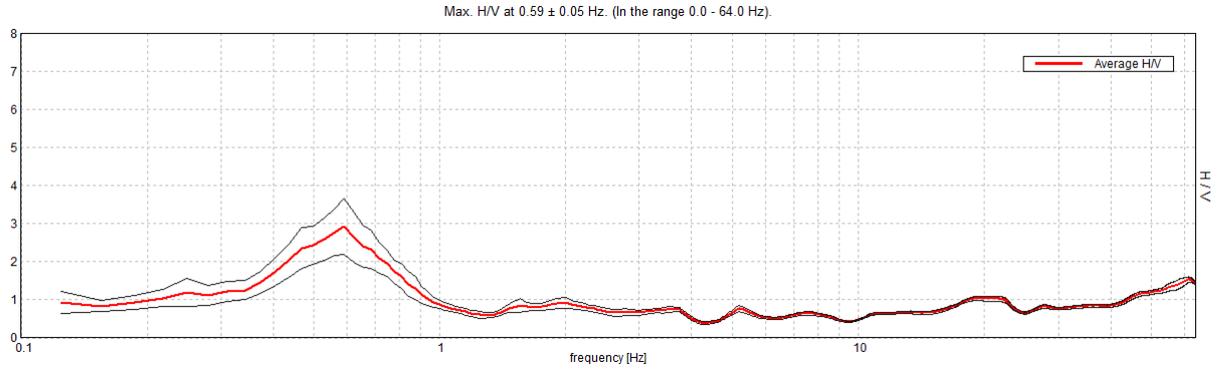
Max. H/V at 0.59 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 0.59 ± 0.06 Hz. Max (N-S)/V: 0.56 ± 28.22 Hz. Max (E-W)/V: 0.59 ± 0.23 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

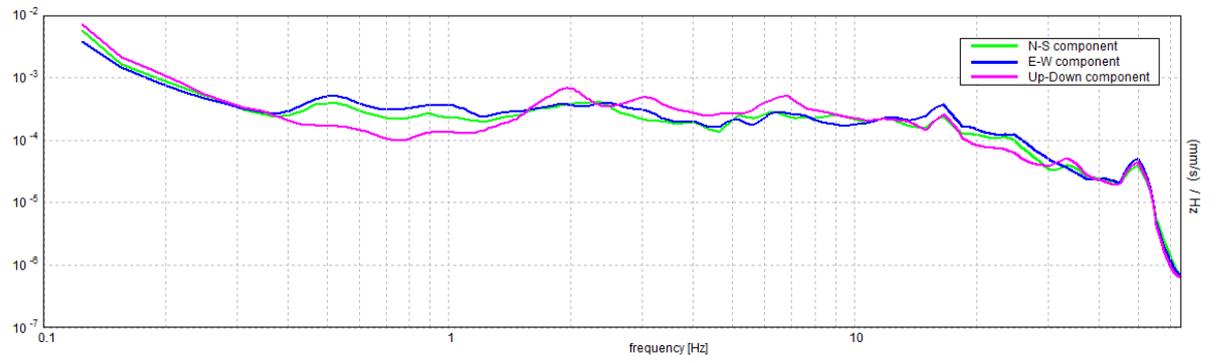
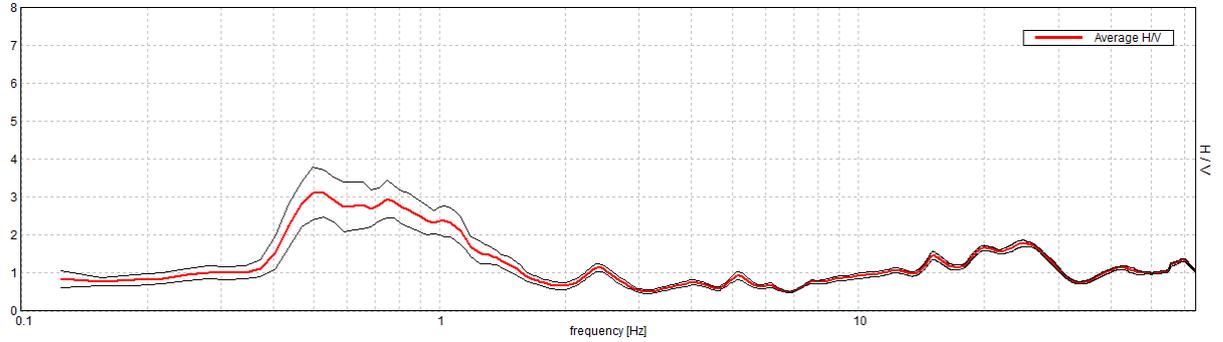


Sondaggio T3

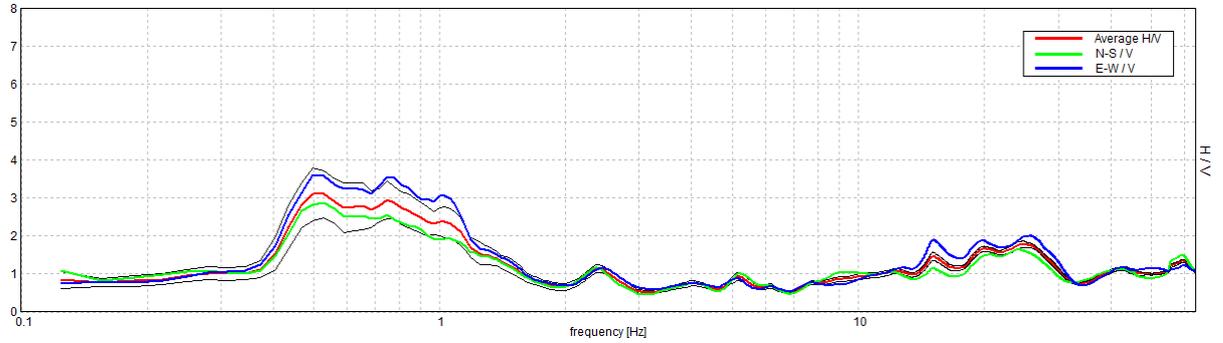


Sondaggio tromografico T4

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

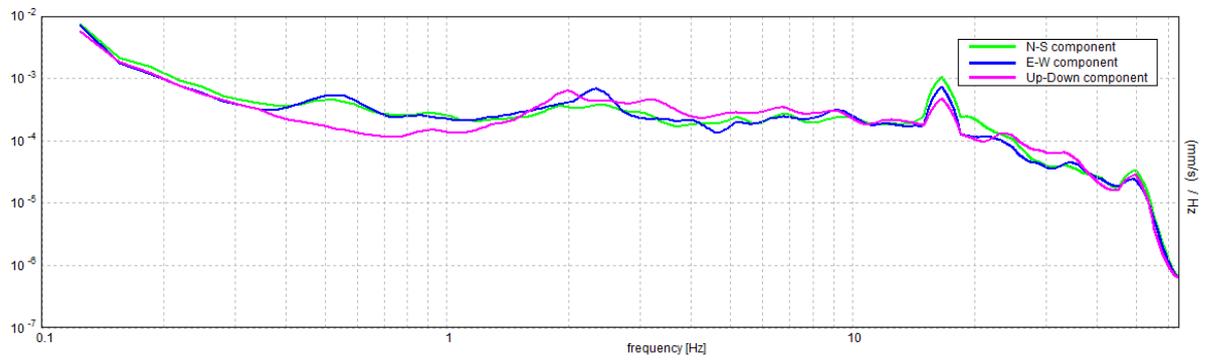
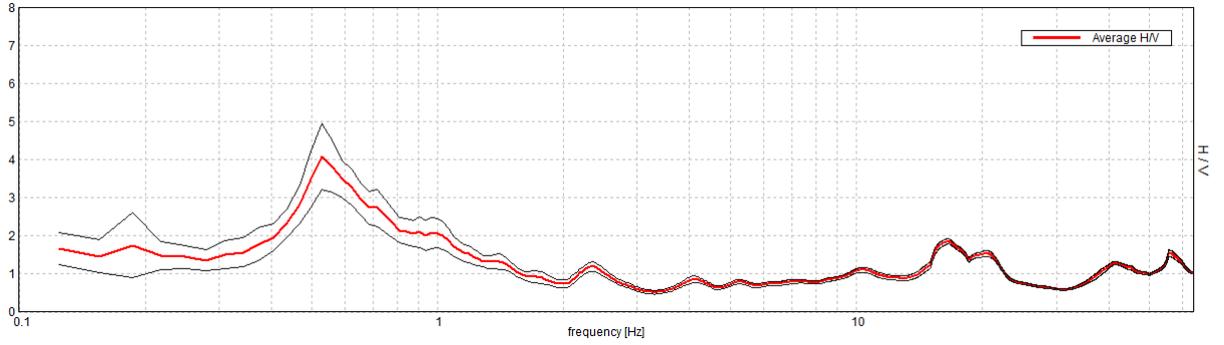


Max. H/V at 0.5 ± 0.05 Hz. Max. (N-S)/V: 0.53 ± 0.1 Hz. Max. (E-W)/V: 0.5 ± 0.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

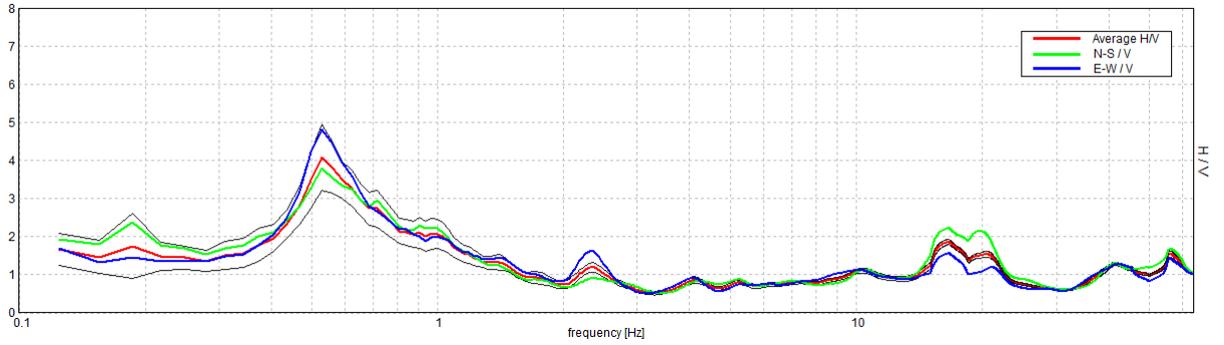


Sondaggio tromografico T5

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

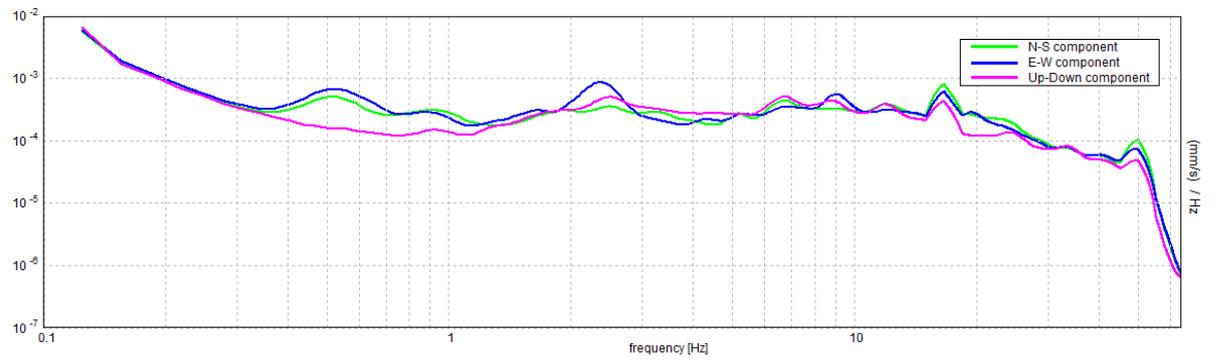
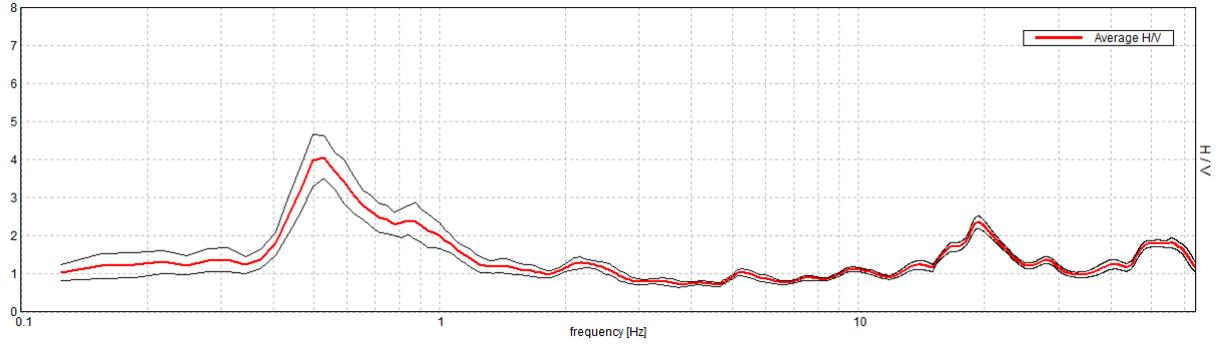


Max. H/V at 0.53 ± 0.11 Hz. Max.(N-S)/V: 0.53 ± 0.18 Hz. Max.(E-W)/V: 0.53 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

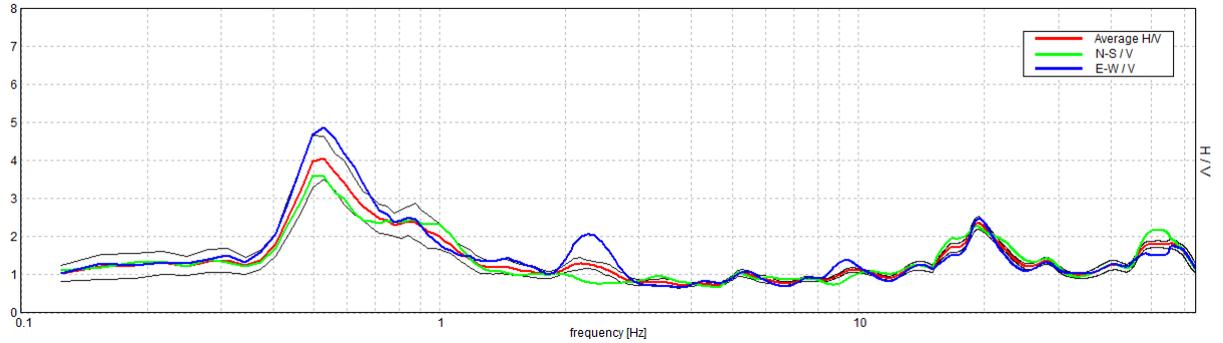


Sondaggio tromografico T6

Max. H/V at 0.53 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

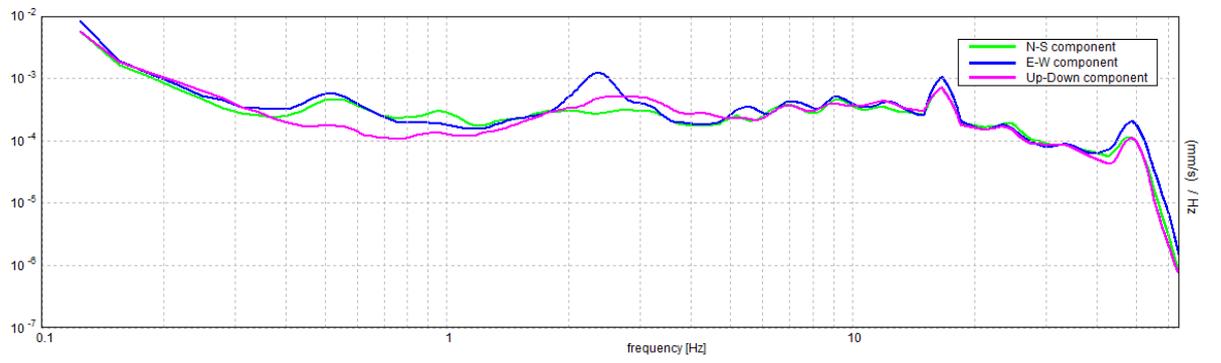
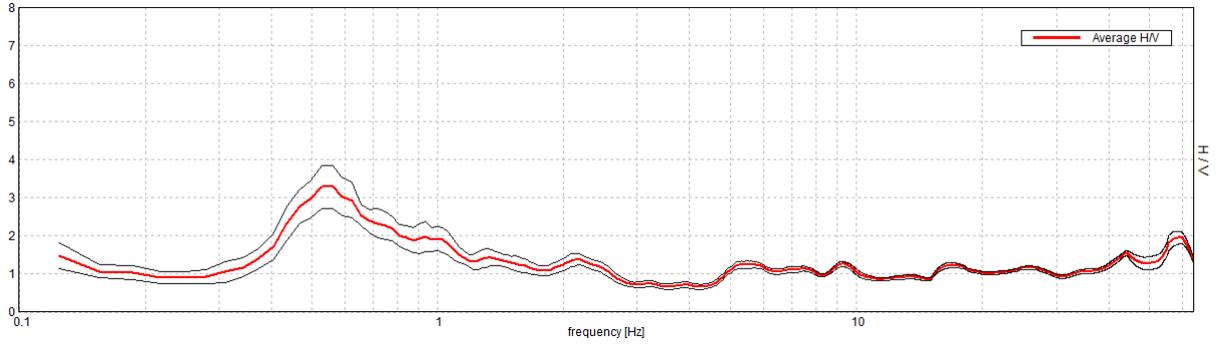


Max. H/V at 0.53 ± 0.01 Hz. Max. (N-S)/V: 0.5 ± 0.28 Hz. Max. (E-W)/V: 0.53 ± 0.31 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

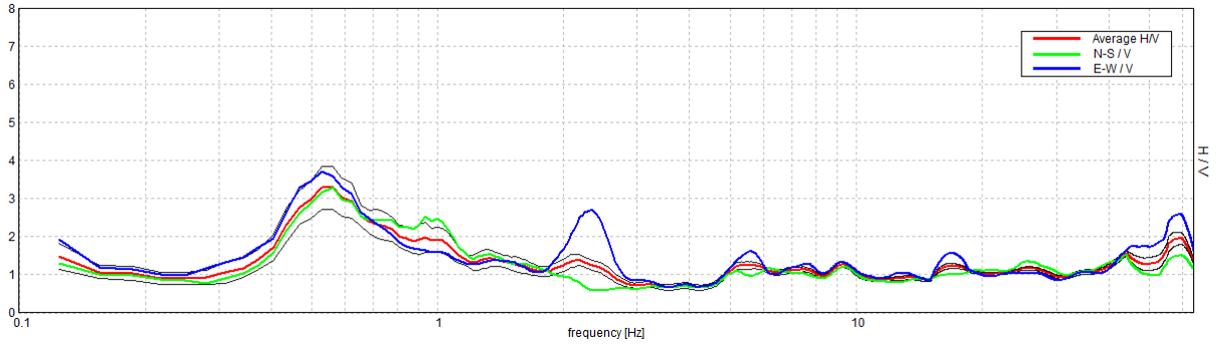


Sondaggio tromografico TSOTT

Max. H/V at 0.53 ± 0.07 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 0.53 ± 0.07 Hz. Max. (N-S)/V: 0.56 ± 0.33 Hz. Max. (E-W)/V: 0.53 ± 10.54 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



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

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

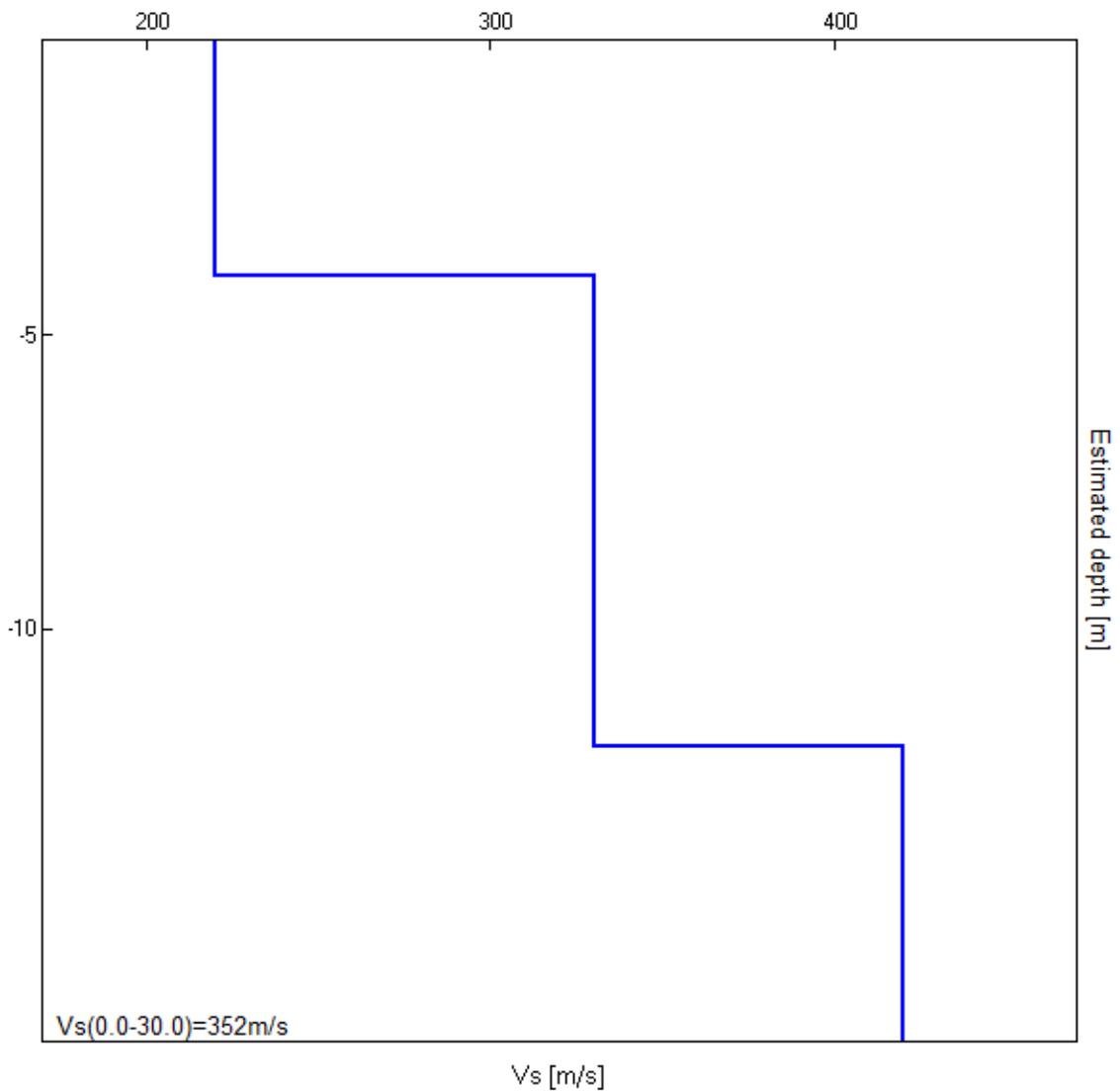
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

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

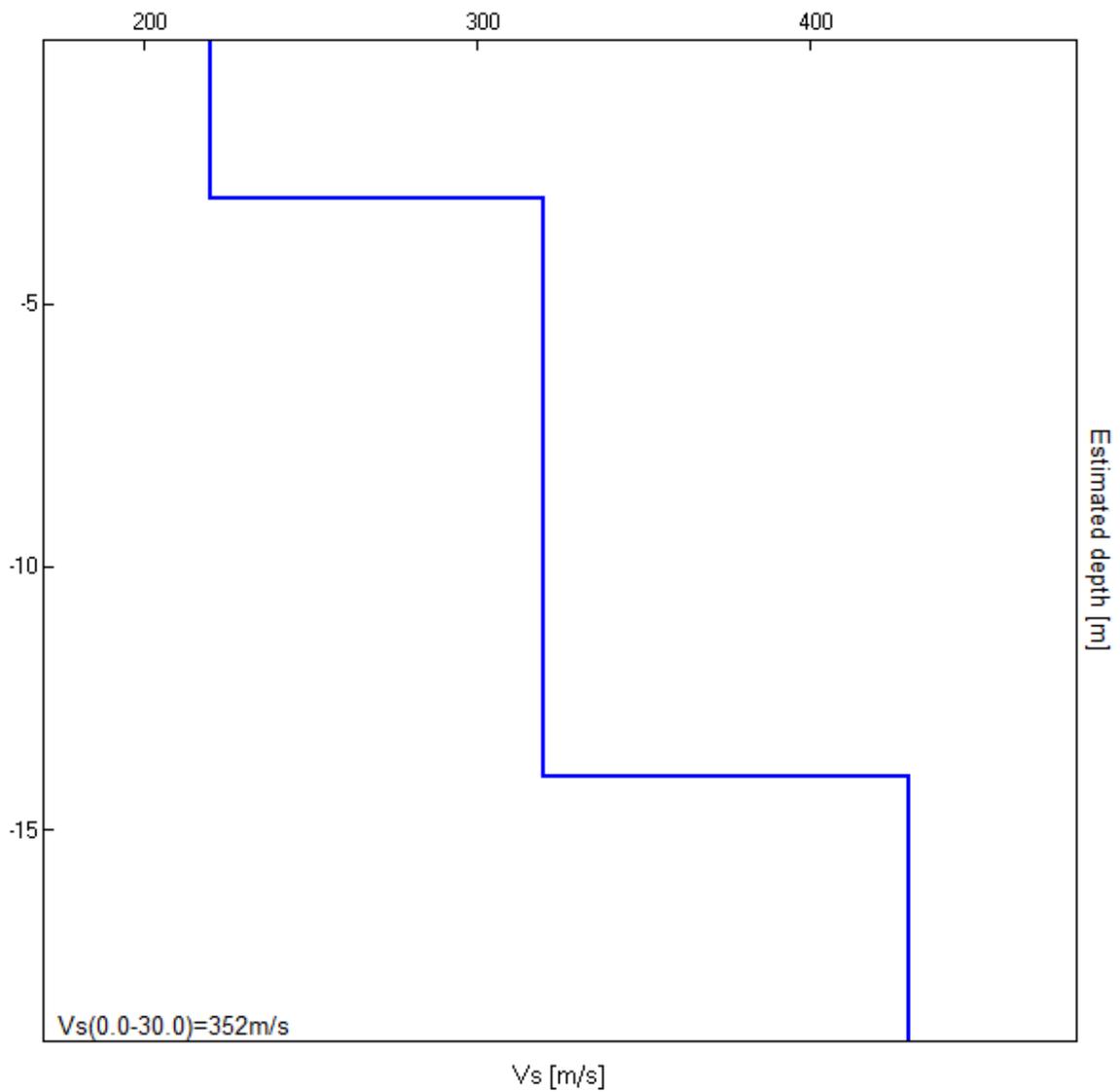
Sondaggio tromografico T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 4.00	220	C	C (Vs,eq=352 m/s)
4.00 – 12.00	330	C	
12.00 – 30.00	420	B	



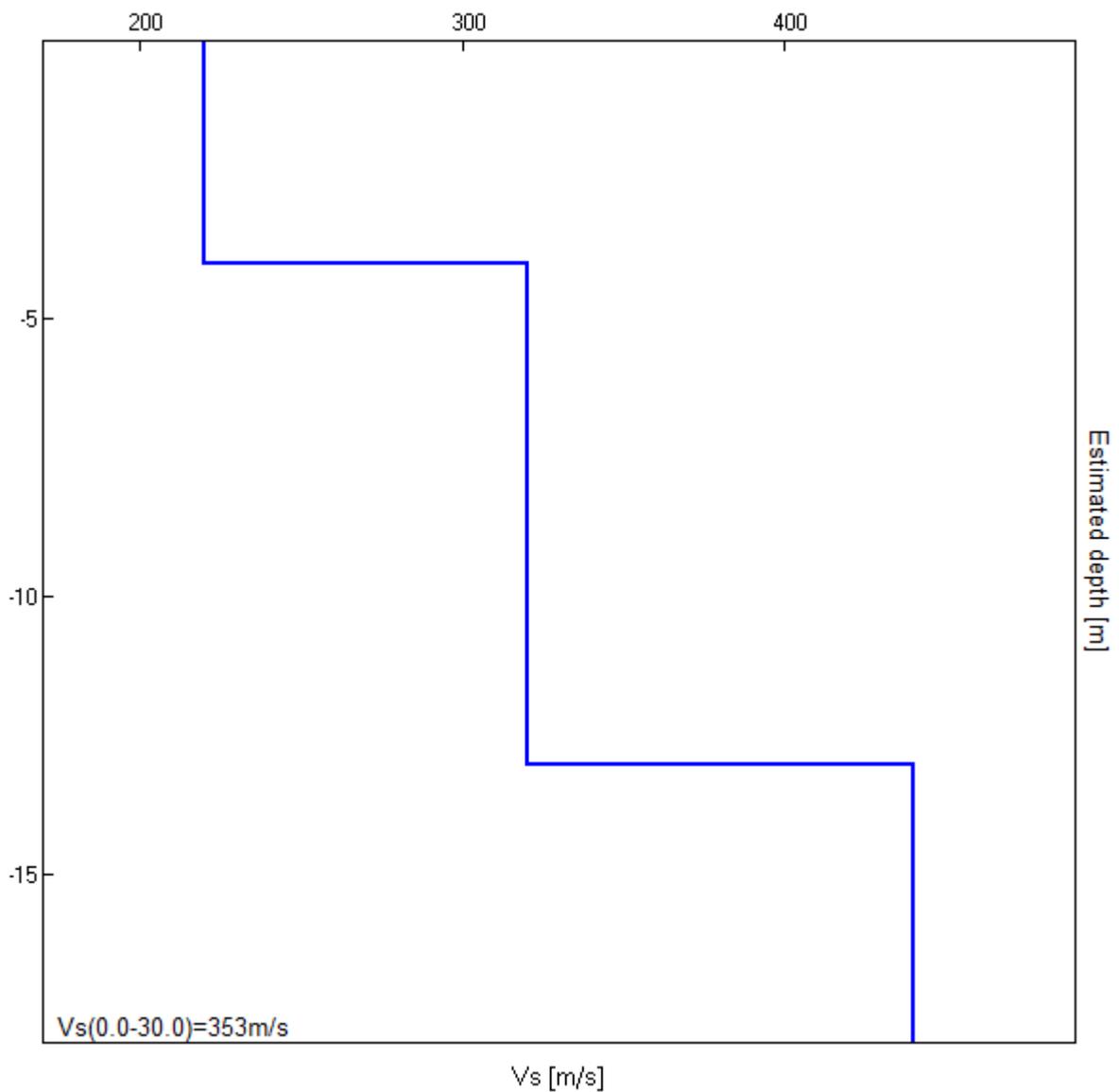
Sondaggio tromografico T2

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 3.00	220	C	C (Vs,eq =352 m/s)
3.00 – 14.00	320	C	
19.00 – 30.00	430	B	



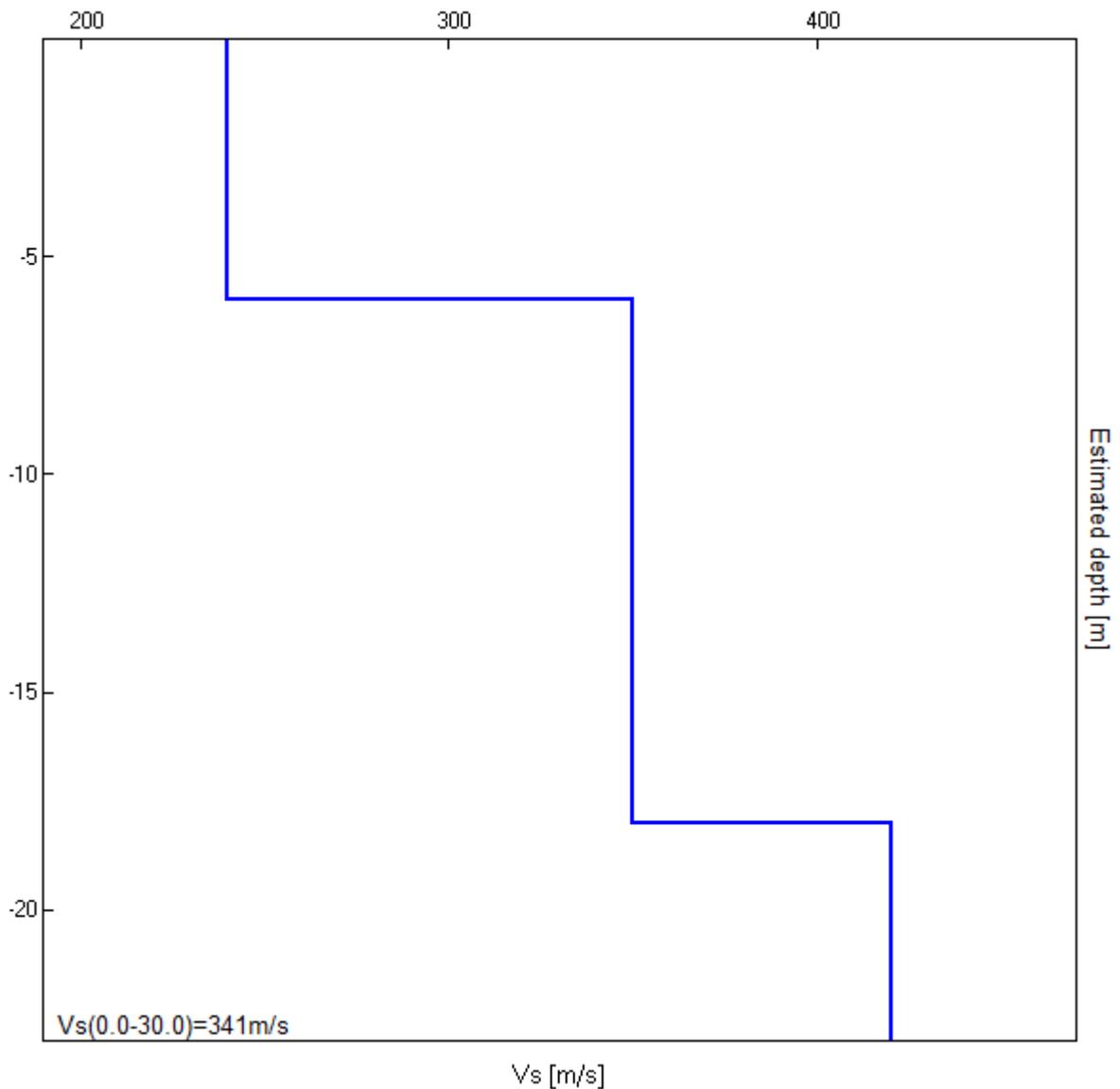
Sondaggio tromografico T3

<i>Profondità (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018</i>	
0.00 – 4.00	220	C	C (Vs,eq =353 m/s)
4.00 – 13.00	320	C	
13.00 – 30.00	440	B	



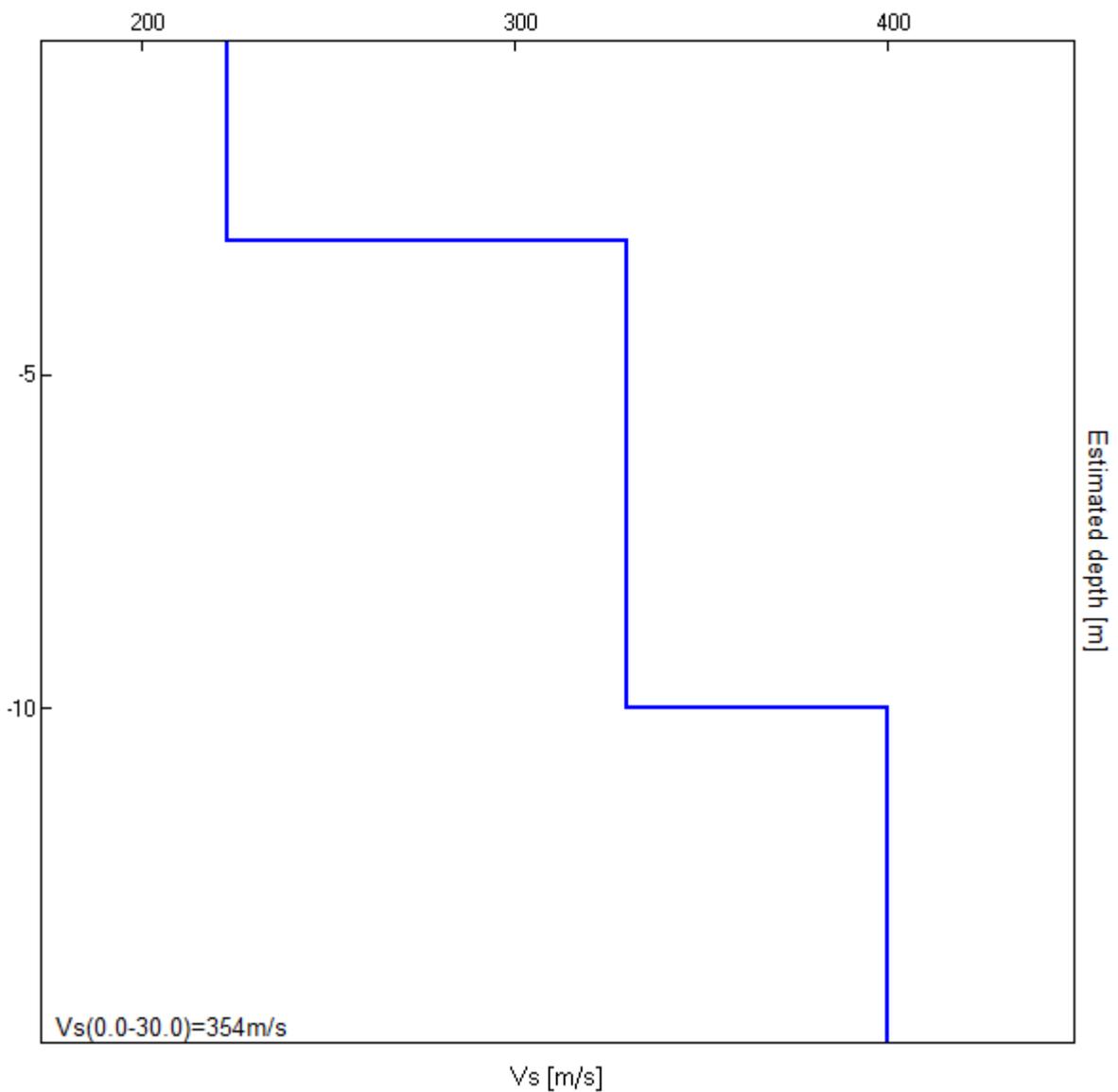
Sondaggio tomografico T4

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 =341 m/s)
6.00 – 18.00	350	C	
18.00 – 30.00	420	B	



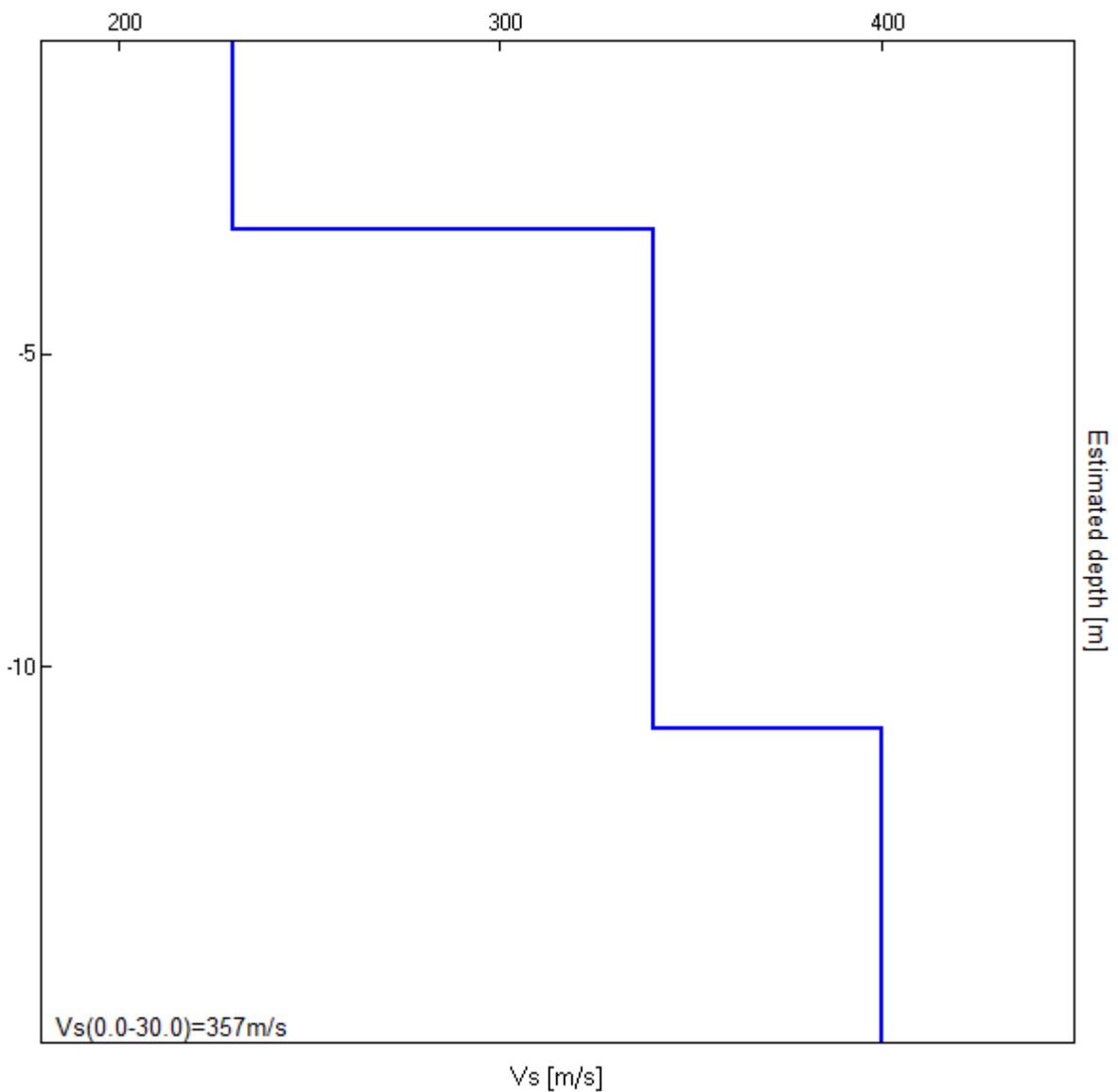
Sondaggio tromografico T5

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 3.00	220	C	C (Vs,eq =354 m/s)
3.00 – 10.00	330	C	
10.00 – 30.00	400	B	



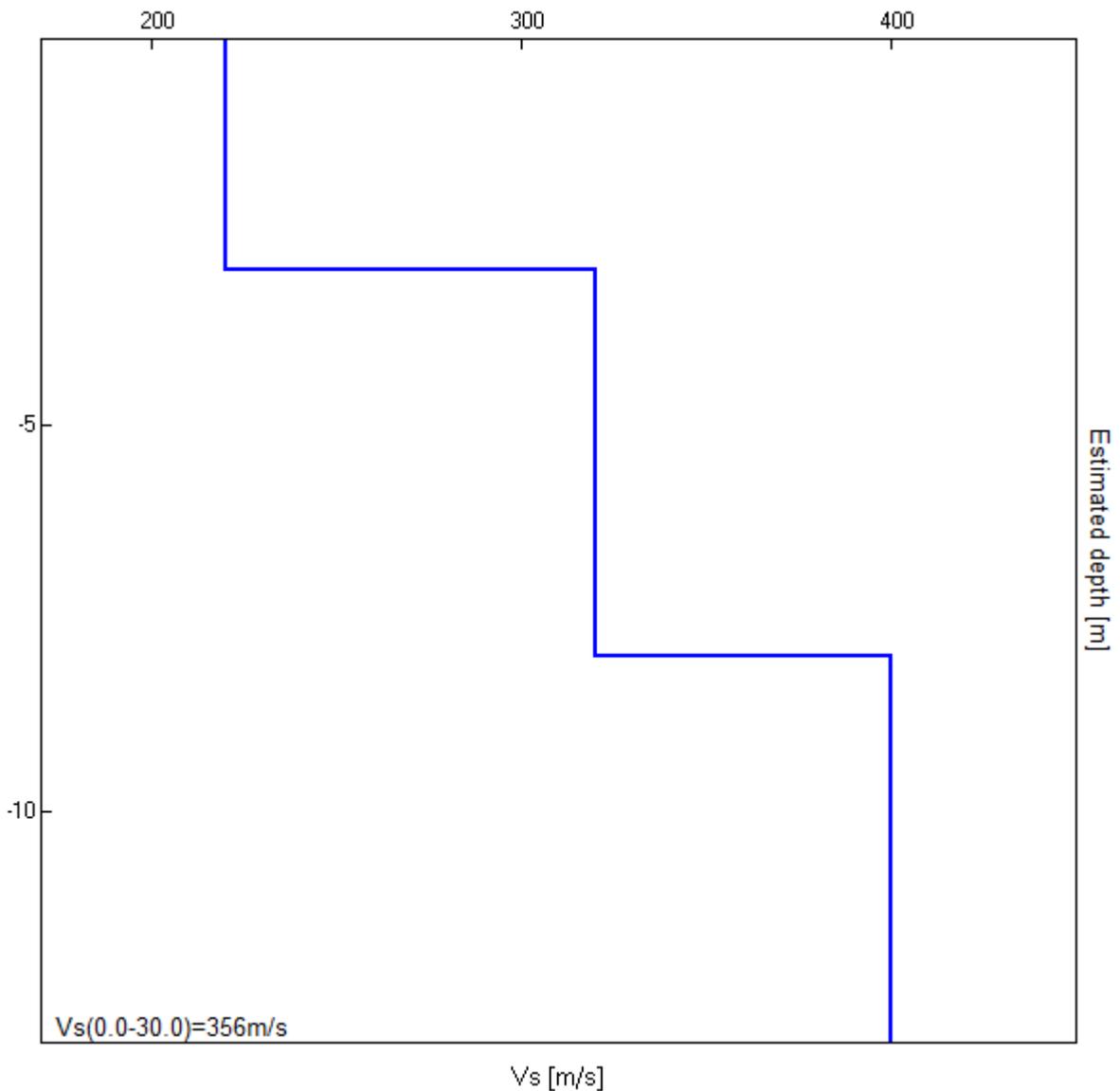
Sondaggio tromografico T6

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 3.00	230	C	C (Vs,eq =357 m/s)
3.00 – 11.00	340	C	
11.00 – 30.00	400	B	



Sondaggio tomografico TSOTT

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 3.00	220	C	C (Vs,eq =356 m/s)
3.00 – 8.00	320	C	
8.00 – 30.00	400	B	



6. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 2 (Piazza Armerina). 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).

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 nell'area dell'impianto agro voltaico 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.

7. 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 dei sottocampi fotovoltaici:

- ✓ n. 4 sondaggi a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza del sottocampo 1;
- ✓ n. 4 sondaggi a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza del sottocampo 2;
- ✓ n. 4 sondaggi a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza del sottocampo 4;
- ✓ n. 4 sondaggi a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza del sottocampo 6;
- ✓ n. 4 sondaggi a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza del sottocampo 7;
- ✓ n. 8 sondaggi a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza del sottocampo 8;
- ✓ n. 1 sondaggio a carotaggio continuo ciascuno di profondità pari a 30 mt. dal p.c. in corrispondenza della sottostazione;
- ✓ prelievo di n. 3 campioni indisturbati, per ciascun sondaggio, sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 5 S.P.T. in foro per ciascun sondaggio;

- ✓ esecuzione di n. 8 prove granulometriche in laboratorio per lo studio del potenziale di liquefazione per ciascun sondaggio;
- ✓ n. 2 indagine di sismica attiva “Masw” in ciascun sottocampo.

8. 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 affiorano i depositi alluvionali (porzione del sottocampo 2 e7) i litotipi di sedime sono prevalentemente rocce 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 delle Marne di Geracello o della Fm. Terravecchia (vedi colonna stratigrafica tipo);
 - ✓ nelle aree dove affiorano le Sabbie di Lannari (porzione dei sottocampi 6 e 8) i litotipi di sedime sono sabbie di colore ocre a granulometria medio-fine talora limose, a stratificazione irregolare con intercalati livelli arenacei teneri e cementati. Si presentano alterate per i primi 3-5 m di profondità. I terreni sopra descritti sono ricoperti da uno spessore variabile tra 1,00 e 2,00 m di terreno vegetale e sovrastano i litotipi delle Marne di Geracello (vedi colonna stratigrafica tipo);
 - ✓ nelle aree dove affiorano le Marne di Geracello (sottocampi 1, 4 e 9, una porzione dei sottocampi 6, 7 e 8 e la sottostazione) i litotipi di sedime sono argille marnose ed argille siltose di colore grigio azzurro, talora biancastro, a stratificazione indistinta. Si presentano alterate per i primi 6-7 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);

- ✓ nelle aree dove affiora la Fm. Terravecchia (porzione sottocampo 2) i litotipi di sedime sono argille ed argille sabbiose, di colore grigio e tabacco, con intercalati sottili livelli sabbiosi che ne marcano la stratificazione. Si presentano alterate per i primi 6-7 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.
- 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;
- Si mette in evidenza che, in corrispondenza del Torrente Nocciara e degli impluvi presenti, caratterizzati da una forte erosione di fondo, si individuano smottamenti e colamenti delle sponde. In particolare, le aree indicate nelle carte geomorfologiche di detta-glio allegate sono interessate dai suddetti “fenomeni geodinamici” e debbono essere tenuti nella dovuta considerazione nella scelta del tracciato della viabilità e del cavidotto al fine di evitare che la loro evoluzione possa in futuro interferire negativamente con le stesse. Vi sono alcuni elementi meritevoli di attenzione e che bisogna evidenziare nei **SOTTOCAMPI 1, 7 e 8**: sono presenti fenomeni

geodinamici attivi che sono stati evidenziati contestualmente al layout di progetto. Sono aree interessate da attività erosiva di sponda e di fondo in corrispondenza dell'impiuvio presente. ***Il layout è stato studiato in modo da sistemare le opere in aree perfettamente stabili*** ma è consigliabile che in sede di progettazione esecutiva vengano previste opere di protezione afferenti alle tecniche di ingegneria naturalistica delle tipologie precedentemente indicate.

- Vista la natura dei terreni presenti si può affermare che il livello piezometrico della falda presente nei depositi alluvionali si attesta a una quota pari a circa 2.0 m dal p.c., ma può raggiungere il piano campagna durante i periodi di pioggia. Si tratta di una falda di poco interesse per la sua scarsa potenzialità e perché prevalentemente a carattere stagionale.
- E' presente un'importante falda dove affiorano le Sabbie di Lannari. Si tratta di un adunamento idrico legato all'esteso territorio dove affiora questa formazione geologica. Il livello freatico è generalmente molto profondo, rispetto alle fondazioni dei manufatti in progetto ed in ogni caso questa formazione è interessata solo marginalmente ed in posizione estremamente periferica rispetto all'acquifero, per cui non è possibile alcuna interferenza negativa tra la realizzazione/esercizio/dismissione delle opere in progetto e la falda, anche in considerazione del fatto che non è possibile alcun impatto sulla circolazione idrica sotterranea sia perché i pali di fondazione non raggiungono il livello freatico, sia perché in ogni caso, vista la distanza relativa tra i pali , non è possibile alcun effetto diga.

- Le opere in progetto non rilasciano alcuna sostanza inquinante né nel suolo, né nelle acque.
- In tutti gli altri sottocampi, caratterizzati dall'affioramento dei litotipi argillosi riferibili alle Marce di Geracello ed alla frazione argillosa dell Fm. Terravecchia, non sono presenti falde freatiche, ma nel periodo delle piogge i primi 5-6 mt. si possono trovare in condizioni di saturazione.
- 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) ***Categoria C - “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.***
- Non esistono pericolosità geologiche e sismiche che possano ostare la realizzazione del progetto.
- Nello specifico del nostro lavoro si evince che dove è presente la natura prevalentemente argillosa, sono soddisfatte le condizioni di cui alla normativa vigente e può essere esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di liquefazione dei terreni, mentre dove affiorano i litotipi sabbiosi ed alluvionali, 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;

- si ritiene indispensabile eseguire, in fase di progettazione esecutiva e dei calcoli delle strutture, una campagna di indagini ai sensi del D.M. 17/01/2018, come sopra descritta.

Dott. Geol. Gualtiero Bellomo

