

# REGIONE BASILICATA

Comune di Craco (MT)



## IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA 20 MW

Per la Coltivazione di Erbe Officinali e Simili

**Craco - Canzonieri**

**- RELAZIONE GEOLOGICA -**

Tavola: <b>R.02</b>	Nome File:	Data: <b>Giugno 2022</b>	Scala:
------------------------	------------	-----------------------------	--------

 <b>Achitettonico</b>	<b>Strutture</b>	<b>Impianti</b>	<b>Antincendio</b>
--	------------------	-----------------	--------------------

Committente:  <b>Beta Gemini S.r.l.</b>  Via Mercato, 3 - 20121 Milano - C.F./P.IVA 12299770961	Geologo:  <b>Dott. Antonio DIBIASE</b> Piazza P.P. Gallipoli n°9 75024 Montescaglioso Tel/fax 0835404961 email: antodibi71@gmail.com
---	--



Committente  
Beta Gemini S.r.l  
Via Mercato, 3  
20121 Milano  
C.F. P.Iva 12299770961

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA  
Geol. Antonio DIBIASE  
P.zza Padre Prosperino Gallipoli, 9  
75024 Montescaglioso (MT)  
[antodibi71@gmail.com](mailto:antodibi71@gmail.com)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI  
POTENZA NOMINALE PARI A 20 MW  
- UBICATO NEL COMUNE DI CRACO (MT) –  
REGIONE BASILICATA

# RELAZIONE GEOLOGICA

## Il Committente

BETA GEMINI S.r.l.

## Il Progettista Geologo

Dott. Antonio Dibiase



## 1. PREMESSA

Eseguita su incarico di BETA GEMINI s.r.l., questa relazione riferisce i risultati di un'indagine geologica, geomorfologica ed idrogeologica, condotta in agro di Craco (Matera).

L'indagine mira alla caratterizzazione delle successioni litologiche ivi affioranti in quanto la committenza intende realizzare un parco fotovoltaico.

Lo studio è quindi finalizzato alla definizione delle implicazioni che le lavorazioni che si intendono realizzare avranno rispetto all'equilibrio generale dell'area su cui si esse si svilupperanno.

A tale scopo si è proceduto al rilievo geologico di dettaglio della zona interessata dagli interventi, allargando opportunamente il raggio dell'indagine al fine di ricostruire l'assetto idrogeologico delle successioni che affiorano in loco.

Per la definizione degli assetti stratigrafici e i rapporti tra le litologie costituenti il substrato si è provveduto a recuperare i dati geognostici presenti in bibliografia ed è stata eseguita una indagine geognostica indiretta consistente in:

- N° 1 indagine penetrometrica continua DPSH
- N° 1 profilo sismico con metodologia MASW

L'esame delle caratteristiche sopra descritte consente di esprimere una serie di considerazioni sui terreni di sedime interessati dalle opere in progetto, in modo da valutare il loro comportamento in relazione con le lavorazioni che il committente intende realizzare.

L'acquisizione dei dati tiene conto della vigente normativa tecnica D.M. 11.03.1988, della L.R. n.38 del 06/08/1997, dell'Ordinanza del P.C.M n. 3274/2003 modificata dall'Ordinanza del P.C.M n. 3431 del 03/05/05 ed in ottemperanza alle norme dell'Autorità di Bacino Regionale Campania sud ed interregionale per il bacino idrografico del fiume Sele riguardanti le Aree a Rischio Idrogeologico, nonché il succitato R.D.L. 2367/23 e la Legge regionale 10 novembre 1998 n. 42 "Norme in materia forestale, art. 16 comma 2.

Lo studio inoltre esamina i problemi geologico tecnici connessi con la fattibilità dell'intervento di progetto, con particolare riferimento a:

- *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii notevoli e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle terre e delle opere di fondazione (D.M. 11.03.1988)*
- *Norme tecniche per la costruzione in zona sismica, disposizioni concernenti l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica (D.M. 24.01.1986);*
- *Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008)*
- *(NTC 2018) di cui al DECRETO 17 gennaio 2018 "Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni" (GU n. 42 del 20-03-2018- Suppl. Ordinario)*

Le risultanze delle indagini condotte, di seguito esposte, sono sintetizzate e visualizzate negli allegati grafici prodotti:

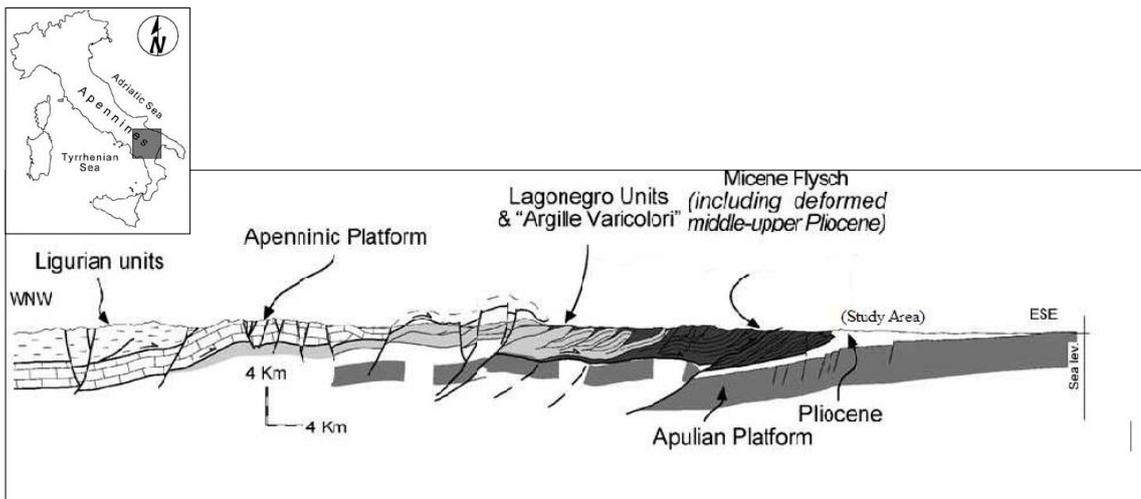
- ❖ A.2\_RELAZIONE\_GEOLOGICA
- ❖ A.3\_RELAZIONE\_IDROLOGICA ED IDRAULICA
- ❖ TAV\_A.12.A.8\_CARTA GEOLOGICA GENERALE – scala 1:5000 –
- ❖ TAV\_A.12.A.8.1\_CARTA GEOLOGICA DI DETTAGLIO – scala 1:2000 –
- ❖ TAV\_A.12.A.8.2\_CARTA UBICAZIONE INDAGINI – scala 1:2000 –
- ❖ TAV\_A.12.A.9\_CARTA GEOMORFOLOGICA - scala 1:2000 –
- ❖ TAV\_A.12.A.10\_CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - scala 1:2000 –
- ❖ TAV\_A.12.A.12\_CARTA\_IDROGEOLOGICA - scala 1:2000 –
- ❖ TAV\_A.12.A.12\_PROFILI\_GEOLOGICI - scala 1:2000 –
- ❖ TAV\_A.12.A.13\_COROGRAFIA\_DEI\_BACINI - scala 1:5000 –

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Al fine di avere un chiaro quadro circa gli assetti stratigrafici caratterizzante il sito esaminato, risulta utile accennare al contesto geo strutturale in cui la zona in cui sorge l'area di sedime si colloca.

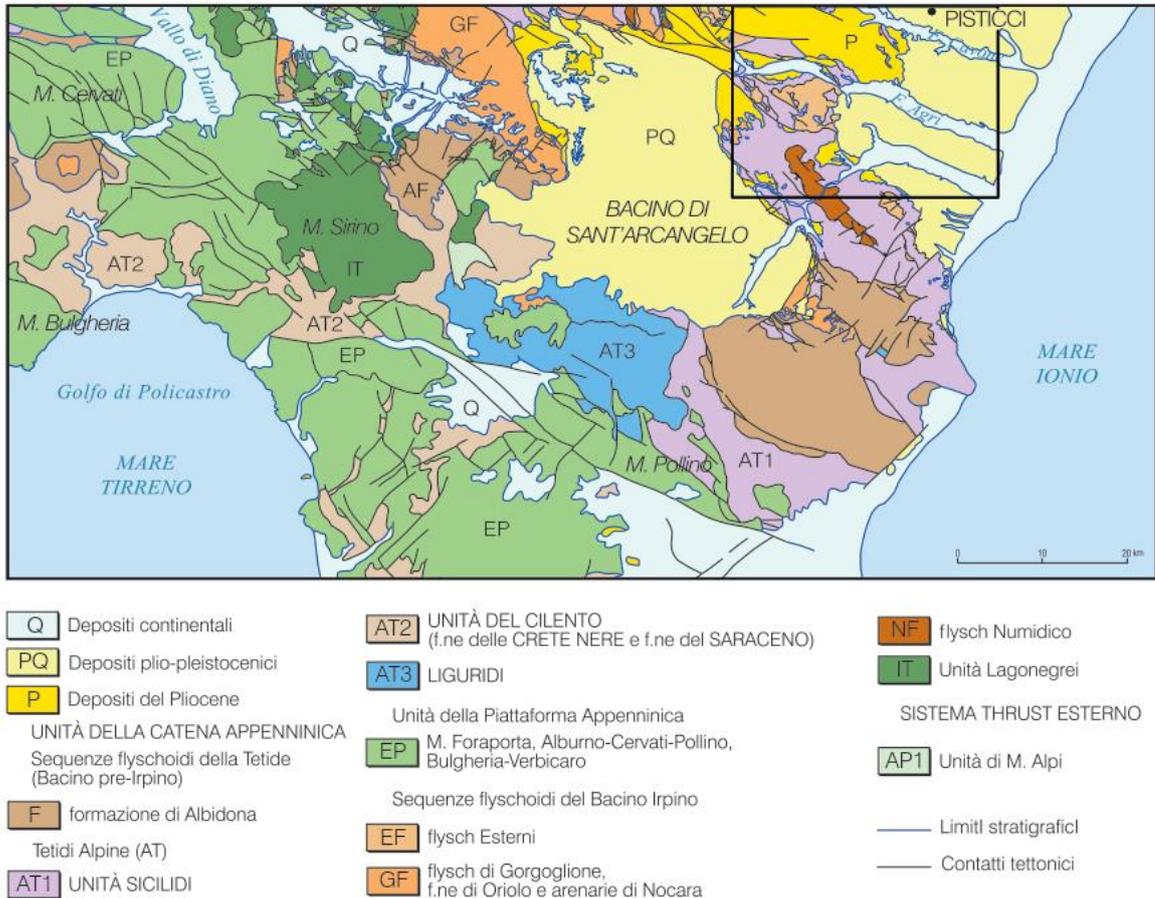
L'intera zona si colloca nel dominio strutturale costituito dall'Avanfossa Bradanica.

Essa è un bacino sedimentario che si estende dal margine orientale appenninico fino al bordo occidentale dell'avampaese murgiano. Il basamento dell'Avanfossa è costituito dai calcari murgiani Cretacei che si immergono in profondità con una serie di faglie normali con direzione principale NO/SE e, in sottordine, in direzione ortogonale (NE/SO).



**Figura 1.** Sezione geologica dell'Appennino Meridionale (da Prosser et al., 1996)

Essa è riempita da una successione argilloso-sabbiosa plio-pleistocenica, che raggiunge spessori di oltre 2000 m. Alla base è talora riconoscibile, al di sotto del cuneo alloctono della catena, un intervallo marnoso-argilloso, localmente sabbioso, del Pliocene inferiore (Zancleano), sul quale poggia in blanda discordanza una potente successione di argille con intercalazioni sabbiose del Pliocene (Piacenziano-Gelasiano). Il tutto è ricoperto dai sedimenti del Gelasiano-Pleistocene, che costituiscono una monotona successione di argille azzurre passanti, nella parte sommitale, a sabbie argillose e conglomerati del Pleistocene (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1969; RICCHETTI, 1980).



**Figura 2.** Schema di inquadramento regionale del settore campano-lucano dell'Appennino meridionale e del confine calabro-lucano (il riquadro evidenzia la posizione del Foglio 507 – Pisticci – della Carta geologica d'Italia scala 1:50.000, in cui rientra l'areale di interesse)

Sul bordo appenninico i sedimenti plio-pleistocenici sono caratterizzati da diverse discordanze, di cui quelle più marcate e a carattere regionale cadono nella parte alta del Pliocene inferiore (Zancleano) e nella parte sommitale del Pliocene superiore (Gelasiano) (v. LENTINI, 1968, 1969a, 1969b, 1971).

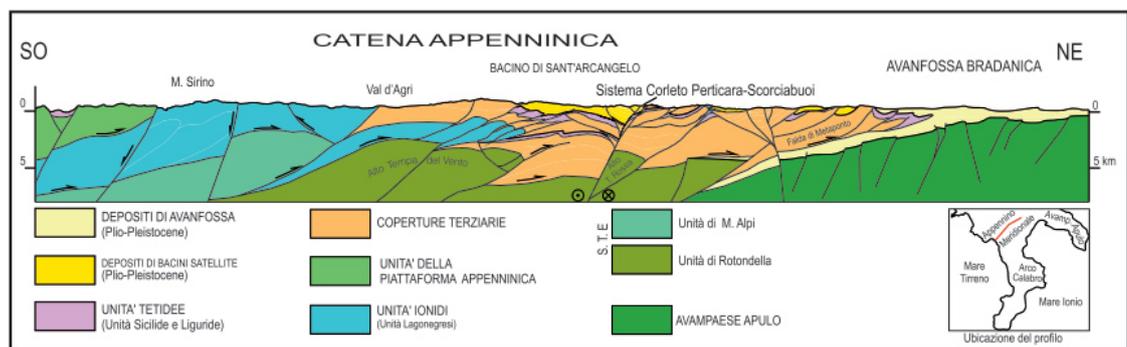
Sono stati quindi individuati vari "cicli", che si estendono via via a ricoprire le porzioni più interne della catena. Sul bordo esterno dell'avanfossa invece, per effetto di un generale appoggio in onlap della successione plio-pleistocenica al disopra del top carbonatico apulo, ben evidente nei

profili di sismica a riflessione, vanno a poggiare progressivamente gli orizzonti più recenti (CELLO et alii, 1988). In questo contesto le calcareniti tipo “panchina” (ad es. Calcareniti di Gravina) rappresentano la facies eteropica delle argille azzurre pleistoceniche del settore centrale dell’avanfossa.

La geometria dei depositi plio-pleistocenici indica una flessurazione del margine del Blocco Apulo. MALINVERNO & RYAN (1986), ROYDEN et alii (1987) e DOGLIONI (1991) hanno connesso lo sviluppo della fossa alla “subduzione appenninica” rivolta verso ovest e alla conseguente sensibile retroflessione verso est della placca adriatica, che ha determinato, nell’ambito dell’avanfossa, lo sviluppo sul margine esterno di una rampa regionale subsidente ad ampia inclinazione che si immerge sotto la Catena Appenninica.

Sul versante appenninico, il cuneo alloctono della catena, inserito all’interno della successione pelitico-sabbiosa plio-pleistocenica dell’avanfossa, è stato denominato da OGNIBEN (1969) Falda di Metaponto (Fig. 3).

Essa è formata in prevalenza da terreni delle Unità Sicilidi, dai Flysch Esterni miocenici, da modesti lembi di evaporiti messiniane e dagli stessi orizzonti pliocenici coinvolti nel trasporto tettonico.



**Figura 3.** Sezione schematica attraverso l’Appennino Lucano e l’Avanfossa Bradanica, ricostruita da dati geologici di superficie e da dati dell’esplorazione petrolifera (da FINETTI et alii, 2005, modificato)

Gli orizzonti del Pliocene (Piacenziano-Gelasiano) sono parzialmente ricoperti tettonicamente dai terreni dello stesso substrato pre-pliocenico; il tutto viene in gran parte suturato dai depositi sabbiosi (sabbie di Tursi) ed argillosi (argille subappennine) del Pleistocene (Calabriano e ?Ioniano), che presentano delle chiare geometrie di tipo onlap.

Il sollevamento regionale, fase tardiva degli eventi tettonici che hanno caratterizzato i bacini di provenienza dei terreni flysciodi appenninici, nell'area in esame può essere collocato in un'epoca tardo Calabriana con emersione, anche a più riprese, dei sedimenti terrigeni. L'assenza di elementi caratteristici delle azioni tettoniche, quali pieghe, scagliosità, intensa fratturazione ecc., fa pensare ad un movimento verticale positivo dell'intera area. Le leggere inclinazioni di strato sono connesse o a motivi deposizionali (conformazione del fondo del bacino) o a leggere differenziazioni nell'ambito del sollevamento.

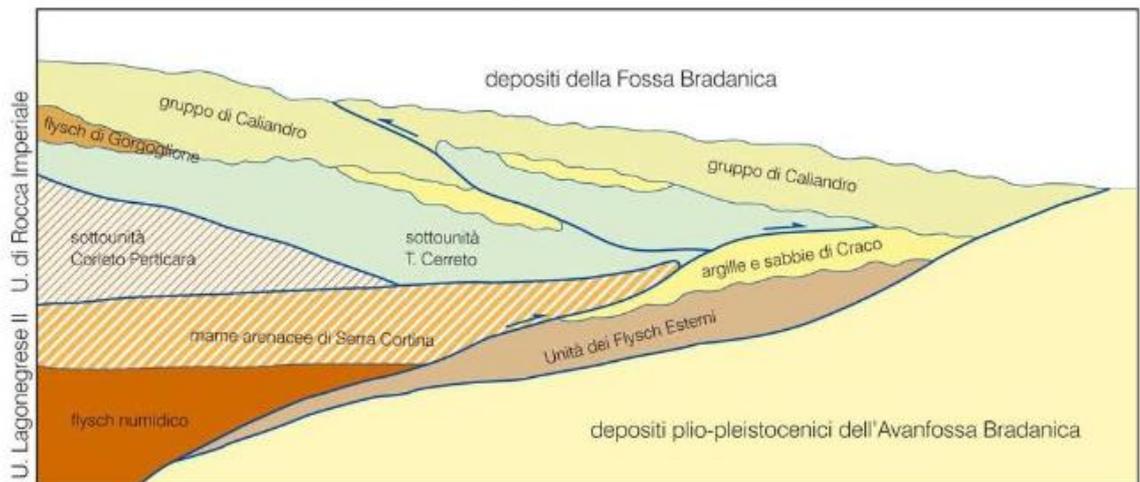
In alcuni casi, i sedimenti terrigeni di riempimento del bacino sono interessati da faglie normali di piccolo rigetto per effetto del riaggiustamento strutturale a seguito del sollevamento regionale.

### 3. STRATIGRAFIA GENERALE

I terreni rilevati si distinguono sia da un punto di vista chimico-mineralogico che granulometrico in ordine alle aree di provenienza ed alle modalità di trasporto.

I terreni plio-pleistocenici si sono sedimentati sotto un continuo controllo tettonico locale ed eustatico regionale e sono distribuiti in fasce al fronte del thrust belt (Bacini di Sant’Arcangelo, Calvello, Potenza, dell’Alto Ofanto) o all’interno della Catena (Bacini di Eboli e del Tanagro); in seguito al loro totale isolamento dai depositi di avanfossa hanno assunto il ruolo di depositi di bacini intrappenninici.

Nell’Appennino meridionale sono distinguibili almeno tre “cicli” sedimentari (Fig. 4): quello di Craco del Pliocene inferiore (Zancleano), esposto lungo la dorsale omonima, il ciclo di Calindro databile dallo Zancleano (parte alta) al Gelasiano, e quello di Sant’Arcangelo del Gelasiano-Ioniano. I primi due cicli corrispondono in parte all’Unità di Ariano (Zancleano-Piacenziano), ampiamente affiorante in Irpinia. I depositi relativi ai vari cicli ricoprono progressivamente aree sempre più interne dell’edificio a falde.



**Figura 4.** Schema dei rapporti tettonoci-stratigrafici nell'avanfossa bradanica

I tre cicli possono presentare, a seconda dei contesti paleoambientali, anche notevoli variazioni litologiche e moderate diacronie, ma ciò che li accomuna, a prescindere dalle litofacies, è la presenza alla base di ognuno di essi di una discordanza di primo ordine.

Il primo ciclo (LENTINI, 1969a; 1969b) è dato da conglomerati e da calcareniti fossilifere di ambiente litorale e da argille con livelli di sabbie quarzose, da diatomiti e da calcareniti a stratificazione incrociata.

Il secondo ciclo (VEZZANI, 1966; CARTA GEOLOGICA DEL BACINO DEL FIUME AGRI, 1991; PIERI et alii, 1994a), comprende una successione, potente circa 800 m, tipicamente ciclica nelle zone più interne, con un intervallo basale conglomeratico-sabbioso, passante ad un caratteristico orizzonte diatomitico e ad argille marnose azzurre; nelle aree esterne, sul fronte del thrust belt, le argille marnose azzurre sono ricoperte tettonicamente dai terreni pre-pliocenici, ovvero in discordanza dai depositi plio-quadernari (LENTINI, 1969a, 1969b).

La successione di Caliandro si è deposta in seguito ad una profonda ingressione marina, verificatasi nella parte alta dello Zancleano, che ha interessato tutto il sistema orogenico fino al margine delle aree di culminazione assiale della catena.

Sui depositi del ciclo di Caliandro, o direttamente sui terreni pre-pliocenici, giace il ciclo di Sant'Arcangelo, corrispondente in parte al ciclo dell'Agri di PIERI et alii (1994a), dato da una potente successione di argille azzurre passanti verso l'alto e lateralmente a sabbie e conglomerati di ambiente da marino a continentale (Bacino di Sant'Arcangelo), con litofacies di ambiente marino prevalentemente argillose verso est.

I depositi plio-pleistocenici hanno risentito dell'evoluzione tettonica del substrato carbonatico apulo e dell'adeguamento delle coltri alloctone: i depositi dei cicli pliocenici sono conservati in depressioni create successivamente alla fase di sollevamento della catena (fase di duplexing) e hanno subito un'intensa fase d'erosione, mentre i depositi del ciclo plio-pleistocenico sembrano rivestire il significato di riempimento dei "bacini" e complessivamente sono di età più recente dell'accavallamento delle coltri alloctone sulle successioni apule.

Maggiori approfondimenti negli allegati **TAV\_A.12.A.8 Carta Geologica Generale**, **TAV\_A.12.A.8.1. Carta Geologica di Dettaglio** e **TAV\_A.12.A.12 Sezioni Geologiche**.

### **3.1 Argille e sabbie di Craco**

I depositi della formazione di Craco registrano l'inizio della sedimentazione marina nelle aree frontali dell'orogene, successivamente ad una prolungata fase di emersione, avvenuta durante le fasi iniziali di accavallamento della catena alloctona sul substrato carbonatico apulo. L'età di questi depositi è in larga parte coeva a quella dei depositi di avanfossa presenti al disotto del sole-thrust appenninico.

Orizzonti coevi vengono altresì incontrati dal sondaggio Capo Rotondo 1 (ubicato in prossimità del km 141,5 della SS 103 Craco-Stigliano); essi risultano tettonicamente intrappolati nel sistema a thrust della catena. Ciò suggerisce che la successione del Pliocene inferiore (Zancleano) di Craco ha largamente partecipato alla messa in posto di tutto l'edificio alloctono sulle successioni apule. Corrisponde alle "Sabbie e Conglomerati di Serra del Cavallo" di MOSTARDINI et alii (1966), al "Complesso conglomeratico-argilloso-sabbioso" di LENTINI (1969b, 1980) e al gruppo di Craco p.p. del Foglio "Sant'Arcangelo" (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2005), in cui la formazione è stata suddivisa in due membri.

Affiora lungo una fascia orientata circa NO-SE dai dintorni di Serra di Croce- Tempa del Muto fino a Serra del Cavallo, sulla sponda sinistra dell'Agri. In questo tratto l'unità è caratterizzata da litofacies litorali alla base e al tetto. A sud ovest di questo allineamento non si hanno più affioramenti, per cui si ritiene che i sedimenti litorali di base rappresentino la massima ingressione marina durante il Pliocene inferiore (Zancleano).

Più a nord-est, in corrispondenza dell'abitato di Craco, riaffiorano depositi in facies litorale, mentre a T.pa Petrolla i sedimenti sono costituiti per lo più da argille con sottili intercalazioni sabbiose di ambiente marino più profondo.

Si tratta di una formazione clastica, in cui è possibile riconoscere tre litofacies eteropiche: conglomeratica (GCRa), presente esclusivamente alla base (non affiorante nel limitrofo Foglio "Sant'Arcangelo"), eteropica ad argille marnoso-sabbiose (GCRb) (cfr. membro GCR1 - Foglio "Sant'Arcangelo"), che passano verso l'alto alla litofacies sabbioso-calcarenitica (GCRc) (cfr. membro GCR2 - Foglio "Sant'Arcangelo").

La litofacies conglomeratica è costituita da clasti calcarei, marnosi e arenacei di 2-30 cm, in matrice sabbioso-argillosa, da poco a mediamente cementati; affiora a Craco e a T.pa S. Lorenzo.

La litofacies GCRb è costituita da argille marnoso-sabbiose di colore grigio-biancastre o giallastre, talora diatomitiche. Sabbie quarzose e calcareniti giallastre grossolane a stratificazione incrociata, talora bioclastiche a molluschi, brachiopodi e briozoi caratterizzano la litofacies GCRc. Le sabbie sono generalmente distribuite in più livelli intercalati alle argille.

Nella zona a nord-est di T.pa Petrolla la litofacies pelitica GCRb è rappresentata da argille marnose con sottili alternanze sabbiose simili alle soprastanti ARM.

La formazione giace in appoggio trasgressivo discordante, con diversi litotipi, sulle Unità Sicilidi ed è a sua volta interessata da sovrascorrimenti delle argille varicolori sicilidi e, localmente (Serra di Croce e Reggia Gualana), della formazione di Serra Palazzo.

### ***3.2 Argille marnosa del Torrente Sauro***

Si tratta di un'ampia successione che caratterizza sostanzialmente quasi tutto l'areale di indagine. Essa è rappresentata da argille azzurre o grigio-verdi a frattura concoide, inglobanti, nella parte medio-alta, da fitte e sottili (5-20 cm) intercalazioni torbiditiche sabbiose giallastre, raramente superiori al metro.

Nell'areale di interesse, la parte media della formazione, mostra la presenza di alcuni orizzonti tufitici di colore grigio-nerastro al taglio fresco, o biancastri in seguito ad alterazione, talora associati a diatomiti, spessi fino a 3 m, che costituiscono ottimi livelli guida nella monotona serie pelitica (LENTINI, 1969b, 1971, 1980).

Lo spessore complessivo della formazione raggiunge i 600 m.

A causa della geometria onlap del contatto di base, le argille poggiano sui vari termini della formazione di Craco o direttamente sul substrato pre-pliocenico.

L'ambiente deposizionale della formazione è da circa a infralitorale

### ***3.3 Sedimenti continentali e terrazzi marini***

I sedimenti dei terrazzi marini sono costituiti da sabbia (ocracea talvolta rossastra, con grana da fine a grossa, ricca di arnioni arenacei e livelli di ghiaia, talvolta presenta stratificazione incrociata) e da conglomerato e ghiaia; quasi sempre ferrettizzati.

Lungo l'allineamento Montalbano Ionico – Recoleta è presente una successione di sei ordini di terrazzi marini che passano, attraverso quote progressivamente decrescenti, alla pianura costiera con quote comprese fra 300 a 12 metri.

I terrazzi di ordine inferiore formano ampie spianate degradanti verso Est che sono interrotte da gradini più o meno netti. I sedimenti dei terrazzi mostrano a volte di essere stati rielaborati dall'azione dei fiumi e si ha così un ulteriore terrazzamento nel corpo dello stesso terrazzo marino. I fossili non sono frequenti; in alcuni sono stati rinvenuti molluschi e brozoi.

### ***3.4 Alluvioni recenti***

Sono depositi fluvio – marini, lungo una vasta fascia costiera, e fluviali nelle zone deltizie e nelle piane che fiancheggiano i principali corsi d'acqua. Sono costituite da argille molto sabbiose con livelli di sabbia grossolana e ghiaia che prevale lungo i corsi d'acqua.

### ***3.5 Alluvioni attuali***

Coprono l'alveo attuale dei fiumi maggiori e sono costituiti principalmente da ciottoli e massi, subordinatamente da sabbia talora argillosa.

## 4. GEOMORFOLOGIA GENERALE

L'area di sedime su cui si sviluppa l'impianto fotovoltaico, è collocata ad ovest dell'abitato vecchio di Craco, lungo la strada comunale Craco-Stigliano, ad una quota variabile da circa 134 m s.l.m. a 167 m s.l.m. e in generale mostra evidenti segni di una complessa evoluzione geomorfologica; questa, nonostante si sia innescata in tempi remoti, non sembra essersi del tutto esaurita.

I fenomeni di tale evoluzione si esplicano attraverso processi di tipo gravitativi essenzialmente riconducibili a movimenti franosi propriamente detti. Le abbondanti precipitazioni concentrate in brevi periodi rendono particolarmente grave il problema della stabilità di queste aree, sia per l'economia agricola di questi territori che per stessa stabilità della rete viaria.

Non poca incidenza ha altresì assunto l'azione antropica, concretatasi nei secoli scorsi mediante disboscamenti a vasto raggio che hanno accentuato le manifestazioni erosive e negli ultimi anni con l'inserimento di strutture civili che, sia pure localmente, hanno modificato l'originaria configurazione del paesaggio. Il settore studiato, posto a ridosso della fascia costiera, è costituito da materiali clastici grossolani terrazzati giacenti sulle argille azzurre, esposte in affioramento lungo la fitta rete torrentizia che taglia longitudinalmente e trasversalmente i terrazzi marini. Le estese superfici pianeggianti composte da tali sedimenti hanno una lieve pendenza verso il mare e sono delimitate da scarpate di abrasione marina disposte in direzione parallela alla costa.

La fitta rete di drenaggio delle acque meteoriche ha prodotto soluzioni di continuità in seno ai pianori, spesso interrotti da strette vallecole dai fianchi molto ripidi.

I fondovalle dei maggiori corsi d'acqua sono fiancheggiati da terrazzi fluviali e da ampie golene sede di coltivazioni intensive ed altamente produttive, costituenti la principale fonte di reddito delle popolazioni residenti. Ben diversa appare la conformazione dell'ambito territoriale corrispondente ai settori immediatamente a W e a NW dell'area in esame, ove prevalgono le coperture plio-pleistoceniche prevalentemente argillose e subordinatamente sabbiose e conglomeratiche. Mentre queste ultime caratterizzano un paesaggio aspro interrotto da profonde incisioni e pareti di dal profilo subverticale, come ad esempio si può riscontrare nei dintorni di Tursi, i materiali pelitici si distinguono per i fenomeni di demolizione rapida dei versanti, che si esplicano mediante solchi più o meno profondi delimitati da creste aguzze,

calanchi e forma connesse a movimenti di massa quali colate e frane per scosciamenti e crolli. Nelle aree interessate dalle argille plioceniche sono osservabili tutti gli stadi di evoluzione morfogenetica tipica di questi terreni, che conferisce al paesaggio pregi naturalistici non comuni. Si hanno infatti sistemi di calanchi con creste sottili, profili di fondo estremamente ripidi e testate in erosione rimontate; forme più mature tipo rilievi "a dorso di elefante", cupole e piramidi di argilla; sistemi molto fitti e ramificati di incisioni in erosione giovanile "a lame di coltello".

I versanti esposti a SE sono molto spesso intaccati dai calanchi, mentre quelli rivolti nella direzione opposta mostrano tale fenomeno più di rado e forme di degradazione palesemente connesse a movimento di massa superficiali e talvolta profondi.

Le manifestazioni calanchive, nel nostro settore, sono solo accennate e le ritroviamo lungo l'alveo del fiume Sinni. Quelle di maggiore interesse paesaggistico e naturalistico si trovano nella fascia compresa tra Gannano e Craco, nei dintorni della S.S. 176 tra Craco Peschiera e Pisticci ed in destra Agri, poco a valle del santuario di S. Maria di Anglona.

Da un punto di vista strutturale, essendo l'area molto prossima al margine appenninico dell'Avanfossa, è caratterizzata da un regime tettonico fortemente condizionato da questo contesto. L'assetto delle formazioni affioranti è costituito da lievi monoclini immergenti verso SW o SE intervallate da faglie normali orientate perpendicolarmente.

Molte delle superfici di discontinuità legate a movimenti gravitativi profondi sono impostate in corrispondenza di lineamenti tettonici.

Si tratta di grandi scivolamenti rotazionali determinati dal particolare assetto stratigrafico strutturale che vede le argille alla base e le sabbie e i conglomerati al tetto. Le falde freatiche, inglobate nei termini permeabili, contribuiscono ad aumentarne il peso e a comprometterne le caratteristiche di resistenza meccanica. Inoltre esse infiltrandosi attraverso le discontinuità stratigrafiche e tettoniche presenti nella coltre argillosa ne compromette la resistenza con conseguente cedimento della stessa lungo superfici di taglio che, a causa dei differenti angoli di declivio delle successioni coinvolte, assumono la tipica morfologia a cucchiaio.

Spesso, in queste depressioni, si instaurano condizioni di flusso superficiale caratterizzati da alti poteri erosivi per le notevoli pendenze acquisite e per la scarsa o nulla permeabilità del substrato

argilloso. Si originano così profondi fossi che attraverso la loro azione erosiva scalgano al piede i corpi di frana antichi contribuendo alla loro riattivazione parziale o totale.

Nell'eaborato cartografico **TAV\_A.12.A.9. Carta Geomorfologica.** sono evidenziae ed approfondite le considerazioni sopra espresse

## 5. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA DELL'AREA

Generalmente, il fattore maggiormente responsabile dell'instabilità dei versanti è costituito dalla natura litologica dei terreni. Gli altri fattori con i quali eventuali fenomeni gravitativi vanno messi in relazione sono l'evoluzione neotettonica, le condizioni climatiche, l'azione dell'acqua cadente e dilavante, la forte acclività, la sismicità, il disboscamento intenso, l'abbandono generalizzato dei terreni coltivati e tutti gli interventi antropici peggiorativi sull'attuale assetto idrogeologico.

Per quanto riguarda l'analisi geomorfologica e maggiormente la predisposizione al dissesto dei versanti prospicienti le opere in oggetto è stato consultato il **Piano Stralcio delle Aree di versante redatto dall'Autorità di Bacino di Basilicata**. Gli areali presenti in tale piano sono stati opportunamente georeferenziati e sono state riprodotte nella "Carta del rischio idrogeologico" alla scala 1 : 2.000 **TAV\_A.12.10. Carta del ischio Idrogeologico**.

Dall'osservazione del DELLE NORME DI ATTUAZIONE DELL'AUTORITÀ DI BACINO DELLA BASILICATA, dette aree vengono disciplinate dall'articolo 15 comma 2, che recita: *"In conformità al DPCM del 29 settembre 1998, il Piano considera quattro classi di rischio, secondo la seguente classificazione: molto elevato R4, elevato R3, medio R2, moderato R1."*

**Diverse porzione del sedime di progetto rientrano in aree perimetrare, nell'ambito della Carta di Pericolosità da Frana, in zona R3.**

Per queste zone valgono le indicazioni di cui agli articoli 17, 18 e 19 delle suddette norme di attuazione, qui di seguito riportati:

**ARTICOLO 17 – 3.1** *Nelle aree a rischio elevato sono consentiti esclusivamente:*

- a) *gli interventi di demolizione senza ricostruzione;*
- b) *gli interventi di manutenzione ordinaria (art.3, comma 1, lett.a), D.P.R. 380/2001);*
- c) *gli interventi di manutenzione straordinaria (art.3, comma 1, lett.b), D.P.R. 380/2001);*
- d) *gli interventi di restauro e di risanamento conservativo (art.3, comma 1, lett.c), D.P.R. 380/2001);*

- e) *gli interventi di riparazione, miglioramento e adeguamento sismico;*
- f) *gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti unicamente per motivate necessità di adeguamento igienico-sanitario;*
- g) *cambiamenti di destinazione d'uso che non comportino aumento delle condizioni di rischio;*
- h) *gli interventi di sistemazione e manutenzione di superfici scoperte (rampe, recinzioni amovibili, opere a verde che non comportino aumento del carico insediativo);*
- i) *la realizzazione di strutture amovibili, che non comportino aumento del carico insediativo e delle condizioni di rischio;*
- j) *la realizzazione di serre temporanee e amovibili.*

## 6. IDROLOGICA ED IDROGEOLOGICI

### **6.1 Considerazioni sull'idrografia della zona**

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., pertanto quando si prevede la realizzazione di interventi antropici in aree ricadenti o immediatamente adiacenti alvei fluviali o canali di scolo di qualsiasi natura, è buona norma verificare preliminarmente la possibilità di realizzare l'opera senza provocare impatti rilevanti sull'ambiente naturale, in modo tale che essa non sia potenzialmente esposta all'azione distruttrice degli elementi naturali.

Per il caso in specie, considerato che i campi fotovoltaici di progetto occuperanno una superficie rilevante, e che, come accennato al paragrafo precedente, detta superficie è interessata dalla presenza di alcuni impluvi che, seppur di modesta entità, potrebbero esercitare azioni erosive capaci di ingenerare danni agli impianti di progetto, risulta opportuno verificarne i parametri idraulici così da poter eventualmente prevedere interventi di presidio e/o mitigazione.



**Figura 6.1.** veduta panoramica paesaggio d'impianto. Si noti l'assetto morfologico e la presenza di canali (in secondo piano) costituenti il reticolo idrografico abbastanza sviluppato.

### **Caratteri meteoclimatici dell'area**

Per un corretto inquadramento dei fenomeni meteoclimatici si è fatto riferimento agli annali editi dal Servizio Idrografico Nazionale.

I dati climatici e pluviometrici sono stati ottenuti mediando le misure per il sessantennio 1921-1980. Inoltre sono stati presi in considerazione i dati ricavati dal sito istituzionale dell'AdB interregionale di Basilicata, riferiti alla serie storica 2001/2014 e consultabile online al seguente indirizzo: [www.adb.basilicata.it/adb/.../Serie\\_Storiche\\_dati\\_pluvio-metrici.pdf](http://www.adb.basilicata.it/adb/.../Serie_Storiche_dati_pluvio-metrici.pdf)

In base ai dati consultati è possibile inquadrare la zona esaminata in un regime climatico di tipo semiarido mediterraneo, caratterizzato da inverni miti ed estati abbastanza calde e soventemente siccitose.

La distribuzione delle temperature medie annue è stata riportata nella figura sottostante, da questa è possibile dedurre che i valori caratterizzanti l'area esaminata ricadono tra i 15° e i 16° C.

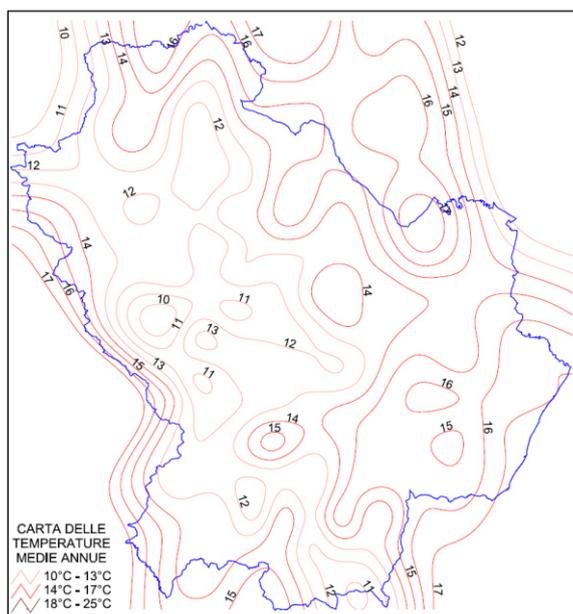


Figura 6.2 Distribuzione delle isoterme in Basilicata (piano aib regione Basilicata anno 2011)

La distribuzione temporale e spaziale delle piogge è evidenziata nella figura e nel grafico successivi in cui sono evidenziati rispettivamente, la distribuzione media annua delle piogge nell'intera Regione Basilicata.

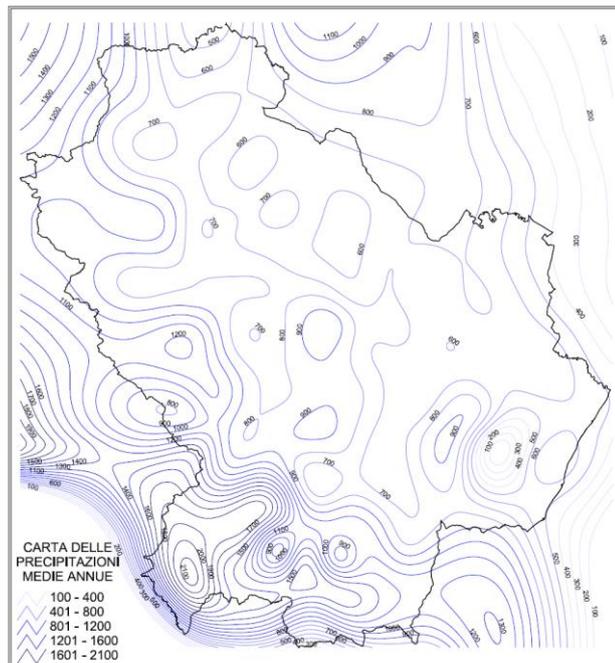


Figura 6.3 Distribuzione delle isoiete in Basilicata (piano aib regione Basilicata anno 2011)

Dalla osservazione della carta delle distribuzioni pluviometriche annuali nella Regione Basilicata si denota che la zona grossomodo corrispondente all'area studiata rientra nella sua interezza tra le isoiete 600 e 650.

Un resoconto più dettagliato ci è fornito dal grafico riportante i millimetri di pioggia registrati alle stazioni pluviometriche site nelle vicinanze di Craco: Ferrandina, Pisticci, Pomarico e Bernalda; gli apparati di misura sono posti rispettivamente alle quote 496 m s.l.m., 364 m s.l.m., 455 m s.l.m. e 127 m s.l.m.:

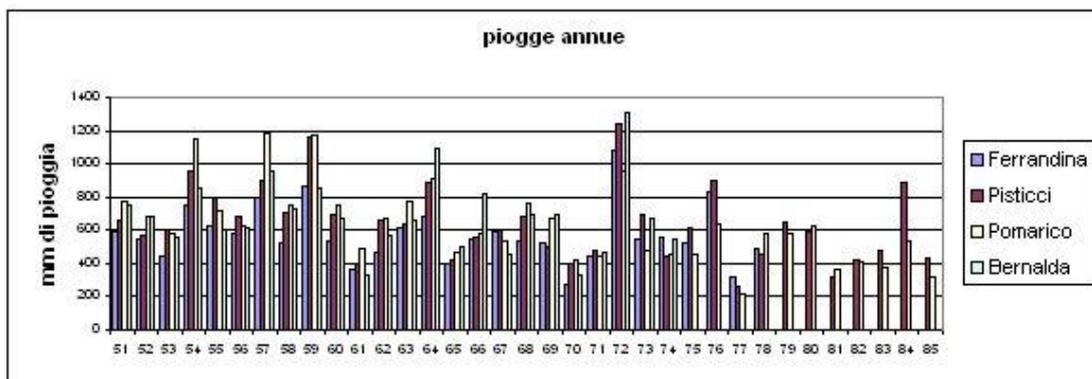


Fig. 6.4: precipitazioni totali annue per le quattro stazioni di riferimento

La maggior parte delle precipitazioni annue si verificano nei mesi autunno-invernali, generalmente da ottobre a febbraio, con valori medi mensili che non superano i 100 mm (Fig 6.5); il periodo estivo è invece caratterizzato da precipitazioni molto scarse che favoriscono l'essiccazione delle coltri superficiali dei terreni argillosi. In questo modo, le piogge immediatamente successive al periodo estivo trovano le condizioni ottimali per l'infiltrazione in profondità nelle coltri, attraverso le fratture prodotte nel terreno dal ritiro dei materiali argillosi essiccati.

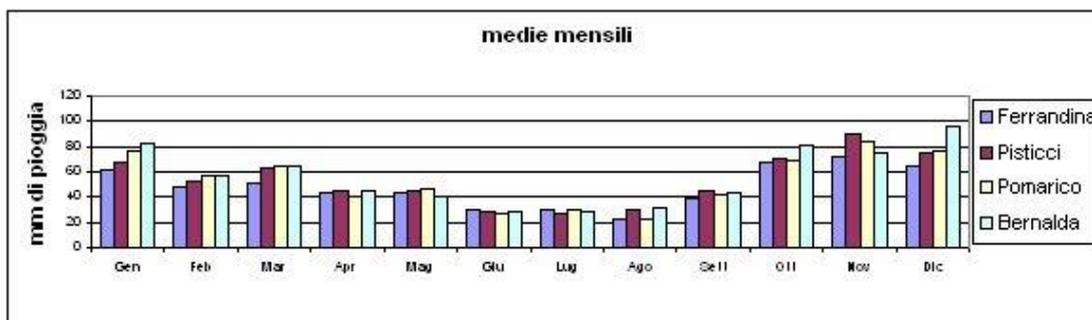


Fig.6.5: precipitazioni medie mensili per le quattro stazioni di riferimento

Il dato ricavato è abbastanza rappresentativo dell'area studiata in quanto le stazioni pluviometriche sono posizionate nella zona in cui essa si sviluppa.

Osservando le precipitazioni mensili riportate nei soprastanti grafici si ha una conferma di quanto già detto in precedenza, cioè che le piogge risultano concentrate nei mesi invernali, mentre in quelli estivi si ha un netto calo delle precipitazioni.

Dal rapporto mm/giorni piovosi è possibile avere una stima approssimata della intensità delle precipitazioni. L'approssimazione è legata all'incertezza riguardo al fattore temporale. Infatti il tempo in cui si contiene un evento piovoso non è lo stesso tutti i giorni, ed in particolare si può verosimilmente affermare che risulterà certamente più ristretto nei mesi estivi rispetto a quelli autunnali o invernali, per cui la stima ricavata in base ai dati disponibili risulterà in difetto rispetto al dato reale. Questo dato è di fondamentale importanza in quanto legato alla capacità di immagazzinamento delle rocce del substrato. Infatti piogge brevi ed intense favoriscono il ruscellamento e quindi l'allontanamento dal bacino di alimentazione dell'acquifero delle acque meteoriche, mentre precipitazioni deboli e prolungate incentivano l'infiltrazione e quindi la ricarica dell'acquifero. L'andamento delle curve relative a questo rapporto evidenzia un lieve aumento delle intensità piovose nei mesi estivi ed invernali rispetto a quelli autunnali e primaverili.

## ***6.2 Considerazioni sull'Idrogeologia della zona***

L'idrogeologia dell'area preposta per l'intervento è influenzata dai complessi geologici affioranti che per le loro caratteristiche intrinseche conferiscono al settore una complessiva scarsa predisposizione all'accumulo idrico sotterraneo. Quasi tutta l'area è formata da sedimenti terrigeni caratterizzata impermeabile o scarsamente permeabili.

Nell'area di studio si possono distinguere vari litotipi con caratteristiche idrogeologiche differenti:

- argille e argille sabbiose,
- depositi alluvionale
- coltri detritiche di frana

**Argille e argille sabbiose:** sono ampiamente distribuite su tutta l'area di sedime, contribuendo nella maggior misura alla caratterizzazione del sito. Da un punto di vista idrogeologico, tali terreni sono individuati come terreni scarsamente permeabili per porosità ed hanno un grado di permeabilità medio ( $10^{-6} > K > 10^{-8}$ );

**Depositi alluvionali:** sono solitamente costituiti da depositi sabbiosi o sabbiosi ciottolosi e più raramente da terreni sabbiosi argillosi. Da un punto di vista idrogeologico, tali terreni sono individuati come terreni poco permeabili per porosità ed hanno un grado di permeabilità medio basso ( $10^{-4} > K > 10^{-6}$ );

**Coltri detritiche di frana:** sono costituiti dallo stesso materiale dei depositi da cui si sono generati. Nel caso specifico si tratta di argille sabbiose. Da un punto di vista idrogeologico, tali terreni sono come del resto la roccia madre, individuati come terreni scarsamente permeabili per porosità ed hanno un grado di permeabilità medio ( $10^{-5} > K > 10^{-7}$ ); ovvero leggermente superiore ai valori delle rocce in posto

Data la morfologia assunta dal versante su cui sorge il sedime di interesse e la litologia dei terreni affioranti, si prescrive che le acque di ruscellamento idrico direttamente battente sul terreno o rivenienti dallo scolo del pannello, vengano incanalate e accompagnate lungo i versanti ed immessi nei fossi di scolo.

Maggior approfondimenti si possono visualizzare nella **TAV\_A.12.11. Carta Idrogeologica**

## 7. MODELLO GEOLOGICO DELL'AREALE DI SEDIME

Anche se le lavorazioni previste nel progetto non implicano importanti interazioni con i terreni costituenti il substrato, trattandosi sostanzialmente di strutture leggere costituite da pannelli fotovoltaici ancorati a supporti metallici ancorati al terreno per mezzo di tiranti della lunghezza dell'ordine del metro, si ritiene opportuno descrivere i parametri geotecnici di riferimento, utili alla determinazione della scelta tipologico-dimensionale delle opere. Questi sono stati estratti dai dati in possesso dallo scrivente, ricavati da analisi geotecniche eseguite su campioni simili analizzati per aree limitrofe e da dati bibliografici della letteratura ufficiale.

I valori derivanti dalle analisi dei campioni consultati non si discostano in maniera indicativa dai valori medi prelevati dalla bibliografia ufficiale, pertanto risultano sicuramente adottabili per i calcoli geotecnici eventualmente occorrenti.

**Di seguito, si riportano i valori dei parametri geotecnici dei terreni costituenti la porzione superficiale del substrato argilloso sabbioso, ovvero lo strato di terreno direttamente interessato dalle opere di progetto.**

Ai fini delle verifiche di calcolo di stabilità del versante, di cui al successivo paragrafo, si è provveduto all'acquisizione dei valori afferenti i principali parametri fisico meccanici dei terreni che costituiscono la formazione pliocenica al letto della coltre superficiale argillosa sabbiosa. Valori desunti dalla Prova Penotrometrica Dinamica eseguita durante la campagna di indagine. I valori ricavati sono i seguenti:

### **DEPOSITI ARGILLE SABBIOSE PLIOCENICHE (STRATO SUPERFICIALE)**

Peso di volume naturale	$\gamma = 18.00 \text{ KN/m}^3$
Peso di volume saturo	$\gamma \text{ sat} = 20.00 \text{ KN/m}^3$
Coesione non drenata	$c_u = 38 \text{ KPa}$
Angolo d'attrito interno	$\phi' = 22^\circ$
Coesione	$c' = 5.00 \text{ KPa}$

### **DEPOSITI ARGILLE SABBIOSE PLIOCENICHE (STRATO PROFONDO)**

Peso di volume naturale	$\gamma = 20.00 \text{ KN/m}^3$
Peso di volume saturo	$\gamma \text{ sat} = 22.00 \text{ KN/m}^3$
Coazione non drenata	<b>Cu = 100 KPa</b>
Angolo d'attrito interno	$\phi' = 26^\circ$
Coazione	<b>c' = 19.50 KPa</b>

Per quanto riguarda l'attitudine al cedimento dei terreni, l'uso del metodo di Winkler, tra i metodi più diffusi per lo studio dell'interazione tra fondazione e terreno, richiede un'attenta valutazione del valore di K da utilizzare a seconda dei casi.

Il tipo di indagine più semplice e più indicativo per indagare sul comportamento di una fondazione superficiale, ed in particolare sul valore del coefficiente di reazione K, è la prova di carico su modello in scala ridotta, ovvero la cosiddetta prova di carico su piastra. Tuttavia, dall'applicazione delle prove di carico su piastra si possono ottenere indicazioni, oltre che su K, anche sul valore del modulo elastico equivalente per la fondazione in vera grandezza, ovvero del rapporto tra i cedimenti della fondazione reale ed i cedimenti relativi alla prova. Quindi in un terreno reale il cedimento dipende, oltre che dal carico applicato, dalle proprietà del terreno medesimo, nonché dalla forma e dalle dimensioni della fondazione. Ne consegue, pertanto, che il coefficiente di reazione non è una proprietà del terreno, e quindi ha un senso solamente indicativo fornire valori tipici per terreni tipici.

Per completezza di informazione si riporta una tabella di riferimento di valori indicativi della costante di Winkler – K (Kg/cm<sup>3</sup>):

<b>Terreno</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
Sabbia sciolta	0.48	1.60
Sabbia mediamente compatta	0.96	8.00
Sabbia compatta	6.40	12.80

Sabbia argillosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia limosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia e ghiaia compatta	10.00	30.00
Terreno argilloso con $q_u < 2 \text{ Kg/cm}^2$	1.20	2.40
Terreno argilloso con $2 < q_u < 4 \text{ Kg/cm}^2$	2.20	4.80
Terreno argilloso con $q_u > 2 \text{ kg/cm}^2$	>4.80	

Per il caso in esame, non conoscendo la distribuzione degli scarichi conseguenti agli interventi di progetto né le dimensioni e forma degli eventuali interventi sulle fondazioni, ma solo i terreni di sottofondazione (assimilabili a argille sabbiose mediamente compatte) è impossibile definire in maniera esatta il valore di K, ma si può individuare solamente un range bibliografico che è quello riprodotto in tabella.

Lo stato di alterazione caratterizzante la porzione superficiale della successione litologica studiate non permette di poter acquisire un modello matematico che descriva appieno il comportamento tecnico e quindi i dati a disposizione sono necessariamente interpretativi nonché incompleti per le note difficoltà che si hanno per la interpretazione delle risultanze rivenienti dalle convenzionali analisi geotecniche per queste tipologie litologiche.

## 8. SISMICITA' DELL'AREA

L'Appennino campano lucano è compreso in quella fascia dell'Appennino meridionale interessata nel passato da grandi processi deformativi la cui evoluzione ha portato, a partire dal Pliocene (5 milioni d'anni fa), alla nascita dei principali lineamenti strutturali. Questi sono prevalentemente rappresentati da sistemi di faglie distensive orientati in direzione appenninica (Nord-Ovest Sud-Est) (Scandone et al., 1990). In particolare la regione Basilicata è direttamente interessata da due faglie principali con tale orientamento (quella irpino-lucana e quella della Val d'Agri), dove è concentrata la sismicità di magnitudo maggiore, e da una serie di faglie minori in direzione antiappenninica.

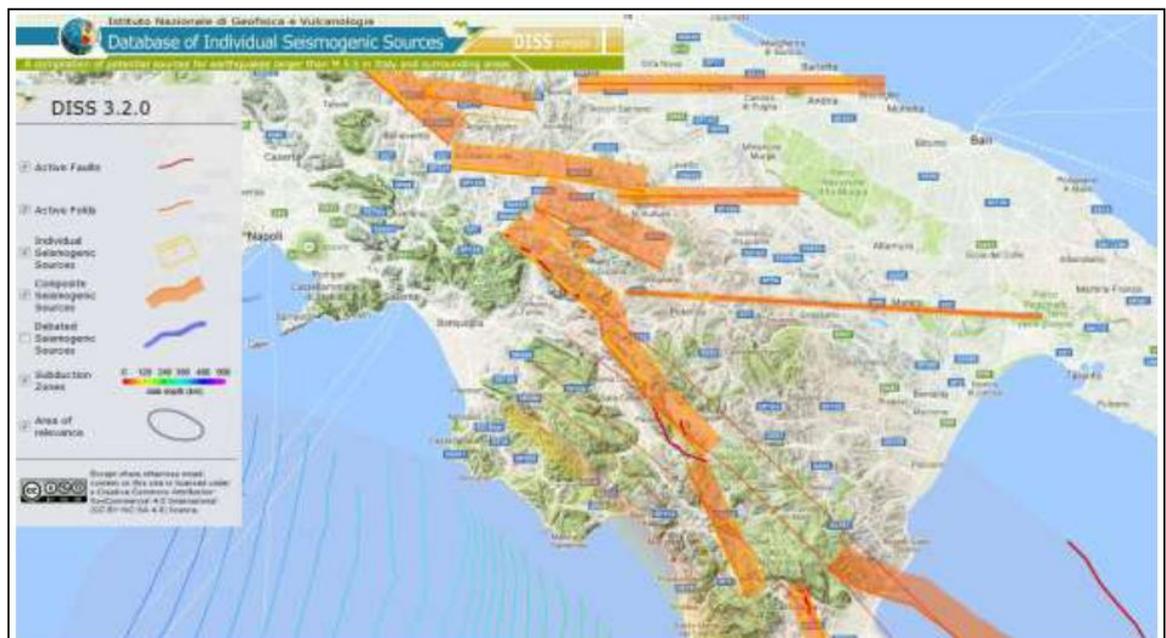


Figura 8.1 Distribuzione delle maggiori strutture sismogenetiche riconosciute nell'Appennino Meridionale  
FONTE: <http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>

Queste ultime sono state responsabili di numerosi eventi di più bassa energia, ma con periodi di ritorno più brevi. La carta neotettonica italiana (CNR-PFG, 1983), redatta sulla base dell'analisi dei dati neotettonici, gravimetrici e sismici, distingue l'Appennino meridionale nelle tre seguenti zone procedendo dal Tirreno verso l'Adriatico:

- Fascia costiera campana
- Fascia Appenninica
- Fascia Adriatica

### **Fascia costiera campana**

Attualmente questa fascia può essere considerata stabile ad eccezione dell'area dei Campi Flegrei, in quanto presenta una sismicità notevolmente bassa.

### **Fascia Appenninica**

Comprende anche la catena costiera, l'altopiano silano ed i bacini intrappenninici, sia marini (Ariano Irpino, Ruvo del Monte, Potenza, S. Arcangelo, valle del Crati, piana di Crotona) che continentali (Vallo di Diano, valli del Noce e del Mercure, alta Val d'Agri). Tale fascia è sempre stata caratterizzata da sollevamenti ancora in atto, come confermano i fenomeni di terrazzamento in depositi alluvionali recenti.

La sismicità è molto elevata con epicentri localizzati in corrispondenza di faglie estensionali ad andamento longitudinale. Tali faglie, il cui movimento estensionale è stato anche confermato dai meccanismi focali determinati per recenti terremoti (Pantosti e Valensise, 1990; Amato e Selvaggi, 1993; Azzara et. al., 1993), hanno generato eventi distruttivi con intensità maggiore al X grado della scala Mercalli, Cancani, Sieberg (MCS), quali il terremoto del 1857 nella Val d'Agri e quello irpino del 23 novembre 1980 di magnitudo Ms 6.8, calcolata sulle onde superficiali (CNRPFG, 1981). A quest'ultimo evento è stato associato un complesso sistema di fratturazione consistente in almeno tre segmenti di faglia (fig. 4) (Crosson et al., 1986; Westaway & Jackson, 1987; Bernard & Zollo, 1989; Pantosti & Valensise, 1990; Pingue & De Natale, 1993).

L'evento irpino ha dato luogo al maggior rilascio d'energia sismica seguito solo dal terremoto di Potenza del 5 maggio 1990 di magnitudo locale (ML) 5.2 (CNRPFG, 1981).

## **Fascia Adriatica**

Questa fascia può essere definita asismica, fatta eccezione per il territorio garganico.

La sismicità storica della Basilicata è ricca d'eventi anche di forte intensità. Le notizie che seguono, sono stati tratti dal Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1900 (Boschi et al., 1997).

Il primo evento che le fonti storiche riportano, è quello del 1273 che causò gravi danni a Potenza e danni non precisati nell'area della Basilicata. All'evento è attribuita un'intensità del VIII-IX grado MCS. Nel 1561, due forti scosse, avvenute il 31 luglio e il 19 agosto e numerose repliche di minore intensità colpirono l'area. La prima, valutata del IX grado della scala MCS, ebbe effetti distruttivi sul paese di Buccino (SA), e provocò danni nell'avellinese e nelle zone circostanti. La seconda, valutata del X grado, distrusse i paesi di Tito (PZ), Sant'Arzenio (SA) e San Pietro al Tanagro (SA). L'abitato di San Rufo (SA) fu investito da una frana innescata dal terremoto con conseguenti gravi danni agli edifici. Il giorno 8 settembre del 1694 una scossa molto forte, seguita da un'altra violentissima replica e da una sequenza d'eventi d'intensità equiparabile, colpì una vasta area dell'Italia meridionale. La Campania, la Basilicata e la Puglia subirono danni ingenti e perirono più di 6.000 persone. Gli effetti sull'ambiente furono notevoli: la scossa innescò frane e crolli di massi. Vennero anche osservate onde anomale nel mare in prossimità della costa di Brindisi. Il primo febbraio 1826 un terremoto ascrivibile al IX grado MCS, colpì l'area a Nord-Ovest della provincia di Potenza. Nei dintorni di Tito (PZ) (paese maggiormente danneggiato) si ebbero frane e scaturirono nuove sorgenti. Potenza, Satriano di Lucania (PZ) e Tramutola (PZ) subirono numerosi crolli d'abitazioni.

Nella zona del massiccio del monte Sirino, al confine tra la Campania e la Basilicata, il 20 novembre 1836 si verificò un evento del IX grado MCS. Il paese che subì i maggiori danni fu Lagonegro (PZ) dove quasi tutte le abitazioni furono distrutte o danneggiate.

Un altro forte terremoto (X grado MCS) che causò più di mille morti, avvenne il 14 agosto 1851. La scossa principale fece crollare quasi tutti gli edifici di Barile (PZ) e Melfi (PZ). A distanza di un'ora dalla precedente, una seconda scossa di minore entità colpì l'area, gravando ulteriormente sugli edifici già lesionati.

L'area di maggiore risentimento si estese verso Est, in direzione della valle d'Ofanto, e verso Nord. Molti paesi irpini subirono gravi danni e la scossa fu avvertita anche in Campania, Abruzzo e Salento.

Nel 1857 altri due importanti eventi sismici colpirono la Basilicata. Il primo (XI MCS), occorso il 16 dicembre e di maggiore rilevanza, devastò un'ampia zona della provincia di Potenza e di Salerno. Le fonti ufficiali riportano più di diecimila vittime, il 90% delle quali nell'area potentina.

Un'area di più di 3.000 kmq fu completamente rasa al suolo. In molte zone furono riportati vasti movimenti franosi, smottamenti, abbassamenti del terreno e ampie spaccature, di cui una di 270 m a Polla (SA).

La seconda scossa, avvenuta dopo dieci giorni dalla prima, ebbe com'epicentro l'attuale Montemurro (PZ), che già fu tra le aree maggiormente colpite dal precedente terremoto. A quest'evento è attribuito un'intensità pari al VII-VIII grado della scala MCS.

Nel 1930 nella zona montuosa compresa tra Melfi (PZ) e Ariano Irpino (AV), durante la notte del 23 luglio, occorre un evento del X grado MCS.

Il 23 novembre del 1980 un terremoto d'intensità pari al X-XI grado MCS e di magnitudo Ms6.8 colpì gravemente, alle 20:34 italiane, l'Irpinia e la Basilicata. Questo movimento tellurico causò poco meno di tremila vittime, diecimila feriti e i senzatetto si avvicinarono ai 300.000. Una trentina di paesi, e innumerevoli frazioni, compresi in un'ampia area (comprendente Napoli, Salerno, Potenza e S. Angelo dei Lombardi (AV) furono distrutti.

L'area di danneggiamento fu stimata di circa 3.500 kmq. Alla scossa principale ne seguirono molte altre anche di lunga durata (intorno ai due minuti) che contribuirono all'opera di distruzione.

Altri terremoti hanno interessato la regione, ricordiamo quello di Potenza del 5 maggio 1990 di Ms 5.4 e quello del 9 settembre 1998 di Magnitudo 5.5 con epicentro nella zona di Castelluccio.

Nella mappa che segue si riportano i maggiori terremoti avvenuti lungo la catena appenninica e che hanno interessato la regione.

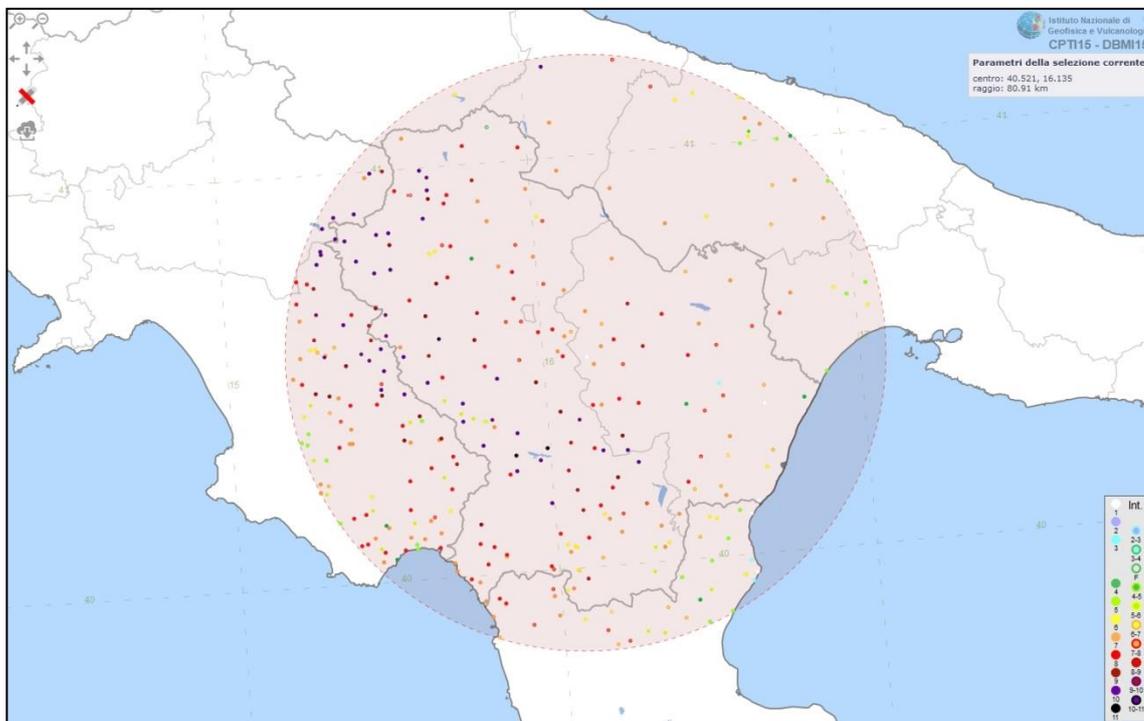


Figura 8.2. Distribuzione degli epicentri dei principali terremoti che hanno interessato la Basilicata (fonte INGV)

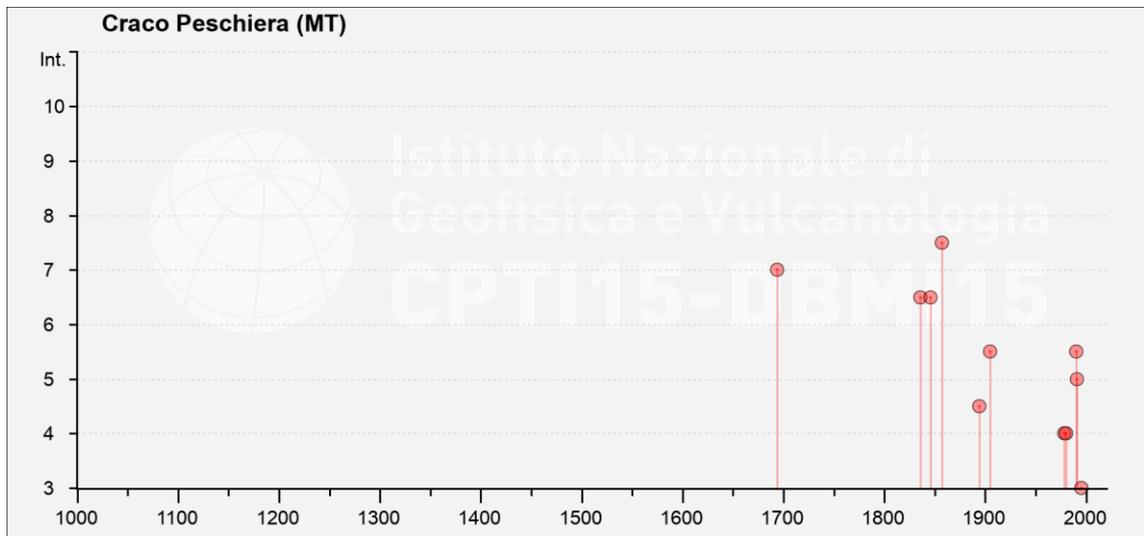
## 8.1 STORIA SISMICA DI CRACO

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v2.0

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

PlaceID							IT_63406
Coordinate (lat, lon)							40.377, 16.439
Comune (ISTAT 2015)							Craco
Provincia							Matera
Regione							Basilicata
3-4	2004 02 24 05 21 26.53	Appennino lucano	140	5	4.21		
5-6	2004 09 03 00 04 12.75	Potentino	156	5	4.41		
NF	2006 05 29 02 20 06.26	Gargano	384		4.64		



## 8.2 PERICOLOSITA' SISMICA

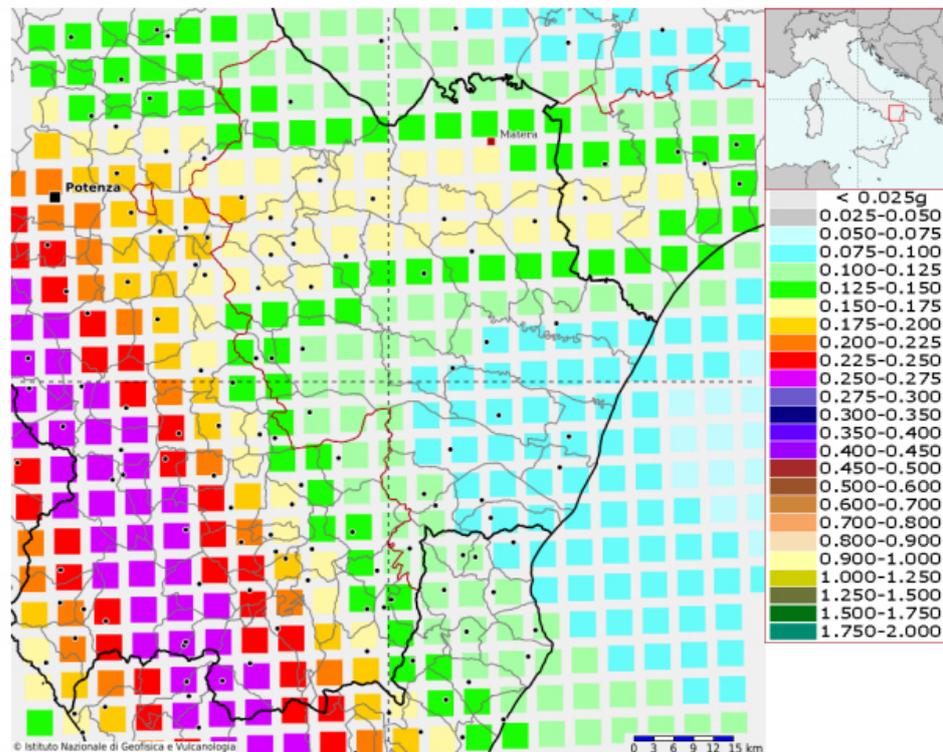
La pericolosità sismica di un territorio è rappresentata dalla frequenza e dalla forza dei terremoti che lo interessano, ovvero dalla sua sismicità.

Viene definita come la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (Pga) di nostro interesse. Per la determinazione dei valori della pericolosità sismica, il territorio nazionale è stato suddiviso in molteplici griglie aventi passo di 0.05°.

Nelle figure e nelle tabelle riprodotte le mappe e i parametri caratteristici dell'areale in cui si colloca il sedime di intervento con i valori di pericolosità sismica (dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

### Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)

Informazioni sul nodo con ID: 35231 - Latitudine: 40.348 - Longitudine: 16.376

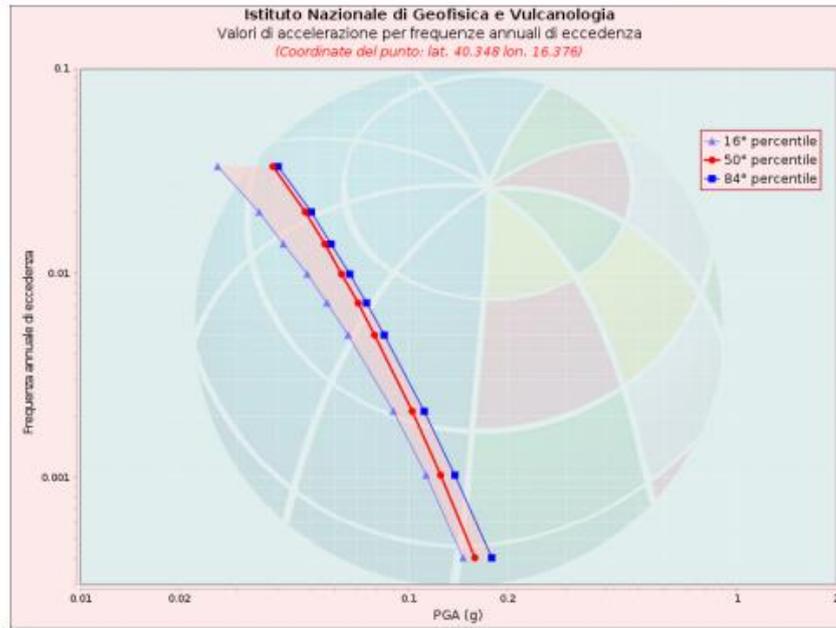


La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A,  $V_{s30} > 800$  m/s) e pianeggiante.

Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID **35231** (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

### Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

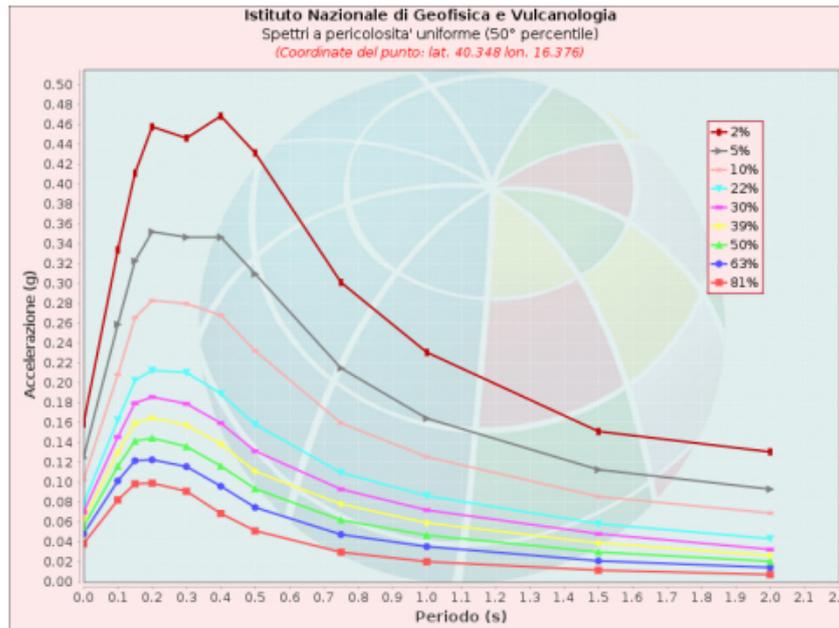


Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.146	0.159	0.179
0.0010	0.113	0.125	0.138
0.0021	0.090	0.103	0.112
0.0050	0.065	0.079	0.084
0.0071	0.056	0.070	0.074
0.0099	0.049	0.062	0.066
0.0139	0.042	0.056	0.058
0.0199	0.035	0.048	0.051
0.0332	0.026	0.039	0.040

**Spettri a pericolosità uniforme**

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.

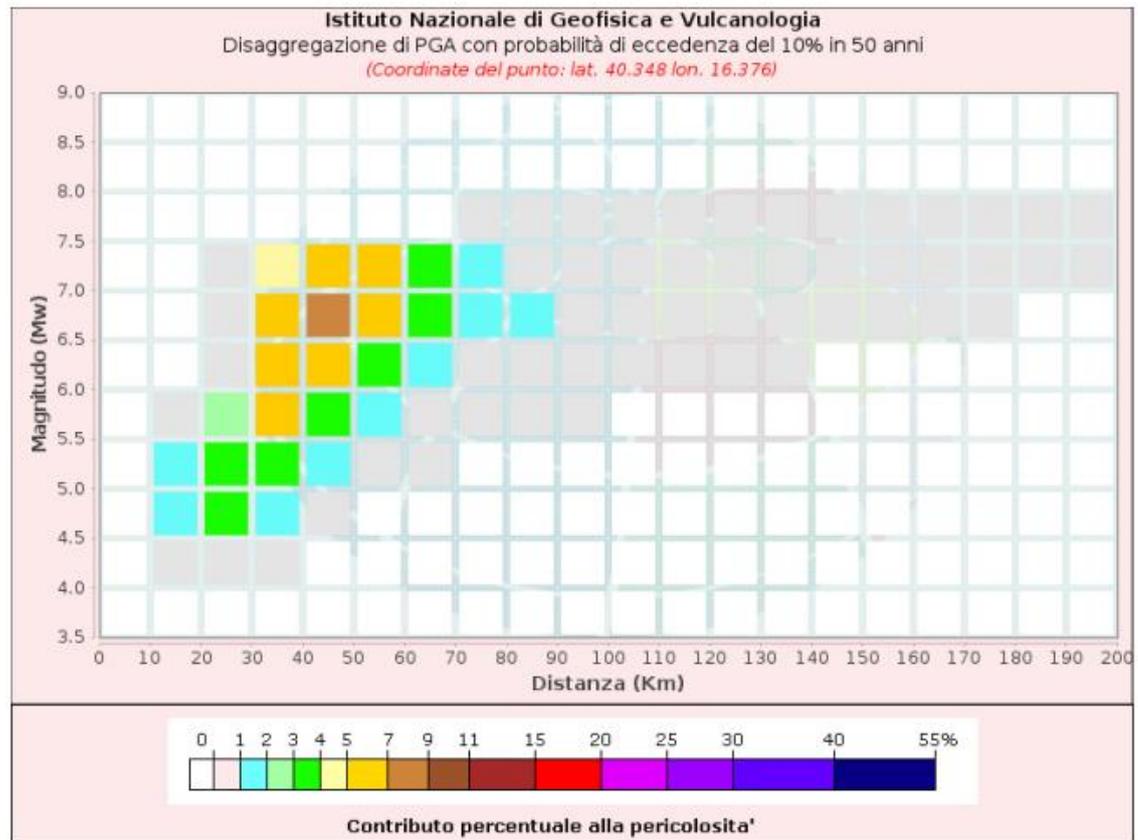


Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE	Accelerazione (g)										
in 50	Periodo (s)										
anni	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.159	0.334	0.411	0.458	0.446	0.469	0.432	0.301	0.231	0.152	0.131
5%	0.125	0.259	0.323	0.352	0.347	0.347	0.310	0.215	0.165	0.113	0.093
10%	0.103	0.209	0.266	0.283	0.280	0.268	0.233	0.160	0.126	0.086	0.069
22%	0.079	0.163	0.203	0.213	0.211	0.189	0.159	0.110	0.087	0.059	0.044
30%	0.070	0.146	0.180	0.186	0.179	0.160	0.132	0.093	0.072	0.049	0.033
39%	0.062	0.130	0.160	0.165	0.158	0.139	0.111	0.078	0.059	0.039	0.027
50%	0.056	0.117	0.142	0.145	0.136	0.117	0.094	0.062	0.047	0.030	0.021
63%	0.048	0.102	0.122	0.123	0.116	0.096	0.075	0.048	0.036	0.021	0.015
81%	0.039	0.083	0.099	0.099	0.091	0.069	0.052	0.030	0.021	0.012	0.008

### Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni											
Distanza in Km	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.5510	1.4800	1.2900	0.6690	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.8920	3.2600	3.7400	2.4300	0.2290	0.2410	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0377	1.2100	3.4600	5.0200	5.5500	6.5700	4.5000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0543	1.1800	3.1000	5.0700	7.1200	5.5600	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.2040	1.5800	3.5600	5.8900	5.1700	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0048	0.5100	1.7400	3.3500	3.0800	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1310	0.8380	1.7500	1.3900	0.1020	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0292	0.4970	1.1900	0.9430	0.1210	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.2630	0.8280	0.6690	0.0934	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1040	0.5140	0.4560	0.0669	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0258	0.2420	0.3040	0.0476	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0048	0.1180	0.2050	0.0343	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0550	0.1400	0.0249	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0243	0.0952	0.0180	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0086	0.0645	0.0132	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0414	0.0096	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0233	0.0061	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0132	0.0046	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0068	0.0033	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 6.34 ; distanza = 47.6 ; epsilon = 1.48

### **8.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SEDIME**

Tenendo conto delle caratteristiche geolitologiche dell'area indagata, l'indagine geognostica mediante sismica MASW, si rileva particolarmente utile poiché consente di indagare in dettaglio i primi 30 metri dal piano campagna e fornisce utili informazioni sullo spessore e sulla consistenza dei litotipi presenti.

La correlazione con le altre indagini (Prove Penetrometriche Dinamiche), eseguite nell'ambito della stessa area, consente inoltre di definire i rapporti di giacitura, ed i caratteri geotecnici di massima, degli stessi.

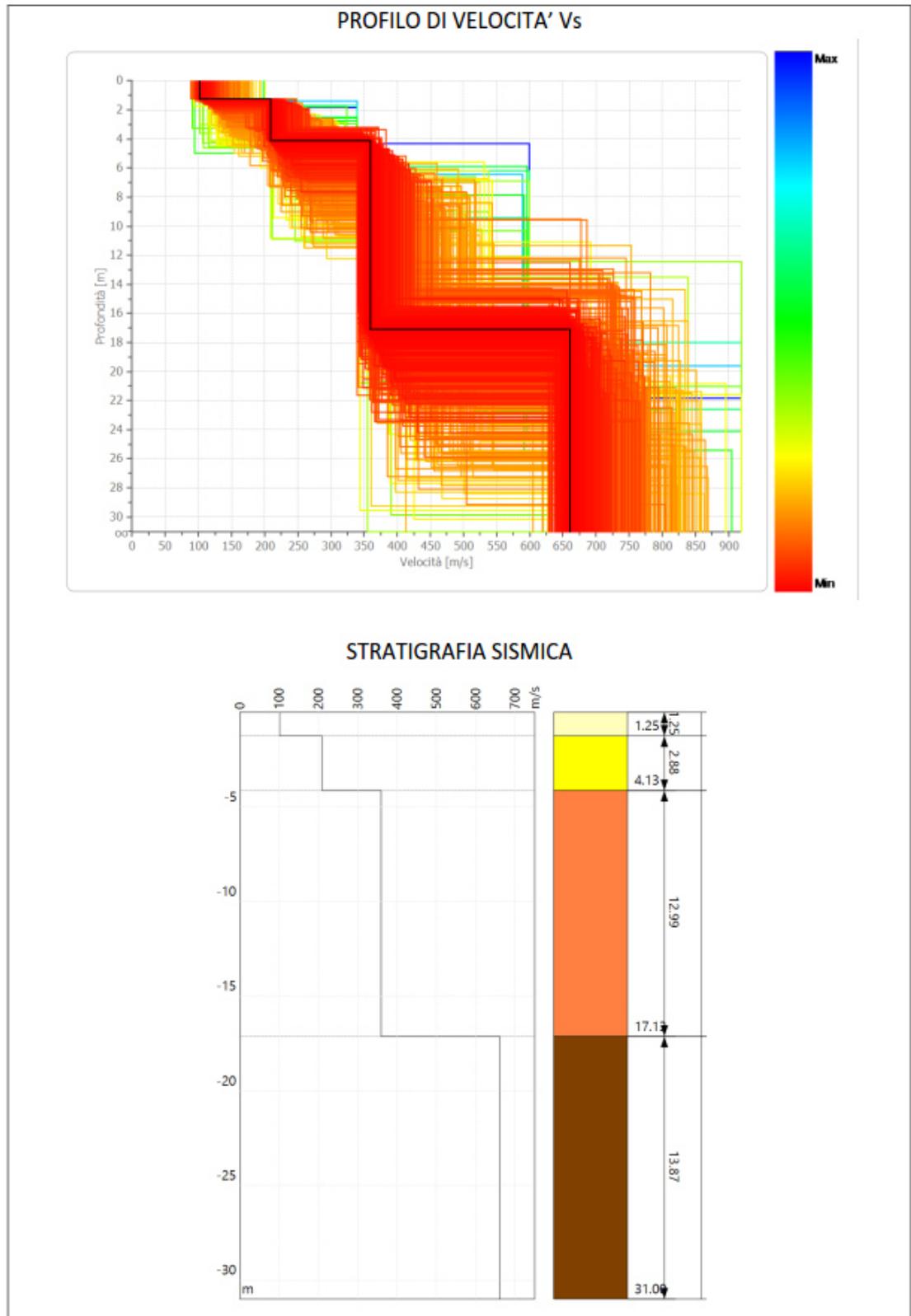
L'indagine MASW è resa necessaria in ottemperanza all'Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003 e del D.M. 17 Gennaio 2018, che attribuisce alle diverse località del Territorio Nazionale un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo e propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante la classificazione di cinque (A – B – C – D – E) categorie, sulla base della velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di terreno per determinare il  $V_s$ Eq.

Per tale ragione nel presente lavoro è stato applicato il metodo di prospezione sismica del tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) che attraverso lo studio delle Onde Superficiali registrate in campagna, permette di determinare la  $V_s$  nei primi 30 metri di profondità.

Le misure sismiche effettuate ed i parametri calcolati con la strumentazione utilizzata in questo lavoro, il "sismografo multicanale SoilSpy Rosina della Micromed", utilizzando tecniche di registrazione passive e attive, possono essere utilizzati nell'ambito della nuova normativa vigente in materia di costruzioni ("Nuove Norme tecniche per le costruzioni", D.M. 17 Gennaio 2018), anche per quanto riguarda le opere di fondazione, sostegno e scavo.

Di seguito sono riportate, foto, sismogramma e spettro di velocità, profilo verticale onde S.

In maniera riassuntiva si riportano di seguito le figure del sismostrato rilevato nell'area e la sua classificazione di suolo.



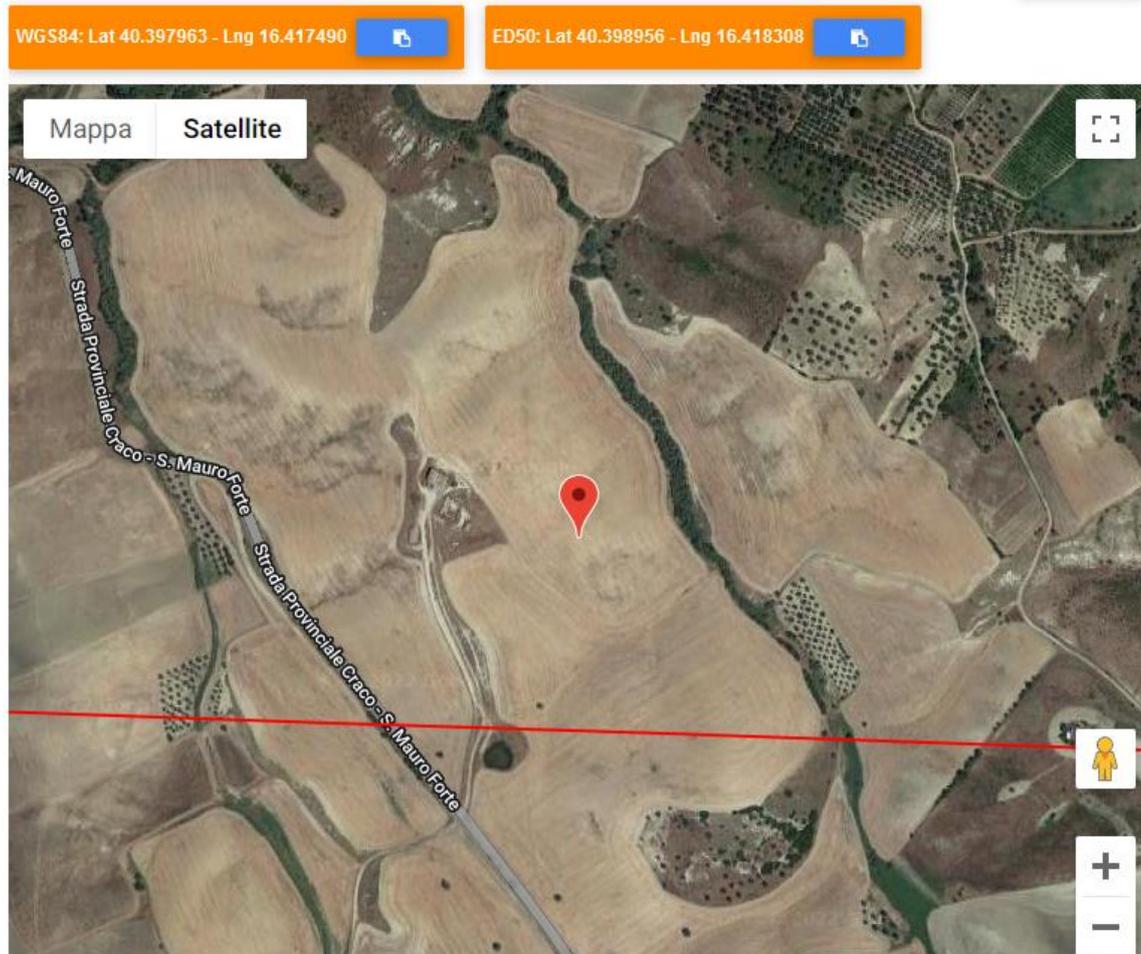
Il profilo di velocità delle onde di taglio risultante dall'indagine **MASW**, evidenzia la presenza di quattro unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche misurate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

- **primo sismostrato** costituito da terreno vegetale e primo sottosuolo alterato, con spessore medio di circa 1.25 m, Vs di 101 m/s, con medio-bassa rigidità sismica;
- **secondo sismostrato** mediamente addensato, con spessore medio di circa 2.88 m e Vs di 209 m/s, con media rigidità sismica;
- **terzo sismostrato** addensato, con spessore medio di circa 12.99 m e Vs di 359 m/s, con buona rigidità sismica;
- **i sismostrati sottostanti** sono caratterizzati da Vs superiori a **660 m/s**, alta rigidità sismica e non producono contrasti di impedenza sismica significativi.

Alla luce delle categorie previste dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. 17 gennaio 2018, e dalle misure effettuate in sito, i terreni di fondazione esaminati per la MASW, si collocano in categoria "**B**" descritta in normativa come: **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

### 8.3 PARAMETRI SISMICI

Sulla base delle (NTC 2018) di cui al DECRETO 17 gennaio 2018 "Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni" (GU n. 42 del 20-03-2018- Suppl. Ordinario), l'area in questione risulta caratterizzata dai seguenti parametri di risposta sismica locale:



Sito in esame.

WGS84	latitudine:	40.397963	longitudine:	16.417490
ED50	latitudine:	40.398956	longitudine:	16.418308

## Stati limite



Classe Edificio

I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

**CU = 0.7**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.039	2.442	0.283
Danno (SLD)	35	0.042	2.441	0.294
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.098	2.570	0.410
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.123	2.614	0.432
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

## Coefficienti sismici

 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni 

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

 H (m)  us (m)

1 0.1

 Cat. Sottosuolo B 

 Cat. Topografica T1 

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,31	1,30
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]  0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.009	0.010	0.023	0.035
kv	0.005	0.005	0.012	0.018
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.456	0.490	1.151	1.442
Beta	0.200	0.200	0.200	0.240

Committente  
Beta Gemini S.r.l  
Via Mercato, 3  
20121 Milano  
C.F. P.Iva 12299770961

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA  
Geol. Antonio DIBIASE  
P.zza Padre Prosperino Gallipoli, 9  
75024 Montescaglioso (MT)  
[antodibi71@gmail.com](mailto:antodibi71@gmail.com)

---

**INDAGINI SISMICHE MASW**

**INDAGINE PENETROMETRICA DINAMICA**

## 1 - PREMESSA

Nel sito oggetto di studio, in merito al progetto in oggetto, è stata eseguita una campagna d'indagini geofisiche dalla ditta ***Geological & Geophysical Investigation Service del Dott. Geologo Potenza Galileo Via dei Gerani, 59/B - 85100 - Potenza - (PZ)***.

La presente relazione di indagini indirette relaziona sulle opportune e puntuali indagini sismiche e geotecniche effettuate in sito, al fine di determinare le caratteristiche sismiche di sito e fisicomeccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo dei diversi punti investigati.

Allo scopo di localizzare le aree più significative e successivamente:

- verificare eterogeneità significative (variazioni litostratigrafiche);
- caratterizzare i principali parametri geologico-sismici di sito ove sia richiesta una elevata risoluzione e precisione spaziale;
- determinare i principali parametri geotecnici delle litologie incontrate;

nel sito oggetto di studio si è proceduto ad analisi e confronti di inversioni con metodi di array sismico e prove penetrometriche dinamiche continue mediante l'acquisizione di:

- **N. 1** stendimenti sismici MASW, per la determinazione della curva di dispersione Multichannel Analysis of Surface Waves metodologia che consente di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh e Love;
- **N. 1** Prove penetrometriche dinamica continua eseguita con penetrometro provvisto di massa battente 63.5 kg., corredato di dispositivo per lo sganciamento automatico, con altezza di caduta pari a cm 75, realizzate con le prescrizioni e gli oneri di cui alle "Modalità tecnologiche" e "Norme di misurazione ANISIG" e restituzione dei risultati e degli elaborati grafici e del rapporto esplicativo.

Le misure geognostiche effettuate ed i parametri calcolati con la strumentazione utilizzata in questo lavoro, il "Sismografo multicanale digitale SoilSpy Rosina e penetrometro DPSH TG 63-200 PAGANI", utilizzando tecniche di registrazione passive e attive, possono essere utilizzati nell'ambito della nuova normativa vigente in materia di costruzioni ("Nuove Norme tecniche per le costruzioni", **D.M. 17 gennaio 2018**), anche per quanto riguarda le opere di fondazione, sostegno e scavo.

Per la caratterizzazione di tutti gli elementi utili alla esatta interpretazione dei requisiti **sismo-stratigrafici** e di **amplificazione** di sito, si è proceduto ad una campagna di indagini che ha consentito, attraverso la correlazione dei diversi dati, di limitare il numero di incertezze e di delineare un modello di sottosuolo affidabile.

REPORT FOTOGRAFICO MASW



MASW 1 (testa)



MASW 1 (fine)

REPORT FOTOGRAFICO DPSH



DPSH 1



DPSH 1

## 2 - PROSPEZIONE SISMICA MASW (generalità)

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione.

La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### **Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

### 3 - DESCRIZIONE DELLE PROVE GEOFISICHE IN SITO

Nel sito oggetto di studio, sono stati realizzati tre stendimenti multicanale con strumentazione SoiSpy Rosina 25 canali, effettuato distanziando i geofoni di 5.00 m l'uno dall'altro e con geometria a lineare. Sugli stendimenti sono state effettuate prove di sismica attiva di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), utilizzando geofoni per la misurazione delle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ). Le prospezioni, denominate rispettivamente MASW 1, MASW 2 e MASW 3, della lunga 60.00 m, sono state posizionate in campo in direzione circa N – S, la prima, N – S la seconda e SO – NE la terza (vedi Planimetria indagini allegata). Per la tecnica MASW, gli scoppi, sono stati ottenuti mediante percussione con mazza da 5 Kg verticalmente, direttamente sul terreno, per enfatizzare il moto fondamentale di vibrazione ed attenuare i modi superiori. Gli scoppi sono stati posizionati in testa allo stendimento a circa 5 m dal geofono n° 1.

La metodologia MASW consente di ottenere un modello verticale delle  $V_s$ , a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh e Love contenute nel segnale provocato dalle energizzazioni.

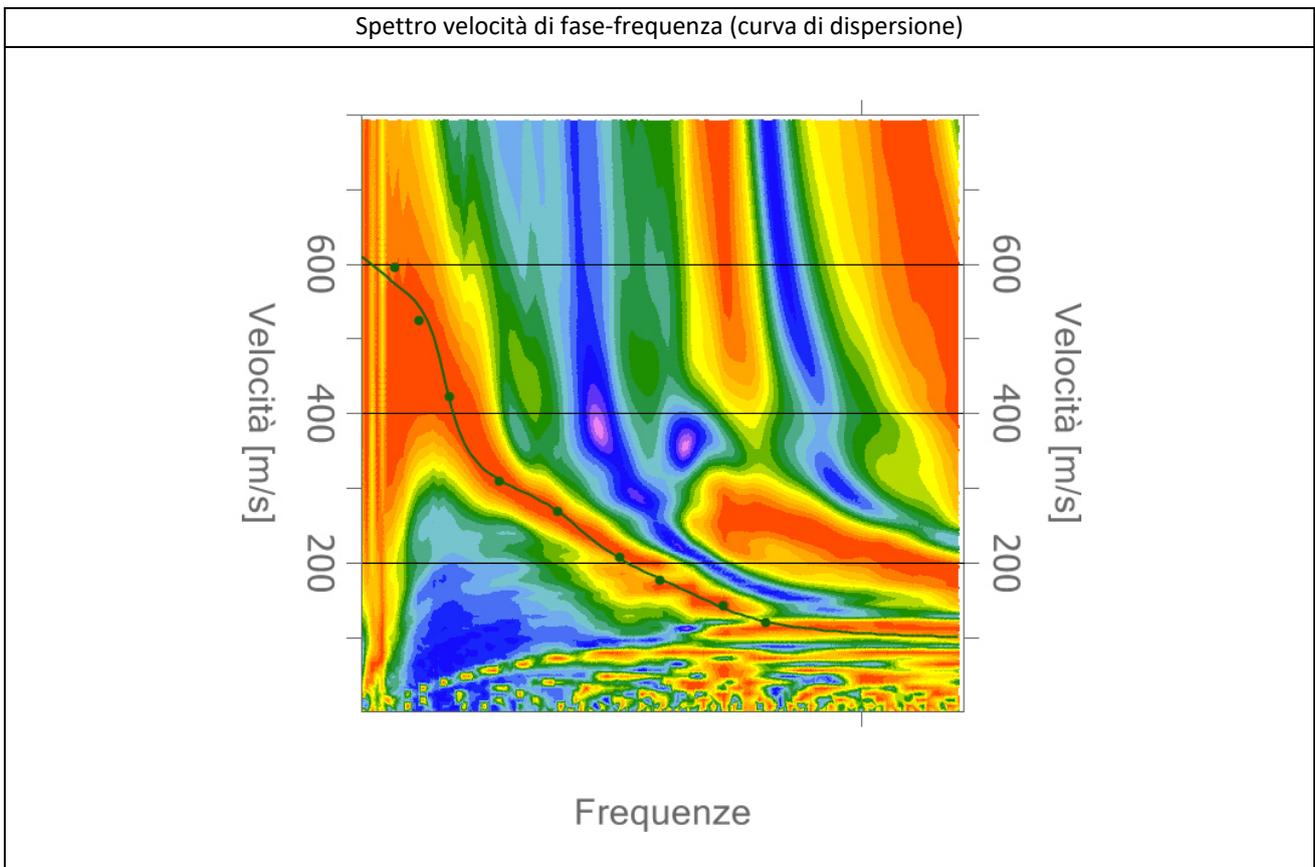
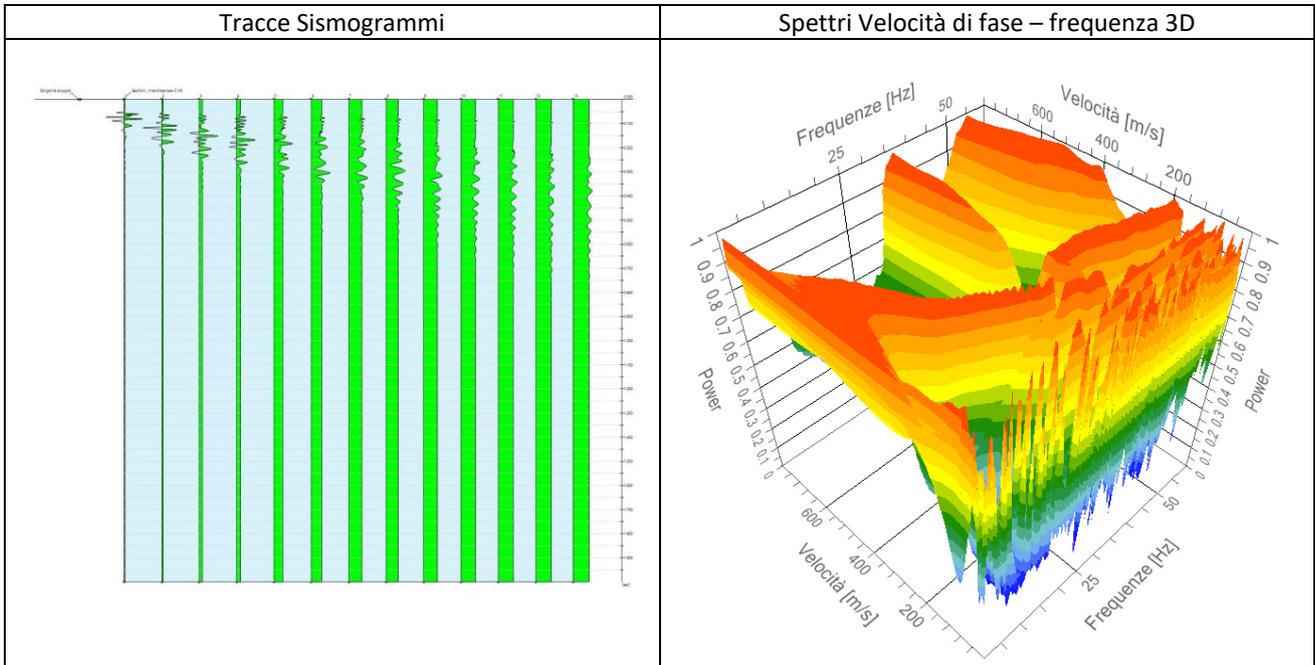
Dal segnale registrato sono stati ricavati i grafici di dispersione frequenziale relativi ad ogni Staking, ed il piking è stato eseguito manualmente al centro della curva di dispersione.

Le curve di dispersione, ottenute mediante le procedure sopra citate, sono state invertite creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e Love nel modo fondamentale e nei modi superiori, in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alla curva sperimentale.

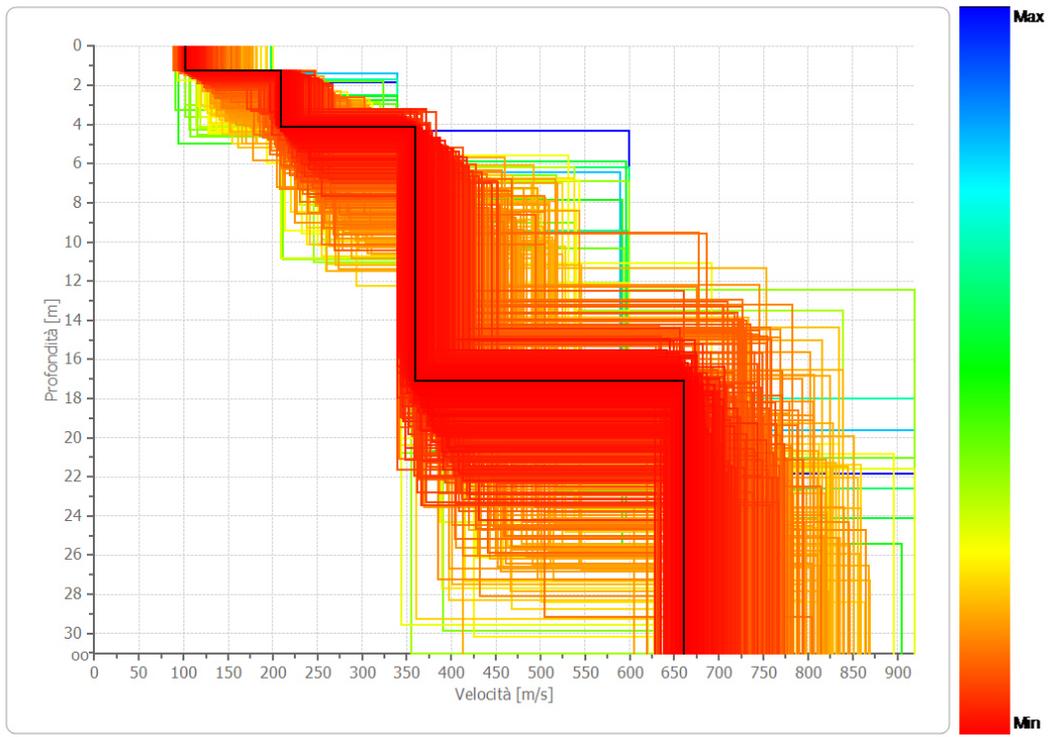
3.1 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 1

Durata registrazione: 0h00'02". Freq. campionamento: 1024 Hz

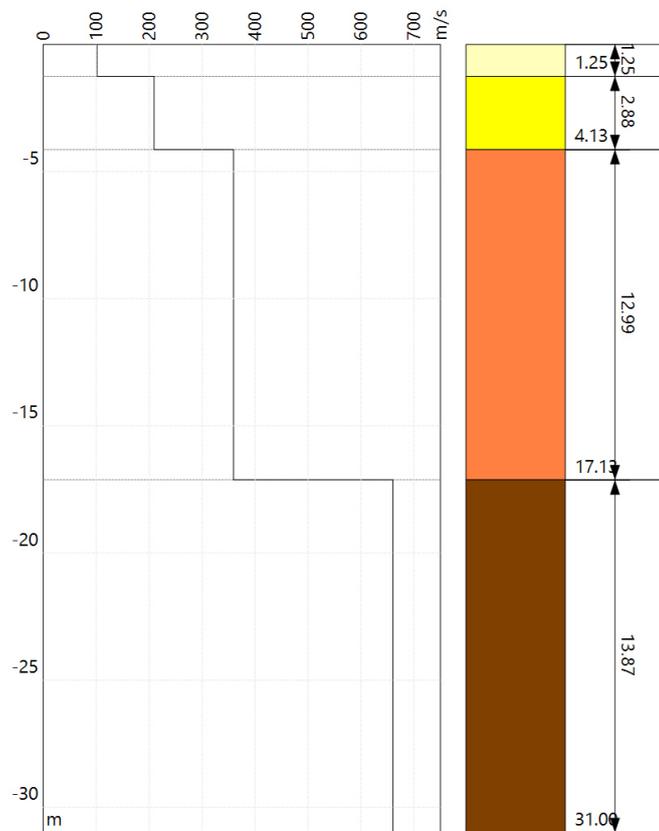
Array geometry (x): 0.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 55.0 60.0 m.



PROFILO DI VELOCITA' Vs



STRATIGRAFIA SISMICA



RISULTATI	
Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	367
Categoria del suolo	B

**Suolo di tipo B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

#### Altri parametri geotecnici empirici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.25	1.25	101	336	1800	0.45	18	204	179	53
2	4.13	2.88	209	639	1900	0.44	83	776	665	239
3	17.13	12.99	359	1025	2000	0.43	258	2102	1758	738
4	oo	oo	660	1617	2100	0.40	916	5497	4275	2565

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

## 4 – VALUTAZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE

Il profilo di velocità delle onde di taglio risultante dall'indagine **MASW 1**, evidenzia la presenza di quattro unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche misurate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

- **primo sismostrato** costituito da terreno vegetale e primo sottosuolo alterato, con spessore medio di circa 1.25 m, Vs di **101 m/s**, con medio-bassa rigidità sismica;
- **secondo sismostrato** mediamente addensato, con spessore medio di circa 2.88 m e Vs di **209 m/s**, con media rigidità sismica;
- **terzo sismostrato** addensato, con spessore medio di circa 12.99 m e Vs di **359 m/s**, con buona rigidità sismica;
- **i sismostrati sottostanti** sono caratterizzati da Vs superiori a **660 m/s**, alta rigidità sismica e non producono contrasti di impedenza sismica significativi.

La classificazione del terreno di fondazione viene effettuata sulla base del valore di  $V_{s,eq}$  valutato dalla seguente espressione:

con:

$h_i$  = spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Il modello di  $V_{s,eq}$  ci dà informazioni riguardanti gli spessori e le velocità dei singoli sismostrati, per definire l'azione sismica di progetto e la categoria del terreno di fondazione del sito oggetto di studio.

In materia di microzonazione sismica, nel sito oggetto di studio è stato determinato con le metodologie sopra citate il valore di  $V_{s,eq}$ , partendo dal piano campagna, che risulta essere di **367 m/s** dato che conferma l'appartenenza del sottosuolo alla categoria **B**.

Alla luce delle categorie previste dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. 17 gennaio 2018, e dalle misure effettuate in sito, i terreni di fondazione esaminati per la MASW 1, si collocano in categoria **"B"** descritta in normativa come: *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.*



Del Dott. Geol. Galileo Potenza



5 – PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE DPSH

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING) DPSH – DPM

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

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

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

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

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

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

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

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

#### penetrometri in uso in Italia

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

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono  $A = 10 \text{ cm}^2$  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  $A = 10 \text{ cm}^2$  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  $A = 20.27 \text{ cm}^2$  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  $A = 20 \text{ cm}^2$ , rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### Correlazione cvon N<sub>spt</sub>

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

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

- M peso massa battente.
- M' peso aste.
- Haltezza di caduta.
- Aarea base punta conica.
- δ passo di avanzamento.

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

Formula Olandesi

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

- Rpd resistenza dinamica punta (area A).
- e infissione media per colpo (e/N).
- M peso massa battente (altezza caduta H).
- P peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>

(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

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

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

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

- $C_S$       parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
- $C_D$       funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
- $C_r$       parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

### **Metodologia di Elaborazione.**

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

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

### **Valutazioni statistiche e correlazioni**

#### **Elaborazione Statistica**

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

#### **Media**

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

#### **Media minima**

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

#### **Massimo**

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

**Minimo**

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

**Scarto quadratico medio**

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

**Media deviata**

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

**Media (+ s)**

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

**Media (- s)**

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

**Distribuzione normale R.C.**

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

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

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

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

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

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

dove n è il numero di letture.

**Pressione ammissibile**

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

**Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

**Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{SPT}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta

possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

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

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

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

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

**Angolo di Attrito**

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

**Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $D_r$  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  $D_r$  % 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  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

**Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

**Modulo Edometrico**

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

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

**Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

**Peso di Volume**

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

**Peso di volume saturo**

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

**Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

**Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)**

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\bar{\sigma}$  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/s)**

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

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

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

**Modulo di reazione (Ko)**

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

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

- Robertson (1983) - Qc

**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).  $C_u$  (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 , ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .

- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

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

- Robertson (1983) -  $Q_c$

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

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

**Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- 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**

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

**Peso di volume saturo**

- Meyerhof ed altri.

5.1 Elaborazione Prova penetrometrica DPSH 1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data  
 Profondità prova 7,00 mt  
 Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	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> )
0.20	1	0.855	8.31	9.72	0.42	0.49
0.40	10	0.851	82.68	97.18	4.13	4.86
0.60	10	0.847	82.31	97.18	4.12	4.86
0.80	10	0.843	81.95	97.18	4.10	4.86
1.00	13	0.790	92.30	116.87	4.61	5.84
1.20	13	0.786	91.89	116.87	4.59	5.84
1.40	13	0.783	91.49	116.87	4.57	5.84
1.60	13	0.780	91.10	116.87	4.56	5.84
1.80	13	0.776	90.73	116.87	4.54	5.84
2.00	12	0.823	82.61	100.36	4.13	5.02
2.20	10	0.820	68.59	83.63	3.43	4.18
2.40	10	0.817	68.34	83.63	3.42	4.18
2.60	9	0.814	61.29	75.27	3.06	3.76
2.80	6	0.811	40.72	50.18	2.04	2.51
3.00	7	0.809	44.26	54.73	2.21	2.74
3.20	7	0.806	44.11	54.73	2.21	2.74
3.40	6	0.803	37.69	46.91	1.88	2.35
3.60	6	0.801	37.57	46.91	1.88	2.35
3.80	6	0.798	37.45	46.91	1.87	2.35
4.00	6	0.796	35.06	44.04	1.75	2.20
4.20	9	0.794	52.43	66.06	2.62	3.30
4.40	9	0.791	52.28	66.06	2.61	3.30
4.60	11	0.789	63.73	80.74	3.19	4.04
4.80	11	0.787	63.55	80.74	3.18	4.04
5.00	12	0.785	65.16	83.01	3.26	4.15
5.20	12	0.783	64.99	83.01	3.25	4.15
5.40	12	0.781	64.83	83.01	3.24	4.15
5.60	15	0.729	75.65	103.76	3.78	5.19
5.80	15	0.727	75.46	103.76	3.77	5.19
6.00	16	0.725	75.92	104.64	3.80	5.23
6.20	18	0.724	85.20	117.72	4.26	5.89
6.40	21	0.672	92.30	137.34	4.61	6.87
6.60	23	0.670	100.84	150.42	5.04	7.52
6.80	24	0.669	104.97	156.96	5.25	7.85
7.00	30	0.667	124.14	186.07	6.21	9.30

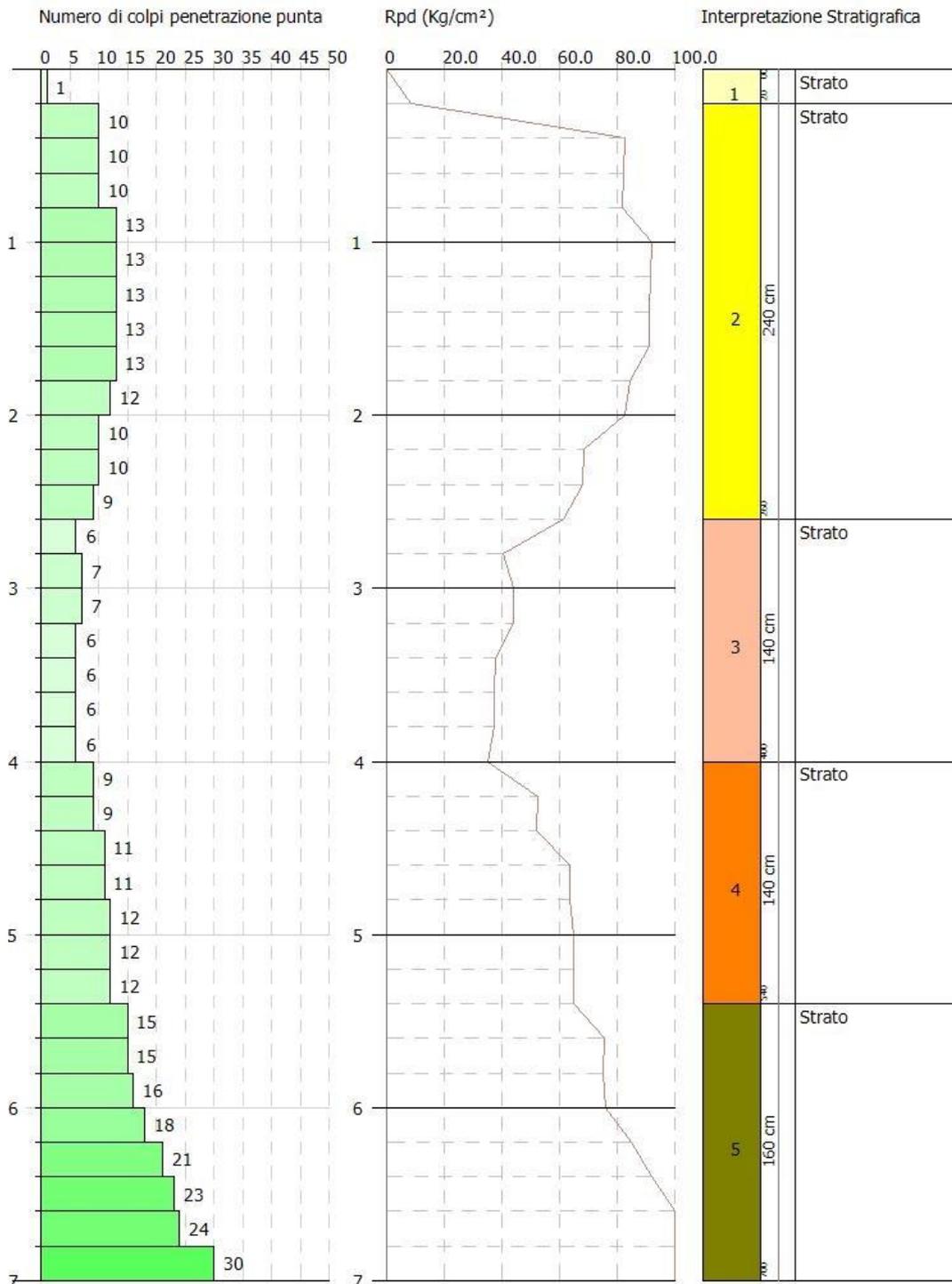
GRAFICO PROVA PENETROMETRICA DPSH1

G.& G.I.S. del dott. Geol. Galileo Potenza

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente:  
Descrizione:  
Localita':

Scala 1:33



Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.2	1	9.72	Incoerente - coesivo	0	1.52	1.85	0.02	1.5	1.5	Strato
2.6	11.33	101.56	Incoerente - coesivo	0	2.08	2.29	0.28	1.5	17.04	Strato
4	6.29	49.2	Incoerente - coesivo	0	1.95	2.14	0.67	1.5	9.46	Strato
5.4	10.86	77.52	Incoerente - coesivo	0	2.08	2.29	0.95	1.5	16.33	Strato
7	20.25	132.59	Incoerente - coesivo	0	2.17	2.39	1.27	1.5	30.46	Strato

### 5.2.1 - Stima parametri geotecnici prova DPSH 2

#### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D. M.S. M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vanelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Bege mann	De Beer
[1] - Strato	1.5	0.20	0.09	0.19	0.00	0.06	0.14	0.29	0.14	0.55	0.08	0.25	0.19
[2] - Strato	17.04	2.60	1.15	2.13	0.00	0.67	1.68	3.05	1.46	1.81	0.85	2.66	2.13
[3] - Strato	9.46	4.00	0.64	1.18	0.00	0.38	0.93	1.48	0.84	1.16	0.47	1.13	1.18
[4] - Strato	16.33	5.40	1.10	2.04	0.00	0.64	1.61	2.33	1.41	1.74	0.82	2.11	2.04
[5] - Strato	30.46	7.00	2.06	3.81	0.00	1.14	3.03	3.98	2.47	3.14	1.52	4.35	3.81

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Strato	1.5	0.20	Robertson (1983)	3.00
[2] - Strato	17.04	2.60	Robertson (1983)	34.08
[3] - Strato	9.46	4.00	Robertson (1983)	18.92
[4] - Strato	16.33	5.40	Robertson (1983)	32.66
[5] - Strato	30.46	7.00	Robertson (1983)	60.92

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman- Sanglerat
[1] - Strato	1.5	0.20	6.88	22.50	17.09	18.75
[2] - Strato	17.04	2.60	78.18	--	175.59	170.40
[3] - Strato	9.46	4.00	43.40	--	98.28	118.25
[4] - Strato	16.33	5.40	74.92	--	168.35	163.30
[5] - Strato	30.46	7.00	139.75	--	312.47	304.60

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Strato	1.5	0.20	-3.15	15.00
[2] - Strato	17.04	2.60	175.56	170.40
[3] - Strato	9.46	4.00	88.39	94.60
[4] - Strato	16.33	5.40	167.40	163.30
[5] - Strato	30.46	7.00	329.89	304.60

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Strato	1.5	0.20	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
[2] - Strato	17.04	2.60	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[3] - Strato	9.46	4.00	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[4] - Strato	16.33	5.40	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[5] - Strato	30.46	7.00	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
--	------	---------------------	--------------	---

RELAZIONE INDAGINI

[1] - Strato	1.5	0.20	Meyerhof	1.52
[2] - Strato	17.04	2.60	Meyerhof	2.08
[3] - Strato	9.46	4.00	Meyerhof	1.95
[4] - Strato	16.33	5.40	Meyerhof	2.08
[5] - Strato	30.46	7.00	Meyerhof	2.17

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Strato	1.5	0.20	Meyerhof	1.85
[2] - Strato	17.04	2.60	Meyerhof	2.29
[3] - Strato	9.46	4.00	Meyerhof	2.14
[4] - Strato	16.33	5.40	Meyerhof	2.29
[5] - Strato	30.46	7.00	Meyerhof	2.39

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Strato	1.5	0.20	Ohta & Goto (1978) Limi	47.05
[2] - Strato	17.04	2.60	Ohta & Goto (1978) Limi	119.23
[3] - Strato	9.46	4.00	Ohta & Goto (1978) Limi	127.06
[4] - Strato	16.33	5.40	Ohta & Goto (1978) Limi	149.51
[5] - Strato	30.46	7.00	Ohta & Goto (1978) Limi	175.69

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Strato	1.5	0.20	6.37	30.41	62.22	10.89
[2] - Strato	17.04	2.60	47.11	87.57	92.66	46.57
[3] - Strato	9.46	4.00	27.81	55.26	55.73	31.79
[4] - Strato	16.33	5.40	35.24	66.1	65.96	45.37
[5] - Strato	30.46	7.00	45.22	82.63	82.35	63.97

Angolo di resistenza al taglio

RELAZIONE INDAGINI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerohof 1956	Meyerohof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerohof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioini 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	27.43	20.43	28.42	34.75	30.15	0	<30	19.74	27.45	20.48	20.48
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	31.87	24.87	32.77	32.36	36.15	40.26	30-32	30.99	32.11	28.69	33.46
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	29.7	22.7	30.65	29.52	33.46	0	<30	26.91	29.84	24.99	28.75
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	31.67	24.67	32.57	29.64	35.92	37.25	30-32	30.65	31.9	25.99	33.07
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	35.7	28.7	36.53	30.02	39.77	39.57	32-35	36.38	36.14	27.14	39.68

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	---	12.00	---	---	---
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	294.65	136.32	201.77	307.80	160.20
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	---	75.68	112.33	---	---
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	288.45	130.64	193.39	302.48	156.65
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	393.94	243.68	360.13	408.45	227.30

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

RELAZIONE INDAGINI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	---	30.55	10.65	44.69
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	102.24	62.47	120.98	114.00
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	---	46.90	67.17	80.19
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	97.98	61.01	115.94	110.83
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	182.76	90.03	216.27	173.85

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	Terzaghi-Peck 1948	1.36
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	Terzaghi-Peck 1948	1.56
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	Terzaghi-Peck 1948	1.47
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	Terzaghi-Peck 1948	1.55
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	Terzaghi-Peck 1948	1.70

Peso unita' di volume saturo

RELAZIONE INDAGINI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	Terzaghi-Peck 1948	1.85
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	Terzaghi-Peck 1948	1.97
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	Terzaghi-Peck 1948	1.92
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	Terzaghi-Peck 1948	1.97
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	Terzaghi-Peck 1948	2.06

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	(A.G.I.)	0.35
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	(A.G.I.)	0.32
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	(A.G.I.)	0.34
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	(A.G.I.)	0.32
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	(A.G.I.)	0.29

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	95.16	160.14
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	934.32	706.87
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	537.34	493.38
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	897.68	688.72
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	1612.94	1008.02

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	Ohta & Goto (1978) Limi	47.05
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	Ohta & Goto (1978) Limi	119.23
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	Ohta & Goto (1978) Limi	127.06

RELAZIONE INDAGINI

[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	Ohta & Goto (1978) Limi	149.51
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	Ohta & Goto (1978) Limi	175.69

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	Seed e Idriss (1971)	--
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	Seed e Idriss (1971)	--
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	Navfac 1971- 1982	0.15
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	Navfac 1971- 1982	3.51
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	Navfac 1971- 1982	1.99
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	Navfac 1971- 1982	3.38
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	Navfac 1971- 1982	5.67

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Strato	1.5	0.20	1.5	Robertson 1983	3.00
[2] - Strato	17.04	2.60	17.04	Robertson 1983	34.08
[3] - Strato	9.46	4.00	9.46	Robertson 1983	18.92
[4] - Strato	16.33	5.40	16.33	Robertson 1983	32.66
[5] - Strato	30.46	7.00	30.46	Robertson 1983	60.92



Del Dott. Geol. Galileo Potenza



## 9. CONSIDERAZIONI TECNICHE SULLE LAVORAZIONI E ANALISI DELLE INTERAZIONI CON IL SUBSTRATO

Le lavorazioni previste in progetto consistono essenzialmente nel posizionamento su terreno di pannelli fotovoltaici supportati da moduli metallici, pertanto non prevedono in alcun modo sbancamenti o importanti movimentazioni di terreno che determinino variazioni della morfologia dei luoghi.

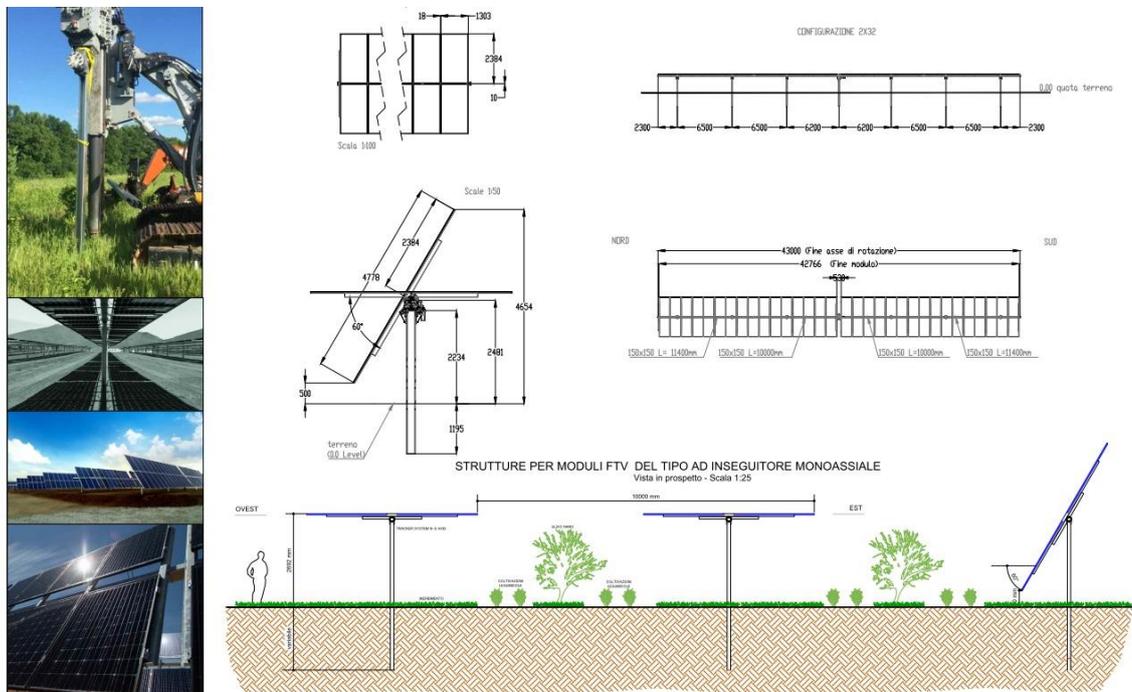


Fig. 10.1 immagini esemplificativa dei moduli di montaggio dell'impianto di progetto

Gli unici scavi che risulteranno necessari saranno quelli utili al posizionamento dei cavidotti.

Alla luce di queste considerazioni si evince che le lavorazioni previste non si ripercuotono in alcun modo sulla stabilità generale dei versanti e non modificano assolutamente l'attuale distribuzione delle acque meteoriche salvo considerare la necessità di dotare gli impianti di opportuni fossi di guardia opportunamente scaricati nei canali naturali adiacenti.

## 10. CONCLUSIONI

Con il presente studio, sono state verificate le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e di stabilità generale dei terreni caratterizzanti un'area sita in agro di Craco (Matera), su cui è previsto UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI POTENZA NOMINALE PARI A 20.00 KW.

Lo studio è quindi finalizzato alla definizione delle implicazioni che le lavorazioni che si intendono realizzare avranno rispetto all'equilibrio generale dell'area su cui si esse si svilupperanno.

Sulla base di quanto riportato ai paragrafi precedenti, si evince quanto segue:

- I terreni caratterizzanti il substrato del sedime di interesse si caratterizzano essenzialmente per litologia prevalentemente psammitica, dotata di buone caratteristiche reologiche
- Le morfologie, risultano abbastanza dolci e regolari e non denotano situazioni tali da far presupporre la presenza di dissesti in atto o potenziali.
- Le lavorazioni previste in progetto consistono essenzialmente nel posizionamento su terreno di pannelli fotovoltaici supportati da moduli metallici, pertanto non prevedono in alcun modo sbancamenti o importanti movimentazioni di terreno che determinino variazioni della morfologia dei luoghi.

**Pertanto, alla luce di queste considerazioni e sulla scorta di quanto detto in precedenza, si ritiene che il sito sia idoneo a garantire la fattibilità di quanto previsto nel progetto** purché le opere siano realizzate tenendo conto della caratteristiche fisico meccaniche dei terreni interessati così come indicati nell' apposito capitolo precedentemente esposto e si provveda alla realizzazione di opportuni fossi di guardia a protezione degli impianti di progetto e alla sistemazione dei fossi interferenti con gli stessi attraverso il rivestimento dei canali di scolo con pietrame, o mediante altra soluzione capace di abbattere la capacità erosiva delle acque incanalate che potrebbe determinare danni all'impiantistica di progetto.

Si consiglia altresì di prevedere, in corrispondenza dei corpi di frana individuati, pur se sostanzialmente stabili al momento, sistemi di drenaggio superficiale opportunamente dimensionati, finalizzati ad evitare incrementi di pressioni interstiziali dovuti ai processi di

Committente  
Beta Gemini S.r.l  
Via Mercato, 3  
20121 Milano  
C.F. P.Iva 12299770961

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA  
Geol. Antonio DIBIASE  
P.zza Padre Prosperino Gallipoli, 9  
75024 Montescaglioso (MT)  
[antodibi71@gmail.com](mailto:antodibi71@gmail.com)

---

imbibizione che comunque sono possibili, e che potrebbero determinare variazioni reologiche degli ammassi con conseguenti inneschi di situazioni di disequilibrio.

Montescaglioso, giugno 2022

Il geologo

Dott. Antonio Dibiase



# BIBLIOGRAFIA

- Carta geologica 1:50.000 - F° 507 – Pisticci (Servizio Geologico d'Italia, 2005-2006 )
- Note illustrative della Carta geologica 1:50.000 - F° 507 – Pisticci (Servizio Geologico d'Italia, 2005-2006 )
- Note illustrative della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 F° 201 Matera (Servizio Geologico d'Italia, 1971
- Manuale d'uso software SSAP 4.9.8 - Slope Stability Analysis Program (2018)  
WWW.SSAP.EU - Build No. 10520 – BY Dr. Geol. LORENZO BORSELLI

# SOMMARIO

1. PREMESSA .....	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	4
3. STRATIGRAFIA GENERALE .....	8
<b>3.1 Argille e sabbie di Craco</b> .....	10
<b>3.2 Argille marnosa del Torrente Sauro</b> .....	11
<b>3.3 Sedimenti continentali e terrazzi marini</b> .....	12
<b>3.4 Alluvioni recenti</b> .....	12
<b>3.5 Alluvioni attuali</b> .....	12
4. GEOMORFOLOGIA GENERALE.....	13
5. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA DELL'AREA ..	16
6. IDROLOGIA ED IDROGEOLOGICI.....	18
<b>6.1 Considerazioni sull'idrografia della zona</b> .....	18
<b>6.2 Considerazioni sull'Idrogeologia della zona</b> .....	22
7. MODELLO GEOLOGICO DELL'AREALE DI SEDIME .....	24
8. SISMICITA' DELL'AREA.....	27
<b>8.1 STORIA SISMICA DI CRACO</b> .....	31
<b>8.2 PERICOLOSITA' SISMICA</b> .....	33
<b>8.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SEDIME</b> .....	38
<b>8.3 PARAMETRI SISMICI</b> .....	41
9. CONSIDERAZIONI TECNICHE SULLE LAVORAZIONI E ANALISI DELLE INTERAZIONI CON IL SUBSTRATO .....	45
10. CONCLUSIONI .....	46