

COMUNE DI MESAGNE



Realizzazione di un impianto Agrovoltaico della potenza in DC di 17,262 MW e AC di 16,000 MW denominato "MESAGNE", in località Punta della Specchia nel comune di Mesagne (BR) 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 geotecnica NOME DOCUMENTO: MES_13_Relazione geotecnica	Relazione geotecnica del progetto definitivo	DATA: Novembre 2021
		POTENZA DC 17,262 MW POTENZA AC 16,000 MW
		SCALA :

TIMBRO E FIRMA	TECNICO: <i>Dr. Geologo Pietro Pepe</i>	SVILUPPATORE  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	Mesagne Srl
N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO



MESAGNE SRL

PEC: mesagne_1@pec.it T: +39 02 45440820

SOMMARIO

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI.....	1
1 PREMESSA	2
2 INQUADRAMENTO DELL'AREA.....	3
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO.....	7
3 CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE.....	8
3.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO	11
3.2 STRATEGIA DI PROGETTAZIONE.....	15
4 CONSULTAZIONE INDAGINI LIMITROFE	18
4.1 CAMPAGNA INDAGINI IN LOCALITÀ CERRITO: INDAGINI GEOELETTRICHE E PENETROMETRICHE	20
4.1.1 Indagini geoelettriche (campagna di riferimento del 2009)	20
4.1.2 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH (campagna di riferimento del 2020)	25
4.2 CAMPAGNA INDAGINI IN LOCALITÀ PUNTA DELLA SPECCHIA: INDAGINI SISMICHE E PENETROMETRICHE	33
4.2.1 Prospezioni MASW per la stima del Vs,eq (campagna di riferimento del 2020).....	33
4.2.2 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH (campagna di riferimento del 2020)	46
5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO	57
6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	59

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”;
- 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 Geotecnica” per il Progetto di **“Realizzazione di un impianto Agrovoltaiico della potenza in DC di 17,262 MW e AC di 16,000 MW, denominato “MESAGNE” in località Punta della Specchia nel comune di Mesagne (BR) 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 Mesagne Srl.

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 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 l’opera;
- evidenziare i livelli interessati dalle fondazioni;
- fornire indicazioni sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di fondazione;
- verificare la capacità portante dei pali di fondazione.

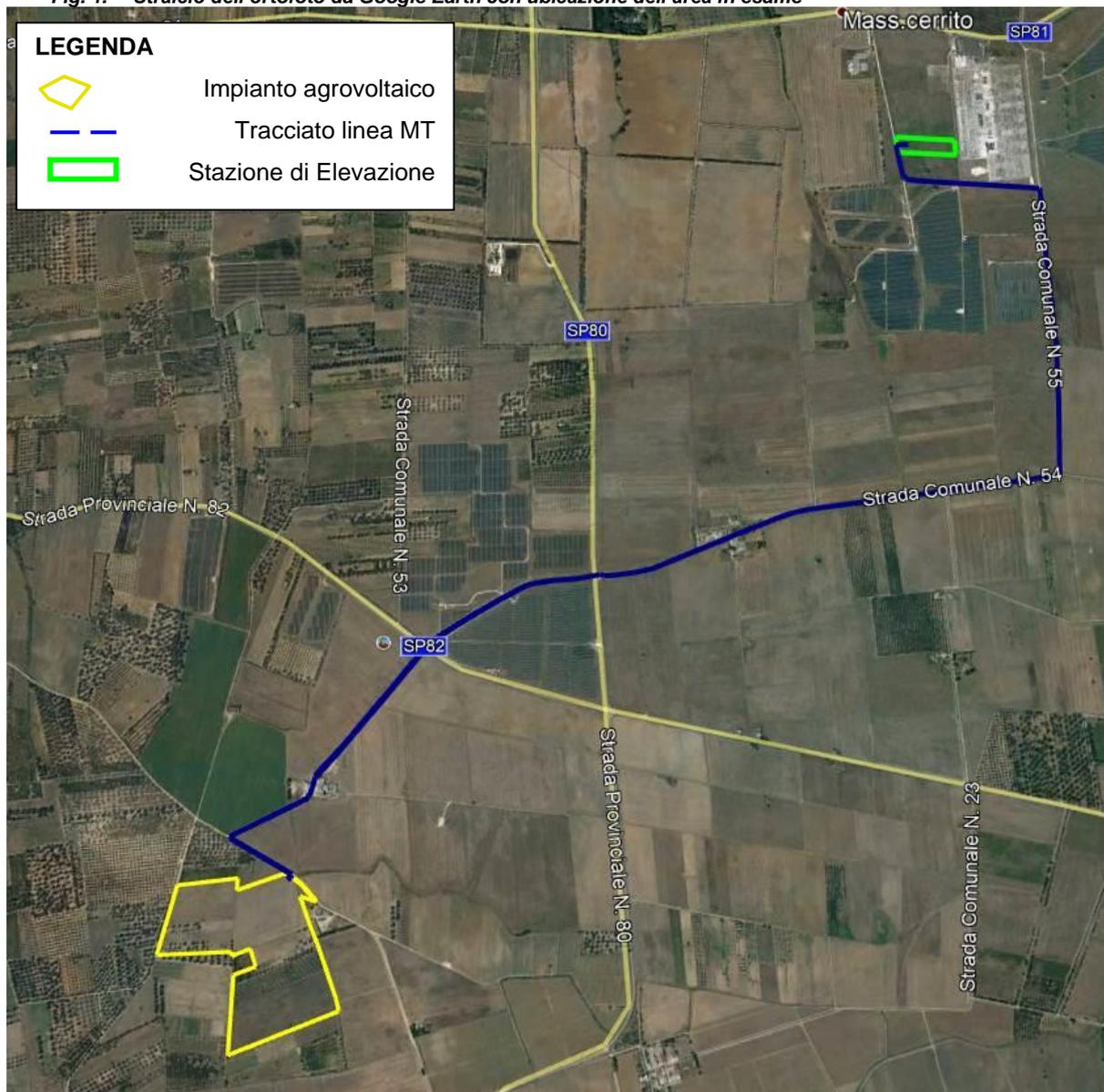
In prima analisi sono stati eseguiti dei sopralluoghi sul sito in esame al fine di tracciarne i caratteri geologici di superficie, inquadrare l’area in oggetto nel contesto geologico regionale ed ottenere così un quadro generale della situazione. In questa fase è stata consultata anche la biblico-cartografia esistente oltre che i dati ottenuti da alcuni lavori professionali con annesse indagini geofisiche, eseguite in aree adiacenti e geologicamente analoghe.

Per le indagini il loco, si fa riferimento ad alcune campagne di indagini eseguite dallo scrivente in aree limitrofe non molto distanti e in condizioni geologiche analoghe, così come ammesso dalle NTC 2018, cap. 6.2.2.

2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area in esame si trova a Sud-est del centro abitato del Comune di Mesagne, in loc. *Punta della specchia* con accessi dalla SP80 e dalla SP82, a quote comprese tra 67 e 69m. Il cavidotto di collegamento con la stazione di elevazione da realizzare in un terreno adiacente alla stazione Terna esistente denominata "Brindisi Sud", va da 67m a 62m e interessa per gran parte il territorio comunale di Brindisi.

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



2.1 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'Avampaese 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 Calcareniti di Porto Badisco (Oligocene).

Con la trasgressione miocenica si sono formati successivamente i sedimenti corrispondenti alle unità della Pietra leccese e delle Calcareniti 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.

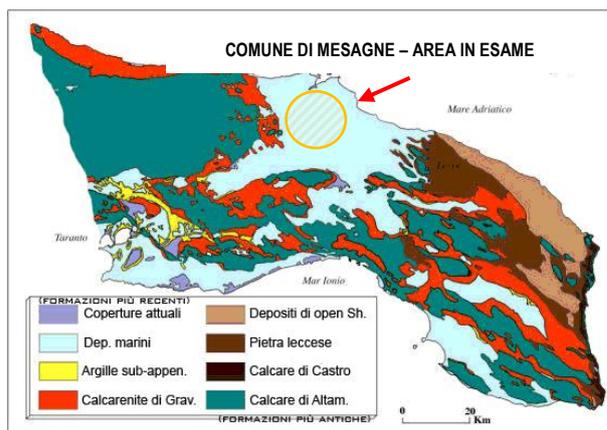


Fig. 2. Carta litologica del Salento (da N. Ciaranfi, P. Pieri, G. Ricchetti; 1988).

Il territorio in esame ricade, in particolare, nel quadrante NO del foglio 203 "Brindisi".

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

Formazioni marine (pleistocene):

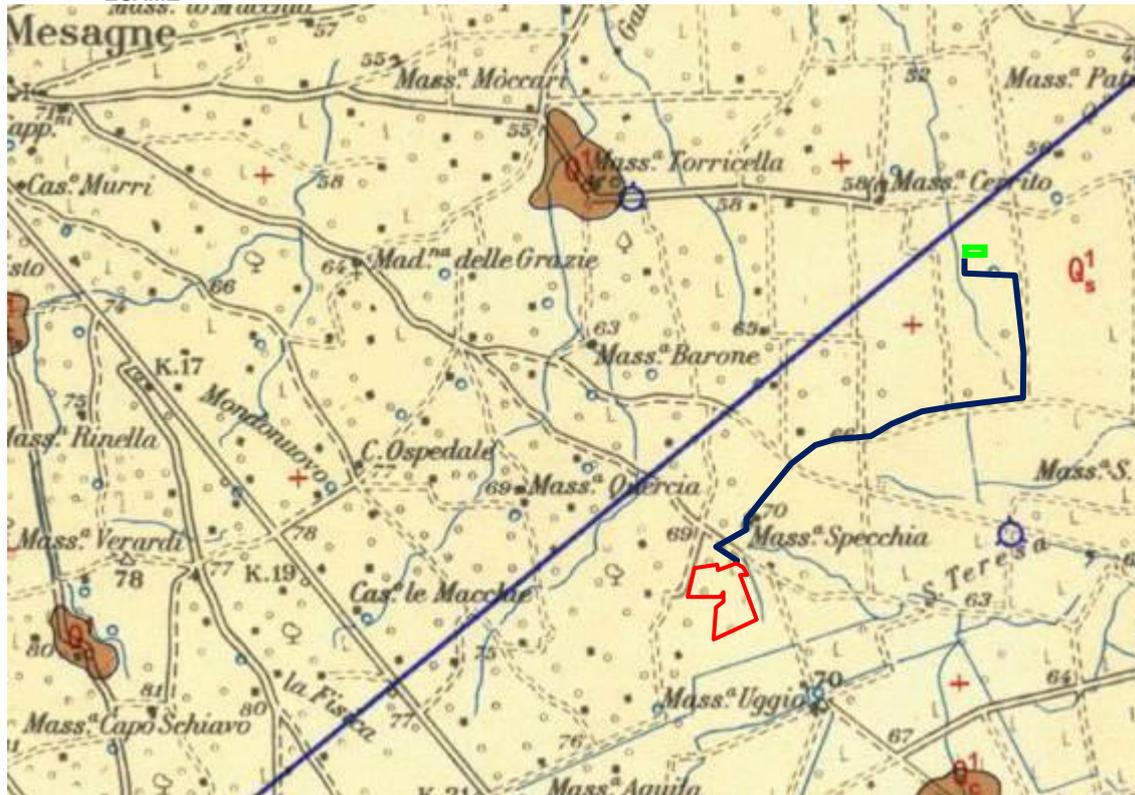
- ✓ **Formazione di Gallipoli:** unità geologica rappresentata da sabbie argillose giallastre che passano inferiormente a marne argillose grigio-azzurrate (Q^1_s). Sono presenti intercalazioni arenacee e calcarenitiche ben cementate (Q^1_c).

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. 3. STRALCIO 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 (Q_1^1); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Q_1^2). 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.

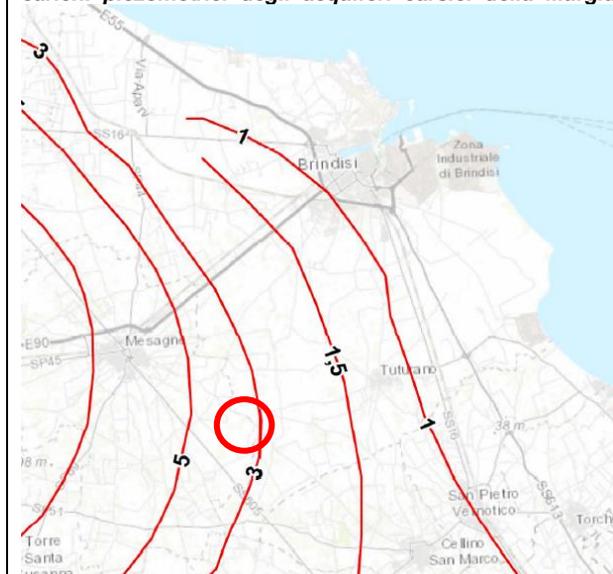
2.2 Inquadramento idrografico e Idrogeologico

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.

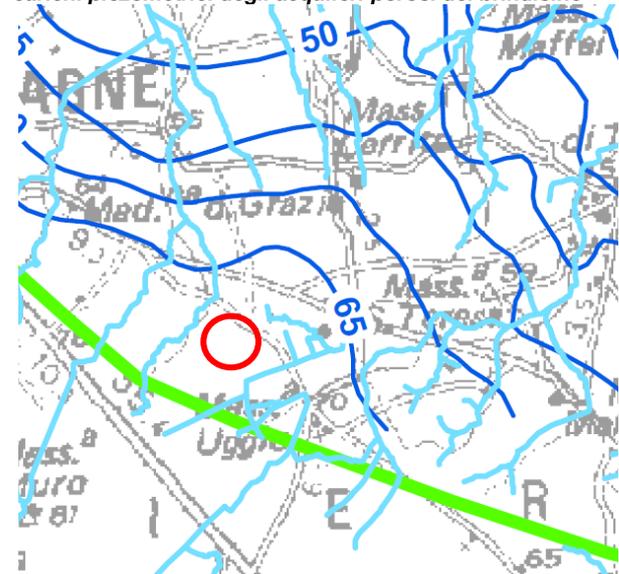
La circolazione idrica sotterranea è caratterizzata dalla presenza di due distinti sistemi la cui interazione tende a variare da luogo a luogo: il primo, più profondo, è rappresentato dalla falda carsica circolante nel basamento carbonatico mesozoico, fortemente fratturato e carsificato; il secondo,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

Fig. 4. Stralcio della Tavola della distribuzione dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia



— Isopiezica m s.l.m.

Fig. 5. Stralcio della Tavola della distribuzione dei carichi piezometrici degli acquiferi porosi del brindisino



— 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 65-67m dal p.c., ma potrebbe trovarsi in pressione a quote più basse, mentre l'acquifero poroso potrebbe rinvenirsi più in superficie ad una quota di circa 2-3m dal p.c..

3 CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE

Il comune di Mesagne con D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009 ricade in **zona sismica 4** (*livello di pericolosità basso*).

Fig. 6. *Mappa della pericolosità sismica*



Sulla base delle indagini sismiche consultate è stato possibile stimare la categoria di suolo di fondazione per il sito in esame.

Dalle risultanze di prospezioni sismiche effettuate dallo scrivente nel territorio del comune di Mesagne su terreni analoghi, 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)

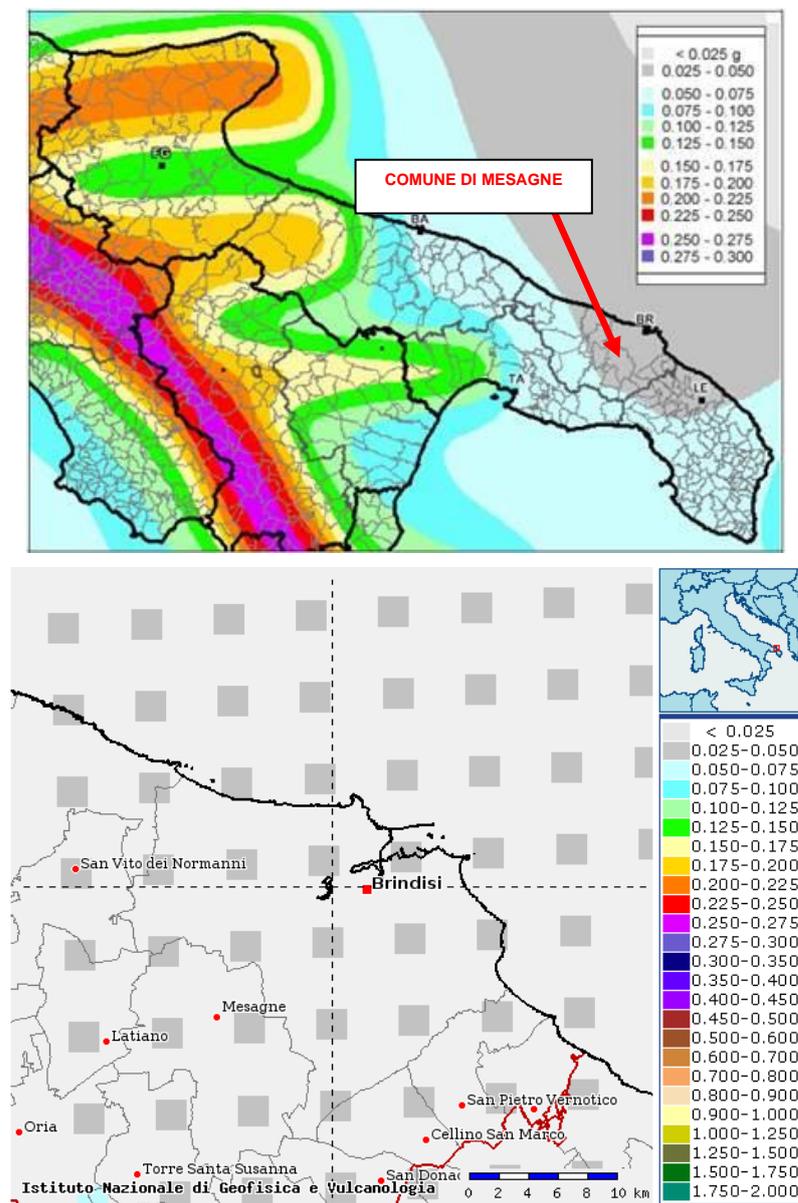


Fig. 7. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06)

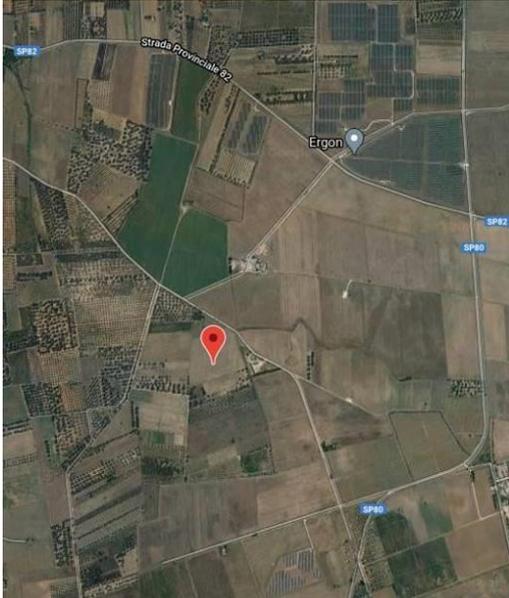
In questo caso il valore del fattore S che tiene conto delle condizioni stratigrafiche e geotecniche del sito è pari a: **S = 1.0**.

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 1m a partire dal piano di indagine.

Alla luce della recente normativa, si riportano i parametri di pericolosità sismica dell'area in esame:

Località Punta Della Specchia



Latitudine (WGS84)	40.52551860	Longitudine (WGS84)	17.88048609
Latitudine (ED50)	40.527194	Longitudine (ED50)	17.881429
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_0 [-]	T_c^* [s]
Operatività	30	0.015	2.325	0.160
Danno	35	0.016	2.325	0.177
Salvaguardia Vita	332	0.042	2.447	0.422
Prevenzione Collasso	682	0.052	2.517	0.485

Località Cerrito di Brindisi



Latitudine (WGS84)	40.54685347	Longitudine (WGS84)	17.90420957
Latitudine (ED50)	40.548529	Longitudine (ED50)	17.905153
Altitudine (mt)	0		
Classe dell'edificio	II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti		
Vita Nominale Struttura	50		
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	50		

Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F_0 [-]	T_c^* [s]
Operatività	30	0.014	2.323	0.159
Danno	50	0.019	2.342	0.218
Salvaguardia Vita	475	0.047	2.497	0.452
Prevenzione Collasso	975	0.057	2.603	0.521

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_0 " 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.

3.1 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.

Località Punta Della Specchia

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

Località Cerrito di Brindisi

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

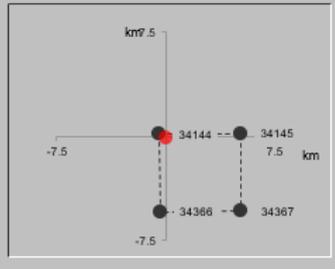
Grafici spettri di risposta ▶▶▶

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, a "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.

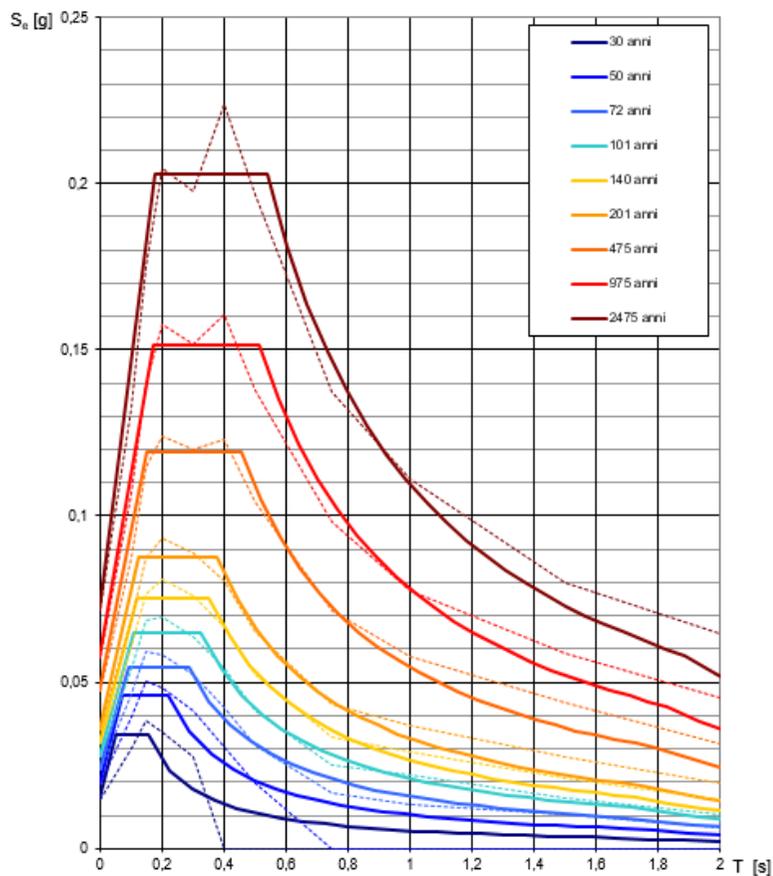
I primi dati che si possono rilevare durante questa prima fase sono:

- 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_0 , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_r (pagina seguente);
- la tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri a_g , F_0 , T_c^* per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1 che si riporta di seguito.

Segue una tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri a_g , F_0 , T_c^* per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1

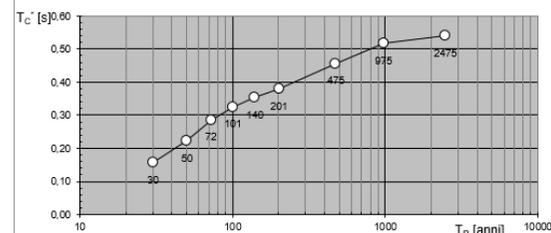
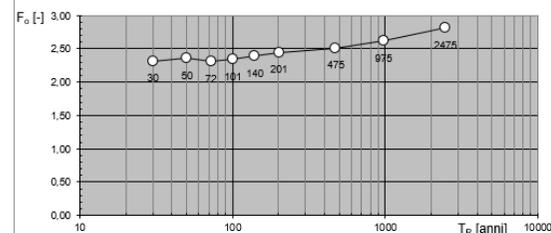
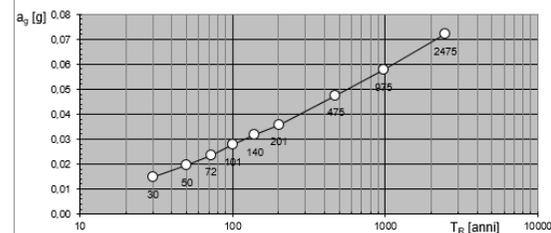
Località Punta Della Specchia

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

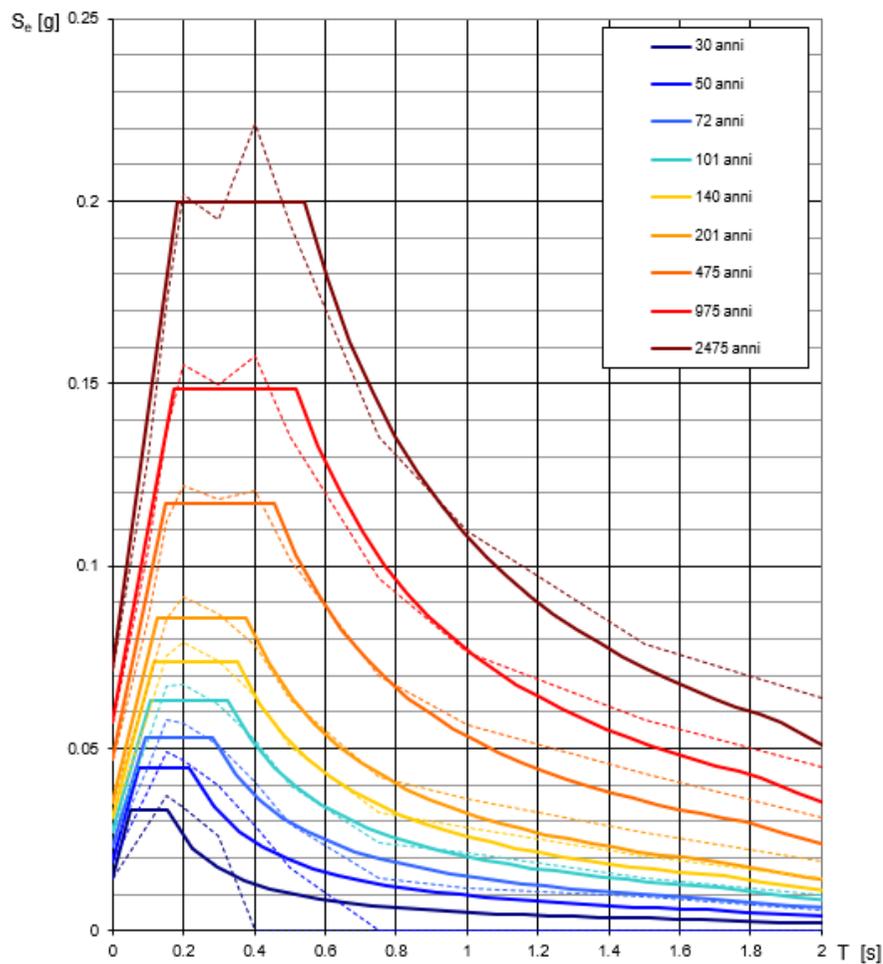


Valori dei parametri a_g , F_o , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento

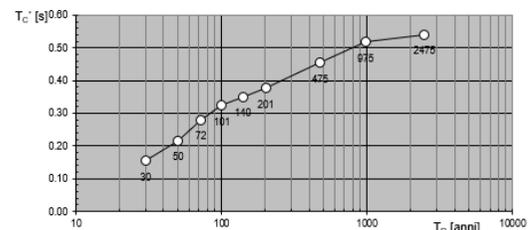
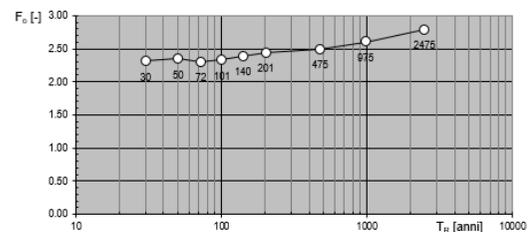
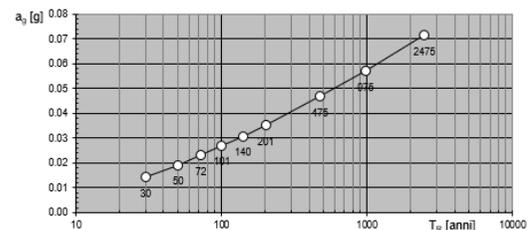
T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C [s]
30	0,015	2,320	0,156
50	0,020	2,356	0,222
72	0,024	2,305	0,286
101	0,028	2,339	0,326
140	0,032	2,332	0,354
201	0,036	2,447	0,379
475	0,048	2,513	0,456
975	0,058	2,625	0,517
2475	0,072	2,814	0,541

Località Cerrito di Brindisi

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



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



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	0.014	2.318	0.155
50	0.019	2.345	0.216
72	0.023	2.306	0.280
101	0.027	2.331	0.323
140	0.031	2.389	0.350
201	0.035	2.443	0.376
475	0.047	2.499	0.455
975	0.057	2.605	0.518
2475	0.072	2.792	0.541

3.2 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

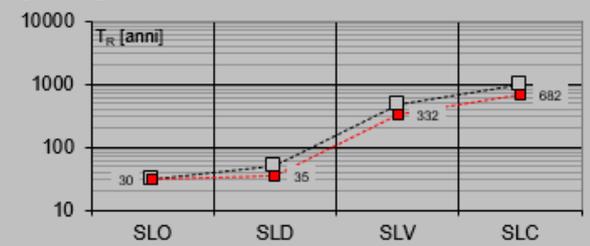
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	30
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	35
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	332
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	682

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
-■..... Strategia scelta

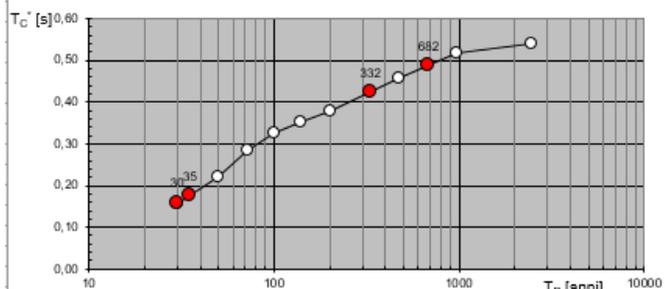
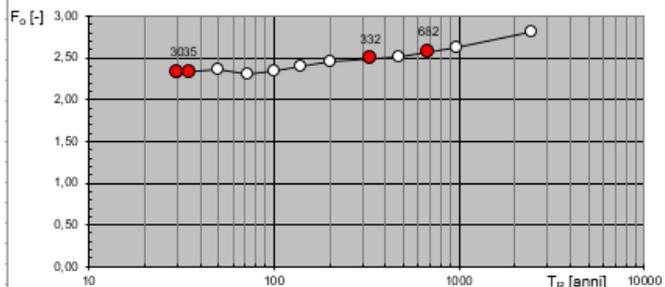
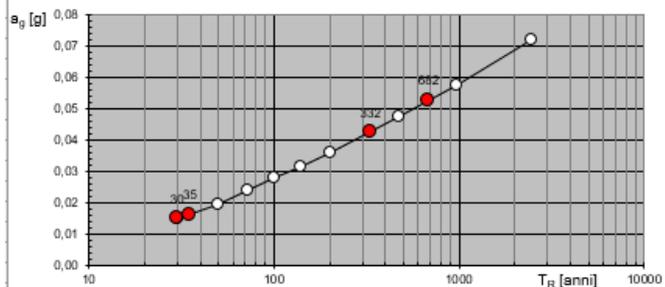
INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

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**.

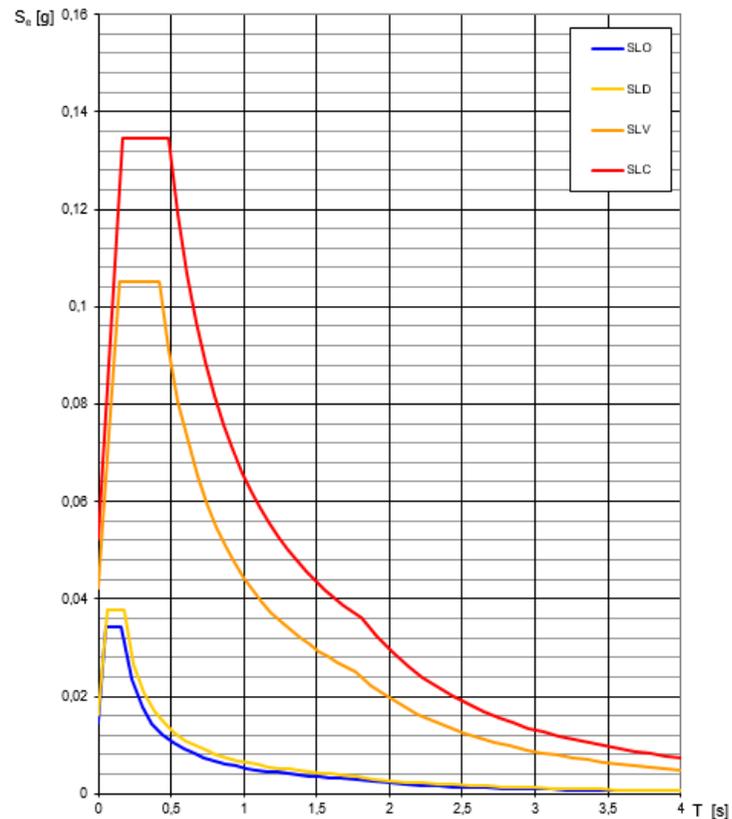
Sono quindi stati calcolati i valori dei periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento per i quattro stati limite previsti dalle NTC18. I dati in uscita in questa fase rappresentano una selezione effettuata sui dati ottenuti nella fase precedente in corrispondenza dei valori previsti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

Località Punta Della Specchia

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

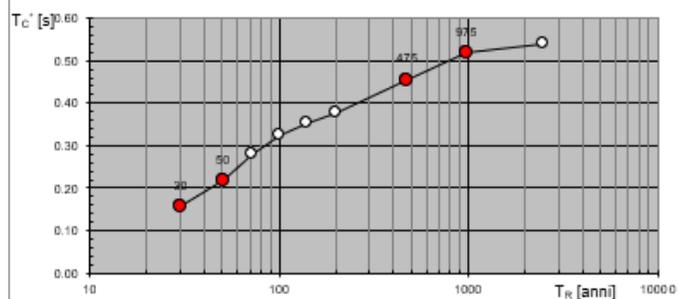
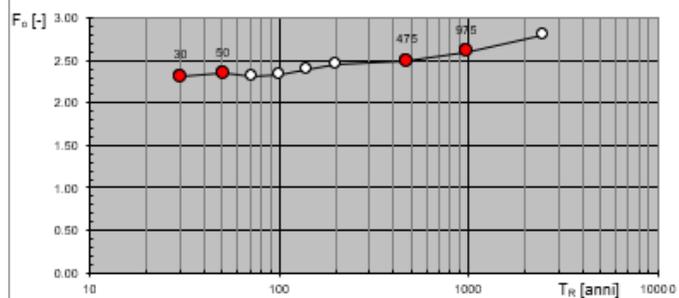
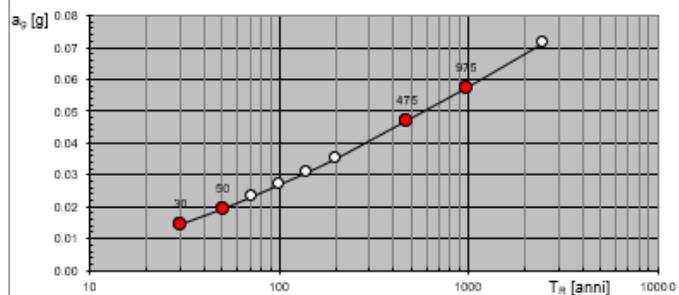


Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

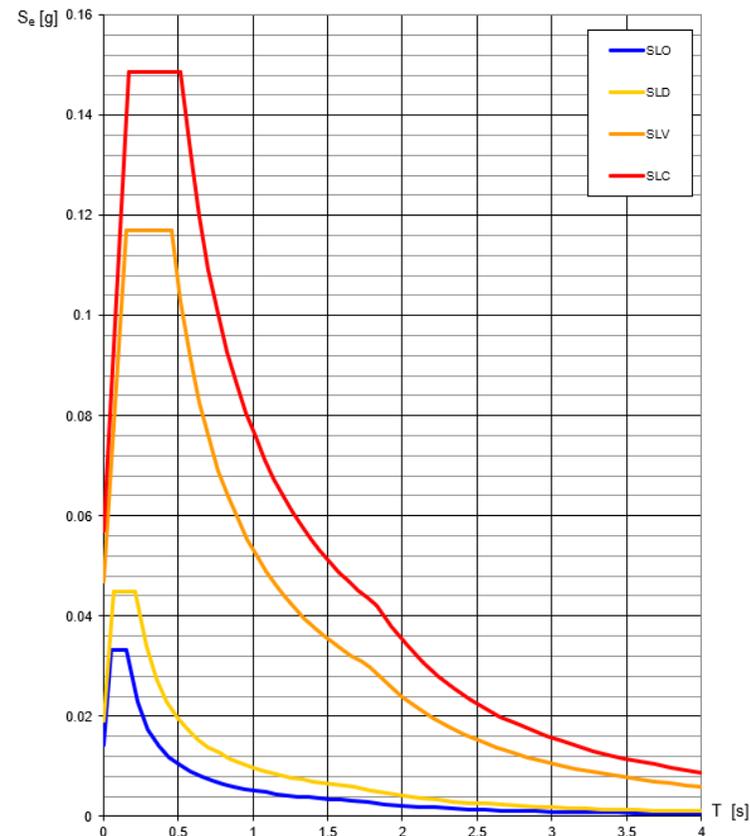
SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,015	2,320	0,156
SLD	35	0,016	2,331	0,174
SLV	332	0,042	2,486	0,422
SLC	682	0,052	2,569	0,486

Località Cerrito di Brindisi

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



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



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

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.014	2.318	0.155
SLD	50	0.019	2.345	0.217
SLV	475	0.047	2.499	0.455
SLC	975	0.057	2.605	0.518

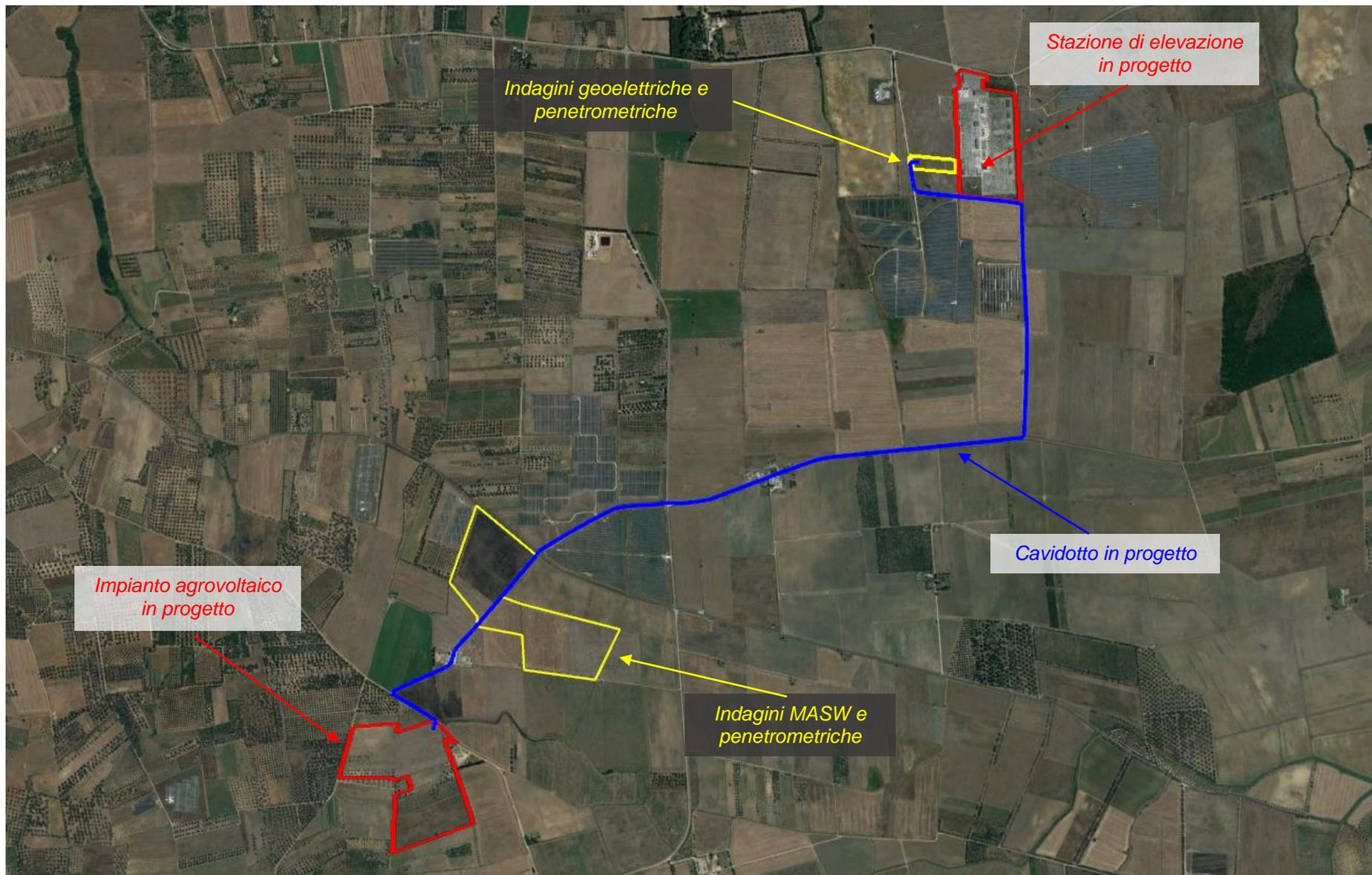
4 CONSULTAZIONE INDAGINI LIMITROFE

È stato scelto di fare riferimento ad alcune campagne di indagine eseguite dallo scrivente in aree limitrofe non molto distanti e in condizioni geologiche analoghe, così come ammesso dalle NTC 2018, cap. 6.2.2.

Pertanto, sono state consultate le seguenti indagini:

- 1) *Nel 2009, presso la Stazione Elettrica Terna "Brindisi Sud", in località Cerrito dove è prevista la realizzazione della nuova Stazione di elevazione:*
 - n. 2 profili elettrici dipolari (Dipolo-Dipolo Assiale) di lunghezza 115 m; e profili elettrici verticali secondo la configurazione del Polo-Dipolo e Wenner rilevati lungo un piano orizzontale.
- 2) *Nel 2020, in un'area per cui è in progetto la realizzazione di un impianto fotovoltaico, a circa 500 m a nord-est dell'area in cui sorgerà il nuovo impianto agrovoltaiico in progetto:*
 - n. 2 prospezioni sismiche mediante tecnica MASW per singoli profili di lunghezza complessiva 69 m e con 24 geofoni distanti 3 m, finalizzate al calcolo della $V_{s,eq}$ ai sensi delle NTC 2018;
 - n. 6 prove penetrometriche dinamiche superpesanti, spinte fino a rifiuto, per la deduzione dei principali parametri geotecnici dei terreni superficiali. Si precisa che n.2 prove DPSH sono state eseguite in località Cerrito.

Nell'immagine seguente si riporta uno stralcio ortofoto con l'ubicazione del sito in oggetto e delle aree limitrofe prese in riferimento per le indagini pregresse.



4.1 Campagna indagini in località Cerrito: indagini geoelettriche e penetrometriche

4.1.1 Indagini geoelettriche (campagna di riferimento del 2009)

Il metodo elettrico in generale, consente di caratterizzare il sottosuolo in base alle sue proprietà elettriche, dalle quali è possibile desumere informazioni sulla litologia e sulla presenza di eventuali anomalie stratigrafiche e tettoniche (cavità, terra rossa, faglie e fratture), nonché individuare zone maggiormente conduttive per la presenza di acquiferi sotterranei.

Il parametro fisico determinato per mezzo delle suddette indagini è la resistività apparente (ρ_a) che dipende dalla composizione mineralogica, dalla granulometria e dal contenuto in acqua della roccia. In particolare la configurazione del Dipolo-Dipolo assiale consente di accertare la distribuzione delle resistività apparenti nel sottosuolo lungo direzioni laterali mentre la configurazione Polo-Dipolo consente di accertare la distribuzione delle resistività apparenti nel sottosuolo lungo direzioni verticali a maggiori profondità.

La strumentazione utilizzata è costituita da un georesistivimetro Syscal Pro Switch 96 composto da:

- n. 2 batterie per l'invio di corrente elettrica;
- un trasformatore che consente uscite di corrente variabile da 120Volts a 800Volts;
- un sistema automatico di registrazione dati;
- n. 24 picchetti metallici connessi mediante cavi elettrici per l'invio della corrente e la misura dei potenziali.

Il metodo elettrico secondo la configurazione dipolo-dipolo assiale consiste nell'immettere corrente nel terreno attraverso un dipolo energizzante (AB) e di misurare la differenza di potenziale (d.d.p.) indotta nel terreno tramite un dipolo di misura (MN); anche il metodo elettrico secondo la configurazione del polo-dipolo consiste nell'immettere corrente nel terreno attraverso il dipolo energizzante AB di cui però A è il polo di corrente e B è il polo di corrente remoto, come nello specifico, mentre la d.d.p. indotta nel terreno è rilevata sempre tramite un dipolo di misura (MN); in entrambi i casi le posizioni relative dei poli sono mantenute via via che ci si sposta sul terreno (elaborazione tomografica). In generale, il polo remoto è posto ad una distanza non inferiore a tre volte la lunghezza dello stendimento, in una posizione ortogonale ad esso; in questo caso il polo remoto B è stato posto, per tutti i profili elettrici, a circa 210 metri dall'altro polo energizzante A (una distanza tre volte maggiore della lunghezza di ciascun stendimento).

La geometria del metodo consente di investigare l'area dalla superficie fino ad una profondità massima nel punto centrale dello stendimento pari a circa $0.2L$, dove L è la distanza massima fra i centri dei dipoli AB ed MN.

Noti i valori di corrente I immessi nel terreno tramite il dipolo AB e noti i valori di d.d.p. generati nei vari punti, si può calcolare la resistività apparente secondo la seguente formula:

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

dove:

$K =$ fattore geometrico del dispositivo; dipende dalla geometria del dispositivo e varia al variare delle distanze fra i dipoli;

$\Delta V =$ differenza di potenziale, misurata in milliVolts, creata sul dipolo MN;

$I =$ intensità di corrente, misurata in milliAmpere, generata dal dipolo AB.

I valori di resistività apparente calcolati vengono riportati su una griglia il cui asse orizzontale indica la direzione dello stendimento e l'asse verticale la profondità.

Fissati i valori di resistività apparente per i punti della maglia nella sezione stabilita, mediante un opportuno countouring si ottengono delle sezioni di iso-resistività che consentono di dare un'interpretazione qualitativa circa la presenza di anomalie nell'ambito degli spessori di terreno investigati.

L'acquisizione ha consentito di elaborare i dati secondo una modellazione bidimensionale (profilo) dello spazio investigato, valutando quantitativamente i volumi di aree elettricamente omogenee.

I dati ottenuti da entrambe le configurazioni dipolo-dipolo, polo-dipolo e wenner sono stati interpolati ed elaborati con il Software RES2DINV.

L'unione di entrambe le configurazioni eseguite, in una sola sezione di resistività, ha permesso di evidenziare le variazioni laterali presenti nel sottosuolo a varie profondità nonché, in alcuni casi (profili), raggiungere maggiori profondità di investigazione.

La profondità massima di investigazione, letta nel punto centrale degli stendimenti, avendo utilizzato la combinazione di tutte e due le configurazioni è compresa tra circa 18-25m.

Il sottosuolo investigato mediante le indagini elettriche risulta, in generale, piuttosto omogeneo, in ragione di una natura geologica poco complessa.

Come indicazione generale è possibile affermare che questo risulta rappresentato da depositi di natura sabbioso-argillosa mediamente resistivi, con una graduale diminuzione della resistività con la profondità e l'individuazione di zone mediamente più conduttive in corrispondenza del passaggio a livelli più argillosi.

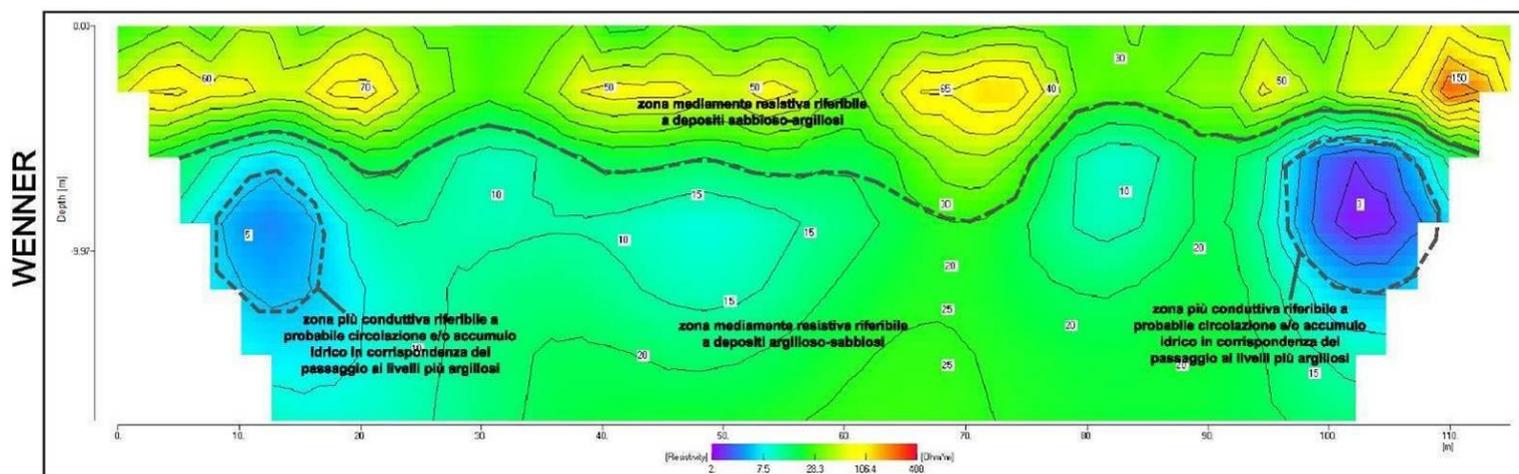
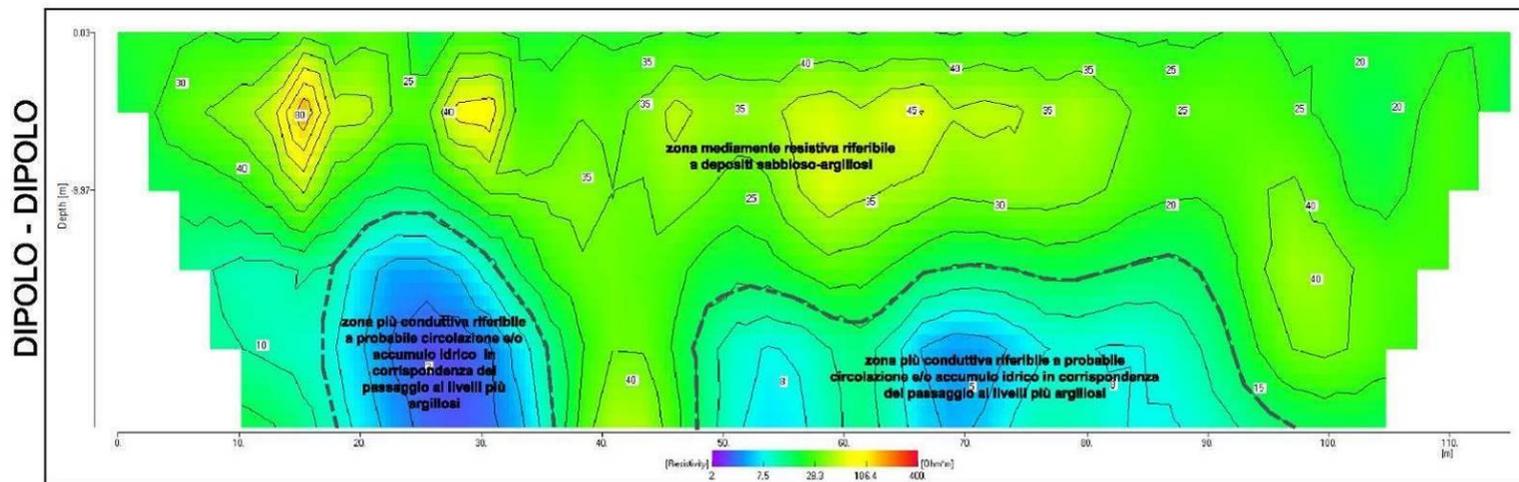
In particolare, tali zone più conduttive possono essere correlate ad accumuli idrici localizzati o a moderata circolazione idrica in corrispondenza del passaggio a sabbie mediamente più argillose e/o ad argille sabbiose.

Nelle due pseudosezioni, tali zone si individuano rispettivamente a profondità pari o superiori ai 10 metri, in particolare nella pseudosezione di resistività n.01 hanno un carattere più locale, mentre nella pseudosezione di resistività n.02 appaiono più continue determinando una zona conduttiva più estesa.

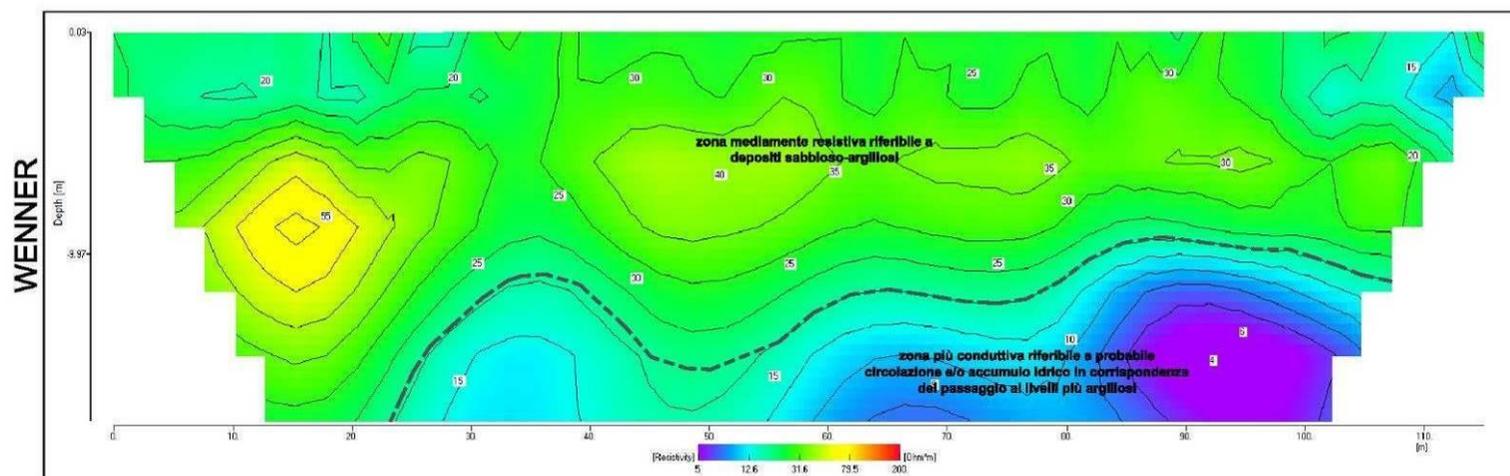
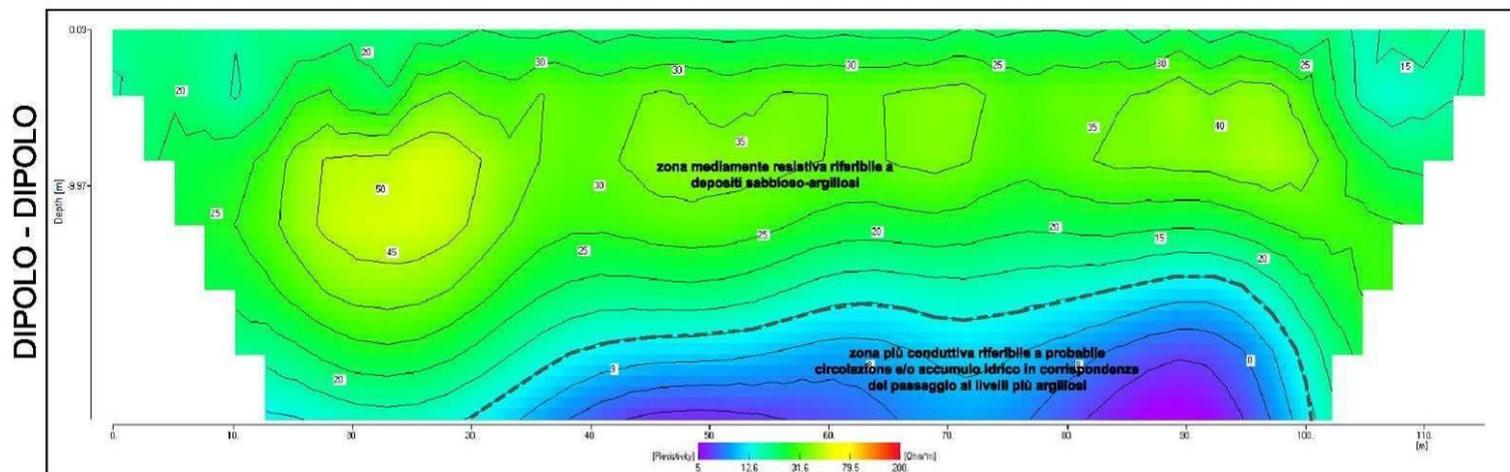
Nel seguito si riportano una planimetria con l'ubicazione delle tomografie elettriche e a seguire le pseudosezioni complete di interpretazione descrittiva.



T.E.1 - PSEUDOSEZIONE E MODELLIZZAZIONE - Scala 1:400



T.E.2 - PSEUDOSEZIONE E MODELLIZZAZIONE - Scala 1:400



4.1.2 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH (campagna di riferimento del 2020)

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.

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.

Valutazione della resistenza dinamica alla punta R_{qp} mediante 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.

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.

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

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

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

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.

In località Cerrito, dove sorgerà la nuova stazione di elevazione, sono state eseguite **n. 2 prove DPSH** spinte fino a rifiuto, che hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo fino ad una profondità massima di 4,2m, 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. I valori ottenuti del numero di colpi e dell'Rpd sono rappresentati in maniera grafica nelle pagine seguenti.

Data la natura dei terreni presenti nelle zone in esame, sono stati considerati i parametri relativi sia a terreni incoerenti che a terreni coesivi. In particolare sono state utilizzate le seguenti correlazioni per la determinazione dei parametri geotecnici:

PARAMETRI GEOTECNICI	CORRELAZIONI
Densità relativa D_r (%)	<i>Skempton 1986</i>
Angolo di resistenza al taglio φ°	<i>Meyerhof 1956</i>
Modulo di Young E_y (Kg/cm^2)	<i>Schultze-Menzenbach</i>
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm^2)	<i>Buisman-Sanglerat</i>
Classificazione AGI	<i>Classificazione AGI</i>
Peso unità di volume γ (t/m^3)	<i>Meyerhof ed altri</i>
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m^3)	<i>Terzaghi-Peck 1948-1967</i>
Modulo di Poisson σ	<i>(A.G.I.)</i>
Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm^2)	<i>Ohsaki</i>
Modulo di reazione K_0	<i>Navfac 1971-1982</i>
Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm^2)	<i>Robertson 1983</i>
Coesione non drenata C_u (Kg/cm^2)	<i>Terzaghi-Peck</i>

Ubicazione delle indagini penetrometriche su base ortofoto

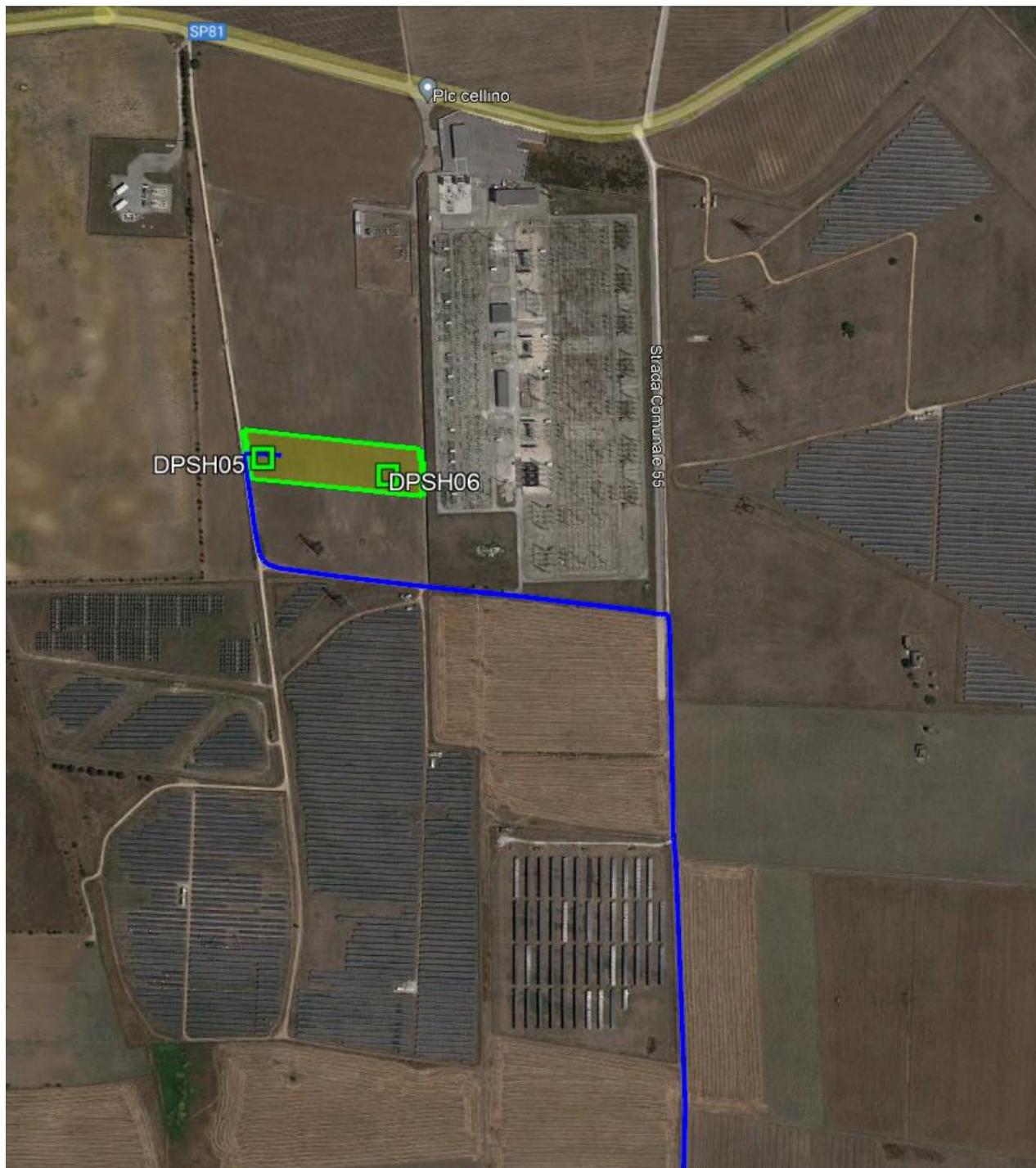


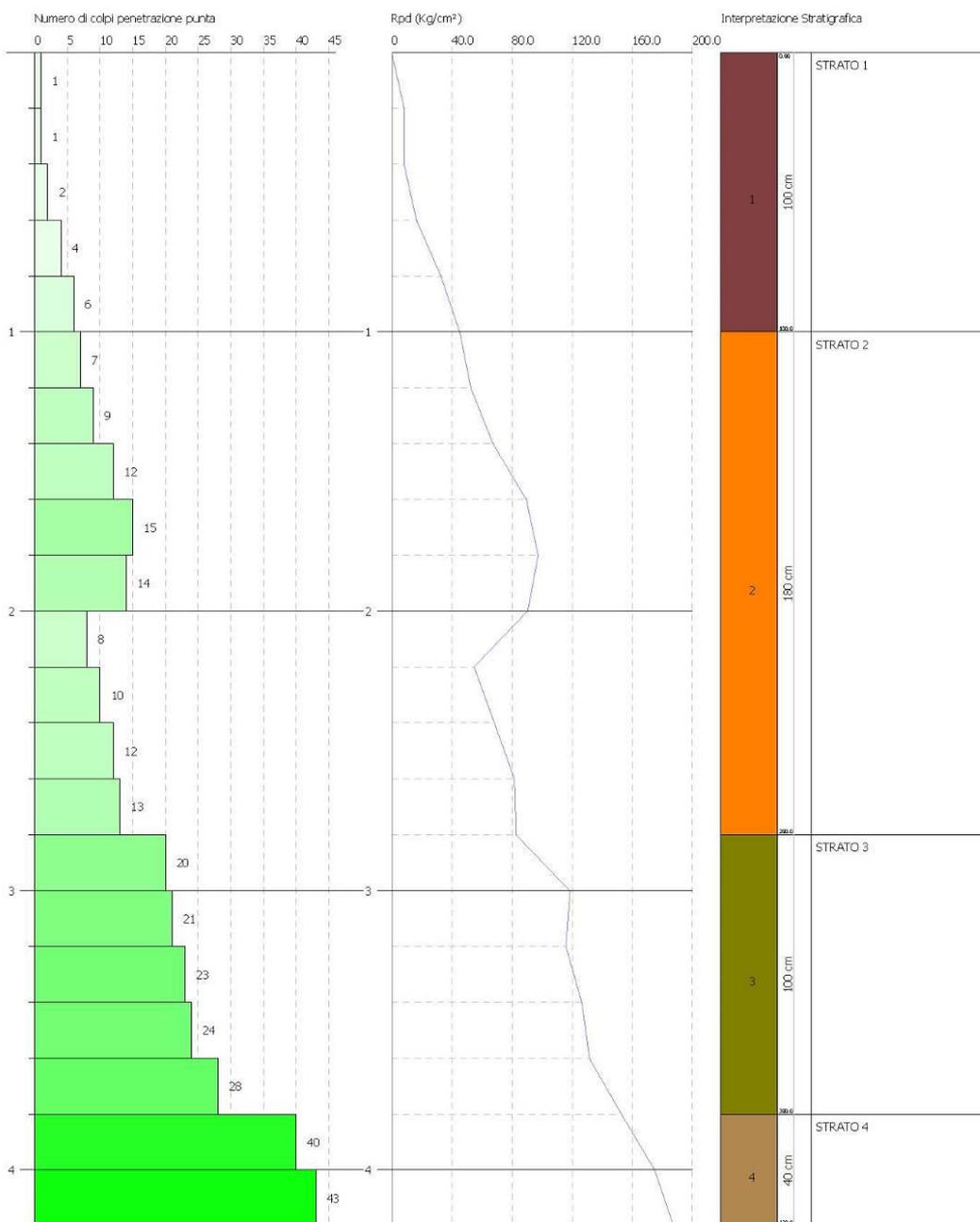
Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.05

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

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

Data: 10/02/2020

Scala 1



Parametri geotecnici (DPSH.05)	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4
Denominazione litologica	Terreno vegetale	Sabbia limosa	Sabbia compatta	Sabbia calcarenitica
Profondità (m da p.c.)	0.00÷1.00	1.00÷2.80	2.80÷3.80	3.80÷4.20
Coesione non drenata C_u (Kg/cm ²)	---	---	---	---
Densità relativa D_r (%)	20,54	46,01	68,11	92,93
Angolo di resistenza al taglio ϕ°	21,40	24,77	29,97	37,83
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm ²)	-	100,26	209,34	374,52
Modulo di Young E_y (Kg/cm ²)	-	197,88	412,40	737,26
Peso unità di volume γ (t/m ³)	1,53	1,80	1,85	1,95
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m ³)	1,89	1,85	1,96	2,03
Modulo di Poisson σ	0,41	0,36	0,35	0,33
Classificazione AGI	Poco addensato	Moderatamente addensato	Addensato	Molto addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm ²)	154,39	739,13	1353,20	966,75
Modulo di reazione K_0	0,96	3,45	6,26	10,48
Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm ²)	9,78	33,42	69,78	124,84

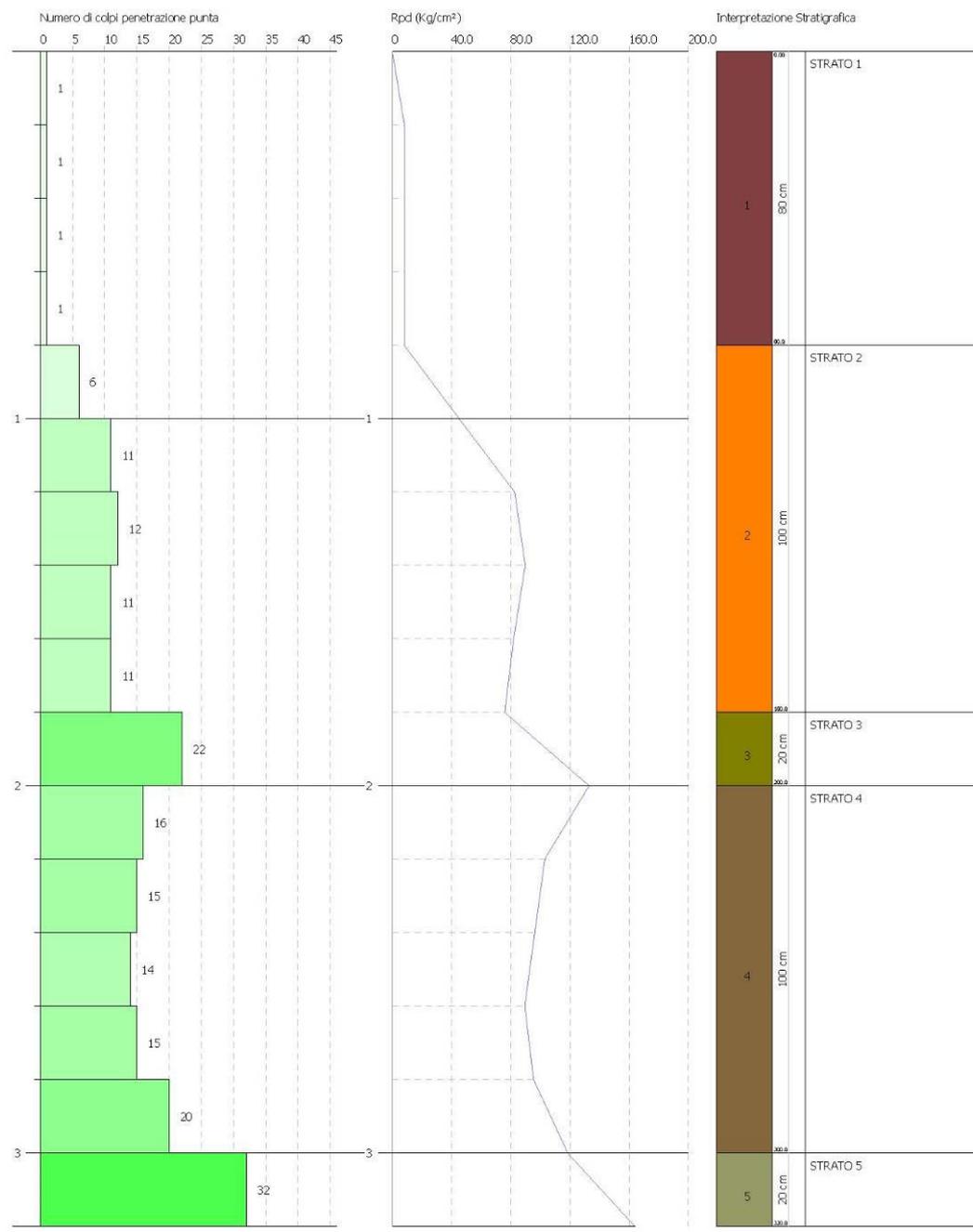
Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.06

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

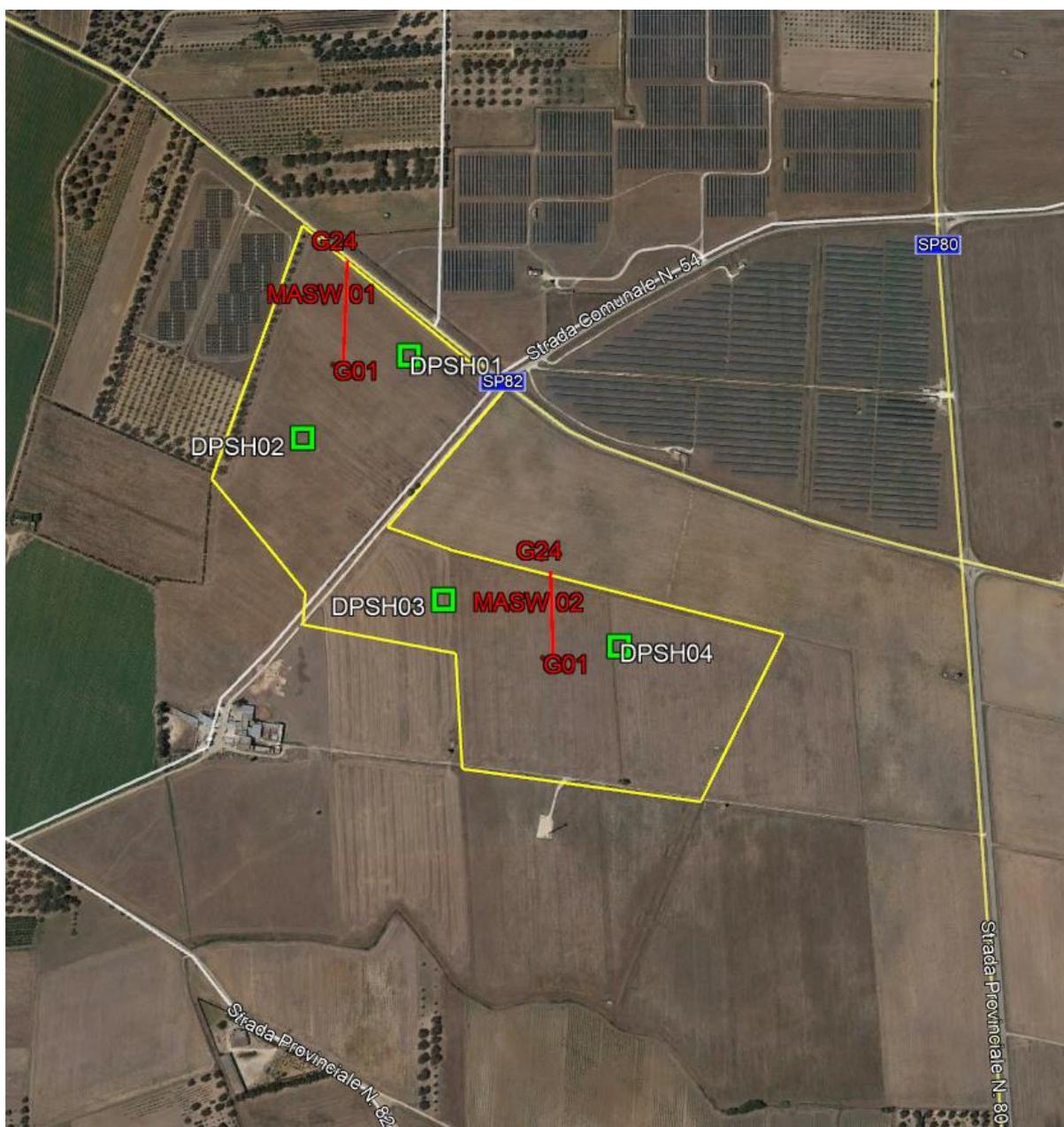
Scala 1



Parametri geotecnici (DPSH.06)	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4	Strato 5
Denominazione litologica	Terreno vegetale	Sabbia limosa	Sabbia molto compatta	Sabbia compatta	Sabbia calcarenitica
Profondità (m da p.c.)	0.00÷0.80	0.80÷1.80	1.80÷2.00	2.00÷3.00	3.00÷3.20
Coesione non drenata C_u (Kg/cm ²)	---	---	---	---	---
Densità relativa D_r (%)	10,89	43,63	66,49	56,79	78,82
Angolo di resistenza al taglio ϕ°	20,43	24,38	29,45	26,87	33,75
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm ²)	-	92,04	198,54	144,36	288,78
Modulo di Young E_y (Kg/cm ²)	-	181,71	391,16	284,61	568,63
Peso unità di volume γ (t/m ³)	1,38	1,85	1,92	1,87	1,95
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m ³)	1,76	1,90	1,98	1,96	2,00
Modulo di Poisson σ	0,41	0,38	0,36	0,37	0,35
Classificazione AGI	Sciolto	Moderatamente addensato	Addensato	Moderatamente addensato	Addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm ²)	95,16	846,43	1743,53	1292,20	2479,62
Modulo di reazione K_0	0,15	3,19	6,03	4,73	7,92
Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm ²)	3,00	30,68	66,18	48,12	96,26

4.2 Campagna indagini in località Punta della Specchia: Indagini sismiche e penetrometriche

Planimetria con ubicazione delle indagini MASW e Penetrometriche su base ortofoto



4.2.1 Prospezioni MASW per la stima del $V_{s,eq}$ (campagna di riferimento del 2020)

Le indagini MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) consentono di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio (S) fino alla profondità a cui stazione il bedrock roccioso o un suolo molto rigido ($V_{s,eq} > 800$ m/s) e determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/01/2018.

La tecnica utilizzata consente una stima accurata dell'andamento delle velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo; ciò avviene registrando i tempi di arrivo delle onde sismiche di superficie generate artificialmente ed elaborando il segnale con un opportuno software.

A rigore, quella che è misurata è la velocità delle onde superficiali (Onde di Rayleigh), ma essa è praticamente uguale alla velocità delle Onde S (95÷97%). È così possibile definire, con un'approssimazione valutabile tra il 5% e il 15%, il profilo "VS,eq".

Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in 24 geofoni verticali a 4.5Hz, in un sismografo a 24 canali della "MAE" modello X610/S con acquisizione computerizzata dei dati.

Le fasi operative possono essere così schematizzate:

1. Predisposizione degli stendimenti, cioè una serie di 24 geofoni regolarmente spazati di 3 m in linea retta, di lunghezza pari a 69m con scoppi a 6m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono,
2. osservazione del segnale che si propaga tramite onde S nel suolo per 2 secondi a seguito dell'energizzazione;
3. 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;
4. i dati raccolti sono registrati nell'hd dell'X610/S.

Nel seguito sono stati rappresentati, in tre grafici, le elaborazioni dei dati acquisiti con il metodo MASW e il sismogramma medio di tutte le interazioni, degli stendimenti svolti.

Il primo grafico, a partire dallo spettro P-F, 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 grafico successivo, 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.

Il grafico successivo riporta il modello del sottosuolo in termini di strati con diversa velocità di propagazione delle Onde S.

Alla luce della recente normativa in materia di costruzione NTC 2018 è stato introdotto il calcolo di un nuovo parametro, il $V_{s,eq}$, in sostituzione del V_{s30} , 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 V_s non inferiore a 800 m/sec

In tale formula appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio non si riferisce più necessariamente alla profondità di 30m, ma alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s, pertanto la profondità del bedrock varia di volta in volta a seconda dell'assetto geologico.

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 $V_s > 800$ m/s e

pertanto, così come enuncia la nuova norma il valore del $V_{s,eq}$ è definito dal parametro $V_{s,30}$ 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 MASW.01, è stato ricavato un valore del $535m/s < V_{s,30} < 558m/s$.

STIMA DEL $V_{s,30}$ – 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	
$V_{s,30}$ (misurata) = 0.056 = 535 m/s						
STIMA DEL $V_{s,30}$ – 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	
$V_{s,30}$ (misurata) = 0.054 = 558 m/s						

Dall'elaborazione del MASW02, è stato ricavato un valore del **466m/s $V_{s,30}$ <math><482\text{m/s}</math>**

STIMA DEL $V_{s,30}$ – 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	h_5/V_5	0.012							
H		30		$\Sigma h_i/V_i$	0.064							
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>$V_{s,30}$ (misurata)</td> <td>=</td> <td>0.064</td> <td>=</td> <td>466</td> <td>m/s</td> </tr> </table>							$V_{s,30}$ (misurata)	=	0.064	=	466	m/s
$V_{s,30}$ (misurata)	=	0.064	=	466	m/s							
STIMA DEL $V_{s,30}$ – 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							
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>$V_{s,30}$ (misurata)</td> <td>=</td> <td>0.062</td> <td>=</td> <td>482</td> <td>m/s</td> </tr> </table>							$V_{s,30}$ (misurata)	=	0.062	=	482	m/s
$V_{s,30}$ (misurata)	=	0.062	=	482	m/s							

Da tale stima il sottosuolo investigato rientra nella categoria di suolo di classe “**B**” avendo ottenuto in valore del **466m/s $V_{s,eq}$ <math><558\text{m/s}</math>** che viene nuovamente così definita dalle NTC 2018 “*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*”

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>

Nelle pagine seguenti sono riportati la planimetria con ubicazione delle indagini e i grafici di elaborazione rappresentativi delle indagini MASW svolte.

Sismogramma medio – MASW.01 – SCOPPIO 1

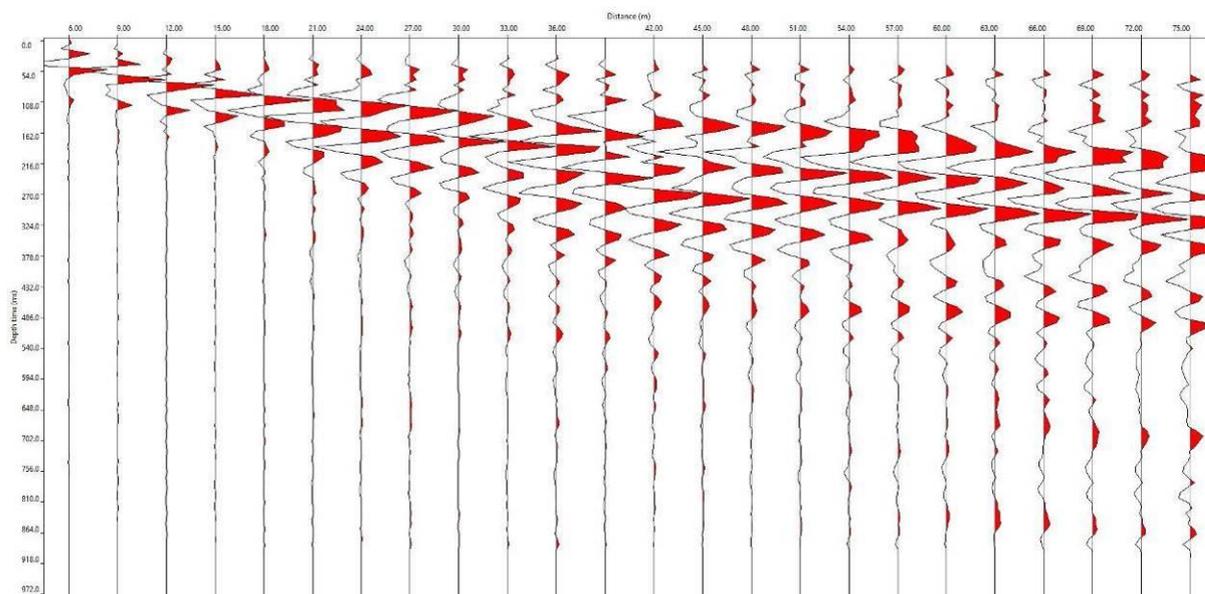
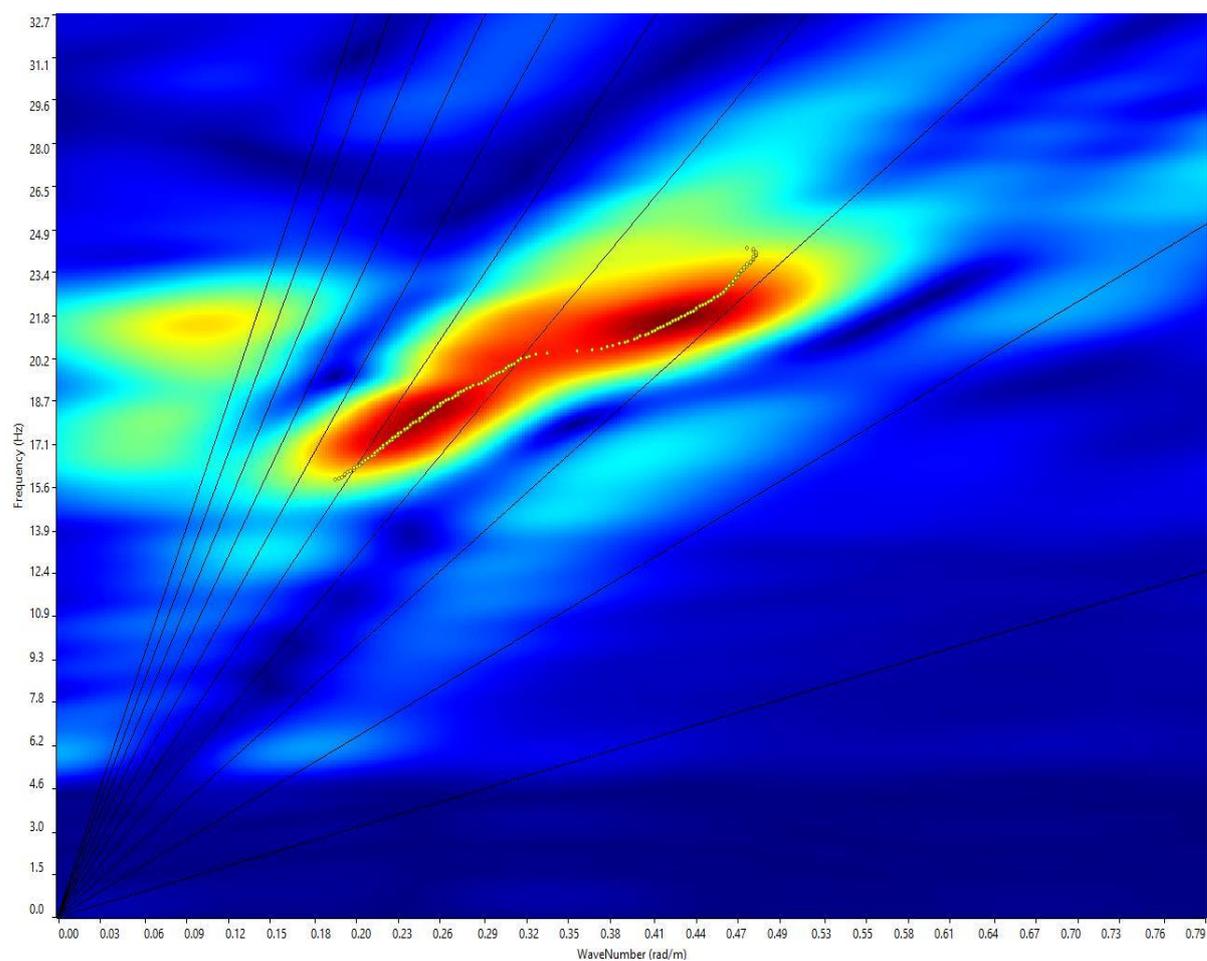
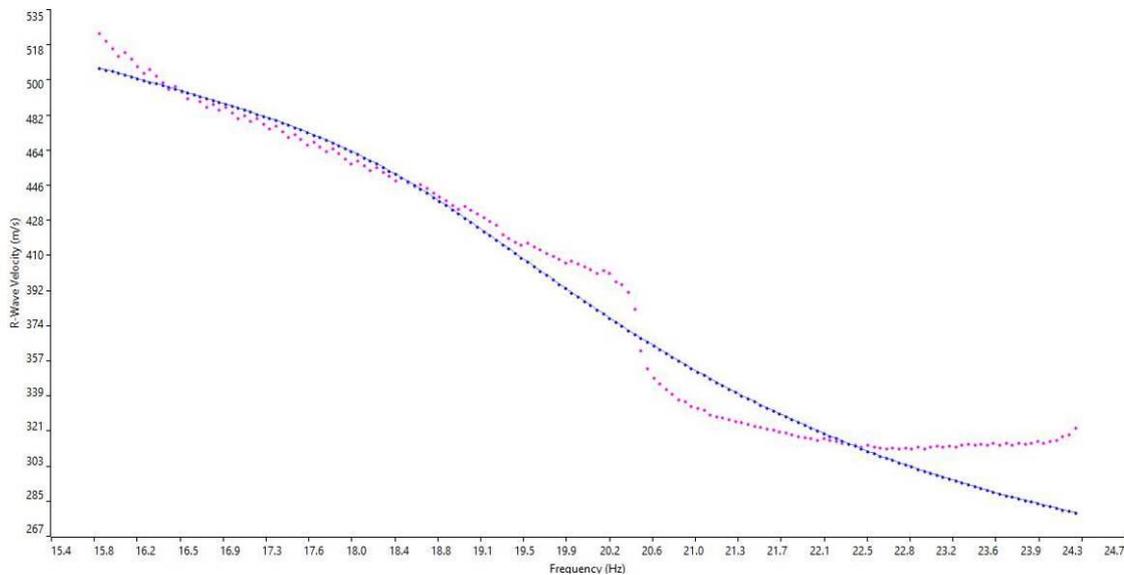


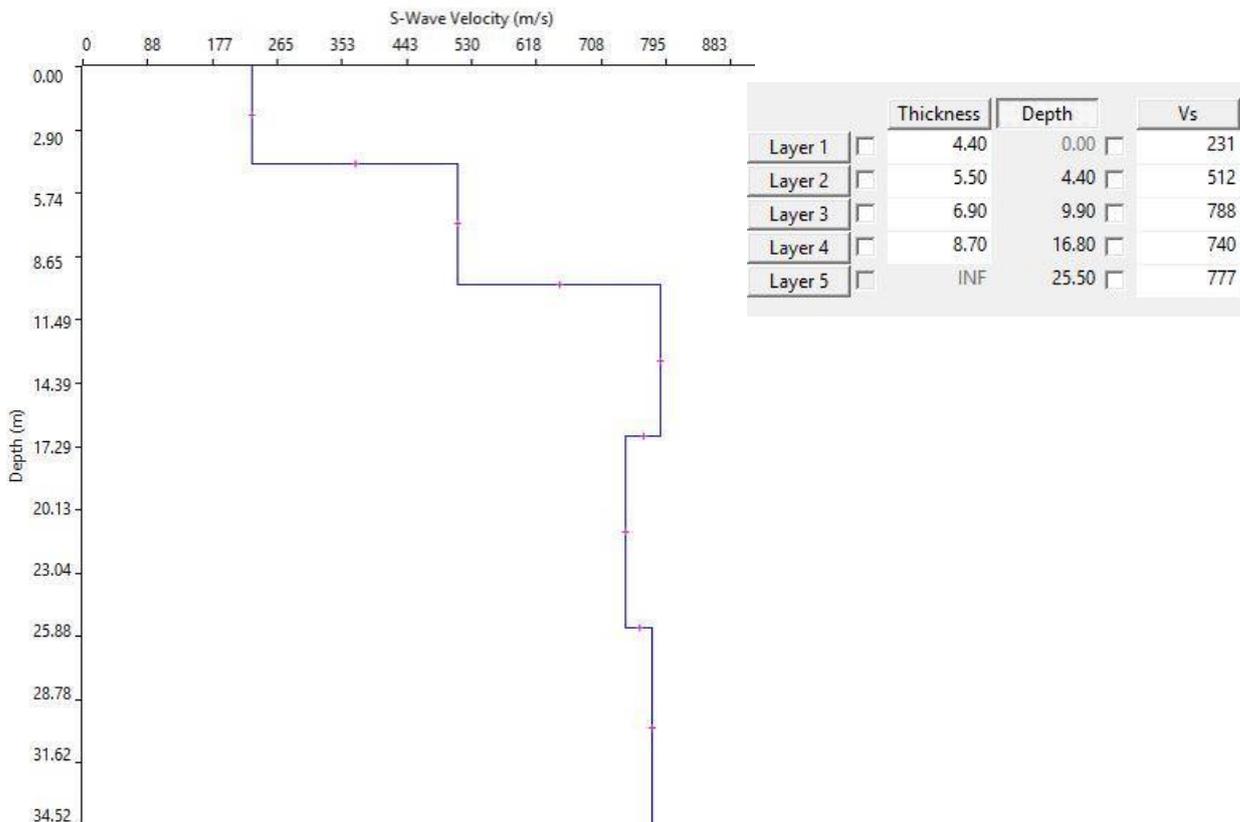
Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 1



curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 1



Profilo Vs – MASW.01 – SCOPPIO 1



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

Sismogramma medio – MASW.01 – SCOPPIO 2

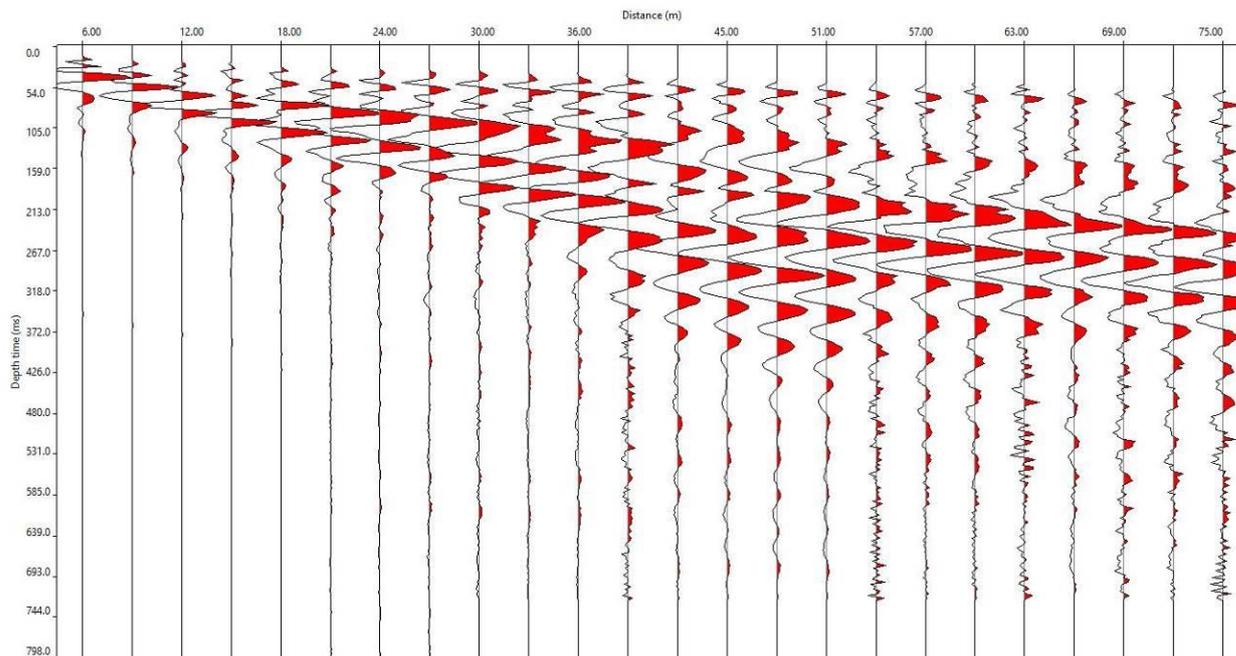
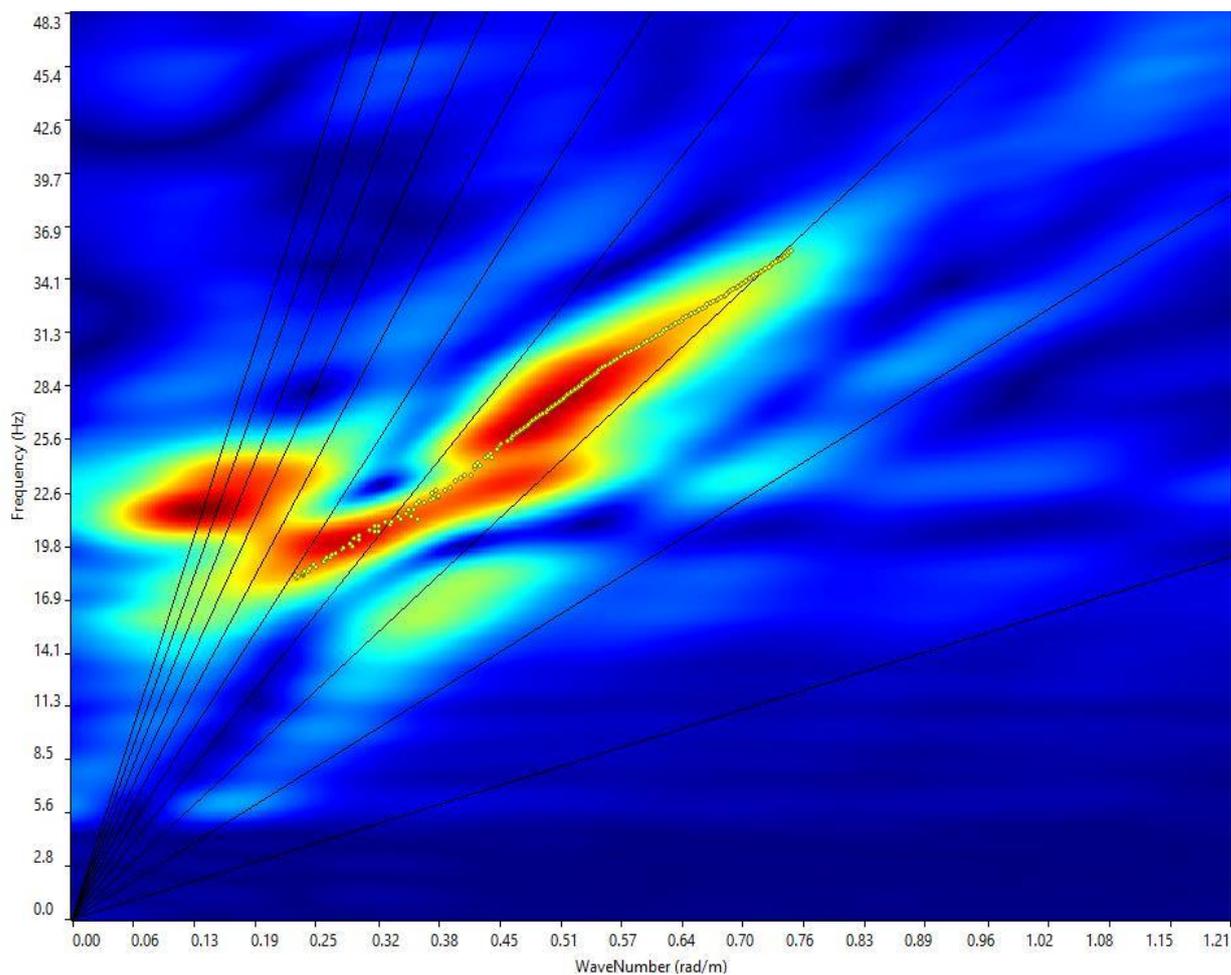
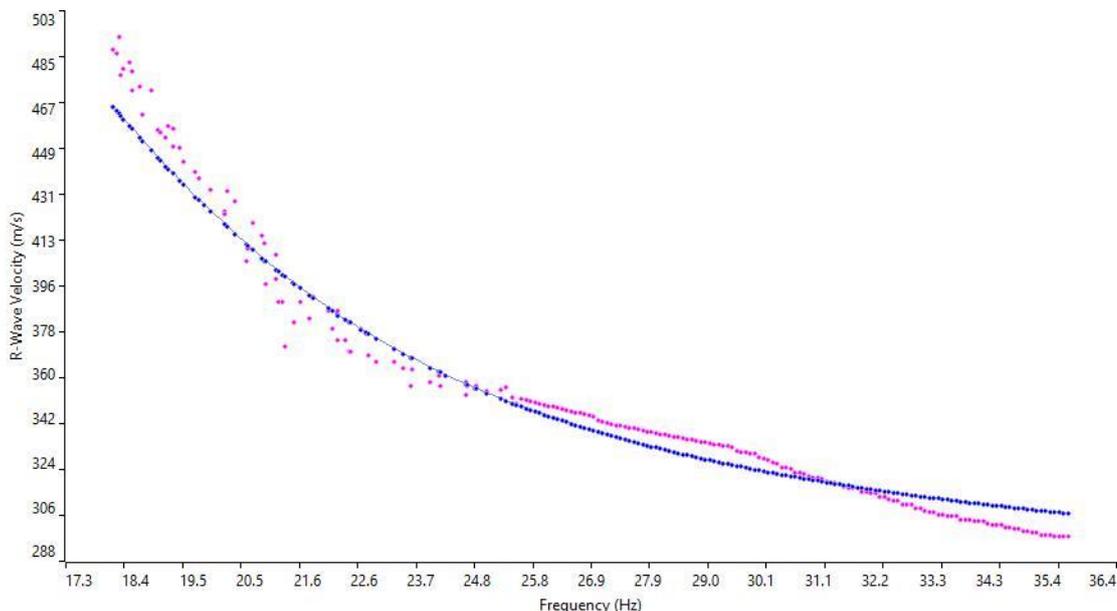


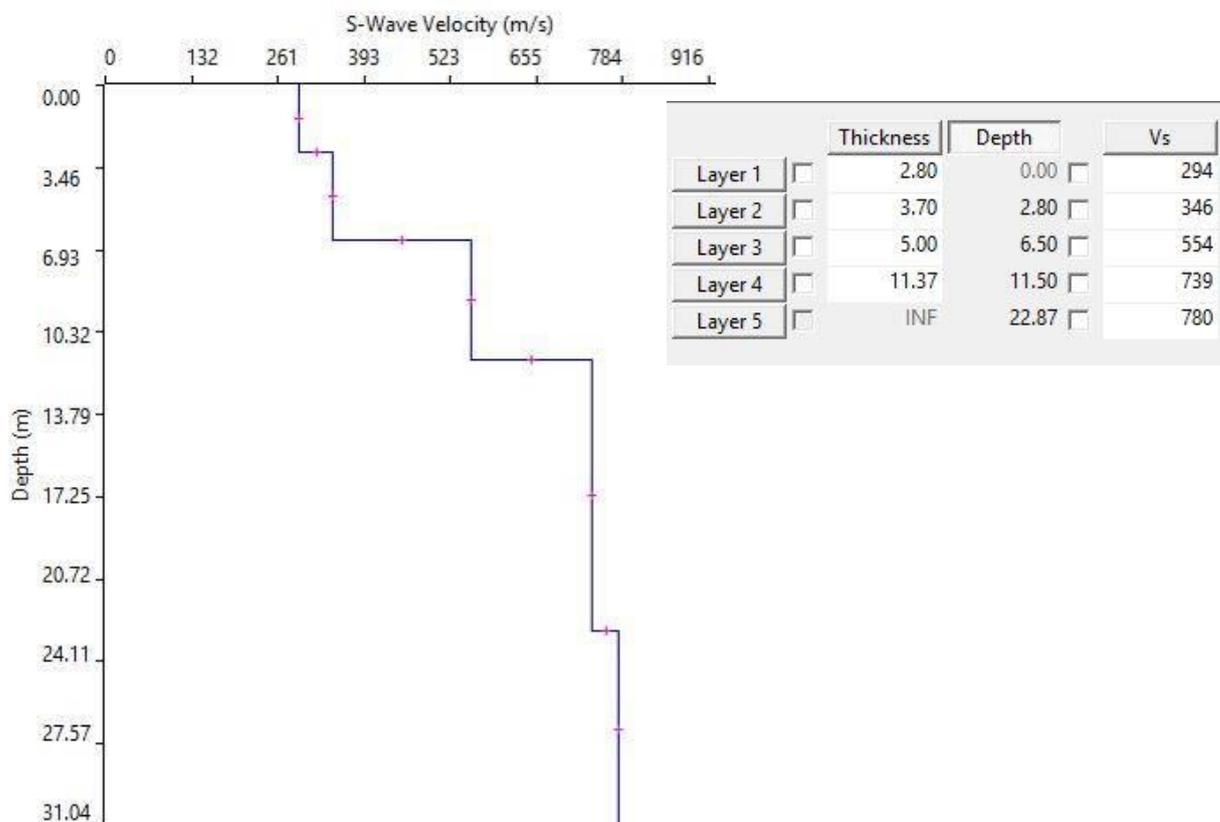
Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 2



curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 2



Profilo Vs – MASW.01 – SCOPPIO 2



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

Sismogramma medio – MASW.02 – SCOPPIO 1

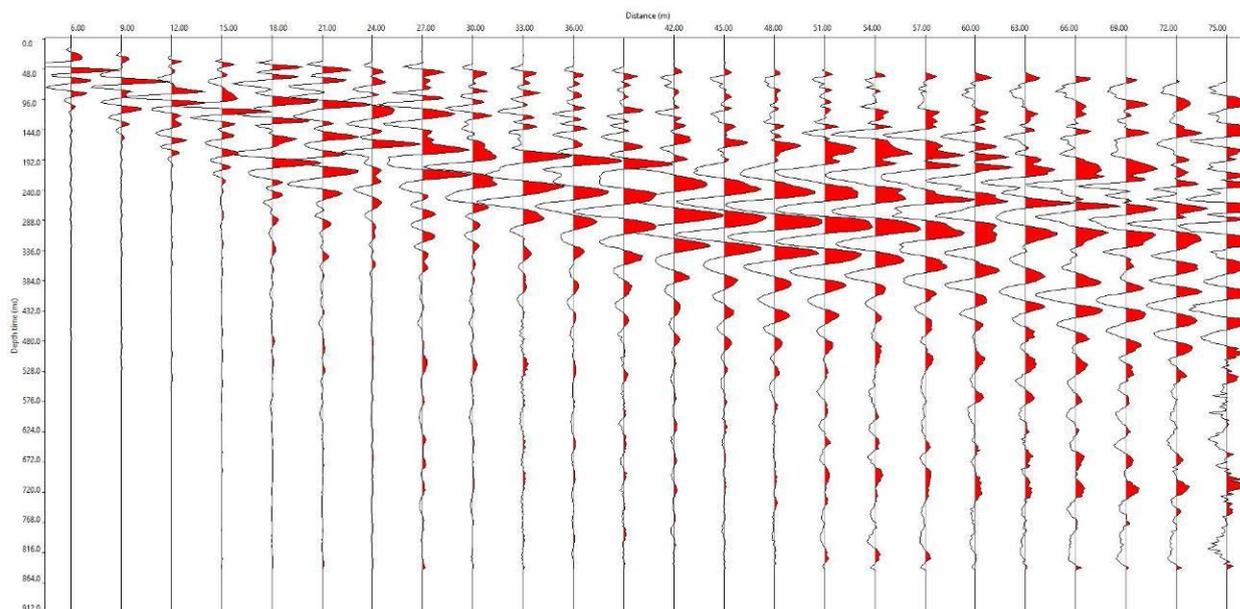
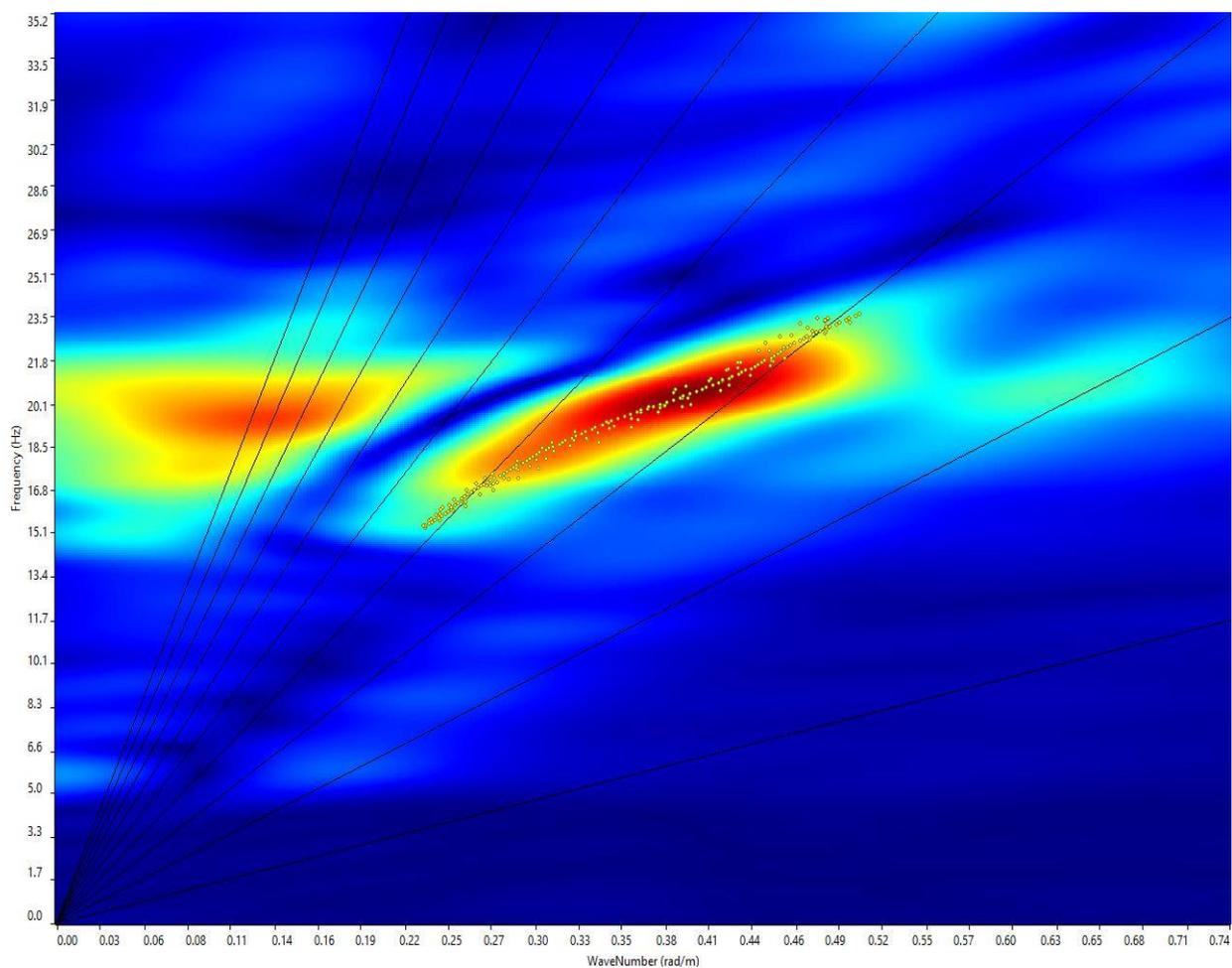
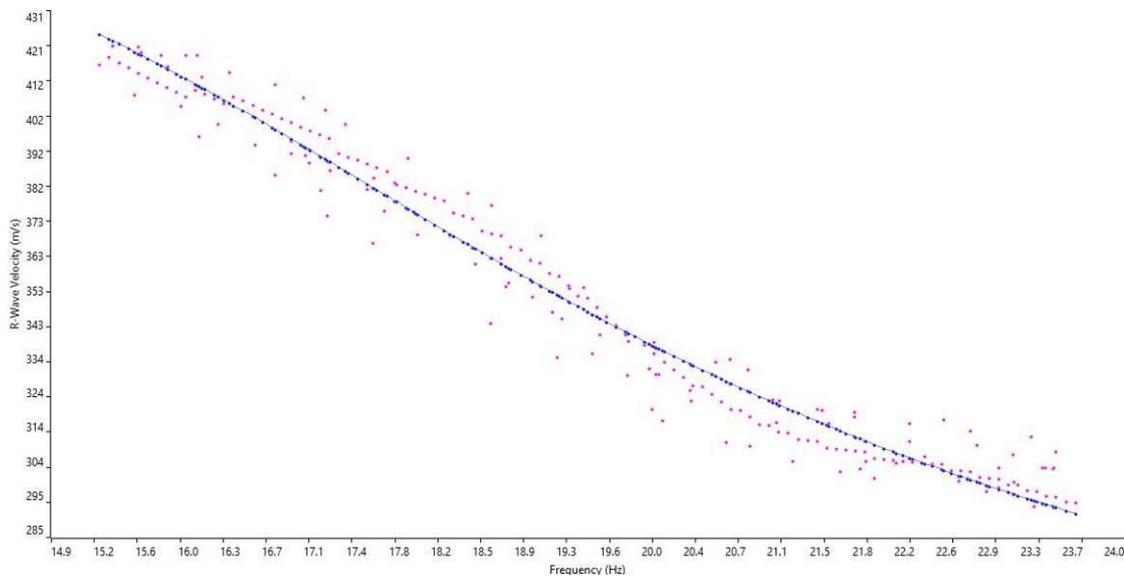


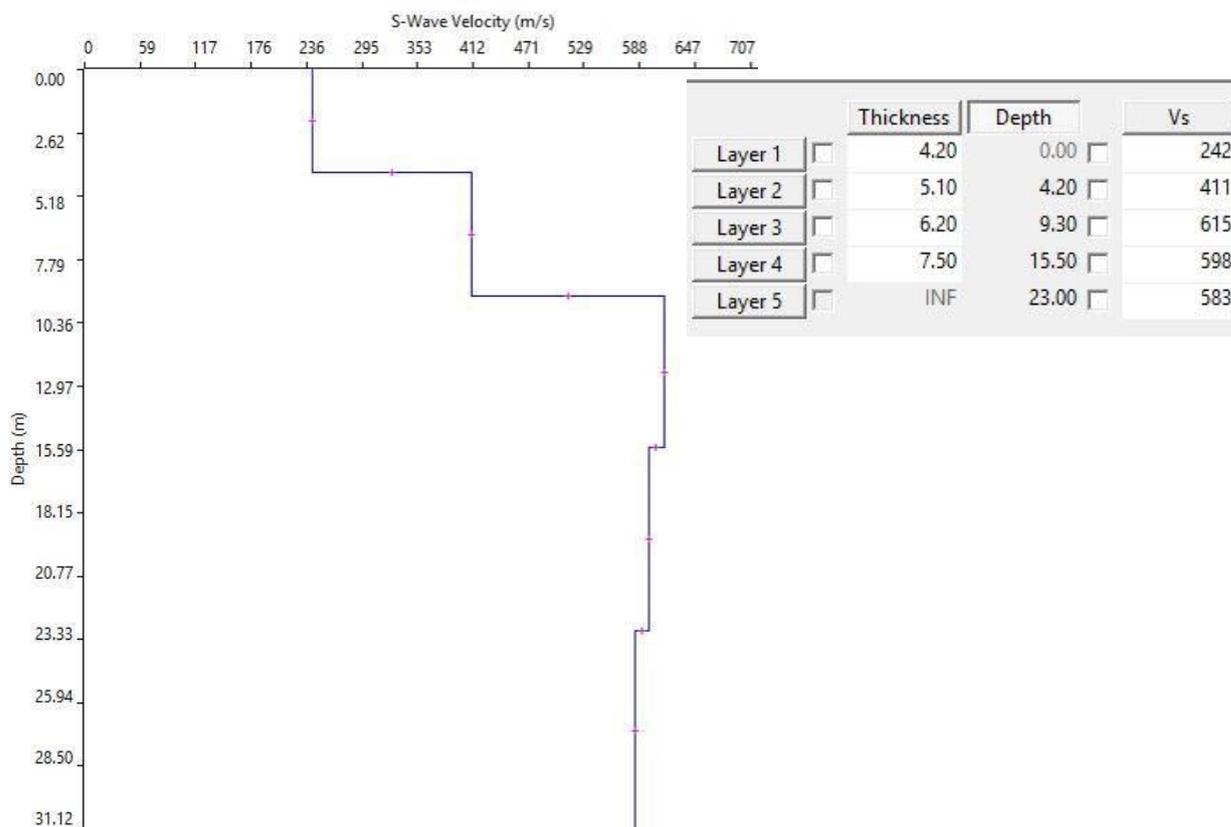
Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 1



curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 1



Profilo Vs – MASW.02 – SCOPPIO 1



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

Sismogramma medio – MASW.02 – SCOPPIO 2

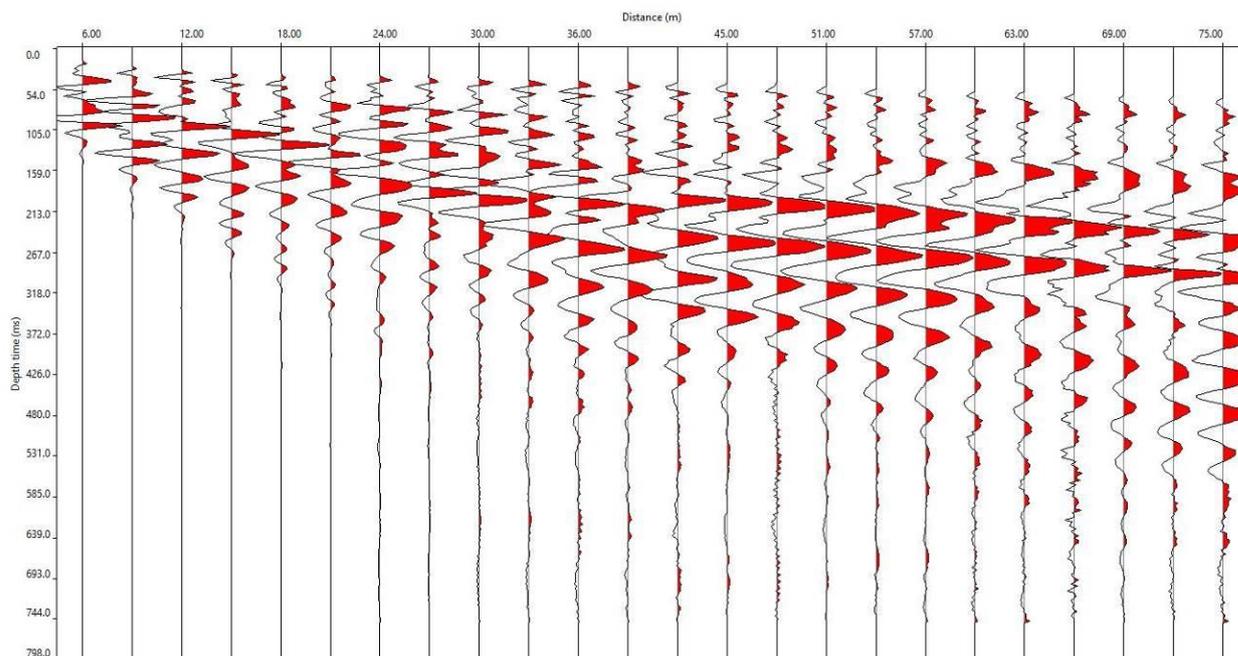
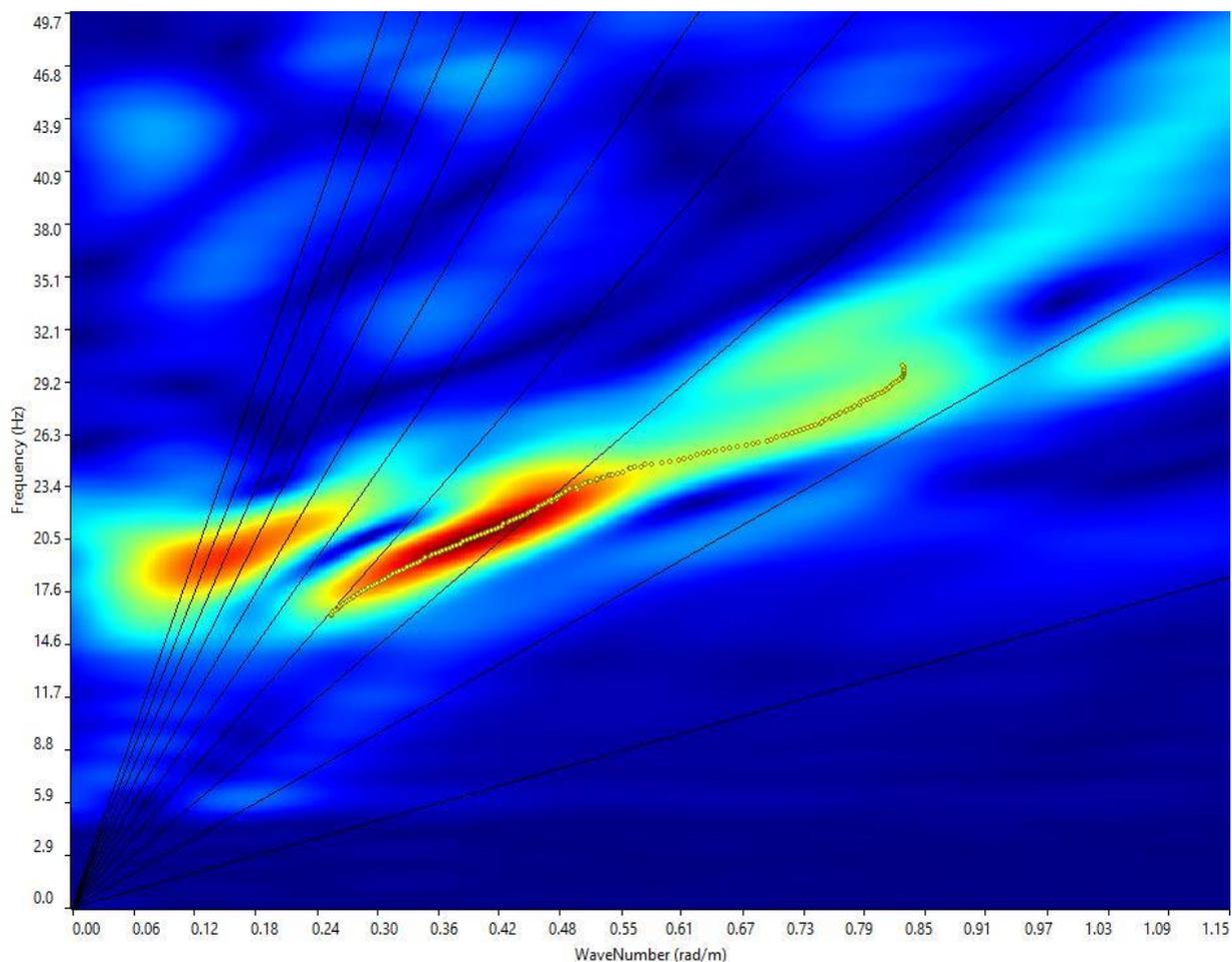
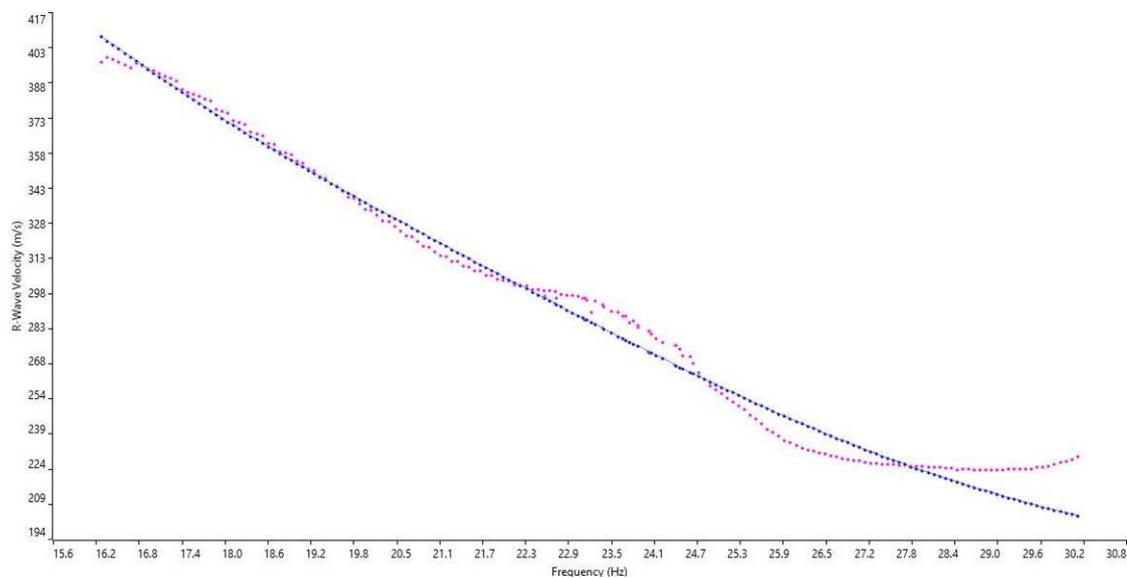


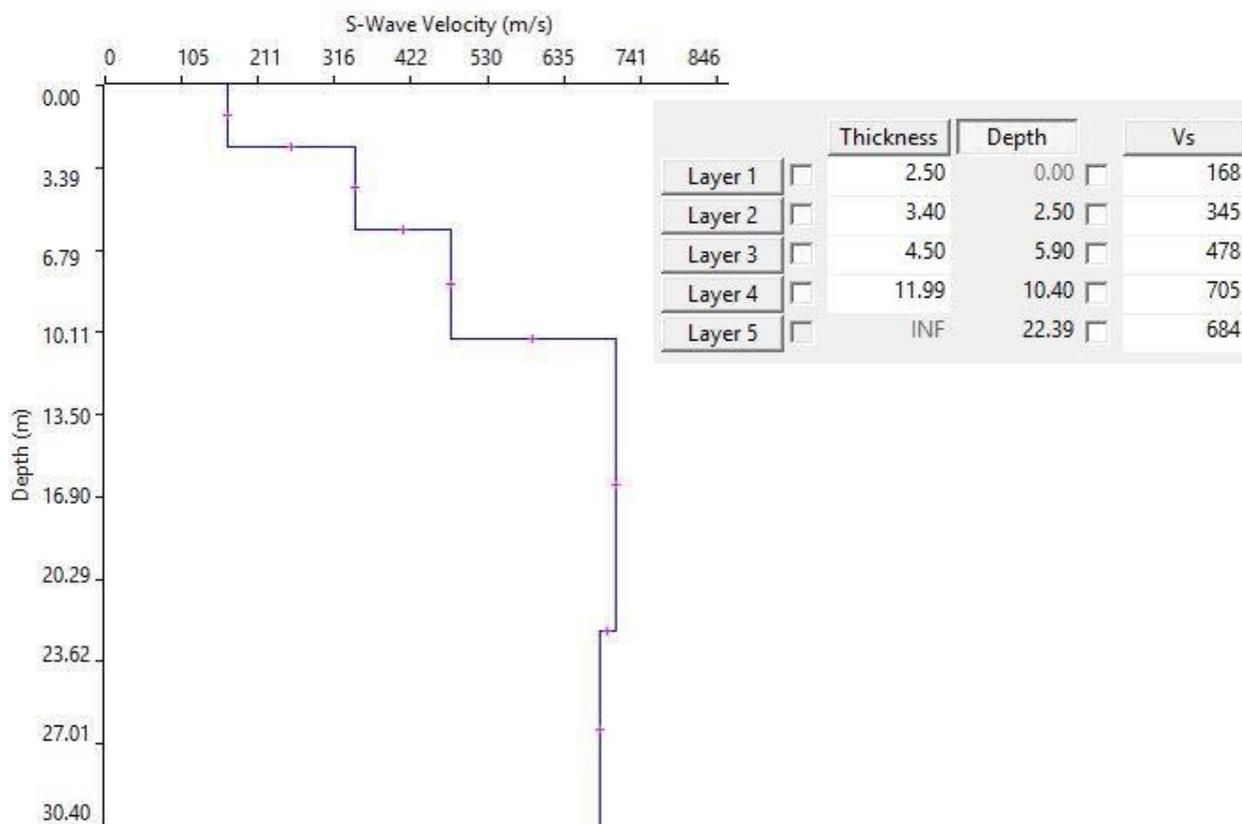
Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 2



curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 2



Profilo Vs – MASW.02 – SCOPPIO 2



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

4.2.2 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH (campagna di riferimento del 2020)

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.

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.

Valutazione della resistenza dinamica alla punta R_{qp} mediante Formula Olandese

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

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.

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.

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.

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.

In località Punta della Specchia, a circa 500 m dal sito in cui sorgerà il nuovo impianto agrovoltico, sono state eseguite **n. 4 prove DPSH** spinte fino a rifiuto, che hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo fino ad una profondità massima di 8,2m, 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. I valori ottenuti del numero di colpi e dell'Rpd sono rappresentati in maniera grafica nelle pagine seguenti.

Data la natura dei terreni presenti nelle zone in esame, sono stati considerati i parametri relativi sia a terreni incoerenti che a terreni coesivi. In particolare sono state utilizzate le seguenti correlazioni per la determinazione dei parametri geotecnici:

PARAMETRI GEOTECNICI	CORRELAZIONI
Densità relativa D_r (%)	<i>Skempton 1986</i>
Angolo di resistenza al taglio φ°	<i>Meyerhof 1956</i>
Modulo di Young E_y (Kg/cm²)	<i>Schultze-Menzenbach</i>
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm²)	<i>Buisman-Sanglerat</i>
Classificazione AGI	<i>Classificazione AGI</i>
Peso unità di volume γ (t/m³)	<i>Meyerhof ed altri</i>
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m³)	<i>Terzaghi-Peck 1948-1967</i>
Modulo di Poisson σ	<i>(A.G.I.)</i>
Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm²)	<i>Ohsaki</i>
Modulo di reazione K_0	<i>Navfac 1971-1982</i>
Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm²)	<i>Robertson 1983</i>
Coesione non drenata C_u (Kg/cm²)	<i>Terzaghi-Peck</i>

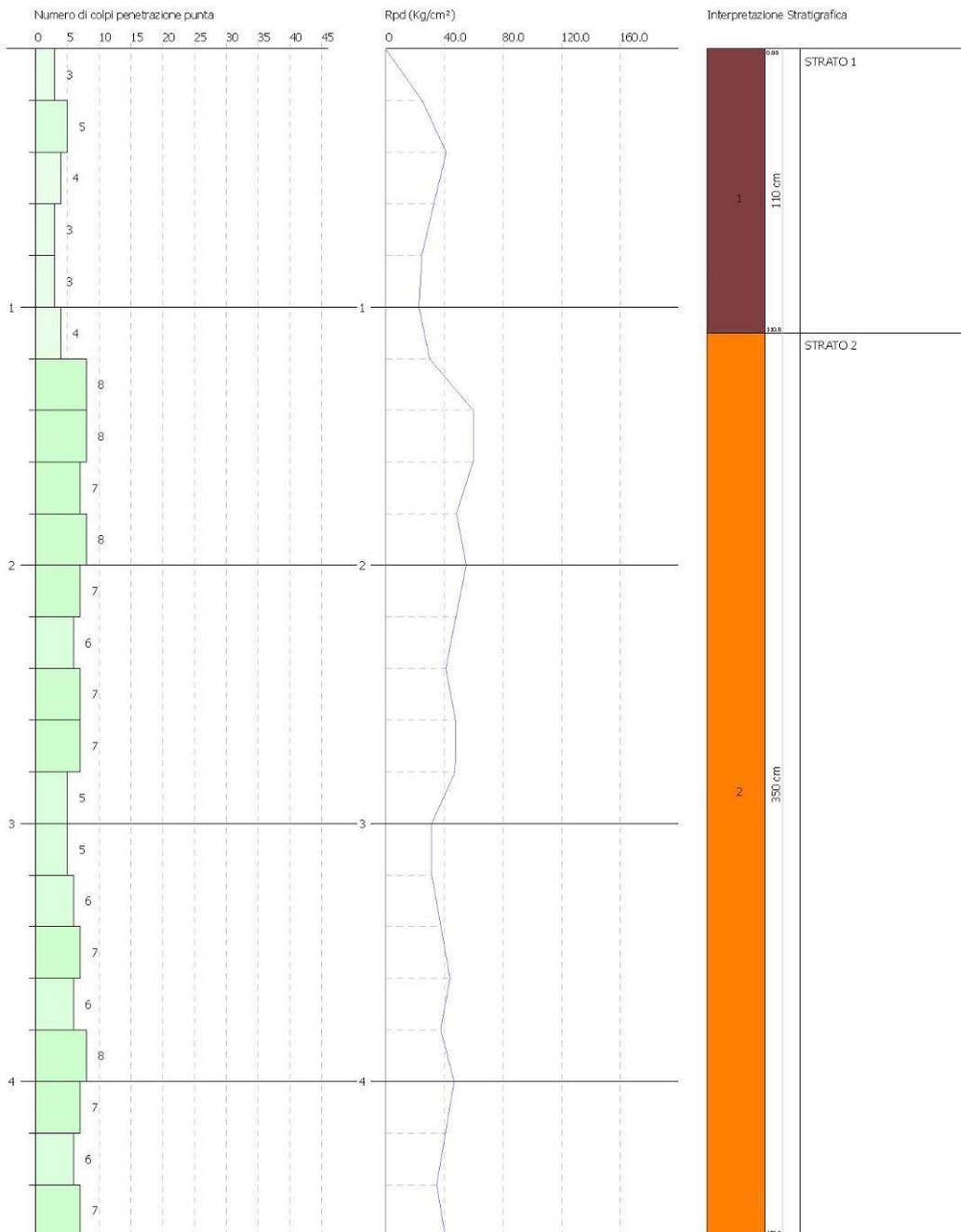
Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.01

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



Parametri geotecnici (DPSH.01)	Strato 1	Strato 2
<i>Denominazione litologica</i>	<i>Terreno vegetale</i>	<i>Limo sabbioso</i>
<i>Profondità (m da p.c.)</i>	<i>0.00÷1.00</i>	<i>1.00÷4.60</i>
<i>Coesione non drenata C_u (Kg/cm²)</i>	---	---
<i>Densità relativa D_r (%)</i>	<i>22,52</i>	<i>35,86</i>
<i>Angolo di resistenza al taglio ϕ°</i>	<i>21,61</i>	<i>22,84</i>
<i>Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm²)</i>	-	-
<i>Modulo di Young E_y (Kg/cm²)</i>	-	<i>117,99</i>
<i>Peso unità di volume γ (t/m³)</i>	<i>1,57</i>	<i>1,73</i>
<i>Peso unità di volume saturo γ_s (t/m³)</i>	<i>1,89</i>	<i>1,92</i>
<i>Modulo di Poisson σ</i>	<i>0,41</i>	<i>0,39</i>
<i>Classificazione AGI</i>	<i>Poco addensato</i>	<i>Poco addensato</i>
<i>Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm²)</i>	<i>330,26</i>	<i>562,93</i>
<i>Modulo di reazione K_0</i>	<i>1,14</i>	<i>2,09</i>
<i>Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm²)</i>	<i>11,28</i>	<i>19,88</i>

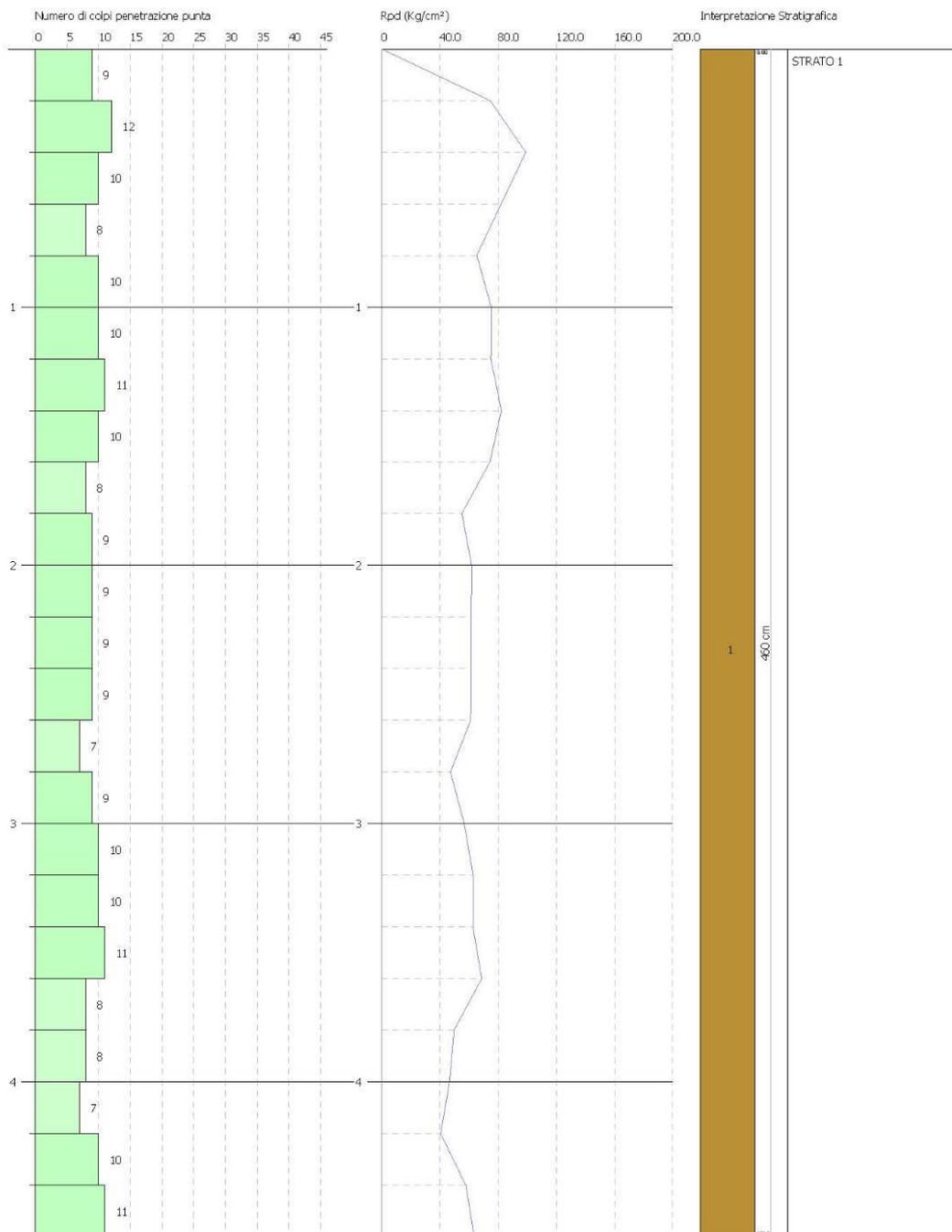
Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.02

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 1:2



Parametri geotecnici (DPSH.02)	Strato 1
Denominazione litologica	Terreno vegetale
Profondità (m da p.c.)	0,00÷1,00
Coesione non drenata C_u (Kg/cm ²)	41,32
Densità relativa D_r (%)	24,02
Angolo di resistenza al taglio ϕ°	84,48
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm ²)	166,84
Modulo di Young E_y (Kg/cm ²)	1,86
Peso unità di volume γ (t/m ³)	1,94
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m ³)	0,39
Modulo di Poisson σ	Moderatamente addensato
Classificazione AGI	780,91
Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm ²)	2,94
Modulo di reazione K_0	28,16
Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm ²)	41,32

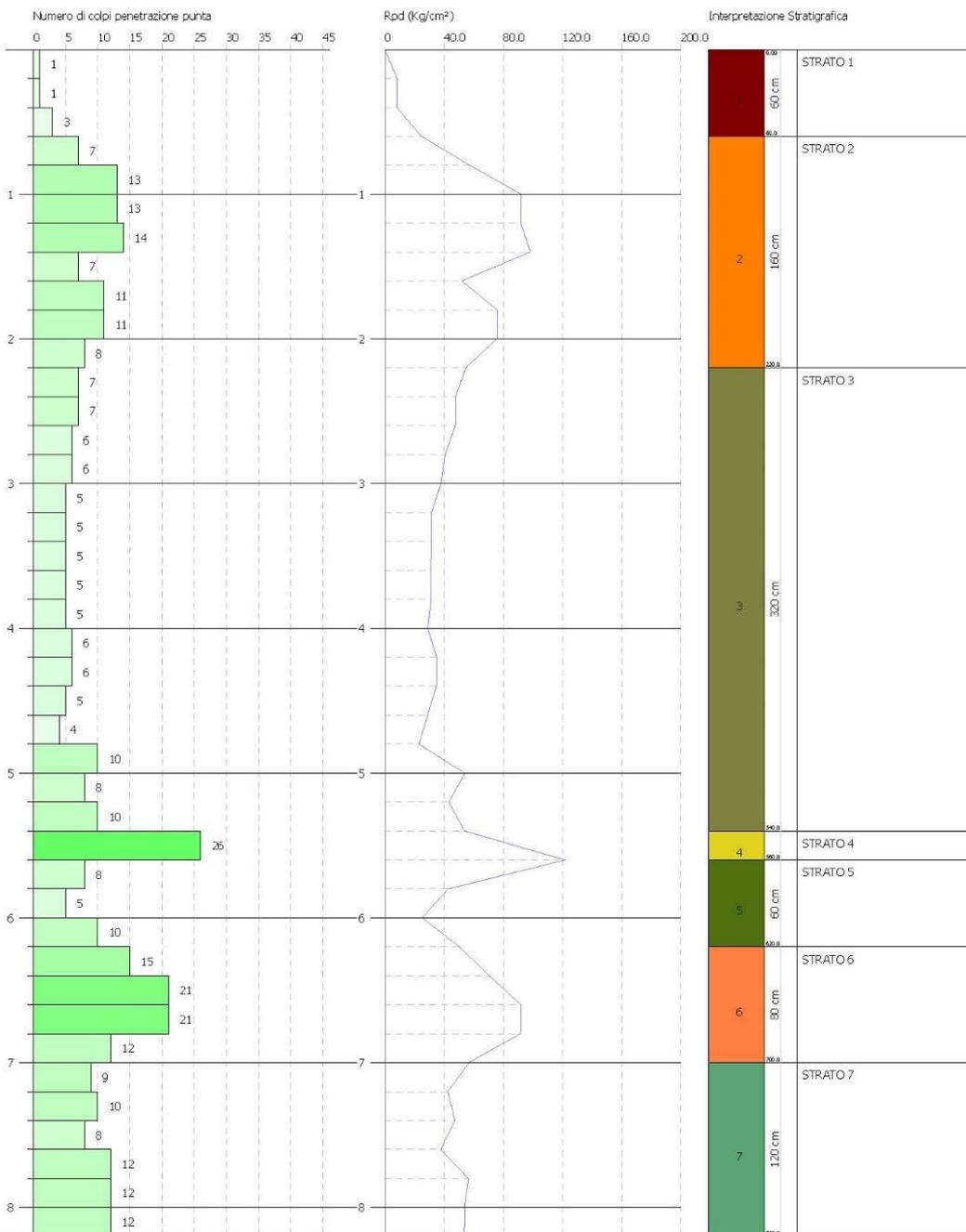
Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.03

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:



Parametri geotecnici (DPSH.03)	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4	Strato 5	Strato 6	Strato 7
Denominazione litologica	Terreno vegetale	Sabbia limosa	Limo sabbioso	Sabbia addensata	Sabbia limosa	Sabbia addensata	Sabbia limosa
Profondità (m da p.c.)	0.00÷0.60	0.60÷2.20	2.20÷5.40	5.40÷5.60	5.60÷6.20	6.20÷7.00	7.00÷8.20
Coesione non drenata C_u (Kg/cm ²)	---	---	---	---	---	---	1,07
Densità relativa D_r (%)	15,33	44,43	31,65	71,64	36,29	59,08	44,43
Angolo di resistenza al taglio ϕ°	20,86	24,51	22,69	31,17	23,30	27,41	24,51
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm ²)	-	94,74	-	234,60	69,24	155,64	94,74
Modulo di Young E_y (Kg/cm ²)	-	187,02	111,62	462,08	136,87	306,79	187,02
Peso unità di volume γ (t/m ³)	1,45	1,90	1,71	1,95	1,78	1,82	1,90
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m ³)	1,87	1,95	1,91	2,00	1,90	1,93	1,96
Modulo di Poisson σ	0,41	0,37	0,39	0,33	0,37	0,36	0,37
Classificazione AGI	Sciolto	Moderatamente addensato	Poco addensato	Addensato	Moderatamente addensato	Moderatamente addensato	Moderatamente addensato
Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm ²)	183,13	869,75	534,14	2039,67	647,72	1386,90	869,75
Modulo di reazione K_0	0,52	3,28	1,97	6,78	2,43	5,02	3,28
Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm ²)	6,02	31,58	18,80	78,20	23,08	51,88	31,58

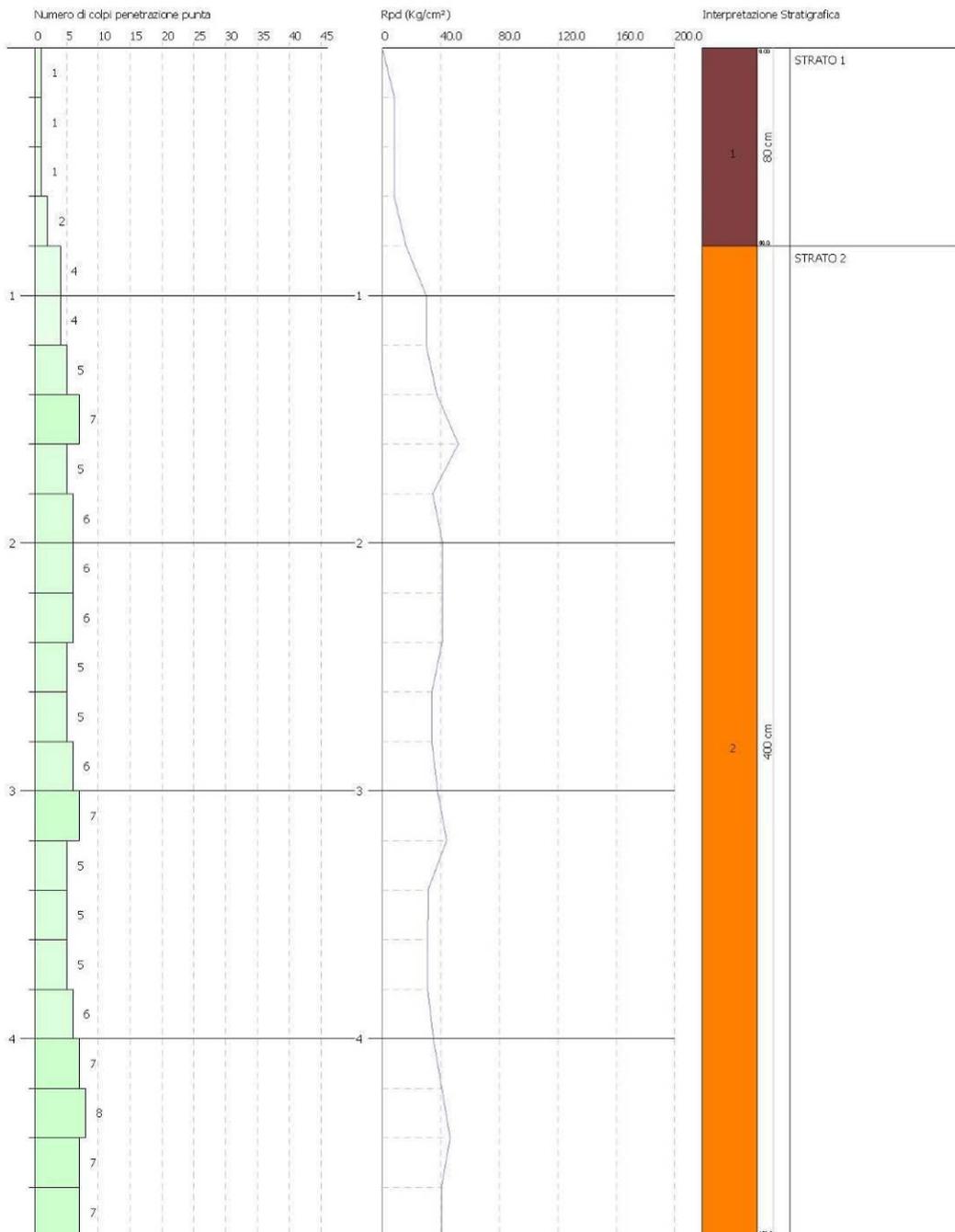
Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.04

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 1:1



Parametri geotecnici (DPSH.04)	Strato 1	Strato 2
<i>Denominazione litologica</i>	<i>Terreno vegetale</i>	<i>Limo sabbioso</i>
<i>Profondità (m da p.c.)</i>	<i>0.00÷0.80</i>	<i>0.80÷4.80</i>
<i>Coesione non drenata C_u (Kg/cm²)</i>	---	---
<i>Densità relativa D_r (%)</i>	<i>12,03</i>	<i>30,09</i>
<i>Angolo di resistenza al taglio ϕ°</i>	<i>20,54</i>	<i>22,49</i>
<i>Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm²)</i>	---	---
<i>Modulo di Young E_y (Kg/cm²)</i>	---	<i>103,60</i>
<i>Peso unità di volume γ (t/m³)</i>	<i>1,40</i>	<i>1,69</i>
<i>Peso unità di volume saturo γ_s (t/m³)</i>	<i>1,87</i>	<i>1,91</i>
<i>Modulo di Poisson σ</i>	<i>0,41</i>	<i>0,39</i>
<i>Classificazione AGI</i>	<i>Sciolto</i>	<i>Poco addensato</i>
<i>Modulo di deformazione a taglio dinamico G (Kg/cm²)</i>	<i>117,66</i>	<i>497,74</i>
<i>Modulo di reazione K_0</i>	<i>0,24</i>	<i>1,83</i>
<i>Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm²)</i>	<i>3,76</i>	<i>17,44</i>

5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO

Si riporta di seguito, una breve descrizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sito. Si precisa che si tratta di dati derivati, oltre che dalla letteratura esistente, dai risultati ottenuti dalle indagini indirette eseguite in aree limitrofe e in condizioni geologiche similari, ad ogni modo sono da intendersi necessariamente indicativi.

Sabbie argillose debolmente cementate	
<u>Parametri fisici</u>	
Peso per unità di volume	1.5 ÷ 1.7 gr/cmc
poisson	0.40 ÷ 0.42
<u>Parametri meccanici</u>	
coesione	0,1 ÷ 0,15 kg/cm ^q
angolo di attrito	24 ÷ 27°
Coeff. Di Winkler	5 ÷ 10 Kg/cm ^c

Banco arenaceo-calcarenitico mediamente cementato	
<u>Parametri fisici</u>	
densità. naturale	2.0 ÷ 2.1 gr/cmc
poisson	0.35 ÷ 0.38
<u>Parametri meccanici</u>	
coesione	4 ÷ 6 kg/cm ^q
angolo di attrito	30° ÷ 35°
Mod. di Young dinamico	2000 ÷ 5000 kg/cm ^q
Mod. di taglio	1000 ÷ 2000 kg/cm ^q
Coeff. Di Winkler	50 ÷ 100 Kg/cm ^c

A titolo indicativo si riporta, nel prospetto seguente, la verifica della capacità portante dei pali di fondazione, tenendo conto dei seguenti dati di progetto.

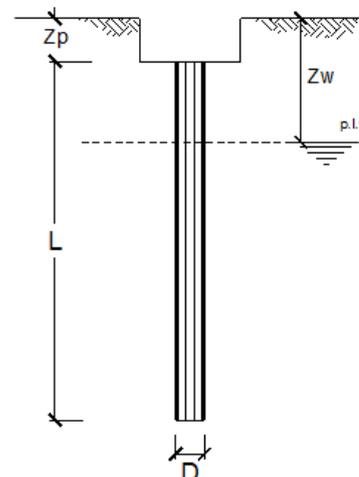
- ❖ Struttura a vela per pannelli fotovoltaici da n. 84 moduli
- ❖ Struttura portante moduli: n. 12 pali in c.a. in parte fuori terra ed in parte infissi nel terreno;
- ❖ Diametro del palo: 20 cm
- ❖ Lunghezza del palo infissa nel terreno: 2,0 m
- ❖ Carico verticale sollecitante (peso strutturale dei pannelli su singolo palo): 160 kg

Per il calcolo della capacità portante è stato considerato il primo strato di terreno definito "Sabbie argillose debolmente cementate" i cui parametri fisici e meccanici sono riportati nelle tabelle precedenti. Nel prospetto seguente si riportano i calcoli eseguiti per la verifica agli Stati Limite Ultimi secondo l'Approccio 2 delle NTC2018.

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 0,20 (m) Area del Palo (Ap): 0,031 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 0,00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 1,00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 2 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 1 (kN)
 Numero di strati 1 Lpalo = 2,00 (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ _b	γ _s	γ _{s, traz}	
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
	A1+M1+R3	<input checked="" type="radio"/>	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
	SISMA	<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DM88		<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		<input type="radio"/>	1,10	1,20	1,50	1,30	1,30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ ₃	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ ₄	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	C' med (kPa)	Φ' med (°)	C _u med (kPa)
1	2,00	sabbia argillosa deb. cementata	16,00	10,0	25,0	0,0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0,58	0,47		0,90

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	C' min (kPa)	Φ' min (°)	C _u min (kPa)
1	2,00	sabbia argillosa deb. cementata	16,00	10,0	25,0	0,0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0,58	0,47		0,90

CARICO ASSIALE AGENTE

$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$
 $N_d = 4,1 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base $R_{b, \text{cal med}} = 13,6 \text{ (kN)}$
 laterale $R_{s, \text{cal med}} = 4,6 \text{ (kN)}$
 totale $R_{c, \text{cal med}} = 18,2 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

base $R_{b, \text{cal min}} = 13,6 \text{ (kN)}$
 laterale $R_{s, \text{cal min}} = 4,6 \text{ (kN)}$
 totale $R_{c, \text{cal min}} = 18,2 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$R_{b, k} = \text{Min}(R_{b, \text{cal med}}/\xi_3 ; R_{b, \text{cal min}}/\xi_4) = 8,0 \text{ (kN)}$
 $R_{s, k} = \text{Min}(R_{s, \text{cal med}}/\xi_3 ; R_{s, \text{cal min}}/\xi_4) = 2,7 \text{ (kN)}$
 $R_{c, k} = R_{b, k} + R_{s, k} = 10,7 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$R_{c, d} = R_{b, k}/\gamma_b + R_{s, k}/\gamma_s$
 $R_{c, d} = 8,3 \text{ (kN)}$

$F_s = R_{c, d} / N_d$

$F_s = 2,02$

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il terreno di fondazione è costituito da sabbie argillose ed argille con caratteristiche meccaniche discrete e da dati bibliografici e dalla cartografia del Piano di tutela si riscontra l'eventuale presenza di una falda superficiale intorno a 2÷3m di profondità da p.c., la cui verifica sarà eseguita durante l'esecuzione delle opere.

Nella caratterizzazione geomeccanica del terreno di fondazione sono stati presi in riferimento i parametri fisico-meccanici desunti da campagne di indagine pregresse eseguite in aree limitrofe su terreni analoghi, e confrontati con dati di letteratura tecnica.

Dalla consultazione delle indagini sismiche eseguite mediante metodologia MASW è stato possibile calcolare il valore del $V_{s,eq}$ e classificare il suolo di fondazione nella categoria "B" così come definita dalle NTC 2018, con valori del $V_{s,eq}$ sono risultati compresi tra 466 e 558 m/s.

È stata condotta una verifica preliminare della capacità portante del terreno, ad ogni modo, si lascia al progettista calcolatore la verifica strutturale e geotecnica delle opere in progetto, tenendo conto delle sollecitazioni stimate nei calcoli definitivi.

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 presenza di acqua sul fondo scavo, in particolare nella zona depressa, oltreché quelli minimi per la garanzia della sicurezza dei lavoratori in sito.