

IMPIANTO AGRIVOLTAICO
SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA
IN PROVINCIA DI FOGGIA

Valutazione di Impatto Ambientale
(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

Commissione Tecnica PNRR-PNIEC
(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

Prot. CIAE: DPE-0007123-P-10/08/2020

Idea progettuale, modello insediativo e coordinamento generale: **AG Advisory S.r.l.**

Paesaggio e supervisione generale: **CRETA S.r.l.**

Elaborazioni grafiche: **Eclettico Design**

Assistenza legale: **Studio Legale Sticchi Damiani**

Progettisti:

Responsabili VIA: **CRETA S.r.l.**

Arch. Sandra Vecchietti

Arch. Filippo Boschi

Arch. Anna Trazzi

Arch. Giulia Bortolotto

Arch. Mattia Zannoni

Contributi specialistici:

Acustica: **Dott. Gabriele Totaro**

Agronomia: **Dott. Agr. Barnaba Marinosci**

Agronomia: **Dott. Agr. Giuseppe Palladino**

Archeologia: **Dott.ssa Caterina Polito**

Archeologia: **Dott.ssa Michela Rugge**

Asseverazione PEF: **Omnia Fiduciaria S.r.l.**

Fauna: **Dott. Giacomo Marzano**

Geologia: **Geol. Pietro Pepe**

Idraulica: **Ing. Luigi Fanelli**

Piano Economico Finanziario: **Dott. Marco Marincola**

Vegetazione e microclima: **Dott. Leonardo Beccarisi**

Cartella

VIA_3/

Identificatore:
DOCSPEC06

Relazione geologica

Descrizione Relazione geologica

Nome del file:
DOCSPEC06.pdf

Tipologia
Relazione

Scala
-

Autori elaborato: Geol. Pietro Pepe

Rev.	Data	Descrizione
00	01/02/22	Prima emissione
01	04/07/22	Consegna per Valutazione di Impatto Ambientale
02		

Spazio riservato agli Enti:

INDICE

1	RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI	4
2	PREMESSA.....	5
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA	6
3.1	Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Geomorfologico e Idrogeologico	6
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	8
4.1	Inquadramento geomorfologico.....	9
4.2	Caratteri idrogeologici e idrografici.....	10
5	CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE	11
5.1	Inquadramento sismico dell'area	11
5.2	Caratteristiche desunte dall'indagine sismica del territorio	11
5.3	Valutazione dell'azione sismica	13
5.4	Individuazione della pericolosità del sito	14
5.5	Strategia di progettazione	18
6	PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VS,eq.....	21
6.1	MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) - Descrizione del metodo e della strumentazione	21
6.2	MASW – Acquisizione dei dati	21
6.3	MASW – Elaborazione dei dati	21
6.4	MASW – Rappresentazione dei risultati	22
6.5	MASW – Interpretazione dei risultati.....	22
7	PROVE PENETROMETRICHE	34
7.1	Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH	34
7.2	Penetrometri in uso in Italia	34
7.3	Correlazione con N _{spt}	35
7.4	Valutazione resistenza dinamica alla punta R _{qp}	36
7.5	Metodologia di elaborazione.....	36
7.6	Valutazioni statistiche e correlazioni	36
7.7	Correlazioni geotecniche terreni incoerenti	37
7.8	Correlazioni geotecniche terreni coesivi	39
7.9	Risultati delle prove DPSH eseguite	41
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	46

Codice	Titolo	Pag. 1 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

INDICE Tabelle

Tab. 5.1 Valori dei parametri sismici per i periodi di ritorno	17
Tab. 5.2 Valori dei parametri sismici per ciascuno Stato Limite	20
Tab. 6.1 stima del $V_{s,eq}$ - MASW 01 – scoppio 1.....	23
Tab. 6.2 stima del $V_{s,eq}$ - MASW 01 – scoppio 2.....	23
Tab. 6.3 stima del $V_{s,30}$ - MASW 02 – scoppio 1.....	24
Tab. 6.4 stima del $V_{s,30}$ - MASW 02 – scoppio 2.....	24
Tab. 6.5 Categorie di sottosuolo definite dalle NTC 2018	25
Tab. 7.1 Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici	34
Tab. 7.2 Correlazioni empiriche utilizzate per l’elaborazione dei DPSH	41
Tab. 7.3 Stima dei parametri geotecnici desunti dall’elaborazione DPSH.01	43
Tab. 7.4 Stima dei parametri geotecnici desunti dall’elaborazione DPSH.02	45

INDICE Figure

Fig. 3.1 Inquadramento dell’area su ortofoto	6
Fig. 3.2 Stralcio cartografia PAI con ubicazione dell’area di intervento	7
Fig. 4.1 Stralcio Foglio 164 della Carta geologica con ubicazione dell’area d’intervento	8
Fig. 4.2 Stralcio dell’area di intervento su carta idrogeomorfologica dell’AdB Puglia.....	9
Fig. 4.3 Stralcio Piano di Tutela delle Acque nell’area di intervento: distribuzione media dei carichi Piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia a e del Salento.....	10
Fig. 5.1 Classificazione sismica 2010 - Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003	11
Fig. 5.2 Pericolosità sismica della Puglia (Fonte: INGV, Mappa della pericolosità sismica, 2004	12
Fig. 5.3 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.....	13
Fig. 5.4 Parametri di pericolosità sismica dell’area in esame	14
Fig. 5.5 Pericolosità dell’area in esame	15
Fig. 5.6 Variabilità parametri sismici con periodo di ritorno	16
Fig. 5.7 Spettri di risposta elastici per periodo di ritorno	17
Fig. 5.8 Strategia di progettazione.....	18
Fig. 5.9 Variabilità parametri sismici con periodo di ritorno	19
Fig. 5.10 Spettri di risposta elastici su diversi Stati Limite	20
Fig. 6.1 Sismogramma medio – MASW.01 – SCOPPIO 1.....	26
Fig. 6.2 Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 1.....	26
Fig. 6.3 curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 1.....	27
Fig. 6.4 Profilo V_s – MASW.01 – SCOPPIO 1	27
Fig. 6.5 Sismogramma medio – MASW.01 – SCOPPIO 2.....	28
Fig. 6.6 Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 2.....	28
Fig. 6.7 curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 2.....	29

Codice	Titolo	Pag. 2 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.8 Profilo Vs – MASW.01 – SCOPPIO 2	29
Fig. 6.9 Sismogramma medio – MASW.02 – SCOPPIO 1.....	30
Fig. 6.10 Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 1 ...	30
Fig. 6.11 curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 1.....	31
Fig. 6.12 Profilo Vs – MASW.02 – SCOPPIO 1	31
Fig. 6.13 Sismogramma medio – MASW.02 – SCOPPIO 2.....	32
Fig. 6.14 Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 2 ...	32
Fig. 6.15 curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 2.....	33
Fig. 6.16 Profilo Vs – MASW.02 – SCOPPIO 2	33
Fig. 7.1 Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.01	42
Fig. 7.2 Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.02	44

Codice	Titolo	Pag. 3 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

1 RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- Carta Geologica D'Italia, scala 1:100000, Foglio 164 "Foggia";
- Ciaranfi N. et alii (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 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 dell'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 (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 3519 del 28 aprile 2006 - All. 1b "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale"
- Delibera D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009 della Giunta Regionale - Regione Puglia – "Adempimenti In Zone Sismiche Classificate 4" - Prevede l'obbligo della progettazione antisismica estesa anche per le costruzioni private da realizzare in zona sismica classificata "4", modificando quanto precedentemente previsto, dalla delibera di G.R. n° 153/04;
- Delibera D.G.R. n. 1214 del 31.05.2011 della Giunta Regionale - Regione Puglia – specificazione di dettaglio degli edifici individuati con gli elenchi A e B dell'Allegato 2 dalla delibera di G.R. n° 153/04;
- "Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture" del 17 gennaio 2018 (Suppl. Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8).

Codice	Titolo	Pag. 4 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

2 PREMESSA

Nel presente elaborato vengono riportati i risultati ottenuti dalla campagna di indagine geognostica svolta dalla società Apogeo s.r.l., a supporto del progetto di realizzazione dell'impianto agrivoltaico presso il sito ricadente nel territorio di Cerignola.

Vista la natura dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto durante l'attuazione delle indagini è stata posta particolare attenzione a:

- Determinare lo spessore dei depositi di copertura;
- Caratterizzare meccanicamente gli strati di terreno costituenti il sottosuolo;
- Individuare la presenza di eventuali anomalie stratigrafiche;
- Determinare il valore puntuale del $V_{s,eq}$ al fine di attribuire al sottosuolo in esame una delle categorie di suolo di fondazione contemplate dalle NTC 2018.

La campagna indagini è consistita nell'esecuzione di:

- ✓ Rilievo geologico di superficie e acquisizione fotografica dei caratteri tipologici evidenti in situ;
- ✓ 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. 2 prove penetrometriche dinamiche superpesanti per la deduzione dei principali parametri geotecnici dei terreni superficiali.

Nella **Tavola 01** è riportata la planimetria dell'area in esame in cui sono indicate le ubicazioni delle indagini sismiche e penetrometriche.

Codice	Titolo	Pag. 5 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

L'area in esame ricade a nord del territorio di Cerignola, ad una distanza di oltre 8 km dal centro urbano, a quote variabili comprese tra 34 e 44 m s.l.m..

La figura 3.1 mostra in rosso il perimetro dell'area di stretto interesse, in celeste sono delineati i confini territoriali di Orta Nova, Trinitapoli e San Ferdinando di Puglia.

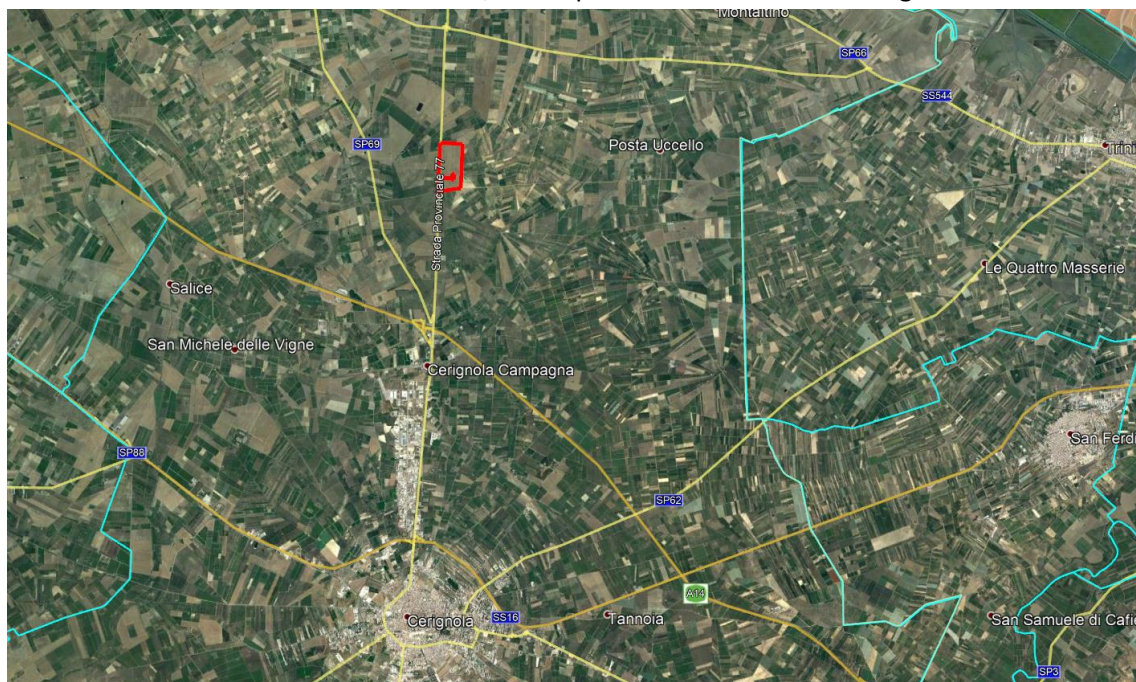


Fig. 3.1 Inquadramento dell'area su ortofoto

3.1 Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Geomorfologico e Idrogeologico

Ai fini della verifica delle condizioni d'assetto idraulico e geomorfologico dell'area d'intervento, è stata consultata la "Carta del Rischio" del Piano stralcio per la Difesa dal Rischio Geomorfologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia.

In base ai criteri di perimetrazione è stato verificato che l'area non ricade in alcuna area perimetrata come "Area a pericolosità geomorfologica o Idraulica", come immagine seguente.

Codice	Titolo	Pag. 6 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

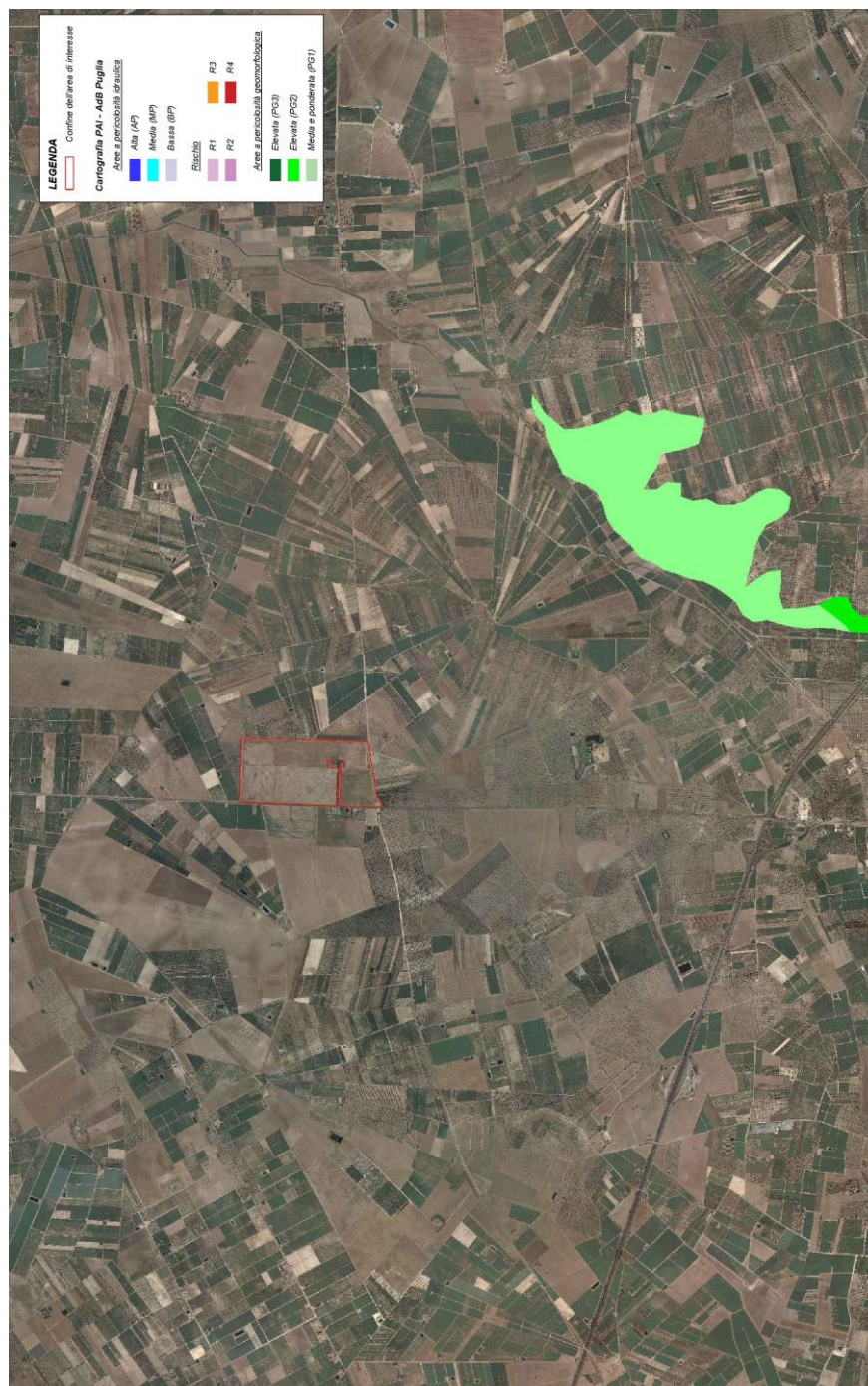


Fig. 3.2 Stralcio cartografia PAI con ubicazione dell'area di intervento

Codice	Titolo	Pag. 7 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di interesse, dal punto di vista geologico, ricade nel Foglio n. 164 della Carta Geologica d'Italia – scala 1:100.000 “Foggia”, di cui si riporta uno stralcio a seguire.

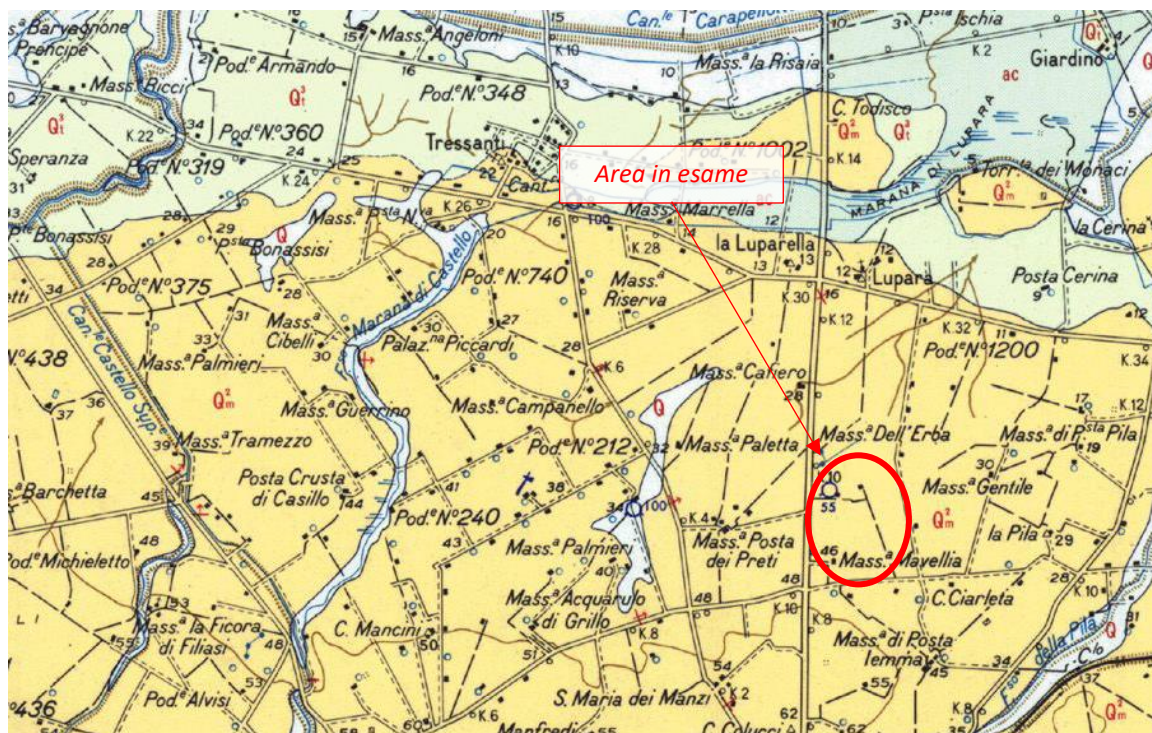


Fig. 4.1 Stralcio Foglio 164 della Carta geologica con ubicazione dell'area d'intervento



Sabbie giallastre, pulverulente, con concrezioni calcaree e molluschi marini di facies litorale. Quasi dovunque coperte da un crostone calcareo-sabbioso straterellato.

Il territorio strettamente in esame è caratterizzato soprattutto depositi sciolti costituiti prevalentemente da sabbie giallastre, pulverulente, con concrezioni calcaree e molluschi marini di facies litorale. Quasi ovunque coperte da un crostone calcareo-sabbioso straterellato (Q^2_m).

Sostanzialmente il territorio in esame ricade sui sedimenti plio-quadernari che hanno colmato la parte orientale dell'Avanfossa appenninica compreso tra la Daunia e il promontorio garganico i quali sono largamente rappresentati e son in continuità con gli stessi cartografati nei fogli limitrofi.

Codice	Titolo	Pag. 8 di 46
RG0	RELAZIONE GEOLOGICA	

La caratteristica che accomuna tutti i territori interessati dall'opera in progetto è rappresentata dalla presenza di numerosi fiumi che partono dall'entroterra del tavoliere fino a sfociare nel Mar Adriatico.

Dal rilievo geologico e dai risultati delle indagini eseguite in loco è evidente che l'assetto stratigrafico dell'area in esame è contraddistinto, a parte un primo strato superficiale di terreno vegetale di spessore medio di 1.0 m, la parte sottostante per diversi metri di profondità è caratterizzata prevalentemente da depositi sabbiosi mediamente consistenti.

4.1 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista morfologico la maggior parte dell'area in esame è caratterizzata, come tutta la Capitanata, da vaste spianate inclinate debolmente verso il mare, interrotte da valli ampie con fianchi alquanto ripidi. L'area nell'intorno del sito di stretto interesse è solcata da tre importanti fiumi: il Cervaro il Carapelle e Ofanto e da tutta una rete di tributari che hanno spesso un deflusso esclusivamente stagionale.

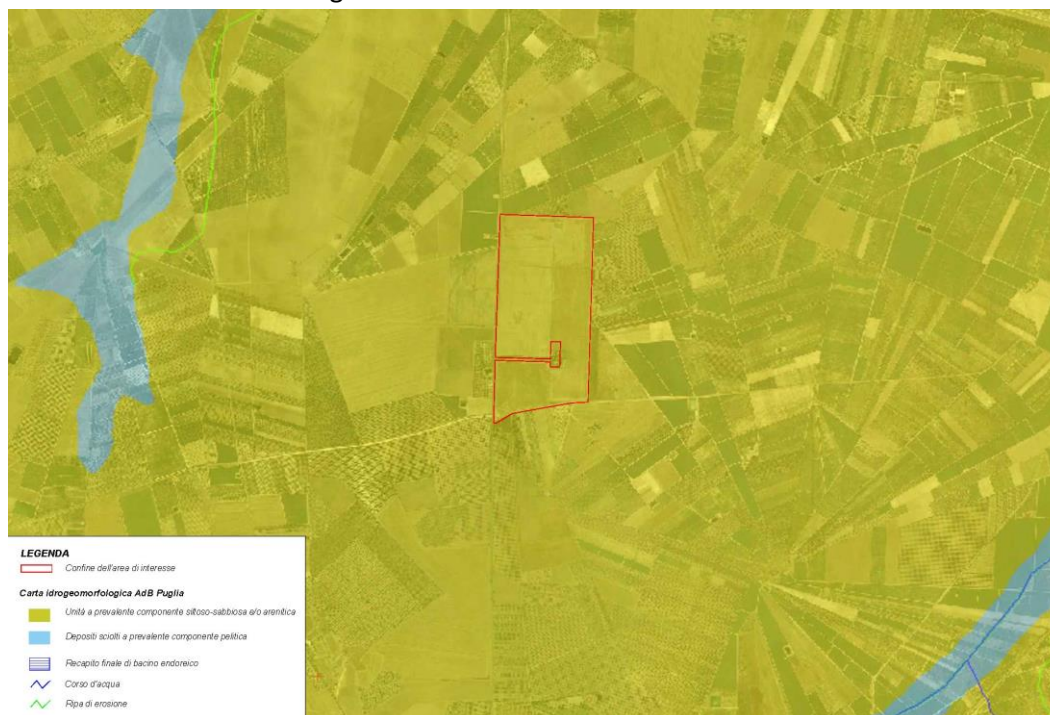


Fig. 4.2 Stralcio dell'area di intervento su carta idrogeomorfologica dell'AdB Puglia

La generale pendenza verso oriente della spianata rappresenta, molto probabilmente, l'originaria inclinazione della superficie di regressione del mare pleistocenico e dei depositi fluviali che su essa si sono adagiati. Il sito in esame, si trova ad una quota compresa tra 34m e 44m s.l.m., dove non emergono elementi morfologici di particolare rilievo. Considerando la carta idro-

Codice	Titolo	Pag. 9 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

geomorfologiche dell’Autorità di Bacino della Puglia, riportata sopra, si evince che nell’intorno del territorio in esame sono presenti una serie di incisioni che si infiltrano nel sottosuolo o segnano l’idrografia del territorio in direzione del mare.

4.2 Caratteri idrogeologici e idrografici

Le caratteristiche idrogeologiche della zona in esame risultano influenzate dalla morfologia del territorio, dalle condizioni di assetto strutturale e dalle caratteristiche di permeabilità delle formazioni affioranti. L’idrografia della regione è rappresentata da tre principali corsi d’acqua (Candelaro, Cervero e Carapelle) ad andamento torrentizio e stagionale. Essi sono stati regimentati per buona parte del loro corso e sfruttati per la bonifica costiera. Nell’intorno del sito specifico sono presenti numerosi corsi d’acqua, ma nella specifica area di interesse non si evincono segni rilevanti dell’idrografia della zona. Come si evince dalla consultazione della Carta della Distribuzione media dei Carichi Piezometrici dell’acquifero poroso del Tavoliere, sempre del PTA, è emerso che la falda freatica nel territorio foggiano si trova alla quota del livello medio del mare e dunque considerata le quote del sito in esame la falda stazionerebbe ad una profondità maggiore di 30m dal piano campagna.

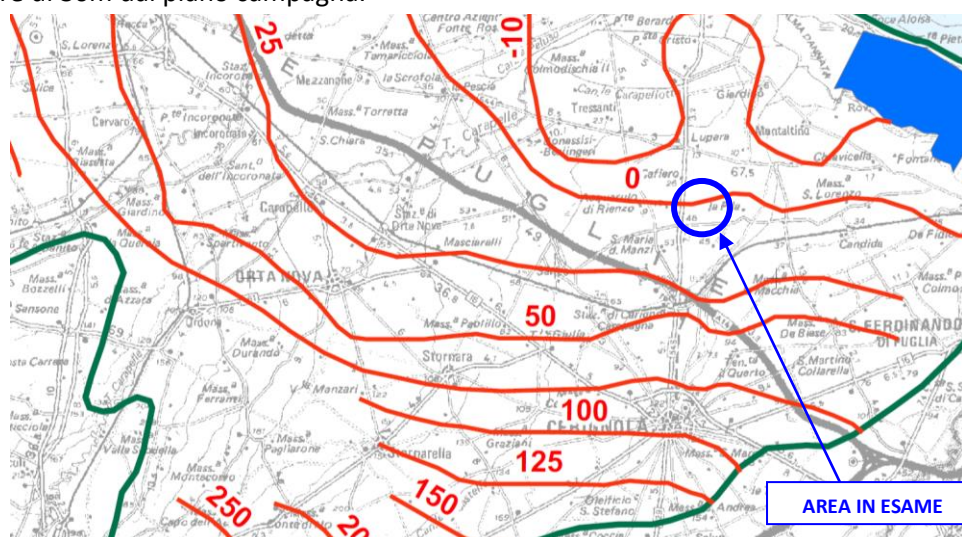


Fig. 4.3 Stralcio Piano di Tutela delle Acque nell’area di intervento: distribuzione media dei carichi Piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia a e del Salento

Codice	Titolo	Pag. 10 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

5 CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE

5.1 Inquadramento sismico dell'area

Il comune di Cerignola, con D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009, ricade in **zona sismica 2** (livello di pericolosità alto), come evidenziato nella figura seguente.

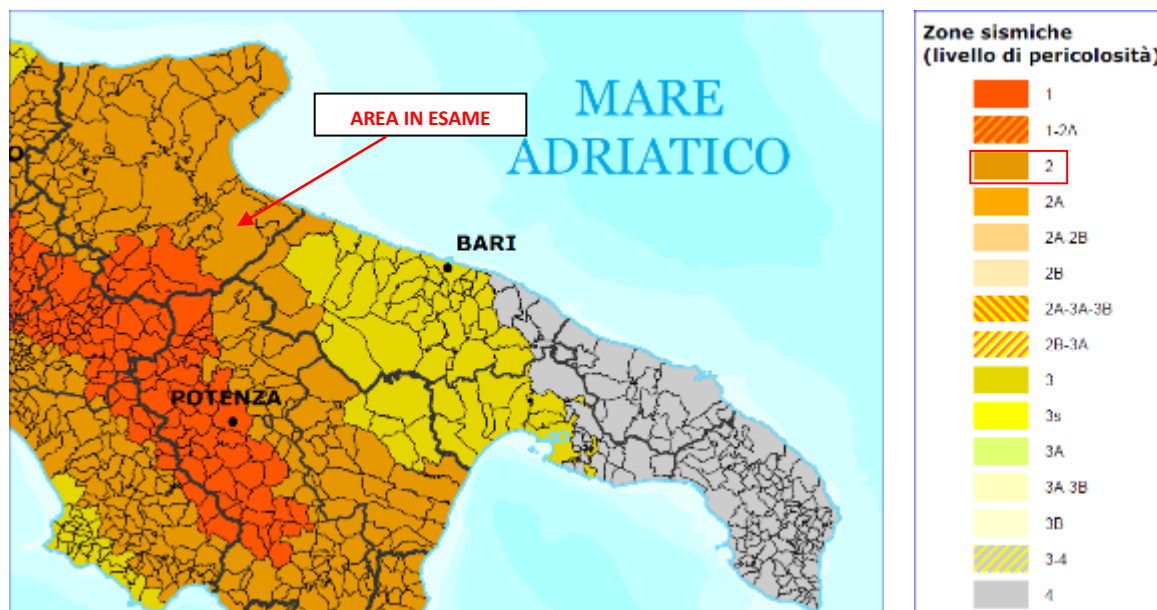


Fig. 5.1 Classificazione sismica 2010 - Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003

5.2 Caratteristiche desunte dall'indagine sismica del territorio

Basandosi sull'indagine sismica eseguita, i valori di velocità delle onde sismiche di taglio hanno evidenziato nella zona a sud la presenza del bedrock sismico alla profondità di 20.7÷22.68 m; mentre nella zona più a nord non è stato possibile individuare il bedrock sismico, pertanto il calcolo del $V_{s,eq}$ si è ricondotto al calcolo del vecchio $V_{s,30}$, cioè fino alla profondità di 30 metri di investigazione. In ogni caso i valori del $V_{s,eq}$ sono risultati compresi tra 482 e 527 m/s, quindi classificando il suolo nella categoria "B".

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

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 $0.15 < a_g / g < 0.25$, pari ad

Codice	Titolo	Pag. 11 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sulla formazione di base pari ad $a_g=0.05g$.

In particolare, le recenti Norme 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 in questione è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.125 - 0.150 g, come evidenziato nelle figure seguenti, 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, $V_s,eq>800m/sec$).

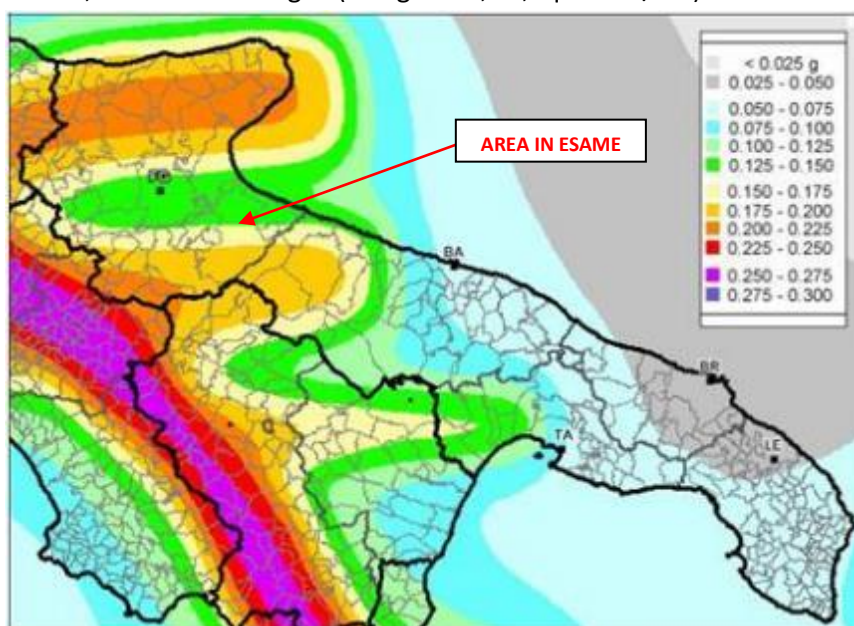


Fig. 5.2 Pericolosità sismica della Puglia (Fonte: INGV, Mappa della pericolosità sismica, 2004)

Codice	Titolo	Pag. 12 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

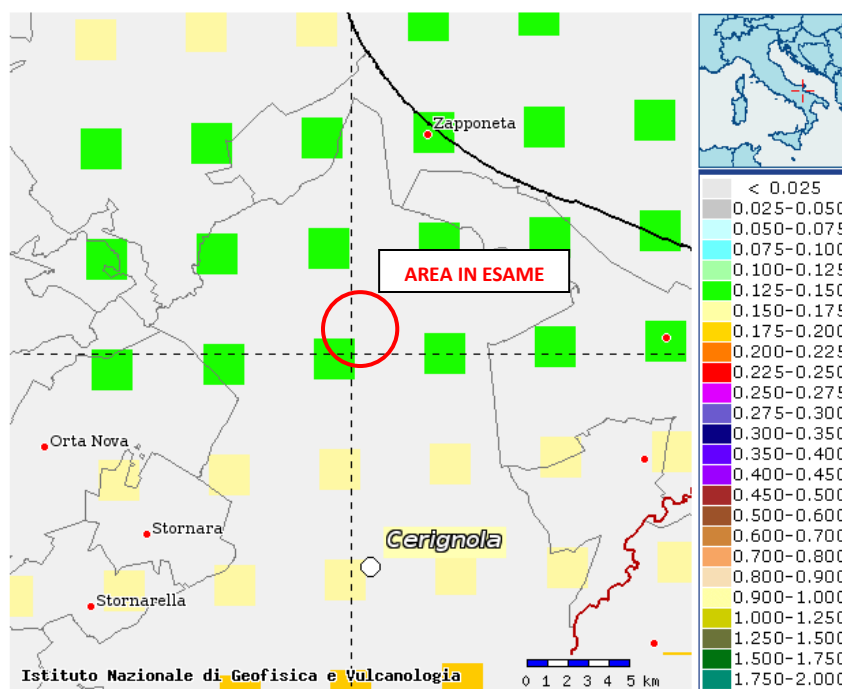


Fig. 5.3 Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi

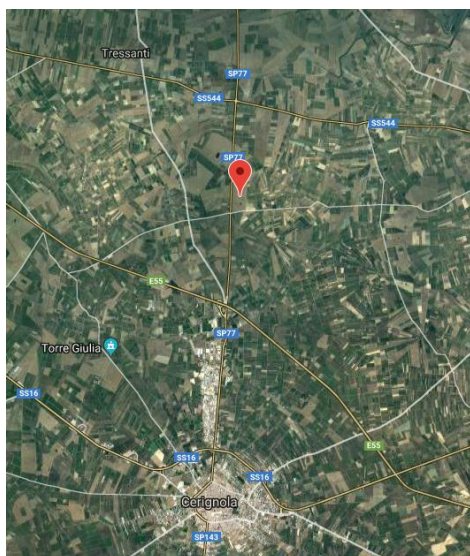
Infine, per ulteriori considerazioni utili a caratterizzare la sismicità del sito in argomento, sono stati presi in considerazione i seguenti fattori:

- il terreno di fondazione è costituito da depositi sabbiosi mediamente consistenti;
- nell'area in esame non sono presenti faglie o importanti fratture, attive del substrato geologico;
- la falda superficiale è assente.

5.3 Valutazione dell'azione sismica

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

Codice	Titolo	Pag. 13 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	



Latitudine (WGS84)	41.35467043	Longitudine (WGS84)	15.90594507	
Latitudine (ED50)	41.356369	Longitudine (ED50)	15.906837	
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	0.042	2.520	0.280
Danno	50	0.053	2.556	0.314
Salvaguardia Vita	475	0.141	2.579	0.425
Prevenzione Collasso	975	0.189	2.550	0.435

Fig. 5.4 Parametri di pericolosità sismica dell'area in esame

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:

- "ag" accelerazione orizzontale massima al terreno;
- "F₀" 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.

5.4 Individuazione della pericolosità del sito

Le NTC 2018 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 limite previsti dalla normativa. La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un

Codice	Titolo	Pag. 14 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

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 $\lambda=1/Tr$ (Tr è il periodo di ritorno del sisma espresso in anni) in scala logaritmica.



FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE: 15.90595
 LATITUDINE: 41.35467

Ricerca per comune
 REGIONE: Puglia
 PROVINCIA: Foggia
 COMUNE: Cerignola

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
 superficie rigata

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Fig. 5.5 Pericolosità dell'area in esame

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;
- i grafici che rappresentano la variabilità dei parametri a_g , F_0 , T_c^* in funzione del periodo di ritorno Tr .

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.

Codice	Titolo	Pag. 15 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

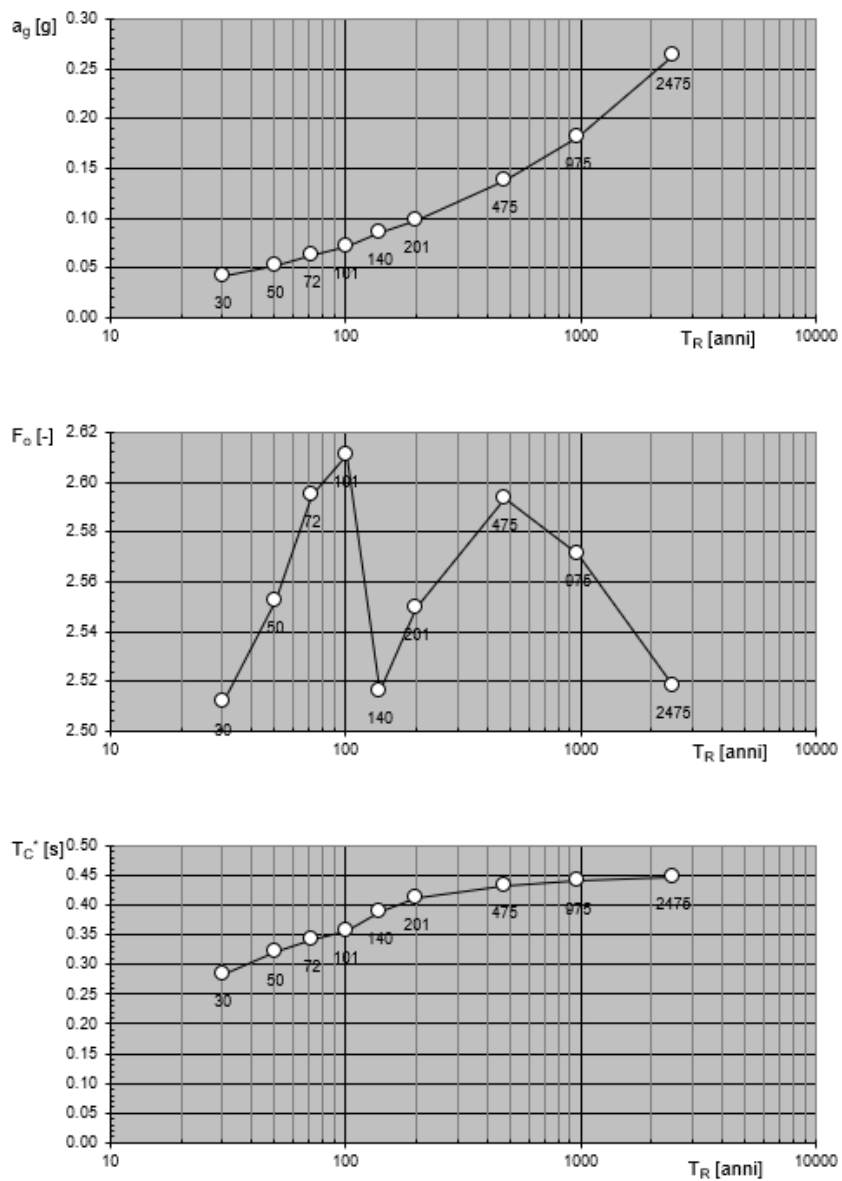


Fig. 5.6 Variabilità parametri sismici con periodo di ritorno

Codice	Titolo	Pag. 16 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

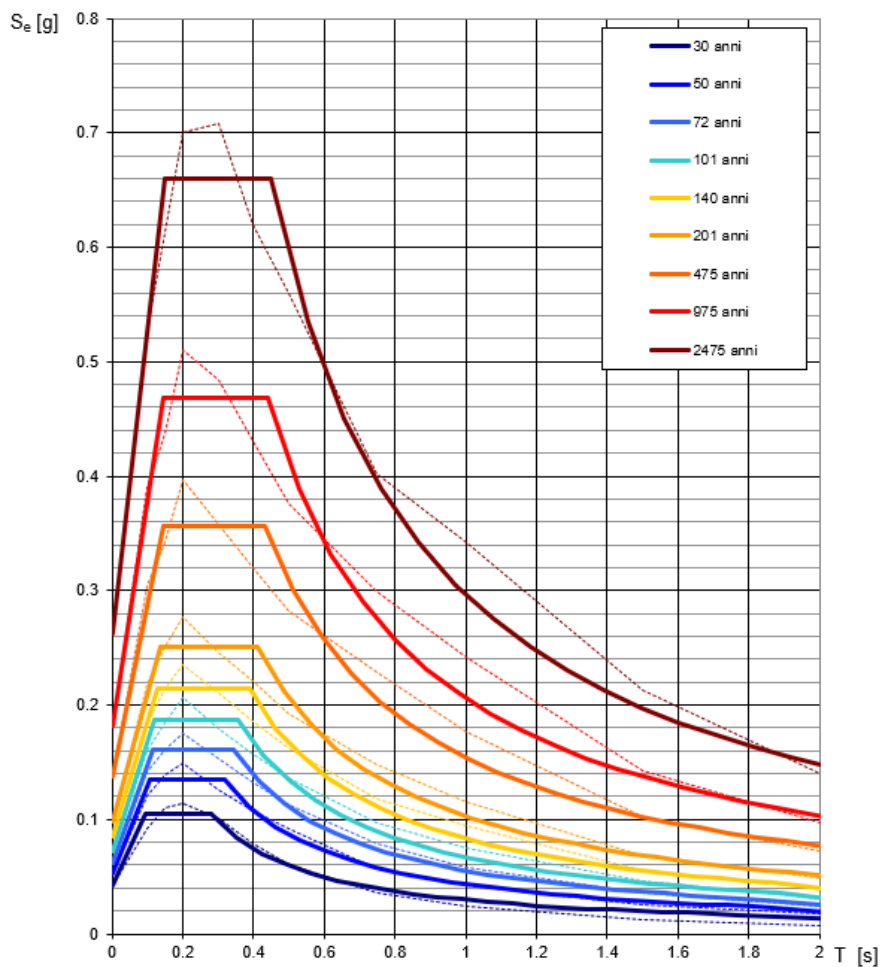


Fig. 5.7 Spettri di risposta elastici per periodo di ritorno

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.042	2.512	0.282
50	0.053	2.552	0.320
72	0.062	2.595	0.342
101	0.072	2.611	0.357
140	0.085	2.516	0.389
201	0.098	2.549	0.411
475	0.138	2.593	0.432
975	0.182	2.571	0.440
2475	0.262	2.518	0.448

Tab. 5.1 Valori dei parametri sismici per i periodi di ritorno

Codice	Titolo	Pag. 17 di 46
RG0	RELAZIONE GEOLOGICA	

5.5 Strategia di progettazione



Fig. 5.8 Strategia di progettazione

Nel caso specifico si ha una struttura con vita nominale V_N pari a 50 anni ed appartenente alla classe d'uso II a cui pertanto corrisponde un coefficiente d'uso della costruzione $C_U=1$. In base a tali valori viene determinato il periodo di riferimento per la costruzione V_R che risulta in questo caso pari a 50 anni. Sono quindi calcolati i valori dei periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento per i quattro stati limite previsti dalle NTC 2018. 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.

Codice	Titolo	Pag. 18 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

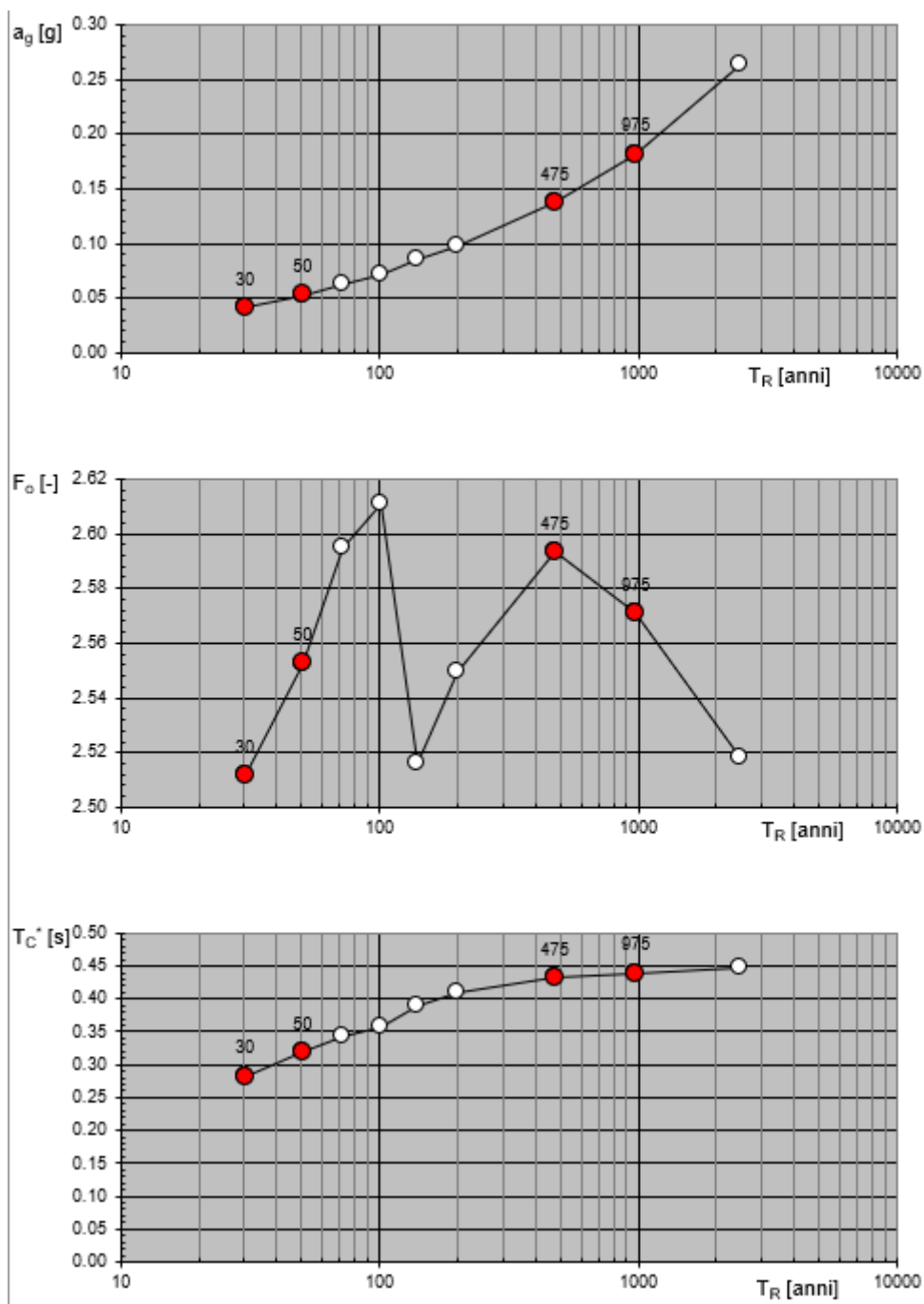


Fig. 5.9 Variabilità parametri sismici con periodo di ritorno

Codice	Titolo	Pag. 19 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

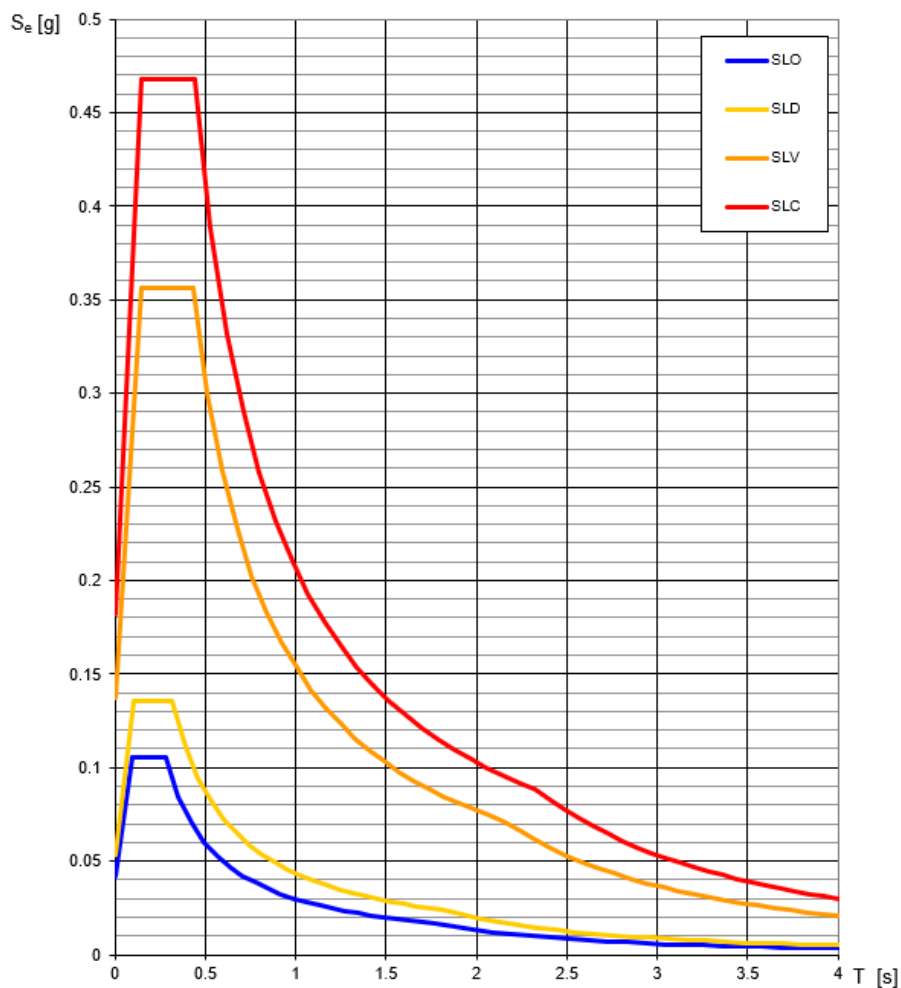


Fig. 5.10 Spettri di risposta elastici su diversi Stati Limite

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.042	2.512	0.283
SLD	50	0.053	2.553	0.320
SLV	475	0.137	2.593	0.432
SLC	975	0.182	2.571	0.440

Tab. 5.2 Valori dei parametri sismici per ciascuno Stato Limite

Codice	Titolo	Pag. 20 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

6 PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VS,eq

6.1 MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) - Descrizione del metodo e della strumentazione

Al fine 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 (VS,eq) e determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/1/2018 (G.U. 20 febbraio 2018, n.42 – s.o. n.8), sono stati eseguiti n. 2 profili MASW, **MASW 01** e **MASW 02**, la cui ubicazione è mostrata nella **Tavola 01**.

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.

6.2 MASW – Acquisizione 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.

6.3 MASW – Elaborazione dei dati

L'analisi prevede la formattazione dei files dati, l'analisi spettrale con l'individuazione della curva di dispersione e la modellazione del profilo.

Codice	Titolo	Pag. 21 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

È importante rilevare che il profilo di ciascun stendimento è stato ottenuto coinvolgendo nelle misurazioni un'estesa porzione del sito da investigare, esso quindi, pur non avendo la risoluzione di un profilo ottenuto ad es. con la tecnica down-hole, è più rappresentativo a larga scala rispetto a quelli ottenibili da un rilievo puntuale.

I dati sono stati interpolati ed elaborati con i Software SWAN prodotto dalla Geostudi Astier.

6.4 MASW – Rappresentazione dei risultati

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.

6.5 MASW – Interpretazione dei risultati

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 stato calcolato il valore del $V_{s,eq}$, mediante la metodologia MASW ed è stato possibile individuare il bedrock sismico alla profondità di 20.7÷22.68 m nel caso MASW.01, quindi nella zona sud; mentre per il caso MASW.02, nella zona

Codice	Titolo	Pag. 22 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

più a nord, non è stato possibile individuare il bedrock sismico, pertanto il calcolo del $V_{s,eq}$ si è ricondotto al calcolo del vecchio $V_{s,30}$, cioè fino alla profondità di 30 metri di investigazione.

Nelle tabelle seguenti il calcolo dei $V_{s,eq}$ e dei $V_{s,30}$.

Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h_1	STRATO 1	1.6	218.00	h_1/V_1	0.007
h_2	STRATO 2	2.2	331.00	h_2/V_2	0.007
h_3	STRATO 3	3.1	490.00	h_2/V_3	0.006
h_4	STRATO 4	4.6	705.00	h_2/V_4	0.007
h_5	STRATO 5	9.2	739.00	h_2/V_5	0.012
H		20.7		$\Sigma h_i/V_i$	0.039

$$V_{s,eq} \text{ (misurata)} = \quad \text{m/s} \quad \mathbf{527}$$

Tab. 6.1 stima del $V_{s,eq}$ - MASW 01 – scoppio 1

Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h_1	STRATO 1	1.00	227.00	h_1/V_1	0.004
h_2	STRATO 2	1.60	266.00	h_2/V_2	0.006
h_3	STRATO 3	3.50	427.00	h_2/V_3	0.008
h_4	STRATO 4	5.62	612.00	h_2/V_4	0.009
h_5	STRATO 5	10.96	662.00	h_2/V_5	0.017
H		22.68		$\Sigma h_i/V_i$	0.044

$$V_{s,eq} \text{ (misurata)} = \quad \text{m/s} \quad \mathbf{511}$$

Tab. 6.2 stima del $V_{s,eq}$ - MASW 01 – scoppio 2

Dalle elaborazioni MASW.01 in andata e ritorno sono stati calcolati rispettivamente $V_{s,eq} = 527 \text{ m/s}$ e $V_{s,eq} = 511 \text{ m/s}$, da cui ne consegue che il suolo di fondazione rientra nella categoria "B" (vedi Tab. 6.5).

Codice	Titolo	Pag. 23 di 46
RG0	RELAZIONE GEOLOGICA	

Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h ₁	STRATO 1	1.6	249.00	h ₁ /V ₁	0.006
h ₂	STRATO 2	2.2	331.00	h ₂ /V ₂	0.007
h ₃	STRATO 3	3.2	467.00	h ₂ /V ₃	0.007
h ₄	STRATO 4	8.2	505.00	h ₂ /V ₄	0.016
h ₅	STRATO 5	7.5	547.00	h ₂ /V ₅	0.014
h ₆	STRATO 6	7.4	685.00	h ₂ /V ₆	0.011
H		30		Σ hi/Vi	0.061

$$V_{S,eq} (misurata) = V_{s,30} \quad \text{m/s} \quad 496$$

Tab. 6.3 stima del Vs,30 - MASW 02 – scoppio 1

Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h ₁	STRATO 1	1.3	197.00	h ₁ /V ₁	0.007
h ₂	STRATO 2	2.0	333.00	h ₂ /V ₂	0.006
h ₃	STRATO 3	3.1	438.00	h ₂ /V ₃	0.007
h ₄	STRATO 4	4.9	492.00	h ₂ /V ₄	0.010
h ₅	STRATO 5	11.2	523.00	h ₂ /V ₅	0.021
h ₆	STRATO 6	7.4	672.00	h ₂ /V ₆	0.011
H		30		Σ hi/Vi	0.062

$$V_{S,eq} (misurata) = V_{s,30} \quad \text{m/s} \quad 482$$

Tab. 6.4 stima del Vs,30 - MASW 02 – scoppio 2

Dalle elaborazioni MASW.02 in andata e ritorno sono stati calcolati rispettivamente **Vs,30= 496 m/s** e **Vs,30= 482 m/s**, da cui ne consegue che il suolo di fondazione rientra nella categoria "B" (vedi Tab. 6.5).

Codice	Titolo	Pag. 24 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

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>

Tab. 6.5 Categorie di sottosuolo definite dalle NTC 2018

Nelle pagine seguenti sono riportati i grafici rappresentativi delle indagini MASW svolte.

Codice	Titolo	Pag. 25 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.1 Sismogramma medio – MASW.01 – SCOPPIO 1

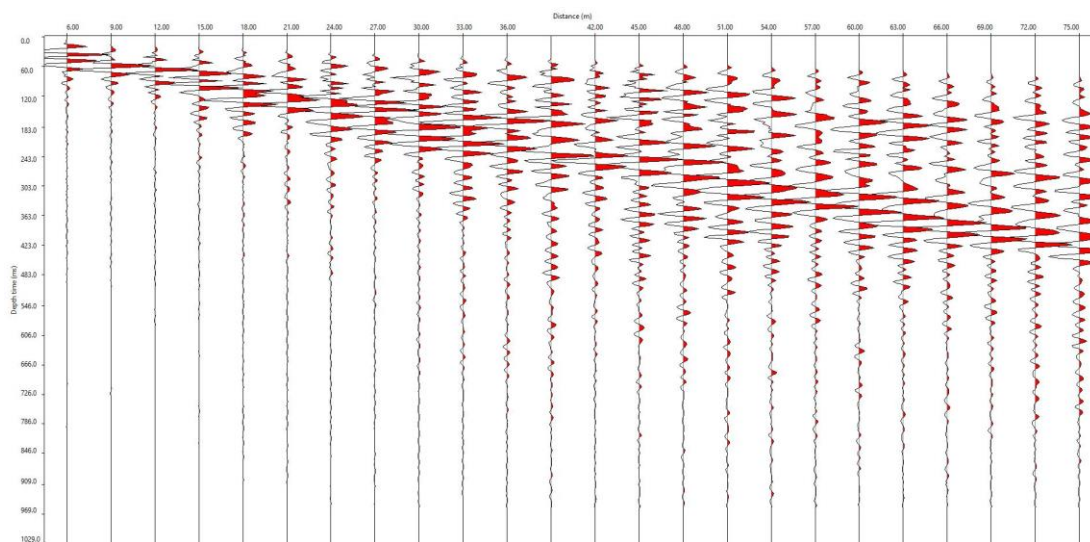
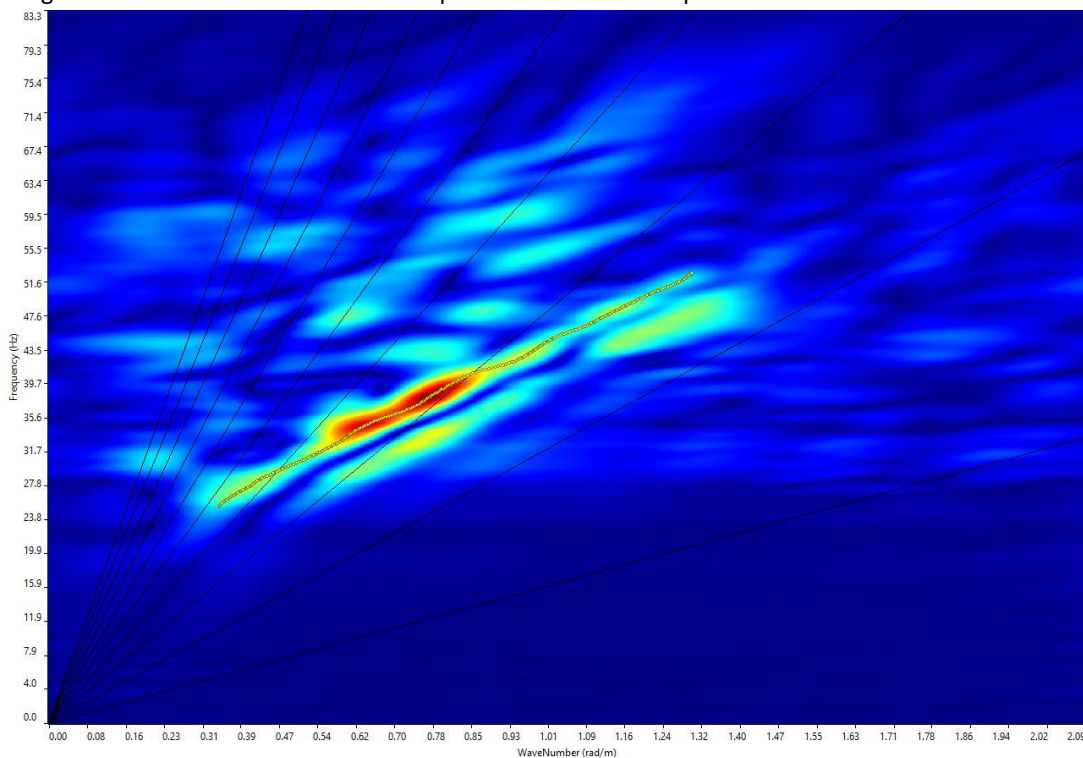


Fig. 6.2 Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 1



Codice	Titolo	Pag. 26 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.3 curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 1

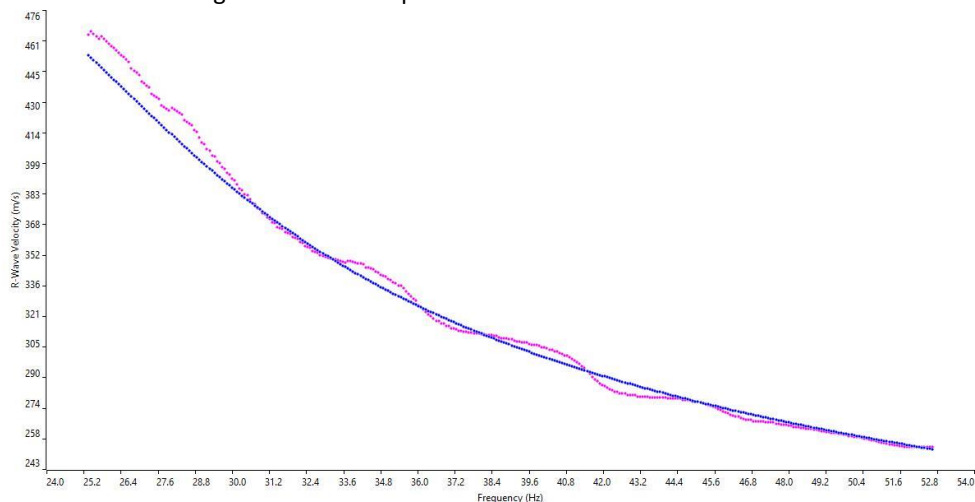
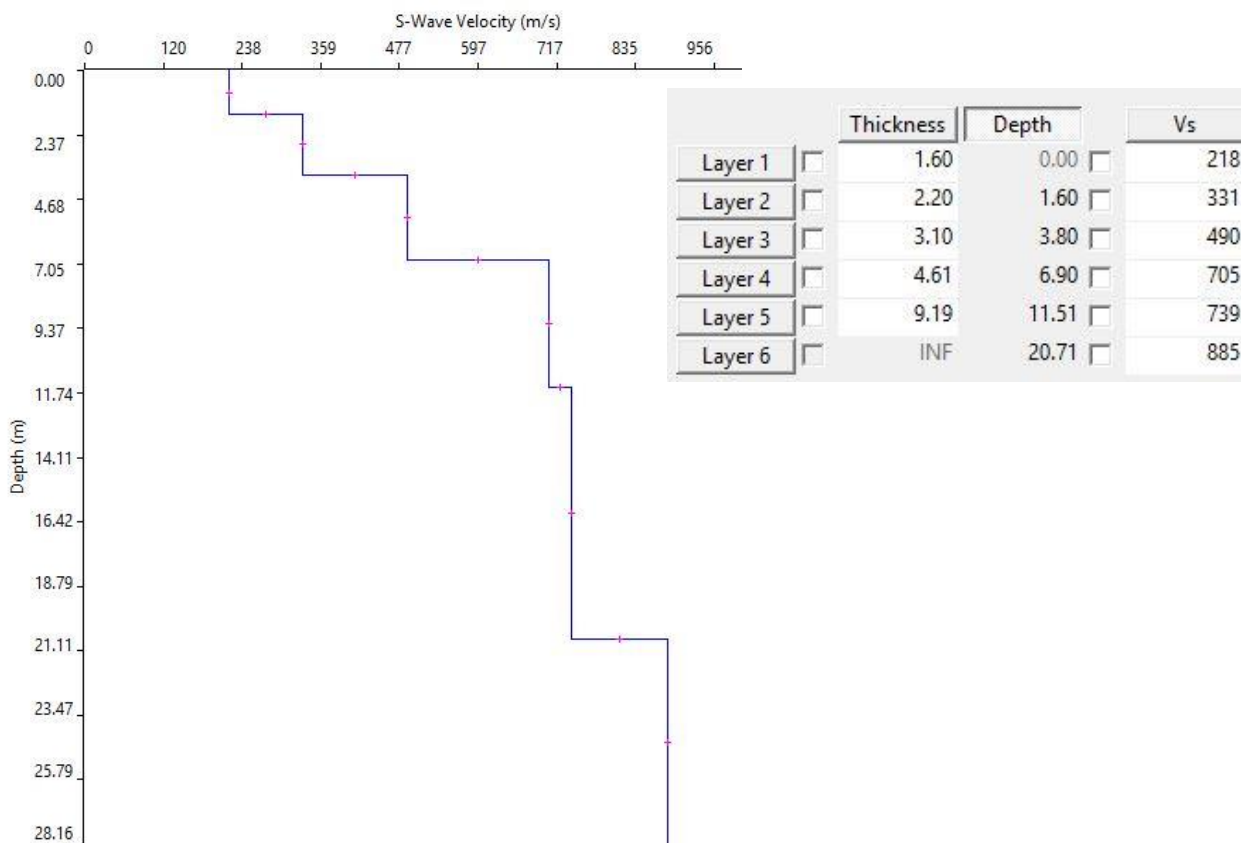


Fig. 6.4 Profilo Vs – MASW.01 – SCOPPIO 1



Codice	Titolo	Pag. 27 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.5 Sismogramma medio – MASW.01 – SCOPPIO 2

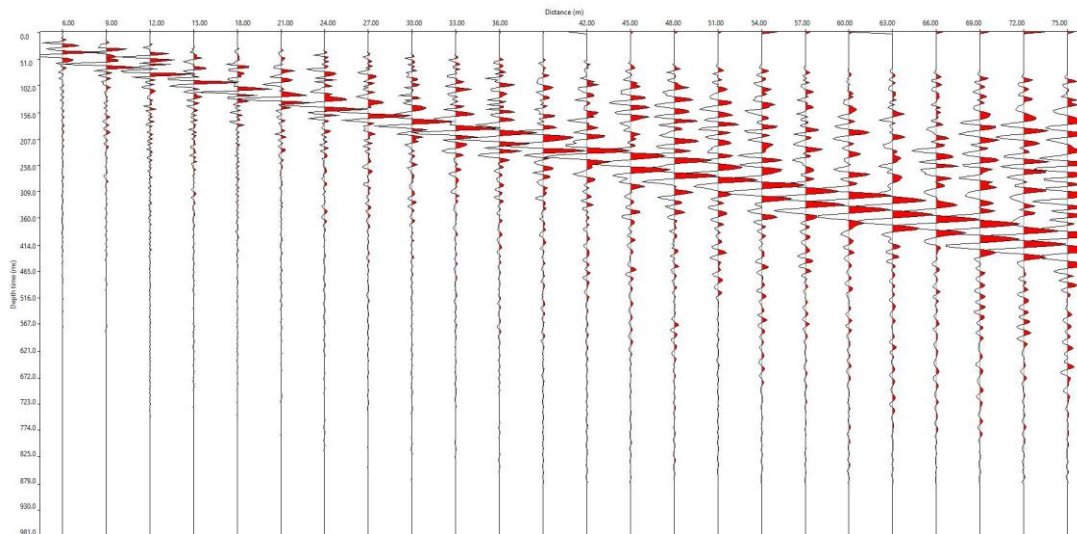
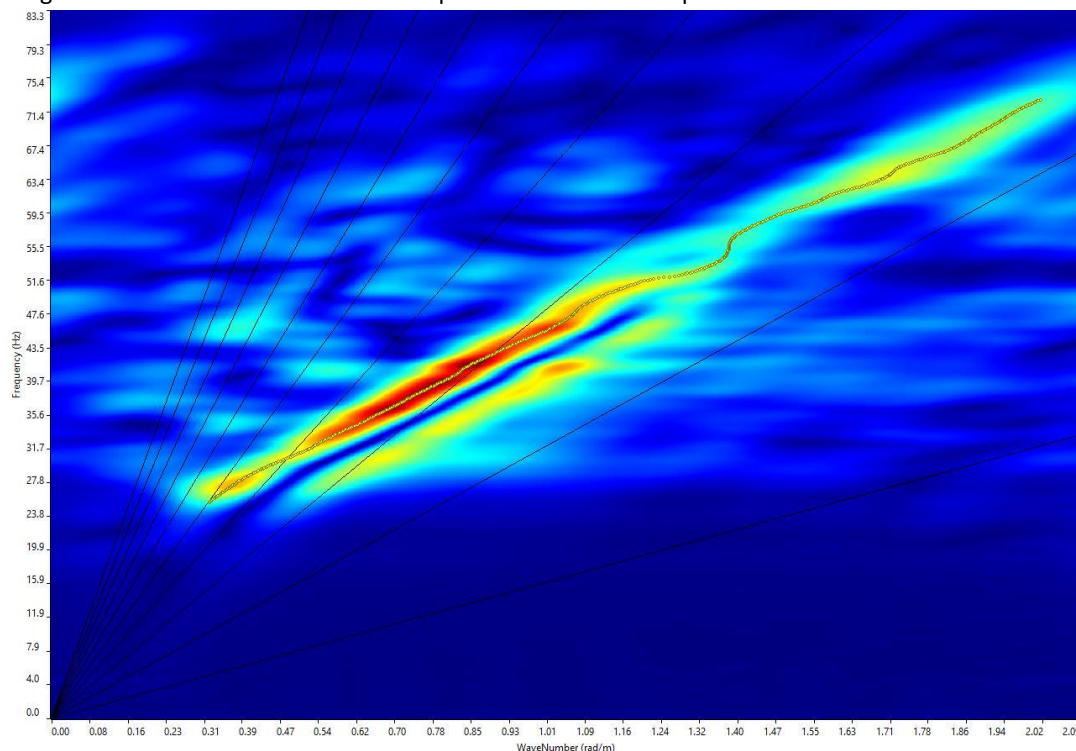


Fig. 6.6 Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 2



Codice	Titolo	Pag. 28 di 46
RG0	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.7 curva di dispersione – MASW.01 – SCOPPIO 2

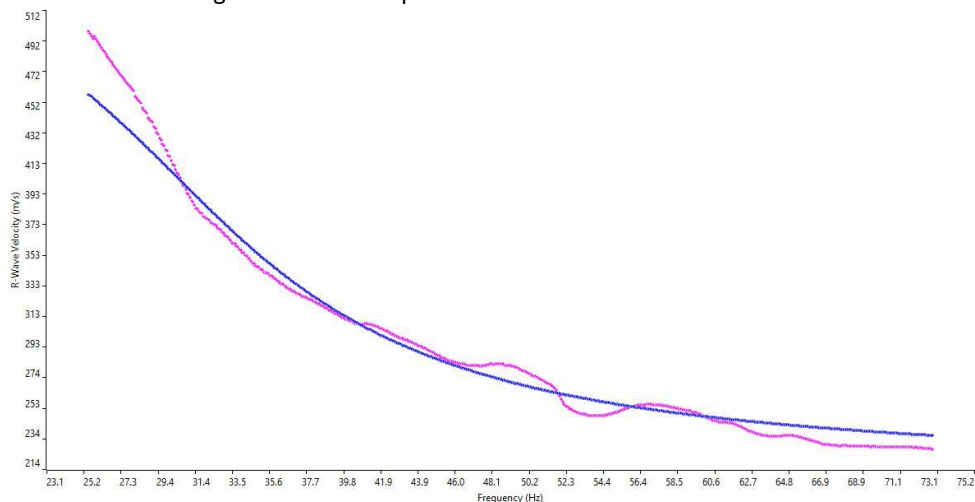
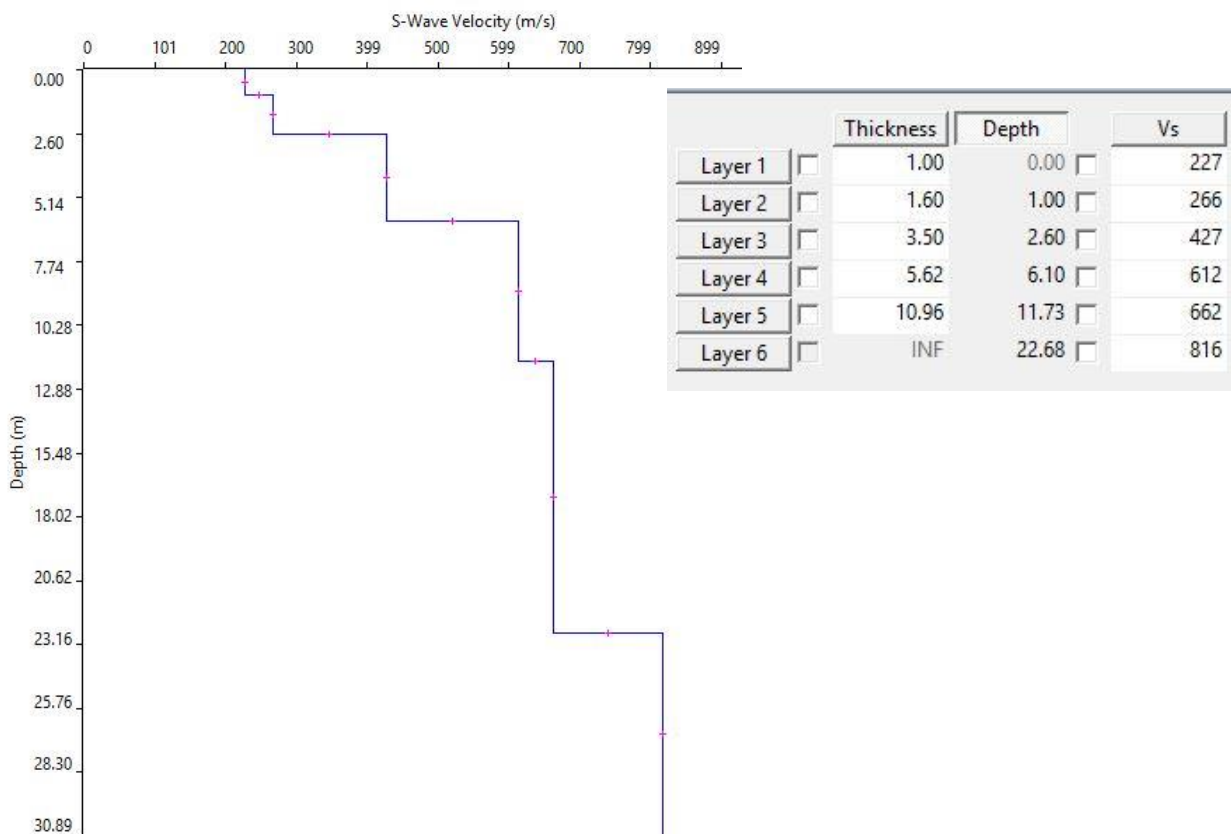


Fig. 6.8 Profilo Vs – MASW.01 – SCOPPIO 2



Codice	Titolo	Pag. 29 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.9 Sismogramma medio – MASW.02 – SCOPPIO 1

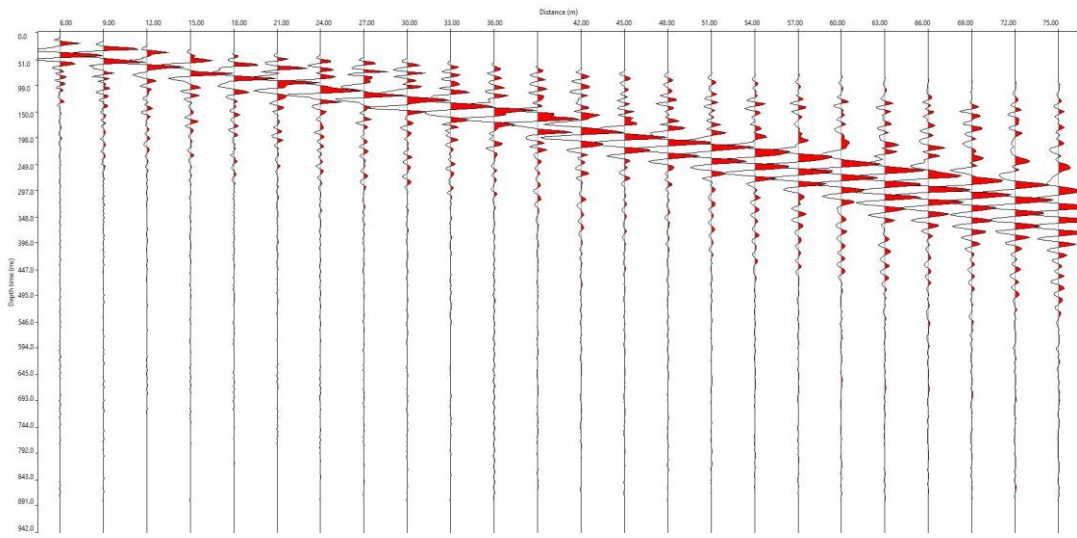
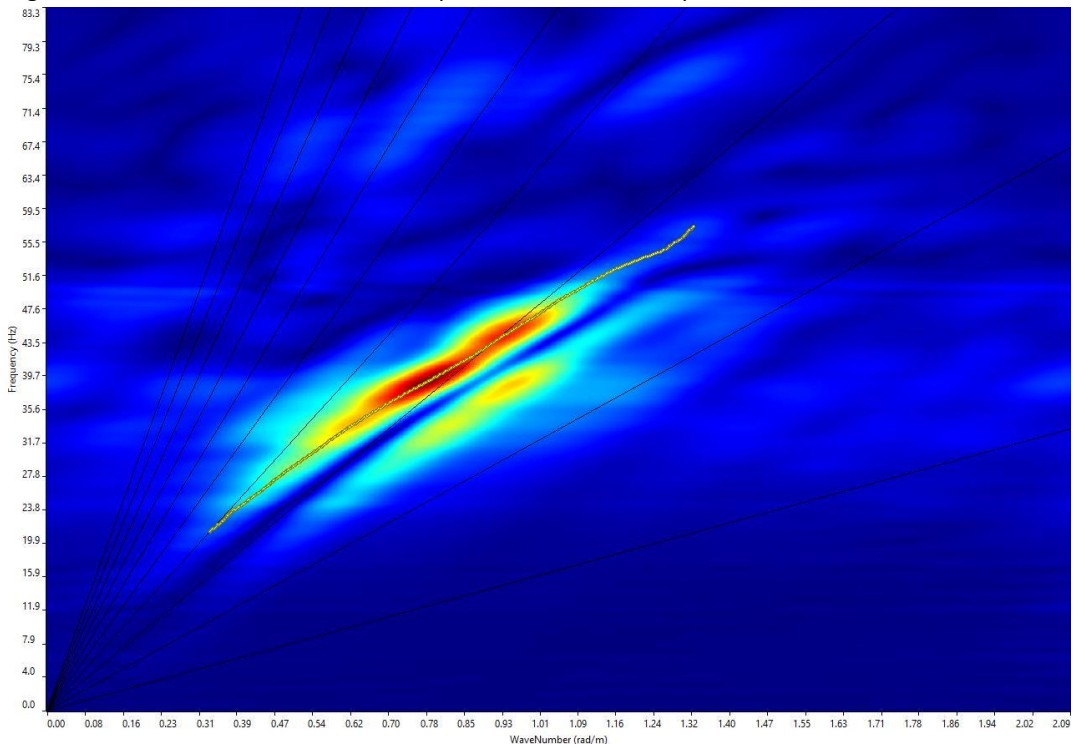


Fig. 6.10 Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 1



Codice	Titolo	Pag. 30 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.11 curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 1

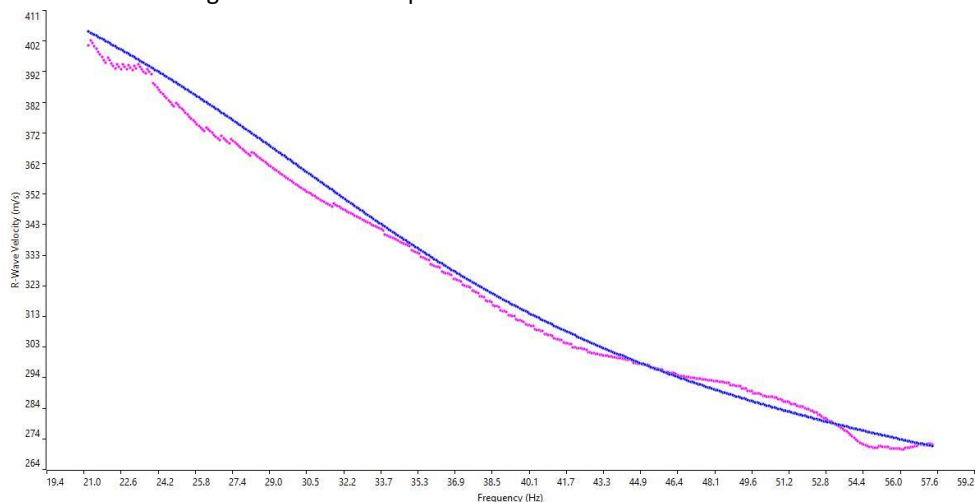
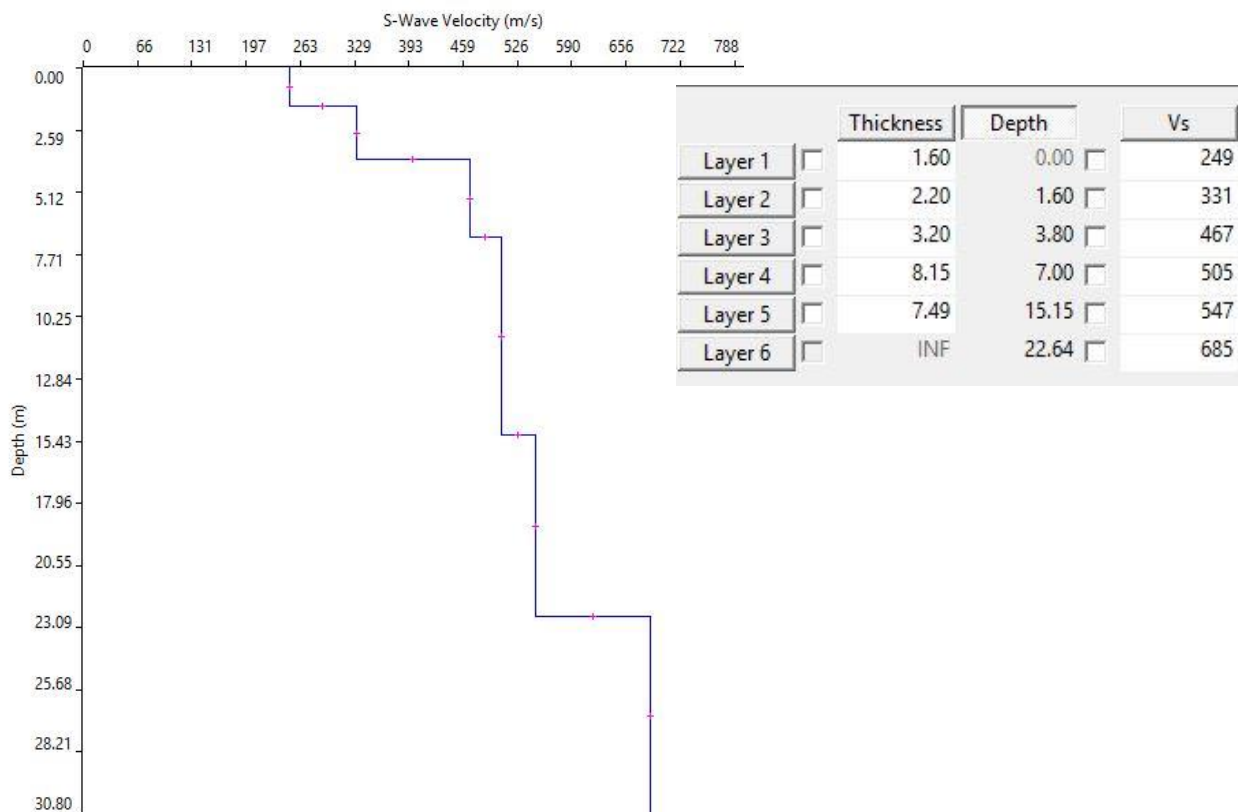


Fig. 6.12 Profilo Vs – MASW.02 – SCOPPIO 1



Codice	Titolo	Pag. 31 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.13 Sismogramma medio – MASW.02 – SCOPPIO 2

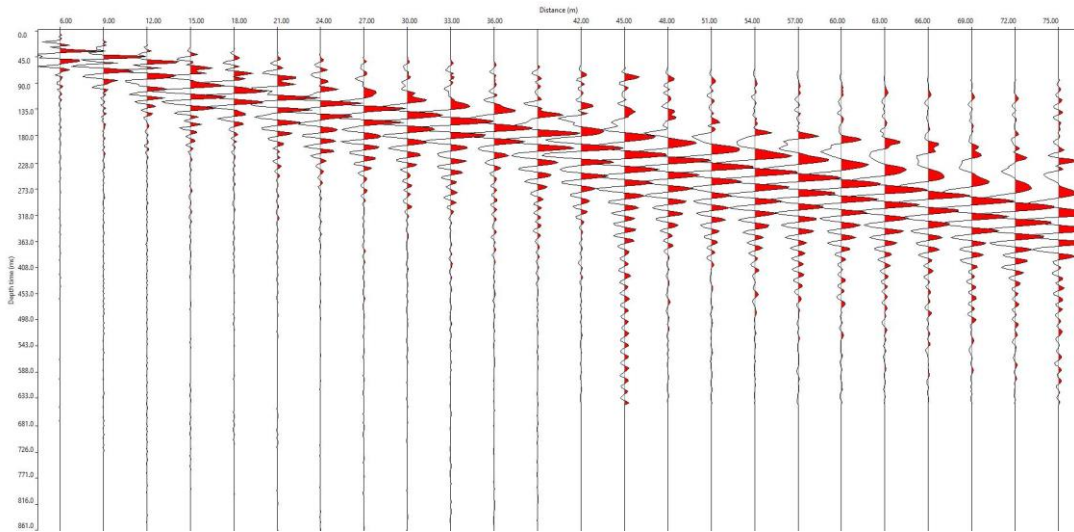
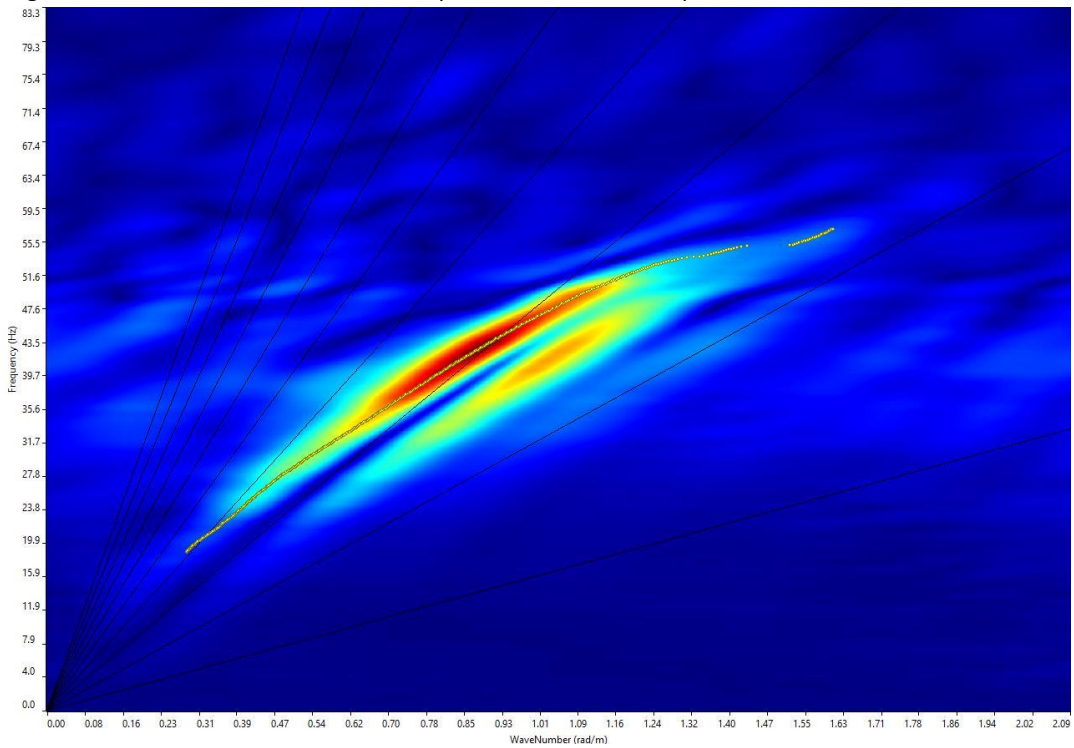


Fig. 6.14 Grafico P-F con individuazione punti della curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 2



Codice	Titolo	Pag. 32 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 6.15 curva di dispersione – MASW.02 – SCOPPIO 2

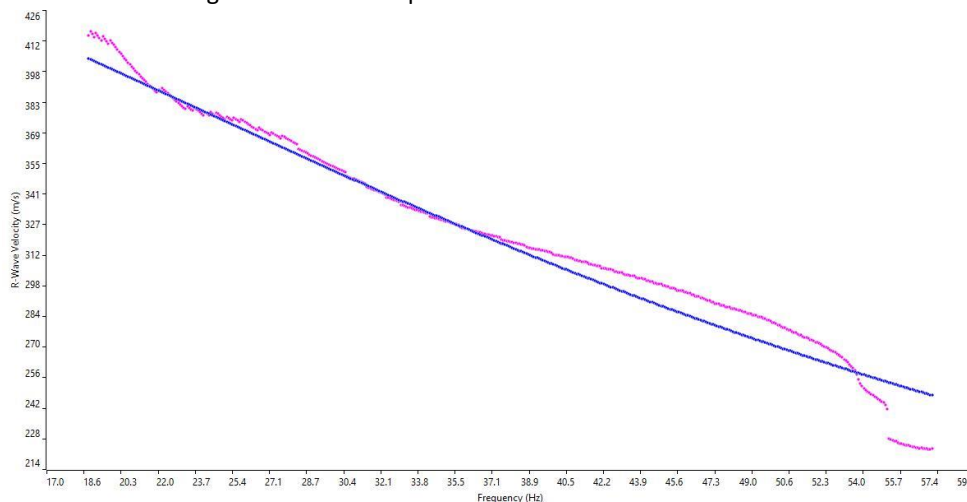
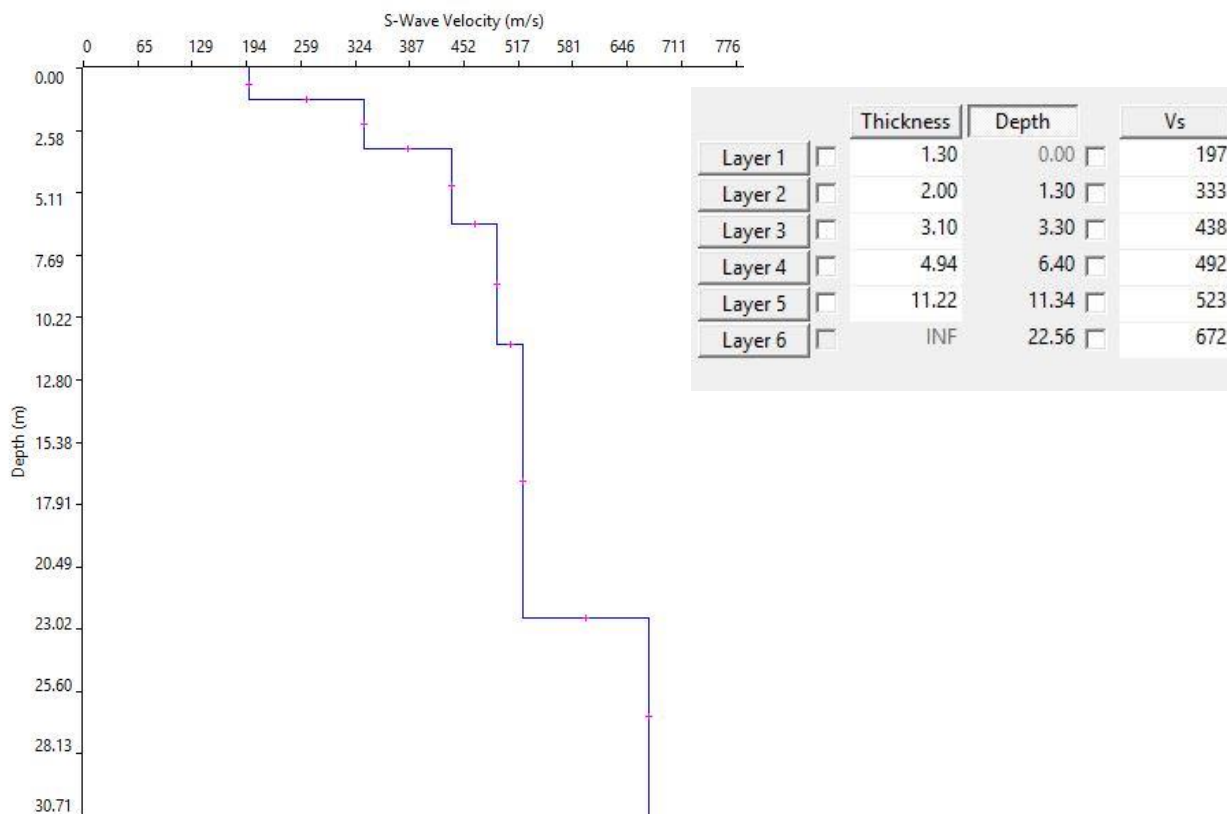


Fig. 6.16 Profilo Vs – MASW.02 – SCOPPIO 2



Codice	Titolo	Pag. 33 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

7 PROVE PENETROMETRICHE

7.1 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere 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	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

Tab. 7.1 Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

7.2 Penetrometri in uso in Italia

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

Codice	Titolo	Pag. 34 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

- 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.

7.3 Correlazione con Nspt

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;

Codice	Titolo	Pag. 35 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

A = area base punta conica;
 δ = passo di avanzamento.

7.4 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.

7.5 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.

7.6 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;

Codice	Titolo	Pag. 36 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

- **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.

7.7 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} 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);

Codice	Titolo	Pag. 37 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

- 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 Dr %;
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\phi > 15$ 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 Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato;
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato;
- Meyerhof (1957);
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (Ey)

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

Codice	Titolo	Pag. 38 di 46
RG0	RELAZIONE GEOLOGICA	

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. 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.

7.8 Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983;

Codice	Titolo	Pag. 39 di 46
RG0	RELAZIONE GEOLOGICA	

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

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

Modulo Di Young (E_Y)

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

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

Codice	Titolo	Pag. 40 di 46
RG0	RELAZIONE GEOLOGICA	

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.
Peso di volume saturo
- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa $G=2,70$ (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ($N_{spt}=0$) a 0,545 ($N_{spt}=28$).

7.9 Risultati delle prove DPSH eseguite

Le prove DPSH eseguite, hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo fino ad una profondità massima di 4.4m (DPSH.01) e 3.0m (DPSH.02), 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 a terreni sia coesivi che incoerenti.

In particolare sono state utilizzate le seguenti correlazioni per la determinazione dei parametri geotecnici:

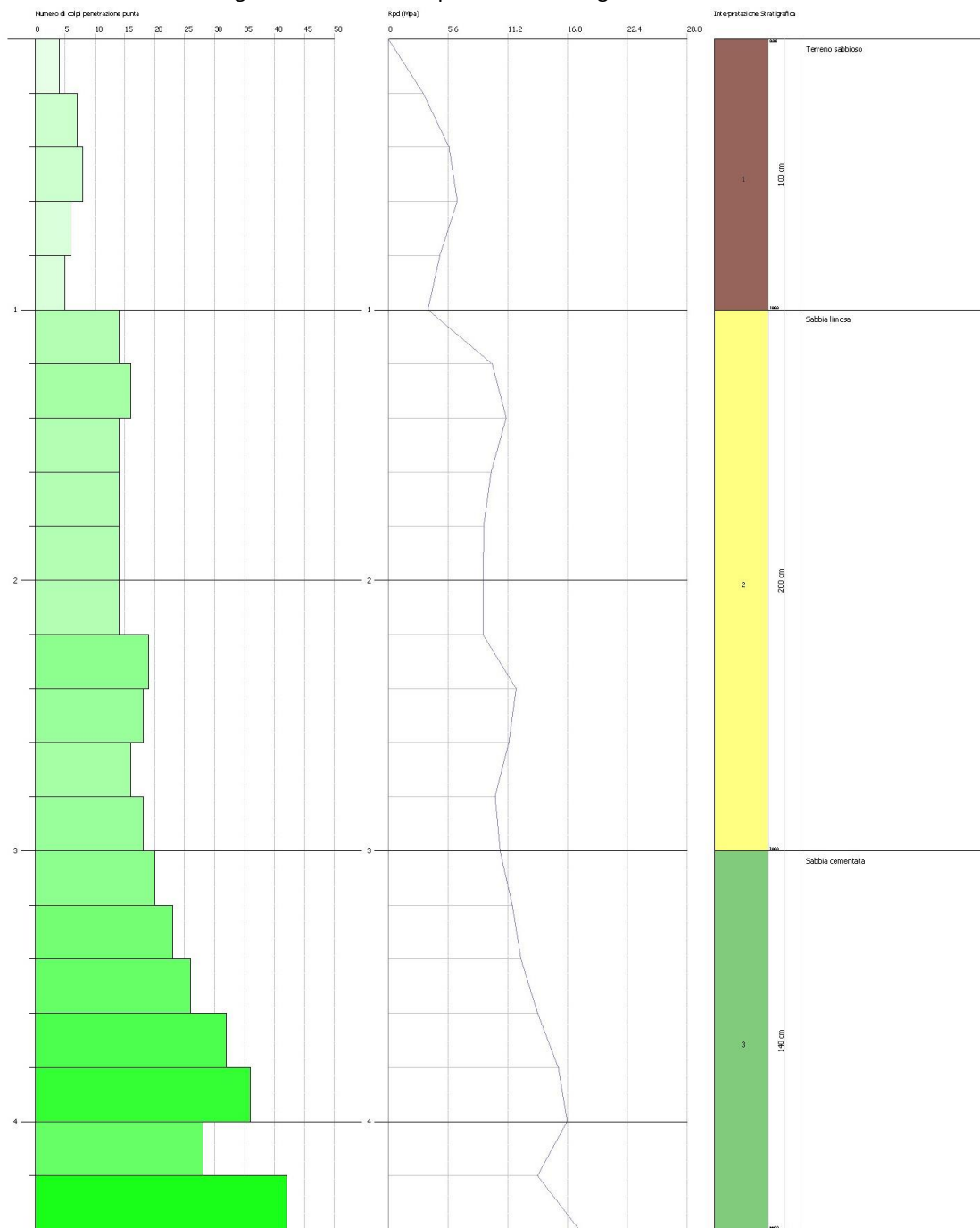
PARAMETRI GEOTECNICI	CORRELAZIONI
Densità relativa D_r (%)	Meyerhof 1957
Angolo di resistenza al taglio φ°	De Mello
Modulo di Young E_y (MPa)	Bowles (1982)
Modulo Edometrico E_{ed} (MPa)	Menzenbach e Malcev
Classificazione AGI	Classificazione AGI
Peso unità di volume γ (kN/m^3)	Meyerhof ed altri
Peso unità di volume saturo γ_s (kN/m^3)	Terzaghi-Peck 1948-1967
Modulo di Poisson σ	(A.G.I.)
Modulo di deformazione a taglio dinamico G (MPa)	Ohsaki
Modulo di reazione K_0	Navfac 1971-1982
Resistenza alla punta Q_c (MPa)	Robertson 1983

Tab. 7.2 Correlazioni empiriche utilizzate per l'elaborazione dei DPSH

L'ubicazione delle prove penetrometriche eseguite in situ è riportata nella **Tavola 01**.

Codice	Titolo	Pag. 41 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 7.1 Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.01



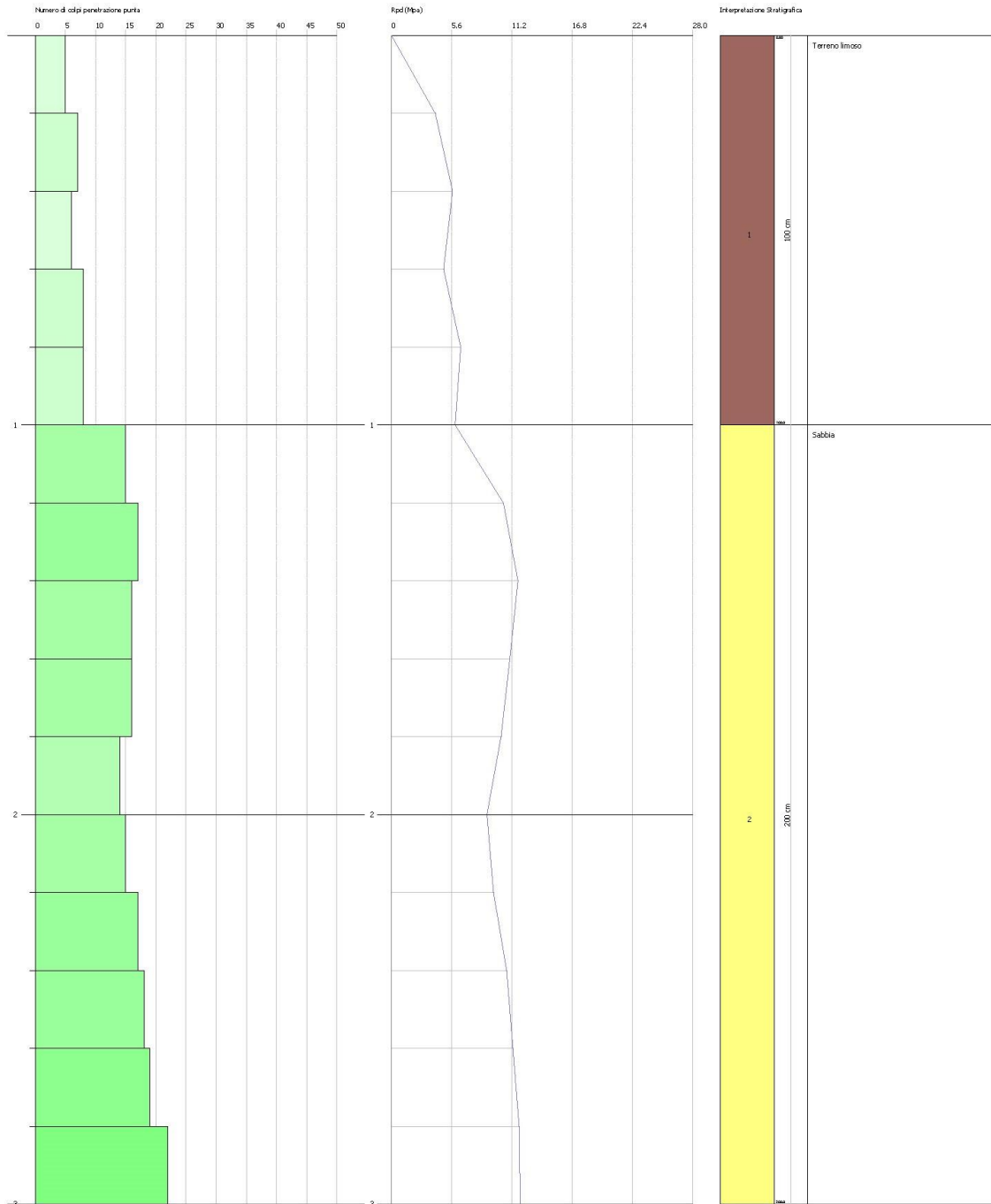
Codice	Titolo	Pag. 42 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Parametri geotecnici terreni incoerenti	Strato 1	Strato 2	Strato 3
<i>Denominazione litologica</i>	<i>Terreno sabbioso</i>	<i>Sabbia limosa</i>	<i>Sabbia compatta</i>
<i>Profondità (m da p.c.)</i>	<i>0.00÷1.00</i>	<i>1.00÷3.00</i>	<i>3.00÷4.40</i>
<i>Densità relativa Dr (%)</i>	<i>70.65</i>	<i>97.29</i>	<i>100</i>
<i>Angolo di resistenza al taglio φ°</i>	<i>37.83</i>	<i>45.08</i>	<i>49.24</i>
<i>Modulo di Young E_y (MPa)</i>	<i>8.17</i>	<i>18.93</i>	<i>29.16</i>
<i>Modulo Edometrico E_{ed} (MPa)</i>	<i>9.20</i>	<i>14.05</i>	<i>23.18</i>
<i>Classificazione AGI</i>	<i>Consistente</i>	<i>Moderatamente addensato</i>	<i>addensato</i>
<i>Peso unità di volume γ (kN/m³)</i>	<i>19.02</i>	<i>20.20</i>	<i>21.77</i>
<i>Peso unità di volume saturo γ_s (kN/m³)</i>	<i>20.89</i>	<i>19.61</i>	<i>20.89</i>
<i>Modulo di Poisson σ</i>	<i>0.34</i>	<i>0.31</i>	<i>0.27</i>
<i>Modulo di deformazione a taglio dinamico G (MPa)</i>	<i>50.39</i>	<i>124.49</i>	<i>225.74</i>
<i>Modulo di reazione K_0</i>	<i>1.89</i>	<i>4.66</i>	<i>7.44</i>
<i>Resistenza alla punta Q_c (MPa)</i>	<i>1.77</i>	<i>4.63</i>	<i>8.72</i>

Tab. 7.3 Stima dei parametri geotecnici desunti dall'elaborazione DPSH.01

Codice	Titolo	Pag. 43 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Fig. 7.2 Grafico di interpretazione stratigrafica – DPSH.02



Codice	Titolo	Pag. 44 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

Parametri geotecnici terreni incoerenti	Strato 1	Strato 2
<i>Denominazione litologica</i>	<i>Terreno sabbioso</i>	<i>Limo sabbioso</i>
<i>Profondità (m da p.c.)</i>	<i>0.00÷1.00</i>	<i>1.00÷3.00</i>
Densità relativa D_r (%)	75.17	100
Angolo di resistenza al taglio φ°	38.93	45.71
Modulo di Young E_y (MPa)	9.54	19.82
Modulo Edometrico E_{ed} (MPa)	10.41	14.84
Classificazione AGI	<i>Consistente</i>	<i>Moderatamente addensato</i>
Peso unità di volume γ (kN/m ³)	19.32	20.40
Peso unità di volume saturo γ_s (kN/m ³)	21.28	19.71
Modulo di Poisson σ	0.33	0.30
Modulo di deformazione a taglio dinamico G (MPa)	56.72	133.44
Modulo di reazione K_0	2.15	4.94
<i>Resistenza alla punta Q_c (MPa)</i>	<i>2.01</i>	<i>4.99</i>

Tab. 7.4 Stima dei parametri geotecnici desunti dall'elaborazione DPSH.02

Codice	Titolo	Pag. 45 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'area oggetto di studio è molto vasta, circa 50 ettari, che si sviluppano a nord del comune di Cerignola, in un territorio che presenta peculiari connotazioni geologiche e stratigrafiche, già riscontrate nello studio geologico della zona ed evidenziate dalle risultanze delle indagini eseguite in loco, come di seguito riassunte.

Come si evince dall'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche, il terreno di fondazione è costituito sostanzialmente da un primo strato sciolto formato per lo più da terreno vegetale ed uno strato sottostante caratterizzato da depositi sabbiosi mediamente consistenti.

Basandosi sull'indagine sismica eseguita, i valori di velocità delle onde sismiche di taglio hanno evidenziato nella zona a sud la presenza del bedrock sismico alla profondità di 20.7÷22.68 m; mentre nella zona più a nord non è stato possibile individuare il bedrock sismico, pertanto il calcolo del $V_{s,eq}$ si è ricondotto al calcolo del vecchio $V_{s,30}$, cioè fino alla profondità di 30 metri di investigazione. In ogni caso i valori del $V_{s,eq}$ sono risultati compresi tra 482 e 527 m/s, quindi classificando il suolo nella categoria "B".

Il territorio in esame è da considerarsi praticamente pianeggiante e non presenta alcun fenomeno di instabilità, né caratteri geomorfologici di particolare rilievo.

Dal punto di vista sismico, il territorio in esame ricade in zona 2 della Classificazione sismica d'Italia (OPCM 3274/2003), pertanto ad essa è associato un livello di pericolosità alto.

Gli esiti delle indagini e l'analisi degli elaborati progettuali non evidenziano la presenza di elementi che precludono la possibilità di realizzare le opere in progetto e pertanto si esprime un **parere geologico favorevole**.

Codice	Titolo	Pag. 46 di 46
RGO	RELAZIONE GEOLOGICA	