

**REGIONE BASILICATA**  
**Comune di Sant'Arcangelo (PZ)**  
**"Timpone della Torre"**



**PROGETTO DEFINITIVO**

per la costruzione e l'esercizio di un impianto fotovoltaico della potenza di picco pari a 15,7872MWp e potenza in immissione pari a 13,5MW AC, da ubicare nel Comune di Sant'Arcangelo (PZ) in località Timpone della Torre al foglio 48 particelle 37-44-45-46-47-48-57, al foglio 49 particelle 66-176-185, foglio 50 particelle 65-70-95-97-99 e relative opere di connessione nel medesimo Comune.

PROPONENTE



**GreenLAB S.r.l.**  
 sede legale: Via Tirreno n. 63 - 85100 Potenza  
 N. REA PZ - 203618- P.IVA 02061890766

ELABORATO  
 A.2

**RELAZIONE GEOLOGICA**

scala

PROGETTAZIONE:

**GreenLAB S.r.l.**  
 sede legale: Via Tirreno n.63 - 85100 Potenza  
 N. REA PZ - 203618, P.IVA 02061890766  
 PEC: greenlab-srl@legalmail.it  
 Ing. Dina Statuto  
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Potenza n.2764



GEOLOGO:

**DR. GIANCRISTIANO FRANCHINO**  
 Ordine dei Geologi di Basilicata n. 304



Aggiornamenti	Numero	Data	Motivo	Eseguito	Verificato	Approvato
	Rev 0	Gennaio 2023	Istanza per l'avvio del procedimento di rilascio del provvedimento di VIA nell'ambito del Provvedimento Unico in materia Ambientale ai sensi dell'art.27 del D.Lgs.152/2006 e ss.mm.ii.			

SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI

## INDICE

<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>COLLOCAZIONE GEOGRAFICA E CATASTALE.....</b>	<b>4</b>
<b>VERIFICA DI CONFORMITA' AL PIANO STRALCIO DELL'AUTORITÀ DI BACINO.....</b>	<b>5</b>
<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-REGIONALE.....</b>	<b>7</b>
<b>CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA PARCO FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>10</b>
<b>CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....</b>	<b>11</b>
<b>CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE.....</b>	<b>14</b>
<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>15</b>
<b>PROVE PENETROMETICHE DINAMICHE CONTINUE.....</b>	<b>15</b>
<b>PERICOLOSITÀ SISMICA E SISMICITA' STORICA DEL SITO.....</b>	<b>36</b>
<b>MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>43</b>
<b>VALUTAZIONI TECNICHE CONCLUSIVE.....</b>	<b>44</b>

## **PREMESSA**

Su incarico della società Green Lab S.r.l. lo scrivente ha redatto il presente studio geologico per la progettazione definitiva di un impianto fotovoltaico della potenza di 13,5 Mw in località Timpone della Torre del comune di Sant’Arcangelo (PZ), in ottemperanza alle seguenti normative:

- L.R. n. 9 del 07/06/2011 “Disposizioni urgenti in materia di Microzonazione Sismica”.
- L.R. 11.8.99 n.23 "Tutela, governo ed uso del territorio”.
- D.M. 14.01.2018 – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”.
- R.D. 3267/23 - D.G.R. n. 412/2015: disposizioni in Materia di Vincolo Idrogeologico-RDL 3267/23 "Riordinamento e Riforma Legislazione in Materia di Boschi e Terreni Montani "L.R. n.42/1998 " Norme in Materia Forestale Art.16-2.
- “NTA del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico vigente dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale”.

Il piano delle indagini geognostiche ha previsto l’esecuzione di indagini sismiche masw e del tipo a rifrazione e di prove penetrometriche dinamiche continue.

## **ALLEGATI – TAVOLE GRAFICHE:**

- Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - scala 1:5.000 (Elaborato A.16.a.7).
- Carta Geologica – scala 1:2.000 (Elaborato A.12.a.8).
- Carta Geomorfologica – scala 1:2.000 (Elaborato A.12.a.9).
- Carta Idrogeologica – scala 1:2.000 (Elaborato A.12.a.10).
- Sezione Geologica – scala 1:2.000 (Elaborato A.12.a.11).
- Corografia dei bacini idrografici – scala 1:10.000 (Elaborato A.12.a.12).
- Carta di sintesi della criticità e pericolosità geologica e geomorfologica (A.2.1).
- Carta di microzonazione sismica di secondo livello (A2.2)

## DESCRIZIONE DELL’INTERVENTO

Come riportato nella relazione tecnica a corredo degli elaborati progettuali l’intervento riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico in area agricola situata a Sud-Est rispetto all’abitato di Sant’Arcangelo (PZ).

L’area disponibile per l’installazione dell’impianto fotovoltaico è individuata al Catasto Terreni del comune di Sant’Arcangelo al foglio n° 48 p.lle n. 37 – 44 – 45 – 46 – 47–48-57, foglio 50 p.lle 65-70-95-97-99 nonché e al foglio di mappa n° 49 particelle n. 66 – 176 – 185.

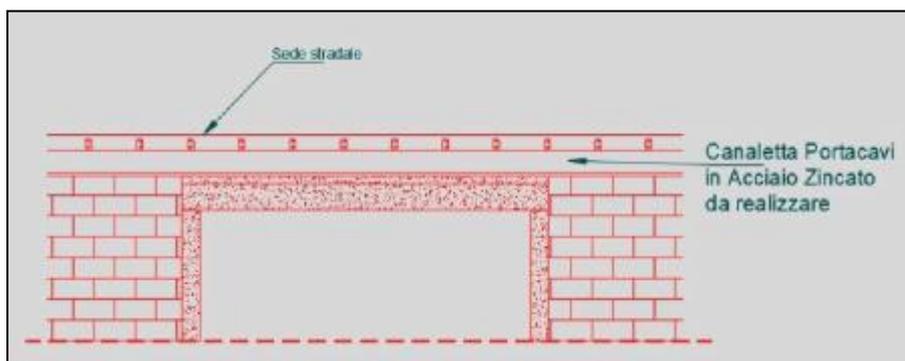
Il cavidotto di connessione prevede l’interramento di un cavidotto MT lungo strada esistente per una lunghezza di circa 2 km e per breve tratto di circa 200 metri a margine di terreni agricoli, dal punto di raccolta e fino a raggiungere la futura sottostazione MT/AT.

Per l’installazione dei pannelli non sono previsti scavi ma l’infissione dei profili di palificazione nel terreno viene eseguito con macchina operatrice battipali idraulica. Questo procedimento di infissione consente di evitare la realizzazione di plinti in cemento armato.

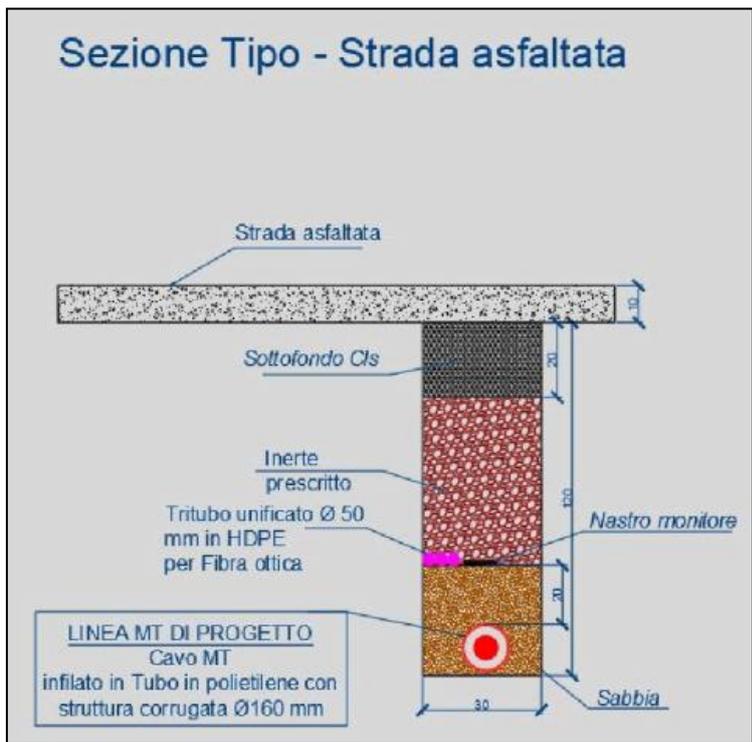
I profili di sostegno sono costituiti da tubolari metallici in acciaio zincato a caldo opportunamente dimensionati, che vengono posizionati ad un’altezza di circa 2,7-3 m e posizionati orizzontalmente seguendo l’andamento del terreno; la profondità di infissione solitamente è pari a circa 2 metri.

Come dettagliatamente riportato negli elaborati di progetto si ha che in uscita dal campo i cavi di collegamento dell’impianto interferiscono con alcuni elementi del reticolo idrografico.

Nei punti di attraversamento dei fossi ( elaborato A.12.a.21.a) con presenza di ponticelli il cavidotto sarà posato mediante canaletta zincata come da immagine seguente:

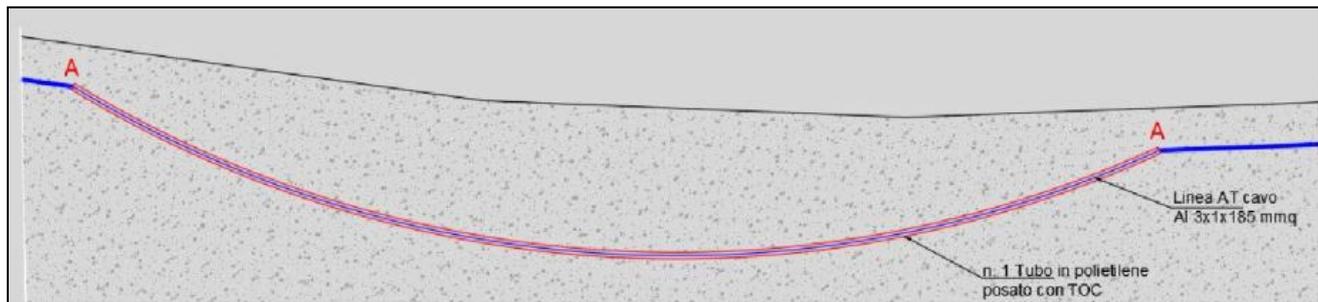


Nei casi di strada in rilevato con tubo di deflusso sottostante, il cavidotto è posato mediante “scavo” nel terrapieno del rilevato in continuità con la viabilità esistente, senza intaccare il corso d’acqua, come indicato nell’elaborato a.12.a.21.a.



3

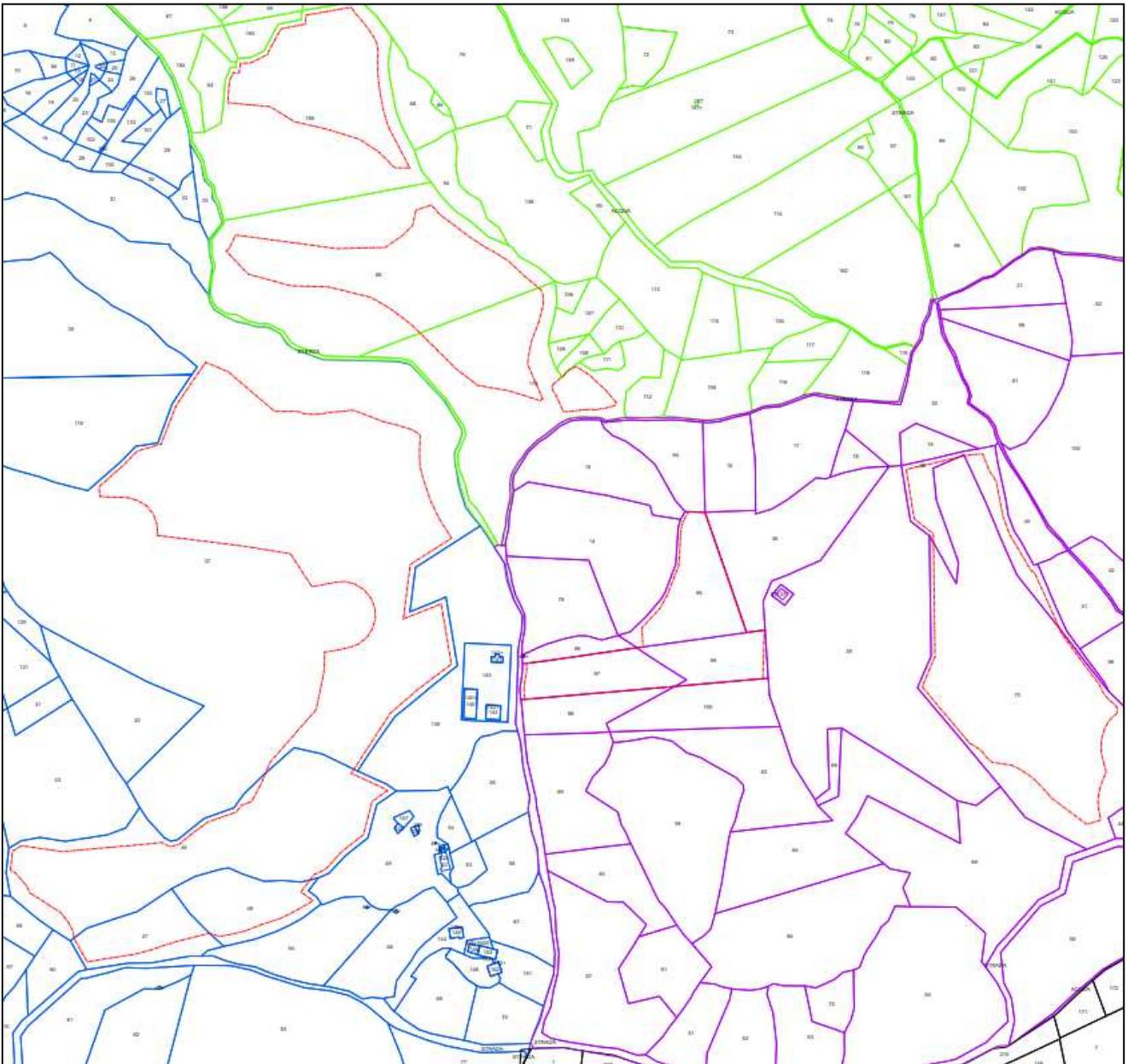
Il cavidotto di connessione nel caso di interferenze con tratturi e metanodotto si utilizzerà la tecnica T.O.C. mediante l’utilizzo di una perforatrice per trivellazione orizzontale controllata.



L’interramento dei cavidotti avverrà lungo strade esistenti e comporta degli scavi strettamente necessari alla loro posa fino ad una profondità massima di 0,80 – 1,00 m, pertanto saranno degli scavi di dimensioni contenute che non influiranno minimamente sulla stabilità geomorfologica dell’area.

## COLLOCAZIONE GEOGRAFICA E CATASTALE

L’impianto fotovoltaico verrà realizzato a terra, in un’area che si estende su una superficie agricola posta nella porzione sudorientale del territorio comunale di Sant’Arcangelo (PZ) in contrada “Timpone della Torre”, catastalmente riportata al foglio di mappa n° 48 particelle n. 37 – 44 – 45 – 46 – 47–48-57, foglio 50 particelle 65-70-95-97-99 nonché e al foglio di mappa n° 49 particelle n. 66 – 176 – 185.



PLANIMETRIA CATASTALE

## **VERIFICA DI CONFORMITA’ AL PIANO STRALCIO DELL’AUTORITÀ DI BACINO**

Il territorio comunale di Sant’Arcangelo rientra nel territorio di competenza dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale.

Dalla consultazione delle Tavole del Piano per l’Assetto idrogeologico non risultano interferenze delle opere in progetto con le aree a rischio da frana R2, R3 ed R4.

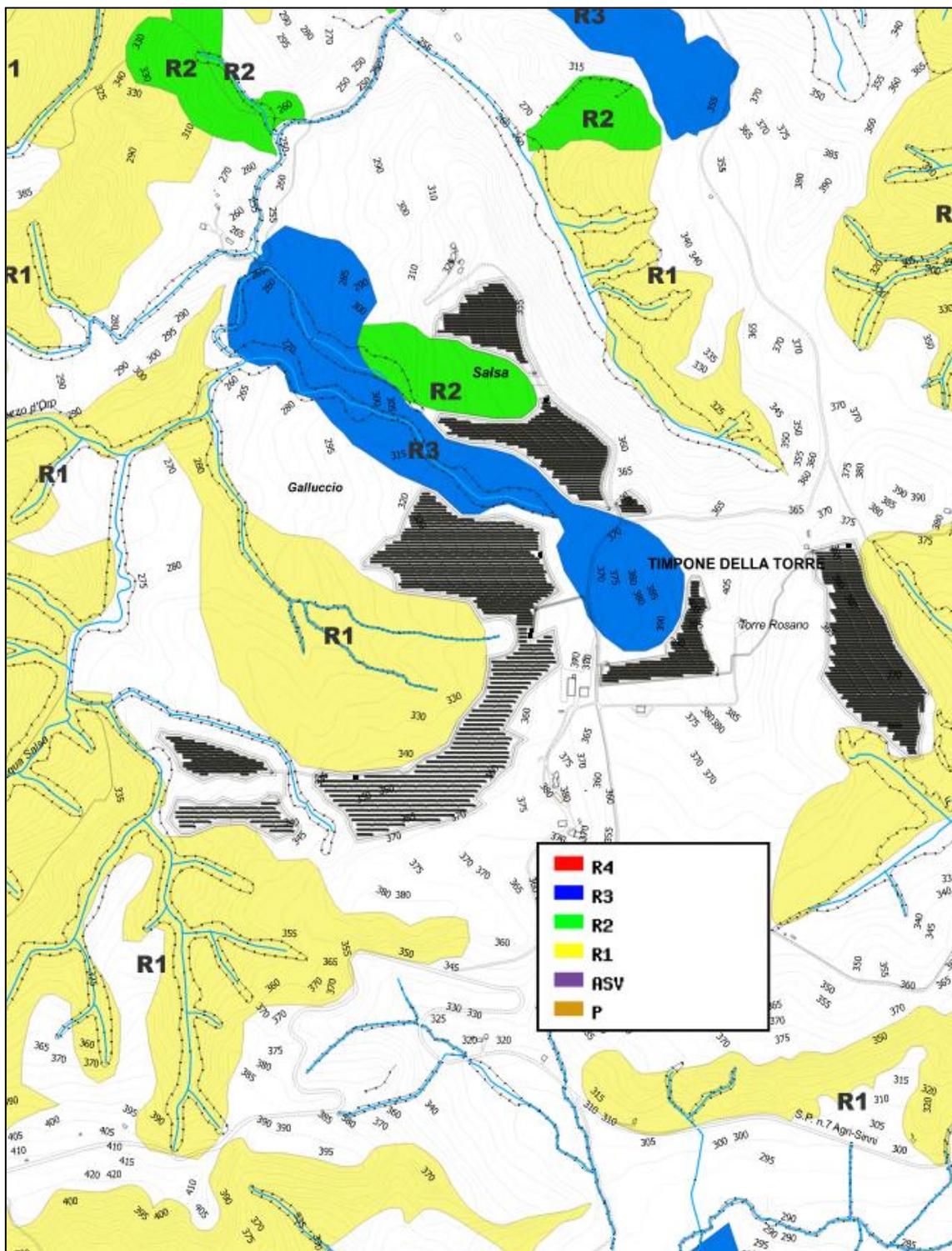
Solo un breve tratto del cavidotto interferisce con un’area classificata come R1 – rischio medio ed è normato dall’art. 19 c.3.1: Nelle aree a rischio idrogeologico moderato sono consentiti gli interventi di cui all’art.17, c.3, punto 3.1, nonché interventi di nuova costruzione, di ampliamento e completamento di opere esistenti, così come definiti dalla legislazione vigente, realizzati con modalità che non determinino situazioni di pericolosità idrogeologica.

Per le aree occupate dell’impianto che non interferiscono con quelle classificate a rischio si applica quanto disposto dall’art. 1 c.8 e dall’art. 4-quater delle NdA del PAI.

Pertanto ai sensi delle NdA citate il presente studio è stato redatto ai sensi dell’art.4 quater c.1 e c.2.

Dai riscontri eseguiti in campo si evince che le aree di sedime dei moduli fotovoltaici e delle cabine elettriche non presentano alcuna evidenza morfologica riconducibili a movimenti franosi in atto e potenziali.

Per quanto riguarda il cavidotto interrato in alcuni punti interferisce con areali a rischio moderato R1, ma è situato lungo strade esistenti.

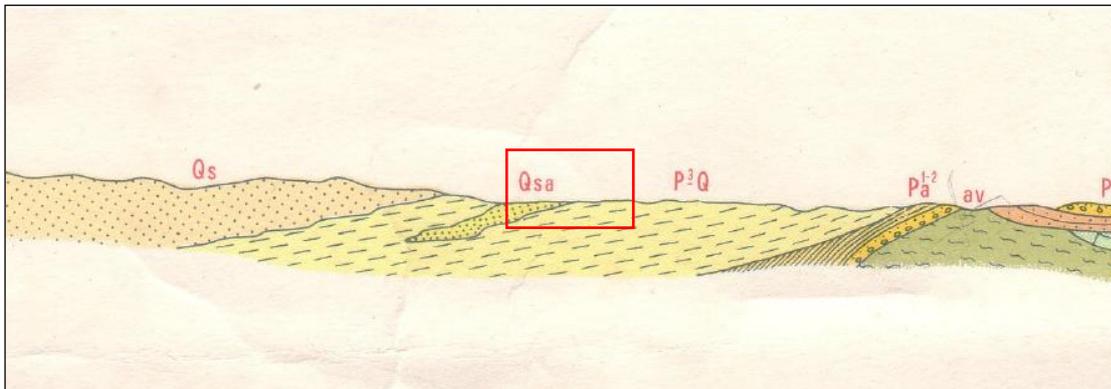
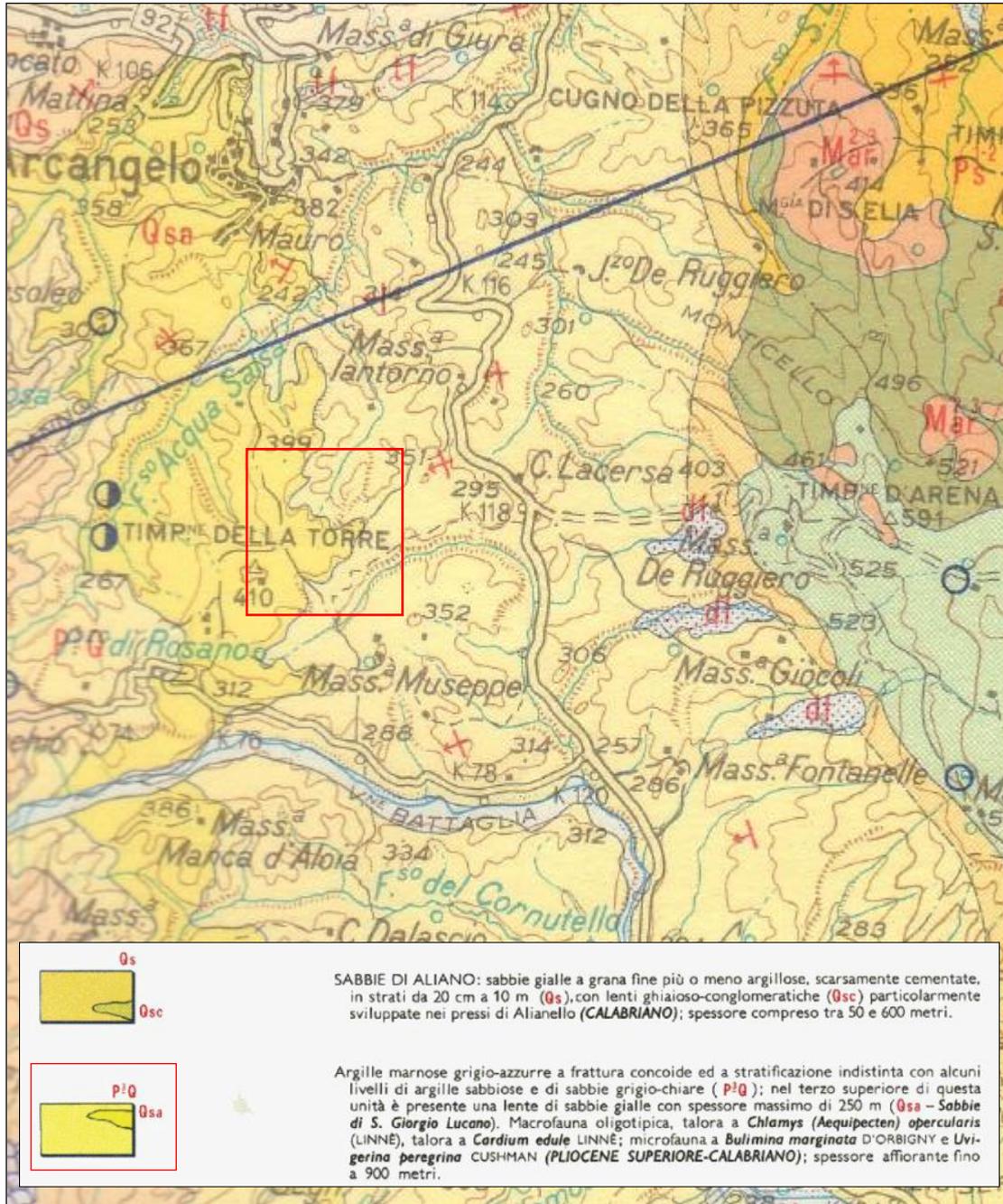


ESTRATTO CARTA DEL RISCHIO DA FRANA

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO-REGIONALE

La cartografia Geologica ufficiale in cui rientra il territorio in esame è il Foglio geologico

211 – Sant’Arcangelo in scala 1:100.000.



Dal punto di vista geologico-strutturale l’intera area è situata su una fascia marginale dell’Appennino Lucano in un bacino sedimentario colmato da depositi plio-quadernari che giacciono in discordanza sui terreni meso-cenozoici della catena appenninica.

I sedimenti che riempiono questo bacino sono prevalentemente clastici di tipo argilloso-sabbiosi e conglomeratici, e nella parte superiore da depositi argillosi di età plio-pleistocenica.

I depositi preplioceni, piegati e fagliati, sono generalmente implicati in fenomeni tettonici che hanno comportato nei vari strati sollecitazioni di entità tale da determinare una intensa fratturazione con conseguente mutamento delle originarie caratteristiche fisico-meccaniche.

In seguito alla neotettonica questa porzione di Appennino si presenta come un complesso edificio a falde di ricoprimento, accavallate e traslate le une rispetto alle altre e quindi, i motivi strutturali delle formazioni comprese in questo settore costituiscono monoclinali ad andamento appenninico e immersione a SW.

Le formazioni quarzoarenitico-argillose affiorano alle quote più alte dei versanti, al di sopra di queste unità giace, in discordanza, la serie plio-pleistocenica del bacino di Sant’Arcangelo, costituiti alla base da terreni sabbioso-conglomeratici che passano ad argille grigio-azzurre e a sabbie o conglomerati sabbiosi.

Nel complesso la natura dei terreni flyschoidi ed argillosi, che presentano un modellamento blando con inclinazione media piuttosto dolce dei pendii, è complicata da processi erosivi, molto spesso di tipo calanchivo, con solchi lunghi e profondi.

La irregolarità dei versanti è altresì determinata da fenomeni gravitativi, recenti ed attuali che hanno prodotto, nei fianchi collinari, una serie di vallecicole e depressioni, a loro volta approfondite dall’erosione delle acque torrentizie.

Il Bacino di Sant’Arcangelo è allungato in direzione NW-SE e si è individuato a partire dal Pliocene superiore al di sopra delle coltri alloctone appenniniche, durante le ultime fasi di

avanzamento della catena (Caldara et al., 1988; Hyppolite et al., 1994).

A grande scala si presenta come un'ampia sinforme colmata da una potente successione plio-pleistocenica con spessore superiore a 3000m (Hyppolite et al., 1994; Zavala, 2000).

Nella successione plio-pleistocenica del Bacino di Sant'Arcangelo secondo Pieri et al. (1994) si distingue il primo ciclo sedimentario, di età Pliocene inferiore-medio (Ciclo di Caliandro) che poggia in discordanza sui terreni pre-pliocenici, ed è costituito alla base da conglomerati, che passano verso l'alto ad argille.

I due cicli successivi, quello dell'Agri e del Sauro, sono invece costituiti da conglomerati e sabbie, che passano lateralmente verso Est ad argille grigio-azzurre.

L'ultimo ciclo deposizionale che è denominato Ciclo di San Lorenzo, è composto alla base da conglomerati, che passano verso l'alto ad argille siltose e di nuovo conglomerati di ambiente fluvio-lacustre, in discordanza sui depositi precedenti.

Il rilevamento geologico eseguito in campo ha permesso di individuare i terreni affioranti nell'area di studio costituiti da un complesso argilloso marnoso grigio-azzurro a frattura concoide con stratificazione di norma indistinta con alcuni livelli di argille sabbiose e di ed un complesso sabbioso che rappresenta una lente intercalata nelle Argille Marnose grigio-azzurre con uno spessore di circa 250 m, note in letteratura come Sabbie di San Giorgio Lucano.

## CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL’AREA PARCO FOTOVOLTAICO

Il rilevamento geologico e le osservazioni di sezioni ben esposte nell’area di studio e la consultazione delle prove di laboratorio geotecnico eseguiti nell’area limitrofa, hanno permesso di identificare i terreni presenti, segnatamente le litologie sono ascrivibili alla seguente unità stratigrafiche:

**Argille Marnose grigio-azzurre** (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore): costituiscono il substrato della locale successione e sono costituite da argille più o meno marnose di colore grigio-azzurro (bianco-giallastro in superficie per l'alterazione), con intercalati alcuni livelli limoso-sabbiosi.

Di norma si presenta compatta e disposta in grossi banchi omogenei.

Da un punto di vista stratigrafico, esse sono rappresentate da una potente successione argilloso-siltosa, d’età compresa tra il Pliocene superiore e l’Emiliano.

Le argille limose di colore grigio-azzurro, si presentano generalmente in strati, con spessore variabile da qualche decimetro ad oltre 1m.

Localmente si rivengono piccole lenti sabbiose concentrate in prevalenza nella parte alta della formazione, in particolare al passaggio con la sovrastante Formazione delle Sabbie di Aliano, che avviene verso ovest in prossimità del centro abitato di Sant’Arcangelo.

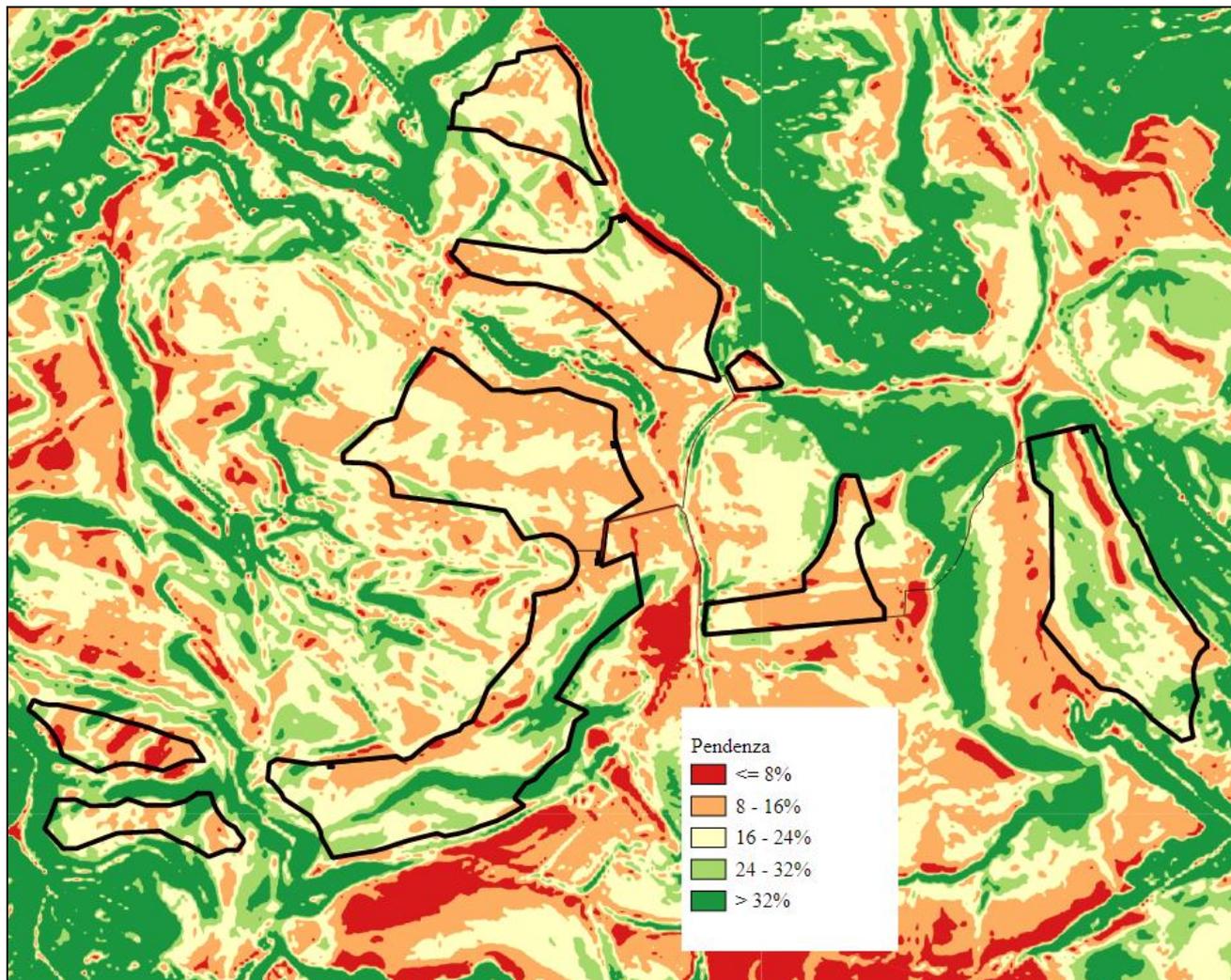
Da dati bibliografici lo spessore affiorante delle argille si aggira nell’ordine dei 900 m.

**Sabbie di San Giorgio Lucano** (Pliocene sup. - Calabriano): Sabbie giallastre addensate dello spessore di 250 metri. Tale Unità poggia superiormente alle argille marnose ed è composta da una lente grossa di sabbie quarzose giallastre ben stratificata a grana fine, con rare e sottili intercalazioni di argille e di arenarie.

## CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

La configurazione morfologica dell’area in studio è condizionata dalle caratteristiche litologiche, dall’assetto stratigrafico dei terreni affioranti e dall’azione modellatrice delle acque meteoriche.

Nel complesso l’area di studio presenta un paesaggio con forme collinari dolci a sommitale arrotondata delimitate da versanti a debole acclività, con un angolo non superiore ai 15°; solo in alcuni tratti di ristrette dimensioni areali l’acclività supera i 15°.



CARTA DELLE PENDENZE

Nella parte bassa dei versanti, al fuori delle zone di interesse, sono presenti deboli ondulazioni dovute a fenomeni di creep.

Nelle immagini seguenti si riporta una panoramica dei versanti debolmente acclivi e subpianeggianti.



Solo dove incise da corsi d’acqua, comunque al di fuori delle aree direttamente interessate dall’impianto fotovoltaico, sono presenti scarpate più acclivi.

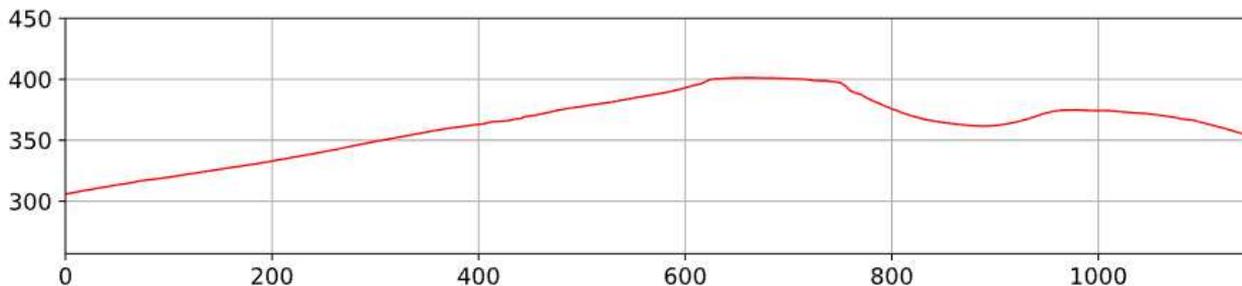
La giacitura generale degli strati è verso nord, pertanto i versanti con esposizione verso i quadranti settentrionali hanno una giacitura a franapoggio meno inclinata del pendio con morfologia più blanda, al contrario le porzioni dei pendii esposte a sud, quindi con giacitura a reggipoggio, mostrano una maggiore acclività e dove denudati mostrano tipici fenomeni di erosione a rivoli a luoghi incanalata.

L’acclività generale delle aree indagate, come innanzi indicato, presenta valori che non

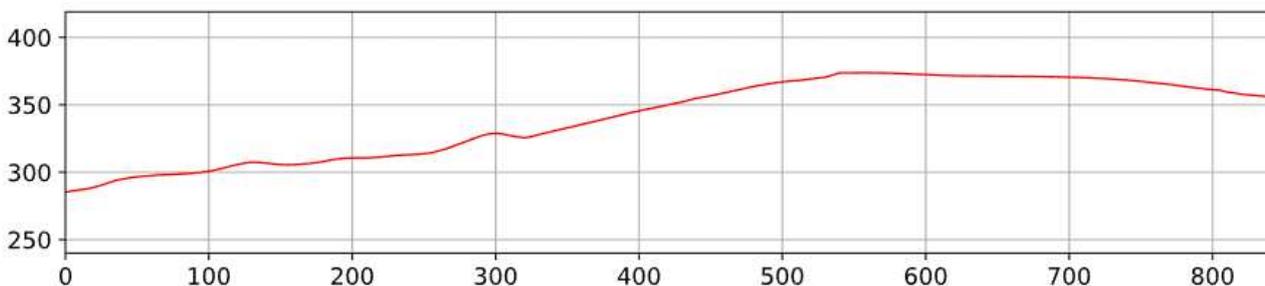
superano i 15° per cui, con riferimento anche alla risposta sismica locale in funzione delle “condizioni topografiche”, esse rientrano nella categoria T1, cioè: “*superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$* ” [punto 3.2.III del Decreto 17 Gennaio 2018: “*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*”] con il valore massimo del “*coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$* ” sarà pari a 1.0 (Tabella 3.2.V del Decreto 17 Gennaio 2018: “*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*”).

Di seguito si riportano i profili della superficie topografica lungo le tracce di sezioni A-A’ e B-B’ riportate nella carta geologica, che mostrano un andamento regolare dei versanti:

**PROFILO A-A’**



**PROFILO B-B’**



## CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

L’area del parco fotovoltaico in progetto è collocata nel bacino idrografico del Fiume Agri posizionato a nord.

Il reticolo idrografico superficiale dell’area è rappresentato da corsi d’acqua a regime stagionale con portate che sono molto variabili nel corso dell’anno, quindi caratterizzati da un deflusso dipendente dagli eventi piovosi e dalla loro intensità, con incrementi delle portate nei mesi piovosi invernali e scarse con alvei secchi nei periodi estivi e con scarse precipitazioni.

I relativi sottobacini idrografici mostrano un pattern idrografico dei tipo convergente e subendritico, in alcuni casi con fenomeni di cattura fluviale.

Si tratta di fossi che hanno inciso i terreni argillosi e sabbiosi; le acque drenate da queste incisioni vengono recapitate nel fiume Agri tramite il Fosso Acqua Salsa ed il Fosso Sant’Antonio.

La “Fiumarella di Sant’Arcangelo” è riportato negli elenchi delle acque pubbliche della Regione Basilicata e pertanto sottoposti a tutela ai sensi dell’art. 142 comma 1 lett. c) del D.Lgs. 42/2004 e s.m.i., che impone una fascia di rispetto di 150 m.

La permeabilità dei litotipi di natura argilloso-limosa si può considerare bassa in quanto, anche se dotati di porosità primaria, sono impermeabili a causa delle ridottissime dimensioni dei pori nei quali l’acqua viene fissata come acqua di ritenzione; ne deriva una circolazione nulla o trascurabile, anche nei livelli a prevalenza limosa o sabbiosa in quanto si tratta di sabbie fini con argilla.

Il complesso sabbioso al contrario può essere considerato mediamente permeabile.

## **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

I dati ottenuti dal rilevamento geologico di superficie sono stati integrati e supportati dall’esecuzione sia di indagini geofisiche, sia di prove penetrometriche dinamiche.

## **PROVE PENETROMETICHE DINAMICHE CONTINUE**

Questa prova, normata dall’Eurocodice 7, è effettuata mediante infissione a percussione di una batteria di aste dotate di una punta di diametro 35.68 mm ed angolo di apertura 60°.

Il dispositivo di infissione della punta è costituito da un maglio avente massa pari a 30 Kg che cade liberamente da un’altezza di 0,20 m e consiste nell’infiggere la punta conica nel terreno, per tratti consecutivi di 10 cm con aste della lunghezza di un metro, misurando il numero di colpi necessari all’avanzamento.

La prova è stata effettuata con penetrometro dinamico della ditta Pagani srl modello DMP-3020 (tipo ISSMFE) che può raggiungere anche profondità di 20-25 m.

L’interpretazione dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche continue si basa sul raffronto con dati statistici, elaborati da un certo numero di prove eseguite in terreni coerenti (limi, argille) oppure incoerenti (ghiaie, sabbie), attraverso i quali è possibile effettuare una valutazione dei parametri di resistenza che può offrire il terreno in esame.

Le prove hanno permesso di ottenere informazioni sullo stato di consistenza del terreno in base al numero di colpi di un maglio per infissioni continue per tratti di 10 cm fino alla profondità di rifiuto strumentale.

Fatta questa premessa, necessaria ai fini della comprensione delle indagini penetrometriche, tenuto conto dei valori rilevati lungo ogni verticale d’indagine, risulta che i terreni sia sabbiosi sia argilloso-marnosi fin da pochi centimetri hanno mostrato un’elevata resistenza alla penetrazione.

Di seguito si riportano le foto relative alle prove penetrometriche eseguite e la sintesi dei dati ricavati.



P1



P2

**FASI ESECUTIVE DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE**

Nei fori delle prove penetrometriche non è stata riscontrata alcuna falda acquifera.

**Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DMP 3020 PAGANI**

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	15.25 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0.783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60°

**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE**  
**(DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell’infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un’immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L’utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

**penetrometri in uso in Italia**

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha= 60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
 massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

**Correlazione con N<sub>spt</sub>**

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_i \cdot N$$

Dove:

$$\beta_i = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l’energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> è quella riferita alla prova SPT.

L’energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M peso massa battente.
- M' peso aste.
- H altezza di caduta.
- A area base punta conica.
- $\delta$  passo di avanzamento.

**Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub>**

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- R<sub>pd</sub> resistenza dinamica punta (area A).
- e infissione media per colpo ( $\delta/ N$ ).
- M peso massa battente (altezza caduta H).
- P peso totale aste e sistema battuta.

## Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma_{vo}}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

- ER/60      rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
- $C_s$                       parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
- $C_d$                       funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
- $C_r$                       parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

## Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall’effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l’andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## Valutazioni statistiche e correlazioni

### Elaborazione Statistica

Permette l’elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

#### **Media**

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media minima**

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Massimo**

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

**Minimo**

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

**Scarto quadratico medio**

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

**Media deviata**

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

**Media (+ s)**

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

**Media (- s)**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

**Distribuzione normale R.C.**

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{N_{spt}}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$

**Distribuzione normale R.N.C.**

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

**Pressione ammissibile**

Pressione ammissibile specifica sull’interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

**Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

**Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi). Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l’elaborazione di *SHI-MING*.

**Correzione  $N_{spt}$  in presenza di falda**

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

### Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

### Modulo Di Young ( $E_y$ )

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.

- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

### ***Modulo Edometrico***

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977

### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### ***Peso di volume saturo***

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

### ***Modulo di poisson***

- Classificazione A.G.I.

### ***Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)***

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

### ***Velocità onde di taglio $V_s$ (m/s)***

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

### ***Modulo di deformazione di taglio (G)***

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

### ***Modulo di reazione (K<sub>0</sub>)***

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### ***Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q<sub>c</sub>)***

- Robertson (1983) - Q<sub>c</sub>

## **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

### ***Coesione non drenata***

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA

(1983).

- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$  , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). Cu (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

23

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

#### **Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )**

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli (  $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977.

#### **Peso di Volume**

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### **Peso di volume saturo**

- Meyerhof ed altri.



**PROVA ... Nr.1**

Strumento utilizzato...DMP 3020 PAGANI

Prova eseguita in data 14-03-2023

Profondità prova 0.90 mt

Falda non rilevata

**Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.10	5	0.857	1.59	1.85	158.66	185.23
0.20	6	0.855	1.90	2.22	189.96	222.27
0.30	9	0.853	2.84	3.33	284.29	333.41
0.40	12	0.851	3.78	4.45	378.20	444.54
0.50	13	0.799	3.85	4.82	384.73	481.59
0.60	20	0.797	5.91	7.41	590.50	740.90
0.70	40	0.645	9.56	14.82	956.00	1481.80
0.80	49	0.643	11.68	18.15	1167.79	1815.21
0.90	50	0.642	11.31	17.63	1131.30	1763.43

24

**TERRENI INCOERENTI**

**Densità relativa**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -sabbie	8	0.60	35.22	68.27	97.96	28.4
[2] – sabbie addensate	36	0.90	70.15	100	100	69.07

**Angolo di resistenza al taglio**

NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owaski & Iwasaki
8	0.60	8	29.29	22.29	30.24	34.59	32.89	0	<30	25.95	29.4	36.94	27.65
36	0.90	36	37.29	30.29	38.08	34.97	40.85	42	32-35	38.24	37.8	49.73	41.83

**Classificazione AGI**

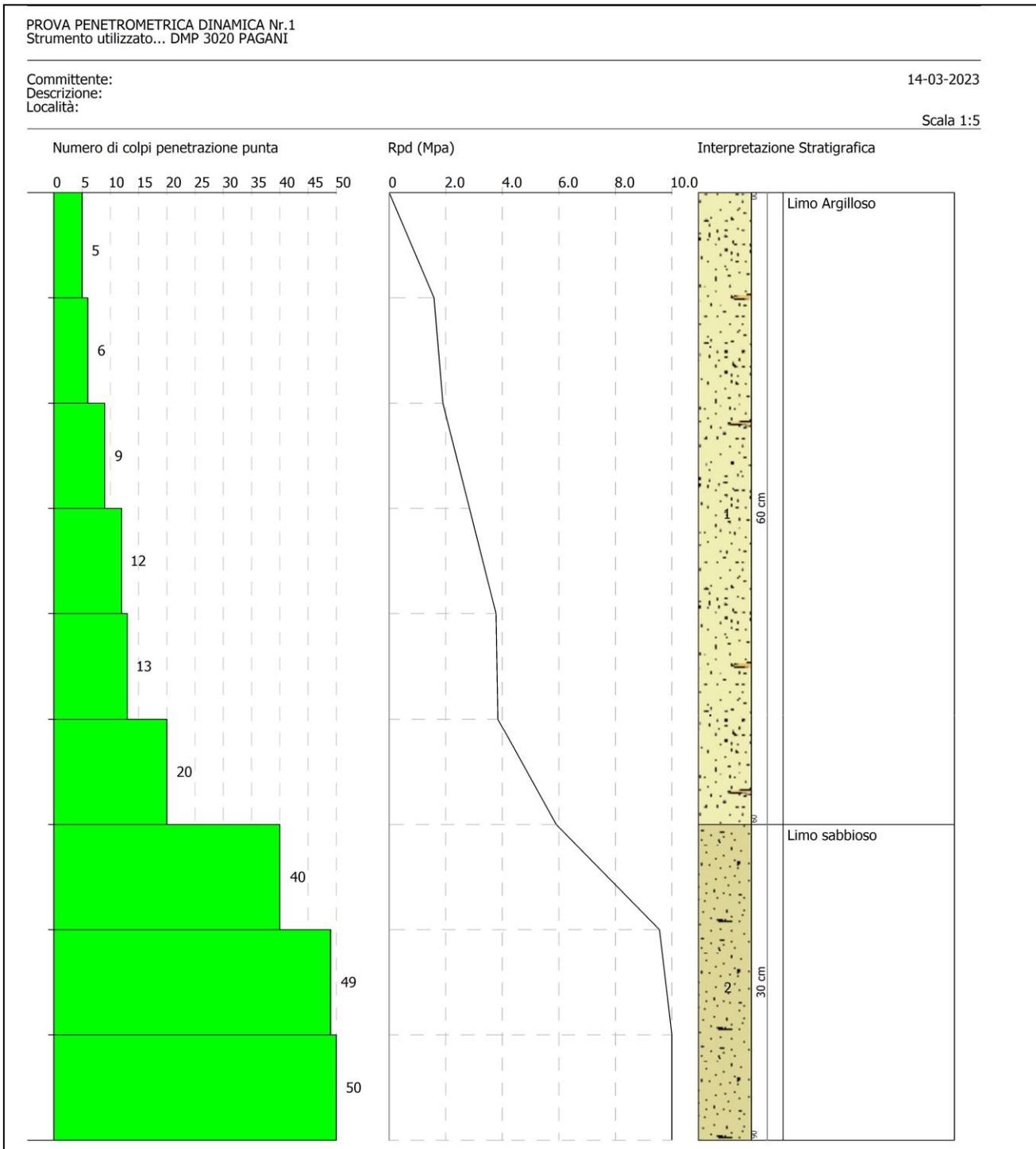
NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
8	0.60	8	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
36	0.90	36	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
8	0.60	8	Terzaghi-Peck 1948	14.24
36	0.90	36	Terzaghi-Peck 1948	17.17

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m <sup>3</sup> )
	8	0.60	8	Terzaghi-Peck 1948	18.67
	36	0.90	36	Terzaghi-Peck 1948	20.49



**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato...DMP 3020 PAGANI

Prova eseguita in data 14-03-2023

Profondità prova 1.80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.10	8	0.857	2.54	2.96	253.86	296.36
0.20	19	0.805	5.66	7.04	566.35	703.86
0.30	30	0.753	8.37	11.11	836.50	1111.35
0.40	30	0.751	8.34	11.11	834.37	1111.35
0.50	21	0.749	5.83	7.78	582.59	777.95
0.60	22	0.747	6.09	8.15	608.80	814.99
0.70	30	0.745	8.28	11.11	828.13	1111.35
0.80	32	0.693	8.22	11.85	821.91	1185.44
0.90	35	0.692	8.54	12.34	853.63	1234.40
1.00	34	0.690	8.27	11.99	827.11	1199.14
1.10	33	0.688	8.01	11.64	800.74	1163.87
1.20	34	0.686	8.23	11.99	822.93	1199.14
1.30	40	0.635	8.95	14.11	895.20	1410.75
1.40	46	0.633	10.27	16.22	1026.74	1622.36
1.50	43	0.631	9.57	15.17	957.25	1516.55
1.60	49	0.630	10.88	17.28	1087.97	1728.17
1.70	49	0.628	10.85	17.28	1085.17	1728.17
1.80	50	0.626	11.04	17.63	1104.49	1763.43

26

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2**

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (KPa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sangle rat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmertmann 1975	SUND A (1983) Benassi e Vanneli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - argilla	26	1.80	172.11	318.72	0.00	96.89	253.11	361.18	210.55	261.94	127.49	428.55	318.72

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - argilla	26	1.80	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
[1] - argilla	26	1.80	Meyerhof	20.79

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
[1] - argilla	26	1.80	Meyerhof	22.06

**TERRENI INCOERENTI**

**Densità relativa**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - argilla	26	1.80	59.89	100	100	59.15

**Angolo di resistenza al taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owaski & Iwasaki
[1] - argilla	26	1.80	26	34.43	27.43	35.28	33.87	38.73	42	32-35	34.75	34.8	46.72	37.8

27

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - argilla	26	1.80	26	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
[1] - argilla	26	1.80	26	Terzaghi-Peck 1948	16.27

**Peso unità di volume saturo**

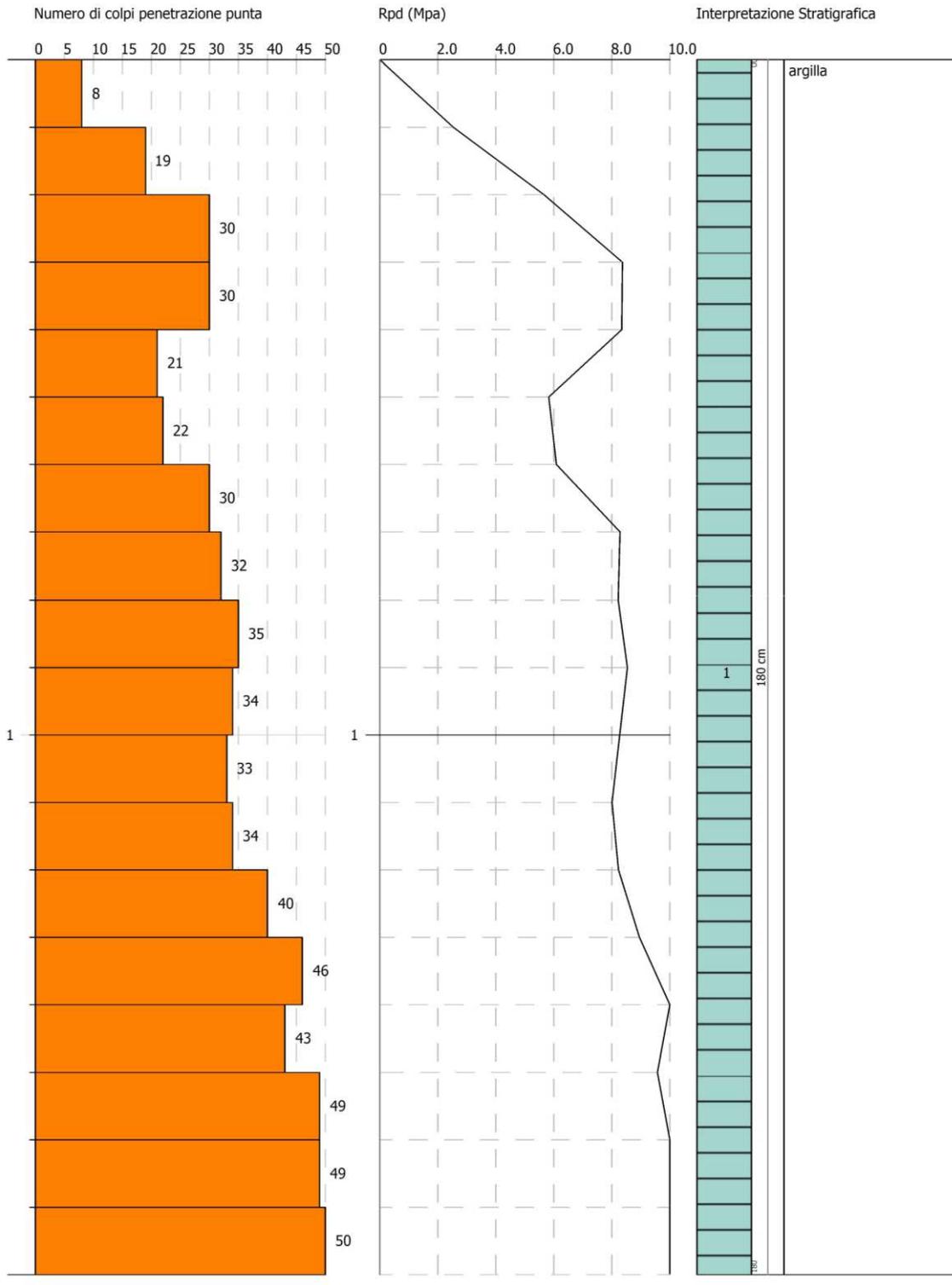
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
[1] - argilla	26	1.80	26	Terzaghi-Peck 1948	19.93

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:  
Descrizione:  
Località:

14-03-2023

Scala 1:8



## INDAGINI SISMICHE MASW

Per valutare l'andamento delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) superficiali con la profondità ed il profilo  $V_s$ , sono state analizzate le “*onde superficiali di Rayleigh*” tramite la metodologia masw; una metodologia di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate dalle interazioni sulla superficie libera delle onde di volume, ottenute da energizzazioni artificiali con massa battente; utilizzando una stesa di geofoni verticali a bassa frequenza si registrano le onde di Rayleigh, caratterizzate da velocità di propagazione correlabile alla rigidità della parte di terreno interessata dalla propagazione delle onde e quindi risalire al profilo verticale della velocità delle onde di taglio; dall'elaborazione dei dati acquisiti è stato ricavato il profilo verticale delle velocità delle onde di Superficie  $V_s$ .

29

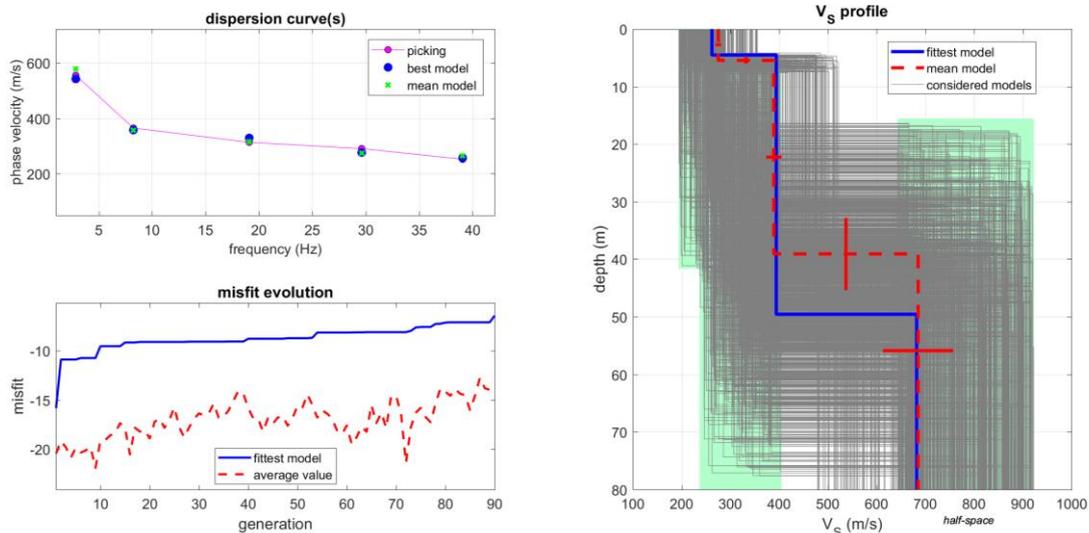
Dall’inversione della curva di dispersione determinata tramite software Win-Masw si ottiene il modello medio del profilo di velocità delle onde di taglio.



FASI ESECUTIVE DELLE INDAGINI SISMICHE ESEGUITE

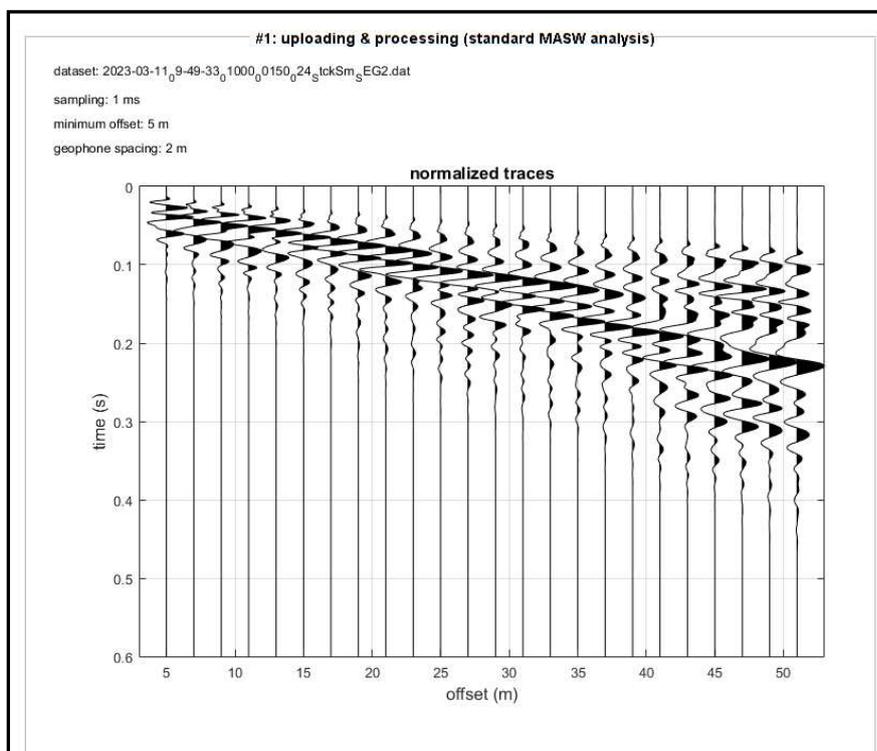
### MASW 1

La Masw1, eseguita nelle litologie sabbiose, ha restituito il seguente profilo verticale della Vs e di conseguenza del parametro Vs(eq.) risultato essere pari al valore di 362 (m/s).

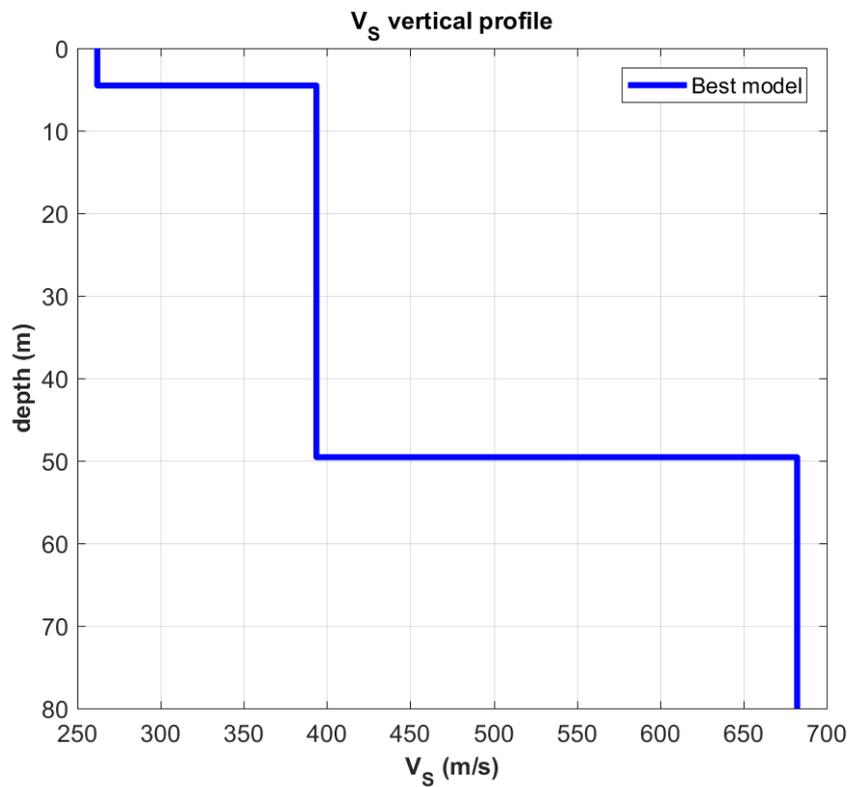
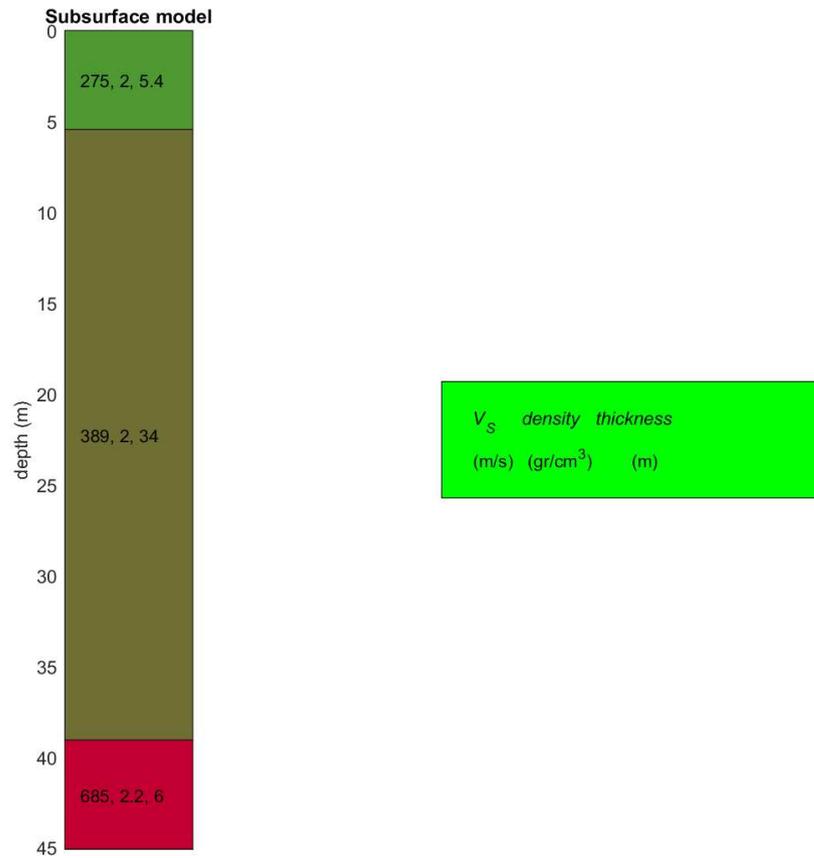


dispersion curve: SANTARCANGELO\_MASW\_1.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 366 366 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 362 362 m/s

**INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE DETERMINATA TRAMITE ANALISI DEI DATI MASW. SPETTRO OSSERVATO, CURVE DI DISPERSIONE PICCATE E CURVE DEL MODELLO INDIVIDUATO DALL’INVERSIONE. SULLA DESTRA IL PROFILO VERTICALE VS IDENTIFICATO.**



## SISMOSTRATIGRAFIA



## **CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI DI FONDAZIONE SECONDO LE NTC 2018**

Il sottosuolo del sito in esame ai sensi delle norme tecniche per le costruzioni – Decreto 17 gennaio 2018 rientra nella categoria di tipo B - *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

Il modello medio individuato tramite il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio del sottosuolo è costituito da quattro sismostrati.

32

### **Analyzing Phase velocities**

**Considered dispersion curve: SANTARCANGELO\_MASW\_1.cdp**

**Analysis: Rayleigh Waves**

### **Subsurface Model**

Vs (m/s): 275, 389, 685

Standard deviations (m/s): 6, 16, 72

Thickness (m): 5.4, 33.6

Standard deviations (m/s): 0.6, 6.3

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.96 2.04 2.18

Shear modulus (MPa) (approximate values): 148 309 1023

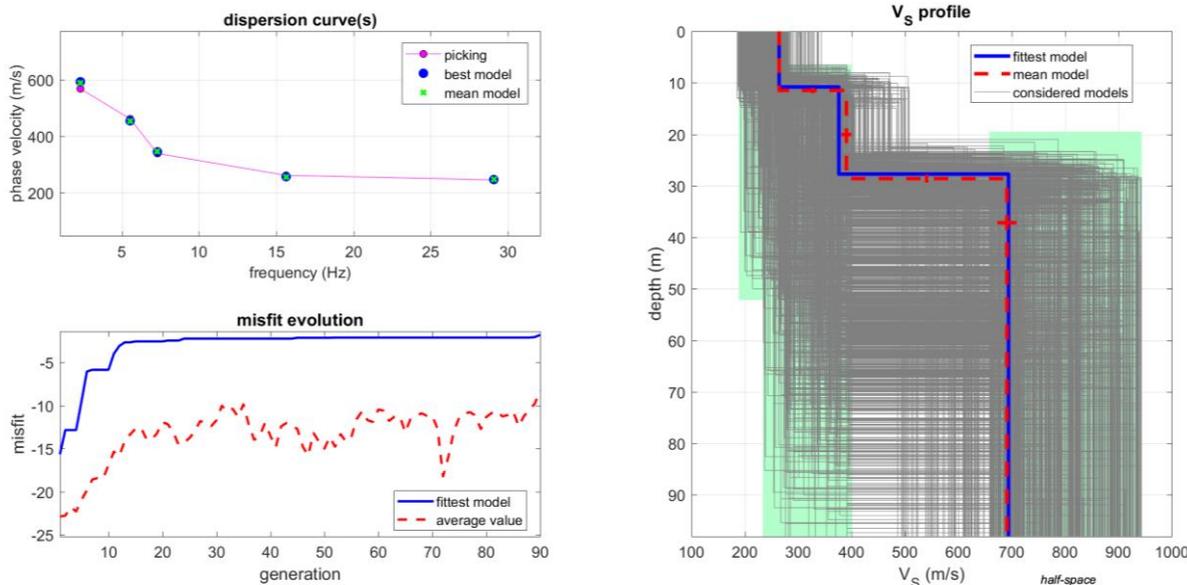
Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 674 953 1678

Vs30 and VsE (m/s): 362 362

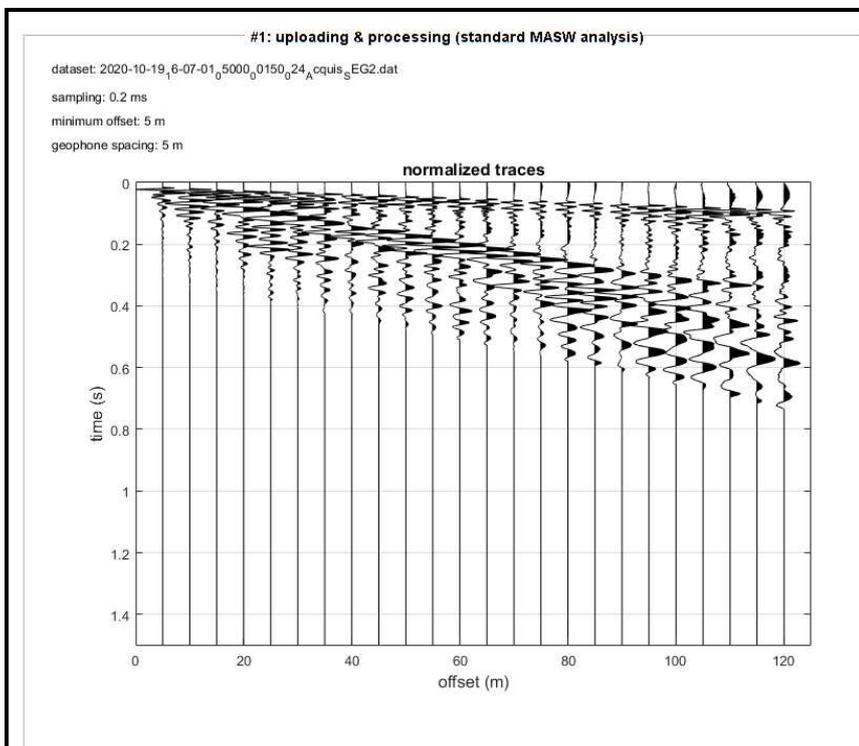
## MASW 2

La Masw2, eseguita nelle litologie argillose, ha restituito il seguente profilo verticale della  $V_s$  e di conseguenza del parametro  $V_s(eq.)$  risultato essere pari al valore di 335 (m/s).

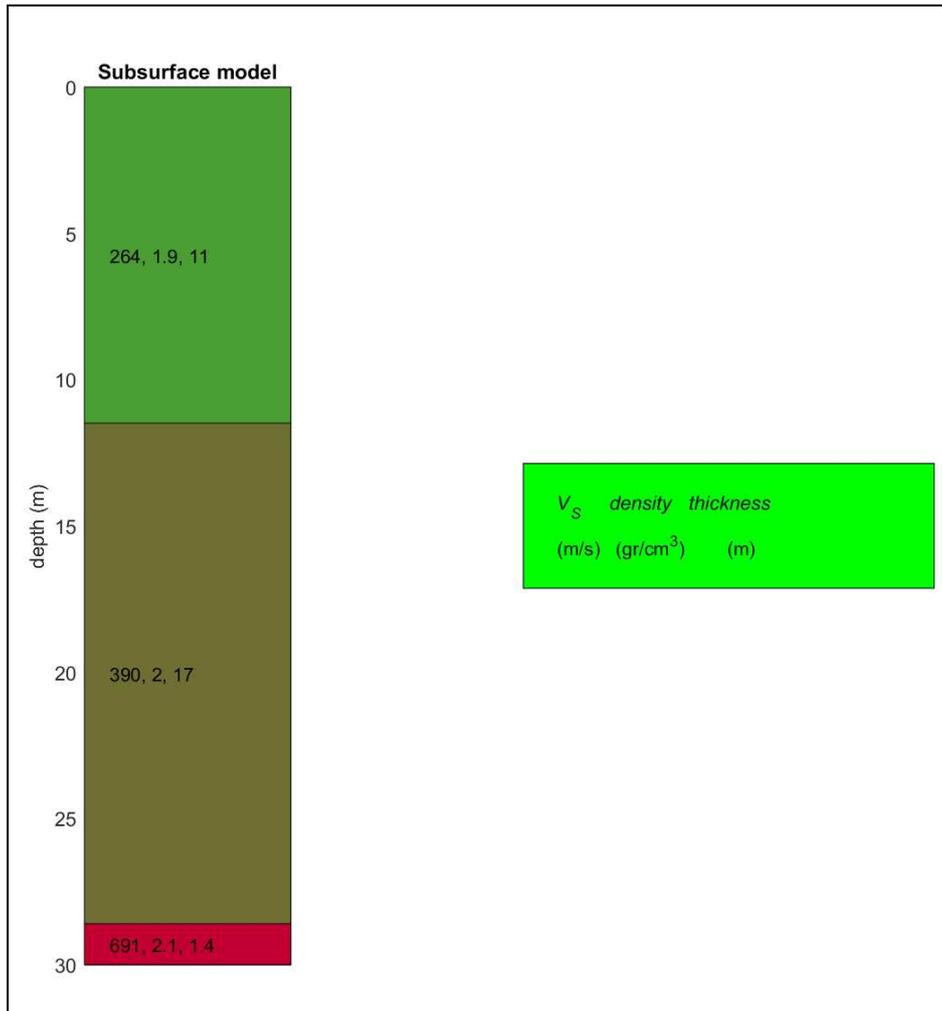


dispersion curve: SANTARCANGELO\_MASW2.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 336 336 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 335 335 m/s

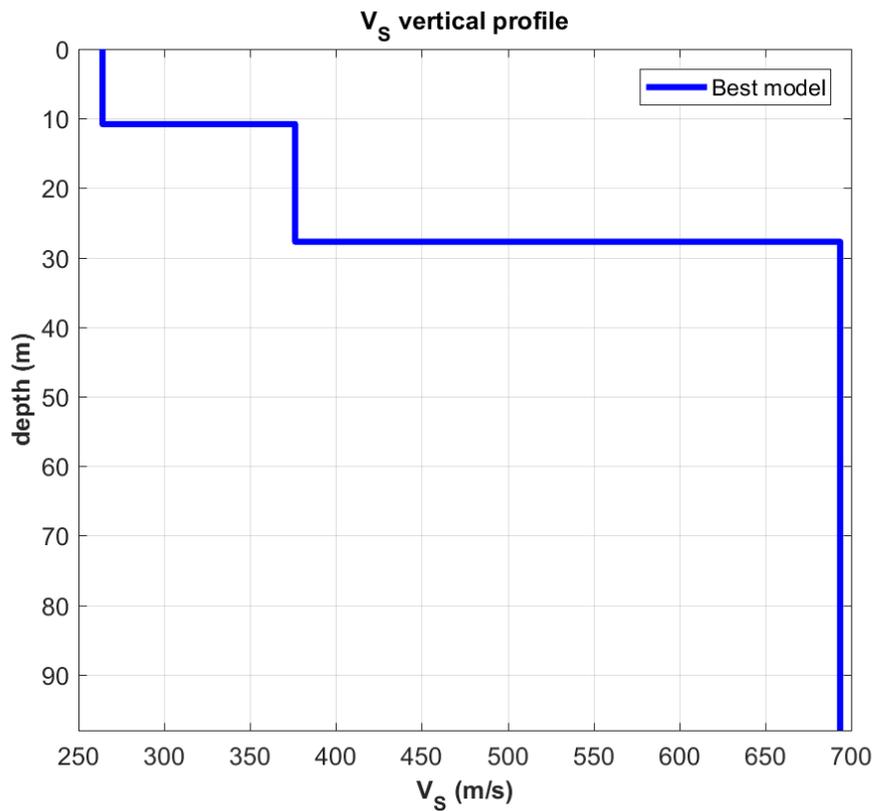
**INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE DETERMINATA TRAMITE ANALISI DEI DATI MASW. SPETTRO OSSERVATO, CURVE DI DISPERSIONE PICCATE E CURVE DEL MODELLO INDIVIDUATO DALL’INVERSIONE. SULLA DESTRA IL PROFILO VERTICALE  $V_s$  IDENTIFICATO.**



### SISMOSTRATIGRAFIA



### PROFILO $V_s$



## **CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI DI FONDAZIONE SECONDO LE NTC 2018**

Il sottosuolo del sito in esame ai sensi delle norme tecniche per le costruzioni – Decreto 17 gennaio 2018 rientra nella categoria di tipo 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.*

Il modello medio individuato tramite il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio del sottosuolo è costituito da quattro sismostrati.

35

### **Analyzing Phase velocities**

**Considered dispersion curve: SANTARCANGELO\_MASW\_2.cdp**

**Analysis: Rayleigh Waves**

### **Subsurface Model**

Vs (m/s): 264, 390, 691

Standard deviations (m/s): 1, 9, 18

Thickness (m): 11.5, 17.1

Standard deviations (m/s): 0.5, 0.8

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.91 2.00 2.14

Shear modulus (MPa) (approximate values): 133 305 1023

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 550 812 1438

Vs30 and VsE (m/s): 335 335

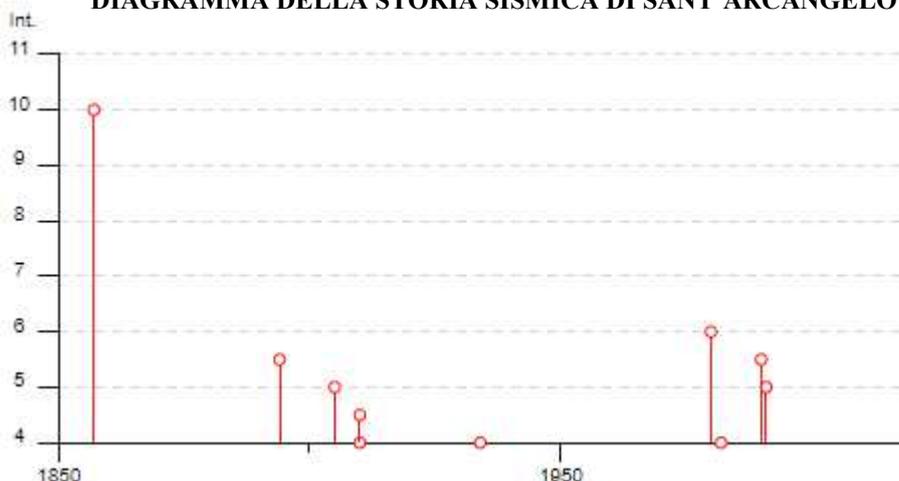
## PERICOLOSITÀ SISMICA E SISMICITÀ STORICA DEL SITO

Il Comune di Sant’Arcangelo è stato interessato da una scarsa attività sismica infatti, dalla consultazione del database macrosismico italiano "DBMI15" (2015) redatto dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), relativo alle osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, emerge quanto esposto nella figura seguente, in cui viene visualizzata la storia sismica di Sant’Arcangelo che va dal 1857 al 2006.

Coordinate (lat, lon) 40.246, 16.274  
 Comune (ISTAT 2015) Sant’Arcangelo  
 Provincia Potenza  
 Regione Basilicata  
 Numero di eventi riportati 18

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
10	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11	7.12
NF	1893	01	25				Vallo di Diano	134	7	5.15
5-6	1894	05	28	20	15		Pollino	122	7	5.01
5	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
4	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
4-5	1910	10	03	11	04		Basilicata meridionale	36	5-6	4.62
NF	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
4	1934	07	03	16	11		Castelsaraceno	18	6	4.55
3	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
3	1978	09	24	08	07	4	Materano	121	6	4.75
6	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4	1982	03	21	09	44	0	Golfo di Policastro	125	7-8	5.23
5-6	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
3	1991	04	18	19	24	0	Piana di Metaponto	26		4.13
5	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
3	1995	05	29	20	44	2	Val d'Agri	103	5	4.18
NF	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6	4.90
NF	2006	06	22	19	34	5	Costa calabra settentrionale	161		4.70

DIAGRAMMA DELLA STORIA SISMICA DI SANT’ARCANGELO



Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche cui alle NTC 2018 e della definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, si riporta quanto segue:

***Classificazione della categoria di sottosuolo:***

Le misure sismiche eseguite hanno consentito di ottenere il profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Le descrizioni stratigrafiche sono congruenti con quella prevista dalla tab. 3.2.II delle NTC 2018, pertanto le litologie argillose rientrano nella categoria di sottosuolo C e quelle sabbiose nella categoria B.

***Classificazione delle condizioni topografiche:***

La categoria topografica è la T1, a cui corrisponde un valore del coefficiente di amplificazione topografica ST pari a 1.0.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

La microzonazione sismica è volta ad individuare gli strumenti necessari ed utili a prevedere e a mitigare, attraverso idonei criteri d’uso del territorio, gli effetti sismici in una zona di dimensioni locali.

Oramai è noto nella comunità scientifica che fattori stratigrafici e geomorfologici locali possono variare le caratteristiche del moto sismico, modificando le onde nel passaggio dal bedrock alla superficie con una redistribuzione dell’energia ed amplificazione del moto vibratorio associato ad alcune frequenze.

Il Riferimento legislativo nazionale e regionale per gli studi finalizzati alla caratterizzazione sismica del territorio sono gli: “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (Gruppo di lavoro MS - 2008)”, che sviluppando le istanze delle Regioni e degli Enti Locali e recependo quanto elaborato e sperimentato dalla comunità scientifica, definisce metodi d’indagine ed un criterio di utilizzo dei risultati degli studi di microzonazione sismica.

Lo studio di microzonazione sismica ha tenuto conto delle disposizioni dell’art. 2 comma 6 della L.R. n. 9 del 7 giugno 2011 “*Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica*” ed è stato predisposto il secondo livello di approfondimento facendo riferimento alla “Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Basilicata” così come previsto dal medesimo articolo al comma 3.

Secondo la zonazione sismica della L.R. 9/2011 allegato A e s.m.i. il comune di Sant’Arcangelo è classificato in zona 3a con un valore di PGA pari a 0.150g come riportato nella tabella seguente:

Zona sismica OPCM 3274	Nuova zonazione sismica	PGA subzona (g)	Magnitudo	Distanza (Km)
2	3a	0.150	6,7	80

Il secondo livello di approfondimento si pone come obiettivo quello di fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati della modificazione locale del moto sismico in superficie individuando zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

La quantificazione numerica per il sito è riportata nella *Carta di microzonazione sismica* redatta ai sensi degli Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica (ICMS).

Le amplificazioni sono state quantificate per mezzo di "abachi" che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie associati alle singole situazioni litostratigrafiche.

In assenza degli abachi regionali di riferimento sono stati utilizzati quelli riportati nella Parte III degli ICMS che sintetizzano i risultati di analisi numeriche mono-dimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio effettuate con il programma SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992).

Tali analisi sono di tipo non lineare equivalente e sono condotte su un modello di sottosuolo costituito da terreni stratificati orizzontalmente, poggianti su un semispazio.

Il modello di sottosuolo si riferisce a un deposito stratificato di terreni omogenei deformabili, sovrastante un terreno più rigido identificabile come bedrock sismico; il deposito, qualunque sia lo spessore complessivo, è stato diviso in 50 sublayer di spessore costante in modo da descrivere con sufficiente dettaglio la variazione del profilo di rigidità dei terreni soffici lungo la verticale nel campo di profondità indagato per la redazione degli abachi.

Lo spessore totale del deposito di terreni soffici (H) varia nei calcoli da 5 ad un massimo di 150 m, per un totale di 19 valori.

La velocità equivalente del deposito di terreni soffici ( $V_sH$ ) copre l'intervallo tra 100 e 700 m/s per un totale di 10 valori ed ognuno con tre diversi profili di velocità per lo spessore del deposito.

I valori riportati negli abachi sono la media dei risultati ottenuti da 7 accelerogrammi diversi

per ciascun livello energetico (0.06g Bassa sismicità, 0.18g media sismicità e 0.26g alta sismicità), su ciascun litotipo (argille, sabbie e ghiaie), spessore H e per ciascun valore dei tre profili di Vs (costante, variabile linearmente con la massima pendenza compatibile con il valore di VsH, e variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima).

La scelta del tipo di profilo di velocità è fatta sulla base delle conoscenze specifiche ottenute con il livello 2: in generale quando lo spessore di sottosuolo diventa considerevole (diverse decine di metri), è poco probabile che il profilo di velocità si mantenga costante, ed è quindi consentito orientarsi verso le tabelle riferite al profilo variabile linearmente con pendenza intermedia.

Da un’analisi delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e sismiche, riportate sia nei capitoli precedenti e negli elaborati allegati al presente studio, i siti prescelti per l’impianto fotovoltaico rientrano in “Zona Stabile Suscettibile di amplificazione locale”, dove sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto della natura litostratigrafica e morfologica locale.

Applicando la metodologia di Studio di Microzonazione Sismica di II livello si è giunti al calcolo dei fattori di amplificazione FA a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione) ed FV a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

Individuata la profondità del substrato sismico si accede agli abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici.

### **ZONA 1**

Tipo di terreno: **sabbia**; ag(g):0.18g - Profilo di velocità: Lineare pendenza intermedia

$V_{SH} = V_{S(39)} = 370$  m/s; lo spessore delle coperture è pari a 40 m.

Si ottengono i valori  $FA = 1.60$  e  $FV = 1.79$  che maggiorati del 10% diventano  $FA = 1.76$  e  $FV = 1.97$ .

**ZONA 2**

Tipo di terreno: **argilla**;  $ag(g):0.18g$  - Profilo di velocità: Lineare pendenza intermedia

$V_{SH} = VS_{(30)} = 345$  m/s; lo spessore delle coperture è pari a 30 m.

Si ottengono i valori  $FA = 1.75$  e  $FV = 1.64$  che maggiorati del 10% diventano  $FA = 1.92$  e  $FV = 1.80$ .

A conclusione dello Studio di Microzonazione Sismica di II livello è stata elaborata la Carta di Microzonazione Simica di secondo livello riportata nella figura seguente:

	$V_{SH}$ (m/s)	H (m)	ag (g)	TIPO DI TERRENO	FA	FV
<b>PARCO FOTOVOLTAICO - CABINE ELETTRICHE</b>						
<b>ZONA 1</b>	<b>370</b>	<b>40</b>	<b>0.18</b>	<b>SABBIA</b>	<b>1.76</b>	<b>1.97</b>
<b>ZONA 2</b>	<b>345</b>	<b>30</b>	<b>0.18</b>	<b>ARGILLA</b>	<b>1.92</b>	<b>1.80</b>

## **CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ E CRITICITÀ GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA**

In conformità alla L.R. 23/99 e del suo Regolamento di Attuazione è stata redatta la “*Carta di Sintesi della Pericolosità e Criticità Geologica e Geomorfológica*” che deriva dalla sovrapposizione analitica e critica dei vari tematismi geologici prodotti.

Le aree interessate dalle strutture di progetto è stata classificata per il livello di criticità geologica e pericolosità geomorfologica come di seguito riportato:

### **Ib - AREE SU VERSANTE ESENTE DA PROBLEMATICHE DI STABILITÀ**

Le aree Ib si presentano stabili ed esenti da problematiche geologico-tecniche relative alle opere in progetto.

Sono aree non esondabili ed esente da criticità idrauliche ed idrologiche.

Le strutture dell’impianto vanno ad interessare la parte più superficiale del terreno fino ad una profondità massima di infissione dei puntali metallici a sostegno dei moduli fotovoltaici pari a 2.00 m.

La falda acquifera è assente, pertanto non si ha alcuna interferenza con le fondazioni dei moduli.

Si esprime la fattibilità geologica e geomorfologica per l’impianto fotovoltaico in progetto.

## MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Sono state distinte due unità litotecniche prevalenti, una di tipo argilloso-limosa ascrivibile alla Formazione delle Argille Marnose Grigio Azzurre e l’altra di natura sabbiosa appartenente alle Sabbie di San Giorgio Lucano.

I parametri geotecnici sono stati ricavati dalle prove penetrometriche.

Entrambe le litologie hanno mostrato una elevata consistenza e addensamento.

### SABBIE GIALLASTRE ADDENSATE

Strato	Profondità (m)	$\gamma_n$ (KN/m <sup>3</sup> )	C' (KPa)	$\Phi$ (°)
Strato arato	0,00-0,50	19.00	-	22°
Sabbie addensate	0,50-15.00	19.00	-	30°

### ARGILLE MARNOSE GRIGIO-AZZURRE

Strato	Profondità (m)	$\gamma_n$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu' (KPa)	$\Phi$ (°)
Argille marnose molto consistenti	0,00-15.00	19.00	90	27°

## VALUTAZIONI TECNICHE CONCLUSIVE

Il presente studio ha preso in considerazione le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, ed idrogeologiche di un’area localizzata nel territorio comunale di Sant’Arcangelo (PZ) in contrada Timpone della Torre dove la società richiedente vuole realizzare un impianto fotovoltaico.

Il rilevamento geologico di superficie, le indagini geognostiche eseguite alle condizioni geomorfologiche del sito, confermano che il complesso di natura argillosa e quello sabbioso posseggono caratteristiche tecniche idonee per l’intervento in progetto.

Sia l’area occupata dal fotovoltaico sia quelle attraversate dai cavidotti non evidenziano morfologie riconducibili a movimenti franosi di alcun tipo, si presentano come aree stabili.

Ai sensi della L.R. 23/99 l’area di interesse progettuale rientra nella Classe I – Aree non critiche e nella sottoclasse IB definita come “Area di versante esente da problemi di stabilità” descritta come “Area utilizzabile esente da problematiche, ubicata su versanti poco acclivi (inclinazione  $i < 15^\circ$ ) costituiti dalla Formazione delle Argille Grigio-Azzurre e dalle Sabbie di San Giorgio; la realizzazione dell’impianto fotovoltaico potrà avvenire senza particolari prescrizioni se non quella di realizzare una regimazione delle acque di deflusso meteoriche in modo da allontanare dalle aree occupate dai moduli fotovoltaici e canalizzarle nei fossi naturali presenti.

La categoria di Sottosuolo ai sensi del D.M. 14/01/018 è risultata di tipo B e di tipo C rispettivamente per i terreni sabbiosi addensati e per quelli argilloso-marnosi.

La categoria topografica ai sensi dello stesso Decreto al punto 3.2.III - “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” è la T1: superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$ ”, con il valore massimo del “coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ ” sarà pari a 1.0 (Tabella 3.2.V del Decreto 17 Gennaio 2018).

Per quanto riguarda la carta di Microzonazione Sismica sono state individuate due "Zone

stabili suscettibile di amplificazione locale".

Per le fondazioni dell’impianto fotovoltaico non sono previsti nè opere di sbancamento nè fondazioni in calcestruzzo, in quanto la struttura dei moduli sarà sostenuta da puntali metallici infissi nel terreno con macchina battipali fino ad una profondità che va da 2.00-2.50 m in terreni argillosi consistenti.

Le cabine elettriche da installare sono costituite da strutture in cemento prefabbricate di dimensioni modeste e di forma regolare, tipologia monoblocco fondate su di un basamento di appoggio (chiamato vasca) anch’esso prefabbricato e posato ad una profondità di 0.60 m dal piano campagna.

La posa dei moduli fotovoltaici avrà un effetto di consolidamento dei terreni per l'effetto di chiodatura e costipamento dei pali di ancoraggio dei pannelli fotovoltaici; inoltre la superficie dei pannelli porterà ad una riduzione della velocità di impatto della pioggia sul terreno, riducendone al contempo la forza erosiva ed il fenomeno dell’erosione da impatto o Splash erosion.

Inoltre nell’areale indagato non vi sono interferenze delle opere in progetto e la falda acquifera e altre opere di captazione idrica.

Dallo studio geologico condotto lo scrivente conferma che l’intervento a farsi è compatibile rispetto all’assetto geomorfologico ed agli aspetti geologico-tecnici dell’area analizzata.

