



REGIONE  
BASILICATA



COMUNE DI  
BERNALDA



PROVINCIA DI  
MATERA

## PROGETTO DEFINITIVO

Lavori di realizzazione di un parco agro-fotovoltaico denominato "Bernalda 1" con potenza in immissione pari a 14.1 MW integrato con un sistema di accumulo e relative opere di connessione

Titolo elaborato

### A.2. Relazione geologica

Codice elaborato

**F0538BR02A**

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

#### Progettazione



#### F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza  
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452  
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico  
(ing. Mauro MARELLA)



#### Gruppo di lavoro

Ing. Giorgio ZUCCARO  
Ing. Mauro MARELLA  
Dott. for. Luigi ZUCCARO  
Ing. Manuela NARDOZZA  
Ing. Cristina GUGLIELMI  
Ing. Giuseppina D'AGROSA GRIECO  
Dr. agr. Maria Rosaria MONTANARELLA  
Vito PIERRI



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

#### Consulenze specialistiche

#### GEOLOGIA

**Studio Tecnico di Geologia**  
**Dott. Maurizio Giacomino**

Via Del Ginepro, 23  
75100 Matera (MT)  
mauriziogiacomino@gmail.com



#### Committente

#### APOLLO Solar 1 srl

Viale della Stazione 7, 39100 Bolzano (BZ)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Aprile 2023	Prima emissione	GIACOMINO	GZU	MMA

File sorgente: **F0538BR02A\_A.2. Relazione geologica**

## Relazione geologica

## Sommario

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Piano Stralcio per la Difesa dal rischio Idrogeologico</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Inquadramento Geologico Regionale</b>	<b>6</b>
3.1	<b>GEOLOGIA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO.</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Geomorfologia</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Idrogeologia ed idrologia.</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Campagna di Indagini Geognostiche</b>	<b>21</b>
6.1	<b>SISMICA A RIFRAZIONE</b>	<b>21</b>
6.1.1	Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione	22
6.1.2	Acquisizione ed Interpretazione dei Dati	24
6.1.3	Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei terreni di Fondazione	27
6.1.4	Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche MASW	27
6.1.5	Classificazione del Sottosuolo di Fondazione	30
6.2	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT</b>	<b>32</b>
6.2.1	Penetrometri in uso in Italia	33
6.2.2	Correlazioni geotecniche terreni incoerenti	34
6.2.3	Correlazioni geotecniche terreni coesivi	36
<b>7</b>	<b>Considerazioni sulla Sismicità dell'aera</b>	<b>47</b>
7.1	<b>RISPOSTA SISMICA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO</b>	<b>48</b>
7.2	<b>VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFZIONE DEI TERRENI DI SEDIME</b>	<b>51</b>
7.3	<b>MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Considerazioni sui terreni di fondazione del Parco FV in progetto</b>	<b>53</b>
8.1	<b>PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Analisi di stabilità di versante</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>Considerazioni sul percorso del cavidotto</b>	<b>56</b>
<b>11</b>	<b>Considerazioni conclusive</b>	<b>58</b>

# 1 Premessa

---

Su incarico conferitomi dalla Società F4 Ingegneria S.r.l., è stata condotta una Campagna di Indagine Geognostica, al fine di accertare le condizioni geologiche, morfologiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche dei terreni presenti a nord-ovest dell'abitato di Bernalda (MT), dove si intende realizzare un parco fotovoltaico di circa 14 MWp integrato con sistema di accumulo con annesse piste, piazzole, cabine, strade interne ed strade esterne e cavidotto di collegamento con la cabina primaria.

L'esame delle caratteristiche sopra descritte, permette di esprimere una serie di considerazioni sui terreni di sedime interessati dalla costruzione degli inseguitori solari in progetto, in modo da valutare il loro comportamento in relazione con le strutture di fondazione e alle condizioni geologica, geomorfologica ed idrogeologica dei terreni di sedime.

L'acquisizione dei dati tiene conto della vigente normativa tecnica, quale: il D.M. 11.03.1988, la L.R. n.380 del 06/08/1997, la L.R. 9/2011 sulla caratterizzazione sismica dei terreni e il D.M. 17 gennaio 2018 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), inoltre, rispetta le norme dell'Autorità di Bacino della Basilicata riguardanti le Aree a Rischio Idrogeologico.

L'area di interesse del parco fotovoltaico in progetto ricade sulla spianata di sedimentazione dei Depositi Marini Terrazzati (DMT) in vicinanza del versante che dalla spianata dei DMT di III e IV Ordine scende fino alla valle del Fiume Basento.

L'indagine geognostica completa è consistita in rilievi geologici e geomorfologici di superficie, in indagini geognostiche in sito eseguite e consultate e nella verifica della pericolosità geologica, geomorfologica ed idrogeologica dell'area.

I parametri fisico meccanici dei terreni interessati dalle strutture in progetto sono stati ottenuti dalle indagini dirette ed indirette eseguite nell'area come da indagini geognostiche sopra menzionate, quali:

- n. 3 Standard Penetration Test (SPT) con Penetrometro Medio;
- n. 1 stendimenti sismici a rifrazione con tecnica MASW;
- n. 1 stendimenti sismici a rifrazione eseguiti in Onde P e Sh;

Oltre alla indagini eseguite sono state prese in considerazione i dati rivenienti da altre indagini condotte nelle vicinanze e soprattutto sugli stessi depositi dell'area di stretto interesse, quali i Depositi Marini Terrazzati di III e IV ordine.

L'ubicazione di tutte le indagini eseguite e consultate è riportata nell'Allegato T01 "Planimetria Ubicazione Indagini Geognostiche", mentre, l'intero lavoro si compone dei seguenti elaborati descrittivi e cartografici:

- R2A - Relazione Geologica
- F0538BTA\_A.12.a.11 Carta ubicazione Indagini Geognostiche Scala 1:2.000
- F0538BTA\_A.12.a.12 Carta Geologica Scala 1:2.000



- F0538BTA\_A.12.a.13 Carta Geomorfologica Scala 1:2.000
- F0538BTA\_A.12.a.14 Carta Idrogeologica Scala 1:2.000
- F0538BTA\_A.12.a.15 Profili Geologici Scala 1:2.000
- F0538BTA\_A.12.a.16 Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico Scala 1:2.000
- F0538BTA\_A.12.a.17 Carta della Microzonazione Sismica Scala 1:2.000
- F0538BTA\_A.12.a.18 Carta di Sintesi Finale della Criticità e Pericolosità  
Geologica e Geomorfologica Scala 1:2.000

## **2 Piano Stralcio per la Difesa dal rischio Idrogeologico**

---

Il Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico, redatto ed adottato dall’Autorità di Bacino della Basilicata, riporta nelle aree circostanti quella di stretto interesse varie aree a Rischio Idrogeologico determinate dalla presenza di movimenti franosi che interessano i versanti sabbiosi-limosi e sabbioso conglomeratici del versante di sinistra idrografica del Fiume Basento e da aree a Vincolo Idrogeologico per Rischio Inondazione individuate dalla perimetrazione di fasce fluviali di rispetto del Fiume Basento determinate dal calcolo delle piene con tempi di ritorno  $T= 30$  anni.  $T= 200$  anni e  $T= 500$  anni.

Anche le valli sabbioso conglomeratiche dei torrenti di sinistra idrografica del Fiume Basento che incidono i vari ordini dei Depositi Marini Terrazzati presentano varie aree a rischio idrogeologico.

Dall’esame della Carta del Rischio, si evince che le zone interessate dall’ubicazione dei pannelli fotovoltaici non ricadono in zone vincolate per Rischio Idrogeologico, né in aree pericolose per la presenza di movimenti franosi.

Nell’allegato F0538BTA\_A.12.a.16 Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico sono riportate le aree a Rischio Idrogeologico sia da instabilità di versante per la verifica della loro interazione con il progetto in essere, nella stessa tavola è riportata l’ingombro dell’intero Parco Fotovoltaico comprese le piste esterne e il percorso del cavidotto.

### 3 Inquadramento Geologico Regionale

La configurazione geologica della Basilicata è il risultato di imponenti deformazioni tettoniche che hanno determinato accavallamenti e traslazioni di masse rocciose e terrigene, anche di notevoli proporzioni, da Ovest verso Est, verso l'Avanpaese Apulo.

L'azione di tali forze orogeniche riflette l'attuale assetto geologico strutturale rilevabile in superficie e, ad esse, sono da imputare la complessità dei rapporti geometrici tra le diverse unità litostratigrafiche.

A grande scala la regione può essere inquadrata, dal punto di vista geologico strutturale, nell'ambito del sistema orogenico appenninico, riconoscibile nel settore dell'Italia meridionale che si estende dal margine tirrenico a quello adriatico.

I tre domini del sistema orogenico sono: la Catena rappresentata dall'Appennino Campano-Lucano, l'Avanfossa rappresentata dall'Avanfossa Adriatica e l'Avampaese rappresentata dalla regione Apulo-Garganica

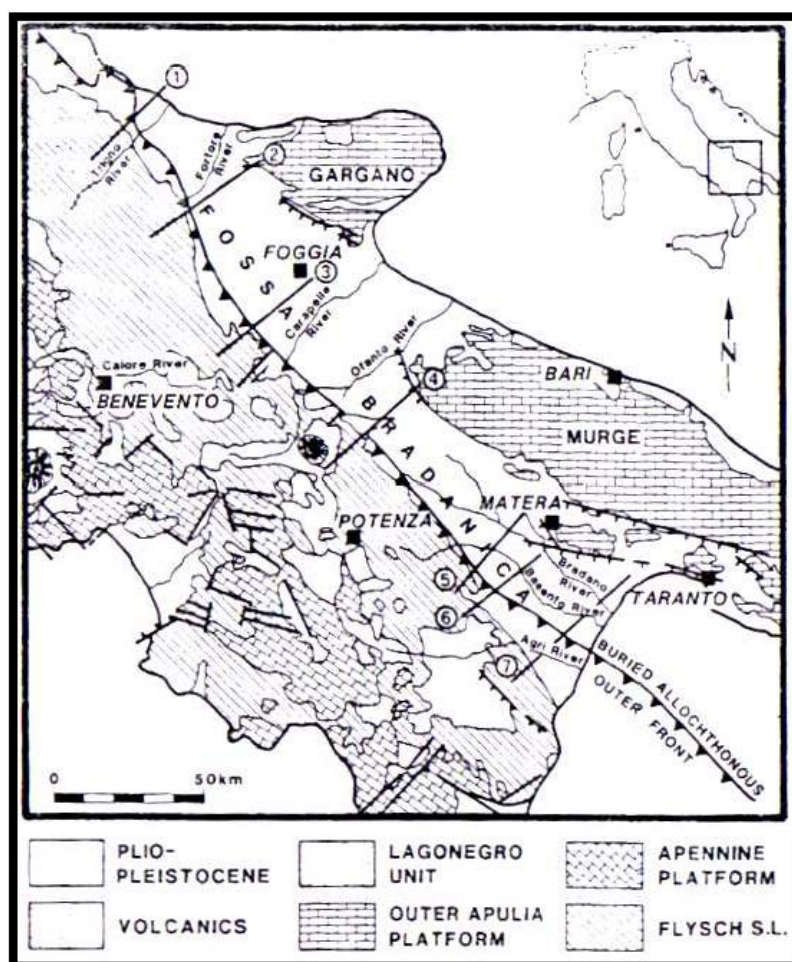


Fig. A - Unità strutturali principali del settore dell'Italia meridionale che si estende dal Tirreno all'Adriatico

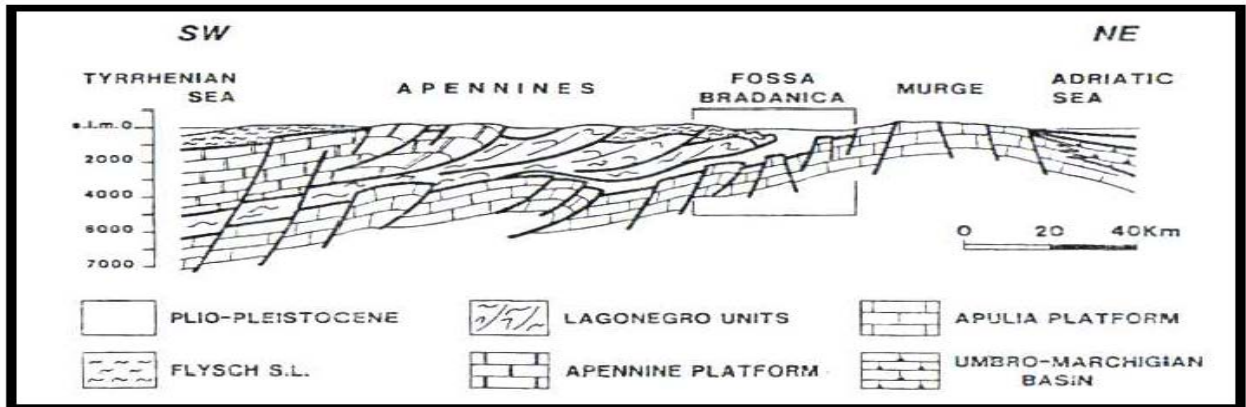


Fig. B - Sezione verticale del sistema Catena-Avanfossa-Avampaese dell'Appennino Meridionale

Le caratteristiche geologiche, morfologiche e tettoniche attuali della regione, possono essere quindi interpretate come il risultato complessivo degli sconvolgimenti tettonici, che a più riprese, ma soprattutto nella fase miocenica/pleistocenica dell'orogenesi appenninica, hanno interessato le unità geologiche preesistenti, e della continua evoluzione paleogeografia che i tre domini del sistema orogenico appenninico, risultanti da tali sconvolgimenti, hanno subito nel tempo.

I modelli evolutivi proposti dai diversi autori, si presentano diversi tra loro nel fornire una spiegazione delle diverse fasi della genesi appenninica, è comunque ormai comunemente accettato che il sistema orogenico appenninico si sia formato a partire dall'Oligocene Superiore-Miocene inferiore, dal progressivo accavallamento da ovest verso est, dovuto a compressione, di unità stratigrafico-strutturali mesozoico-paleogeneiche e di unità sinorogeniche di Avanfossa.

I terreni affioranti nelle aree racchiuse nello stralcio del Foglio n.188 "Gravina in Puglia" della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 sono attribuibili al ciclo deposizionale plio-pleistocenico noto in letteratura come Ciclo di sedimentazione dell'Avanfossa Bradanica, serie trasgressiva e regressiva sui Calcari Cretacei di Altamura e sul Flysch della Catena Appenninica.

L'Avanfossa Bradanica è un elemento strutturale situato tra le Murge e gli Appennini; più precisamente per Avanfossa Bradanica s'intende il tratto di Avanfossa plio-quadernaria a sud del Fiume Ofanto mentre quello a nord è denominato Avanfossa Periadriatica.

I lati della serie di sedimentazione murgiano e appenninico differiscono solo per i termini di apertura: sul primo troviamo le Calcareniti di Gravina in discordanza angolare sui calcari cretacei di Altamura, con una notevole corrispondenza tra litologia e morfologia; sul secondo vi sono il Sabbione di Garaguso e i Conglomerati e Arenarie di Oppido Lucano, due formazioni del tutto analoghe, anche se in letteratura sono riportate con nomi differenti. Poiché il territorio di Banzi ricade nella zona sud-occidentale del foglio n.188, zona più prossima all'appennino, allora il termine di apertura della serie sedimentaria della fossa Bradanica è costituito dai Conglomerati e Arenarie di Oppido Lucano.

La formazione dei **Conglomerati e Arenarie di Oppido Lucano** è costituita essenzialmente da conglomerati poligenici che presentano caratteri di deposito litorale-neritico (di spiaggia), sono

presenti difatti strutture come clinostratificazioni e stratificazione incrociata, nonché macrofauna tipica di tale ambiente. Data la presenza di Pectinidi, Ostreidi e Lamellibranchi la datazione è fatta risalire alla parte più alta del Pliocene. Questi depositi poggiano in trasgressione sui terreni in facies di flysch della catena appenninica e passano in alto in continuità alle Argille Subappennine.

Le **Argille Subappennine** costituiscono la gran parte del riempimento dell'Avanfossa Bradanica, esse sono di colore grigio-azzurre, costituite da quasi tutti i minerali argillosi, ricche in microforaminiferi, con rapporto bentos/plancton elevato indicativo di un ambiente di sedimentazione di piattaforma continentale, dove giungevano abbondanti apporti clastici molto fini. L'età è riferibile al Pleistocene Inferiore.

In continuità di sedimentazioni con le Argille Subappennine troviamo le **Sabbie di Monte Marano** formazione clastica sabbiosa silicatico-calcareo calcareo-silicatica con strutture sedimentarie come lamine incrociate bioturbazioni, lenti di ghiaia indicative di ambiente marino-litorale. Le scarse faune permettono di datarla Pleistocene inferiore. Il passaggio da argille a sabbie indica l'evoluzione da ambiente di piattaforma a nefritico-litorale.

Le Sabbie di Monte Marano passo poi gradualmente al **Conglomerato d'Irsina** che presenta anch'esso le caratteristiche di deposito litorale nefritico per gran parte del suo spessore e continentale nella parte più alta.

La parte marina è stata evidenziata grazie alla presenza nelle lenti sabbiose di faune marine, oltre che dalla stratificazione incrociata, mentre quella continentale dalla colorazione della matrice che da gialla passa a rossastra (ossidi di ferro). L'origine appenninica del conglomerato è messa in evidenza dal fatto che esso è poligenico. Alcuni dei ciottoli sono addirittura policiclici, di fatti il grado di arrotondamento e alterazione varia. Vi sono elementi pliocenici derivanti da conglomerati del Miocene i quali in alcuni casi derivano a loro volta da conglomerati cretacei. Anche il Conglomerato d'Irsina, per la sua posizione stratigrafica, è databile al Pleistocene inferiore, in esso infatti mancano i minerali vulcanici presenti invece nei depositi marini terrazzati del Pleistocene medio. Datazioni assolute del monte Vulture hanno dato risultati di 7/800.000 anni fa, proprio al passaggio tra Pleistocene inferiore e medio.

I **Depositi Marini Terrazzati** costituiscono la parte superficiale dei terreni affioranti nella zona e sono depositi terrigeni poggianti sulle Sabbie di Monte Marano e le Argille Subappennine disposti a terrazzi, attribuibili ad azioni di abrasione e di accumulo da parte di un mare complessivamente in via di regressione, ma caratterizzato da brevi episodi di ingressione.

Dai numerosi studi esistenti, si può senz'altro affermare che questi terrazzi formano i sette livelli di colmamento, allungati parallelamente alla linea di costa e leggermente degradanti dall'interno della regione verso il mare.

Il limite inferiore di questa estesa fascia allungata da nord-ovest a sud-est, è segnata dai depositi litorali, disposti a mantello, anch'essi in terrazzi a quote differenti via via più recenti man mano che si va verso il mare.

Tali depositi indicano fasi di arresto o di avanzata del mare in un relativamente recente periodo di regressione.

### **3.1 GEOLOGIA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO.**

---

I Depositi Marini Terrazzati, dell'area in questione, sono di norma costituiti da sabbie a grana fine o grossa, di color giallo ocraceo, spesso a stratificazione incrociata; con le sabbie si alternano letti o lenti appiattite di ghiaie o di conglomerati poligenici, di provenienza appenninica e solo localmente strati con effetti di pedogenesi.

Una nota importante da segnalare è la presenza di livelli con macro-fossili rimaneggiati, in cattivo stato di conservazione. Dal punto di vista tettonico, questi terreni nella fascia accennata sono disposti parallelamente alla costa con una degradazione a sud-est verso la piana costiera, costituendo i sette ordini di terrazzi marini prima definiti di età post-calabrianica.

Il terrazzo più elevato raggiunge i 392 m s.l.m. nella parte sud-occidentale di questa striscia, mentre i 300 m s.l.m. in quella nord-orientale; quello più basso decresce, sempre procedendo da sud-ovest a nord-est, da 27-28 a 16-17 m s.l.m.

Il fatto va messo in relazione col più intenso sollevamento della regione presso il margine appenninico, ovviamente risentito in maggior misura dai terrazzi più antichi.

I terrazzi sono limitati verso il mare da scarpate di abrasione marina, parallele alla riva, che corrispondono a successive linee di costa.

L'ampiezza varia fra terrazzo e terrazzo e nell'ambito di ciascuno di questi: ciò è stato posto in relazione con la frequenza dei movimenti verticali del fondo, con la costituzione litologica del substrato, coi differenti apporti fluviali e con la forza erosiva del mare.

Si tratta evidentemente di una serie di piane costiere sollevate dopo essere state probabilmente ridotte in ampiezza da fenomeni di abrasione marina (che a luoghi possono averne eliminato tipici particolari, come cordoni e dune ecc..).

Terrazzi e scarpate di abrasione sono conservati in notevole continuità per lunghi tratti (si mostrano interrotti quasi esclusivamente in corrispondenza delle maggiori valli e di alcune incisioni torrentizie).

Le scarpate non sono ripide: ciò è, fra l'altro, in relazione con la natura e, a luoghi, con la clinostratificazione dei sedimenti. Il loro tratto superiore appare convesso e si raccorda dolcemente con la spianata sovrastante.

Da un punto di vista strutturale questi elementi indicano che durante e dopo la deposizione dei terrazzi marini si è avuto un sollevamento molto maggiore verso NE, in accordo con la maggiore

vicinanza dell'area meridionale al margine appenninico, ed in quella settentrionale alla zona meridionale della Fossa Bradanica.

L'entità di questo sollevamento differenziato può essere meglio riconosciuta su più larga scala se si prendono in considerazione anche aree più interne alla catena appenninica e cioè poste più a SW.

Un riflesso di questo sollevamento differenziato può essere individuato, sempre su grande scala, anche nel fatto che prima della sedimentazione dei terrazzi del 1° ordine l'erosione ha asportato spessori del substrato plio-pleitocenico molto maggiori verso SW che verso NE; infatti mentre nell'area posta immediatamente ad Est di Rotondella i terrazzi poggiano, oltre che su terreni pre-pliocenici anche su livelli piuttosto bassi della successione plio-pleistocenica, più a Nord, tra i fiumi Bradano e Basento, essi ricoprono trasgressivamente i termini più alti della successione e cioè i livelli immediatamente sottostanti alle "Sabbie di M. Marano".

## 4 Geomorfologia

---

Il territorio studiato si estende su quote comprese tra i 190 ed i 200 mt. e mostra caratteristiche morfologiche comuni a tutti i depositi terrazzati: la parte alta è rappresentata da un deposito di natura sabbiosa-ghiaiosa con assetto sub-orizzontale, mentre quello sottostante da un deposito di natura sabbiosa grossolana con all'interno livelli ghiaiosi ciottolosi.

Terrazzi e scarpate di abrasione marina sono conservati in notevole continuità per lunghi tratti (si mostrano interrotti quasi esclusivamente in corrispondenza delle maggiori valli e di alcune incisioni torrentizie).

Le scarpate non sono ripide: ciò è, fra l'altro, in relazione con la natura e, a luoghi, con la clino-stratificazione dei sedimenti, tanto che il loro tratto superiore appare convesso e si raccorda dolcemente con la spianata sovrastante.

Il campo fotovoltaico in progetto sarà realizzato su un pianoro (vedi foto 1) costituito da un deposito sabbioso-conglomeratico delimitato a sud-ovest dal versante di destra idrografica del Fiume Basento, mentre a nord-est la piana prosegue fino al vallone Avinella all'interno dell'attuale incisione torrentizia è stato possibile notare un livello ghiaioso-ciottoloso, tipico dei depositi terrazzati.

Lungo la piana del III e IV ordine dei Depositi Marini Terrazzati I rilievi di campagna non hanno mostrato alcun segno di instabilità, che invece insistono sul versante di sinistra idrografica del Fiume Basento e quelli del Vallone Avinella.



## 5 Idrogeologia ed idrologia.

---

La circolazione delle acque di precipitazione che raggiungono il suolo è legata al grado di permeabilità dei terreni affioranti, alle pendenze ed alla presenza di ostacoli naturali o artificiali, quali vegetazione, manufatti, lavorazione del terreno agrario ecc.

Nell'area di studio si possono distinguere due importanti litotipi con caratteristiche idrogeologiche differenti: il primo, affiorante, rappresentato dal terrazzo sabbioso conglomeratico, ed il secondo dalle sabbie limose il cui tetto è ipotizzabile ad una profondità di circa 30-35 metri

Il semplice raffronto granulometrico ci fa capire come questi due terreni abbiano caratteristiche molto simili di Permeabilità.

Dal punto di vista idrogeologico, infatti, i depositi terrazzati sono permeabili per porosità ed hanno un grado di permeabilità medio ( $10^{-3} > K > 10^{-5}$ ); esse possono costituire come le sottostanti sabbie la roccia serbatoio dando vita ad accumuli idrici consistenti a contatto con le sottostanti argille, praticamente impermeabili il cui coefficiente di permeabilità è  $k > 10^{-7}$ .

La presenza della falda è dovuta alle infiltrazioni che avvengono a monte della stessa area, ove gli affioramenti sabbiosi-conglomeratici sono più estesi.

Nell'elaborato T04 – Carta Idrogeologica sono evidenziati i terreni a vario grado di permeabilità e l'idrografia superficiale che dell'area di stretto interesse è rappresentata da fossi poco profondi che scendendo dalle collinette piatte circostanti, incidono circa perpendicolarmente la valle fino a raggiungere il Fiume Basento, spesso la perpendicolarità è dovuta alla regimentazione realizzata dall'uomo per lo sfruttamento delle terre.

Di seguito si riportano i dati di uno studio della piovosità della Regione Basilicata eseguito dal dott. Stelluti e pubblicato nel settembre 2009 dall'ALSIA (Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura) nel quale mensilmente si riportano i dati della piovosità raccolti nell'arco di tempo trascorso tra il 1971 e 2001.

Le precipitazioni medie mensili superano ovunque i 62 mm durante il trimestre novembre – gennaio (periodo più piovoso), mentre nel corso del trimestre giugno – agosto si scende fino a quantità di 27 mm.

Tabella 1: Elenco delle stazioni pluviometriche prese in considerazione e relative quote e coordinate geografiche.

Codice	Stazione	Quota (m)	Longitudine			Latitudine		
1	Agromonte C.C.	500	16°	4'	24"	40°	4'	0"
2	Aliano	497	16°	15'	24"	40°	17'	1"
3	Armento	640	16°	5'	24"	40°	17'	1"
4	Bernalda	127	16°	42'	24"	40°	24'	1"
5	Calciano	450	16°	13'	24"	40°	35'	0"
6	Calvello	700	15°	52'	24"	40°	28'	0"
7	Calvera	605	16°	10'	1"	40°	8'	1"
8	Cancellara	620	15°	56'	24"	40°	44'	0"
9	Carbone	685	16°	6'	24"	40°	7'	1"
10	Castelsaraceno	950	16°	0'	24"	40°	9'	1"
11	Castronuovo S. Andrea	660	16°	12'	31"	40°	11'	0"
12	Cersosimo	563	16°	22'	24"	40°	2'	1"
13	Cogliandrino	700	15°	57'	24"	40°	6'	0"
14	Cognato	557	16°	9'	24"	40°	34'	0"
15	Corleto Perticara	746	16°	2'	8"	40°	23'	0"
16	Ferrandina	496	16°	28'	8"	40°	29'	0"
17	FrancaVilla in Sinni	421	16°	12'	8"	40°	5'	0"
18	Gorgoglione	800	16°	9'	8"	40°	24'	1"
19	Grancia	747	15°	57'	24"	40°	37'	0"
20	Grassano	577	16°	18'	24"	40°	38'	0"
21	Grottole	481	16°	24'	24"	40°	36'	0"
22	Grumento Nova	585	15°	55'	15"	40°	17'	0"
23	Irsina	533	16°	15'	38"	40°	44'	1"
24	Lagonegro	666	15°	47'	24"	40°	7'	0"
25	Laurenzana	850	15°	58'	8"	40°	28'	0"
26	Lauria Inferiore	630	15°	51'	24"	40°	2'	1"
27	Malabocca C.C.	175	16°	30'	8"	40°	19'	0"
28	Maratea	300	15°	44'	24"	39°	59'	0"
29	Marsico Nuovo	850	15°	45'	6"	40°	25'	0"
30	Marsicovetere	1039	15°	49'	8"	40°	22'	0"
31	Matera	450	16°	35'	43"	40°	39'	1"
32	Melfi	531	15°	39'	0"	41°	0'	0"
33	Metaponto	3	16°	49'	8"	40°	22'	0"
34	Mezzana di Lucania	918	16°	11'	24"	39°	58'	0"
35	Miglionico	466	16°	30'	8"	40°	34'	0"
36	Missanello	566	16°	11'	24"	40°	16'	1"
37	Moliterno	879	15°	52'	8"	40°	14'	0"
38	Montalbano Jonico	292	16°	34'	8"	40°	16'	1"
39	Montemurro	710	15°	59'	8"	40°	17'	1"
40	Montescaglioso	364	16°	40'	8"	40°	34'	0"
41	Noepoli	676	16°	21'	24"	40°	5'	1"
42	Nova Siri	300	16°	33'	24"	40°	8'	1"
43	Nova Siri Scalo	2	16°	39'	24"	40°	7'	1"
44	Palazzo San Gervasio	483	16°	0'	24"	40°	55'	1"
45	Pisticci	364	16°	34'	24"	40°	23'	0"
46	Poggiorsini	461	16°	16'	24"	40°	54'	1"
47	Policoro	31	16°	42'	24"	40°	13'	0"
48	Potenza	811	15°	48'	6"	40°	38'	0"
49	Rivello	450	15°	45'	8"	40°	5'	0"
50	Roccanova	654	16°	13'	24"	40°	13'	0"
51	Salandra	598	16°	19'	8"	40°	30'	1"
52	San Basilio	67	16°	42'	8"	40°	19'	0"
53	San Giorgio Lucano	416	16°	24'	24"	40°	7'	0"
54	San Martino d'Agri	661	16°	4'	24"	40°	14'	0"
55	San Mauro Forte	565	16°	16'	24"	40°	29'	0"
56	San Severino Lucano	884	16°	9'	24"	40°	0'	1"
57	Sciffra	780	15°	47'	19"	40°	34'	0"
58	Senise	330	16°	18'	24"	40°	8'	1"
59	Stigliano	908	16°	14'	51"	40°	24'	1"
60	Teana	800	16°	9'	8"	40°	7'	1"
61	Terranova di Pollino	930	16°	18'	8"	39°	59'	0"
62	Tolve	568	16°	2'	24"	40°	42'	0"
63	Torre Accio	140	16°	40'	29"	40°	24'	0"
64	Tramutola	654	15°	45'	53"	40°	1'	0"
65	Trecchina	500	15°	48'	24"	40°	0'	1"
66	Tursi	348	16°	29'	24"	40°	15'	0"
67	Valsinni	250	16°	27'	24"	40°	9'	1"
68	Viggiano	1023	15°	53'	8"	40°	20'	0"



Figura 1: Ubicazione delle stazioni pluviometriche.

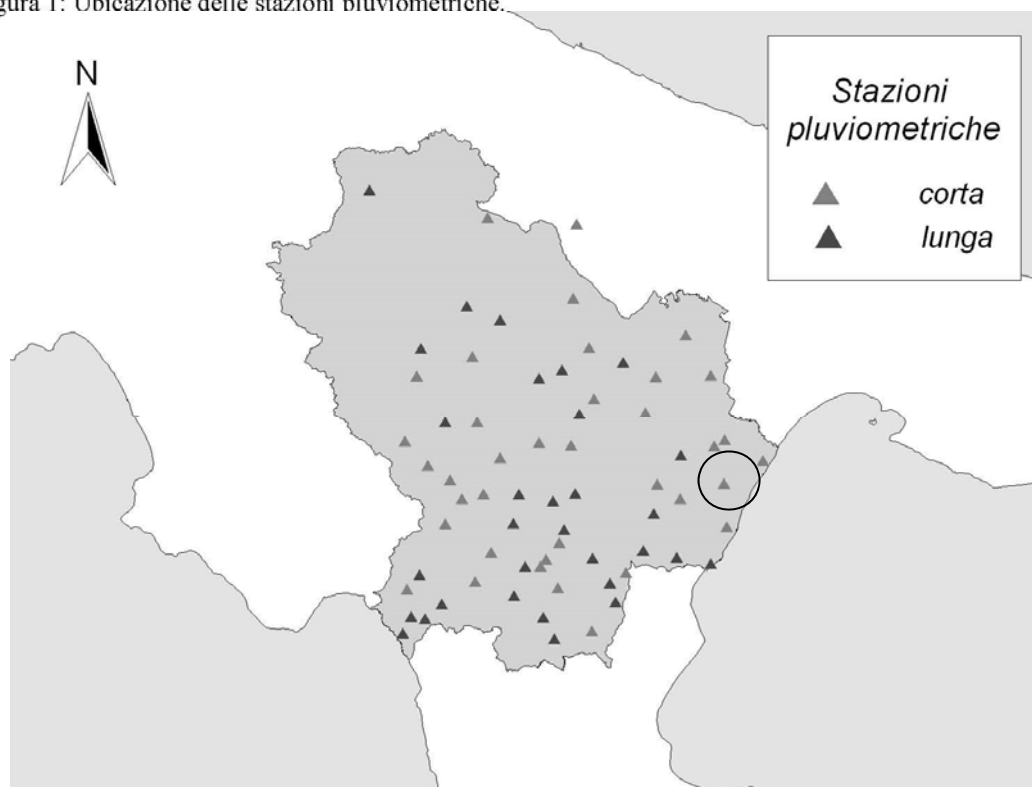


Figura 3: Ubicazione delle stazioni pluviometriche con serie storiche "lunghe" e "corte".

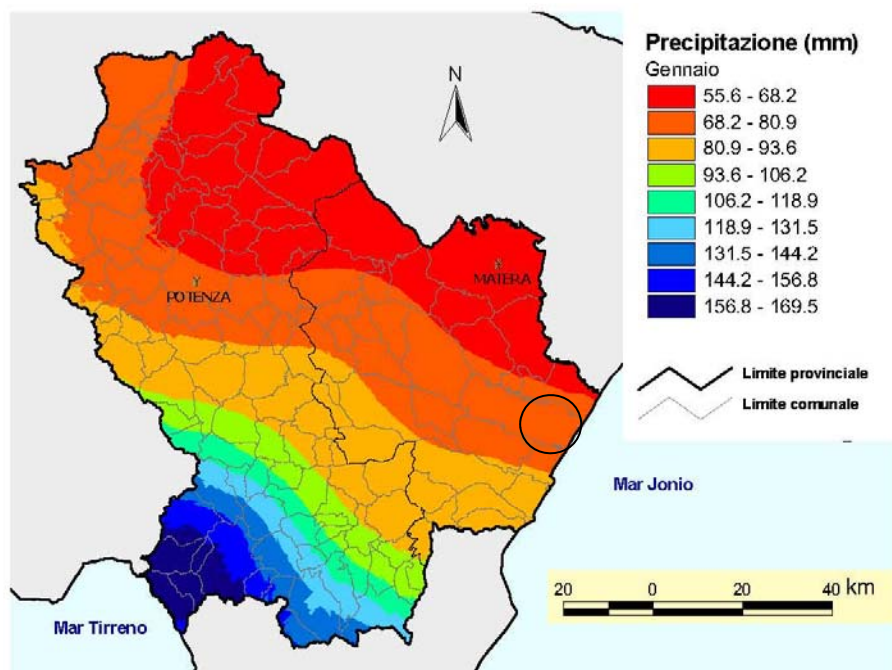


Figura 5: Mappa spaziale delle precipitazioni di gennaio ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.

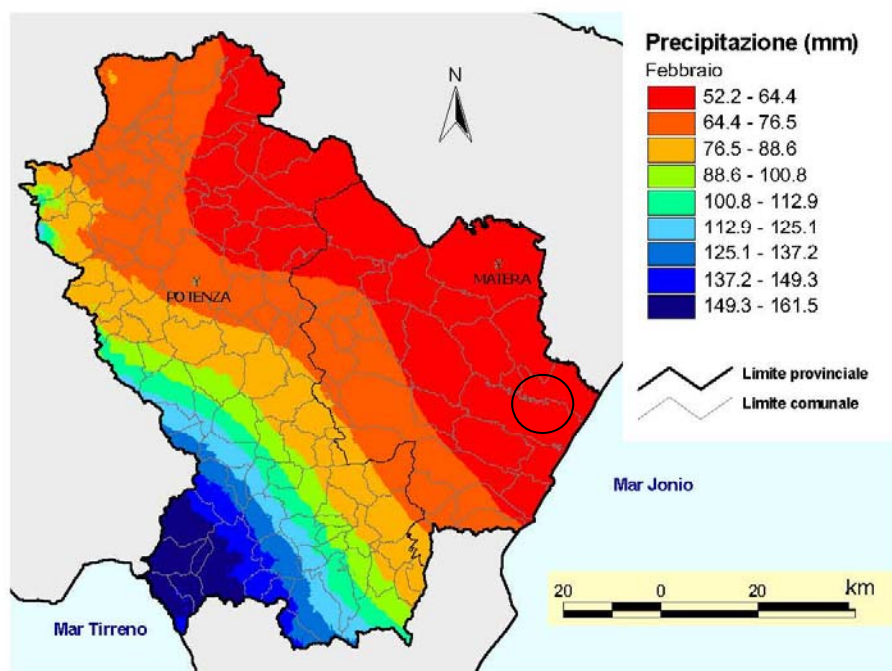


Figura 6: Mappa spaziale delle precipitazioni di febbraio ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.

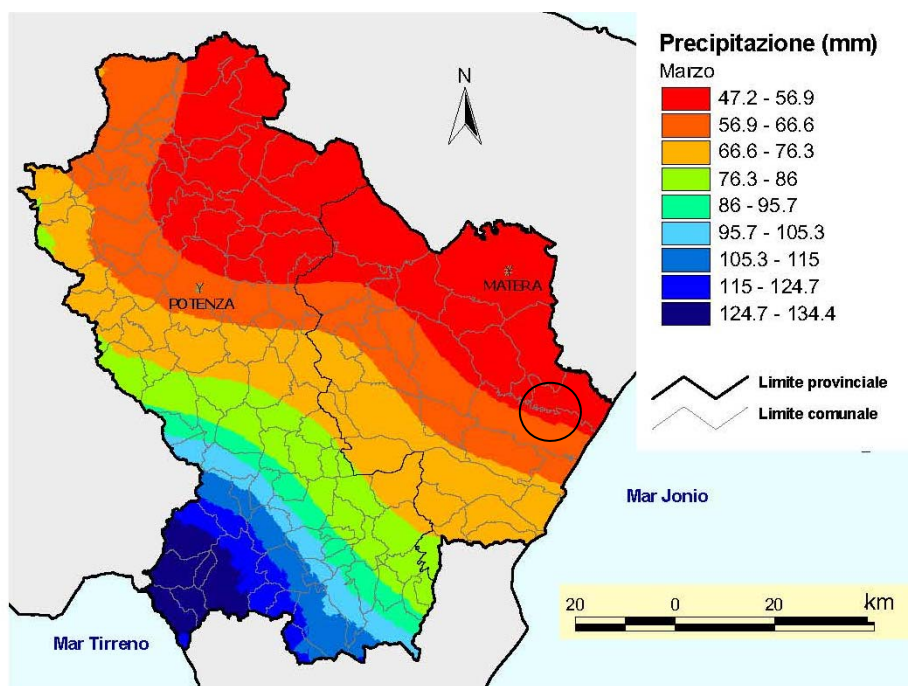


Figura 7: Mappa spaziale delle precipitazioni di marzo ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.

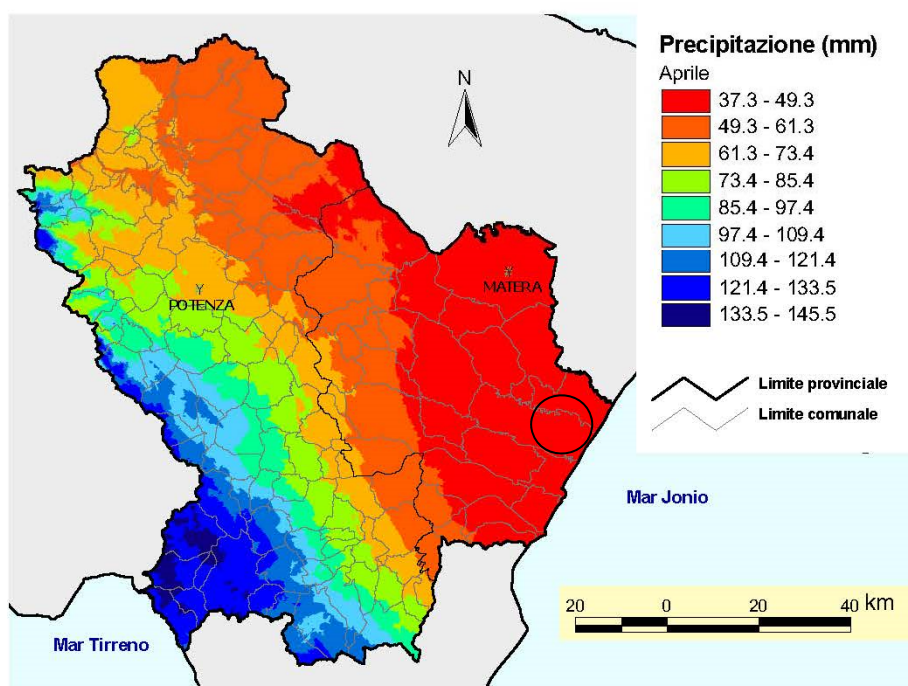


Figura 8: Mappa spaziale delle precipitazioni di aprile ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.



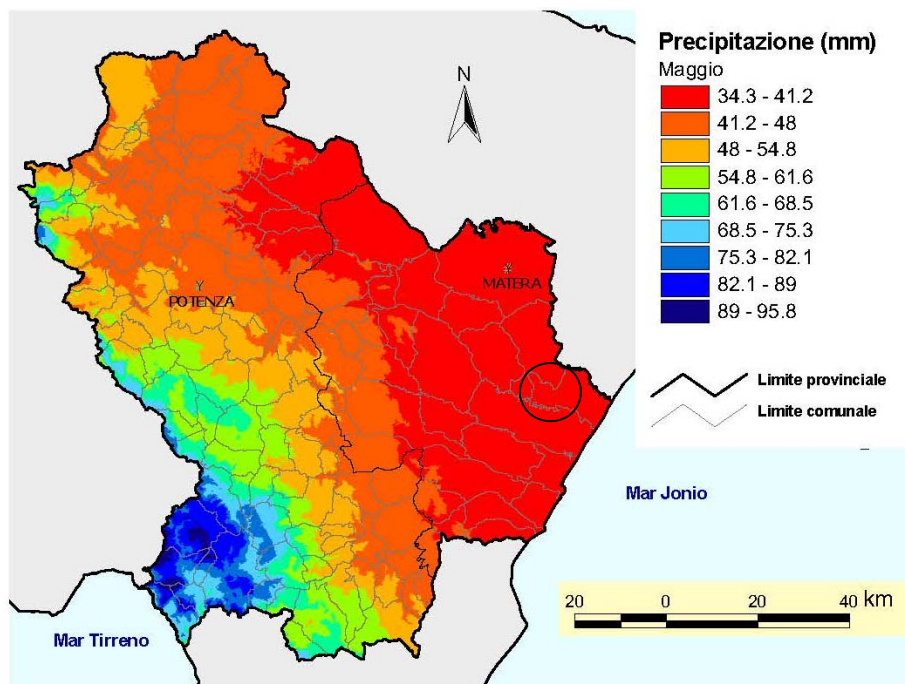


Figura 9: Mappa spaziale delle precipitazioni di maggio ottenuta con la tecnica del cokriging co-localato.

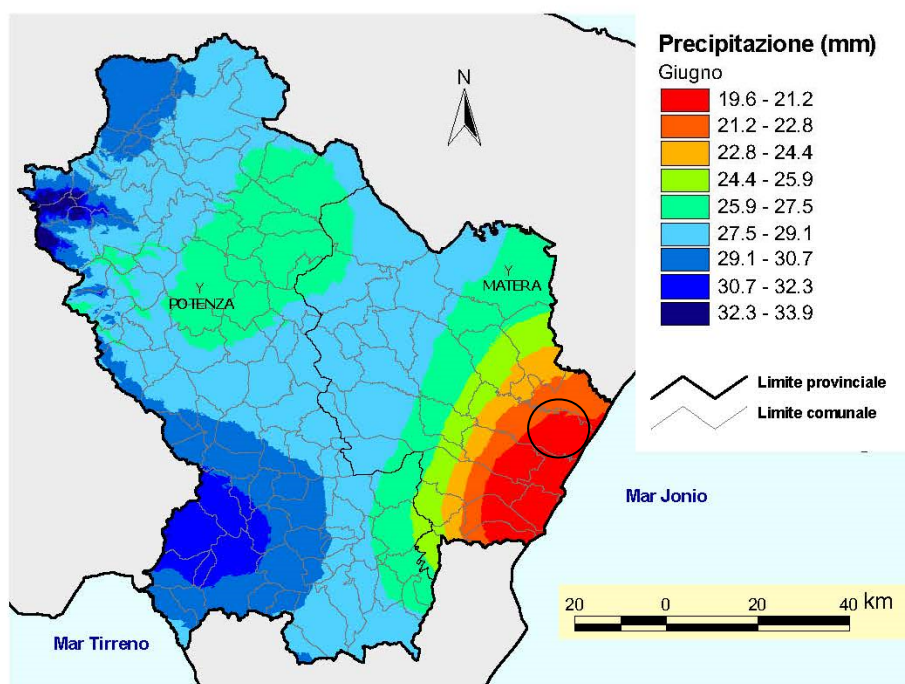


Figura 10: Mappa spaziale delle precipitazioni di giugno ottenuta con la tecnica del cokriging co-localato.

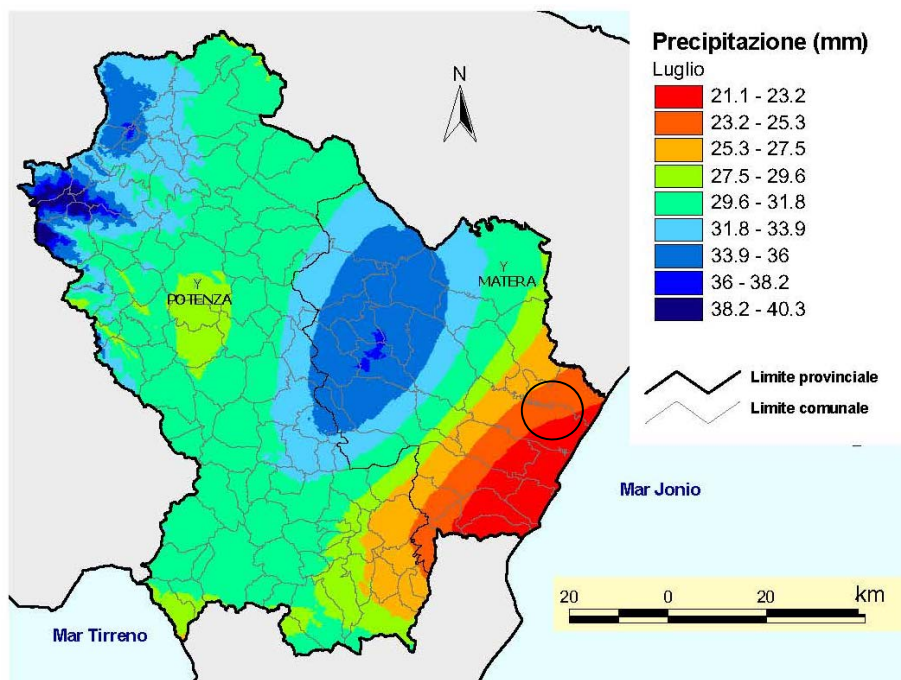


Figura 11: Mappa spaziale delle precipitazioni di luglio ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.

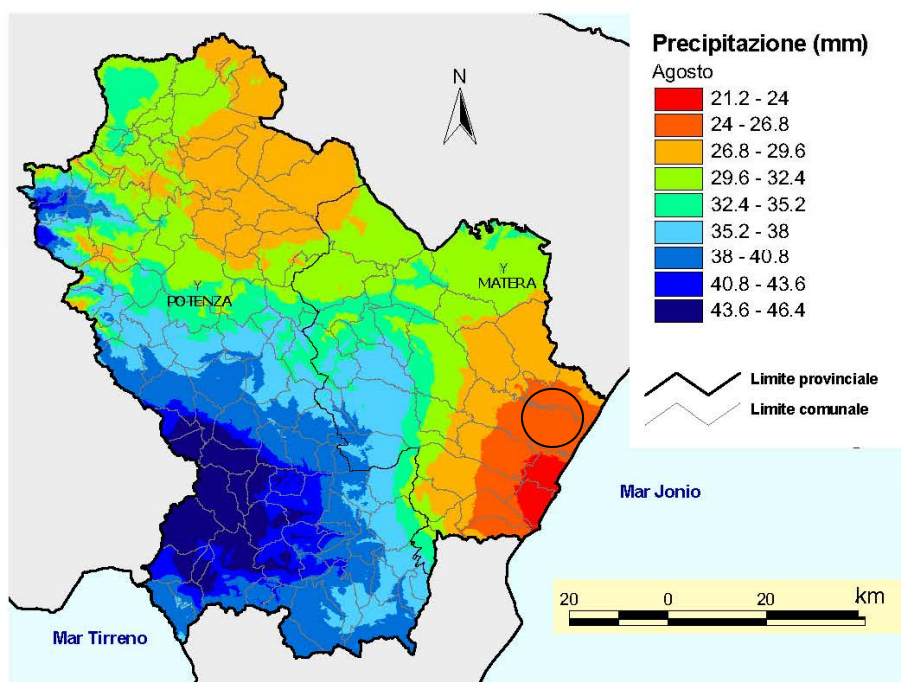


Figura 12: Mappa spaziale delle precipitazioni di agosto ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.

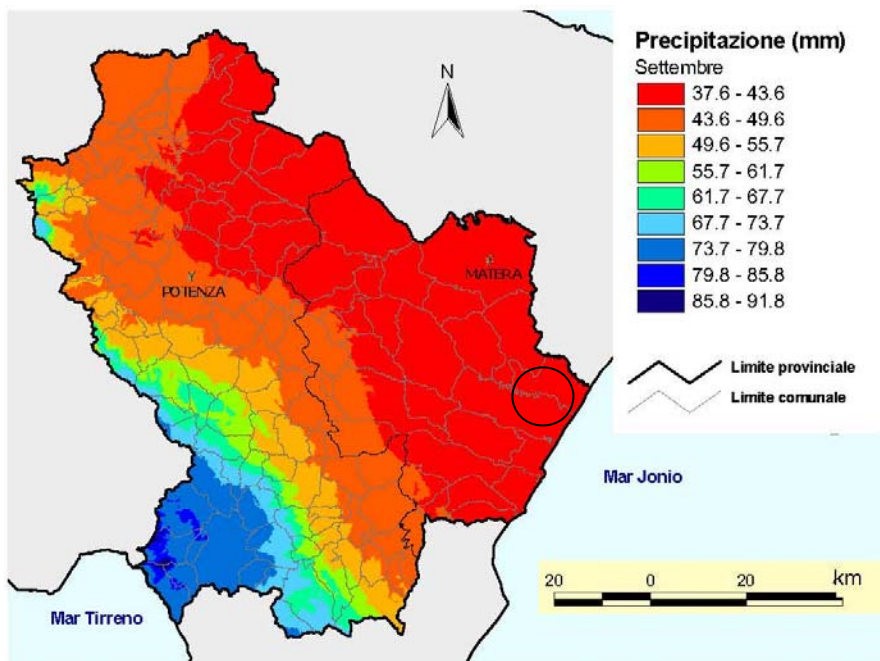


Figura 13: Mappa spaziale delle precipitazioni di settembre ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.

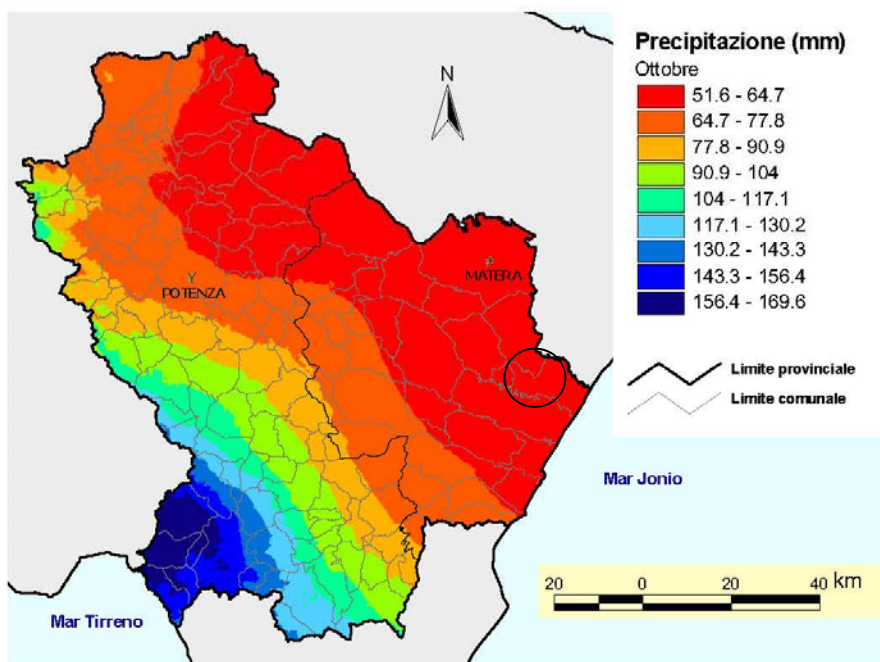


Figura 14: Mappa spaziale delle precipitazioni di ottobre ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.



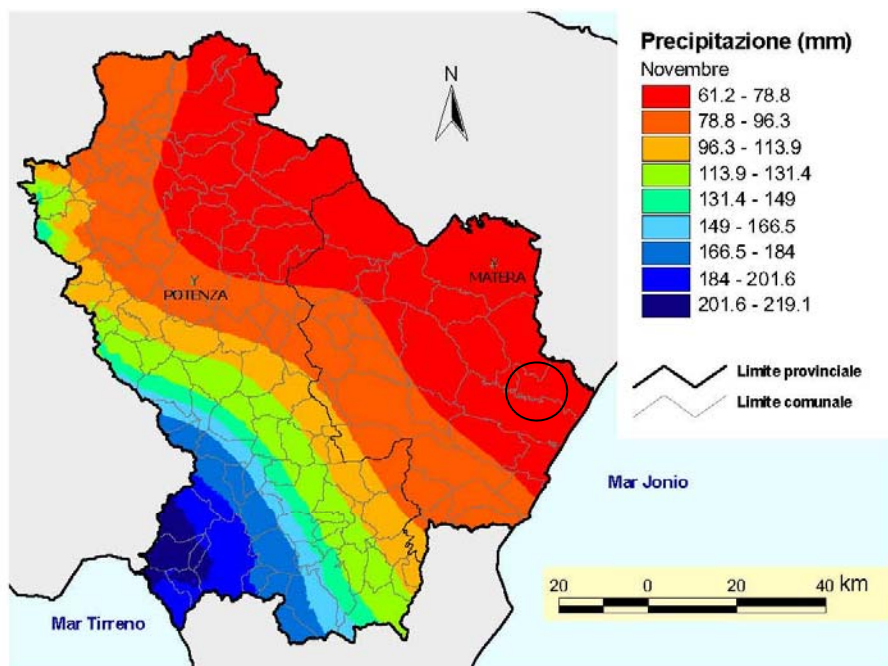


Figura 15: Mappa spaziale delle precipitazioni di novembre ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.

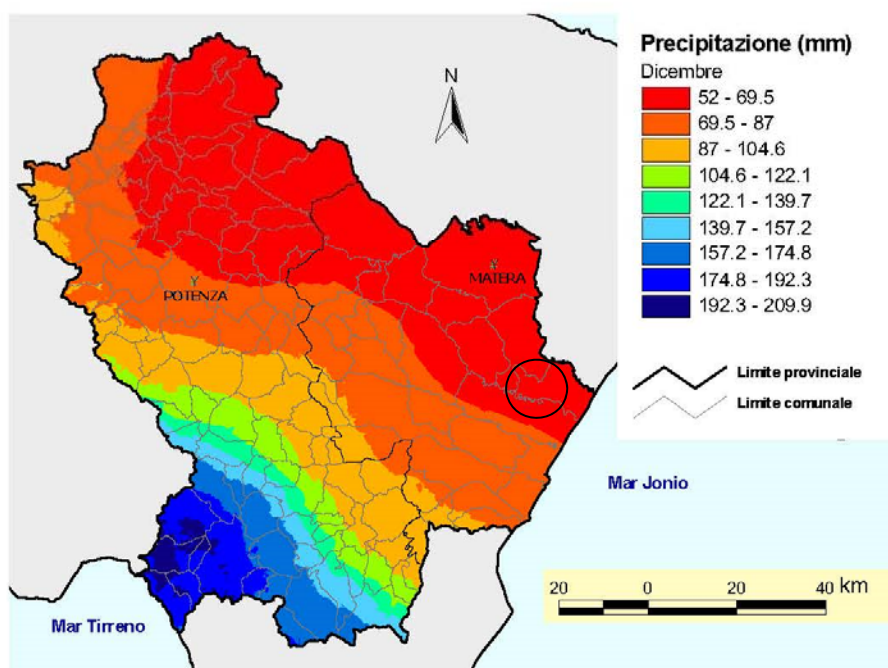


Figura 16: Mappa spaziale delle precipitazioni di dicembre ottenuta con la tecnica del cokriging co-locato.

## **6 Campagna di Indagini Geognostiche**

---

La campagna di indagini geognostiche è stata strutturata in relazione alla natura dei litotipi affioranti ed ha visto l'esecuzione di prove geotecniche indirette che hanno interessato l'area di sedime dei pannelli solari in progetto.

L'allegato T01 "Planimetria ubicazione indagini Geognostiche" riporta in scala 1:2.000 l'intero progetto del Parco Fotovoltaico dove sono indicate l'ubicazione di tutte le indagini eseguite e consultate e l'ubicazione del percorso del cavidotto fino a raggiungere la cabina primaria.

Di seguito si riportano i risultati delle indagini eseguite, mentre nell'elaborato R03A "Report di fine Campagna Geognostica" si riportano tutti i gli elaborati grafici e descrittivi delle indagini eseguite, consistenti in:

### INDAGII ESEGUTE

- n. 3 Standard Penetration Test (SPT) con Penetrometro Medio;
- n. 1 stendimenti sismici a rifrazione eseguiti con tecnica MASW ubicati.
- n. 1 stendimenti sismici a rifrazione eseguiti in Onde P e Sh.

### INDAGINI CONSULTATE

- n. 1 Indagine Geognostica eseguita Dal Dott. Geol. A. Di Biase per la realizzazione di un capannone sui Depositi Marini Terrazzati di III Ordine, composta da n. 3 sondaggi meccanici eseguiti a Rotazione con carotaggio continue e prelievo di campioni indisturbati;
- n. 1 Indagine Geofisica eseguita in località Scorzone dal Dott. Geol. Leonardo di Summo.
- n. 1 Indagine geofisica eseguita in località C.da Gaudella dal Dott. Geol. L. Di Summo.

### **6.1 SISMICA A RIFRAZIONE**

---

L'indagine sismica eseguita nei terreni di sedime del parco fotovoltaico in progetto ubicato a sud dell'abitato del Comune di Miglionico e precisamente nell'ampia valle del Fiume Basento al confine comunale tra quello di Miglionico, Pomario e Ferrandina, e consistita in:

- n. 1 Prospezioni Sismiche a Rifrazione in onde P per la ricostruzione del modello sismostratigrafico e la determinazione delle principali grandezze elasto-meccaniche dei terreni investigati;
- n. 1 Prospezioni Sismiche MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) in onde di Rayleigh per la caratterizzazione sismica e la definizione della categoria di sottosuolo come da normativa in materia antisismica vigente.

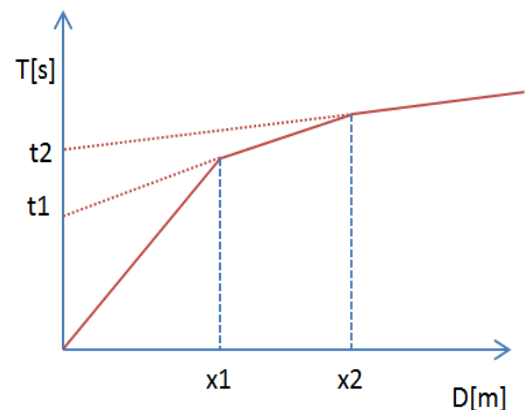
Il presente studio, volto a definire le caratteristiche litologico-stratigrafiche e sismiche del sito, è stato condotto in osservanza della normativa tecnica vigente in materia e in particolare: DM 17 Gennaio 2018 (Aggiornamento delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”), Circolare 21 Gennaio 2019 n° 7 (Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”), Circolare 2 Febbraio 2009 n° 617, prescrizioni AGI 1997, OPCM 3274/03 e successive modifiche (DGR 153/04, OPCM 3519/06) nonché tenendo in debito conto le “Linee Guida per Indagini Geofisiche” redatte a cura dell’Associazione Società di Geofisica Italiana.

Per la ricostruzione del modello geologico-stratigrafico del sito e la parametrizzazione geomeccanica del volume significativo di terreno relativo all’intervento si è fatto riferimento alle informazioni fornite dall’esecuzione n° 2 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e n° 2 prospezioni sismiche MASW le cui posizioni sono riportate in allegato alla Tavola A.12.a.7 “Carta Ubicazione Indagini Geognostiche”. Le prove sono state realizzate nell’area di impianto dei pannelli fotovoltaici in progetto e, in accordo con la committenza, in maniera tale da investigare il terreno di sedime cercando un giusto compromesso tra la profondità massima di investigazione e gli spazi fisici a disposizione.

### 6.1.1 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione

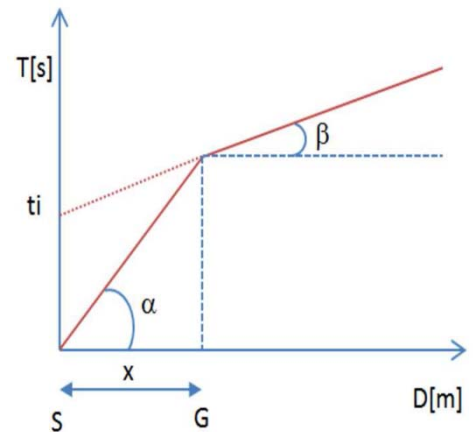
---

Le indagini di sismica a rifrazione (P e/o S), consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). Altro scopo è quello di tarare e vincolare l’altro metodo di indagine (MASW) per tutto lo spessore investigato dall’indagine sismica, contribuendo a diminuire l’incertezza sulla determinazione delle velocità delle onde sismiche  $V_s$ . La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione tradizionale è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo.



Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\vartheta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\vartheta_r$ . La formula matematica è:  $v_2 \sin\vartheta_i = v_1 \sin\vartheta_r$ . Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità. Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\vartheta_i > \vartheta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\vartheta_i < \vartheta_r$  ed esiste un angolo limite d'incidenza per cui  $\vartheta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'angolo limite è definito come:  $\vartheta_i \arcsin(v_1/v_2)$ .

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione:  $T = x_i/V_1$ , dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come:  $V_1 = 1/\tan\alpha$ . I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette. La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati punti di ginocchio e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi. Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:



$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

## 6.1.2 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

---

Le indagini sono state condotte utilizzando la seguente strumentazione:

- Sismografo con 24 canali, della ditta “PASI Srl” modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati mediante laptop;
- Sorgente di energizzazione costituita da un maglio del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in alluminio posta direttamente sul piano campagna per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV;
- n. 12 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione pari a 4,5 Hz.

La distanza intergeofonica è stata posta pari a 4 mt per tutti gli stendimenti realizzati, denominati di seguito rispettivamente ST01, ST02, ST03 e ST04, con punti di battuta A e B poste a 5 mt rispettivamente dal 1° e dal 12° geofono, in posizione esterna allo stendimento, la battuta C posta al centro dello stendimento (fra il 6° e il 7° geofono), mentre le altre due battute intermedie D ed E poste rispettivamente tra 3° e 4° geofono e tra il 9° e il 10° geofono come riportato in Figura 1:



**Figura 1**-Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione

In fase di acquisizione dei sismogrammi è stato applicato un filtro passa alto, con frequenza di taglio pari a 10 Hz, per una migliore ricezione dei segnali. L’elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- Inserimento delle geometrie mediante il software EasyRefract (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- Applicazione di un filtro “low-pass” per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- Picking dei primi arrivi;
- Definizione delle dromocrone;
- Calcolo dromocrone traslate;
- Definizione del modello sismo-stratigrafico.

Bisogna precisare che, l’elaborazione dei dati di sismica a rifrazione rappresentano l’andamento dei sismostrati lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ed il modello sismostratigrafico che ne deriva rappresenta l’interpretazione degli stessi sismostrati in funzione della geologia del sito, ottenuto correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche caratteristiche. Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell’indagine sismica è importante puntualizzare che:

- a) I sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- b) La risoluzione del metodo è funzione della profondità d'indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0,25 * z$ ;
- c) Nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- d) I terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Di seguito sono stati riportati, in Tabella 1, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P tipici di alcuni litotipi ricorrenti.

Litotipo	V <sub>p</sub> (m/sec)	Litotipo	V <sub>p</sub> (m/sec)
Areato superficiale	300-800	Calcare cristallino	5700-6400
Argille	1100-2900	Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Sabbia asciutta	200-1000	Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Sabbie umida	600-1800	Arenaria	1400-4500
Terreni alluvionali sciolti	400-2100	Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Acqua	1400-1500	Anidride	3500-5500
Calcare fratturato	700-4200	Gesso	1800-4000
Calcare compatto	2800-6400	Gneiss e scisti	3500-7500

**Tabella 1**-Valori di velocità tipiche delle onde di compressione P (da "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo" di Carrara-Rapolla-Roberti, "Il manuale del geologo" di Cassadio-Elmi)

## **STENDIMENTO SISMICO ST01**

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, e per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt.

Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla Tavola A. 1 "Sezione Tomografica Sismica-Onde P".

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica realizzata.

1. Sismostrato A: terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 352 m/sec per una profondità media di circa -2,00 mt da pc;
2. Sismostrato B: deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1025 m/sec per una profondità media di circa -7,30 mt da pc;
3. Sismostrato C: deposito di natura argilloso-limosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1885 m/sec sino a fine indagine (≈-13 mt da pc).



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST01 - Onde P

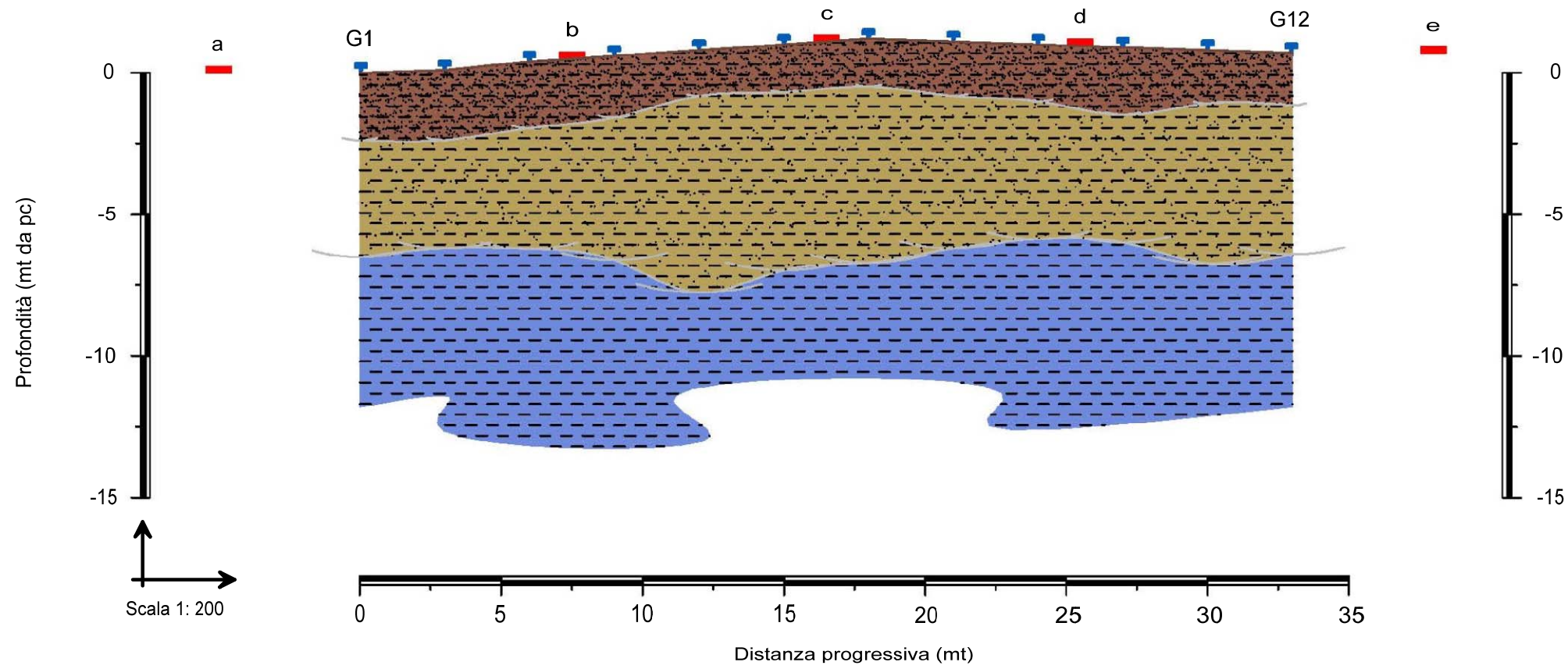
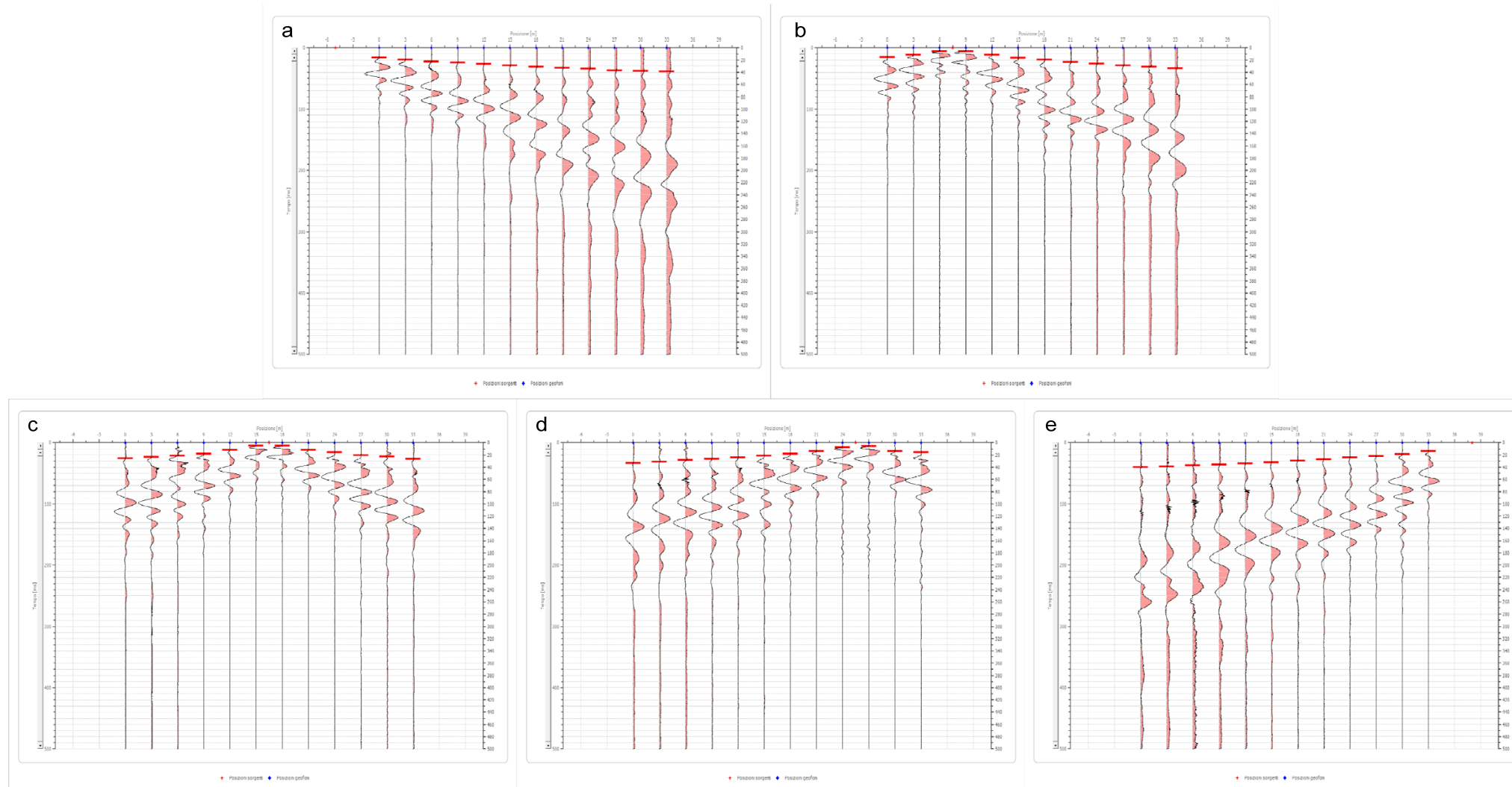


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST01

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente  
 $V_p = 352$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente  
 $V_p = 1025$  m/sec
-  Deposito di natura argillo-limosa, molto consistente  
 $V_p = 1885$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



### 6.1.3 Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei terreni di Fondazione

In base alle indicazioni ricavate dalle prove geofisiche, si riportano le tabelle riassuntive delle principali caratteristiche elasto-meccaniche dei sismostrati individuati per i siti d'interesse come risultato dalle indagini svolte. I valori delle  $V_{seq}$  sono stati ricavati in modo indiretto dalle prove sismiche MASW. Le determinazioni dei moduli elastici (dinamici), eseguite mediante tali metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali, cioè relative ad un modesto volume di roccia e/o terreno. I moduli elastici sismici ottenuti, possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (ad es. Rzhnevsky et alii, 1971,  $E_{din} = 8,3 * E_{stat} + 0,97$ ) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

#### Stendimento ST01

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
A (0,00÷3,20)	565	207	1,70	0,42	207	73	446	397
B (3,20÷10,50)	1002	342	1,89	0,43	634	221	1603	1455
C (10,50÷19,00≈)	1488	290	2,03	0,48	505	171	4267	4153

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)
A (0,00÷3,20)	351
B (3,20÷10,50)	646
C (10,50÷19,00≈)	588

**Tabella 3**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST01

Con:

$\bar{V}_p$ = velocità media onde di compressione;  
 $\bar{V}_s$ = velocità media onde di taglio;  
 $\gamma$ = Peso unità di volume naturale;  
 $\mu$ = coefficiente di Poisson;  
 $E_y$ = modulo di Young;  
 $G_0$ = modulo di taglio.

$M_0$ = modulo di compressibilità volumetrica;  
 $E_d$ = modulo edometrico;  
 $\lambda$ = coefficiente di Lamé;  
R= rigidità sismica;  
 $E_d$ = modulo edometrico;

### 6.1.4 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del terreno. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono di tipo dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse frequenze si



propagano con diverse velocità di fase (o di gruppo) apparente (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile alla specificità che le onde ad alta frequenza hanno di propagarsi negli strati più superficiali, fornendo quindi informazioni sulla parte più alta del terreno, mentre le onde a bassa frequenza, propagandosi negli strati più profondi, restituiscono indicazioni sulla parte più bassa del terreno. Il metodo MASW è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del terreno (energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da un array lineare di geofoni. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5÷10 Hz e 70÷100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del terreno, generalmente compreso nei primi 30÷50 mt, in funzione della rigidità del terreno e della caratteristica della sorgente.

#### **Acquisizione ed Interpretazione dei Dati**

Per il caso in esame, è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, della ditta PASI Srl modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati e una sorgente ad impatto verticale per la generazione di onde Rayleigh rilevate da 12 geofoni aventi frequenza pari a 4,5 Hz, considerando le stesse linee utilizzate per le acquisizioni delle indagini di sismica a rifrazione. Sono stati effettuati, per ogni singola indagine, n. 4 battute per l'acquisizione dei sismogrammi utilizzando degli offset minimi rispettivamente a -5 mt e -10 mt dal 1° geofono e +5 mt e +10 mt dal 12° geofono. L'intervallo di campionamento è stato pari a 1 ms (millisecondo) con un tempo di registrazione di 2 secondi. Lo schema organizzativo della prova è riportata in Figura 2, mentre per l'ubicazione dei profili sismici si faccia riferimento in allegato alla Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ". La procedura adottata per ricostruire la distribuzione delle onde di taglio nel terreno (VS) può essere così descritta:

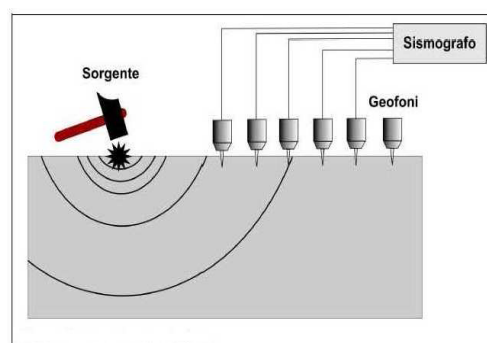


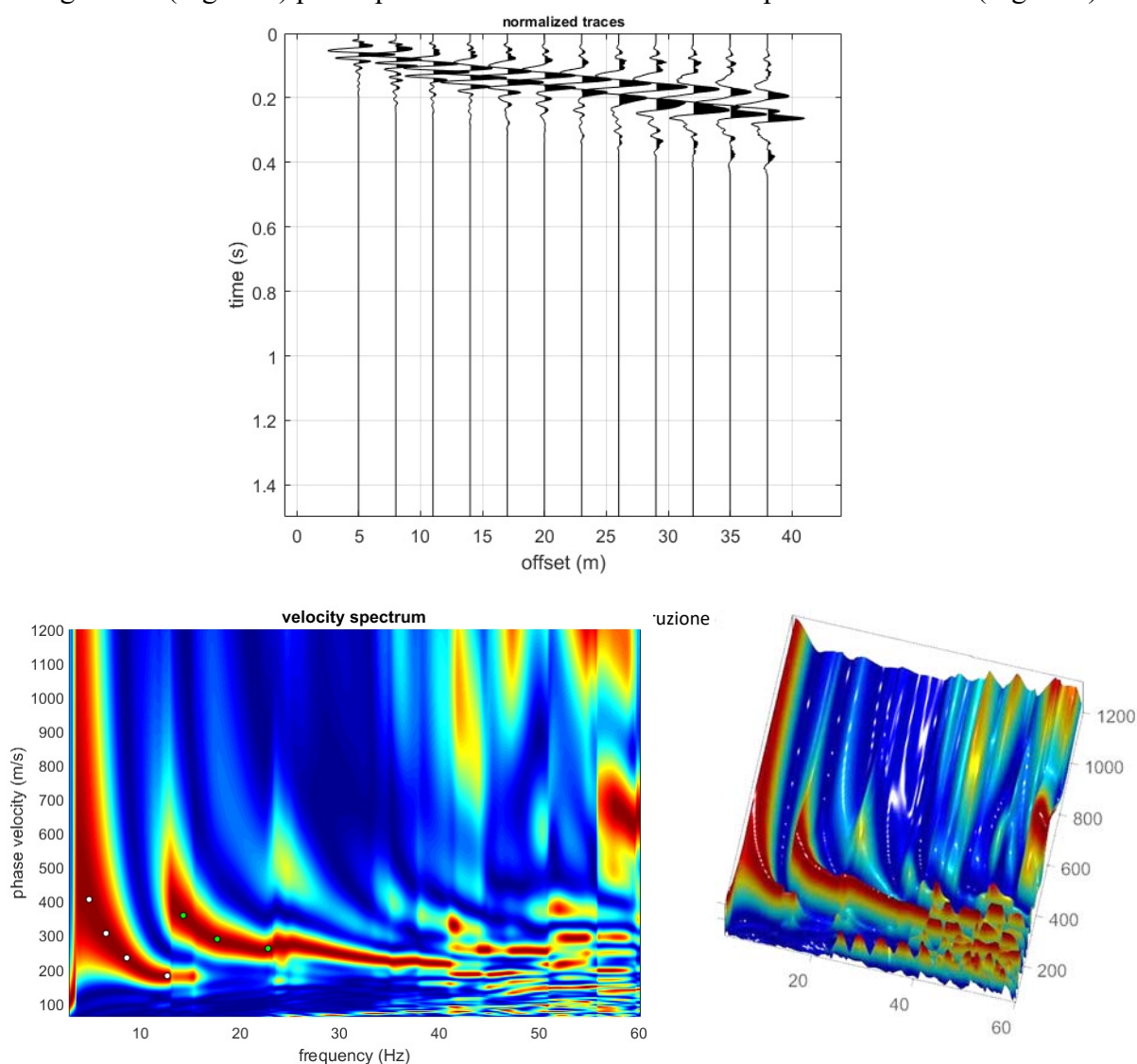
Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW

1. Acquisizione dei sismogrammi contenenti le onde di superficie (onde di Rayleigh con componente verticale) per un intervallo di tempo sufficiente e un'adeguata frequenza di campionamento;
2. Processing dei sismogrammi acquisiti individuando le onde di superficie utili alla costruzione dello spettro di velocità ed individuazione delle curve di dispersione;
3. Inversione dei dati usando un modello di terreno che permetta di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed ulteriori parametri in funzione della profondità compatibile con il contesto geologico in esame. Tale inversione avviene attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici che rappresentano un

tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global search methods o soft computing).

Per il trattamento e l'analisi dei dati acquisiti in situ si è utilizzato il software "WinMASW 3C" release 7.1 della Eliosoft Srl.

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo shot effettuato a +5 mt dal 12° geofono (Figura 3) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 4).



**Figura 4**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio VS in funzione della profondità (Figura 5). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto

medio del profilo di acquisizione (circa 16,50 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), Figura 7, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, Figura 6. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente al "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 8.

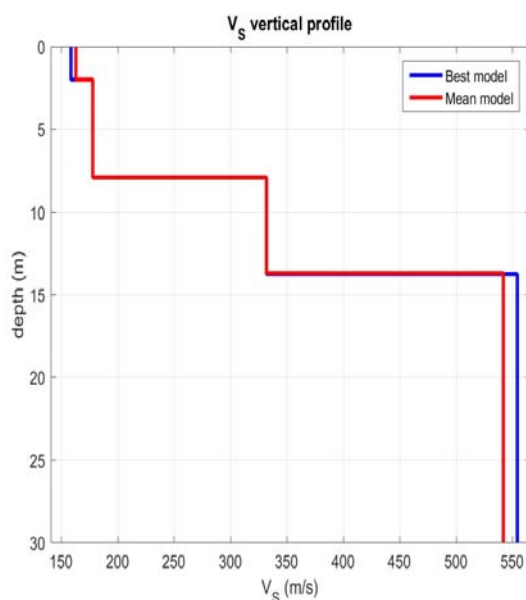


Figura 5-Profilo  $V_{s, equ} = 323$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna

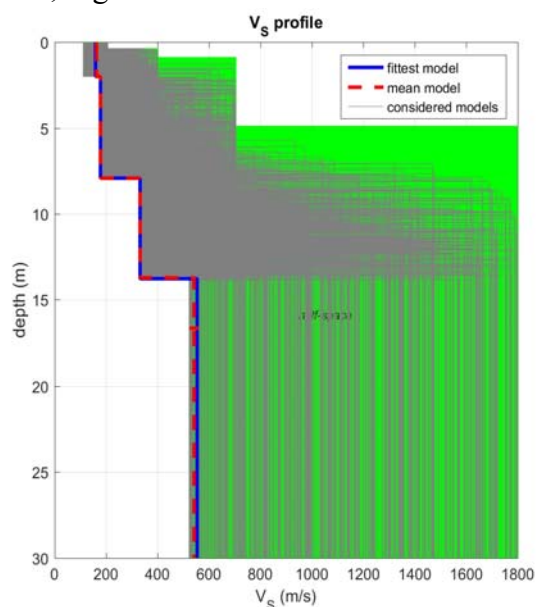


Figura 6-Modelli testati durante il processo di inversione

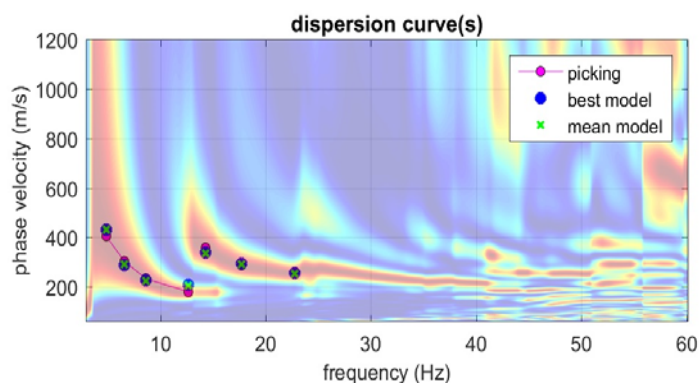


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

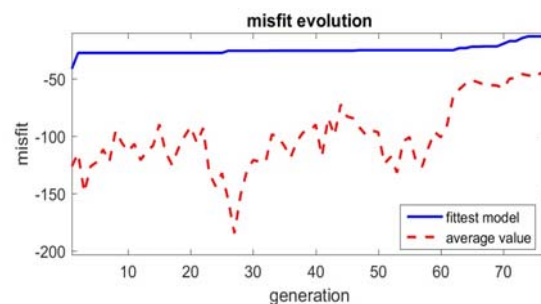


Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 6.1.5 Classificazione del Sottosuolo di Fondazione

Sulla base delle risultanze delle indagini MASW condotte nelle aree oggetto di studio, il sottosuolo di fondazione è stato classificato ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Basilicata con DGR

n° 2000/2003, e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con Ordinanza n° 3431 del 03/05/2005, DM 17/01/2018). Si rammenta che le “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” individuano n. 5 categorie di sottosuolo e precisamente:

<b>Categoria A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
<b>Categoria B</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
<b>Categoria C</b>	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
<b>Categoria D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 m/s e 180 m/s
<b>Categoria E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m

Le indagini MASW hanno consentito la stima dei valori delle velocità delle onde sismiche di taglio e, da queste, il calcolo della VS equivalente risultante, applicando la seguente formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Con:

- $h_i$  spessore (in mt) dell’i-esimo strato;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
- N numero di strato;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiori a 800 m/s.

Per lo stendimento MASW01, il valore equivalente di  $V_{SEq}$  calcolato pari a **323** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.*

***Nello stendimento sismico Masw 1 non è stato intercettato nei primi trenta metri di profondità il bedrock sismico***

## 6.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL030 10) (Medium)

Rif. Norme	DIN 4094	Peso Massa battente 30Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m	Peso sistema di battuta 21Kg
Diametro punta conica	35,68 mm	Area di base punta 10cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m	Peso aste a metro 2,9Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m	Avanzamento punta 0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)	Coeff. Correlazione 0,761
Rivestimento/fanghi	Si	Angolo di apertura punta 60°

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	DPSH	$M \geq 60$	25

## 6.2.1 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 $N_{spt}$

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  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

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

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  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 $R_{pd}$

Formula Olandesi

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

$R_{pd}$  = 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.

#### **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.

#### **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 mt. ed immersione  $d = 1$  mt..

## **6.2.2 Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

---

#### **Liquefazione:**

- Permette di calcolare utilizzando dati N<sub>spt</sub> 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<sub>spt</sub> dello strato considerato risulta inferiore a N<sub>spt</sub> critico calcolato con l'elaborazione di SHI-MING.

#### **Correzione N<sub>spt</sub> in presenza di falda:**

- $N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15) - N_{spt}$  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 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. 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 mt. sopra falda e < 7 mt. 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 mt. sopra falda e > 15 mt. 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 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- 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 (Ey):**

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

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

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

#### **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  $\bar{\sigma}$  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 Vs (m/sec)**

- 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 (Ko)**

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

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)**

- Robertson 1983 Qc

### **6.2.3 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- $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con  $N_c=20$  e  $Q_c/N_{spt}=2$ .
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cm<sup>2</sup>), 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.

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)**

- Robertson 1983 Qc

#### **Modulo Edometrico-Confinato (Mo)**

- 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/cm<sup>2</sup>)-, 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 ( $N_{spt}=6-12$ ).

#### **Modulo Di Young (EY)**

- Schultze-Menzenbach-(Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.
- Stato di consistenza
- Classificazione A.G.I. 1977

**Peso di Volume Gamma**

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

**Peso di volume saturo**

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ( $N_{spt}=0$ ) a 0,545 ( $N_{spt}=28$ )

**PROVA ... Nr.1**

Strumento utilizzato...

DPM (DL030 10) (Medium)

Profondità prova

6.20 mt

Falda rilevata a fondo foro

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	15	0	0.807	40.40	50.09	2.02	2.50
0.20	12	0	0.855	34.25	40.07	1.71	2.00
0.30	13	0	0.803	34.85	43.41	1.74	2.17
0.40	12	0	0.851	34.09	40.07	1.70	2.00
0.50	11	0	0.849	31.18	36.73	1.56	1.84
0.60	13	0	0.797	34.60	43.41	1.73	2.17
0.70	14	0	0.795	37.18	46.75	1.86	2.34
0.80	9	0	0.843	25.35	30.06	1.27	1.50
0.90	10	0	0.842	26.67	31.69	1.33	1.58
1.00	10	0	0.840	26.61	31.69	1.33	1.58
1.10	9	0	0.838	23.90	28.52	1.20	1.43
1.20	11	0	0.836	29.15	34.86	1.46	1.74
1.30	12	0	0.835	31.74	38.03	1.59	1.90
1.40	12	0	0.833	31.67	38.03	1.58	1.90
1.50	12	0	0.831	31.61	38.03	1.58	1.90
1.60	11	0	0.830	28.92	34.86	1.45	1.74
1.70	13	0	0.778	32.05	41.20	1.60	2.06
1.80	12	0	0.826	31.42	38.03	1.57	1.90
1.90	14	0	0.775	32.70	42.21	1.64	2.11
2.00	15	0	0.773	34.97	45.23	1.75	2.26
2.10	10	0	0.822	24.77	30.15	1.24	1.51
2.20	10	0	0.820	24.73	30.15	1.24	1.51
2.30	12	0	0.819	29.62	36.18	1.48	1.81
2.40	12	0	0.817	29.57	36.18	1.48	1.81
2.50	13	0	0.766	30.01	39.20	1.50	1.96
2.60	12	0	0.814	29.46	36.18	1.47	1.81
2.70	11	0	0.813	26.96	33.17	1.35	1.66
2.80	13	0	0.761	29.84	39.20	1.49	1.96
2.90	12	0	0.810	27.95	34.50	1.40	1.73
3.00	11	0	0.809	25.58	31.63	1.28	1.58
3.10	15	0	0.757	32.66	43.13	1.63	2.16
3.20	16	0	0.756	34.78	46.01	1.74	2.30
3.30	15	0	0.755	32.55	43.13	1.63	2.16
3.40	15	0	0.753	32.49	43.13	1.62	2.16
3.50	13	0	0.752	28.11	37.38	1.41	1.87
3.60	12	0	0.801	27.63	34.50	1.38	1.73
3.70	11	0	0.800	25.29	31.63	1.26	1.58
3.80	12	0	0.798	27.55	34.50	1.38	1.73
3.90	10	0	0.797	21.91	27.48	1.10	1.37
4.00	9	0	0.796	19.69	24.73	0.98	1.24
4.10	9	0	0.795	19.66	24.73	0.98	1.24
4.20	9	0	0.794	19.63	24.73	0.98	1.24
4.30	9	0	0.793	19.60	24.73	0.98	1.24
4.40	9	0	0.791	19.57	24.73	0.98	1.24
4.50	12	0	0.790	26.06	32.98	1.30	1.65
4.60	10	0	0.789	21.69	27.48	1.08	1.37
4.70	10	0	0.788	21.66	27.48	1.08	1.37
4.80	12	0	0.787	25.96	32.98	1.30	1.65
4.90	13	0	0.736	25.18	34.21	1.26	1.71
5.00	10	0	0.785	20.66	26.32	1.03	1.32
5.10	14	0	0.734	27.04	36.84	1.35	1.84
5.20	13	0	0.733	25.08	34.21	1.25	1.71
5.30	15	0	0.732	28.90	39.47	1.44	1.97
5.40	12	0	0.781	24.66	31.58	1.23	1.58
5.50	13	0	0.730	24.98	34.21	1.25	1.71
5.60	12	0	0.779	24.60	31.58	1.23	1.58
5.70	13	0	0.728	24.91	34.21	1.25	1.71
5.80	12	0	0.777	24.55	31.58	1.23	1.58
5.90	10	0	0.776	19.60	25.25	0.98	1.26
6.00	12	0	0.775	23.49	30.29	1.17	1.51
6.10	13	0	0.725	23.78	32.82	1.19	1.64
6.20	11	0	0.774	21.49	27.77	1.07	1.39

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1 TERRENI COESIVI**

**Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	Terzaghi-Peck	0.61

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	Robertson (1983)	18.10

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	Vesic (1970)	---

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	Apollonia	90.50

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	9.05	6.20	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	Meyerhof ed altri	1.94

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---

**TERRENI INCOERENTI**

**Densità relativa**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Gibbs & Holtz 1957	55.38

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Sowers (1961)	30,53

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Bowles (1982) Sabbia Media	---

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	46.05

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Meyerhof ed altri	1.70

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	9.05	6.20	9.05	(A.G.I.)	0.34

**Modulo di deformazione a taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Ohsaki (Sabbie pulite)	515.42

**Velocità onde**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde m/s
Strato 1	9.05	6.20	9.05		165.46

**Liquefazione**

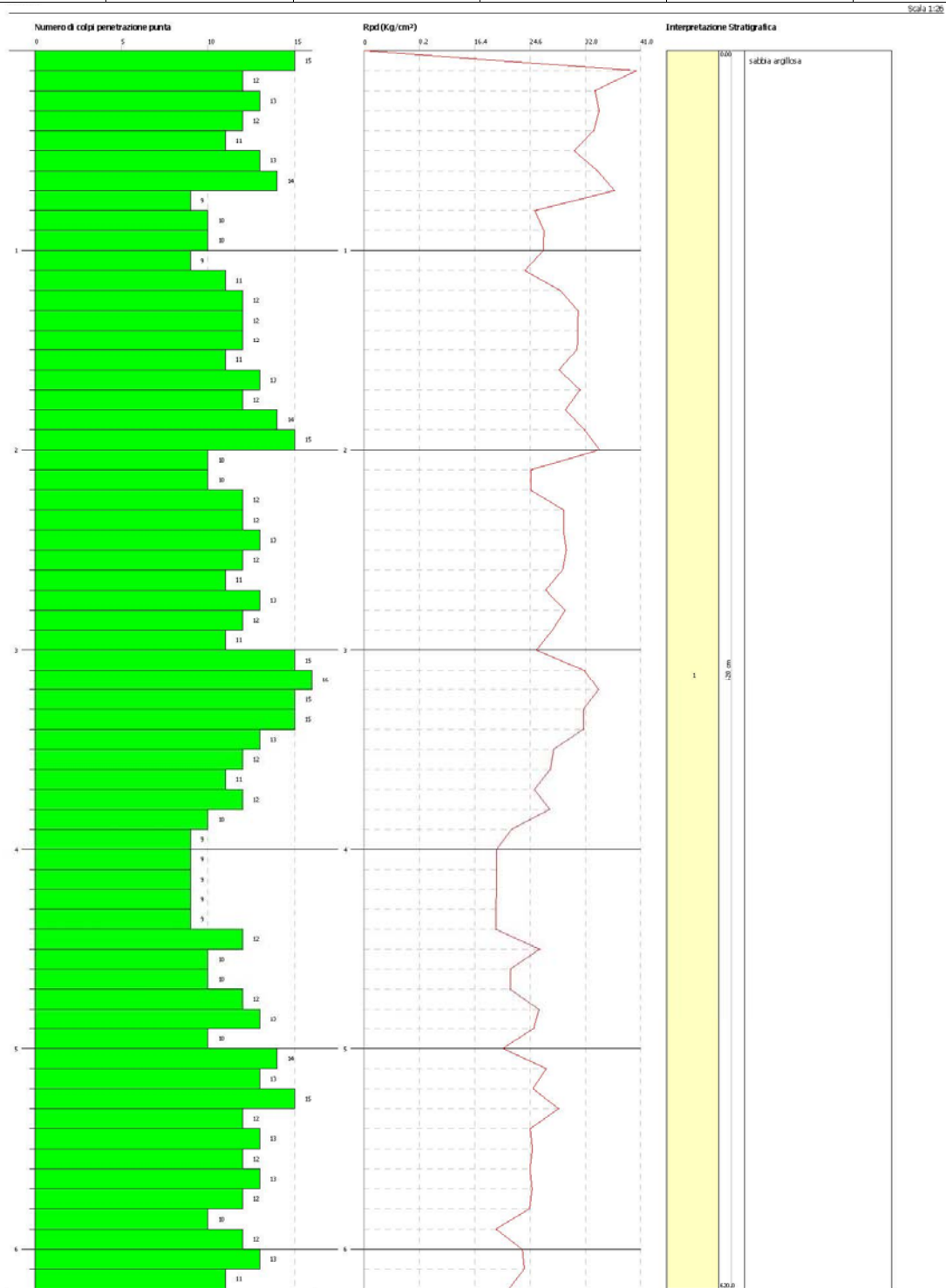
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Potenziale Liquefazione
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Seed (1979) (Sabbie e ghiaie)	< 0.04

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Navfac 1971-1982	1.90

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.05	6.20	9.05	Robertson 1983	18.10



**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato...

DPM (DL030 10) (Medium)

Profondità prova

5.60 mt

Falda non rilevata intorno ai 5,00 mt di profondità

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	13	0	0.807	35.02	43.41	1.75	2.17
0.20	12	0	0.855	34.25	40.07	1.71	2.00
0.30	16	0	0.803	42.89	53.43	2.14	2.67
0.40	17	0	0.801	45.46	56.77	2.27	2.84
0.50	12	0	0.849	34.02	40.07	1.70	2.00
0.60	13	0	0.797	34.60	43.41	1.73	2.17
0.70	14	0	0.795	37.18	46.75	1.86	2.34
0.80	15	0	0.793	39.74	50.09	1.99	2.50
0.90	12	0	0.842	32.00	38.03	1.60	1.90
1.00	13	0	0.790	32.54	41.20	1.63	2.06
1.10	14	0	0.788	34.96	44.37	1.75	2.22
1.20	13	0	0.786	32.39	41.20	1.62	2.06
1.30	10	0	0.835	26.45	31.69	1.32	1.58
1.40	9	0	0.833	23.75	28.52	1.19	1.43
1.50	10	0	0.831	26.34	31.69	1.32	1.58
1.60	9	0	0.830	23.66	28.52	1.18	1.43
1.70	10	0	0.828	26.24	31.69	1.31	1.58
1.80	9	0	0.826	23.57	28.52	1.18	1.43
1.90	10	0	0.825	24.87	30.15	1.24	1.51
2.00	10	0	0.823	24.82	30.15	1.24	1.51
2.10	9	0	0.822	22.30	27.14	1.11	1.36
2.20	12	0	0.820	29.67	36.18	1.48	1.81
2.30	13	0	0.769	30.13	39.20	1.51	1.96
2.40	12	0	0.817	29.57	36.18	1.48	1.81
2.50	11	0	0.816	27.05	33.17	1.35	1.66
2.60	11	0	0.814	27.01	33.17	1.35	1.66
2.70	12	0	0.813	29.41	36.18	1.47	1.81
2.80	14	0	0.761	32.14	42.21	1.61	2.11
2.90	15	0	0.760	32.78	43.13	1.64	2.16
3.00	14	0	0.759	30.54	40.26	1.53	2.01
3.10	13	0	0.757	28.31	37.38	1.42	1.87
3.20	12	0	0.806	27.81	34.50	1.39	1.73
3.30	13	0	0.755	28.21	37.38	1.41	1.87
3.40	14	0	0.753	30.33	40.26	1.52	2.01
3.50	12	0	0.802	27.68	34.50	1.38	1.73
3.60	16	0	0.751	34.54	46.01	1.73	2.30
3.70	9	0	0.800	20.69	25.88	1.03	1.29
3.80	10	0	0.798	22.96	28.75	1.15	1.44
3.90	10	0	0.797	21.91	27.48	1.10	1.37
4.00	10	0	0.796	21.88	27.48	1.09	1.37
4.10	10	0	0.795	21.84	27.48	1.09	1.37
4.20	9	0	0.794	19.63	24.73	0.98	1.24
4.30	12	0	0.793	26.14	32.98	1.31	1.65
4.40	11	0	0.791	23.92	30.23	1.20	1.51
4.50	12	0	0.790	26.06	32.98	1.30	1.65
4.60	13	0	0.739	26.41	35.73	1.32	1.79
4.70	12	0	0.788	25.99	32.98	1.30	1.65
4.80	13	0	0.737	26.33	35.73	1.32	1.79
4.90	12	0	0.786	24.82	31.58	1.24	1.58
5.00	13	0	0.735	25.15	34.21	1.26	1.71
5.10	12	0	0.784	24.76	31.58	1.24	1.58
5.20	11	0	0.783	22.67	28.95	1.13	1.45
5.30	14	0	0.732	26.97	36.84	1.35	1.84
5.40	11	0	0.781	22.61	28.95	1.13	1.45
5.50	12	0	0.780	24.63	31.58	1.23	1.58
5.60	15	0	0.729	28.78	39.47	1.44	1.97

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2 - TERRENI COESIVI**

**Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	Terzaghi-Peck	0.62

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

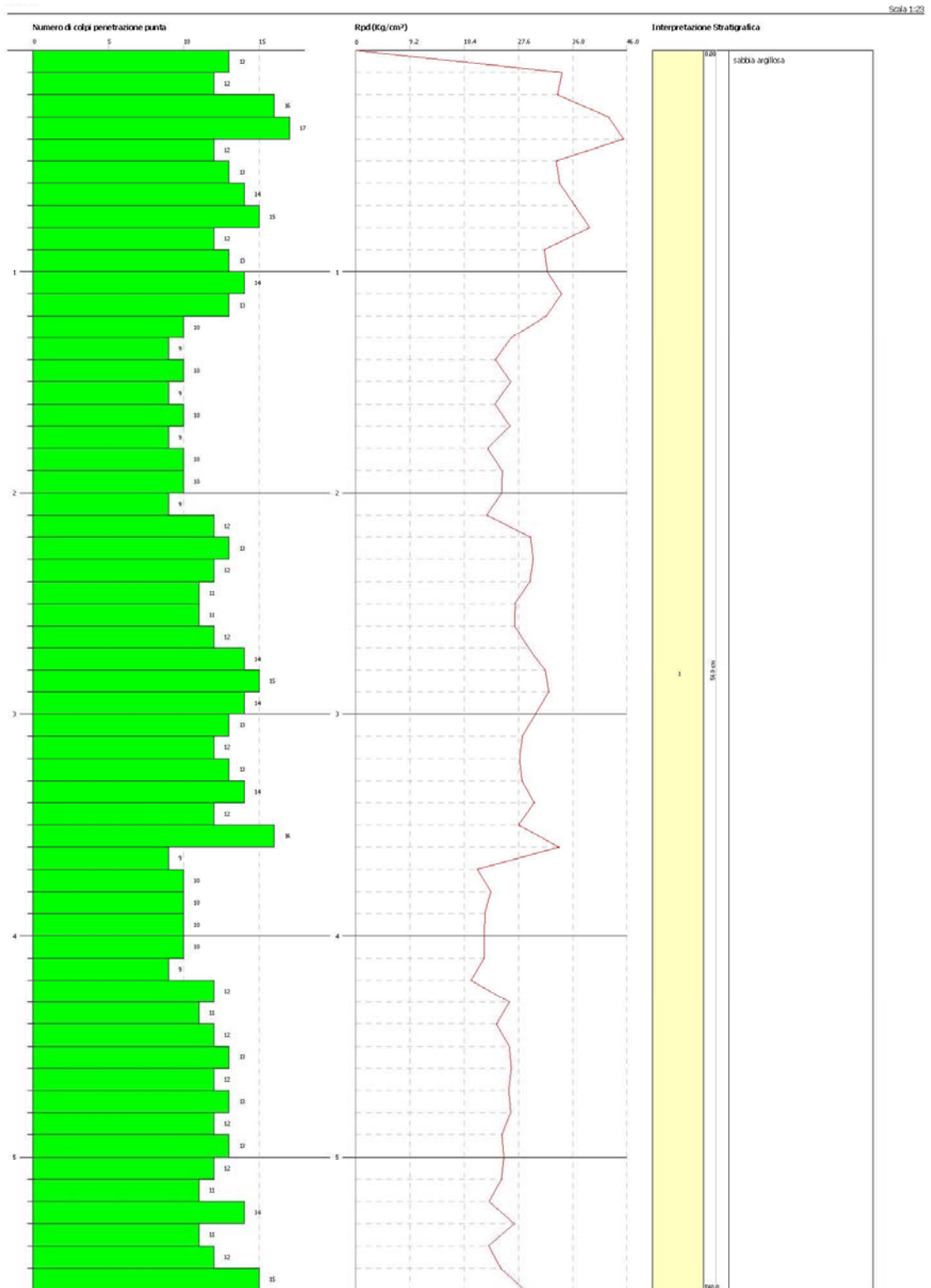
	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
--	------	------------------	--------------	--------------------------

Strato 1	9.17	5.60	Robertson (1983)	18.34
<b>Modulo Edometrico</b>				
	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	Vesic (1970)	---
<b>Modulo di Young</b>				
	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	Apollonia	91.70
<b>Classificazione AGI</b>				
	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	9.17	5.60	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
<b>Peso unità di volume</b>				
	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	Meyerhof ed altri	1.94
<b>Peso unità di volume saturo</b>				
	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---

### TERRENI INCOERENTI

<b>Densità relativa</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Gibbs & Holtz 1957	57.03
<b>Angolo di resistenza al taglio</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Sowers (1961)	30,57
<b>Modulo di Young</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Bowles (1982) Sabbia Media	---
<b>Modulo Edometrico</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	46.30
<b>Classificazione AGI</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
<b>Peso unità di volume</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Meyerhof ed altri	1.70
<b>Peso unità di volume saturo</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
<b>Modulo di Poisson</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	9.17	5.60	9.17	(A.G.I.)	0.34
<b>Modulo di deformazione a taglio</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Ohsaki (Sabbie pulite)	521.84
<b>Velocità onde</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde m/s
Strato 1	9.17	5.60	9.17		166.55
<b>Liquefazione</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Potenziale Liquefazione
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Seed (1979) (Sabbie e ghiaie)	< 0.04
<b>Modulo di reazione Ko</b>					
	Nspt	Prof. Strato	Nspt corretto per	Correlazione	Ko

		(m)	presenza falda		
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Navfac 1971-1982	1.92
<b>Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)</b>					
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.17	5.60	9.17	Robertson 1983	18.34





**PROVA ... Nr.3**

Strumento utilizzato...

DPM (DL030 10) (Medium)

Profondità prova

6.50 mt

Falda rilevata intorno ai 6,00 di profondità

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	15	0	0.807	40.40	50.09	2.02	2.50
0.20	12	0	0.855	34.25	40.07	1.71	2.00
0.30	12	0	0.853	34.17	40.07	1.71	2.00
0.40	12	0	0.851	34.09	40.07	1.70	2.00
0.50	11	0	0.849	31.18	36.73	1.56	1.84
0.60	13	0	0.797	34.60	43.41	1.73	2.17
0.70	12	0	0.845	33.87	40.07	1.69	2.00
0.80	12	0	0.843	33.80	40.07	1.69	2.00
0.90	12	0	0.842	32.00	38.03	1.60	1.90
1.00	13	0	0.790	32.54	41.20	1.63	2.06
1.10	14	0	0.788	34.96	44.37	1.75	2.22
1.20	12	0	0.836	31.80	38.03	1.59	1.90
1.30	11	0	0.835	29.09	34.86	1.45	1.74
1.40	10	0	0.833	26.39	31.69	1.32	1.58
1.50	9	0	0.831	23.71	28.52	1.19	1.43
1.60	9	0	0.830	23.66	28.52	1.18	1.43
1.70	10	0	0.828	26.24	31.69	1.31	1.58
1.80	11	0	0.826	28.81	34.86	1.44	1.74
1.90	12	0	0.825	29.84	36.18	1.49	1.81
2.00	11	0	0.823	27.30	33.17	1.37	1.66
2.10	12	0	0.822	29.73	36.18	1.49	1.81
2.20	12	0	0.820	29.67	36.18	1.48	1.81
2.30	13	0	0.769	30.13	39.20	1.51	1.96
2.40	12	0	0.817	29.57	36.18	1.48	1.81
2.50	14	0	0.766	32.32	42.21	1.62	2.11
2.60	14	0	0.764	32.26	42.21	1.61	2.11
2.70	15	0	0.763	34.50	45.23	1.72	2.26
2.80	11	0	0.811	26.91	33.17	1.35	1.66
2.90	15	0	0.760	32.78	43.13	1.64	2.16
3.00	13	0	0.759	28.36	37.38	1.42	1.87
3.10	14	0	0.757	30.49	40.26	1.52	2.01
3.20	11	0	0.806	25.49	31.63	1.27	1.58
3.30	10	0	0.805	23.14	28.75	1.16	1.44
3.40	9	0	0.803	20.79	25.88	1.04	1.29
3.50	10	0	0.802	23.06	28.75	1.15	1.44
3.60	12	0	0.801	27.63	34.50	1.38	1.73
3.70	11	0	0.800	25.29	31.63	1.26	1.58
3.80	13	0	0.748	27.98	37.38	1.40	1.87
3.90	12	0	0.797	26.29	32.98	1.31	1.65
4.00	12	0	0.796	26.25	32.98	1.31	1.65
4.10	12	0	0.795	26.21	32.98	1.31	1.65
4.20	11	0	0.794	23.99	30.23	1.20	1.51
4.30	10	0	0.793	21.78	27.48	1.09	1.37
4.40	13	0	0.741	26.49	35.73	1.32	1.79
4.50	12	0	0.790	26.06	32.98	1.30	1.65
4.60	12	0	0.789	26.03	32.98	1.30	1.65
4.70	11	0	0.788	23.83	30.23	1.19	1.51
4.80	16	0	0.737	32.41	43.97	1.62	2.20
4.90	12	0	0.786	24.82	31.58	1.24	1.58
5.00	13	0	0.735	25.15	34.21	1.26	1.71
5.10	14	0	0.734	27.04	36.84	1.35	1.84
5.20	13	0	0.733	25.08	34.21	1.25	1.71
5.30	14	0	0.732	26.97	36.84	1.35	1.84
5.40	14	0	0.731	26.93	36.84	1.35	1.84
5.50	11	0	0.780	22.58	28.95	1.13	1.45
5.60	9	0	0.779	18.45	23.68	0.92	1.18
5.70	10	0	0.778	20.48	26.32	1.02	1.32
5.80	10	0	0.777	20.45	26.32	1.02	1.32
5.90	11	0	0.776	21.56	27.77	1.08	1.39
6.00	12	0	0.775	23.49	30.29	1.17	1.51
6.10	14	0	0.725	25.61	35.34	1.28	1.77
6.20	13	0	0.724	23.75	32.82	1.19	1.64
6.30	14	0	0.723	25.55	35.34	1.28	1.77
6.40	15	0	0.722	27.34	37.87	1.37	1.89
6.50	15	0	0.721	27.31	37.87	1.37	1.89

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3 - TERRENI COESIVI

### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	Terzaghi-Peck	0.62

### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	Robertson (1983)	18.40

### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	Vesic (1970)	---

### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	Apollonia	92.00

### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	9.2	6.50	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	Meyerhof ed altri	1.94

### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---

### TERRENI INCOERENTI Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Gibbs & Holtz 1957	55.22

### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Sowers (1961)	30,58

### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Bowles (1982) Sabbia Media	---

### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	46.36

### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Meyerhof ed altri	1.70

### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91

### Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	9.2	6.50	9.2	(A.G.I.)	0.34

### Modulo di deformazione a taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Ohsaki (Sabbie pulite)	523.45

### Velocità onde

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde m/s
Strato 1	9.2	6.50	9.2		166.82

### Liquefazione

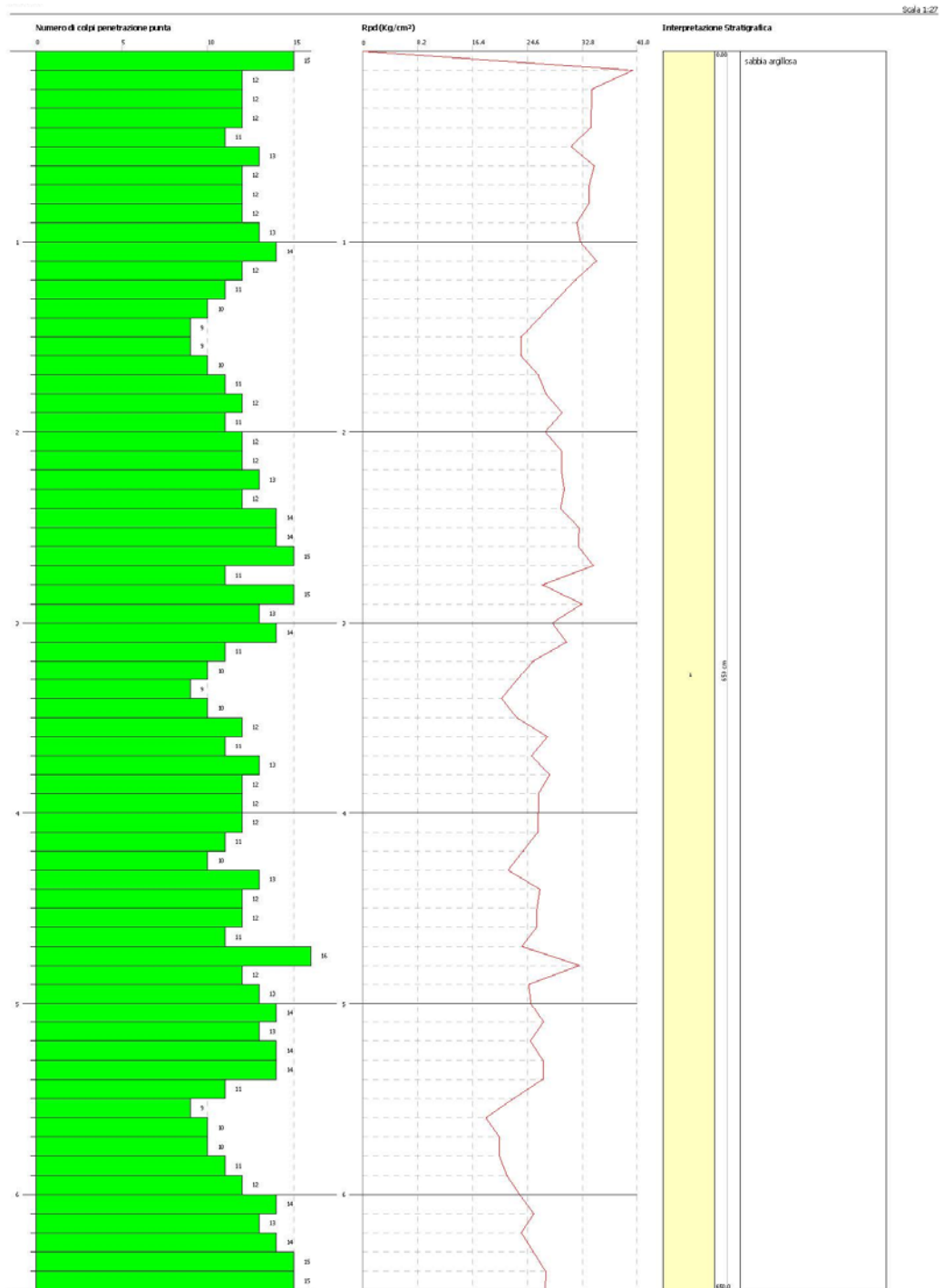
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Potenziale Liquefazione
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Seed (1979) (Sabbie e ghiaie)	< 0.04

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Navfac 1971-1982	1.93

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9.2	6.50	9.2	Robertson 1983	18.40



## 7 Considerazioni sulla Sismicità dell'area

La normativa regionale indicata nella L. R. n. 9 del 07/06/2011, dispone che l'abitato di Bernalda (MT) sia classificato Zona Sismica "3a" con un PGA (Peak Ground Acceleration) pari a **0.150** e una magnitudo attesa a distanza di **80 km** pari a **6.7**.

Il suolo di fondazione essere associato, in base ai dati delle indagini sismiche eseguite nella campagna geognostica, alla categoria di suolo "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".*

Per i terreni del Sito in esame avente latitudine: 40,44406 - longitudine:16,659406 - Classe:2

Vita nominale: 50 e ricadente tra i Siti di riferimento

Sito 1ID: 34791 Lat: 40,4408 Lon: 16,6430 Distanza: 1437,933

Sito 2ID: 34792 Lat: 40,4389 Lon: 16,7086 Distanza: 4199,674

Sito 3ID: 34570 Lat: 40,4889 Lon: 16,7111 Distanza: 6628,686

Sito 4ID: 34569 Lat: 40,4908 Lon: 16,6454 Distanza: 5325,362

sono:

Categoria sottosuolo: C

Periodo di riferimento: 50 anni

Categoria topografica: T1

Coefficiente cu: 1

### **Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento: 81 %

Tr:30 [anni]

ag: 0,037 g

Fo: 2,431

Tc\*: 0,284 [s]

### **Danno (SLD):**

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,0474 g

Fo: 2,445

Tc\*: 0,317[s]

### **Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,117 g

Fo: 2,517

Tc\*: 0,386 [s]

### **Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

g: 0,147 g

Fo: 2,592

Tc\*: 0,393 [s]

### **COEFFICIENTI SISMICI**

SLO:

Ss: 1,500

Cc: 1.590

St: 1,000

Kh: 0,011

Kv: 0,006

Amax: 0.540

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,530

St: 1,000

Kh: 0,014

Kv: 0,007

Amax: 0.693

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500

Cc: 1,440

St: 1,000

Kh: 0,042

Kv: 0,021

Amax: 1.726

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,470

Cc: 1,430

St: 1,000

Kh: 0,052

Kv: 0,0260

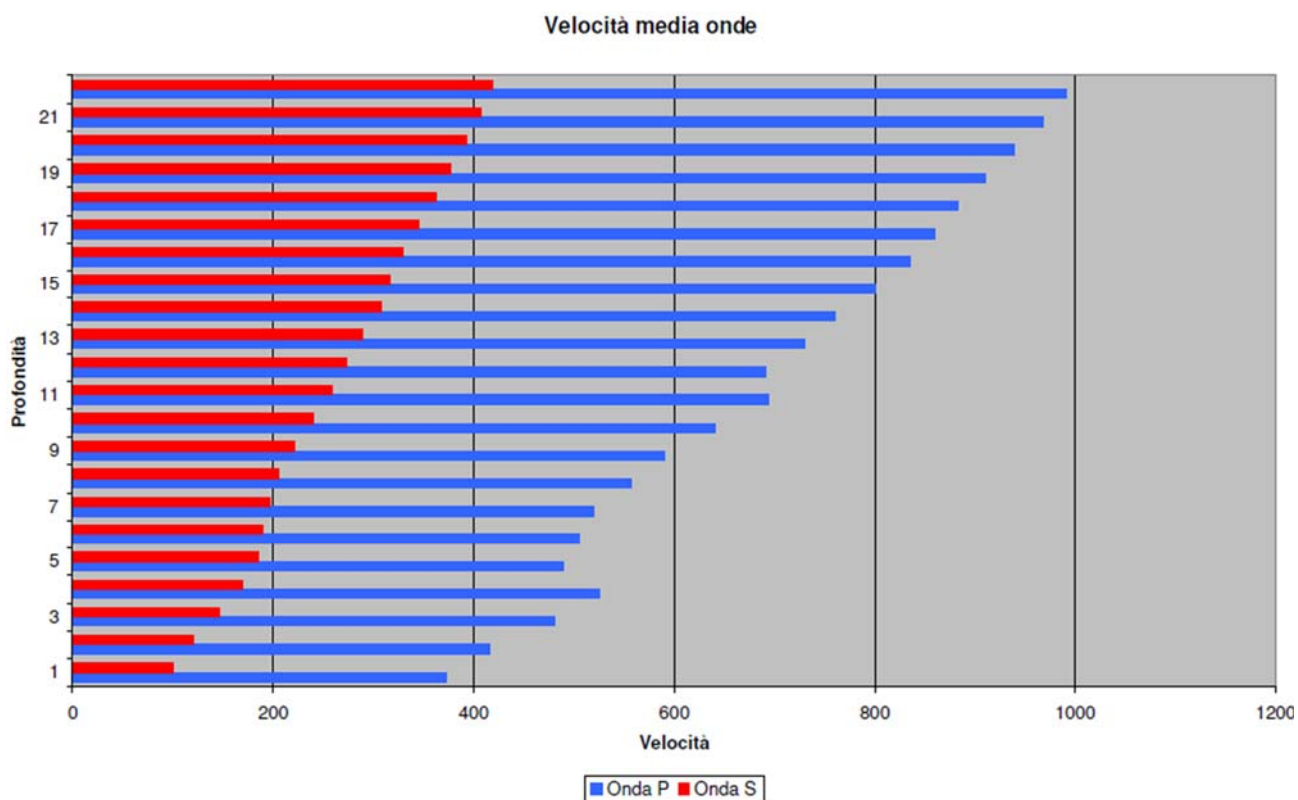
Amax: 2.114

Beta: 0,240

## 7.1 RISPOSTA SISMICA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

Per la stima del  $V_s$  in profondità, non avendo intercettato il bedrock sismico nei primi 30 mt. dal p.c., si utilizza i dati ottenuti dalla prova sismica Down-Hole eseguita nelle vicinanze dell'area oggetto di studio dal Dott. Geol. L. Di Summo sui terreni di IV Ordine dei DMT in Località Scorzone, di cui di seguito si riporta il grafico dell'andamento delle onde sismiche con la profondità, il quale viene confrontato con il profilo delle onde di taglio ottenuto con la sismica a rifrazione eseguita e riportata nel paragrafo precedente.

Avendo verificato, da molti lavori di bibliografia, che la stratificazione di DMT e delle sottostanti sabbie limose è sub-orizzontali o leggermente inclinati verso l'attuale linea di costa, e mantenendo il gradiente dell'ultimo tratto delle curva sperimentale allegata in precedenza (gradiente lineare) fino al



raggiungimento di una velocità delle onde di taglio  $V_s$  pari a 800 m/s, si stima il bedrock sismico ad una profondità di circa **40.0** mt di profondità.

Avendo stimato la profondità del bedrock sismico, considerando la costanza stratigrafica del sito che vede la presenza dei DMT in superficie sovrapposti alla Sabbie di Monte Marano per circa 80 mt di profondità, si procede alla stima dei fattori di amplificazione sismica  $F_A$  e  $F_V$  con approfondimento di II Livello, il quale fornisce quantificazioni numeriche dei fattori di amplificazione con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche) sia della modificazione locale del moto sismico sia dei fenomeni di deformazione permanente.

Assumendo alla profondità di 40.0 m la presenza del bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s), e considerando l'assenza di inversioni sismiche nello strato effettivamente indagato, possiamo utilizzare, per il calcolo dei fattori di amplificazione  $F_A$  e  $F_V$ , gli abachi di riferimento messi a disposizione dalla Protezione Civile negli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica.

Per l'ingresso nell'abaco di riferimento occorrono, oltre alla profondità del badrock sismico, altre indicazioni che comprendono i seguenti parametri:

1. Macrozona di pericolosità sismica (PGA);
2. Litologia prevalente dei terreni di copertura;
3. Velocità media delle Onde S nei terreni di copertura  $V_{HS}$ ,
4. Profilo di velocità Onde S.

- 1) La macrozona di pericolosità sismica, in cui ricade la zona di stretto interesse, ha un **PGA pari a 0.150 g** con una magnitudo attesa a distanza di 80 km pari 6.7.
- 2) La litologia prevalente nei terreni di copertura è **sabbiosa**, la quale risulta continua in profondità.
- 3) Il " $V_{SH}$ " rappresenta la velocità media delle onde di taglio dal substrato rigido ( $V_s=800$  m/s) posto a profondità " $H$ " alla superficie. Visto che con l'indagine sismica Masw non è stato raggiunto il substrato rigido, il profilo di  $V_s$  con la profondità è stato estrapolato mantenendo il gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale fino al raggiungimento di  $V_s = 800$  m/s (metodo consigliato nell'Atto d'indirizzo 112/2007 per le analisi di III livello dalla Regione Emilia Romagna).

Nota " $H$ " (40 m) e noto il  $V_{S30}$  (323 m/s) dalla tabella che segue – "Tabella 3.2-2" – Valori di  $V_{S30}$  (velocità equivalente nei primi 30 m) alle diverse profondità ( $H$ ) corrispondenti alle diverse  $V_{SH}$  (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito) per il profilo con pendenza intermedia (ICMS)

**Tabella 3.2.2 - Valori di  $V_{30}$  (velocità equivalente nei primi 30 m) alle diverse profondità ( $H$ ) corrispondenti alle diverse  $V_{SH}$  (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito) per il profilo con pendenza intermedia.**

	$V_{SH}$ [m/s]										
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
35	143.8	191.0	238.0	285.9	335.2	385.1	435.6	486.3	589.3	693.9	
40	139.2	184.1	228.8	275.3	324.1	374.0	424.8	476.1	581.4	689.4	
50	131.6	172.7	213.7	257.9	304.0	355.7	407.1	459.5	568.5	682.1	
60	126.7	165.4	204.0	246.7	294.3	344.1	395.7	448.9	560.3	677.5	
70	122.7	159.4	196.0	237.5	284.8	334.6	386.5	440.3	553.8	673.8	
80	120.6	156.4	191.9	232.8	280.0	329.7	381.8	436.0	550.5	671.9	
90	118.6	153.3	187.9	228.1	275.1	324.9	377.2	431.6	547.1	670.1	
100	116.5	150.2	183.7	223.4	270.2	320.0	372.5	427.3	543.8	668.3	
110	115.5	148.7	181.6	220.9	267.7	317.5	370.2	425.0	542.1	667.3	
120	114.4	147.1	179.5	218.5	265.2	315.0	367.8	422.8	540.5	666.4	
130	113.4	145.5	177.3	216.1	262.6	312.6	365.4	420.6	538.8	665.4	
140	112.3	143.9	175.2	213.6	260.1	310.1	363.0	418.4	537.1	664.5	
150	111.2	142.3	173.1	211.2	257.5	307.5	360.6	416.2	535.4	663.6	



si determina il  $V_{SH}$  alla profondità di 40 m che risulta essere pari a 324.7 m/s corrispondente a  $V_{S30}$  uguale a 324 m/s.

Fattore di amplificazione <i>F<sub>A</sub></i>	Tipo di terreno Sabbia	$a_g$ (g) 0.18g	Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia									
			$V_{SH}$ (m/s)									
			150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
<b>H</b>	5	-	1.97	1.67	1.53	1.32	1.18	1.10	1.06	1.02	1.01	
	10	-	2.24	2.13	1.85	1.59	1.40	1.28	1.19	1.08	1.03	
	15	-	1.93	2.09	1.97	1.78	1.61	1.45	1.32	1.16	1.06	
	20	-	1.64	1.88	1.92	1.80	1.65	1.52	1.40	1.21	1.08	
	25	-	1.42	1.69	1.75	1.73	1.63	1.52	1.41	1.24	1.11	
	30	-	-	1.48	1.64	1.60	1.57	1.49	1.40	1.24	1.11	
	35	-	-	1.43	1.46	1.51	1.47	1.45	1.36	1.23	1.10	
	40	-	-	1.37	1.41	1.38	1.38	1.35	1.32	1.20	1.09	
	50	-	-	1.23	1.34	1.33	1.29	1.25	1.20	1.14	1.06	
	60	-	-	1.10	1.23	1.27	1.25	1.20	1.16	1.09	1.02	
	70	-	-	0.97	1.13	1.18	1.20	1.17	1.13	1.05	0.98	
	80	-	-	0.89	1.04	1.11	1.14	1.14	1.11	1.03	0.97	
	90	-	-	0.82	0.95	1.04	1.08	1.10	1.08	1.02	0.95	
	100	-	-	0.76	0.91	0.98	1.02	1.04	1.06	1.00	0.94	
	110	-	-	0.71	0.84	0.91	0.97	1.00	1.01	0.98	0.92	
120	-	-	0.67	0.80	0.89	0.92	0.96	0.98	0.96	0.91		
130	-	-	0.62	0.76	0.85	0.90	0.92	0.95	0.94	0.90		
140	-	-	0.58	0.72	0.81	0.87	0.90	0.91	0.91	0.88		
150	-	-	0.54	0.69	0.76	0.84	0.87	0.89	0.89	0.86		

Fattore di amplificazione <i>F<sub>V</sub></i>	Tipo di terreno Sabbia	$a_g$ (g) 0.18g	Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia									
			$V_{SH}$ (m/s)									
			150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
<b>H</b>	5	-	1.11	1.06	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	
	10	-	1.80	1.31	1.14	1.09	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00	
	15	-	2.34	1.83	1.45	1.22	1.14	1.09	1.06	1.03	1.01	
	20	-	2.55	2.18	1.76	1.46	1.27	1.17	1.12	1.05	1.02	
	25	-	2.46	2.37	2.00	1.68	1.44	1.28	1.18	1.08	1.03	
	30	-	-	2.39	2.11	1.79	1.57	1.39	1.26	1.11	1.05	
	35	-	-	2.32	2.20	1.91	1.64	1.47	1.33	1.15	1.06	
	40	-	-	2.29	2.17	1.97	1.74	1.53	1.37	1.18	1.08	
	50	-	-	2.10	2.10	1.95	1.78	1.63	1.48	1.23	1.10	
	60	-	-	2.05	1.99	1.89	1.77	1.62	1.49	1.27	1.11	
	70	-	-	1.89	1.90	1.81	1.71	1.61	1.49	1.28	1.13	
	80	-	-	1.75	1.82	1.73	1.63	1.55	1.47	1.28	1.13	
	90	-	-	1.71	1.74	1.69	1.58	1.50	1.43	1.27	1.13	
	100	-	-	1.69	1.62	1.64	1.55	1.46	1.39	1.25	1.12	
	110	-	-	1.67	1.59	1.58	1.52	1.43	1.35	1.22	1.11	
120	-	-	1.63	1.58	1.49	1.48	1.41	1.32	1.20	1.07		
130	-	-	1.60	1.57	1.46	1.42	1.38	1.31	1.17	1.06		
140	-	-	1.55	1.53	1.44	1.37	1.35	1.28	1.15	1.05		
150	-	-	1.45	1.50	1.45	1.35	1.31	1.26	1.13	1.04		

L'ingresso in abaco mostra valori di  $F_A$  e  $F_V$  indicati di seguito:  $F_A=1.38$  e  $F_V=1.97$



## 7.2 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFZIONE DEI TERRENI DI SEDIME

---

Per la classificazione sismica dei terreni di sedime come terreni stabili soggetti ad amplificazione locale e non in zone suscettibili di instabilità, è stata presa in considerazione anche la potenziale suscettibilità alla liquefazione dei terreni.

Nelle NTC del 17-01-2018 vengono elencati tutti i casi di esclusione dalla verifica a Liquefazione dei terreni.

Dalla verifica eseguita emerge che i terreni di sedime del parco in progetto presentano una variabilità granulometrica, la quale in nessun caso può essere classificata sabbia sciolta o terreno prettamente sabbioso.

Infatti, dalla abbondante bibliografia esistente risulta che i Depositi Marini Terrazzati sono composti da sabbie grossolane con livelli cementati, calcareniti a molluschi di facies litorale, ghiaie e conglomerati con elementi di varia natura; inoltre, dalla verifica diretta di campagna è emerso che la falda freatica presente contenuta alla base dalla Argille grigio azzurre e accumulatasi nei terreni sabbioso limosi delle Sabbie di Monte Marano e Depositi Marini Terrazzati, nella zona di stretto interesse è stabilmente presente ad una profondità superiore ai 15.0 mt.

Di seguito si riporta le motivazione di esclusione alla verifica a liquefazione indicata nella NTC 2018

### 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

### **7.3 MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO**

---

Nella progettazione di nuove opere o di interventi su opere esistenti, gli studi di Microzonazione Sismica evidenziano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento sismico legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e di fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma.

Gli studi di Microzonazione Sismica, quindi, possono offrire elementi conoscitivi utili per la progettazione di opere, con differente incisività in funzione del livello di approfondimento e delle caratteristiche delle opere stesse, indirizzando alla scelta delle indagini di dettaglio.

Come riportato nell'allegato T07 "Carta della Microzonazione Sismica" l'area di sedime del parco in progetto e gran parte del percorso del cavidotto è stata classificata **Zona Stabile (b) suscettibile di amplificazione locale** dovuta alla presenza di terreni granulari composti da depositi sabbiosi grossolani, ghiaie e conglomerati disposti in spianate per regressione marina che ha portato alla sedimentazione dei Depositi Marini Terrazzati.

Lungo il tracciato il cavidotto attraversa la valle del Torrente Avinella e quella di un suo affluente principale, in tali aree come lungo il versante che dalla spianata del II e IV Ordine di Terrazzo Marino scende fino alla valle del Fiume Basento affiorano sempre i terreni appartenenti ai Depositi Marini Terrazzati e sono state classificate **Zona Stabile (b) suscettibile di amplificazione locale** dovuta alla presenza di terreni granulari composti da depositi sabbiosi grossolani, ghiaie e conglomerati disposti in versanti mediamente inclinati.

Lungo tali versanti sono stati perimetrati anche piccole aree classificate **Zona suscettibili di instabilità (a) in cui gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del terreno** come l'instabilità di versante.

L'intero parco fotovoltaico in progetto ricade completamente sui terreni alluvionali recenti della valle del Fiume Basento. Tali terreni sono stati classificati in Zona Stabile suscettibile di amplificazione locale (Mz-b-1) poiché il pacchetto di sedimenti molto spesso, con un badrock sismico non presente nei primi 30 mt di profondità, potrebbe amplificare la risposta sismica locale dei terreni anche se perfettamente pianeggianti e privi di caratteri amplificativi vari come instabilità superficiali e profonde, cedimenti differenziali, liquefazioni o presenze di faghi attive e capaci.

## 8 Considerazioni sui terreni di fondazione del Parco FV in progetto

---

Il parco fotovoltaico in progetto composto da un'area disposta completamente sui terreni sabbiosi ghiaiosi e conglomeratici dei Depositi Marini Terrazzati di III e IV Ordine del litorale ionico.

Esso è ubicato in area pianeggiante che varia dai 190 m ai 200 m sul livello medio marino senza soluzione di continuità disposta nei pressi del versante di sinistra idrografica del Fiume Basento.

I terreni presenti in questa piana sono terreni con discrete caratteristiche geotecniche, privi di instabilità sia profonda che superficiale o areale.

In generale sono terreni sabbiosi, ghiaiosi e conglomeratici, in cui grazie alla permeabilità primaria per porosità vi è circolazione di acqua in profondità e si riscontra la presenza di acqua di falda a circa 20,0 di profondità, la quale varia in relazione alla stagionalità della zona che può arrivare a circa 16 mt nella stagione piovosa.

Di seguito si riporta uno schema e geotecnico di riferimento dei terreni di fondazione in cui sono indicati i parametri geotecnici.

### 8.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

---

#### - Valori medi ( $V_m$ ) dli terreno vegetale areato

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Peso di volume naturale   | $P_v = 1,80 \text{ gr/cm}^3$ |
| <input type="checkbox"/> Coesione                  | $c' = 0.00 \text{ kg/cm}^2$  |
| <input type="checkbox"/> Angolo di attrito interno | $\phi = 17.0^\circ$          |

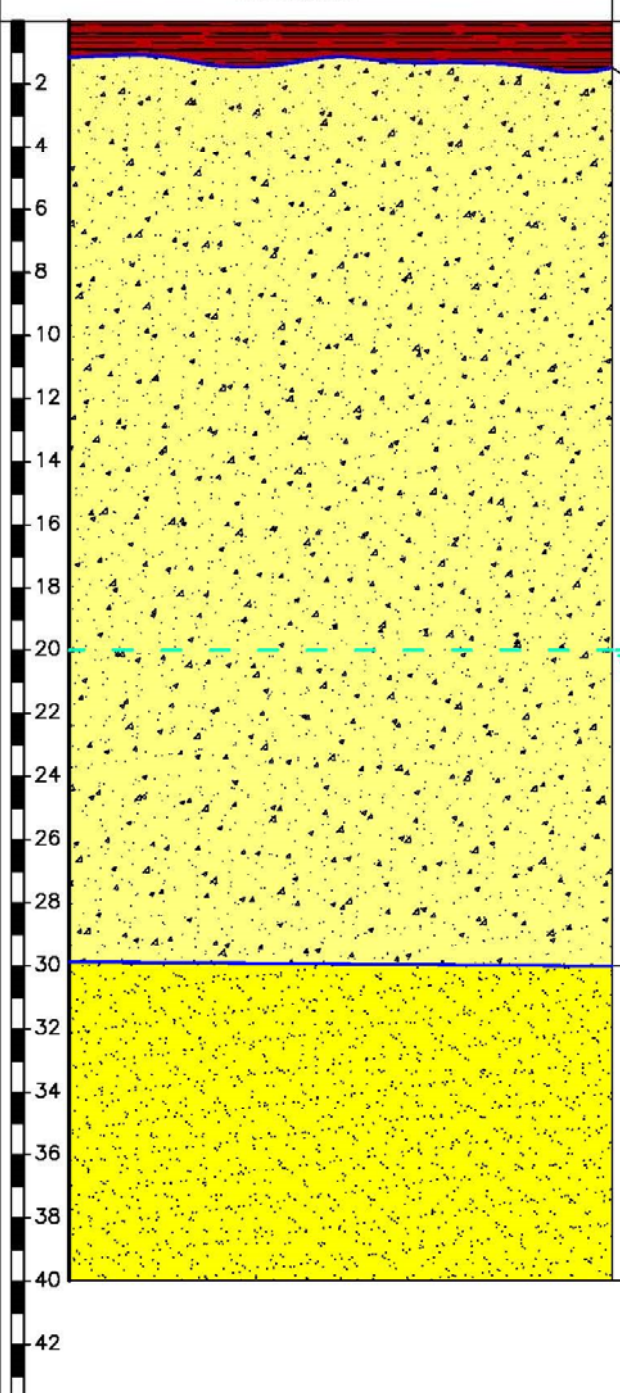
#### - Valori medi ( $V_m$ ) dei Depositi Marini Terrazzati composti da sabbie grossolane, ghiaie e conglomerati

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Peso di volume naturale   | $P_v = 1.95 \text{ gr/cm}^3$ |
| <input type="checkbox"/> Coesione                  | $c' = 0.00 \text{ kg/cm}^2$  |
| <input type="checkbox"/> Angolo di attrito interno | $\phi = 31.0^\circ$          |

#### - Valori medi ( $V_m$ ) dei terreni Sabbioso limosi appartenenti alla Sabbie di monte Marano

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Peso di volume naturale   | $P_v = 1.99 \text{ gr/cm}^3$ |
| <input type="checkbox"/> Coesione                  | $c' = 0.10 \text{ kg/cm}^2$  |
| <input type="checkbox"/> Angolo di attrito interno | $\phi = 27.5^\circ$          |

# MODELLO GEOLOGICO TECNICO DI RIFERIMENTO DEI TERRENI DI SEDIME Scala 1:200

Stratigrafia	Spessore (m)	Descrizione litologica e Parametri Geotecnici
	1.20	<b>TERRENO AERATO VEGETALE DI NATURA SABBIOSO GHIAIOSA E COLORE MARRONE.</b>  <b>PARAMETRI GEOTECNICI</b> $P_v = 1.80 \text{ gr/cm}^3$ $\phi = 17.0^\circ$ $c' = 0.00 \text{ kg/m}^2$
		<b>SABBIA GROSSOLANA GHIAIOSA CONGLOMERATICA CON CIOTTOLI DI PICCOLE DIMENSIONI DI VARIA NATURA.</b>  <b>PARAMETRI GEOTECNICI</b> $P_v = 1.95 \text{ gr/m}^3$ $\phi = 31.0^\circ$ $c' = 0.00 \text{ kg/m}^2$
	28.00/30.00	<b>CATEGORIA DI SUOLO "C" - BEDROCK SISMICO 45 m di profondità - FA = 1.25 PV= 1.63</b>
		<b>SABBIE CALCAREE QUARZOSE MEDIO-FINI DI COLORE GIALLO OCRE CON LIVELLI ARENACEI CEMENTATI E LENTI CONGLOMERATICHE.</b>  <b>PARAMETRI GEOTECNICI</b> $P_v = 1.99 \text{ gr/m}^3$ $\phi = 27.5^\circ$ $c' = 0.10 \text{ kg/m}^2$

## **9 Analisi di stabilità di versante**

---

L'intero parco fotovoltaico è ubicato in zona pianeggiante lontana da versanti la cui pendenza necessita di essere investigata tramite l'esecuzione di verifiche di stabilità di versante.

Pertanto, per le caratteristiche morfologiche delle aree interessate dell'ubicazione degli inseguitori solari e delle strade e delle opere di progetto non è necessario eseguire delle verifiche specifiche.



## 10 Considerazioni sul percorso del cavidotto

Il cavidotto in progetto presenta interferenze con il reticolo idrografico. Per la risoluzione dell'interferenza nella relazione idrologica ed idraulica, è stata predisposta un'analisi idraulica "semplificata", preceduta da una idraulica in moto permanente, mediante l'utilizzo del modello monodimensionale HEC-RAS dello US Army Corps of Engineers, con lo scopo di determinare le caratteristiche idrodinamiche necessarie per la valutazione della massima profondità di erosione.

L'analisi idraulica semplificata è rivolta infatti principalmente ai punti di intersezione degli impluvi esistenti con i cavidotti in caso di assenza di un attraversamento esistente o di un attraversamento non asfaltato ed è caratterizzata dalle seguenti fasi:

AS1) analisi idrologica in base al metodo VAPI Basilicata;

AS2) verifica di erosione dell'intersezione a guado finalizzata alla determinazione della profondità di posa in opera del cavidotto in progetto.

Il cavidotto in progetto verrà quindi posizionato ad una profondità pari a quella massima di escavazione più un franco di sicurezza di 1.00 m.

Si riporta di seguito una mappa con le interferenze individuate.

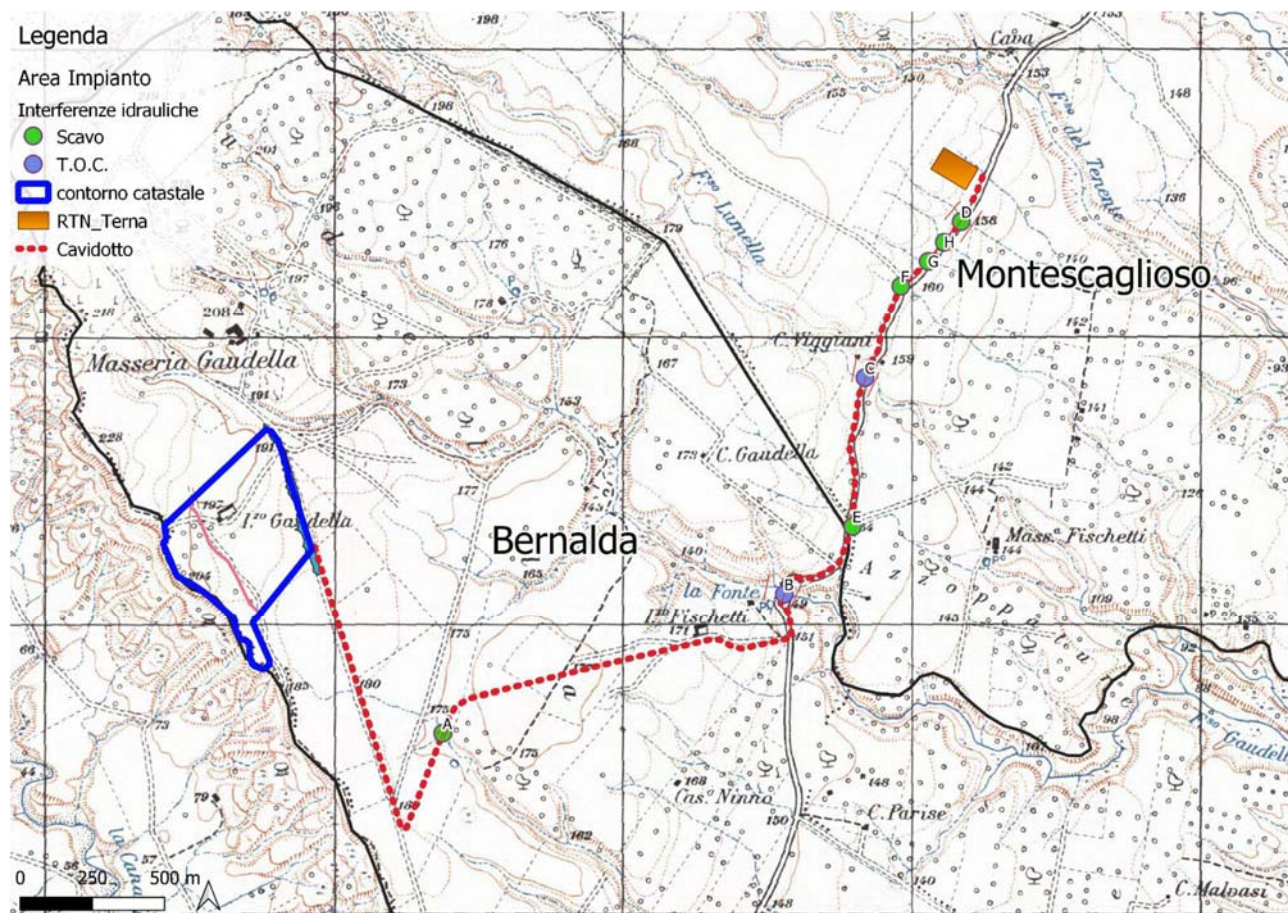


Figura 6: Individuazione delle interferenze idrauliche

Dalle risultanze ottenute da tale studio a cui si rimanda, al fine di tenere conto del franco minimo di sicurezza pari a 1.00 m, previsto dalle norme dell'Autorità di Bacino della Basilicata, si prevede di porre in opera il cavidotto in progetto ad almeno 1.10 m dal fondo alveo, parametri comunque già rispettati perché il cavidotto verrà posato a 1.30 m dal piano campagna.

Ad ogni modo, si può concludere che per il punto B e il punto C è necessario procedere con una tecnica di posa del tipo T.O.C. in quanto si attraversano due corsi d'acqua di entità maggiore rispetto agli altri, per i quali è necessaria una semplice attività di scavo.



## **11 Considerazioni conclusive**

---

I lavori in progetto prevedono la costruzione di un parco fotovoltaico disposto sulla piana di sedimentazione per regressione Marian appartenente al III e IV Ordine dei Depositi Marini Terrazzati del litorale ionico, in cui affiorano terreni composti da sabbie grossolane ghiaiose e conglomeratiche sovrapposti ai terreno sabbioso linosi della Sabbie di monte Marano.

La verifica delle fondazione deve necessariamente tenere conto dei fattori inerenti la stabilità dell'opera; composizione geotecnica dell'area di sedime; portanza del terreno; geologia della zona direttamente interessata e quella delle zone circostanti; stato di addensamento; compressibilità del terreno; permeabilità; falda acquifera; distribuzione nel terreno delle tensioni indotte; zonazione sismica; consolidazione; condizioni orografiche e geomorfologiche; stabilità del versante ecc. del terreno di sedime.

L'ubicazione del parco fotovoltaico in progetto, evidenzia l'ottima disposizione dello stesso in relazione alla litologia dei terreni affioranti e alla geomorfologia delle zone interessate, infatti, esse ricadono tutte su terreni con discrete caratteristiche geotecniche e poste ad una distanza di sicurezza dal versante del Fiume Basento.

Dal punto di vista sismico, i terreni del sito indagato appartengono alla categoria "C" e dalle verifiche effettuate non vi è la presenza del bedrock sismico nei primi 30.0 mt di profondità.

Tutte le caratteristiche geologiche individuate nel presente lavoro hanno evidenziato che, come indicato nell'elaborato F0538BT17\_A.12.a17 "Carta di Sintesi Finale della Criticità e Pericolosità Geologica e Geomorfologica" l'area di sedime del parco fotovoltaico in progetto compreso la pista perimetrale esterna ricade in una zona non critico sia puntualmente che diffusamente "Ia", cioè in un'area pianeggiante non esondabile.

Il cavidotto invece, per raggiungere la cabina primaria deve attraversare l'alveo del Torrente Avinella e di un Suo Affluente dove per le caratteristiche geomorfologiche e stabilità dei versanti le aree sono state classificate attualmente non utilizzabili. Pertanto, visto che il percorso interessa la sede stradale della Strada Provinciale, l'attraversamento di tali aree deve essere ancorato ad opere già esistenti (Ponti e Viadotti) o a linee aeree di nuova progettazione o attraversamenti tipo T.O.C.

In conclusione, dalle risultanze ottenute riportate nella presente relazione, sulla base degli elementi a disposizione derivanti dai dati fisici e meccanici ottenuti nella campagna di indagine eseguita, dai rilievi geologici e geomorfologici di superficie, considerando altresì le discrete qualità portanti del terreno, si evince che l'area in esame, da un punto di vista geologico-tecnico è idonea come terreno di fondazione per gli interventi previsti in progetto.

Matera, li 18 marzo 2023

Il Geologo  
Dott. Maurizio Giacomino