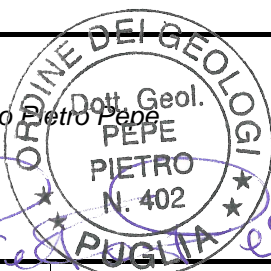



COMUNE DI BRINDISI



Realizzazione di un impianto Agrovoltaico della potenza in DC di 19,109 MW e AC di 16,128 MW, denominato "SICILIA", in località Specchia nel comune di Brindisi e delle relative opere di connessione alla Rete di Trasmissione dell'energia elettrica Nazionale (RTN), nell'ambito del procedimento P.U.A. ai sensi dell'art. 27 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.

ELABORATO: Relazione geologica NOME DOCUMENTO: SIC_12_Relazione geologica	Relazione geologica del progetto definitivo	DATA: Settembre 2021
		POTENZA DC 19,109 MW POTENZA AC 16,128 MW
		SCALA :

TIMBRO E FIRMA	TECNICO: Dr. Geologo <i>Pietro Pepe</i> 	SVILUPPATORE  enne. pi. studio s.r.l. 70132 Bari - Lungomare IX Maggio, 38 Tel. + 39.080.5346068 e-mail: pietro.novielli@ennepistudio.it
----------------	---	---

02					
01					
00		Prima emissione	Dr. Pietro Pepe	Dr. Pietro Pepe	SICILIA SRL
N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO



SICILIA SRL

PEC: sicilia_srl@pec.it T: +39 02 45440820

SOMMARIO

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI	1
1 PREMESSA	0
2 INQUADRAMENTO DELL'AREA	1
2.1 ANALISI DELLA VINCOLISTICA.....	2
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	2
2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E TETTONICO	5
2.4 PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) - AUTORITÀ DI BACINO DELLA PUGLIA	7
2.5 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO.....	7
2.6 CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DEI TERRENI	9
3 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE	10
4 PROVE PENETROMETRICHE	10
4.1.1 <i>Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH</i>	10
4.1.2 <i>Penetrometri in uso in Italia</i>	11
4.1.3 <i>Correlazione con N_{spt}</i>	11
4.1.4 <i>Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{qp}</i>	12
4.1.5 <i>Metodologia di elaborazione</i>	12
4.1.6 <i>Valutazioni statistiche e correlazioni</i>	13
4.1.7 <i>Pressione ammissibile</i>	13
4.1.8 <i>Correlazioni geotecniche terreni incoerenti</i>	13
4.1.9 <i>Correlazioni geotecniche terreni coesivi</i>	16
4.1.10 <i>Risultati delle prove DPSH eseguita</i>	17
4.2 MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES) - DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE	18
4.3 MASW – ACQUISIZIONE DEI DATI	19
4.4 MASW – RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI	19
4.5 MASW – INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E STIMA DEL V _{s,eq}	20
5 CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE	23
5.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO	26
5.2 STRATEGIA DI PROGETTAZIONE.....	31
6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	34

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- Regione Puglia – Piano Paesaggistico Territoriale Regionale per il paesaggio (PPTR) – Norme Tecniche di Attuazione;
- Autorità Interregionale di Bacino della Puglia – Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico – “Carta del Rischio”;
- Rossi D. (1969) – “Note illustrative della Carta Geologica D’Italia, scala 1:100000, Foglio 203 “Brindisi” e Foglio 204 “Lecce”;
- Ciaranfi N. et al (1983) - “Carta Neotettonica dell’Italia Meridionale”, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto finalizzato Geodinamica, Pubbl. n. 515 del P.F. Geodinamica, Bari;
- AA.VV (1999) – “Guide Geologiche Regionali – Puglia e Monte Vulture”, Società Geologica Italiana;
- Decreto Ministero LL.PP.11/03/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Ordinanza PCM 3519 (28/04/2006) “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” (G.U. n.108 del 11/05/2006)
- Ordinanza PCM 3274 (20/03/2003) “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche” (G.U. n.105 del 08/05/2003).
- Gruppo di Lavoro MPS (2004) – “Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003”. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 “Progetto S1 Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi”
- Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 - All. 1b "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale”;
- “Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture” del 17 gennaio 2018 (Suppl Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8);
- Delibera D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009 della Giunta Regionale - Regione Puglia: “Progettazione antisismica anche per progettazioni ricadenti in zona 4....”.

1 PREMESSA

È stata commissionata allo scrivente, Dott. Geol. Pietro Pepe, la redazione della seguente “Relazione Geologica” per il Progetto di **“Realizzazione di un impianto agrovoltatico della potenza in DC di 19,109 MW e AC di 16,128 MW, denominato “SICILIA”, in località Specchia nel comune di Brindisi e delle relative opere di connessione alla Rete di Trasmissione dell’energia elettrica Nazionale (RTN), nell’ambito del procedimento P.U.A. ai sensi dell’art. 27 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.”.**

Il committente dei lavori è la Sicilia Srl mentre la progettazione dell’opera è stata affidata all’Ing. Giorgio Vece. Alla luce delle opere da realizzarsi sono stati affrontati gli aspetti geologico-stratigrafici e geotecnici del sito in esame ed è stato condotto uno studio finalizzato a:

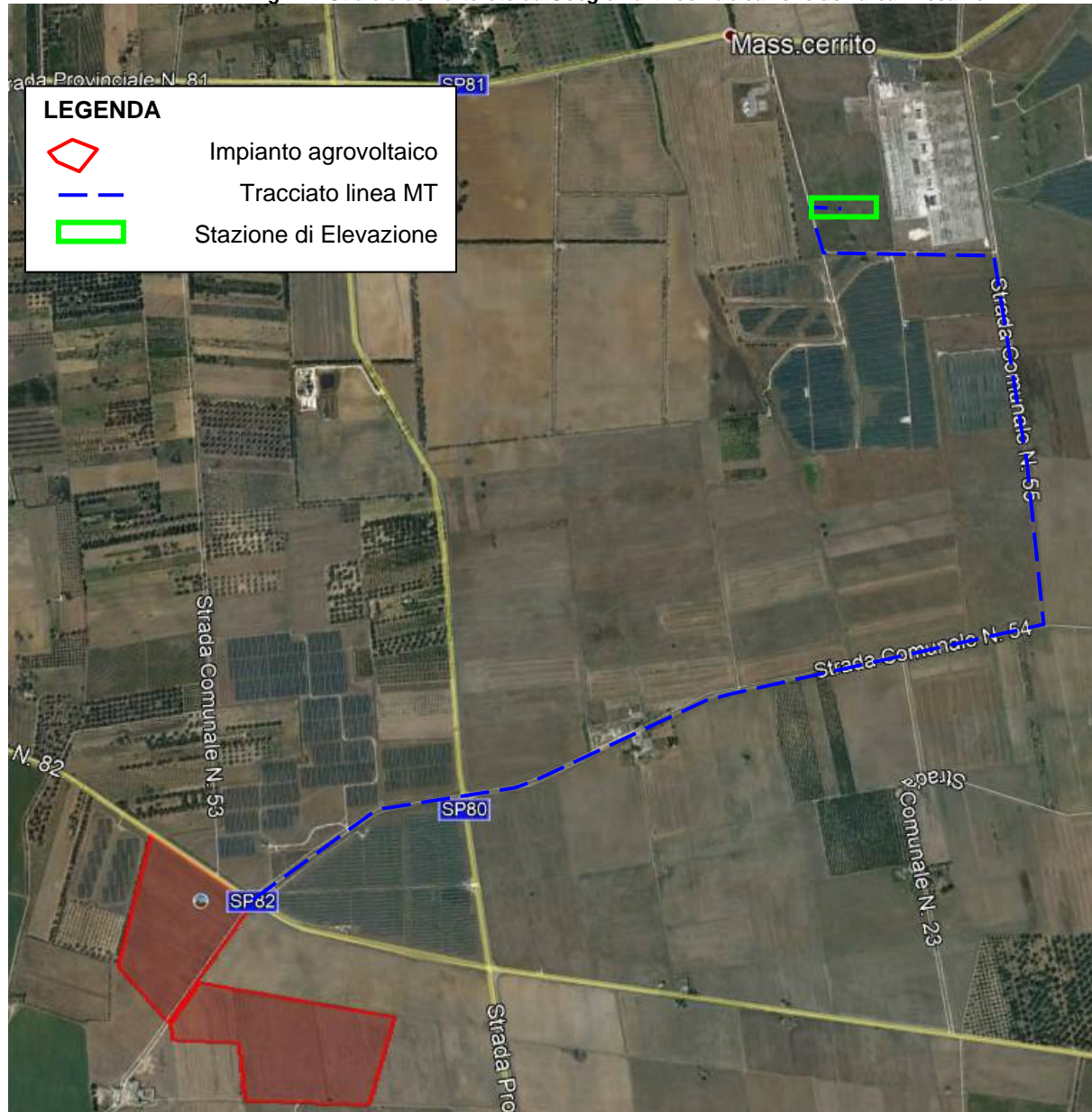
- verificare la vincolistica paesaggistica gravante sul territorio e le prescrizioni di base fissate dal PPTR della Regione Puglia e dal Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino della Puglia;
- verificare la presenza di situazioni stratigrafiche anomale che possano infirmare la sicurezza delle opere in fase di realizzazione;
- rilevare l’eventuale presenza della falda idrica e analizzare eventuali fenomeni d’interferenza con le opere;
- evidenziare i livelli interessati dalle fondazioni;
- fornire indicazioni sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di fondazione;
- verificare la capacità portante dei pali di fondazione.

A supporto di tale studio è stata svolta una campagna geognostica basata essenzialmente su indagini indirette del tipo MASW, per la caratterizzazione sismica del territorio ai sensi delle NTC 2018, e su prove penetrometriche per definire alcuni fra i principali parametri geotecnici del sottosuolo.

2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area in esame si trova ad SSE del centro abitato del Comune di Brindisi, al confine con il territorio di Mesagne, in C.da Specchia con accessi dalle S.P.81 e 82, a quote comprese tra 67 e 69m.

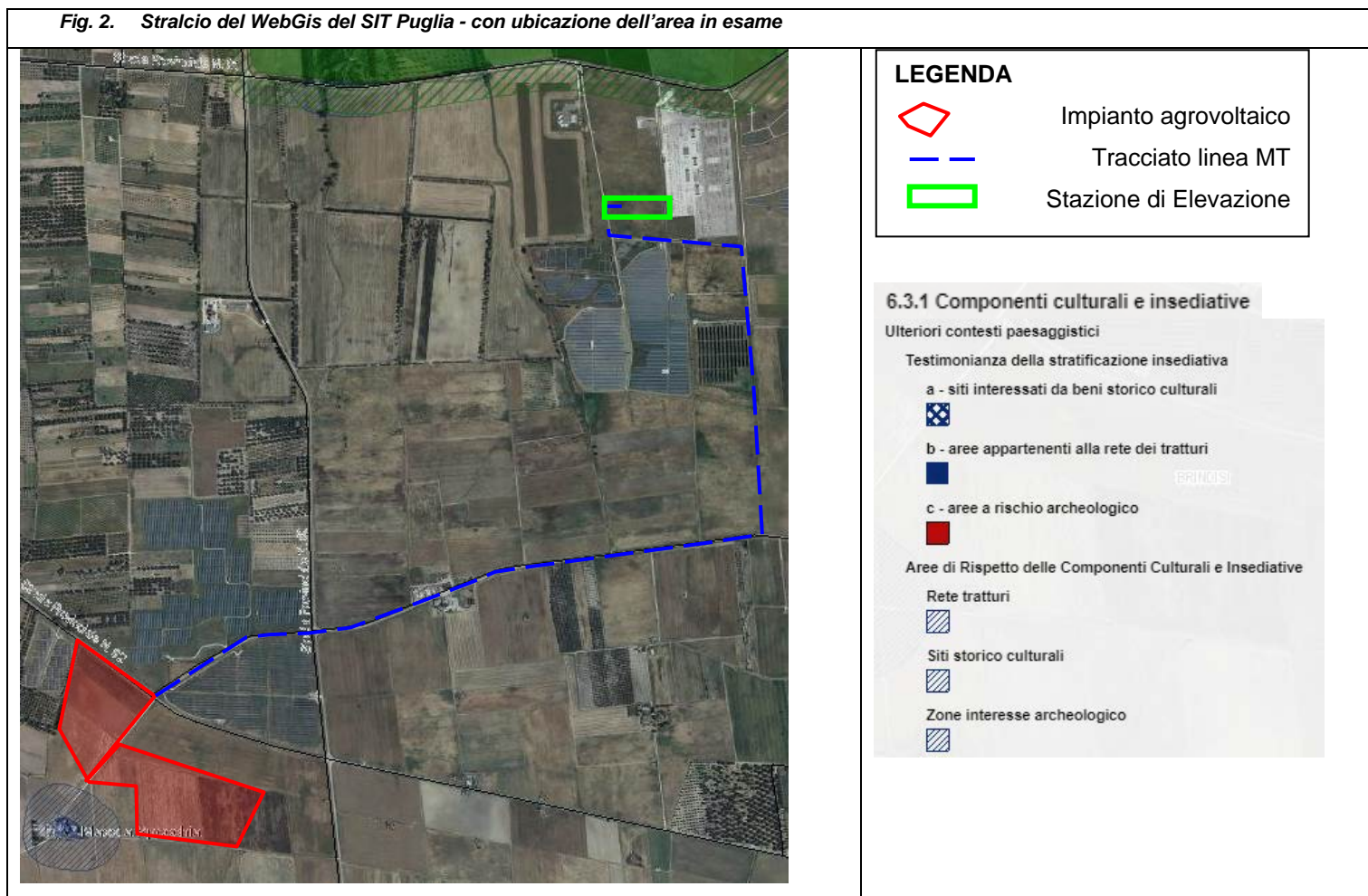
Fig. 1. Stralcio dell'ortofoto da Google Earth con ubicazione dell'area in esame



2.1 Analisi della vincolistica

Di seguito è stata brevemente riepilogata, tramite stralci planimetrici, la vincolistica gravante sull'area in esame. Come si può notare una piccola parte dell'area in esame è gravata solamente da un'area di rispetto di un sito interessato da bene storico culturale (Mass. Specchia), compreso negli UCP delle componenti culturali insediative.

Fig. 2. Stralcio del WebGis del SIT Puglia - con ubicazione dell'area in esame



2.2 Inquadramento geologico

Il territorio di Brindisi si colloca nel comprensorio settentrionale della penisola Salentina geologicamente costituita da una successione di rocce calcareo-dolomitiche, calcarenitiche e sabbioso-argillose, la cui messa in posto è avvenuta nell'arco di tempo compreso tra il Mesozoico e il Quaternario.

La struttura geologica è caratterizzata dalla presenza di un substrato calcareo-dolomitico del Mesozoico (Piattaforma Carbonatica Apula) su cui si poggiano in trasgressione sedimenti calcarenitici e calcarei riferibili al Miocene, al Pliocene medio-sup. e al Pleistocene.

L'evoluzione geologica della penisola salentina può essere correlata al tratto più meridionale dell'Avampese Apulo, la cui genesi è legata agli eventi tettonico-sedimentari che hanno interessato il promontorio africano

prima nella collisione con la placca euroasiatica, risalente alla fine del Mesozoico, poi, nella tettonogenesi appenninico-dinarica, a partire dal Neogene.

A tetto del basamento cristallino, nel Salento, è presente una potente copertura sedimentaria con alla base sedimenti di facies terrigena fluvio-deltizie correlabili con il Verrucano (Permiano-Triassico). Sui depositi terrigeni si rinviene una successione anidritico-dolomitica riferibile alle Anidriti di Burano (Triassico), ed una sovrastante successione giurassico-cretacica avente facies di piattaforma carbonatica.

Fra il Cretaceo e l'Eocene, l'emersione della piattaforma apula ha causato un accumulo variabile di prodotti residuali costituiti essenzialmente da terra rossa.

Una trasgressione marina post-cretacica ha determinato la deposizione dei Calcari di Castro (Paleocene-Oligocene) e delle Calcareni di Porto Badisco (Oligocene).

Con la trasgressione miocenica si sono formati successivamente i sedimenti corrispondenti alle unità della Pietra leccese e delle Calcareni di Andrano (Miocene).

Alla fine del Miocene l'area salentina ha subito prima una emersione e poi è stata risommersa con la deposizione della Formazione di Leuca (Pliocene inferiore) e delle Sabbie di Uggiano la Chiesa (Pliocene medio-superiore).

Con la fine del Pleistocene inferiore un progressivo sollevamento dell'intera penisola ha provocato la sua completa emersione in più tappe, testimoniate da una serie di terrazzi marini disposti a varie quote sul livello del mare.

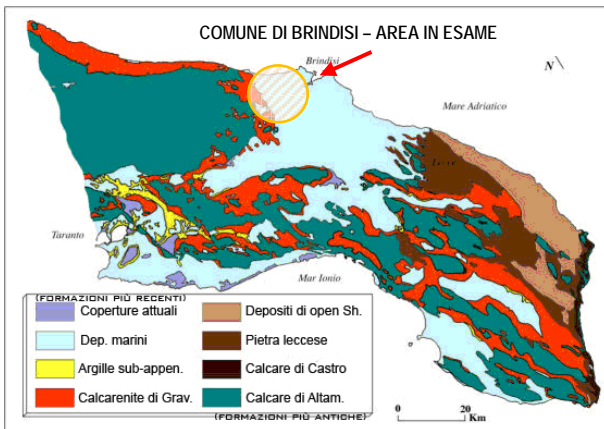


Fig. 3. Carta litologica del Salento (da N. Ciaranfi, P. Pieri, G. Ricchetti; 1988).

Il territorio in esame ricade, in particolare, nel settore nord-orientale del foglio 203 "Brindisi".

È caratterizzato prevalentemente dall'affioramento delle seguenti unità geologiche, dalle più antiche alle più recenti:

Formazioni marine (pleistocene):

- ✓ **Formazione di Gallipoli:** unità geologica rappresentata da sabbie argillose giallastre che passano inferiormente a marne argillose grigio-azzurrate (Q^1_s). Sono presenti intercalazioni arenacee e calcarenitiche ben cementate (Q^1_c).

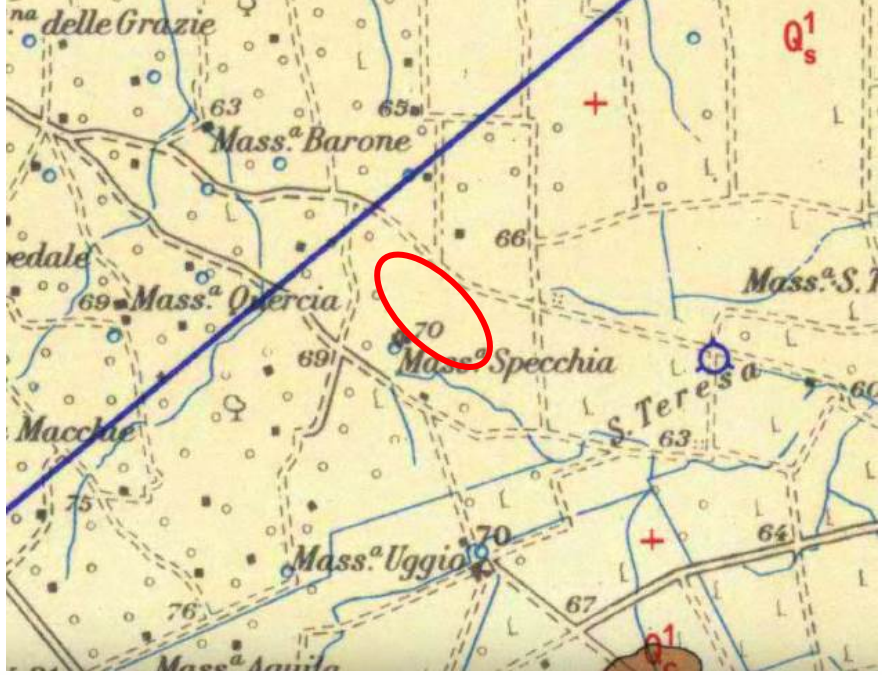
La **Formazione di Gallipoli** rappresenta l'unità geologica predominante il territorio in esame. È rappresentata da sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm di spessore che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurre (Q^1_s). L'unità presenta intercalazioni di banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Q^1_c). Questa formazione è ben rappresentata nel foglio Brindisi, in particolare nei settori settentrionali dove occupa una vastissima area attorno a Brindisi. La formazione è

costituita da due litotipi fondamentali che sono le marne argillose, e più raramente, le marne nella parte basale e da sabbie più o meno argillose nella parte sommitale. Le marne argillose hanno colorazione grigio-azzurrognola, si presentano generalmente plastiche e poco stratificate, con percentuali variabili di frammenti di quarzo a spigoli vivi. Verso l'alto della serie la componente marnoso-argillosa diminuisce gradualmente passando a sabbie vere e proprie, giallastre o grigio-giallastre, con un certo contenuto di argilla, costituite prevalentemente da frammenti di quarzo a grana da media a fine. Le sabbie sono stratificate e talora parzialmente cementate. Le sabbie e le argille costituenti la formazione di Gallipoli possono essere sostituite, parzialmente o totalmente, da calcareniti ed arenarie ben cementate e talora da livelli di panchina. Le calcareniti sono particolarmente abbondanti ed estese nell'area del foglio Brindisi.

Lo spessore, secondo quanto indicato nelle note illustrative del foglio, può raggiungere il centinaio di metri nella zona di Brindisi.

La Formazione confina a sud del territorio di Brindisi, con l'orizzonte delle Calcareniti del Salento avente un'età del Calabriano -Pliocene superiore. Tale passaggio non risulta molto chiaro, sia per lo scarso affioramento dei sedimenti al contatto che per l'assenza di caratteri morfologici significativi: il passaggio potrebbe avvenire verticalmente con una graduale affermazione verso l'alto della formazione di Gallipoli ma non è da escludere una parziale sostituzione laterale così come la presenza di una discordanza con una lacuna stratigrafica più o meno ampia. Nella parte sud-occidentale i rapporti stratigrafici con le Calcareniti del Salento sono decisamente discordanti, la Formazione di Gallipoli in queste aree occupa difatti depressioni nettamente tagliate entro l'orizzonte calcarenitico.

Fig. 4. STRALCIO DEL F. 203 "BRINDISI" DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA CON UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME



Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm. di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurrate (Q¹); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Q¹). Nelle sabbie più elevate si notano talora *Cassidulina laevigata* D'ORB., *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.), *Ammonia perlucida* (HER. ALL. EARL.) (PLEI-STOCENE). Nelle sabbie argillose ed argille sottostanti, accanto a *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* MULL. ed altri molluschi, sono frequenti: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB., *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Bolivina catanensis* SEG. (CALABRIANO). FORMAZIONE DI GALLIPOLI.



2.3 Inquadramento Geomorfologico e tettonico

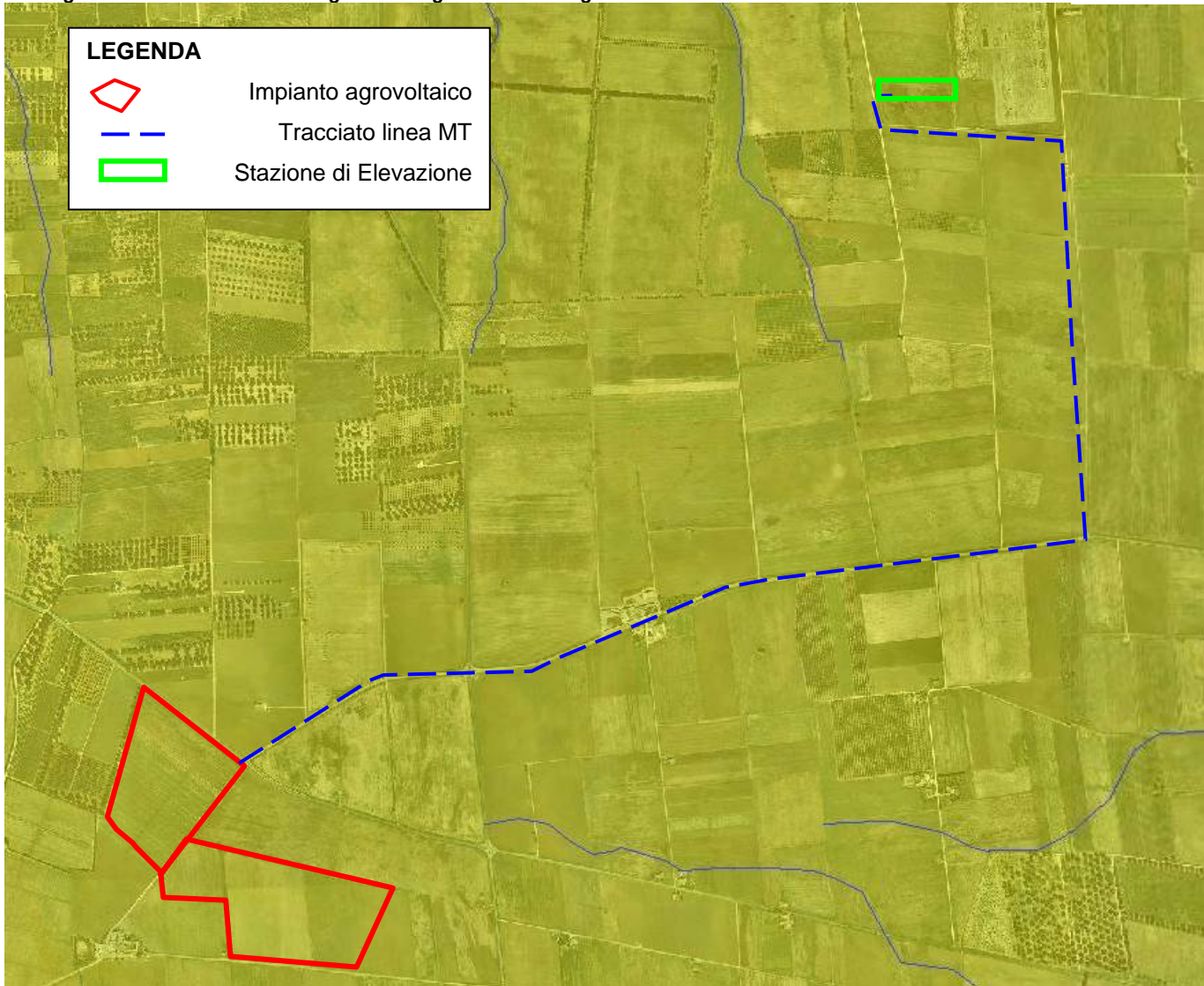
La morfologia dell'area del foglio "Brindisi" è caratterizzata dalla presenza di dorsali e altipiani che solo in alcuni casi si elevano di qualche decina di metri al di sopra delle aree circostanti determinando le strutture morfologiche note localmente come "serre".

Queste elevazioni, che generalmente coincidono con alti strutturali, sono allungate in direzione NO-SE e sono separate fra loro da aree pianeggianti più o meno estese. Le formazioni affioranti nelle parti più elevate sono generalmente le più antiche, cretache o mioceniche, mentre nelle zone più depresse affiorano terreni miocenici e/o plio-pleistocenici.




Vi è in generale una buona corrispondenza tra la morfologia e l'andamento strutturale: le antiche linee di costa sono definite da piccole scarpate, le anticlinali determinano le zone più sopraelevate corrispondendo alle serre e alle alture; mentre le zone più depresse corrispondono generalmente alle sinclinali.

Questa situazione morfologico-strutturale dimostra che nel periodo di emersione delle aree non vi è stato un apprezzabile smantellamento da parte degli agenti esogeni ad eccezione dell'azione di abrasione marina che ha operato in maggiore misura ai margini delle strutture emerse.






Fig. 5. Stralcio della carta idrogeomorfologica dell'AdB Puglia con ubicazione dell'area in esame



LEGENDA

-  Impianto agrovoltatico
-  Tracciato linea MT
-  Stazione di Elevazione

Litologia substr.

-  Unità prevalentemente calcarea o dolomitica
-  Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica
-  Unità a prevalente componente ruditica
-  Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico
-  Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa

Forme di modellamento di corso d'acqua

- Cigli e ripe
-  Ciglio di sponda
-  Ripa di erosione

Forme ed elementi legati all'idrografia superficiale

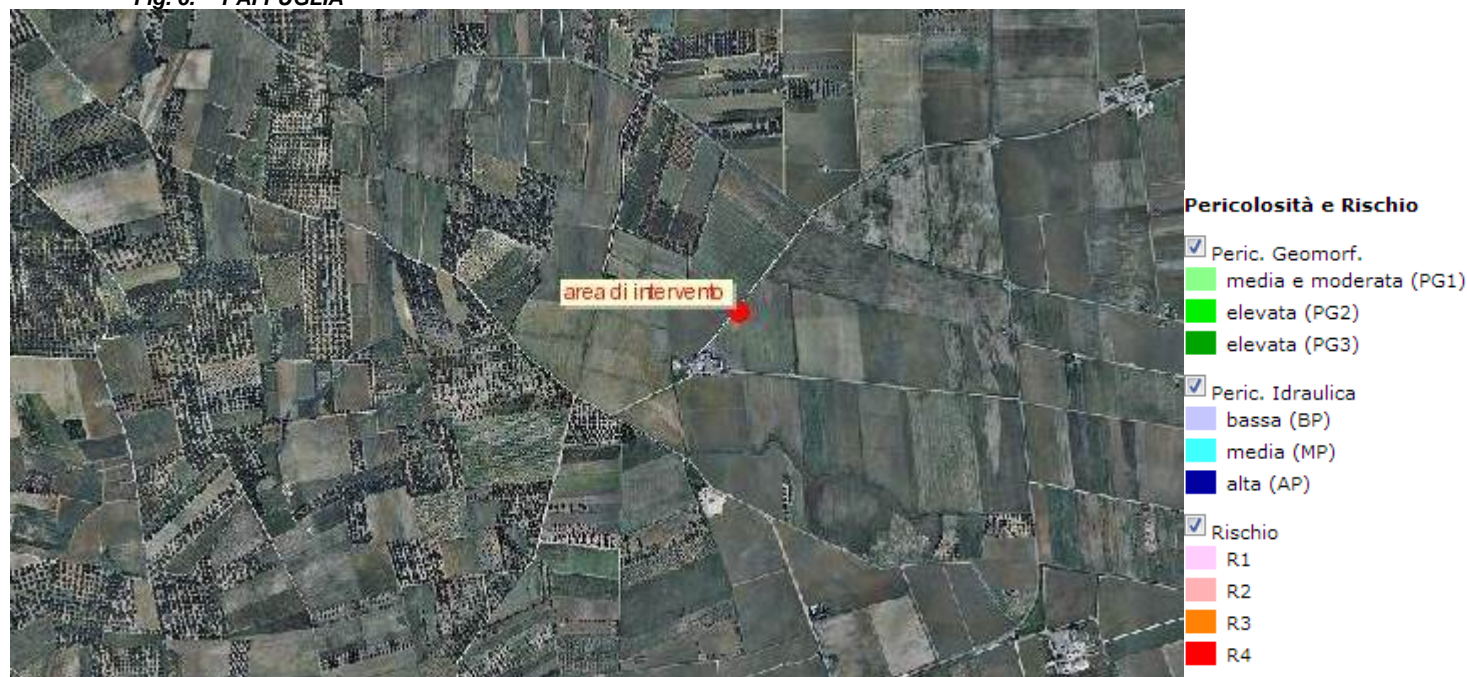
- Corsi di acqua**
-  Corso d'acqua
-  Corso d'acqua obliterato
-  Recapito finale di bacino endoreico
-  Corso d'acqua episodico
-  Corso d'acqua tombato

Dalla consultazione della Carta Idro-Geomorfologica dell'AdB Puglia si è evinto come non ci sono elementi geomorfologici rilevanti a parte un reticolo idrografico a circa 280m ad est dell'area impianti e a poco meno di 300m ad ovest della stazione di elevazione. L'area in particolare è sub-pianeggiante con lieve pendenza verso NE, a quote comprese tra 67 e 69 metri di altitudine.

2.4 Piano Assetto Idrogeologico (PAI) - Autorità di Bacino della Puglia

Dalla consultazione del PAI (Piano Assetto Idrogeologico) dell'AdB Puglia si è evinto che l'area non è soggetta ad alcuna perimetrazione.

Fig. 6. PAI PUGLIA



2.5 Inquadramento idrografico e Idrogeologico

Per la mancanza di zone montuose e per la scarsità di piogge, il territorio in esame è povero di una idrografia superficiale, poiché mancano dei veri e propri corsi d'acqua. Tuttavia dal Pleistocene medio ad oggi l'azione delle acque meteoriche ha agito sulla superficie del paesaggio addolcendone le forme e scavando profonde incisioni sulle rocce carbonatiche che hanno portato poi allo sviluppo di forme tipicamente carsiche quali doline, inghiottitoi e soprattutto, un gran numero di grotte.

I corsi d'acqua attualmente sono a carattere temporaneo, a causa delle caratteristiche climatiche della regione e dell'elevato grado di permeabilità delle rocce. Le acque superficiali provenienti dalle Serre sono organizzate in reticoli relativamente estesi, ma durante il loro corso tendono a perdersi in zone di maggiore permeabilità, oppure si riversano in pozzi naturali di origine carsica.

La circolazione idrica sotterranea è caratterizzata dalla presenza di due distinti sistemi la cui interazione tende a variare da luogo a luogo: il primo, più profondo, è rappresentato dalla falda carsica circolante nel basamento carbonatico mesozoico, fortemente fratturato e carsificato; il secondo, è costituito da una serie di falde superficiali, che si rinvengono a profondità ridotte dal piano campagna, ovunque la presenza di livelli impermeabili vada a costituire uno sbarramento.

La falda carsica, relativa all'acquifero costituito da rocce calcaree, tende a galleggiare sulle acque più dense d'intrusione marina, assumendo una tipica forma a lente biconvessa con spessori che vanno decrescendo dal centro verso i margini ionico ed adriatico. La superficie di separazione tra acque dolci ed acque salate, a

differente densità, è data da una fascia di transizione il cui spessore, anch'esso variabile, cresce all'aumentare della distanza dalla costa ed è, inoltre, funzione dello spessore dell'acquifero di acque dolci.

La falda profonda trova direttamente recapito nel Mar Ionio e nel Mare Adriatico, verso cui defluisce con pendenze piezometriche piuttosto modeste. A luoghi può risultare intercettata da livelli poco permeabili dello stesso.

L'acquifero superficiale secondario assume spesso carattere di acquifero multistrato corrispondente a più porzioni sature di calcareniti e sabbie poco cementate, poste a profondità variabili e comprese fra pochi metri fino a 10 e 30 m dal piano campagna e delimitate verso il basso da livelli impermeabili costituiti a luoghi dalle terre rosse, a luoghi da successioni limoso-argillose basali delle stesse formazioni.

I caratteri di permeabilità delle formazioni geologiche affioranti sono tali da favorire una rapida infiltrazione in profondità delle acque meteoriche non permettendo un prolungato ruscellamento superficiale: risulta quindi assente un reticolo idrografico di superficie ed il deflusso delle acque fluviali avviene in occasione di piogge abbondanti, sottoforma di ruscellamento diffuso lungo le scarpate che delimitano le Serre.

L'intero territorio presenta notevoli segni di un modellamento carsico policiclico e un'idrografia contrassegnata nelle parti interne dalla presenza di bacini endoreici di varia dimensione e forma, nonché da difficoltà di deflusso a mare a causa della presenza di cordoni di dune costiere lungo estesi tratti dei versanti adriatico e ionico, e conseguente formazione di paludi retrodunari, oggi in gran parte bonificate. Inoltre, il massiccio prelievo di acqua dal sottosuolo da migliaia di pozzi sinora attivi, ha determinato il problema del possibile impoverimento degli acquiferi locali, segnatamente della falda carsica profonda, sostenuta dalle acque di invasione marina.

Fig. 7. Stralcio della Tavola della distribuzione dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia

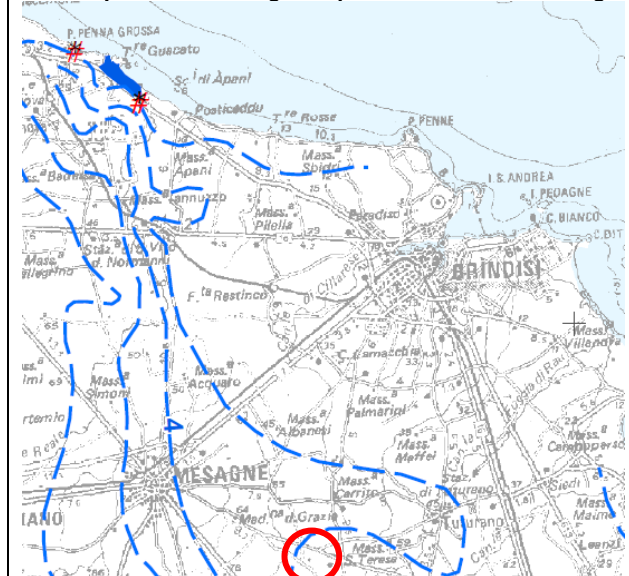
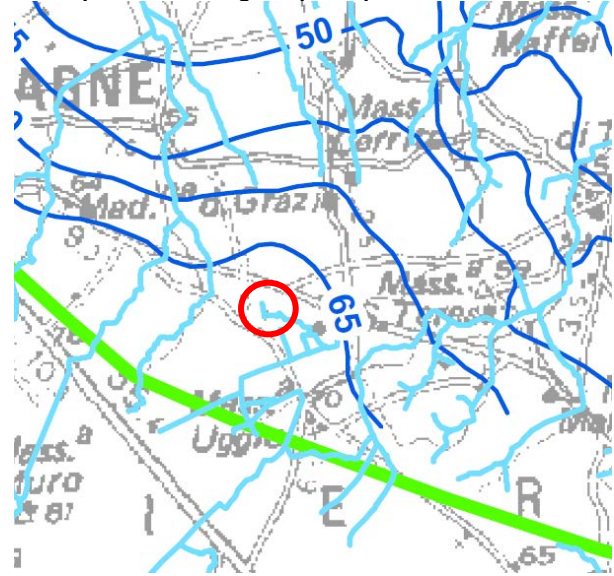


Fig. 8. Stralcio della Tavola della distribuzione dei carichi piezometrici degli acquiferi porosi del brindisino



--- Isopiezica m s.l.m. ————— Distribuzione media dei carichi piezometrici (m s.l.m.)

Dall'osservazione dei due stralci della distribuzione dei carichi piezometrici si evince che l'acquifero carsico si trova a circa 3m sul livello del mare e quindi a circa 63-66m dal p.c., mentre l'acquifero poroso potrebbe rinvenirsi più in superficie ad una quota di circa 1m dal p.c..

2.6 Caratteristiche di permeabilità dei terreni

Sulla base delle caratteristiche di permeabilità, le formazioni localmente affioranti si distinguono in:

- **permeabilità per porosità interstiziale:** Rientrano all'interno di tale categoria il terreno umifero costituito da sabbie limose e la frazione sabbiosa e calcarenitica che costituisce la *Formazione di Gallipoli*. Per queste si può assumere un valore della permeabilità **K** è compreso tra **1*10⁻³cm/sec** e **1*10⁻⁵cm/sec**.
- **permeabilità scarsa o assente:** all'interno della formazione di Gallipoli troviamo frazioni argilloso-sabbiose o argillose in cui la permeabilità si abbassa notevolmente fino all'impermeabilità. Si può assumere un valore di **K** compreso tra **1*10⁻⁵cm/sec** e **1*10⁻⁷cm/sec**.

3 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Alla luce, quindi, delle considerazioni fatte durante i sopralluoghi è stata condotta una campagna geognostica, consistita nell'esecuzione di:

- n. 6 prove penetrometriche del tipo DPSH, **DPSH01÷DPSH06**, spinti fino rifiuto di cui i DPSH01÷DPSH04 sono stati eseguiti in corrispondenza del campo agrovoltaiico mentre i DPSH05 e DPSH06 in corrispondenza della Stazione di Elevazione;
- n. 2 prospezioni sismiche eseguita con tecnica MASW per la determinazione delle onde di taglio (S), (**MASW01** e **MASW02**) orientate opportunamente verso Nord per le quali sono stati utilizzati n. 24 geofoni con spaziatura inter-geofonica di 3.0m ed eseguiti due scoppi posti a 6.0m dal primo e dall'ultimo geofono; tale tecnica consentirà di stimare il valore delle Vs,eq e quindi attribuire al sottosuolo in esame una delle categorie di suolo di fondazione contemplata dalle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

4 PROVE PENETROMETRICHE

4.1.1 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari; 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 individuare con un buon grado di precisione lo spessore delle coltri dal 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, facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Gli 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 α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- 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)	Profondità 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

4.1.2 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 = 10 cm, punta conica ($\delta=60-90^\circ$), diametro D=35.7 mm, area base cono A=10 cm² 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 = 10 cm, punta conica ($\delta= 60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² 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 cm², 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 cm², rivestimento /fango bentonitico talora previsto.

In questa campagna geognostica è stato utilizzato un penetrometro superpesante "DPSH 63-73 SM della GEO Deep Drill" avente massa battente M=63.0 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 90^\circ$), $\phi=50$ mm, area base cono A = 20 cm².

4.1.3 Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più efficaci e vantaggiosi economicamente per ricavare informazioni circa la natura litologica e la condizione geologica del sottosuolo, occorre correlare i risultati delle due prove, quella in foro (Standard Penetration Test) e quella eseguita a partire dalla superficie (Prova Penetrometrica Dinamica); ciò risulta possibile utilizzando la seguente equazione:

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

dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

dove

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

4.1.4 Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

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

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (δ/N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

4.1.5 Metodologia di elaborazione

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

Tale 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 permettendo inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione delle 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 e alquanto attendibili ai fini della progettazione. In particolare tale metodologia 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 della resistenza alla punta.

4.1.6 Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Il programma di calcolo utilizzato, inoltre, 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 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 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.

4.1.7 Pressione ammissibile

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

4.1.8 Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Correzione N_{spt} in presenza di falda

In presenza di falda il valore N_{spt} viene corretto e quindi $N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

dove N_{spt} è il valore medio nello strato.

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

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m. per terreni sopra falda e < 8 m. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq);
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati);
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m. per terreni in falda) >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 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\phi > 15$ t/mq;
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose;
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq;
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt;
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie 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 (Ey)

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

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia;
- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa;
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati);
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume Gamma

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

Peso di volume saturo

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

Modulo di Poisson

- Classificazione A.G.I..

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

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

Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

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

Modulo di deformazione di taglio (G)

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

Modulo di reazione (Ko)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson 1983 Qc.

4.1.9 Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983;
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate;
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*;
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensibilità > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità;
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat;
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu- N_{spt} -grado di plasticità);
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm²) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$;
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm²) (valori minimi), valida per argille NC;
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata Cu (Kg/cm²), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità;
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità;
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità;
- Begemann;
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson 1983 Qc

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali;
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali;
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi);
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cm²) -, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Qc/Nspt=1.5-2.0$);
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ($Nspt < 30$) medie e molli ($Nspt < 4$) e argille sabbiose ($Nspt=6-12$).

Modulo Di Young (EY)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15 ;
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

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

4.1.10 Risultati delle prove DPSH eseguita

Le prove DPSH eseguite, eseguite sia in corrispondenza del Campo agrovoltico che in corrispondenza della Stazione di Elevazione hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo fino ad una profondità massima rispettivamente di 8.20m (Campo agrovoltico) e di 4.20m (Stazione di Elevazione) discretizzandolo in una serie di superfici a differente comportamento in funzione del numero di colpi misurati durante le fasi di avanzamento con un passo di 0.20m.

Di seguito, ai fini di una più agevole consultazione dei dati, sono stati sintetizzati i valori dei parametri geotecnici ritenuti di interesse.

Sono stati considerati i parametri relativi a terreni incoerenti.

In particolare:

- “densità relativa” si è considerata la correlazione di *Skempton 1986*;
- “angolo di resistenza al taglio” si è considerata la correlazione *Meyerhof 1956*;
- “modulo edometrico” la correlazione considerata è quella di *Buisman-Sanglerat*;
- “modulo di Young” la correlazione considerata è quella di *Schultze-Menzenbach*;

- “*peso unità di volume*”: la correlazione considerata è quella di *Meyerhof ed altri*;
- “*peso unità di volume saturo*”: la correlazione considerata è quella di *Terzaghi-Peck*;
- “*coesione non drenata*”: *Terzaghi-Peck*;
- “*modulo di Poisson*” si è considerata la correlazione *AGI*;
- “*modulo di deformazione a taglio dinamico*” si è considerata la correlazione di *Ohsaki*;
- “*velocità onde di taglio*” in questo caso specifico, essendo state eseguite prove geofisiche in sito, sono state omesse nel report della presente prova;
- “*modulo di reazione*” si è considerata la correlazione *Navfac 1971-1982*;
- “*resistenza alla punta*” si è considerata la correlazione di *Robertson 1983*.

I valori ottenuti del numero di colpi e dell’Rpd sono rappresentati in maniera grafica in **Allegato 02**.

4.2 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) - Descrizione del metodo e della strumentazione

Nel presente lavoro è stato preso in esame il metodo di prospezione sismica MASW 1D (Multichannel Analysis of Surface Waves) che consentono di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie: le onde di Rayleigh.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi:

- **Acquisizione:** registrazione e osservazione dei dati sismici “grezzi” contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
- **Processing:** trattamento dei dati attraverso filtraggio e altre tecniche finalizzate all’estrazione delle caratteristiche di dispersione ossia espresse come velocità di fase in funzione delle frequenze;
- **Inversione:** uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed altri parametri in funzione della profondità.

Il metodo MASW impiega una sorgente artificiale appositamente creata, del tipo ad impatto verticale (massa battente di 8Kg).

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 24 canali (dotato di estensione a 48 canali), della “MAE” modello X610S, con acquisizione computerizzata dei dati e geofoni a frequenza di 4.5Hz (ad asse verticale).

La fase di acquisizione viene effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione: infatti, tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la migliore informazione possibile riguardo la propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale-rumore.

Per quanto riguarda il MASW, la presenza di rumore di tipo casuale risulta di notevole disturbo, a questo scopo si procede sommando i segnali di successive energizzazioni rendendo in tal modo la potenza del segnale superiore a quella del rumore.

4.3 MASW – Acquisizione dei dati

Le fasi operative possono essere così schematizzate:

- predisposizione dello stendimento, cioè una serie di 24 geofoni regolarmente spazati e in linea retta, entrambi di lunghezza pari a 69 m con energizzazione ad una distanza di 6m dal primo (Scoppio 1) e ultimo geofono (Scoppio due), eseguendo più registrazioni in modo da ottenere sufficienti dati per correlare le informazioni del sottosuolo, evidenziando eventuali eterogeneità dello stesso;
- osservazione del segnale che si propaga tramite onde S nel suolo per 2 secondi a seguito dell'energizzazione;
- controllo dei dati raccolti con prima elaborazione in situ del profilo, in modo da verificare la coerenza del segnale, l'effettivo raggiungimento della profondità d'investigazione richiesta ed eventualmente apportare le necessarie variazioni dei parametri d'acquisizione prima di ripetere la registrazione;
- i dati raccolti sono registrati nell'hd dell' X610S.

4.4 MASW – Rappresentazione dei risultati

L'analisi prevede la formattazione dei files dati, l'analisi spettrale con l'individuazione della curva di dispersione e la modellazione del profilo. È importante rilevare che il profilo si sia ottenuto coinvolgendo nelle misurazioni un'estesa porzione del sito da investigare, esso quindi, pur non avendo la risoluzione di un profilo ottenuto ad esempio con la tecnica down-hole, risulta più rappresentativo a larga scala rispetto a quello ottenibile da un rilievo puntuale.

Ai fini dell'interpretazione dei risultati delle indagini geofisiche è di fondamentale importanza la conoscenza geologica dell'area e la taratura delle prospezioni geofisiche con indagini di tipo diretto, così come è stato possibile fare in questo caso. Infatti, è possibile che terreni diversi siano caratterizzati dalle stesse velocità sismiche. Inoltre i ranges delle velocità delle varie formazioni sono molto variabili, in funzione delle condizioni locali.

Nel presente capitolo sono esposti i risultati della indagine MASW.

Il primo grafico mette in relazione le frequenze contenute nel segnale registrato con il reciproco della velocità di fase e il rapporto spettrale: permette di riconoscere l'energia delle Onde di Rayleigh e fissare i punti che rappresentano l'andamento della curva di dispersione, funzione della distribuzione della velocità negli strati del sottosuolo.

Nel secondo grafico, invece, è riportata la curva calcolata tramite l'inversione di un modello di sottosuolo, ottenuto per "aggiustamenti" successivi da un modello iniziale, cercando ovviamente di trovare la migliore corrispondenza con i punti prima individuati.

Nell'ultimo grafico, viene riportato il modello del sottosuolo in termini di strati con diversa velocità di propagazione delle Onde S da cui è così possibile calcolare il valore di velocità delle onde S e di conseguenza caratterizzare il sito in una delle categorie di suolo di fondazione.

4.5 MASW – Interpretazione dei risultati e stima del Vs,eq

Alla luce della recente normativa in materia di costruzione NTC 2018 è stato introdotto il calcolo di un nuovo parametro, il Vs,eq, ottenuto attraverso la seguente formula:

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

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo
 $V_{s,i}$ = 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 Vs non inferiore a 800 m/sec

In tale formula appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio si riferisce alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da Vs non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell'assetto geologico del sottosuolo.

Basandosi sulle indagini sismiche svolte è stata individuata la categoria del suolo di fondazione del sottosuolo in esame. In entrambi i profili Masw, che hanno raggiunto una profondità investigativa poco maggiore ai 30m non è stato individuato un substrato rigido caratterizzato da valori di Vs>800m/s e pertanto, così come enuncia la nuova norma il valore del Vs,eq è definito dal parametro Vs30 ottenuto ponendo H=30m nella attuale espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Come è possibile osservare dalle tabelle di calcolo sottostanti, in corrispondenza del MASW01, è stato ricavato un valore del **535m/s<Vs,eq <558m/s**.

STIMA DEL Vs,eq - MASW 01 – scoppio 1

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h ₁	STRATO 1	4.4	231.00	h ₁ /V ₁	0.019
h ₂	STRATO 2	5.5	512.00	h ₂ /V ₂	0.011
h ₃	STRATO 3	6.9	788.00	h ₃ /V ₃	0.009
h ₄	STRATO 4	8.7	740.00	h ₄ /V ₄	0.012
h ₅	STRATO 5	4.5	777.00	h ₅ /V ₅	0.006
H		30		$\Sigma h_i/V_i$	0.056

Vs,eq (misurata) = 0.056 = 534.81 m/s

NON APPLICATO

STIMA DEL $V_{s,eq}$ - MASW 01 – scoppio 2

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h_1	STRATO 1	2.8	294.00	h_1/V_1	0.010
h_2	STRATO 2	3.7	346.00	h_2/V_2	0.011
h_3	STRATO 3	5	554.00	h_3/V_3	0.009
h_4	STRATO 4	11.37	739.00	h_4/V_4	0.015
h_5	STRATO 5	7.13	780.00	h_5/V_5	0.009
H		30		$\Sigma h_i/V_i$	0.054

$V_{s,eq}$ (misurata) = 0.054 = 557.94 m/s

NON APPLICATO

in corrispondenza del MASW02, è stato ricavato un valore del **466m/s < $V_{s,eq}$ < 482m/s**

STIMA DEL $V_{s,eq}$ - MASW 02 – scoppio 1

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h_1	STRATO 1	4.2	242.00	h_1/V_1	0.017
h_2	STRATO 2	5.1	411.00	h_2/V_2	0.012
h_3	STRATO 3	6.2	615.00	h_3/V_3	0.010
h_4	STRATO 4	7.5	598.00	h_4/V_4	0.013
h_5	STRATO 5	7	583.00	7.6	0.012
H		30		$\Sigma h_i/V_i$	0.064

$V_{s,eq}$ (misurata) = 0.064 = 465.88 m/s

NON APPLICATO

STIMA DEL $V_{s,eq}$ - MASW 02 – scoppio 1

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h ₁	STRATO 1	2.5	168.00	h ₁ /V ₁	0.015
h ₂	STRATO 2	3.4	345.00	h ₂ /V ₂	0.010
h ₃	STRATO 3	4.5	478.00	h ₃ /V ₃	0.009
h ₄	STRATO 4	11.99	705.00	h ₄ /V ₄	0.017
h ₅	STRATO 5	7.61	684.00	h ₅ /V ₅	0.011
H		30		$\Sigma h_i/V_i$	0.062

V_{s,eq} (misurata) = **0.062** = **481.67** m/s

NON APPLICATO

Da tale stima il sottosuolo investigato rientra nella categoria di suolo di classe “**B**” avendo ottenuto in valore del 360m/s < V_{s,eq} < 800m/s che viene nuovamente così definita:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

E' opportuno precisare che, in generale, mediante il metodo MASW1D, si ricavano i valori di velocità delle onde S lungo la verticale rispettivamente a 1/3 e a 2/3 della lunghezza dello stendimento essendo stati eseguiti due scoppi ad una distanza di 6 metri dal primo e dall'ultimo geofono. I profili sismostratigrafici ricavati da tale tecnica risultano raggiungere la massima profondità di investigazione fino a circa 1/2 la lunghezza dello stendimento.

5 CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE

Il comune di Brindisi con D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009 ricade in **zona sismica 3** (*livello di pericolosità basso*).

Fig. 9. Mappa della pericolosità sismica



sito in esame.

Dalle risultanze di prospezioni sismiche effettuate in sito, è emerso che tali tipi di terreni, dal punto di vista della caratterizzazione sismica, sono classificati in genere come categoria di suolo di fondazione di tipo “B”.

Alla luce delle attuali conoscenze si ritiene che non si pongono particolari problemi alla realizzazione dell’opera in oggetto. Naturalmente si terrà conto di quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni del Gennaio 2018 che all’opera si deve attribuire un’accelerazione massima orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni maggiore di 0.05 g, pari ad un’accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sulla formazione di base (suoli di categoria “A”) pari ad $a_g=0.05g$.

In particolare, le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (17/01/2018) e l’OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519 superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell’azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale.

In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell’azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle “categorie di sottosuolo” e della definizione di una “pericolosità di base” fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l’intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali “parametri spettrali” riferiti all’accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell’azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*_c). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall’INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Secondo le NTC l'area strettamente in esame è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.025 - 0.050 g, come evidenziato nella figura in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A, $V_s,eq > 800$ m/sec).

Pericolosità sismica della Puglia (Fonte: INGV, Mappa della pericolosità sismica, 2006)

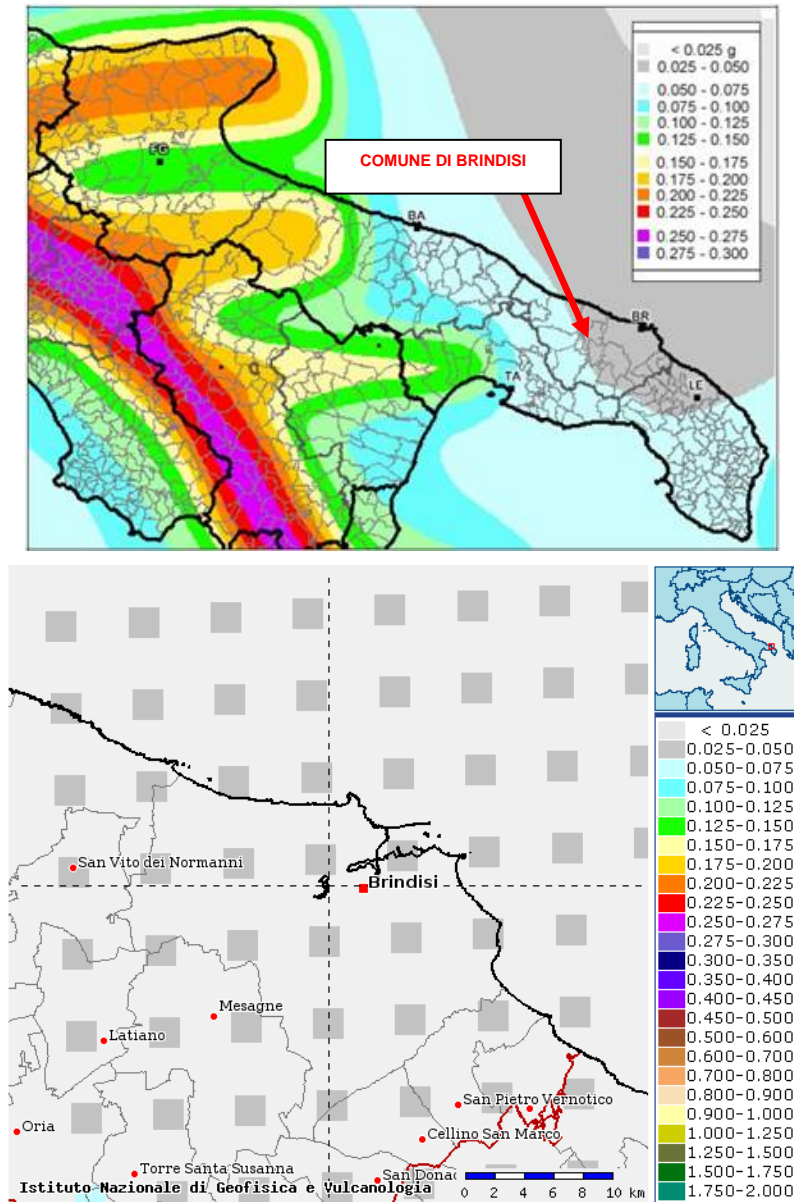


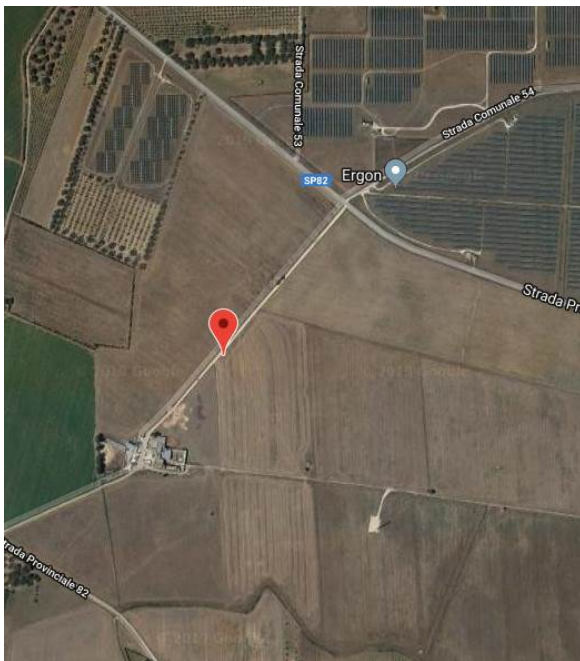
Fig. 10. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06)

In questo caso il valore del fattore S che tiene conto delle condizioni stratigrafiche e geotecniche del sito è pari a: **S = 1.0.**

Per caratterizzare la sismicità del sito in argomento, sono stati presi in considerazione i seguenti fattori:

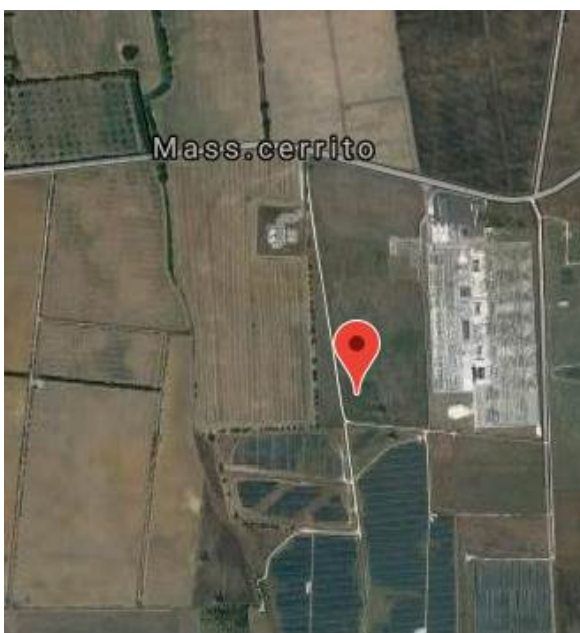
- il terreno di sedime è rappresentato da terreno vegetale frammisto a deposito sabbioso-argilloso a cui seguono i depositi sabbioso argillosi debolmente cementati e, a partire da circa 6m di profondità, livelli e/o banchi arenaceo-calcarenitici mediamente cementati;
- nell'area in esame non sono presenti faglie o importanti fratture, attive, del substrato geologico;
- la falda freatica superficiale si rileva a partire da circa 2-3m a partire dal piano di indagine.

Alla luce della recente normativa “Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture” 17 gennaio 2018 (Suppl. Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8) di seguito si riportano i parametri di pericolosità sismica dell'area in esame:



Latitudine (WGS84)	40.53035869	Longitudine (WGS84)	17.88343234
Latitudine (ED50)	40.532034	Longitudine (ED50)	17.884375
Altitudine (mt)	0		
Classe dell'edificio	I: Costruzioni con presenza solo occasionale di pers		
Vita Nominale Struttura	50		
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	35		

Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F_o [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.015	2.325	0.160
Danno	35	0.016	2.325	0.177
Salvaguardia Vita	332	0.042	2.446	0.422
Prevenzione Collasso	682	0.052	2.516	0.485



Latitudine (WGS84)	40.54576162	Longitudine (WGS84)	17.90368346
Latitudine (ED50)	40.547437	Longitudine (ED50)	17.904627
Altitudine (mt)	0		
Classe dell'edificio	I: Costruzioni con presenza solo occasionale di pers		
Vita Nominale Struttura	50		
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	35		

Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F_o [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.014	2.323	0.159
Danno	35	0.016	2.323	0.175
Salvaguardia Vita	332	0.042	2.440	0.420
Prevenzione Collasso	682	0.052	2.497	0.485

Secondo le *Norme Tecniche per le Costruzioni del D.M. 17.01.2018 (NTC 18)*, all. A, l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica deve essere compatibile con le NTC, dotata di sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali. Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- " a_g " accelerazione orizzontale massima al terreno;
- " F_o " valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- " T_c^* " periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

5.1 Individuazione della pericolosità del sito

Le NTC18 (Norme Tecniche delle Costruzioni) ridefiniscono il concetto di pericolosità sismica di riferimento e di conseguenza sono state ridefinite le azioni sismiche di progetto-verifica. Tramite il programma sperimentale (Spettri-NTC ver.1.03) è possibile determinare i relativi spettri di risposta, in funzione del sito e del tipo di costruzione, per ciascuno degli stati limiti previsti dalla normativa. La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un determinato sito. Può essere definita in termini statistici e/o probabilistici. Dal punto di vista statistico la severità di un evento sismico è descritta dalle curve di pericolosità.

Ogni sito del territorio nazionale è caratterizzato da proprie curve di pericolosità che presentano in ascissa una misura della severità del terremoto come ad esempio accelerazione di picco del terreno o S_e (ordinata della risposta spettrale in accelerazione) ed in ordinata la frequenza media annua di ricorrenza $\lambda=1/T_r$ (T_r è il periodo di ritorno del sisma espresso in anni) in scala logaritmica.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

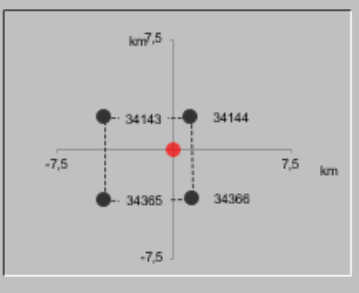
Grafici spettri di risposta ▶▶▶

Variabilità dei parametri ▶▶▶

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri ▶▶▶

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento


Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

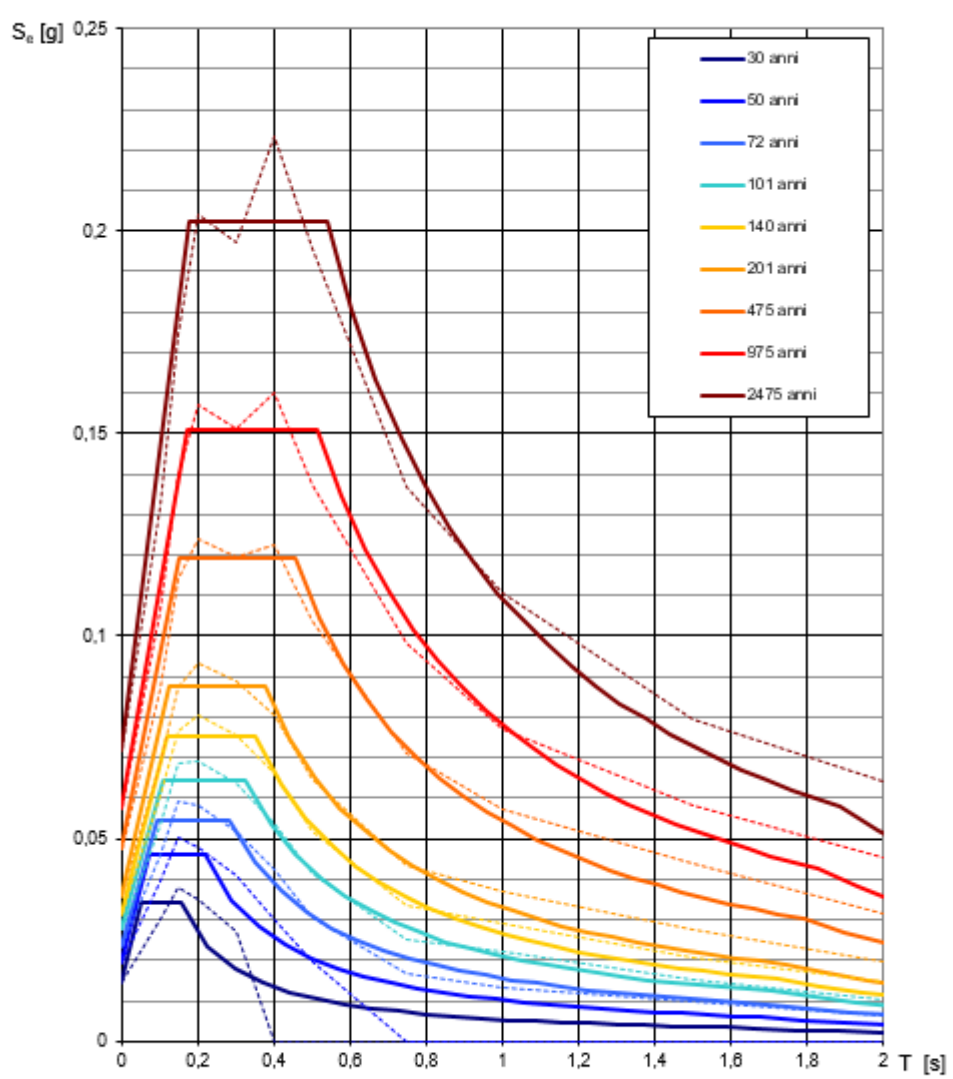
INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Una volta individuati tutti i parametri geografici (longitudine, latitudine, ecc.) sono visualizzati i quattro nodi del reticolo che circoscrivono il sito stesso.

I primi dati che si possono rilevare durante questa prima fase sono:

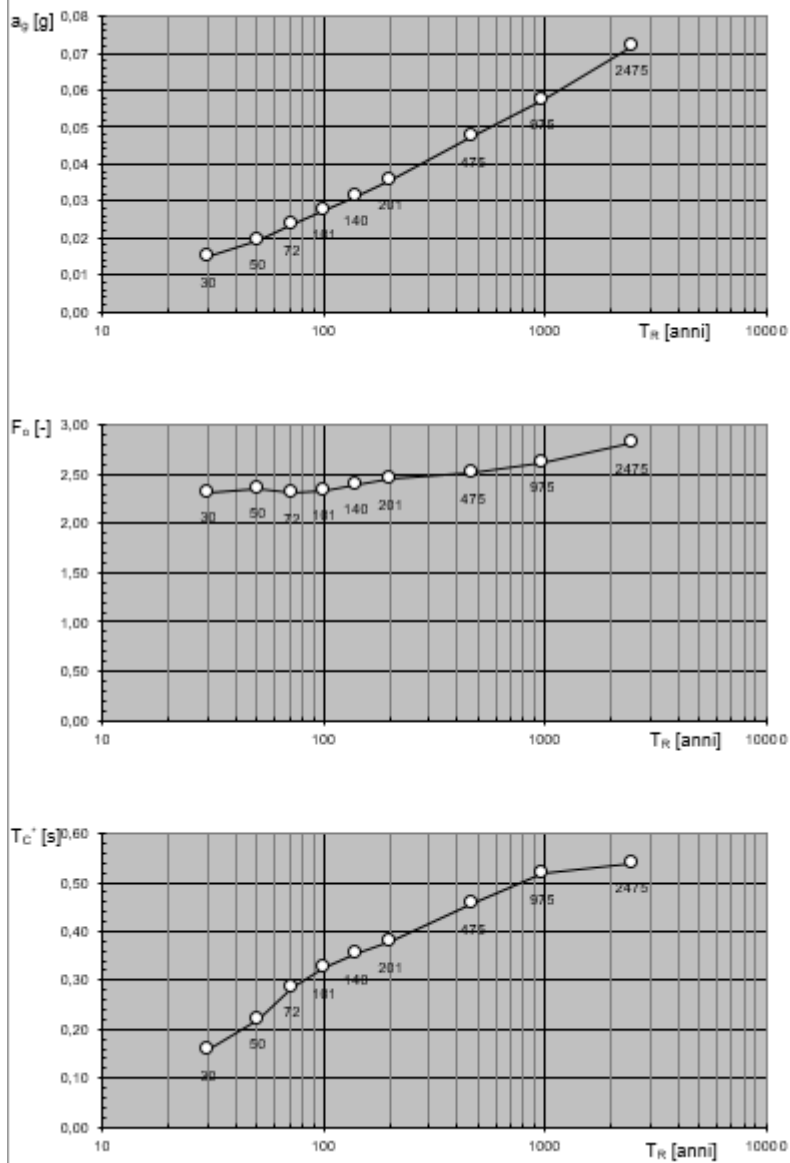
- i grafici degli spettri di risposta ottenuti in corrispondenza di ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1 (pagina seguente);
- i grafici che rappresentano la variabilità dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_r (pagina seguente);
- la tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri a_g , F_o , T_c^* per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1 che si riporta di seguito.

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



Segue una tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri a_g , F_o , T_c^* per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,015	2,320	0,156
50	0,019	2,356	0,221
72	0,024	2,305	0,286
101	0,028	2,338	0,325
140	0,031	2,391	0,353
201	0,036	2,447	0,378
475	0,047	2,511	0,456
975	0,058	2,622	0,517
2475	0,072	2,812	0,541

5.2 Strategia di progettazione

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="35"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="332"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="682"/>

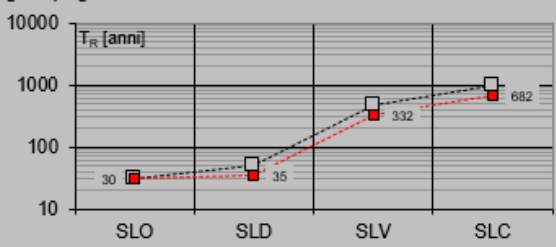
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

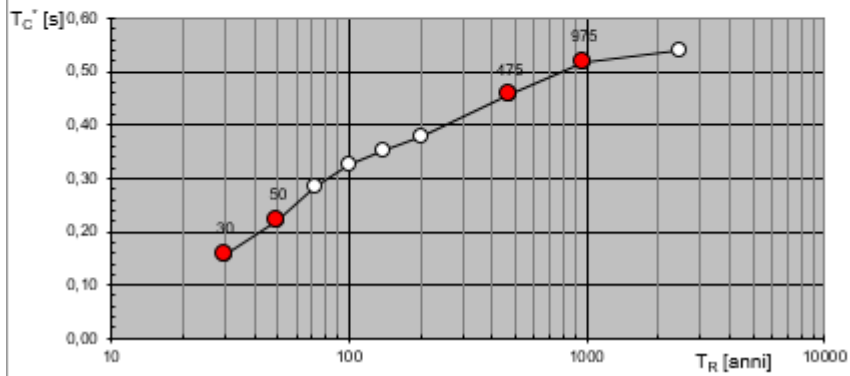
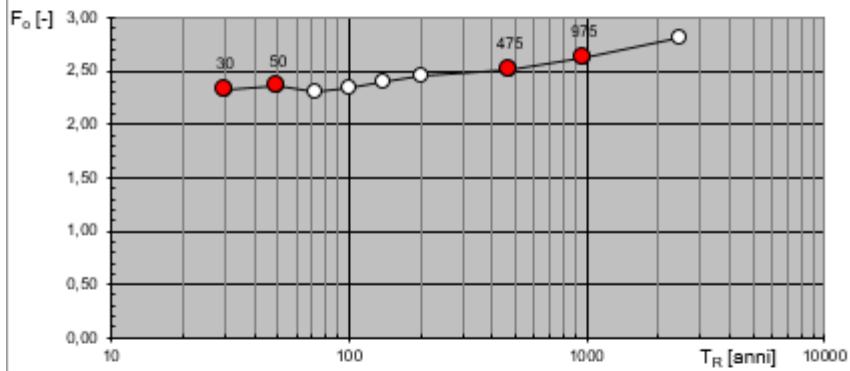
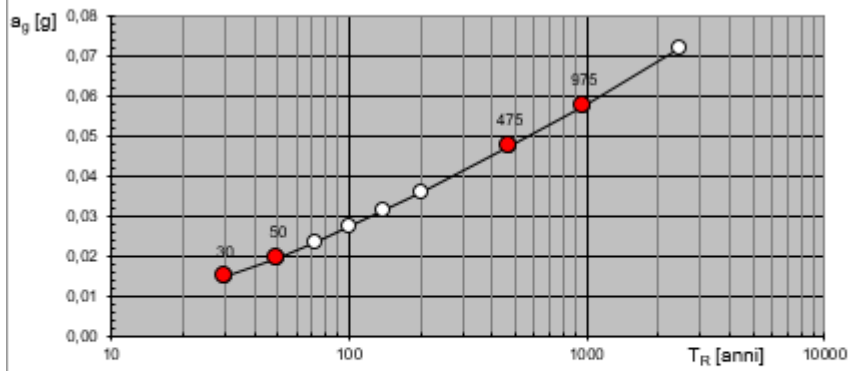
.....■..... Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

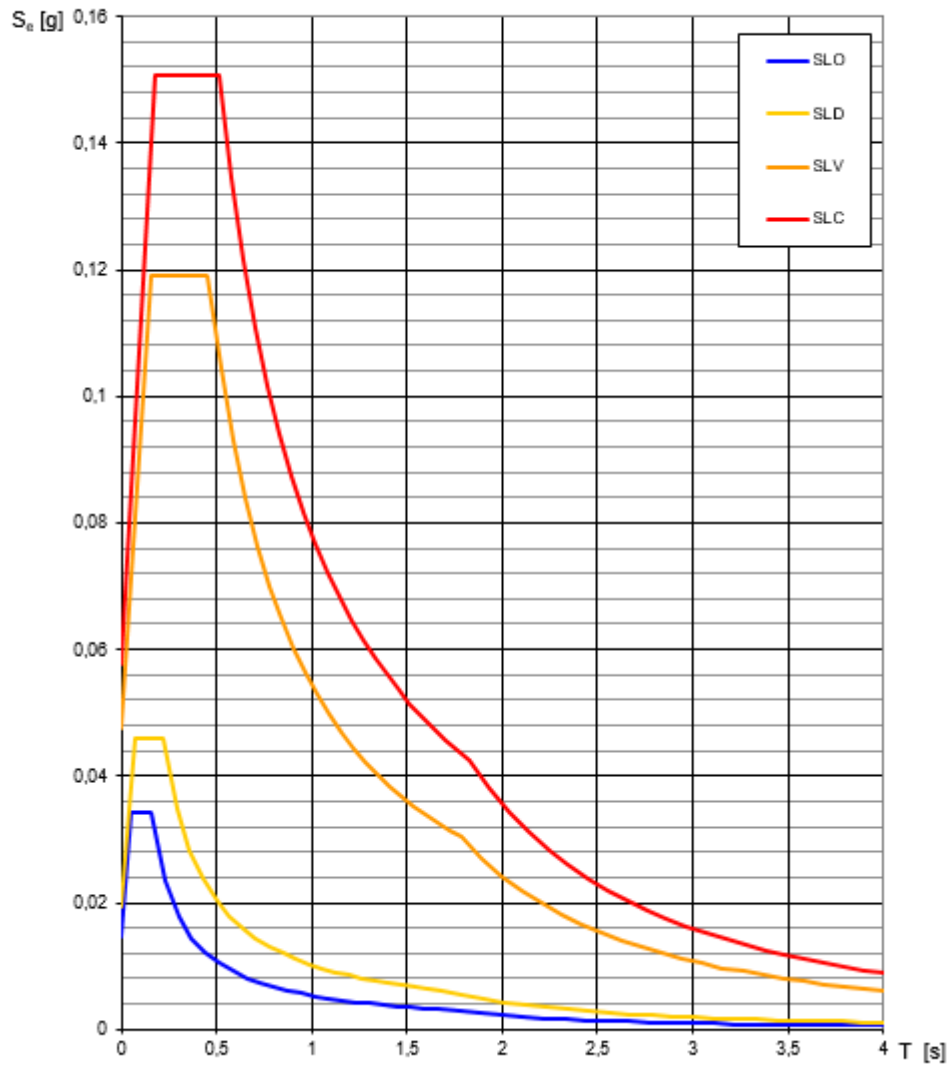
Il caso in esame è una struttura con **vita nominale V_N pari a 50 anni** ed appartenente alla **classe d'uso I** a cui, pertanto, corrisponde un **coefficiente d'uso della costruzione $C_U = 0,7$** . In base a tali valori viene determinato il **periodo di riferimento per la costruzione V_R** che risulta in questo caso pari a **35 anni**.

Sono quindi stati calcolati i valori dei periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento per i quattro stati limite previsti dalle NTC18. I dati in uscita in questa fase rappresentano una selezione effettuata sui dati ottenuti nella fase precedente in corrispondenza dei valori previsti per il periodo di ritorno dei quattro stati limite considerati.

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,015	2,320	0,157
SLD	50	0,020	2,355	0,222
SLV	475	0,047	2,511	0,456
SLC	975	0,058	2,622	0,517

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nelle aree in cui sorgeranno un impianto agrovoltaico ed una stazione di elevazione, il terreno di fondazione è costituito da sabbie argillose ed argille con caratteristiche meccaniche discrete. La morfologia dell'area è regolare con una blanda pendenza verso est.

I terreni presentano una permeabilità per porosità interstiziale mentre per quanto riguarda la presenza della falda, da dati bibliografici e dalla cartografia del Piano di tutela si riscontra l'eventuale presenza di una falda superficiale intorno al metro di profondità, la cui verifica sarà eseguita durante l'esecuzione delle opere.

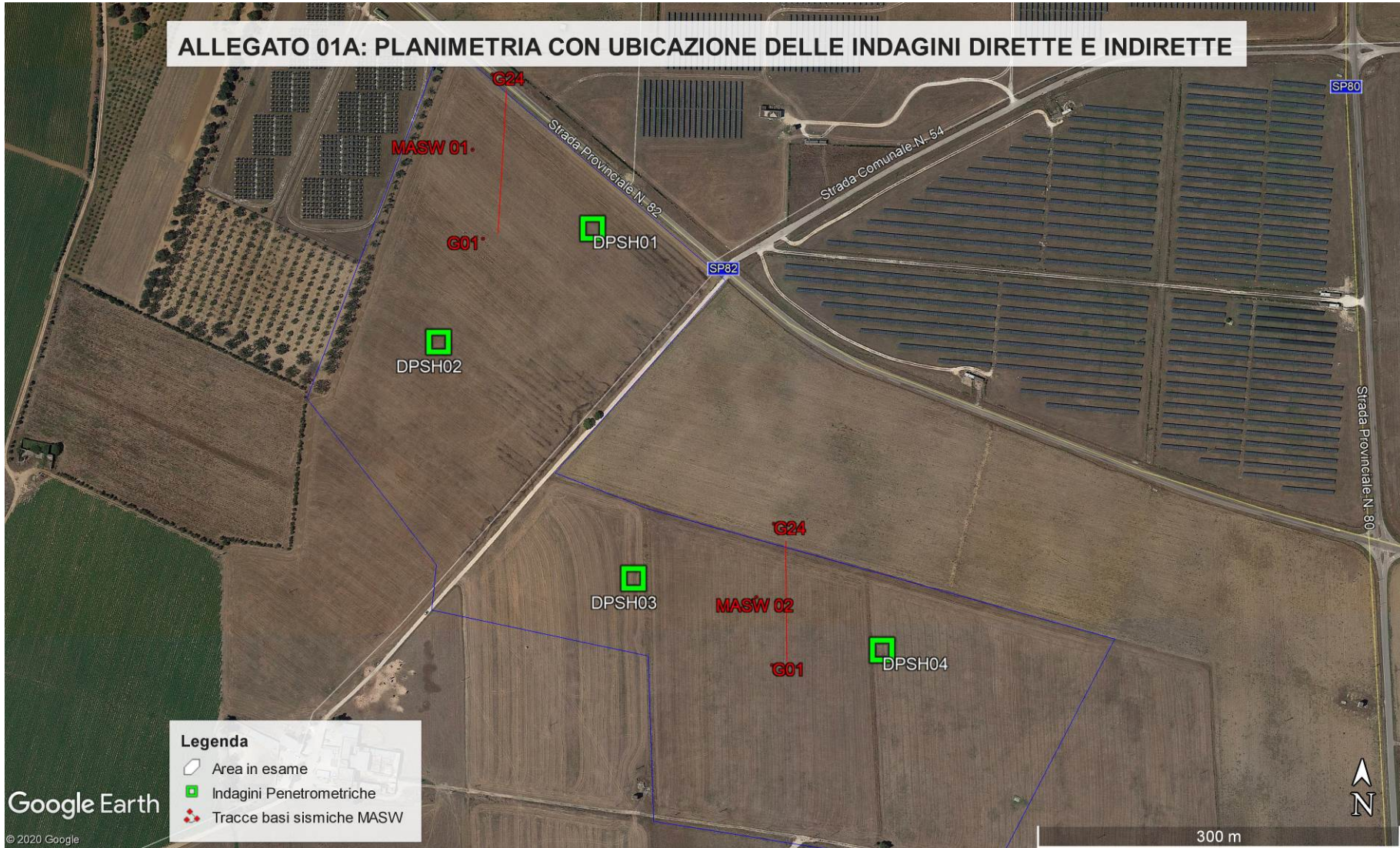
Data l'entità delle opere a farsi, il terreno interessato dagli scavi sarà indicativamente quello compreso entro il primo metro da piano campagna, pertanto si prescrivono accorgimenti per le modalità di scavo in caso di venute di acque, oltreché quelli minimi per la garanzia della sicurezza dei lavoratori in sito; pertanto si esprime parere geologico favorevole.

Le indagini sismiche eseguite in corrispondenza del Campo agrovoltaico hanno evidenziato che il sottosuolo in esame da un punto di vista della caratterizzazione sismica rientra nella categoria di suolo "B" mentre le prove DPSH svolte sia in corrispondenza del Campo agrovoltaico che della Stazione di Elevazione hanno rilevato la presenza di terreni generalmente granulari con scarso grado di addensamento e che a varie quote, entro i primi sei metri di sottosuolo, per l'area dell'Impianto agrovoltaico e entro i primi quattro metri di sottosuolo per l'area della Stazione di Elevazione, insistono livelli maggiormente cementati i quali non hanno consentito alle prove stesse di approfondirsi ulteriormente.

ALLEGATO 01 – PLANIMETRIE

-
- UBICAZIONE DELLE INDAGINI
-

ALLEGATO 01A: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI DIRETTE E INDIRECTE



ALLEGATO 01B: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI DIRETTE E INDIRECTE





Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class.



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

ALLEGATO 02 – GRAFICO PROVE PENETROMETRICHE

-
- N. COLPI
 - RESISTENZA DINAMICA
 - INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA
-

PARAMETRI GEOTECNICI			
PROVA DPSH 01	Correlazione	Strato 1	Strato 2
Spessore		1.00m	3.60m
Coesione non drenata Cu (Kg/cm²) (*)	----	n.a.	n.a.
Densità relativa Dr (%)	Skempton 1986	22,52	35,86
Angolo di resistenza al taglio φ (°)	Meyerhof 1956	21,61	22,84
Modulo Edometrico Eed (Kg/cm²)	Buismann-Sanglerat	-	-
Modulo di Young Ey (Kg/cm²)	Schultze-Menzenbach	-	117,99
Peso unità di volume γ (t/m³)	Meyerhof ed altri	1,57	1,73
Peso unità di volume saturo γs (t/m³)	Terzaghi-Peck	1,89	1,92
Modulo di Poisson σ	(A.G.I.)	0,41	0,39
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Poco addensato	Poco addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)	Ohsaki	330,26	562,93
Modulo di reazione K₀	Navfac 1971-1982	1,14	2,09
Resistenza punta Penetrometro Statico Qc (Kg/cm²)	Robertson (1983)	11,28	19,88

(*) Coesione drenata C (Kg/cm²):

Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe

0,00

0,00

PROVA DPSH 01

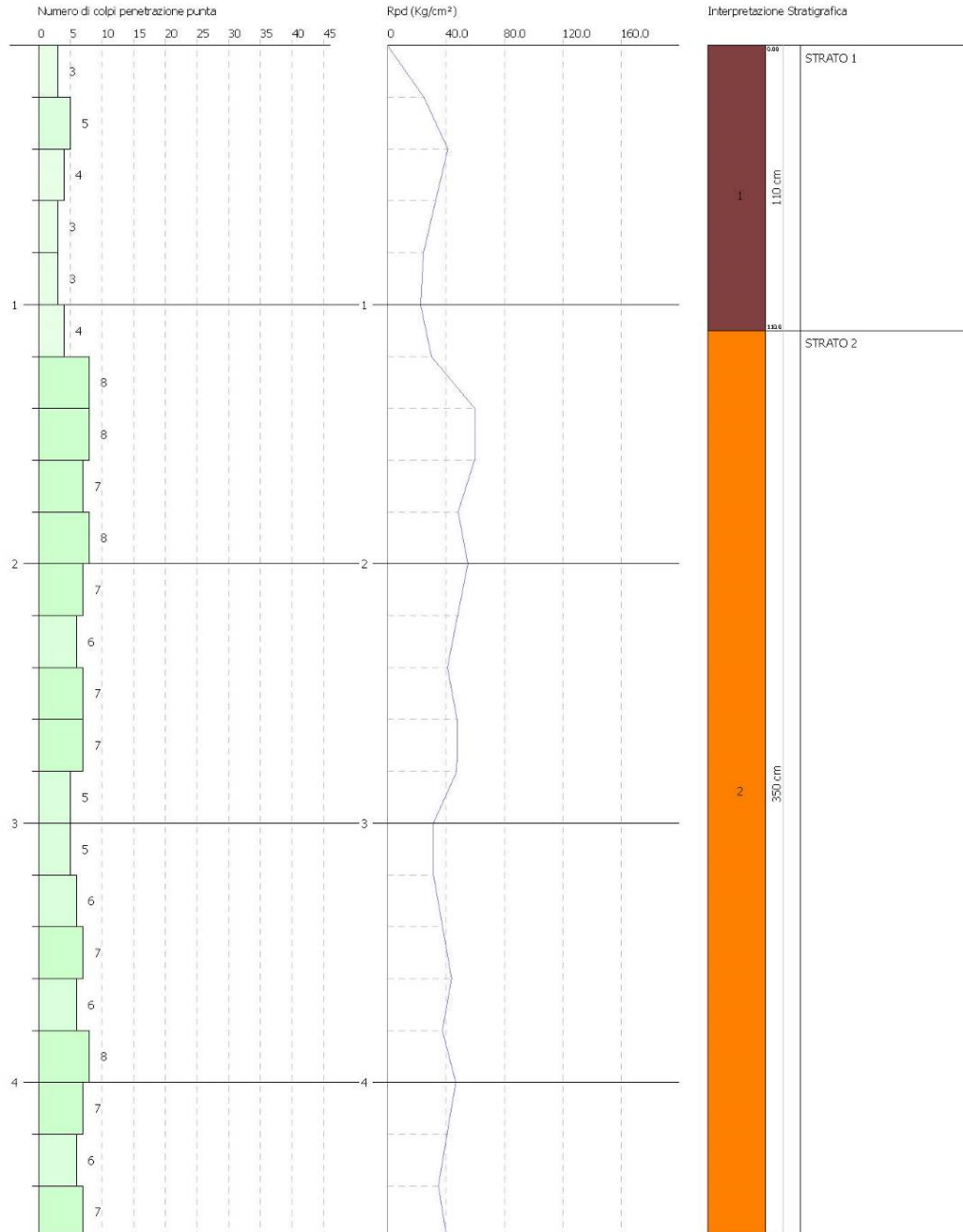
APOGEO S.R.L.
VIA CADUTI DI NASSIRVA 170
ALTAMURA (BA)
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: SICILIA S.R.L.
Cantiere: Impianto fotovoltaico
Località: C.da Specchia (Br)

Data: 10/02/2020

Scala 1:22



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 02	Correlazione	Strato 1
Spessore		1,00m
Coesione non drenata C_u (Kg/cm ²) (*)	----	0,95
Densità relativa D_r (%)	Skempton 1986	41,32
Angolo di resistenza al taglio ϕ (°)	Meyerhof 1956	24,02
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm ²)	Buisman-Sanglerat	84,48
Modulo di Young E_y (Kg/cm ²)	Schultze-Menzenbach	166,84
Peso unità di volume γ (t/m ³)	Meyerhof ed altri	1,86
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m ³)	Terzaghi-Peck	1,94
Modulo di Poisson σ	(A.G.I.)	0,39
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Moderatamente addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²)	Ohsaki	780,91
Modulo di reazione K_0	Navfac 1971-1982	2,94
Resistenza punta Penetrometro Statico Q_c (Kg/cm ²)	Robertson (1983)	28,16

(*) Coesione drenata C (Kg/cm²):

Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe

0,00

PROVA DPSH 02

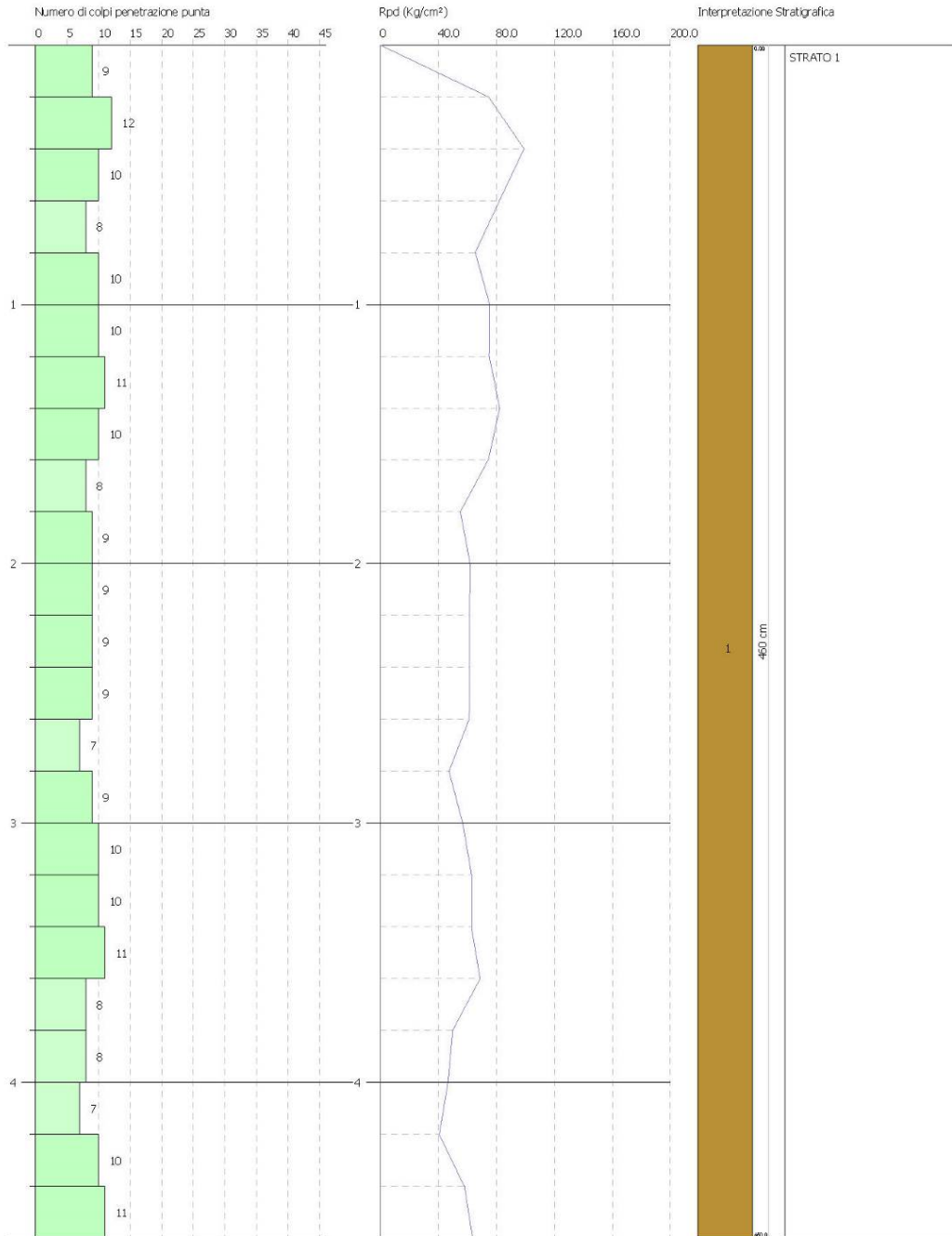
APOGEO S.R.L.
VIA CADUTI DI NASSIRYA 170
ALTAMURA (BA)
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it

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

Committente: SICILIA S.R.L.
Cantiere: Impianto fotovoltaico
Località: C.da Specchia (Br)

Data: 10/02/2020

Scala 1:21



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 03	Correlazione	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4	Strato 5	Strato 6	Strato 7
Spessore		0.80m	1.20m	3.00m	0.80m	0.20m	0.80m	0.20m
Coesione non drenata Cu (Kg/cm ²) (*)	---	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,07
Densità relativa Dr (%)	Skempton 1986	15,33	44,43	31,65	71,64	36,29	59,08	44,43
Angolo di resistenza al taglio φ (°)	Meyerhof 1956	20,86	24,51	22,69	31,17	23,30	27,41	24,51
Modulo Edometrico Eed (Kg/cm ²)	Buisman-Sanglerat	-	94,74	-	234,60	69,24	155,64	94,74
Modulo di Young Ey (Kg/cm ²)	Schultze-Menzenbach	-	187,02	111,62	462,08	136,87	306,79	187,02
Peso unità di volume γ (t/m ³)	Meyerhof ed altri	1,45	1,90	1,71	1,95	1,78	1,82	1,90
Peso unità di volume saturo γ _s (t/m ³)	Terzaghi-Peck	1,87	1,95	1,91	2,00	1,90	1,93	1,96
Modulo di Poisson σ	(A.G.I.)	0,41	0,37	0,39	0,33	0,37	0,36	0,37
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Sciolto	Moderatamente addensato	Poco addensato	Addensato	Moderatamente addensato	Moderatamente addensato	Moderatamente addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²)	Ohsaki	183,13	869,75	534,14	2039,67	647,72	1386,90	869,75
Modulo di reazione K ₀	Navfac 1971-1982	0,52	3,28	1,97	6,78	2,43	5,02	3,28
Resistenza punta Penetrometro Statico Qc (Kg/cm ²)	Robertson (1983)	6,02	31,58	18,80	78,20	23,08	51,88	31,58

(*) Coesione drenata C (Kg/cm²):

Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe

0,00 0,00 0,00 0,10 0,00 0,10 0,00

PROVA DPSH 03

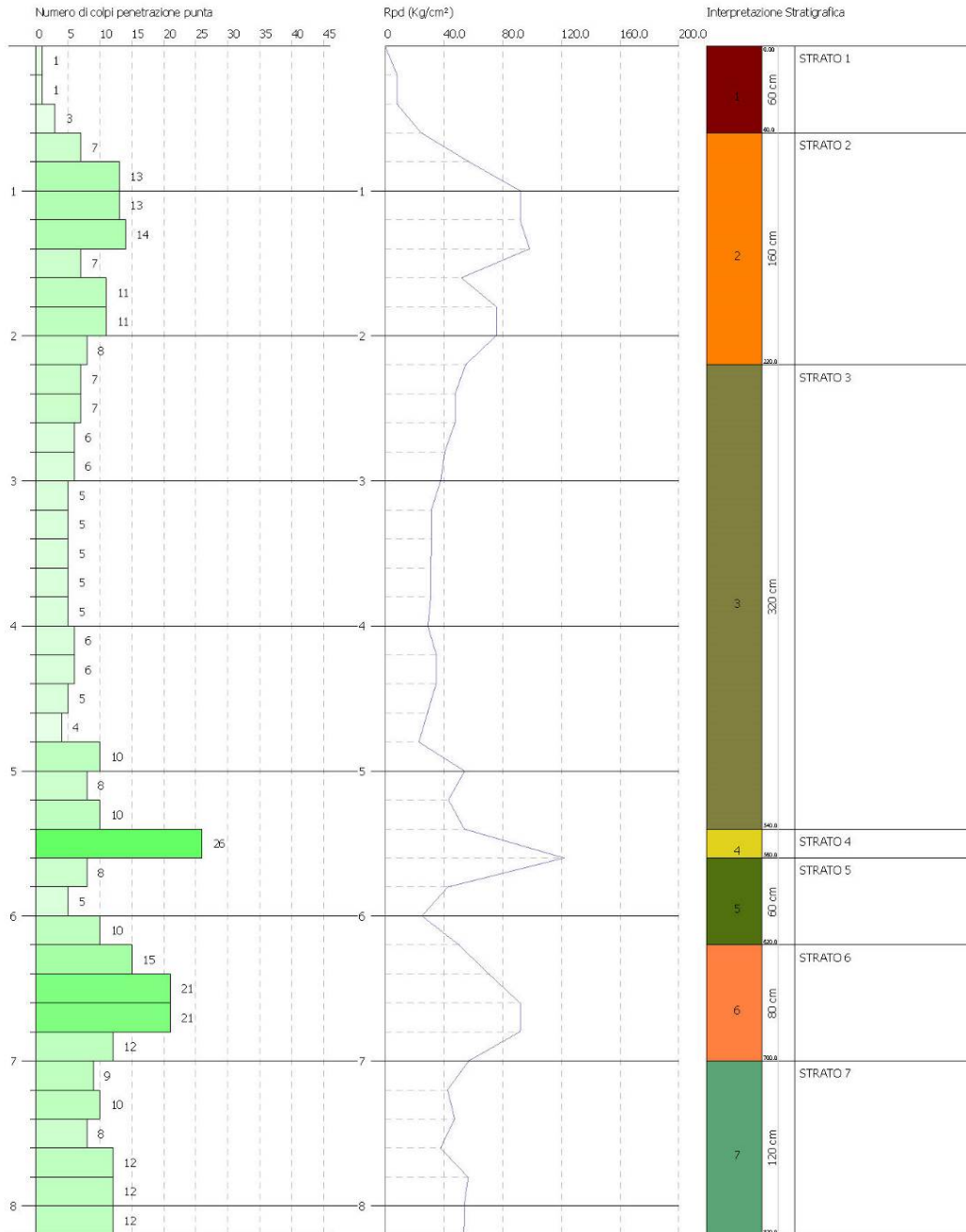
APOGEO S.R.L.
VIA CADUTI DI NASSIRYA 170
ALTAMURA (BA)
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: SICILIA S.R.L.
Cantiere: Impianto fotovoltaico
Località: C.da Specchia (Br)

Data: 10/02/2020

Scala 1:38



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 04	Correlazione	Strato 1	Strato 2
Spessore		0.80m	4.00m
Coesione non drenata C_u (Kg/cm ²) (*)	----	n.a.	n.a.
Densità relativa D_r (%)	Skempton 1986	12,03	30,09
Angolo di resistenza al taglio ϕ (°)	Meyerhof 1956	20,54	22,49
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm ²)	Buisman-Sanglerat	-	-
Modulo di Young E_y (Kg/cm ²)	Schultze-Menzenbach	-	103,60
Peso unità di volume γ (t/m ³)	Meyerhof ed altri	1,40	1,69
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m ³)	Terzaghi-Peck	1,87	1,91
Modulo di Poisson σ	(A.G.I.)	0,41	0,39
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Sciolto	Poco addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²)	Ohsaki	117,66	497,74
Modulo di reazione K_0	Navfac 1971-1982	0,24	1,83
Resistenza punta Penetrometro Statico Q_c (Kg/cm ²)	Robertson (1983)	3,76	17,44

(*) Coesione drenata C (Kg/cm²):

Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe

0,00

0,00



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class.



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

PROVA DPSH 04

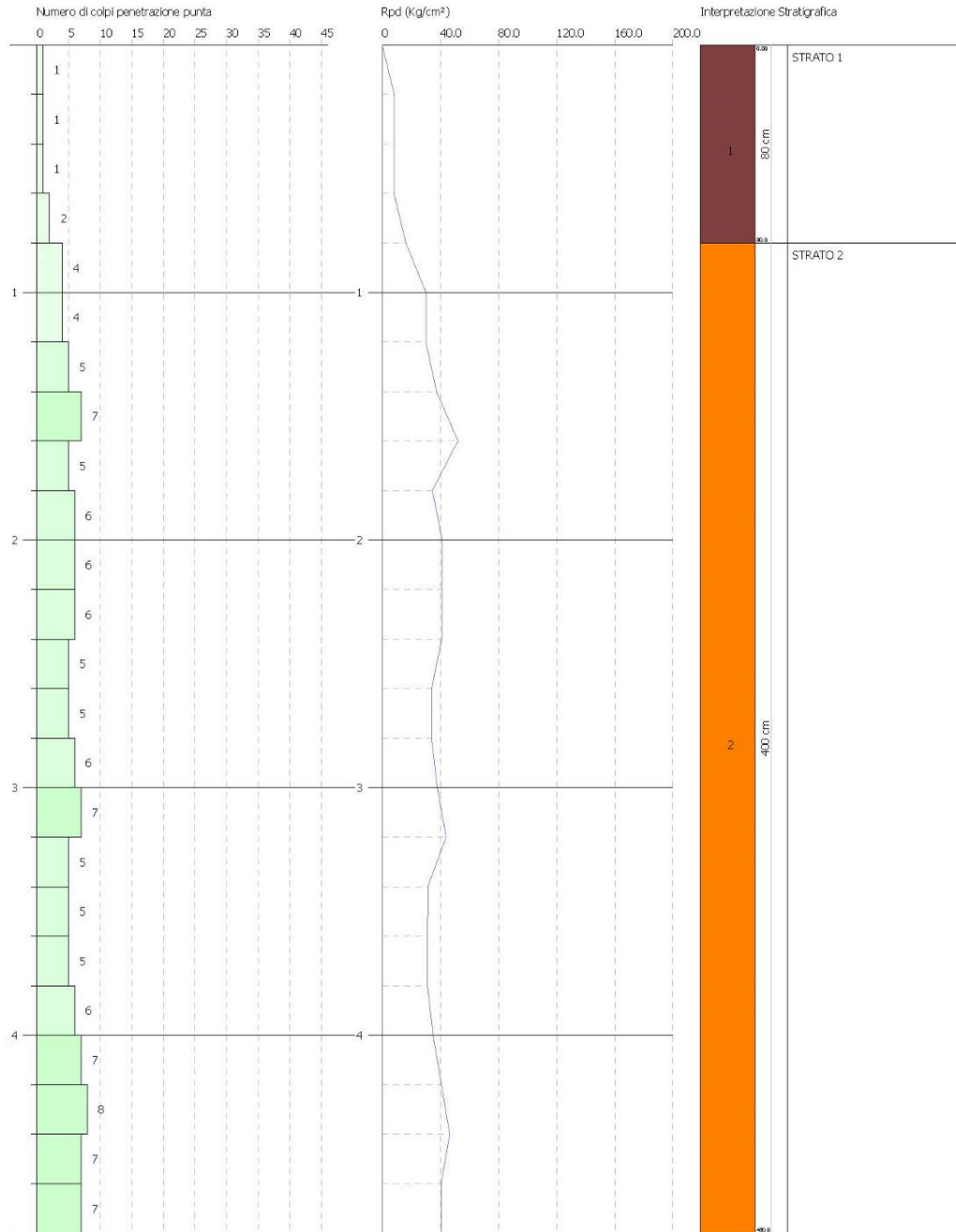
APOGEO S.R.L.
VIA CADUTI DI NASSIRYA 170
ALTAMURA (BA)
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: SICILIA S.R.L.
Cantiere: Impianto fotovoltaico
Località: C.da Specchia (Br)

Data: 10/02/2020

Scala 1:22



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 05	Correlazione	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4
Spessore		1.00m	1.80m	1.00m	0.40m
Coazione non drenata C_u (Kg/cm ²) (*)	---	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Densità relativa D_r (%)	Skempton 1986	20,54	46,01	68,11	92,93
Angolo di resistenza al taglio ϕ (°)	Meyerhof 1956	21,40	24,77	29,97	37,83
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm ²)	Buisman-Sanglerat	-	100,26	209,34	374,52
Modulo di Young E_y (Kg/cm ²)	Schultze-Menzenbach	-	197,88	412,40	737,26
Peso unità di volume γ (t/m ³)	Meyerhof ed altri	1,53	1,80	1,85	1,95
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m ³)	Terzaghi-Peck	1,89	1,85	1,96	2,03
Modulo di Poisson σ	(A.G.I.)	0,41	0,36	0,35	0,33
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Poco addensato	Moderatamente addensato	Addensato	Molto addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²)	Ohsaki	154,39	739,13	1353,20	966,75
Modulo di reazione K_0	Navfac 1971-1982	0,96	3,45	6,26	10,48
Resistenza punta Penetrometro Statico Q_c (Kg/cm ²)	Robertson (1983)	9,78	33,42	69,78	124,84

(*) Coazione drenata C (Kg/cm²):

Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe

0,00

0,00

0,15

0,20

PROVA DPSH 05

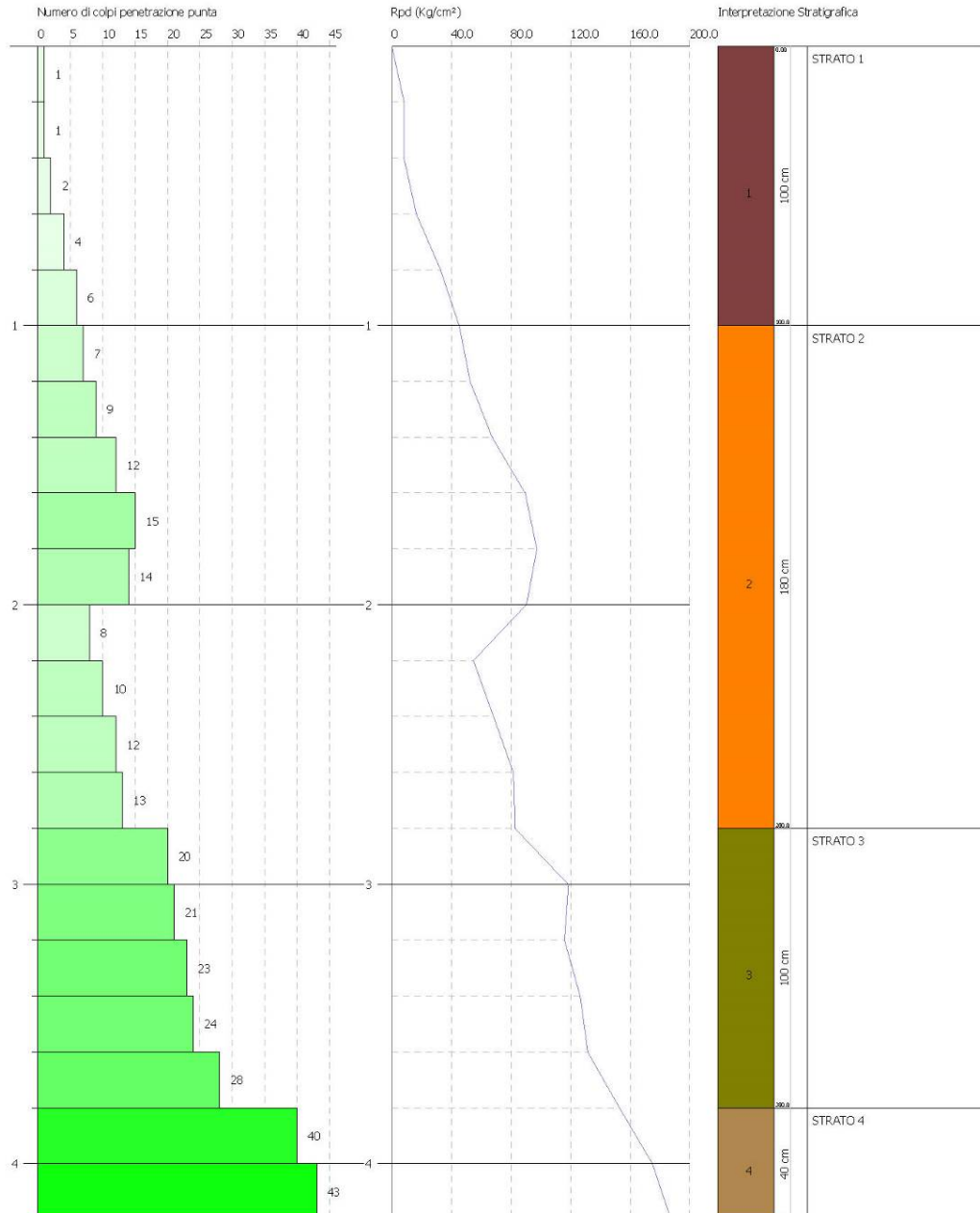
APOGEO S.R.L.
VIA CADUTI DI NASSIRYA 170
ALTAMURA (BA)
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@iberol.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: SICILIA S.R.L.
Cantiere: Impianto fotovoltaico
Località: C.da Specchia (Br)

Data: 10/02/2020

Scala 1:20



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 06	Correlazione	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4	Strato 5
Spessore		0.80m	1.00m	0.20m	1.00m	0.20m
Coesione non drenata C_u (Kg/cm ²) (*)	----	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Densità relativa D_r (%)	Skempton 1986	10,89	43,63	66,49	56,79	78,82
Angolo di resistenza al taglio ϕ (°)	Meyerhof 1956	20,43	24,38	29,45	26,87	33,75
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm ²)	Buisman-Sanglerat	-	92,04	198,54	144,36	288,78
Modulo di Young E_y (Kg/cm ²)	Schultze-Menzenbach	-	181,71	391,16	284,61	568,63
Peso unità di volume γ (t/m ³)	Meyerhof ed altri	1,38	1,85	1,92	1,87	1,95
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m ³)	Terzaghi-Peck	1,76	1,90	1,98	1,96	2,00
Modulo di Poisson σ	(A.G.I.)	0,41	0,38	0,36	0,37	0,35
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Sciolto	Moderatamente addensato	Addensato	Moderatamente addensato	Addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²)	Ohsaki	95,16	846,43	1743,53	1292,20	2479,62
Modulo di reazione K_0	Navfac 1971-1982	0,15	3,19	6,03	4,73	7,92
Resistenza punta Penetrometro Statico Q_c (Kg/cm ²)	Robertson (1983)	3,00	30,68	66,18	48,12	96,26

(*) Coesione drenata C (Kg/cm²):

Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe

0,00

0,00

0,15

0,00

0,15

PROVA DPSH 06

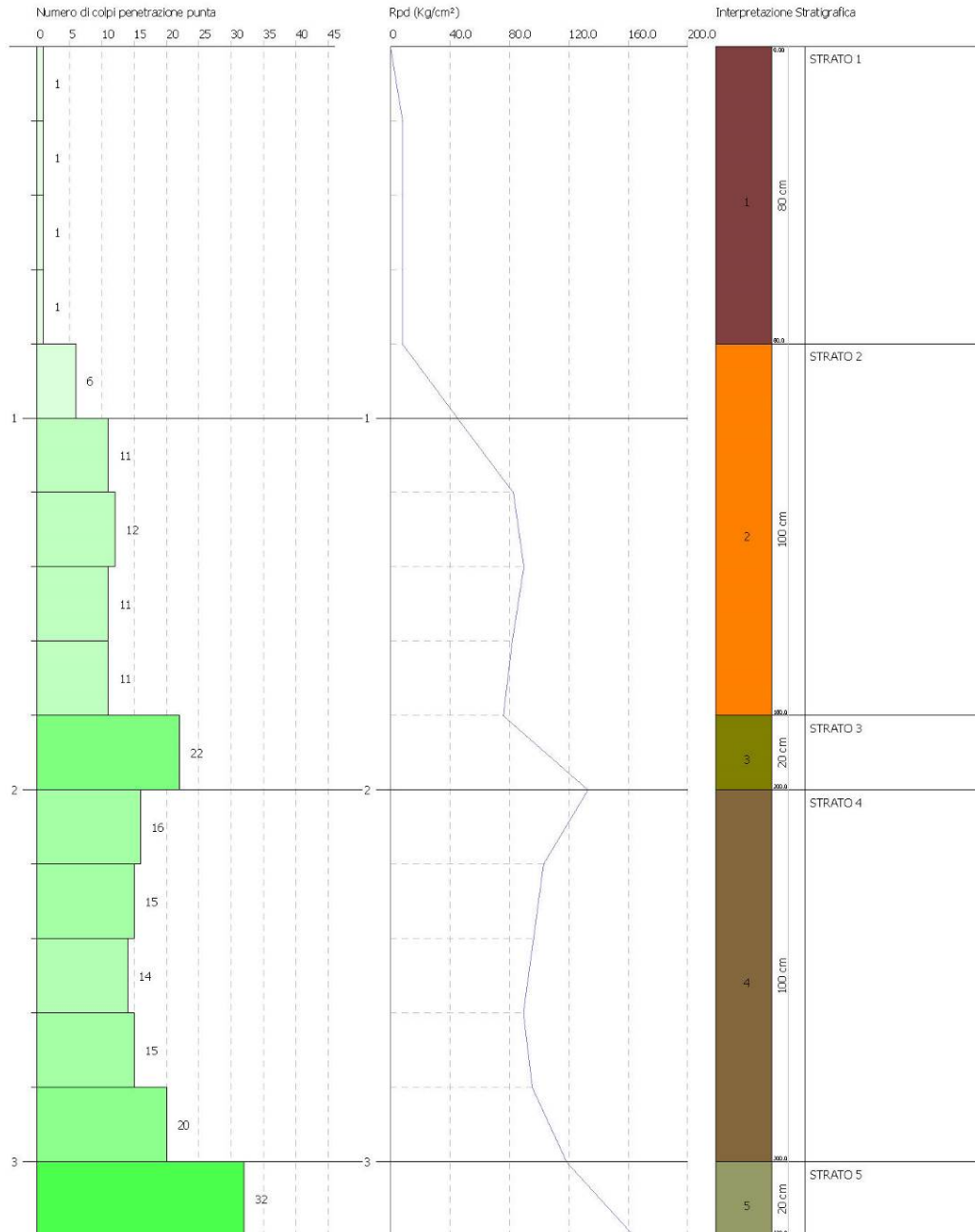
#POGEO S.R.L.
VIA CADUTI DI NASSRYA 170
ALTAMURA (BA)
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.6 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: SICILIA S.R.L.
Cantiere: Impianto fotovoltaico
Località: C.da Specchia (Br)

Data: 10/02/2020

Scala 1:15



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class.



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

ALLEGATO 03 – PROSPEZIONE SISMICA: MASW1D

-
- ELABORATI INDAGINI MASW
 - SISMOGRAMMI MEDI
 - SPETTRI DELLE FREQUENZE
 - CURVE DI DISPERSIONE
 - PROFILI VS
-

ELABORATI INDAGINE MASW 1D: MASW01 E MASW 02

Località "C.da Specchia - Brindisi" - MASW 1 – SCOPPIO 1

SISMOGRAMMA MEDIO

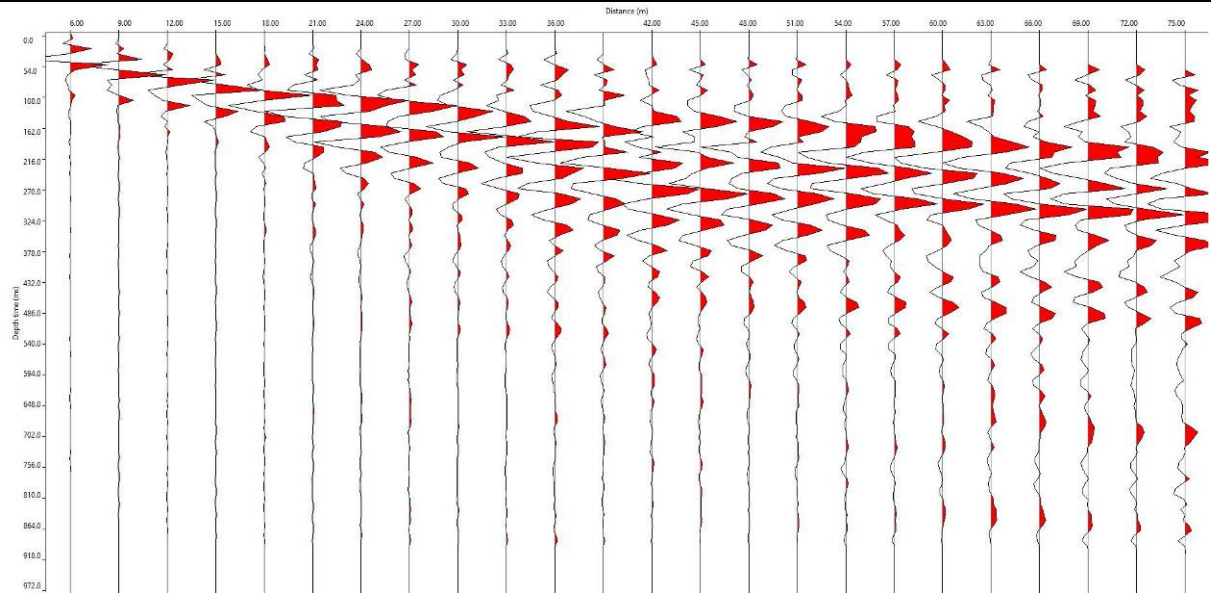
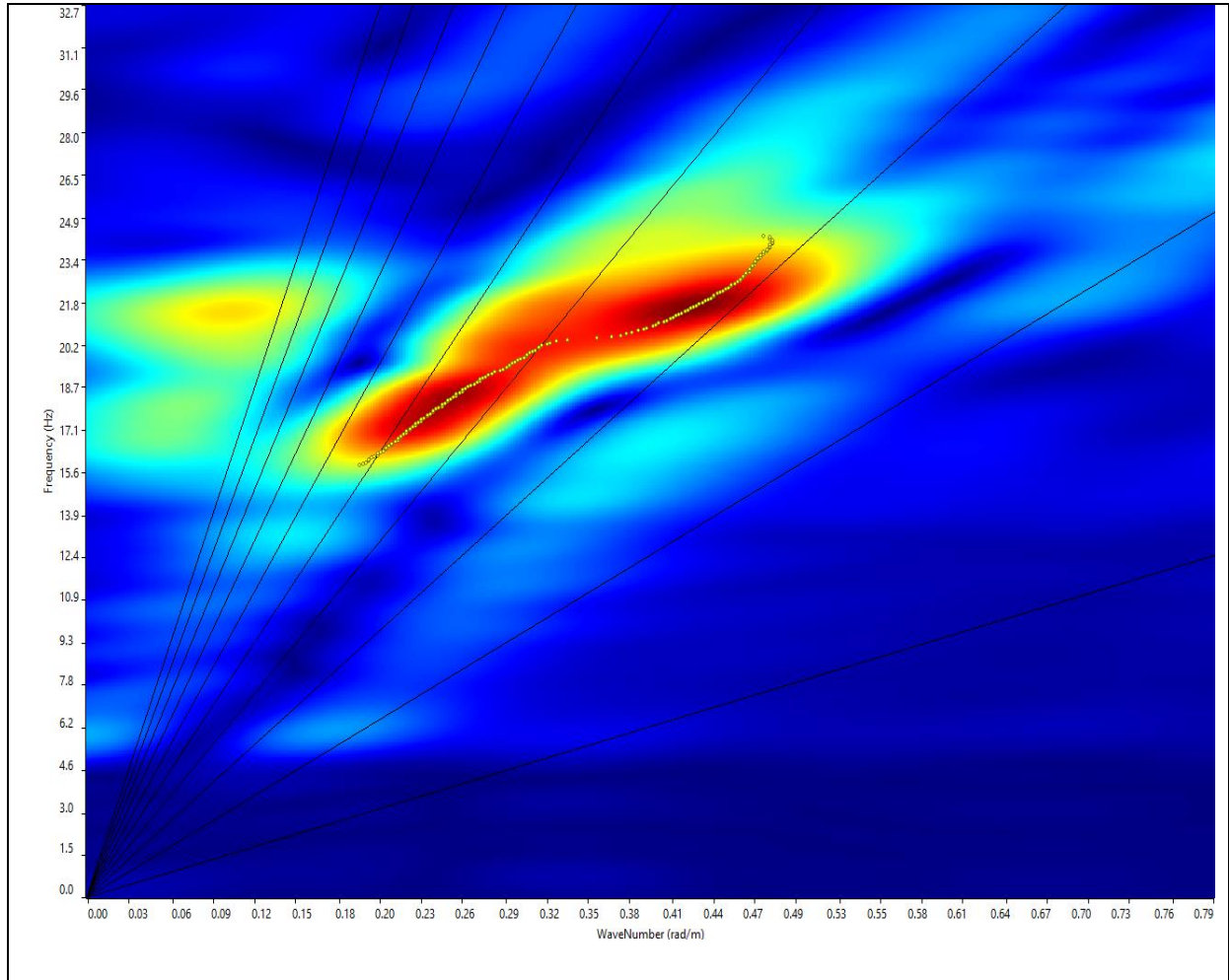
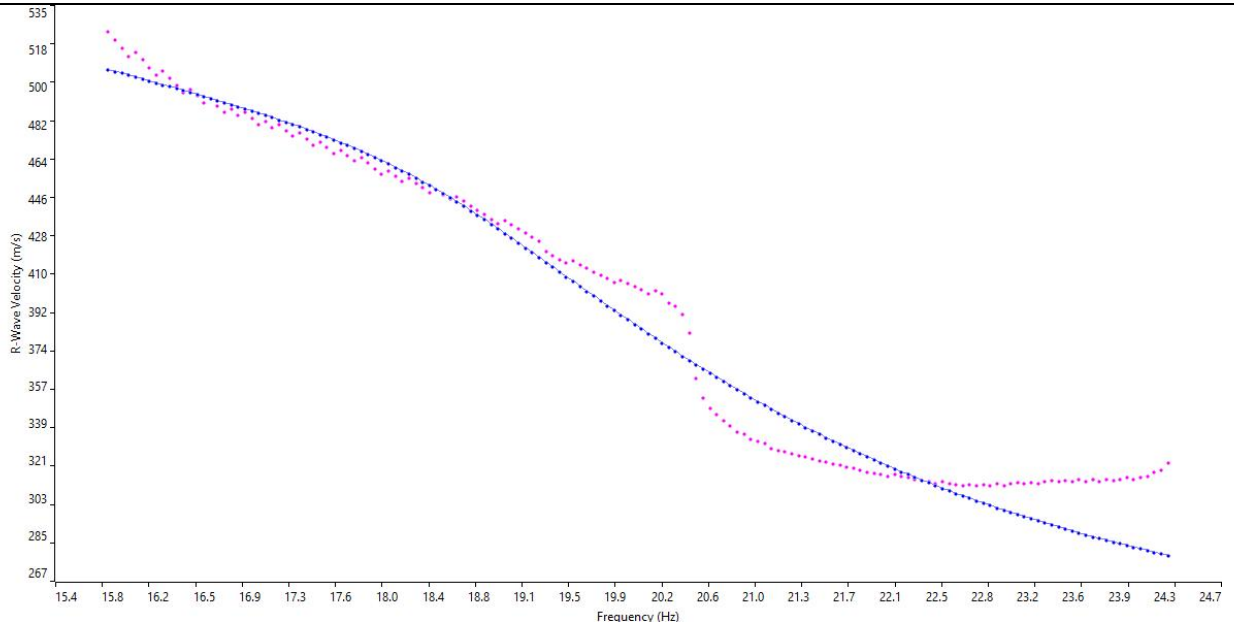


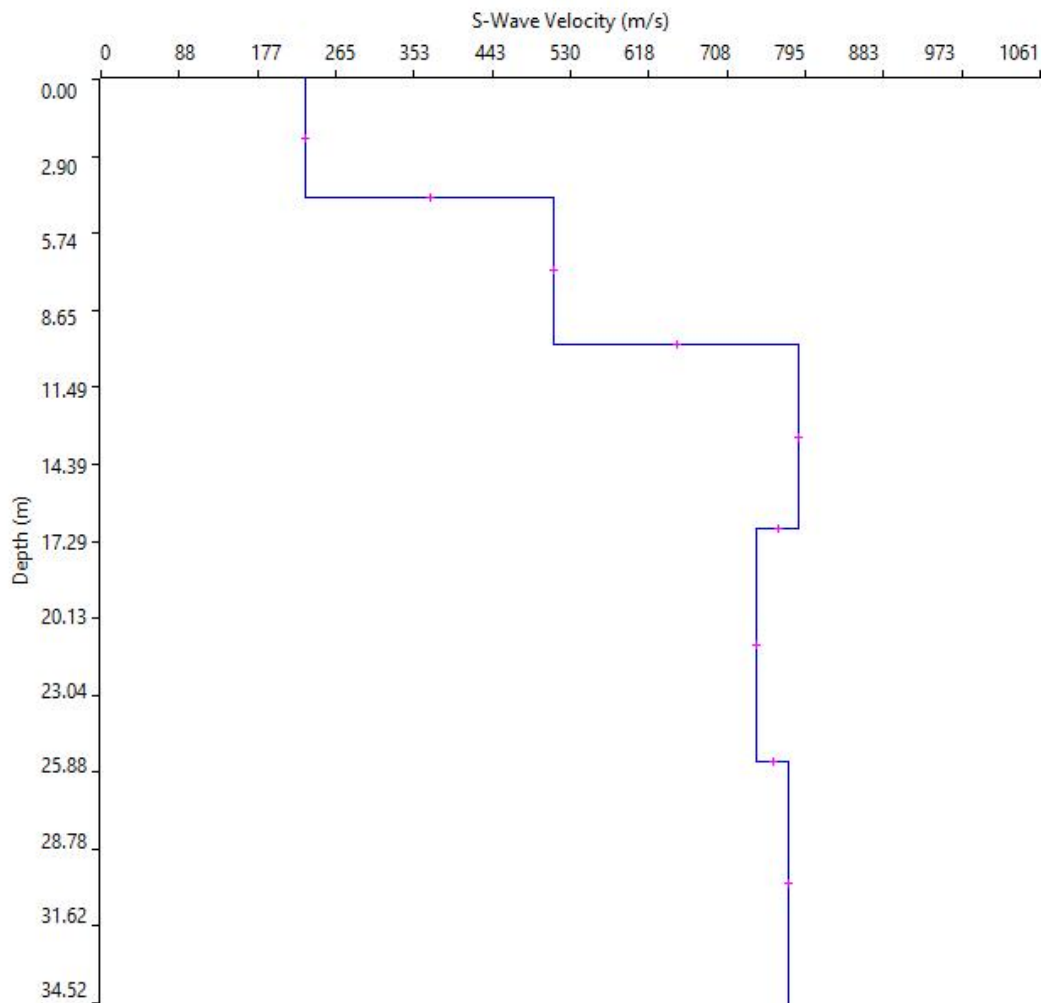
GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" - $V_{s,30} = V_{s,eq} = 535 \text{ m/s}$ a partire dal piano d'indagine

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness	Depth	Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	4.40	0.00 <input type="checkbox"/>	231
Layer 2	<input type="checkbox"/>	5.50	4.40 <input type="checkbox"/>	512
Layer 3	<input type="checkbox"/>	6.90	9.90 <input type="checkbox"/>	788
Layer 4	<input type="checkbox"/>	8.70	16.80 <input type="checkbox"/>	740
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF	25.50 <input type="checkbox"/>	777

Località "C.da Specchia - Brindisi" - MASW 1 – SCOPPIO 2

SISMOGRAMMA MEDIO

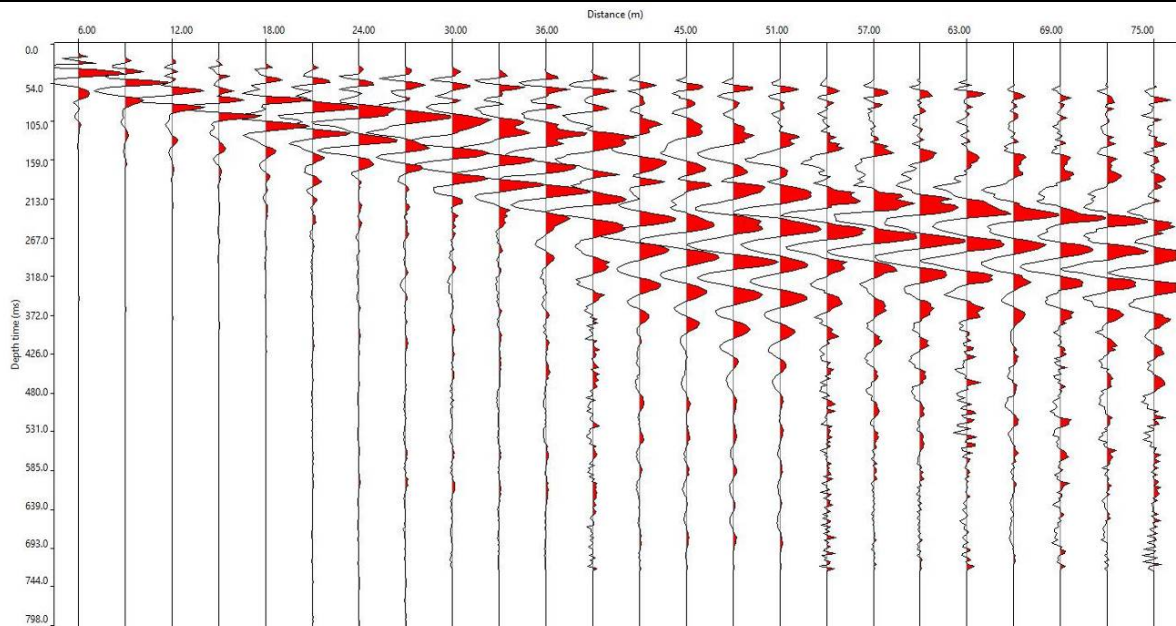
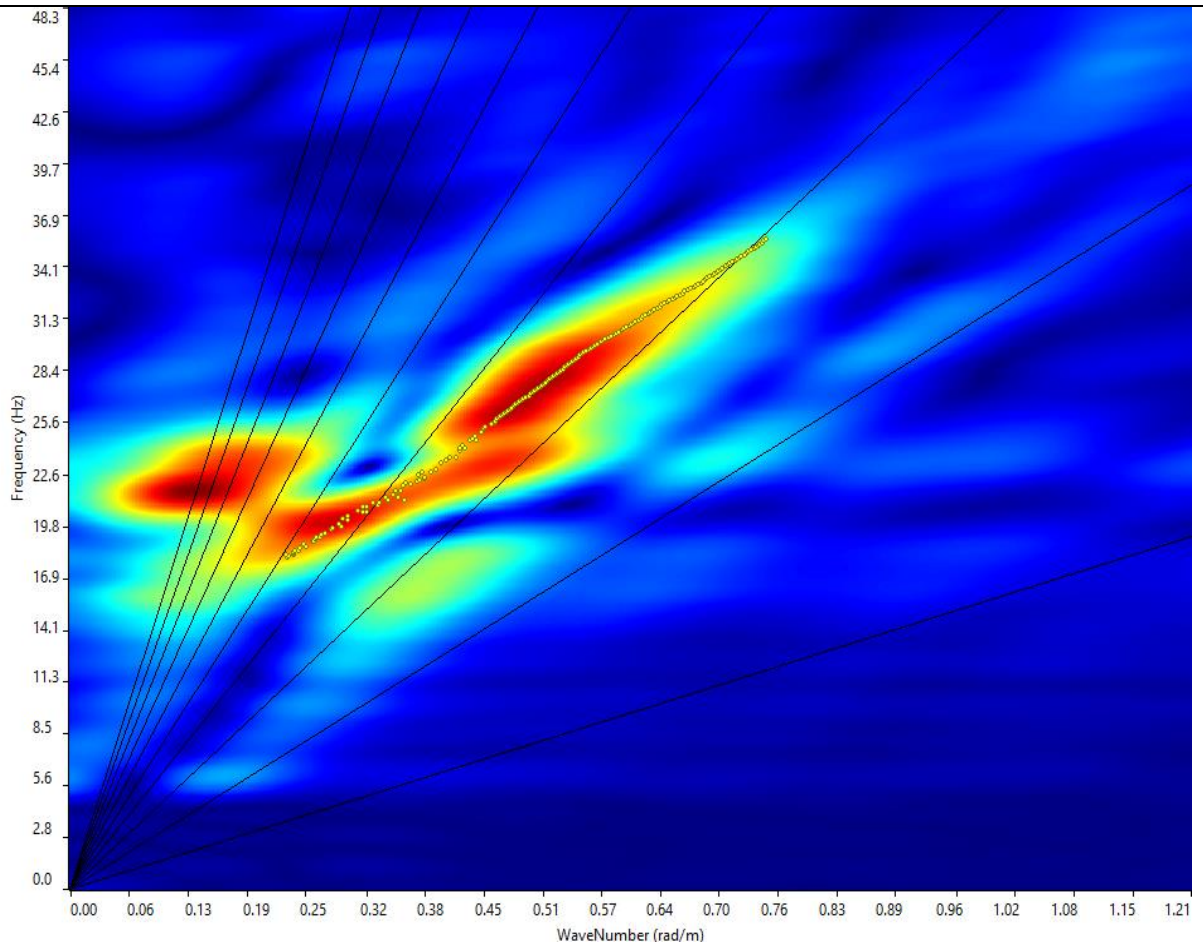
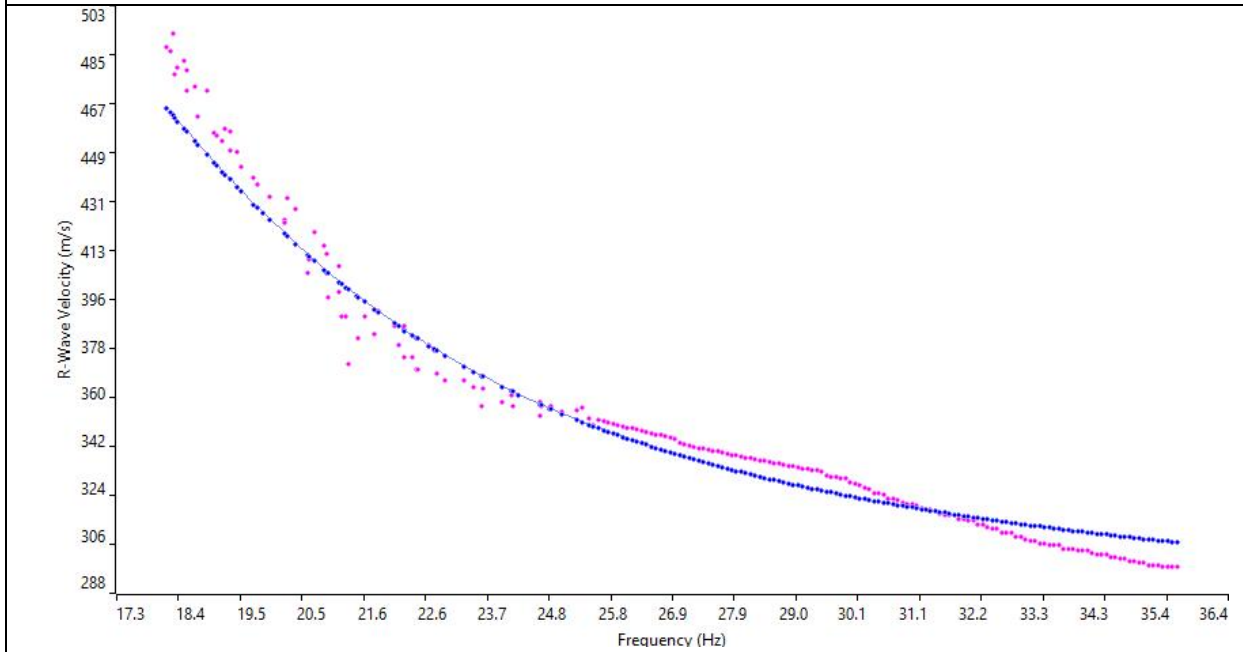


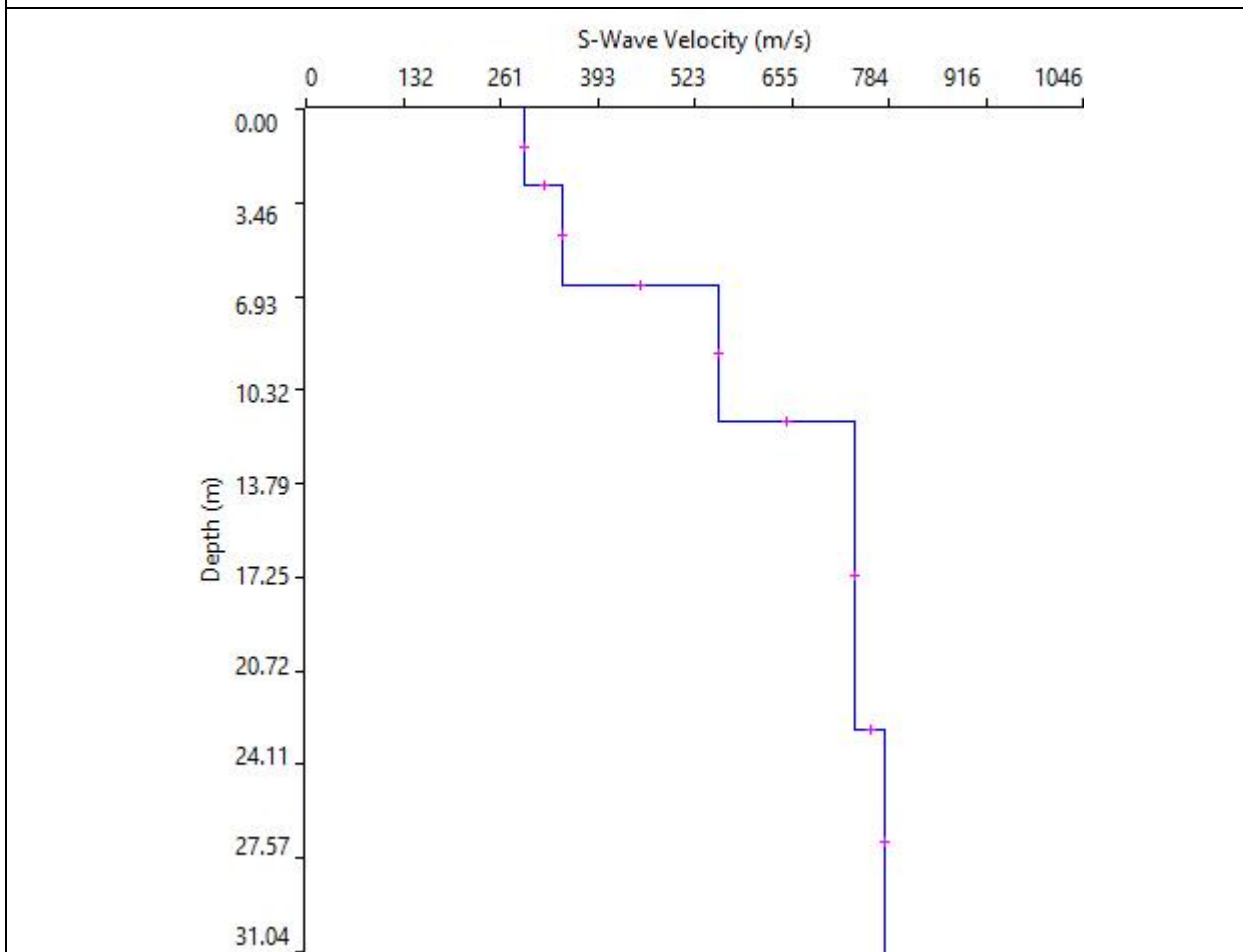
GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" - $V_{s,30}=V_{s,eq} = 558\text{m/s}$ a partire dal piano d'indagine

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness	Depth	Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	2.80	0.00 <input type="checkbox"/>	294
Layer 2	<input type="checkbox"/>	3.70	2.80 <input type="checkbox"/>	346
Layer 3	<input type="checkbox"/>	5.00	6.50 <input type="checkbox"/>	554
Layer 4	<input type="checkbox"/>	11.37	11.50 <input type="checkbox"/>	739
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF	22.87 <input type="checkbox"/>	780

Località "C.da Specchia - Brindisi" - MASW 2 – SCOPPIO 1

SISMOGRAMMA MEDIO

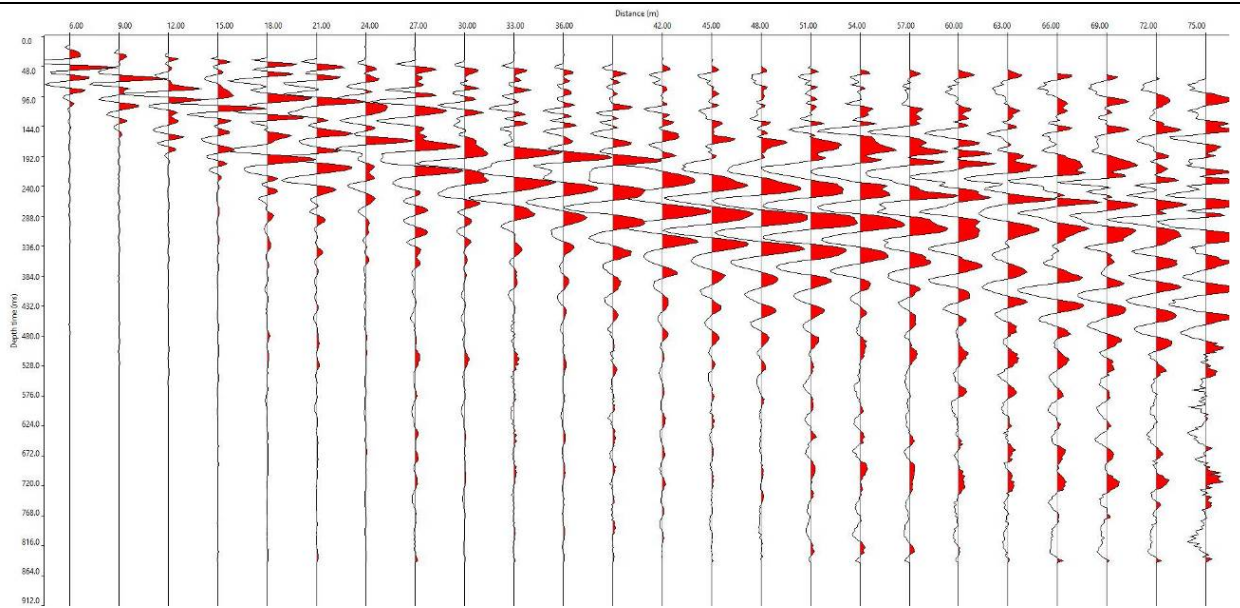
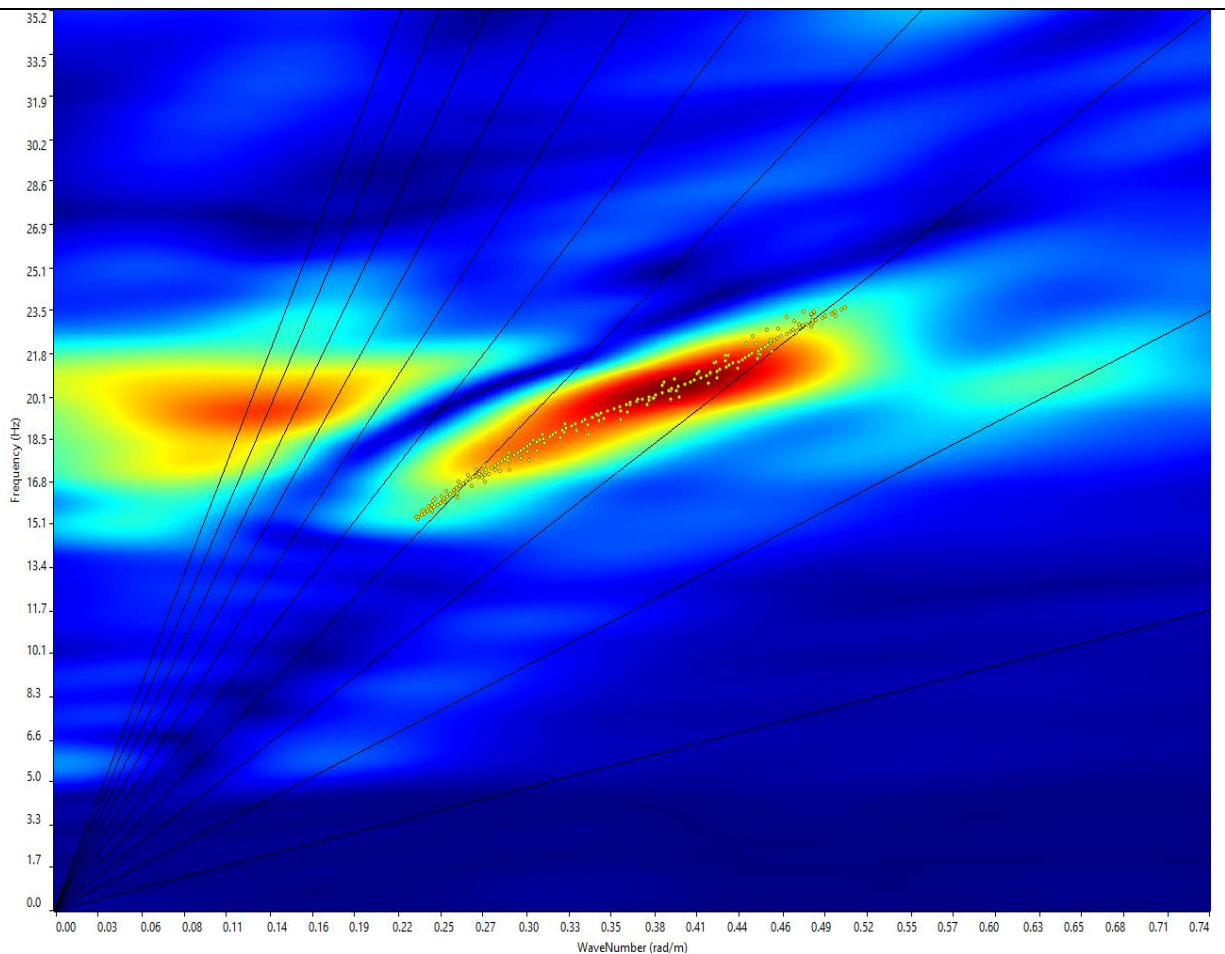
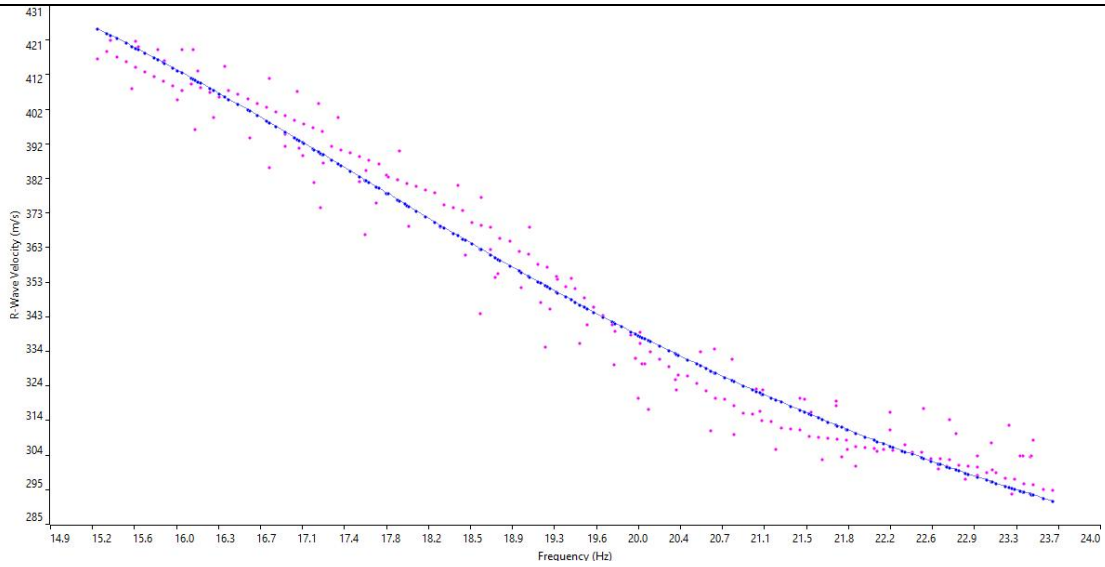


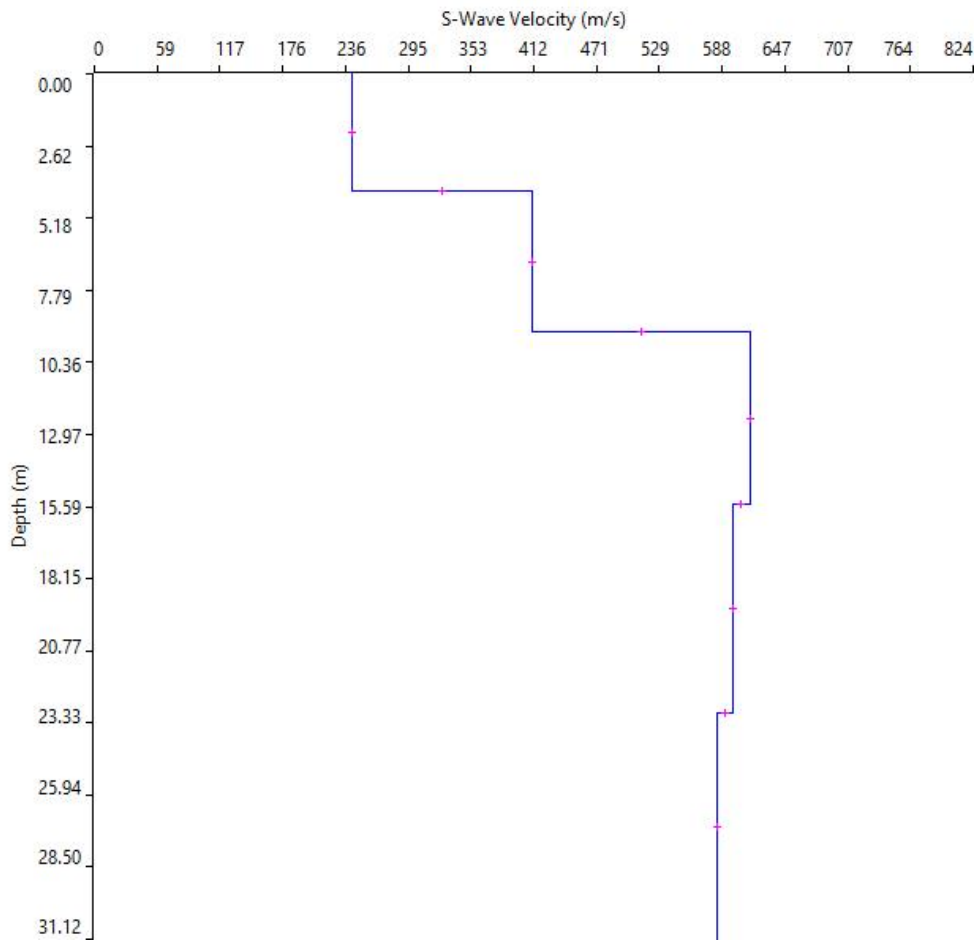
GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" - $V_{s,30} = V_{s,eq} = 466 \text{ m/s}$ a partire dal piano d'indagine



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class.



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness		Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	4.20		0.00	<input type="checkbox"/>	242
Layer 2	<input type="checkbox"/>	5.10		4.20	<input type="checkbox"/>	411
Layer 3	<input type="checkbox"/>	6.20		9.30	<input type="checkbox"/>	615
Layer 4	<input type="checkbox"/>	7.50		15.50	<input type="checkbox"/>	598
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF		23.00	<input type="checkbox"/>	583

Località "C.da Specchia - Brindisi" - MASW 2 – SCOPPIO 2

SISMOGRAMMA MEDIO

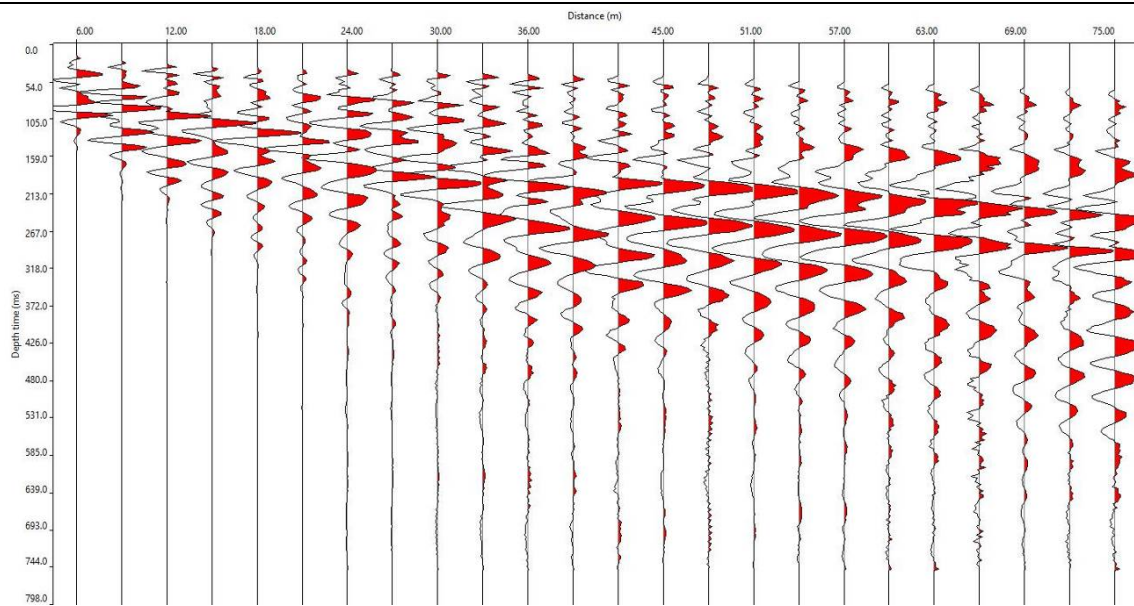
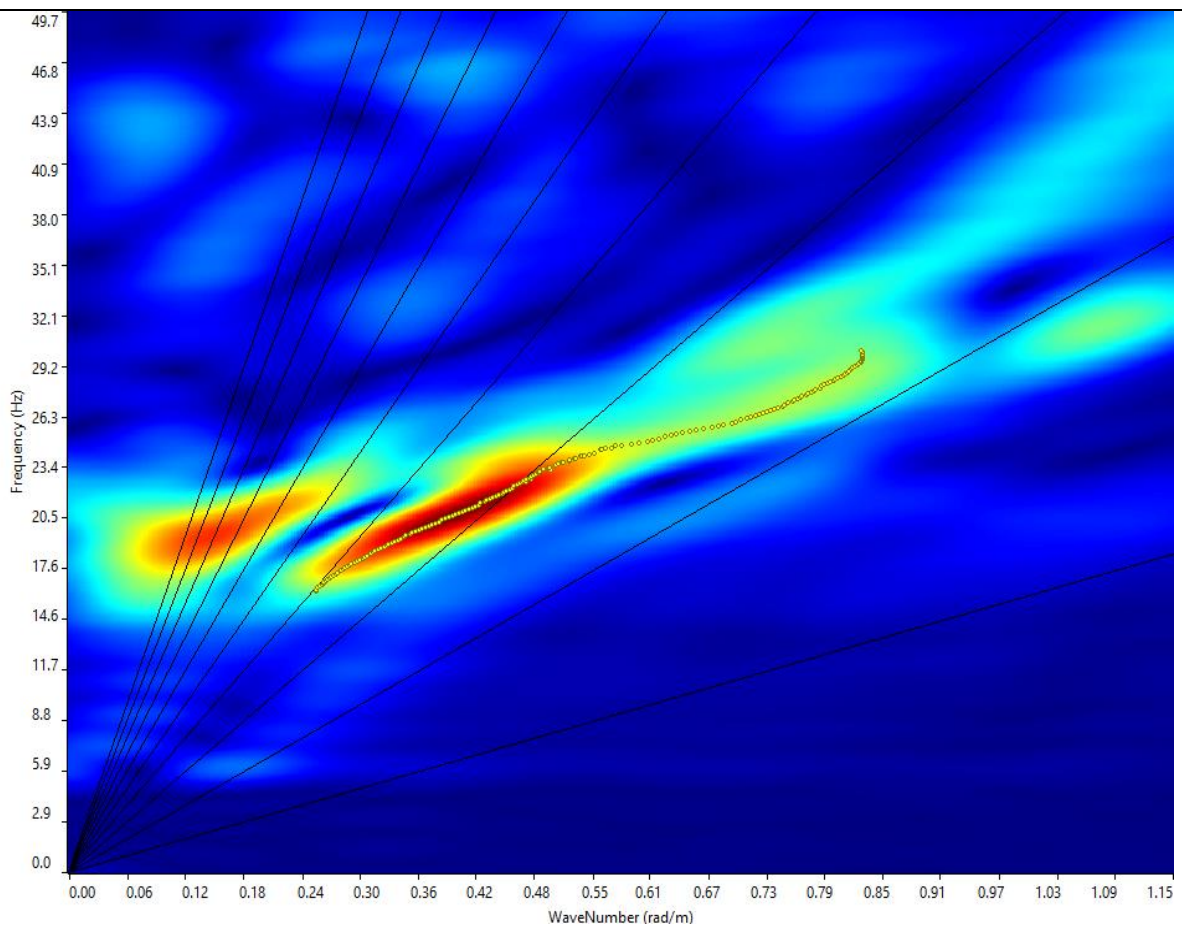
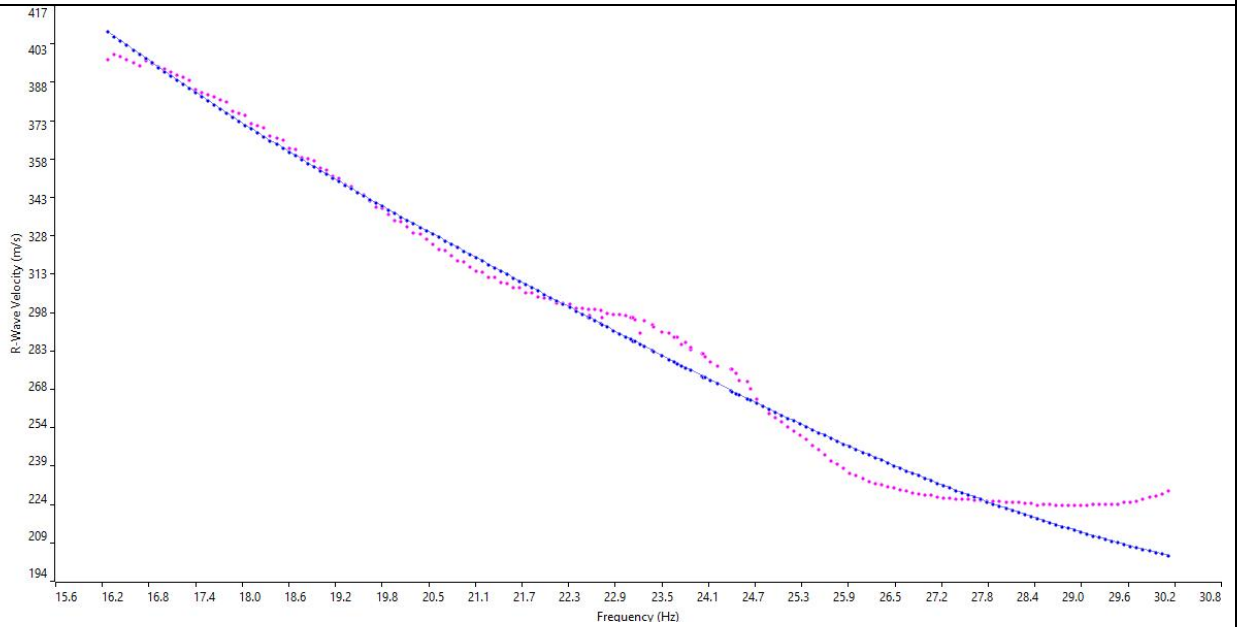


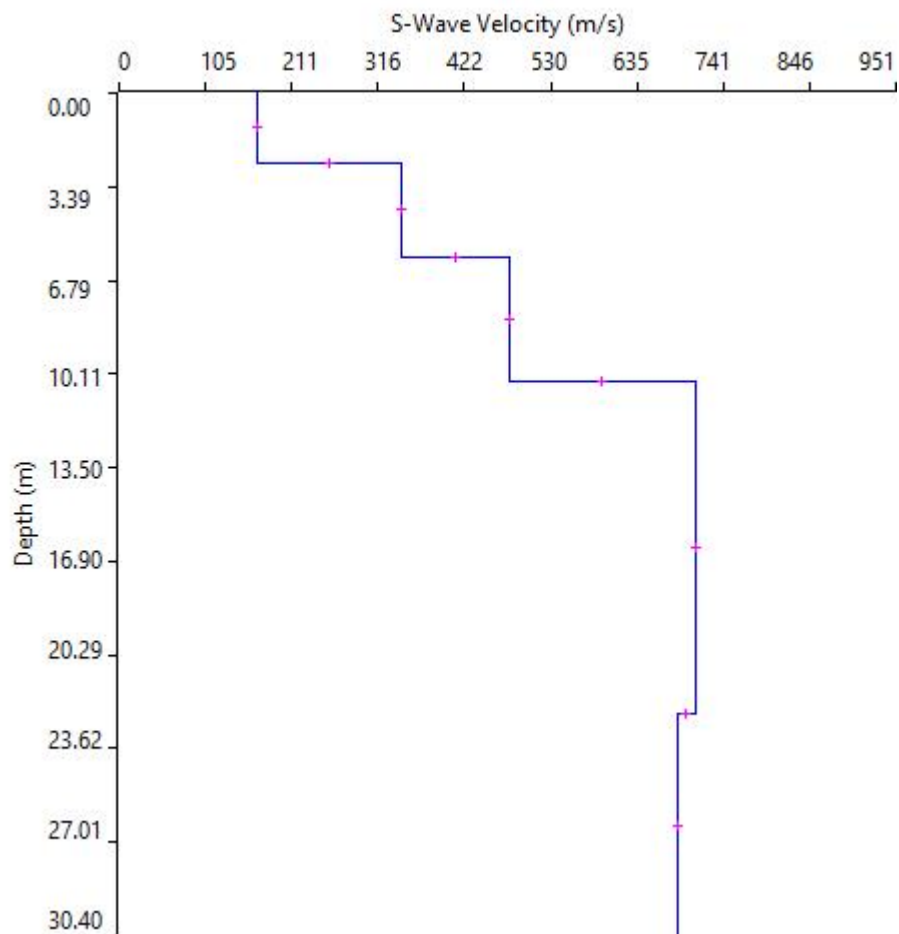
GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE



CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS



Categoria "B" - $V_{s,30} = V_{s,eq} = 482 \text{ m/s}$ a partire dal piano d'indagine

N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

		Thickness		Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	2.50		0.00	<input type="checkbox"/>	168
Layer 2	<input type="checkbox"/>	3.40		2.50	<input type="checkbox"/>	345
Layer 3	<input type="checkbox"/>	4.50		5.90	<input type="checkbox"/>	478
Layer 4	<input type="checkbox"/>	11.99		10.40	<input type="checkbox"/>	705
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF		22.39	<input type="checkbox"/>	684



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class.
.....



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

ALLEGATO 04 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

-
- INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE S – INDAGINE MASW 1D
 - PROVE PENETROMETRICHE DPSH
-

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE S: MASW 01 E MASW02

Località "C.da Specchia, Brindisi"

MASW 01, con p.to di vista dal geofono G1



MASW01, con p.to di vista dal geofono G24



MASW01, particolare della strumentazione



MASW 02, con p.to di vista dal geofono G1



MASW02, con p.to di vista dal geofono G24



MASW02, particolare della strumentazione



PROVE PENETROMETRICHE DPSH: DPSH 01, DPSH 02, DPSH03, DPSH04, DPSH05 E DPSH 06

Località "C.da Specchia, Brindisi"

Ubicazione DPSH 01



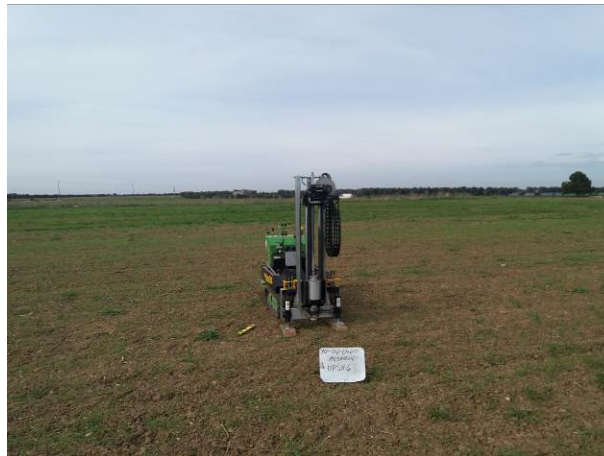
Ubicazione DPSH 02



Ubicazione DPSH 03



Ubicazione DPSH 04



Ubicazione DPSH 05



Ubicazione DPSH 06

