

*Regione Sicilia*  
*Provincia di Catania*  
*Comuni di Castel di Iudica e Ramacca*

---

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “CASTEL DI  
IUDICA II, DI POTENZA PARI A 231,6 MW**

---

VERIFICHE DI STABILITÀ DEL VERSANTE IN CORRISPONDENZA DEI SITI  
DI PROGETTO DEI TRALICCI 14, 15 E 20 DELLA LINEA AT DI  
CONNESSIONE

(RISCONTRO ALLA RICHIESTA DI CUI AL PUNTO 4.2 DELLA NOTA DEL MINISTERO DELL'AMBIENTE N. 1128 DEL 03/02/2023)



Il tecnico relatore  
(Dott. Geol. Domenico Boso)

## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	4
1.1	Descrizione sintetica delle aree interessate .....	4
1.2	Indagini effettuate.....	4
1.3	Descrizione dei risultati.....	4
2	VERIFICA DI STABILITA' - TRALICCIO N. 14 .....	7
3	VERIFICA DI STABILITA' TRALICCIO N. 15 .....	17
4	VERIFICA DI STABILITA' TRALICCIO N. 20 .....	28
5	INDAGINE PENETROMETRICA.....	39
5.1	CENNI TEORICI.....	41
5.2	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE .....	41
5.3	Correlazioni con Nstp.....	42
5.4	Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd.....	43
5.5	Strumentazione utilizzata .....	44
5.6	Elaborazione dati.....	44
5.7	Valutazioni statistiche e correlazioni .....	44
5.8	RISULTATI INDAGINI.....	49
5.8.1	Prova DP1 .....	49
5.8.2	Prova DP2 .....	54
5.8.3	Prova DP3 .....	59
5.9	DESCRIZIONE DEI RISULTATI .....	64
5.10	BIBLIOGRAFIA.....	66
6	INDAGINI GEOFISICHE.....	67
6.1	Prospezione Sismica tomografica .....	67
6.2	Strumentazione utilizzata .....	69
6.3	Sezione sismica tomografica TS1 .....	70
6.4	Sezione sismica tomografica TS2 .....	72
1.1	Sezione sismica tomografica TS3 .....	74
	<i>Figura 25 – Ts3- Modello sismostratigrafico del sottosuolo .....</i>	<i>75</i>

7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO .....	76
7.1	Generalità .....	76
7.2	Prospezione MASW .....	76
7.2.1	Bibliografia .....	77
1.3	Profilo MW1 (Traliccio 14) .....	78
7.3	Descrizione dei risultati.....	80
7.4	Profilo MW2 (Traliccio 15) .....	82
7.5	Descrizione dei risultati.....	84
7.6	Profilo MW3 (Traliccio 20) .....	86
7.7	Descrizione dei risultati.....	88

## 1 PREMESSA

La presente nota integrativa è stata prodotta per riscontro alla richiesta di cui al punto 4.2 della Nota n. 1128 del 03/02/2023 della Commissione PNIEC-PNRR del Ministero dell'Ambiente. In tale punto si chiede di effettuare uno studio di approfondimento relativamente ai tralicci n. 14, 15, e 20 della linea AT di connessione a causa della loro prossimità ad aree di pericolosità geomorfologica. In particolare si richiede una verifica di stabilità del versante in condizioni d'opera, sulla base di dati ottenuti da indagini geognostiche e geofisiche.

### 1.1 *Descrizione sintetica delle aree interessate*

I siti di progetto dei tralicci interessati sono ubicati su versanti di natura argillosa con pendenza di 14° (T4), 11° (T15) e 9° (T20). I siti dei tralicci 14 e 15 si trovano quasi alla sommità di uno spartiacque idrografico, ed a monte di alcune aree di pericolosità geomorfologica P2 che nella cartografia PAI indicano la presenza di aree ad erosione accelerata, mentre per quanto riguarda il sito del traliccio T20, questo si localizza sul versante opposto rispetto a quello in cui è delimitata un'area a pericolosità P3-P4, in cui si localizza un dissesto gravitativo innescato dalla perdita di un serbatoio idrico più a monte. Questo dissesto risulta ad oggi stabilizzato, in quanto la perdita è stata eliminata e sono stati realizzati interventi di palificazioni. Il versante su cui è previsto il traliccio T20 è pertanto fisicamente separato da queste aree P3-P4.

### 1.2 *Indagini effettuate*

In ciascun sito di progetto sono state effettuate sia indagini geofisiche che geognostiche al fine di ricostruire il modello geologico-stratigrafico e per ottenere i valori dei parametri geotecnici da inserire nel calcolo per la verifica di stabilità.

In particolare, sono state effettuate, per ogni sito di progetto, le seguenti indagini:

- Tomografia sismica;
- Prospezione MASW;
- Prova penetrometrica dinamica.

### 1.3 *Descrizione dei risultati*

Relativamente ai siti dei tralicci 14 e 15 si è evidenziata una situazione molto simile, sia in termini di caratteristiche litologiche che nei risultati. In particolare abbiamo la presenza di una formazione argillosa di base a consistenza elevata, al cui top si ha uno strato di alterazione di spessore di qualche metro, e di una coltre di copertura vegetale di spessore piuttosto modesto, intorno al mezzo metro. Le aree P2 che si trovano a valle dei siti di progetto si riferiscono a fenomeni erosivi di tipo areale o concentrato che coinvolgono solamente la coltre superficiale con locali fenomeni di denudamento ma non generano alcun dissesto gravitativo. Nel caso del traliccio 20, il versante su cui insiste il sito di progetto non presenta alcuna problematica, e le zone P3 e P4 si localizzano sul versante opposto, al di là della linea di impluvio che li separa.

Le verifiche di stabilità sono state effettuate utilizzando le NTC 2018 con la riduzione dei valori dei parametri geotecnici. In tali condizioni, la stabilità del versante si ha con valori pari o superiori a 1.

È stato considerato il sovraccarico dovuto al peso del traliccio.

Le verifiche sono state effettuate secondo il metodo dei cerchi di Janbu (1967), Fellenius (1936) e Morgenstern-Price (1965). Come si vedrà dai risultati, le verifiche effettuate col metodo di Janbu hanno dato i parametri più conservativi e quindi ad essi si fa riferimento in favore della sicurezza.

Di seguito si allega una tabella sintetica dei risultati, nel resto del documento sono allegati i report delle singole prove.

	Acclività di versante	Categoria di sottosuolo (NTC 2018)	$V_{s,eq}$ (m/s)	$F_s$ (Janbu)	$F_s$ (Fellenius)	$F_s$ (Morgenstern-Price)
<b>Traliccio 14</b>	14°	B	504	<b>1,33</b>	1,35	1,52
<b>Traliccio 15</b>	11°	B	413	<b>1,45</b>	1,47	1,68
<b>Traliccio 20</b>	9°	C	313	<b>1,87</b>	1,96	2,27

Il fattore di sicurezza ottenuto per i diversi siti denota una marcata stabilità dei versanti interessati, grazie alla presenza di un substrato a consistenza generalmente elevata ed una limitata acclività.

In conclusione, tutte le verifiche hanno dimostrato che i siti di progetto dei tralicci 14, 15 e 20 sono stabili e, viste anche le condizioni geomorfologiche al contorno, non vi è necessità alcuna di spostare i tralicci dalle loro posizioni attuali di progetto.

Il geologo  
Dott. Domenico Boso

## **ALLEGATI**

- **VERIFICHE DI STABILITÀ**
- **PROVE PENETROMETRICHE**
- **TOMOGRAFIE SISMICHE**
- **PROSPEZIONI MASW**

## 2 VERIFICA DI STABILITA' - TRALICCIO N. 14



Figura 1 – Ubicazione di progetto del traliccio n. 14. In giallo la traccia di sezione per la verifica di stabilità. In rosso sono evidenziate le aree a pericolosità geomorfologica P2

### Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	37,486846/14,621799
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	24,81 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	22,28 m
Ascissa vertice destro superiore xs	43,41 m
Ordinata vertice destro superiore ys	39,22 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,52	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,46	0,45
S.L.C.	975,0	1,79	2,45	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,456	0,2	0,0093	0,0047
S.L.D.	0,564	0,2	0,0115	0,0058
S.L.V.	1,524	0,24	0,0373	0,0186
S.L.C.	2,148	0,24	0,0526	0,0263

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,012  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,006

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	13,0	3,0
3	32,5	9,0
4	47,5	13,0
5	47,5	11,0
6	52,7	11,0
7	52,7	14,4
8	66,0	17,0
9	83,0	18,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,7
2	13,32	2,25
3	22,76	5,13
4	30,19	7,54
5	47,5	12,3
6	47,5	11,0
7	52,7	11,0
8	52,7	13,5
9	63,72	15,43
10	70,28	16,24
11	83,0	17,17



**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,99
2	18,15	2,0
3	27,35	5,0
4	32,87	6,8
5	47,5	11,0
6	47,5	11,0
7	52,7	11,0
8	52,7	12,2
9	64,93	14,0
10	73,5	14,8
11	83,0	15,8

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	0,05	15	1800	2100	Limi poco consistenti	
2	0,04	0,4	18	1950	2200	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,06	1,48	22	2100	2300	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	47,5	11	52,7	11	1,2

**Risultati analisi pendio**

Fs minimo individuato	1,33
Ascissa centro superficie	30,39 m
Ordinata centro superficie	32,45 m
Raggio superficie	32,48 m

$$x_c = 30,387 \quad y_c = 32,447 \quad R_c = 32,482 \quad F_s = 1,33$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
-----	--------	-------------	---------	------------	---------------	---------------	----------------------------	-----------	------------	-------------	------------

1	4,28	-23,6	4,6713512,67	162,15	81,08	0,04	18,0	0,017197,8	6115,7
2	4,28	-15,6	4,4438454,21	461,45	230,73	0,06	22,0	0,044219,6	16017,8
3	4,28	-7,8	4,3258319,44	699,83	349,92	0,06	22,0	0,061717,5	20882,6
4	4,39	-0,1	4,3975067,82	900,81	450,41	0,06	22,0	0,075132,1	24794,0
5	4,17	7,4	4,279587,82	955,05	477,53	0,06	22,0	0,076965,2	25477,9
6	4,28	15,1	4,4384437,02	1013,24	506,62	0,06	22,0	0,080339,2	27330,3
7	4,28	23,1	4,6581518,23	978,22	489,11	0,06	22,0	0,077667,1	27913,0
8	2,28	29,5	2,6139844,17	478,13	239,07	0,06	22,0	0,038496,7	14782,7
9	0,05	31,8	0,061340,17	16,08	8,04	0,06	22,0	0,01313,4	500,7
10	10,51	45,2	14,91177624,5	2131,49	1065,75	0,06	22,0	0,0187807,7	90413,1

### Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)

Lat./Long.	37,486846/14,621799
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	24,81 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	22,28 m
Ascissa vertice destro superiore xs	43,41 m
Ordinata vertice destro superiore ys	39,22 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,52	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,46	0,45
S.L.C.	975,0	1,79	2,45	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,456	0,2	0,0093	0,0047
S.L.D.	0,564	0,2	0,0115	0,0058
S.L.V.	1,524	0,24	0,0373	0,0186
S.L.C.	2,148	0,24	0,0526	0,0263

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,012

Coefficiente azione sismica verticale 0,006

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	13,0	3,0
3	32,5	9,0
4	47,5	13,0
5	47,5	11,0
6	52,7	11,0
7	52,7	14,4
8	66,0	17,0
9	83,0	18,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,7
2	13,32	2,25
3	22,76	5,13
4	30,19	7,54
5	47,5	12,3
6	47,5	11,0
7	52,7	11,0
8	52,7	13,5
9	63,72	15,43
10	70,28	16,24
11	83,0	17,17

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,99
2	18,15	2,0
3	27,35	5,0
4	32,87	6,8
5	47,5	11,0
6	47,5	11,0
7	52,7	11,0
8	52,7	12,2
9	64,93	14,0
10	73,5	14,8
11	83,0	15,8

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	0,05	15	1800	2100	Limi poco consistenti	
2	0,04	0,4	18	1950	2200	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,06	1,48	22	2100	2300	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	47,5	11	52,7	11	1,2

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,35
Ascissa centro superficie	30,39 m
Ordinata centro superficie	32,45 m
Raggio superficie	32,48 m

$$x_c = 30,387 \quad y_c = 32,447 \quad R_c = 32,482 \quad F_s = 1,352$$

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,28	-23,6	4,6713512,67	162,15	81,08	0,04	18,0	0,012520,2	-5264,7		
2	4,28	-15,6	4,4438454,21	461,45	230,73	0,06	22,0	0,037388,8	-9878,7		
3	4,28	-7,8	4,3258319,44	699,83	349,92	0,06	22,0	0,058216,6	-7260,3		
4	4,39	-0,1	4,3975067,82	900,81	450,41	0,06	22,0	0,075520,3	707,0		
5	4,17	7,4	4,279587,82	955,05	477,53	0,06	22,0	0,079268,1	11249,0		
6	4,28	15,1	4,4384437,02	1013,24	506,62	0,06	22,0	0,081764,5	22912,4		
7	4,28	23,1	4,6581518,23	978,22	489,11	0,06	22,0	0,075063,6	32848,0		
8	2,28	29,5	2,6139844,17	478,13	239,07	0,06	22,0	0,034656,1	20028,1		
9	0,05	31,8	0,061340,17	16,08	8,04	0,06	22,0	0,01136,8	720,8		
10	10,51	45,2	14,91177624,5	2131,49	1065,75	0,06	22,0	0,0124478,6	127462,1		

**Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)**

Lat./Long.	37,486846/14,621799
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	24,81 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	22,28 m
Ascissa vertice destro superiore xs	43,41 m
Ordinata vertice destro superiore ys	39,22 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,52	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,46	0,45
S.L.C.	975,0	1,79	2,45	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,456	0,2	0,0093	0,0047
S.L.D.	0,564	0,2	0,0115	0,0058
S.L.V.	1,524	0,24	0,0373	0,0186
S.L.C.	2,148	0,24	0,0526	0,0263

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,012
Coefficiente azione sismica verticale	0,006

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
----	----------	----------

1	0,0	0,0
2	13,0	3,0
3	32,5	9,0
4	47,5	13,0
5	47,5	11,0
6	52,7	11,0
7	52,7	14,4
8	66,0	17,0
9	83,0	18,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,7
2	13,32	2,25
3	22,76	5,13
4	30,19	7,54
5	47,5	12,3
6	47,5	11,0
7	52,7	11,0
8	52,7	13,5
9	63,72	15,43
10	70,28	16,24
11	83,0	17,17

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,99
2	18,15	2,0
3	27,35	5,0
4	32,87	6,8
5	47,5	11,0
6	47,5	11,0
7	52,7	11,0
8	52,7	12,2
9	64,93	14,0
10	73,5	14,8
11	83,0	15,8

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	0,05	15	1800	2100	Limi poco consistenti	
2	0,04	0,4	18	1950	2200	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,06	1,48	22	2100	2300	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	47,5	11	52,7	11	1,2

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,52
Ascissa centro superficie	28,53 m
Ordinata centro superficie	37,53 m
Raggio superficie	36,89 m

**xc = 28,527 yc = 37,528 Rc = 36,893 Fs=1,518**  
 Lambda = 0,339

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	4,37	-18,89	4,61	12165,48
2	4,37	-11,84	4,46	34773,14
3	4,37	-4,97	4,38	53071,56
4	4,98	2,31	4,98	76829,06
5	3,75	9,13	3,8	64442,79
6	4,37	15,61	4,53	76842,53
7	4,37	22,81	4,74	73683,3
8	2,52	28,72	2,87	38586,3
9	0,05	30,99	0,06	1230,11
10	10,53	42,14	14,2	159839,7

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	4491,12	13243,62	0,0	0,0	3089,29	1877,78	0,0
2	13415,43	39560,02	4491,12	13243,62	20189,11	7138,84	0,0
3	22290,18	65730,26	13415,43	39560,02	42136,38	12951,01	0,0
4	29804,87	87889,94	22290,18	65730,26	70574,41	20760,16	0,0
5	33273,75	98119,1	29804,87	87889,94	62083,56	18031,45	0,0
6	34054,21	100420,5	33273,75	98119,1	74072,12	21513,09	0,0
7	31862,62	93957,9	34054,21	100420,5	67499,4	19843,56	0,0
8	30209,53	89083,2	31862,62	93957,9	32926,99	9900,73	0,0
9	31603,86	93194,86	30209,53	89083,2	1975,12	548,91	0,0
10	8922,32	26310,54	31603,86	93194,86	89897,69	29549,63	0,0

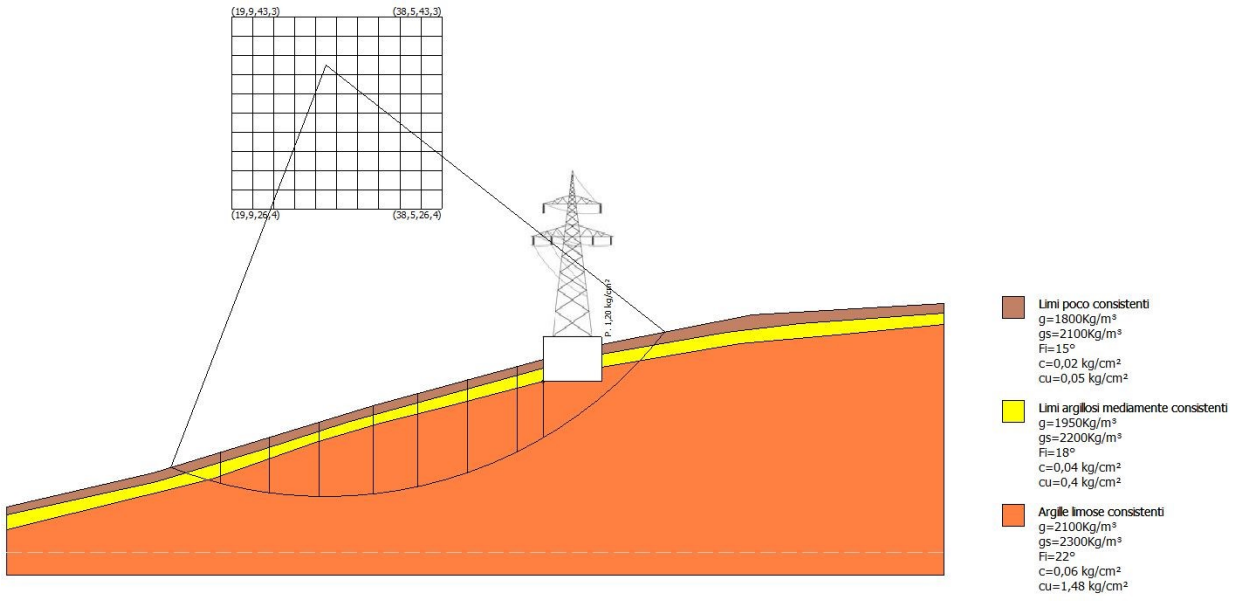


Figura 2 Superficie a fattore minimo

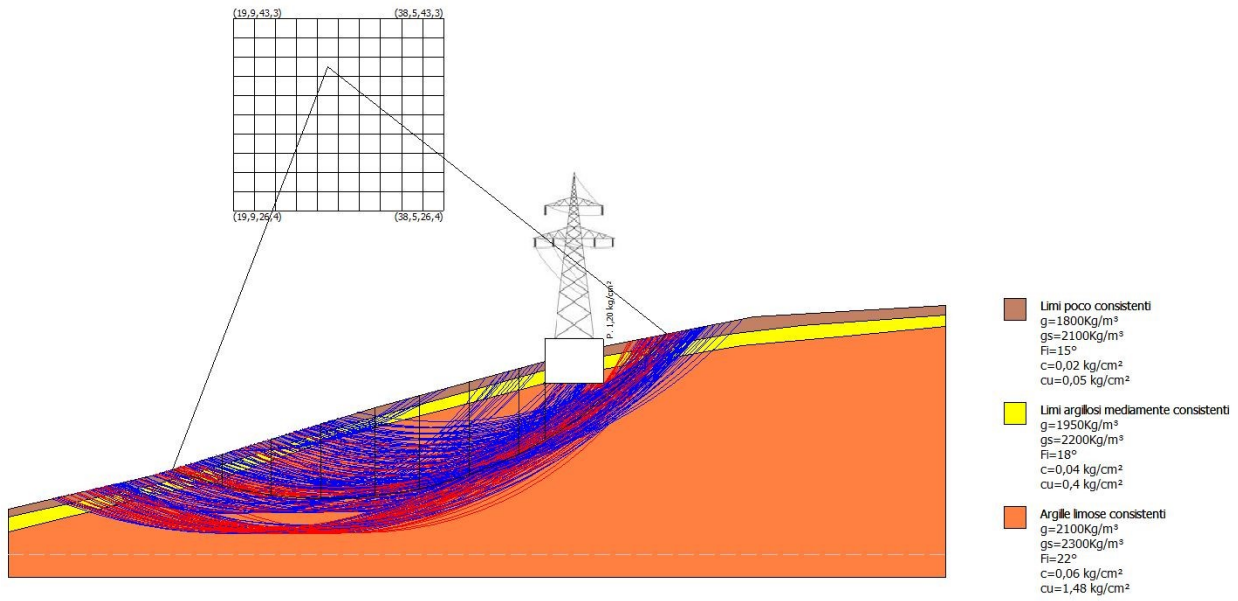


Figura 3 – Superfici calcolate



### 3 VERIFICA DI STABILITA' TRALICCIO N. 15



Figura 4 – Ubicazione di progetto del traliccio n. 15. In giallo la traccia di sezione per la verifica di stabilità. In rosso sono evidenziate le aree a pericolosità geomorfologica P2. Il punto rosso indica la posizione della foto riportata di seguito.



Figura 5 – Immagine ripresa all'interno dell'area a pericolosità geomorfologica P2 a valle del sito di progetto del traliccio 15. Locali accentuazioni del pendio determinano un'erosione areale da ruscellamento diffuso che in alcuni casi comporta l'asportazione del terreno di copertura mettendo a nudo il substrato. In questo caso può distinguersi anche una pseudo-stratificazione all'interno delle argille del Flysch numidico, notoriamente sovraconsolidate.

**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)**

Lat./Long.	37,485025/14,625403
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	25,6 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	13,85 m
Ascissa vertice destro superiore xs	46,48 m
Ordinata vertice destro superiore ys	33,05 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,52	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,46	0,45
S.L.C.	975,0	1,8	2,45	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,456	0,2	0,0093	0,0047
S.L.D.	0,564	0,2	0,0115	0,0058
S.L.V.	1,524	0,24	0,0373	0,0186
S.L.C.	2,16	0,24	0,0529	0,0264

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,012
Coefficiente azione sismica verticale	0,006

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	15,0	4,0	
3	33,7	7,0	
4	49,7	9,8	
5	49,7	7,5	
6	54,3	7,5	
7	54,3	10,7	
8	60,0	12,0	
9	80,0	16,0	

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-0,73	
2	8,19	1,35	
3	18,71	3,48	
4	29,81	5,06	
5	43,87	7,83	
6	49,7	9,14	
7	49,7	7,5	
8	54,3	7,5	
9	54,3	9,99	
10	66,26	12,32	
11	80,0	15,16	

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-1,58	
2	11,42	0,54	
3	24,19	2,54	
4	35,1	4,28	
5	41,23	5,77	
6	49,7	7,5	
7	54,3	7,5	
8	54,3	8,5	
9	65,35	10,41	
10	73,29	12,54	
11	80,0	14,15	

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	0,05	15	1800,00	2100,00	Limi poco consistenti	
2	0,04	0,4	18	1950	2200	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,06	1,40	22	2000	2300	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	49,7	7,5	54,3	7,5	1,2

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,45
Ascissa centro superficie	36,04 m
Ordinata centro superficie	27,29 m
Raggio superficie	27,69 m

$$x_c = 36,04 \quad y_c = 27,292 \quad R_c = 27,689 \quad F_s = 1,449$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3,91	-30,9	4,5511438,39	137,26	68,63	0,03	14,6	0,015612,9	4437,1		
2	3,91	-21,8	4,2131097,51	373,17	186,59	0,05	17,9	0,037407,7	10492,7		
3	3,91	-13,3	4,0145588,21	547,06	273,53	0,05	17,9	0,049798,5	12783,7		
4	2,08	-7,0	2,0928466,75	341,6	170,8	0,05	17,9	0,029578,0	7346,1		
5	5,74	1,1	5,7488778,34	1065,34	532,67	0,05	17,9	0,088380,2	21621,3		
6	3,91	11,2	3,9863127,95	757,54	378,77	0,05	17,9	0,061382,6	15302,4		
7	3,91	19,6	4,1560199,36	722,39	361,2	0,05	17,9	0,058744,4	15367,4		
8	2,45	26,7	2,7533958,98	407,51	203,75	0,05	17,9	0,033768,3	9452,5		
9	0,05	29,6	0,061137,52	13,65	6,83	0,05	17,9	0,01151,6	317,4		
10	9,21	42,8	12,55129516,5	1554,2	777,1	0,05	17,9	0,0143078,0	49155,8		

**Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)**

Lat./Long.	37,485025/14,625403
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	25,6 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	13,85 m
Ascissa vertice destro superiore xs	46,48 m
Ordinata vertice destro superiore ys	33,05 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,52	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,46	0,45
S.L.C.	975,0	1,8	2,45	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,456	0,2	0,0093	0,0047
S.L.D.	0,564	0,2	0,0115	0,0058
S.L.V.	1,524	0,24	0,0373	0,0186
S.L.C.	2,16	0,24	0,0529	0,0264

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,012
Coefficiente azione sismica verticale	0,006

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	15,0	4,0	
3	33,7	7,0	
4	49,7	9,8	
5	49,7	7,5	
6	54,3	7,5	
7	54,3	10,7	
8	60,0	12,0	
9	80,0	16,0	

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-0,73	
2	8,19	1,35	
3	18,71	3,48	
4	29,81	5,06	
5	43,87	7,83	
6	49,7	9,14	
7	49,7	7,5	
8	54,3	7,5	
9	54,3	9,99	
10	66,26	12,32	
11	80,0	15,16	

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-1,58	
2	11,42	0,54	
3	24,19	2,54	
4	35,1	4,28	
5	41,23	5,77	
6	49,7	7,5	
7	54,3	7,5	
8	54,3	8,5	
9	65,35	10,41	
10	73,29	12,54	
11	80,0	14,15	

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	0,05	15	1800,00	2100,00	Limi poco consistenti	
2	0,04	0,4	18	1950	2200	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,06	1,40	22	2000	2300	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	49,7	7,5	54,3	7,5	1,2

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,47
Ascissa centro superficie	36,04 m
Ordinata centro superficie	29,21 m
Raggio superficie	29,22 m

$$x_c = 36,04 \quad y_c = 29,212 \quad R_c = 29,216 \quad F_s = 1,467$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3,96	-28,9	4,5210959,55	131,51	65,76	0,03	14,6	0,0	9716,8	-5179,7	
2	3,96	-20,3	4,2229963,15	359,56	179,78	0,05	17,9	0,0	28393,9	-10062,4	
3	5,79	-10,4	5,8968338,74	820,06	410,03	0,05	17,9	0,0	67771,5	-11506,1	
4	2,12	-2,5	2,1329737,77	356,85	178,43	0,05	17,9	0,0	29903,1	-945,5	
5	3,96	3,5	3,9759531,04	714,37	357,19	0,05	17,9	0,0	59735,4	4313,5	
6	3,96	11,3	4,0461059,26	732,71	366,36	0,05	17,9	0,0	60086,5	12705,4	
7	3,96	19,4	4,258061,94	696,74	348,37	0,05	17,9	0,0	54861,5	19945,8	
8	2,0	25,7	2,2226528,12	318,34	159,17	0,05	17,9	0,0	23909,5	11790,5	
9	0,05	27,9	0,06	1119,79	13,44	6,72	0,05	17,9	0,0	989,0	536,4
10	9,83	40,8	12,99132467,8	1589,61	794,81	0,05	17,9	0,0	99797,4	87809,0	

**Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)**

Lat./Long.	37,485025/14,625403
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	25,6 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	13,85 m
Ascissa vertice destro superiore xs	46,48 m
Ordinata vertice destro superiore ys	33,05 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,52	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,46	0,45
S.L.C.	975,0	1,8	2,45	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,456	0,2	0,0093	0,0047
S.L.D.	0,564	0,2	0,0115	0,0058
S.L.V.	1,524	0,24	0,0373	0,0186
S.L.C.	2,16	0,24	0,0529	0,0264

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,012
Coefficiente azione sismica verticale	0,006



**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	0,0
2	15,0	4,0	4,0
3	33,7	7,0	7,0
4	49,7	9,8	9,8
5	49,7	7,5	7,5
6	54,3	7,5	7,5
7	54,3	10,7	10,7
8	60,0	12,0	12,0
9	80,0	16,0	16,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-0,73	-0,73
2	8,19	1,35	1,35
3	18,71	3,48	3,48
4	29,81	5,06	5,06
5	43,87	7,83	7,83
6	49,7	9,14	9,14
7	49,7	7,5	7,5
8	54,3	7,5	7,5
9	54,3	9,99	9,99
10	66,26	12,32	12,32
11	80,0	15,16	15,16

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-1,58	-1,58
2	11,42	0,54	0,54
3	24,19	2,54	2,54
4	35,1	4,28	4,28
5	41,23	5,77	5,77
6	49,7	7,5	7,5
7	54,3	7,5	7,5
8	54,3	8,5	8,5
9	65,35	10,41	10,41
10	73,29	12,54	12,54
11	80,0	14,15	14,15

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,02	0,05	15	1800,00	2100,00	Limi poco consistenti	
2	0,04	0,4	18	1950	2200	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,06	1,40	22	2000	2300	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	49,7	7,5	54,3	7,5	1,2

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,68
Ascissa centro superficie	35,0 m
Ordinata centro superficie	32,09 m
Raggio superficie	31,72 m

**xc = 34,996 yc = 32,092 Rc = 31,716 Fs=1,682**  
 Lambda = 0,243

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	4,03	-26,05	4,49	10301,16
2	4,03	-18,15	4,25	28351,54
3	4,03	-10,61	4,1	41854,73
4	2,51	-4,62	2,52	30928,88
5	5,56	2,69	5,56	76916,01
6	4,03	11,44	4,12	57963,37
7	4,03	19,02	4,27	54920,86
8	2,37	25,25	2,63	28875,9
9	0,05	27,67	0,06	1059,39
10	9,68	39,05	12,46	122246,9

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	2792,22	11499,85	0,0	0,0	1805,25	1133,23	0,0
2	8055,25	33175,81	2792,22	11499,85	15453,03	4180,75	0,0
3	13165,39	54222,08	8055,25	33175,81	32582,27	7431,75	0,0
4	16049,57	66100,69	13165,39	54222,08	27211,86	5947,85	0,0
5	19308,53	79522,82	16049,57	66100,69	74623,34	15925,81	0,0
6	19671,28	81016,81	19308,53	79522,82	56955,37	12118,25	0,0
7	18341,78	75541,21	19671,28	81016,81	51492,15	11111,66	0,0
8	17268,77	71122,0	18341,78	75541,21	25211,77	5593,44	0,0
9	17916,79	73790,92	17268,77	71122,0	1603,49	324,21	0,0
10	4298,62	17703,99	17916,79	73790,92	69814,2	16970,97	0,0

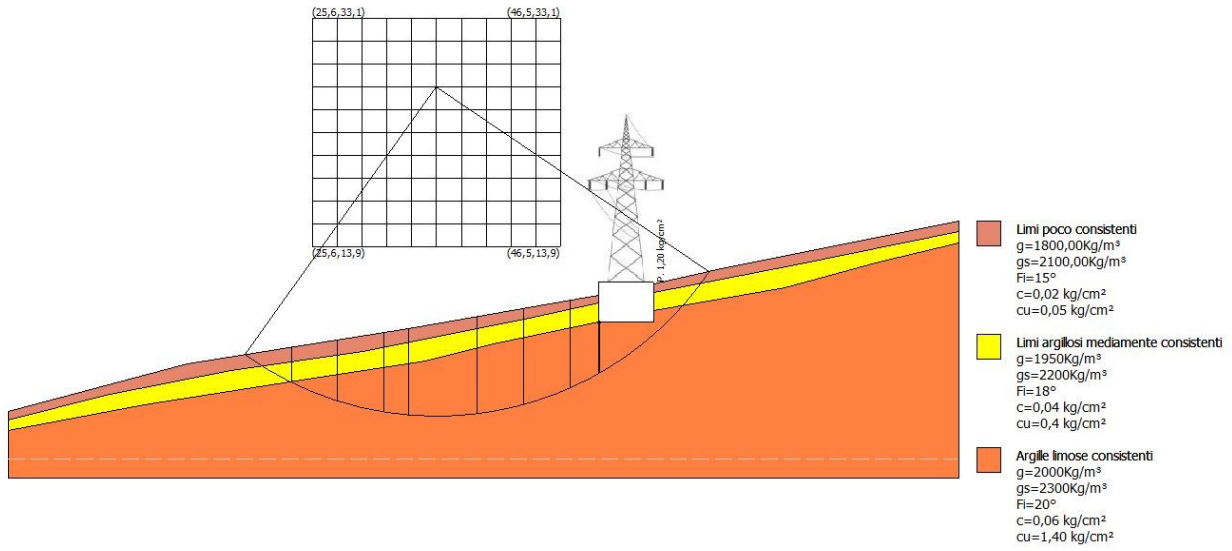


Figura 6 – Superficie a fattore minimo

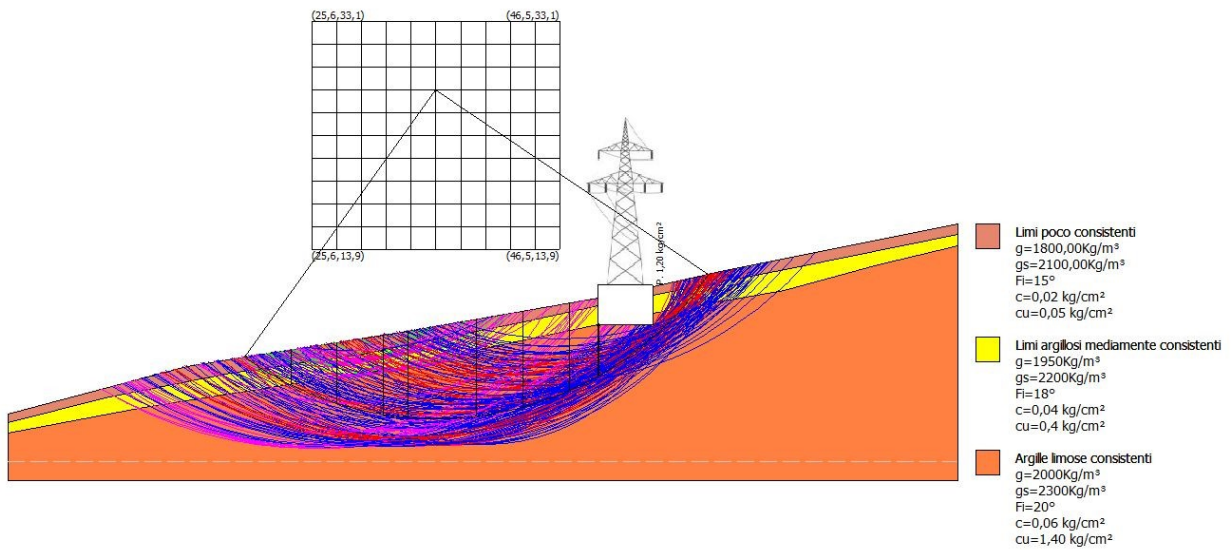


Figura 7 – Superfici calcolate

#### 4 VERIFICA DI STABILITA' TRALICCIO N. 20



Figura 8 – Ubicazione di progetto del traliccio n. 15. In giallo la traccia di sezione per la verifica di stabilità. In rosso sono evidenziate le aree a pericolosità geomorfologica P3-P4

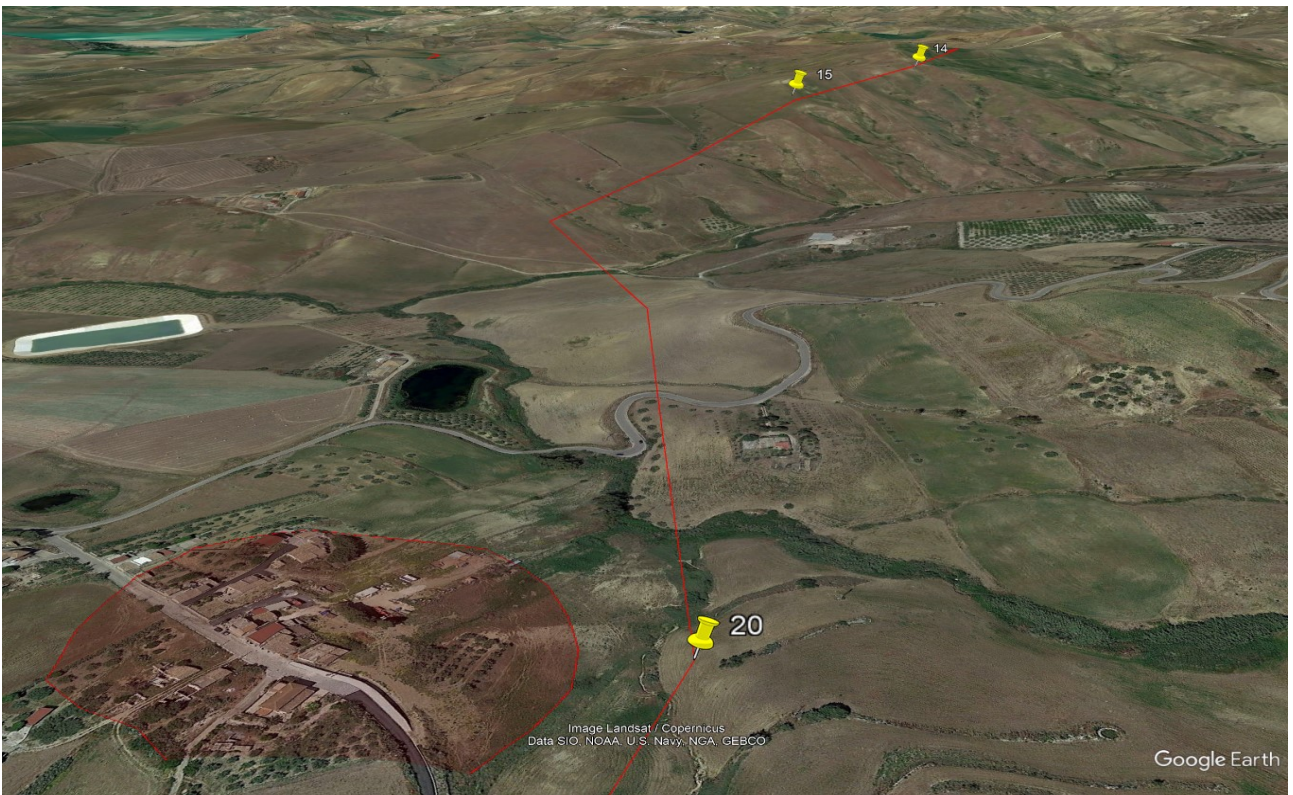


Figura 9 – Vista a volo d'uccello del sito di progetto del traliccio 20

**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)**

Lat./Long.	37,485518/14,643155
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14,75 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3,49 m
Ascissa vertice destro superiore xs	23,81 m
Ordinata vertice destro superiore ys	12,63 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,53	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,47	0,45
S.L.C.	975,0	1,81	2,44	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,57	0,2	0,0116	0,0058
S.L.D.	0,705	0,2	0,0144	0,0072
S.L.V.	1,905	0,24	0,0466	0,0233
S.L.C.	2,5879	0,24	0,0633	0,0317

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0144
Coefficiente azione sismica verticale	0,0072

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	8,0	0,5	
3	17,8	2,0	
4	24,0	3,0	
5	24,0	1,0	
6	29,0	1,0	
7	29,0	4,0	
8	45,0	8,0	
9	60,0	9,0	

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-0,5	
2	8,32	-0,06	
3	20,0	2,0	
4	24,0	2,5	
5	24,0	1,0	
6	29,0	1,0	
7	29,0	3,5	
8	41,95	6,47	
9	45,53	7,24	
10	60,0	8,31	

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-2,0	
2	6,92	-1,52	
3	18,29	-0,01	
4	26,0	1,0	
5	29,0	0,99	
6	29,0	1,5	
7	42,23	4,92	
8	55,2	6,56	
9	60,0	7,17	

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,05	0,2	12	1650	1800	Limi poco consistenti	
2	0,15	0,8	15	1900	2000	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,25	1,1	18	2000	2200	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	24	1	29	1	1,2

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,87
Ascissa centro superficie	21,55 m
Ordinata centro superficie	5,77 m
Raggio superficie	8,86 m

B: Larghezza del conccio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conccio; Li: Lunghezza della base del conccio; Wi: Peso del conccio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 21,548 \quad yc = 5,773 \quad Rc = 8,862 \quad Fs = 1,865$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,64	-51,8	2,66	3964,9	57,09	28,55	0,12	12,1	0,0	10041,3	4627,1
2	2,31	-34,1	2,79	15153,92	218,22	109,11	0,2	14,6	0,0	22437,3	7389,6
3	0,98	-21,6	1,05	8584,98	123,62	61,81	0,2	14,6	0,0	10247,2	2748,0
4	1,64	-12,8	1,69	16480,33	237,32	118,66	0,2	14,6	0,0	17871,5	4407,5
5	1,64	-2,0	1,65	18024,75	259,56	129,78	0,2	14,6	0,0	18183,8	4301,1
6	1,93	9,7	1,96	21809,17	314,05	157,03	0,2	14,6	0,0	21259,2	5140,4
7	1,35	20,8	1,45	25767,97	371,06	185,53	0,2	14,6	0,0	25614,5	5478,7
8	1,64	31,7	1,93	28889,82	416,01	208,01	0,2	14,6	0,0	30086,4	7364,3
9	1,64	45,6	2,35	24620,14	354,53	177,27	0,2	14,6	0,0	28545,8	9283,6
10	1,64	66,8	4,18	11283,8	162,49	81,24	0,12	12,1	0,0	17660,4	12007,6

**Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)**

Lat./Long.	37,485518/14,643155
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14,75 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3,49 m
Ascissa vertice destro superiore xs	23,81 m
Ordinata vertice destro superiore ys	12,63 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,53	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,47	0,45
S.L.C.	975,0	1,81	2,44	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,57	0,2	0,0116	0,0058
S.L.D.	0,705	0,2	0,0144	0,0072
S.L.V.	1,905	0,24	0,0466	0,0233
S.L.C.	2,5879	0,24	0,0633	0,0317

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0144
Coefficiente azione sismica verticale	0,0072



**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,0	0,5
3	17,8	2,0
4	24,0	3,0
5	24,0	1,0
6	29,0	1,0
7	29,0	4,0
8	45,0	8,0
9	60,0	9,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,5
2	8,32	-0,06
3	20,0	2,0
4	24,0	2,5
5	24,0	1,0
6	29,0	1,0
7	29,0	3,5
8	41,95	6,47
9	45,53	7,24
10	60,0	8,31

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-2,0
2	6,92	-1,52
3	18,29	-0,01
4	26,0	1,0
5	29,0	0,99
6	29,0	1,5
7	42,23	4,92
8	55,2	6,56
9	60,0	7,17

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,05	0,2	12	1650	1800	Limi poco consistenti	
2	0,15	0,8	15	1900	2000	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,25	1,1	18	2000	2200	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	24	1	29	1	1,2

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,96
Ascissa centro superficie	21,55 m
Ordinata centro superficie	5,77 m
Raggio superficie	8,86 m

$$xc = 21,548 \quad yc = 5,773 \quad Rc = 8,862 \quad Fs=1,958$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,64	-51,8	2,66	3964,9	57,09	28,55	0,12	12,1	0,0	2516,3	-3079,1
2	2,31	-34,1	2,79	15153,92	218,22	109,11	0,2	14,6	0,0	12763,8	-8311,0
3	0,98	-21,6	1,05	8584,98	123,62	61,81	0,2	14,6	0,0	8084,0	-3048,2
4	1,64	-12,8	1,69	16480,33	237,32	118,66	0,2	14,6	0,0	16241,3	-3409,3
5	1,64	-2,0	1,65	18024,75	259,56	129,78	0,2	14,6	0,0	18152,7	-362,3
6	1,93	9,7	1,96	21809,17	314,05	157,03	0,2	14,6	0,0	21598,8	3986,7
7	1,35	20,8	1,45	25767,97	371,06	185,53	0,2	14,6	0,0	24138,2	9477,2
8	1,64	31,7	1,93	28889,82	416,01	208,01	0,2	14,6	0,0	24537,7	15535,5
9	1,64	45,6	2,35	24620,14	354,53	177,27	0,2	14,6	0,0	17102,6	17832,7
10	1,64	66,8	4,18	11283,8	162,49	81,24	0,12	12,1	0,0	4318,7	10439,1

**Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)**

Lat./Long.	37,485518/14,643155
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14,75 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3,49 m
Ascissa vertice destro superiore xs	23,81 m
Ordinata vertice destro superiore ys	12,63 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,38	2,57	0,25
S.L.D.	50,0	0,47	2,53	0,28
S.L.V.	475,0	1,27	2,47	0,45
S.L.C.	975,0	1,81	2,44	0,52

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,57	0,2	0,0116	0,0058
S.L.D.	0,705	0,2	0,0144	0,0072
S.L.V.	1,905	0,24	0,0466	0,0233
S.L.C.	2,5879	0,24	0,0633	0,0317

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0144
Coefficiente azione sismica verticale	0,0072

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)	
1	0,0	0,0	
2	8,0	0,5	
3	17,8	2,0	
4	24,0	3,0	
5	24,0	1,0	
6	29,0	1,0	
7	29,0	4,0	
8	45,0	8,0	
9	60,0	9,0	

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-0,5	
2	8,32	-0,06	
3	20,0	2,0	
4	24,0	2,5	
5	24,0	1,0	
6	29,0	1,0	
7	29,0	3,5	
8	41,95	6,47	
9	45,53	7,24	
10	60,0	8,31	

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)	
1	0,0	-2,0	
2	6,92	-1,52	
3	18,29	-0,01	
4	26,0	1,0	
5	29,0	0,99	
6	29,0	1,5	
7	42,23	4,92	
8	55,2	6,56	
9	60,0	7,17	

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0,05	0,2	12	1650	1800	Limi poco consistenti	
2	0,15	0,8	15	1900	2000	Limi argillosi mediamente consistenti	
3	0,25	1,1	18	2000	2200	Argille limose consistenti	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	24	1	29	1	1,2

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	2,27
Ascissa centro superficie	22,0 m
Ordinata centro superficie	8,97 m
Raggio superficie	10,75 m

$x_c = 22,001$   $y_c = 8,975$   $R_c = 10,75$   $F_s = 2,271$   
 $\lambda = 0,07$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	1,76	-39,6	2,28	2935,28
2	1,74	-28,26	1,97	7699,5
3	1,78	-18,02	1,87	11520,41
4	1,76	-8,3	1,77	13825,46
5	1,76	1,12	1,76	15168,17
6	0,91	8,26	0,92	8059,78
7	0,05	10,85	0,05	948,83
8	5,0	25,98	5,56	77047,33
9	1,06	44,98	1,5	5500,02
10	1,76	57,79	3,29	4460,46

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	346,05	4955,43	0,0	0,0	-1120,92	1098,45	0,0
2	889,26	12734,19	346,05	4955,43	2721,31	2046,87	0,0
3	1387,73	19872,25	889,26	12734,19	8403,43	2606,86	0,0
4	1750,19	25062,69	1387,73	19872,25	12699,75	3016,46	0,0
5	1945,09	27853,65	1750,19	25062,69	15129,8	3278,53	0,0
6	2028,14	29042,97	1945,09	27853,65	8105,59	1739,74	0,0
7	2131,15	30518,08	2028,14	29042,97	1112,57	172,19	0,0
8	311,07	4454,51	2131,15	30518,08	59489,19	11708,35	0,0
9	198,32	2839,87	311,07	4454,51	2801,13	1641,48	0,0
10	2,56	36,7	198,32	2839,87	72,76	1747,62	0,0

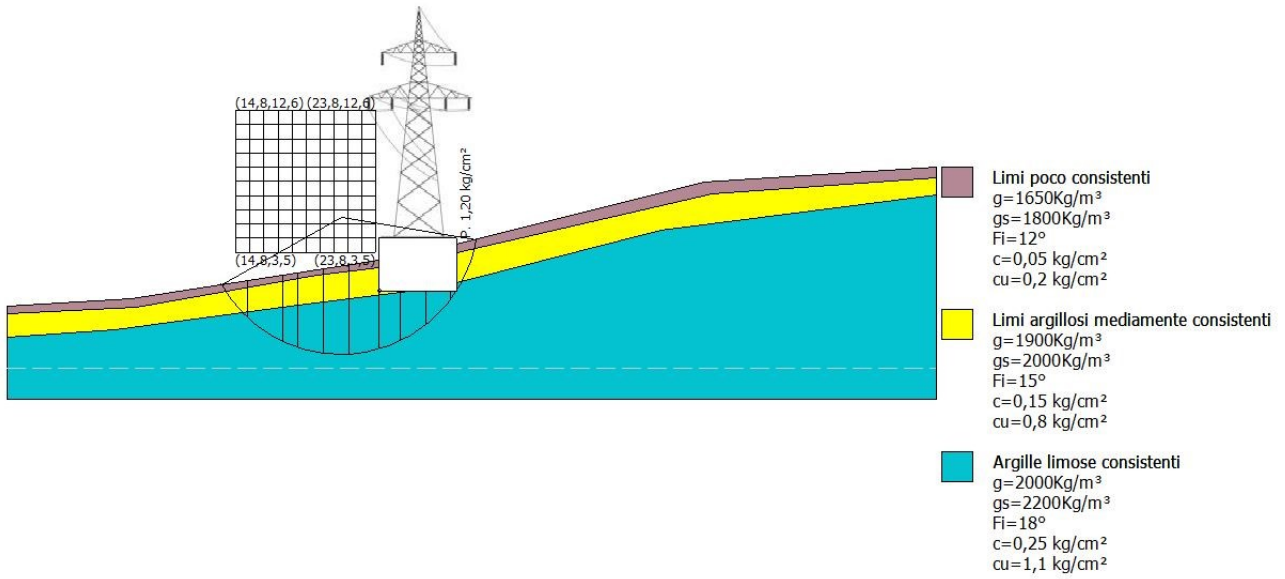


Figura 10 – Superficie a fattore minimo

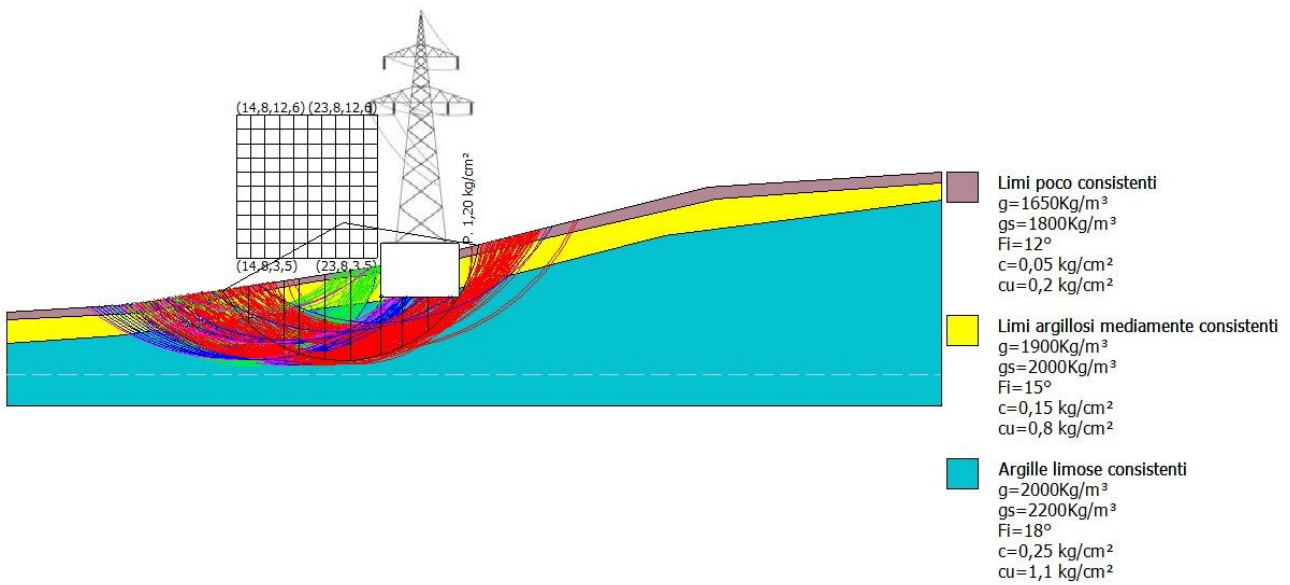


Figura 11 – Superfici calcolate

## 5 INDAGINE PENETROMETRICA

Nel presente capitolo sono illustrati i risultati di una campagna di prove geotecniche *in situ* effettuata nel mese di maggio 2023, nei siti di progetto dei tralicci n. 14, 15 e 20 della linea AT di connessione.

Sono state effettuate le seguenti indagini:

- ✓ N. 3 prove penetrometriche dinamiche continue (DP) per la definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici quali densità relativa, compressibilità, resistenza al taglio, consistenza, ecc.

Le prove sono state effettuate ad una quota compresa tra 296 e 348 m s.l.m. (Fig1). Dal punto di vista cartografico, l'area d'indagine rientra nella **Tavoletta F° 269 III NE**, denominata "**Castel di Iudica**", edita dall'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) a scala 1:25000, e nella sezione **632120** della Carta Tecnica Regionale (C.T.R), a scala 1:10000.

Sotto il profilo geolitologico nell'area di interesse affiorano:

**Area A** - Argille e limi bruni correlabili al Flysch Numidico (Oligocene Sup. – Langhiano Inf.)

**Area B** - Detriti costituiti prevalentemente da ciottoli calcarei immersi in una matrice argillosa-limosa.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Carbone et al., 1990; Lentini et al., 1991

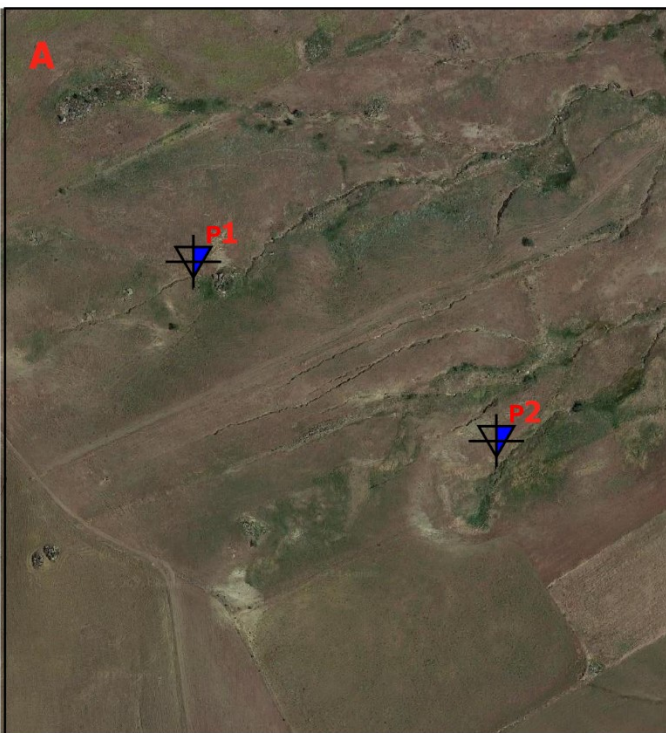
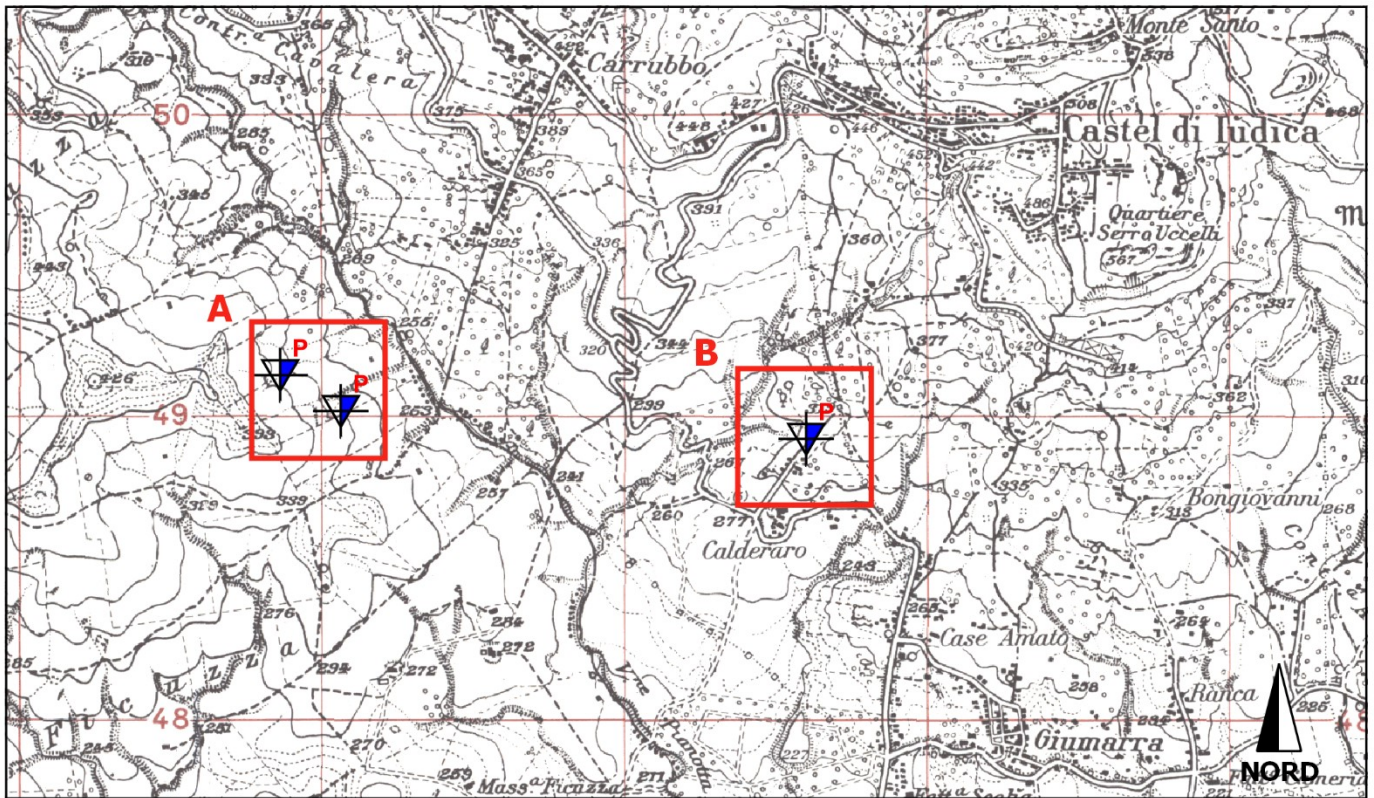


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'Area di Studio su Tavoletta I.G.M. in scala 1:25000 (sopra) e ubicazione indagini su immagine Google Earth in scala 1:5000 (sotto).



## 5.1 CENNI TEORICI

Le prove penetrometriche appartengono alla categoria d'indagini geotecniche *in situ* e permettono, attraverso l'infissione di una punta nel terreno, di caratterizzare il sottosuolo.

Le prove penetrometriche si possono comunemente distinguere in:

- ✓ Prove penetrometriche statiche (CPT);
- ✓ Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- ✓ Prove penetrometriche dinamiche (DPSH, DPH, DPL, DPM);
- ✓ Standard penetration test (SPT);
- ✓ Prove dilatometriche.

Per effettuare queste tipologie di prove viene utilizzato uno strumento noto come penetrometro. Esso, in base alle dimensioni e le sue caratteristiche, può essere portatile, semimovente, installato su piccoli cingolati, oppure su camion. Il penetrometro è costituito da una cella di carico, il quale permette d'infiggere punta e aste nel terreno con una forza che varia a seconda della tipologia di strumento.

La profondità alla quale viene spinta la prova dipende dal "target d'interesse" o dal "volume d'interesse", cioè quella porzione di terreno che sarà soggetta ai carichi dovuti alla messa in opera di un manufatto. La tipologia di prova da effettuare viene determinata in funzione dell'opera progettuale e soprattutto delle caratteristiche del terreno.

Le prove penetrometriche statiche sono prove che in genere vengono effettuate in aree caratterizzate dalla presenza di terreni argillosi e sabbiosi, in quanto i terreni ghiaiosi presentano una resistenza tale da impedire l'infissione della punta. Le prove dinamiche, al contrario possono essere eseguite su qualunque tipologia di terreno.

## 5.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

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

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

- ✓ tipo LEGGERO (**DPL**)
- ✓ tipo MEDIO (**DPM**)
- ✓ tipo PESANTE (**DPH**)
- ✓ tipo SUPERPESANTE (**DPSH**)

Classificazione **ISSMFE** dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa M (kg)	Prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante(Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

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

- ✓ **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30)** - (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- ✓ **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20)** - (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- ✓ **DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)**  
massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A = 20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- ✓ **DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)**  
massa battente  $M = 63.5$  kg, altezza caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

### 5.3 Correlazioni con $N_{stp}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova<sup>2</sup>, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

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

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

<sup>2</sup> Vannelli and Benassi, 1983

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

In cui:

- M**= peso massa battente;
- M'**= peso aste;
- H**= altezza di caduta;
- A**= area base punta conica;
- d**= passo di avanzamento.

#### 5.4 Valutazione resistenza dinamica alla punta *Rpd*

L'*Rpd* (resistenza di rottura dinamica alla punta), parametro dello stato di addensamento di un terreno incoerente e della consistenza di un terreno coesivo<sup>3</sup>, è valutabile con la nota “formula degli Olandesi”:

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

Dove:

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

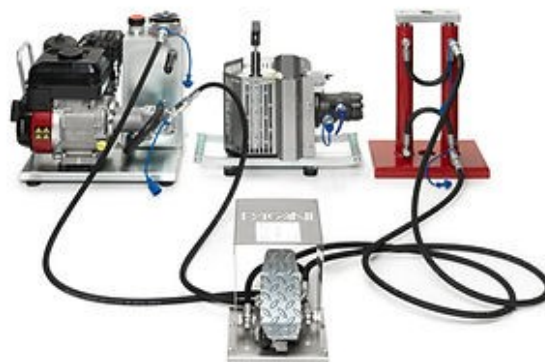
<sup>3</sup> Cestelli Guidi, 1980; Scesi and Papini, 1994

## 5.5 Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche è stato utilizzato un penetrometro portatile DPM 30 prodotto dalla Pagani Geotechnical Equipment, il quale, tramite un sistema idraulico, consente di far cadere in maniera costante e continua un maglio di 30kg da un'altezza di 20 cm. Il sistema idraulico è azionato da un motore a termico a benzina 4 Hp. Per l'estrazione di aste, tubi di rivestimento e campionatori viene utilizzato un apposito estrattore idraulico. Infine, il penetrometro viene comandato interamente attraverso un distributore idraulico a pedale.

### DATI TECNICI DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Rif. NorDIN 4094		
Peso Massa battente	30	Kg
Altezza di caduta libera	0,20	m
Peso sistema di battuta	21	Kg
Diametro punta conica		35,68mm
Area di base punta	10	cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1	m
Peso aste a metro	2,5	Kg/m
Profondità giunzione prima asta		1,00m
Avanzamento punta	0,10	m
Numero colpi per punta	N (10)	
Coeff. Correlazione	0,761	
Rivestimento/fanghi	Si	
Angolo di apertura punta	60°	



## 5.6 Elaborazione dati

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo che permette di determinare il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT); ciò avviene tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981. Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche<sup>4</sup>.

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

In particolare, consente di ottenere informazioni su:

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

## 5.7 Valutazioni statistiche e correlazioni

### Elaborazione statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici 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:

<sup>4</sup> Pasqualini, 1983

- ✓ **Media** Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
- ✓ **Media minima** Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
- ✓ **Massimo** Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
- ✓ **Minimo** Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
- ✓ **Scarto quadratico medio** Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
- ✓ **Media deviata** Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
- ✓ **Media + s** Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
- ✓ **Media - s** Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

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

### **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

#### *Liquefazione*

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi). Attraverso la relazione di SHI-MING (1982), applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di SHI-MING.

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

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

N<sub>spt</sub> è il valore medio nello strato

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

### *Angolo di Attrito*

Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).

Sowers 1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $s > 5$  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)  $s > 15$  t/mq.

Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.

Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  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 (E<sub>y</sub>)*

Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.

Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.

Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.

D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia

Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### *Modulo Udometrico*

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

Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).

Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### *Stato di consistenza*

Classificazione A.G.I. 1977

#### *Peso di Volume Gamma*

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

#### *Peso di volume saturo*

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

#### *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  $t$  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 $V_s$ (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 ( $K_0$ )*

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

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

Robertson 1983  $Q_c$

### **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

#### *Coesione non drenata*

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

Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.

Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  min-max.

Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.

Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.

(U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-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 (Qc)*

Robertson 1983 Qc

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

Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.

Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali.

Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq) -, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).

Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt}=6-12$ ).

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

Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$

D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### *Stato di consistenza*

Classificazione A.G.I. 1977

#### *Peso di Volume Gamma*

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

#### *Peso di volume saturo*

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



## 5.8 RISULTATI INDAGINI

DENOMINAZIONE:				
<b>5.8.1 Prova DPI</b>				
PROFONDITÀ RAGGIUNTA	FALDA	PESO MAGLIO	CORSA MAGLIO	QUOTA
<b>4.20 m</b>	<b>Non rilevata</b>	<b>30 kg</b>	<b>20 cm</b>	<b>348 m. s.l.m.</b>



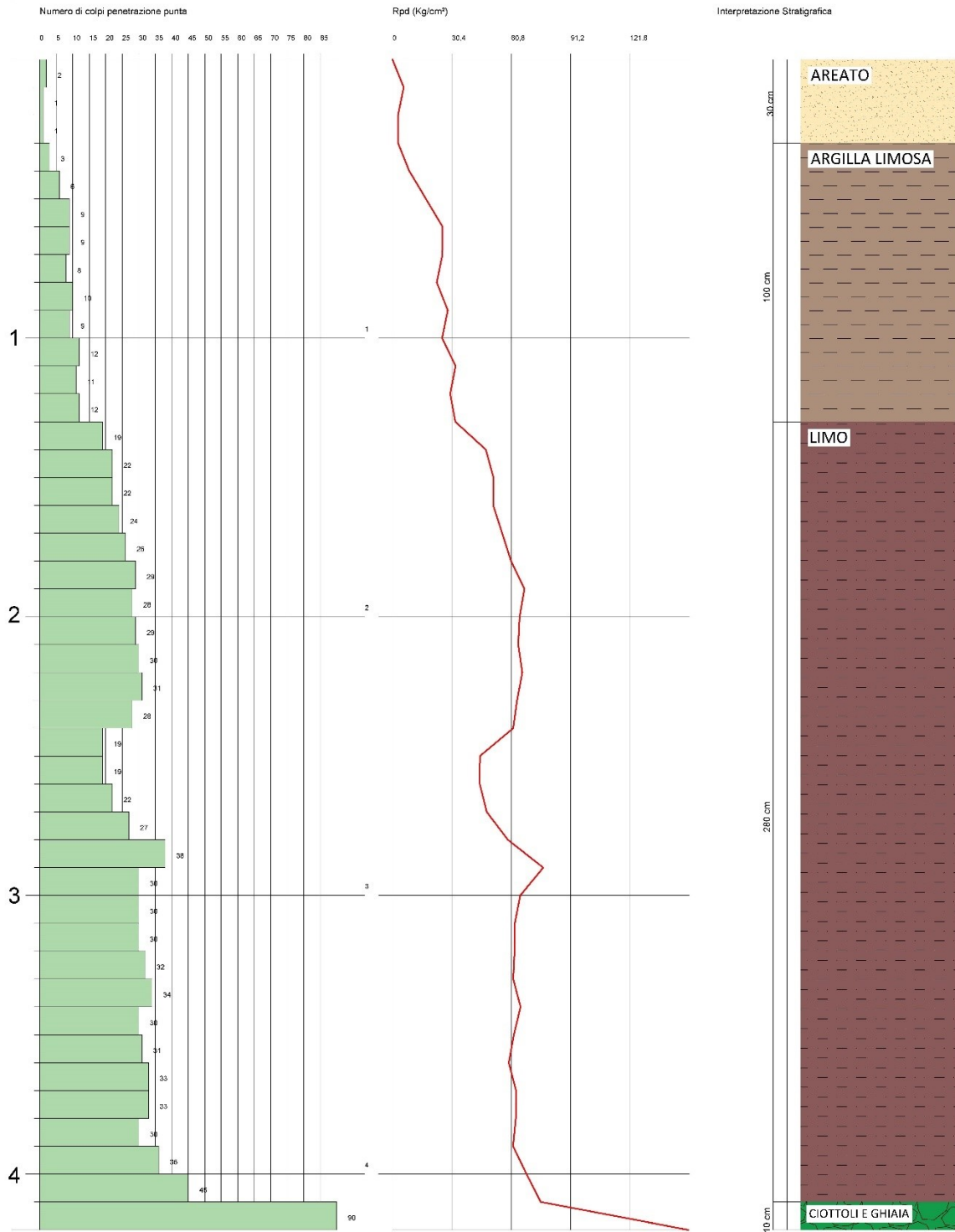
Figura 2 – Fase di esecuzione della prova penetrometrica DPI.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1

DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Data :26/05/2023

Scala 1:20



Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)  
 Prova eseguita in data 26/05/2023  
 Profondità prova 4,20 mt  
 Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	2	0	0,857	5,76	6,73	0,29	0,34
0,20	1	0	0,855	2,88	3,36	0,14	0,17
0,30	1	0	0,853	2,87	3,36	0,14	0,17
0,40	3	0	0,851	8,59	10,09	0,43	0,50
0,50	6	0	0,849	17,14	20,19	0,86	1,01
0,60	9	0	0,847	25,65	30,28	1,28	1,51
0,70	9	0	0,845	25,59	30,28	1,28	1,51
0,80	8	0	0,843	22,70	26,92	1,13	1,35
0,90	10	0	0,842	28,31	33,64	1,42	1,68
1,00	9	0	0,840	25,43	30,28	1,27	1,51
1,10	12	0	0,838	32,32	38,57	1,62	1,93
1,20	11	0	0,836	29,57	35,36	1,48	1,77
1,30	12	0	0,835	32,19	38,57	1,61	1,93
1,40	19	0	0,783	47,81	61,07	2,39	3,05
1,50	22	0	0,731	51,71	70,71	2,59	3,54
1,60	22	0	0,730	51,59	70,71	2,58	3,54
1,70	24	0	0,728	56,15	77,14	2,81	3,86
1,80	26	0	0,726	60,70	83,57	3,04	4,18
1,90	29	0	0,725	67,56	93,21	3,38	4,66
2,00	28	0	0,723	65,09	90,00	3,25	4,50
2,10	29	0	0,722	64,39	89,23	3,22	4,46
2,20	30	0	0,720	66,47	92,31	3,32	4,62
2,30	31	0	0,669	63,78	95,38	3,19	4,77
2,40	28	0	0,717	61,78	86,15	3,09	4,31
2,50	19	0	0,766	44,76	58,46	2,24	2,92
2,60	19	0	0,764	44,68	58,46	2,23	2,92
2,70	22	0	0,713	48,25	67,69	2,41	3,38
2,80	27	0	0,711	59,10	83,08	2,96	4,15
2,90	38	0	0,660	77,17	116,92	3,86	5,85
3,00	30	0	0,709	65,42	92,31	3,27	4,62
3,10	30	0	0,707	62,62	88,52	3,13	4,43
3,20	30	0	0,706	62,50	88,52	3,12	4,43
3,30	32	0	0,655	61,82	94,43	3,09	4,72
3,40	34	0	0,653	65,55	100,33	3,28	5,02
3,50	30	0	0,702	62,16	88,52	3,11	4,43
3,60	31	0	0,651	59,54	91,48	2,98	4,57
3,70	33	0	0,650	63,26	97,38	3,16	4,87
3,80	33	0	0,648	63,14	97,38	3,16	4,87
3,90	30	0	0,697	61,72	88,52	3,09	4,43
4,00	36	0	0,646	68,63	106,23	3,43	5,31
4,10	45	0	0,595	75,88	127,56	3,79	6,38
4,20	90	0	0,594	151,46	255,12	7,57	12,76

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

#### TERRENI COESIVI

##### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Terzaghi-Peck	0,05
Strato 2	6,28	1,30	Terzaghi-Peck	0,39
Strato 3	21,93	4,10	Terzaghi-Peck	1,48

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	0,76	0,30	0,76	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	27,22
Strato 2	6,28	1,30	6,28	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	28,79
Strato 3	21,93	4,10	21,93	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	33,27

**Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Robertson (1983)	1,52
Strato 2	6,28	1,30	Robertson (1983)	12,56
Strato 3	21,93	4,10	Robertson (1983)	43,86

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Stroud e Butler (1975)	3,49
Strato 2	6,28	1,30	Stroud e Butler (1975)	28,81
Strato 3	21,93	4,10	Stroud e Butler (1975)	100,62

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Apollonia	7,60
Strato 2	6,28	1,30	Apollonia	62,80
Strato 3	21,93	4,10	Apollonia	219,30

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	0,76	0,30	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato 2	6,28	1,30	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato 3	21,93	4,10	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Meyerhof ed altri	1,46
Strato 2	6,28	1,30	Meyerhof ed altri	1,83
Strato 3	21,93	4,10	Meyerhof ed altri	2,11

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,84
Strato 2	6,28	1,30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,89
Strato 3	21,93	4,10	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,14

<b>DENOMINAZIONE:</b>				
<b>5.8.2 Prova DP2</b>				
<b>PROFONDITÀ RAGGIUNTA</b>	<b>FALDA</b>	<b>PESO MAGLIO</b>	<b>CORSA MAGLIO</b>	<b>QUOTA</b>
<b>5.00 m</b>	<b>Non rilevata</b>	<b>30 kg</b>	<b>20 cm</b>	<b>328 m. s.l.m.</b>



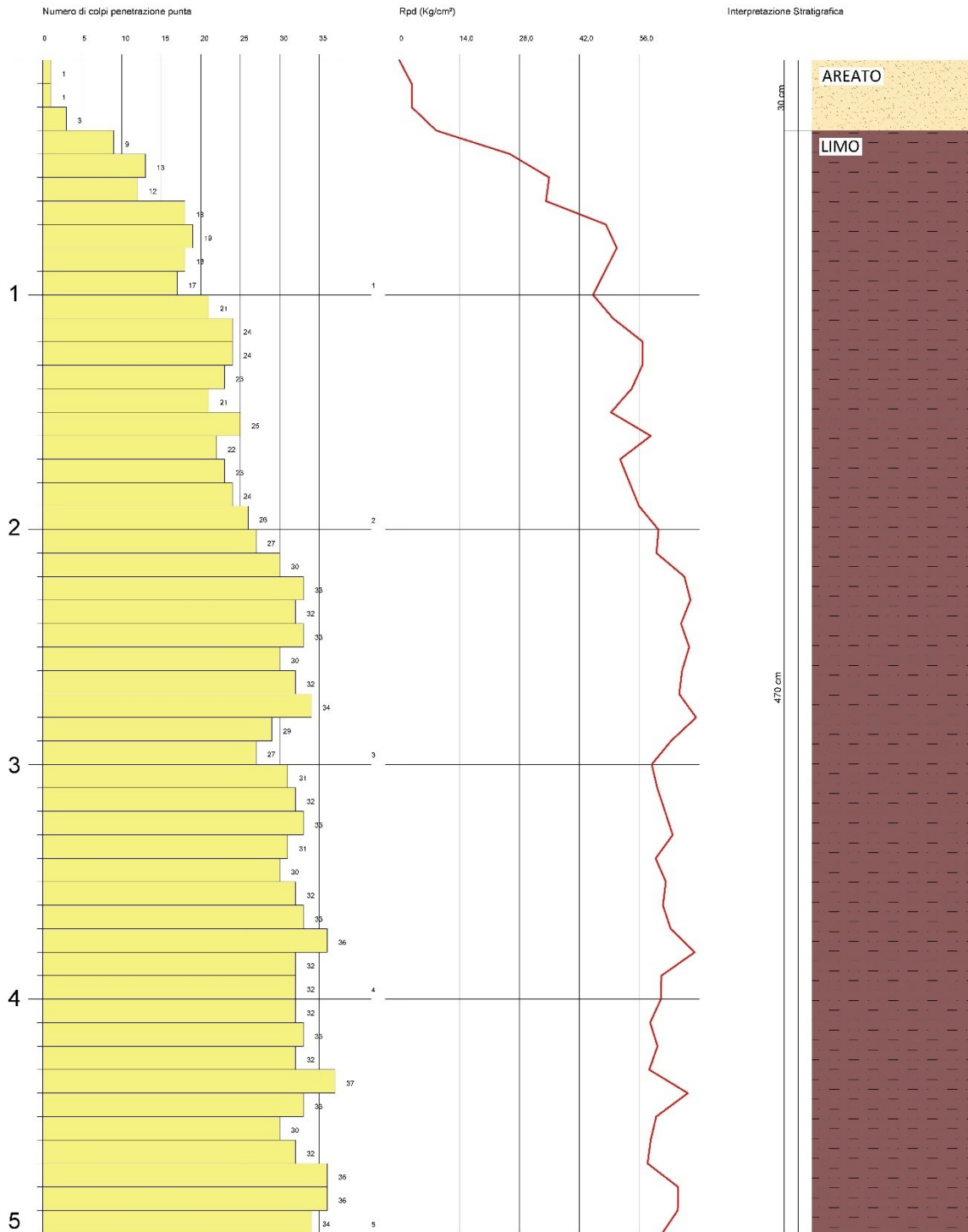
Figura 3 – Fase di acquisizione della prova penetrometrica DP2.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2

DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Data :26/05/2023

Scala 1:24



Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)  
 Prova eseguita in data 26/05/2023  
 Profondità prova 5,00 mt  
 Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0	0,857	2,88	3,36	0,14	0,17
0,20	1	0	0,855	2,88	3,36	0,14	0,17
0,30	3	0	0,853	8,61	10,09	0,43	0,50
0,40	9	0	0,851	25,76	30,28	1,29	1,51
0,50	13	0	0,799	34,94	43,74	1,75	2,19
0,60	12	0	0,847	34,20	40,37	1,71	2,02
0,70	18	0	0,795	48,16	60,56	2,41	3,03
0,80	19	0	0,793	50,71	63,93	2,54	3,20
0,90	18	0	0,792	47,94	60,56	2,40	3,03
1,00	17	0	0,790	45,17	57,20	2,26	2,86
1,10	21	0	0,738	49,81	67,50	2,49	3,38
1,20	24	0	0,736	56,80	77,14	2,84	3,86
1,30	24	0	0,735	56,67	77,14	2,83	3,86
1,40	23	0	0,733	54,18	73,93	2,71	3,70
1,50	21	0	0,731	49,36	67,50	2,47	3,38
1,60	25	0	0,730	58,62	80,36	2,93	4,02
1,70	22	0	0,728	51,48	70,71	2,57	3,54
1,80	23	0	0,726	53,70	73,93	2,68	3,70
1,90	24	0	0,725	55,91	77,14	2,80	3,86
2,00	26	0	0,723	60,44	83,57	3,02	4,18
2,10	27	0	0,722	59,95	83,08	3,00	4,15
2,20	30	0	0,720	66,47	92,31	3,32	4,62
2,30	33	0	0,669	67,89	101,54	3,39	5,08
2,40	32	0	0,667	65,69	98,46	3,28	4,92
2,50	33	0	0,666	67,59	101,54	3,38	5,08
2,60	30	0	0,714	65,93	92,31	3,30	4,62
2,70	32	0	0,663	65,26	98,46	3,26	4,92
2,80	34	0	0,661	69,19	104,62	3,46	5,23
2,90	29	0	0,710	63,36	89,23	3,17	4,46
3,00	27	0	0,709	58,87	83,08	2,94	4,15
3,10	31	0	0,657	60,13	91,48	3,01	4,57
3,20	32	0	0,656	61,94	94,43	3,10	4,72
3,30	33	0	0,655	63,75	97,38	3,19	4,87
3,40	31	0	0,653	59,77	91,48	2,99	4,57
3,50	30	0	0,702	62,16	88,52	3,11	4,43
3,60	32	0	0,651	61,46	94,43	3,07	4,72
3,70	33	0	0,650	63,26	97,38	3,16	4,87
3,80	36	0	0,648	68,88	106,23	3,44	5,31
3,90	32	0	0,647	61,11	94,43	3,06	4,72
4,00	32	0	0,646	61,00	94,43	3,05	4,72
4,10	32	0	0,645	58,49	90,71	2,92	4,54
4,20	33	0	0,644	60,21	93,54	3,01	4,68
4,30	32	0	0,643	58,29	90,71	2,91	4,54
4,40	37	0	0,641	67,28	104,88	3,36	5,24
4,50	33	0	0,640	59,90	93,54	2,99	4,68
4,60	30	0	0,689	58,61	85,04	2,93	4,25
4,70	32	0	0,638	57,89	90,71	2,89	4,54
4,80	36	0	0,637	65,01	102,05	3,25	5,10



4,90	36	0	0,636	64,91	102,05	3,25	5,10
5,00	34	0	0,635	61,20	96,38	3,06	4,82

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2****TERRENI COESIVI****Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Terzaghi-Peck	0,05
Strato 2	21,7	5,00	Terzaghi-Peck	1,47

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	0,76	0,30	0,76	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	27,22
Strato 2	21,7	5,00	21,7	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	33,2

**Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Robertson (1983)	1,52
Strato 2	21,7	5,00	Robertson (1983)	43,40

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Stroud e Butler (1975)	3,49
Strato 2	21,7	5,00	Stroud e Butler (1975)	99,56

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Apollonia	7,60
Strato 2	21,7	5,00	Apollonia	217,00

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	0,76	0,30	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato 2	21,7	5,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Meyerhof ed altri	1,46
Strato 2	21,7	5,00	Meyerhof ed altri	2,11

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	0,76	0,30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,84
Strato 2	21,7	5,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,14

<b>DENOMINAZIONE:</b>				
<b>5.8.3 Prova DP3</b>				
<b>PROFONDITÀ RAGGIUNTA</b>	<b>FALDA</b>	<b>PESO MAGLIO</b>	<b>CORSA MAGLIO</b>	<b>QUOTA</b>
<b>3.10 m</b>	<b>Non rilevata</b>	<b>30 kg</b>	<b>20 cm</b>	<b>296 m. s.l.m.</b>



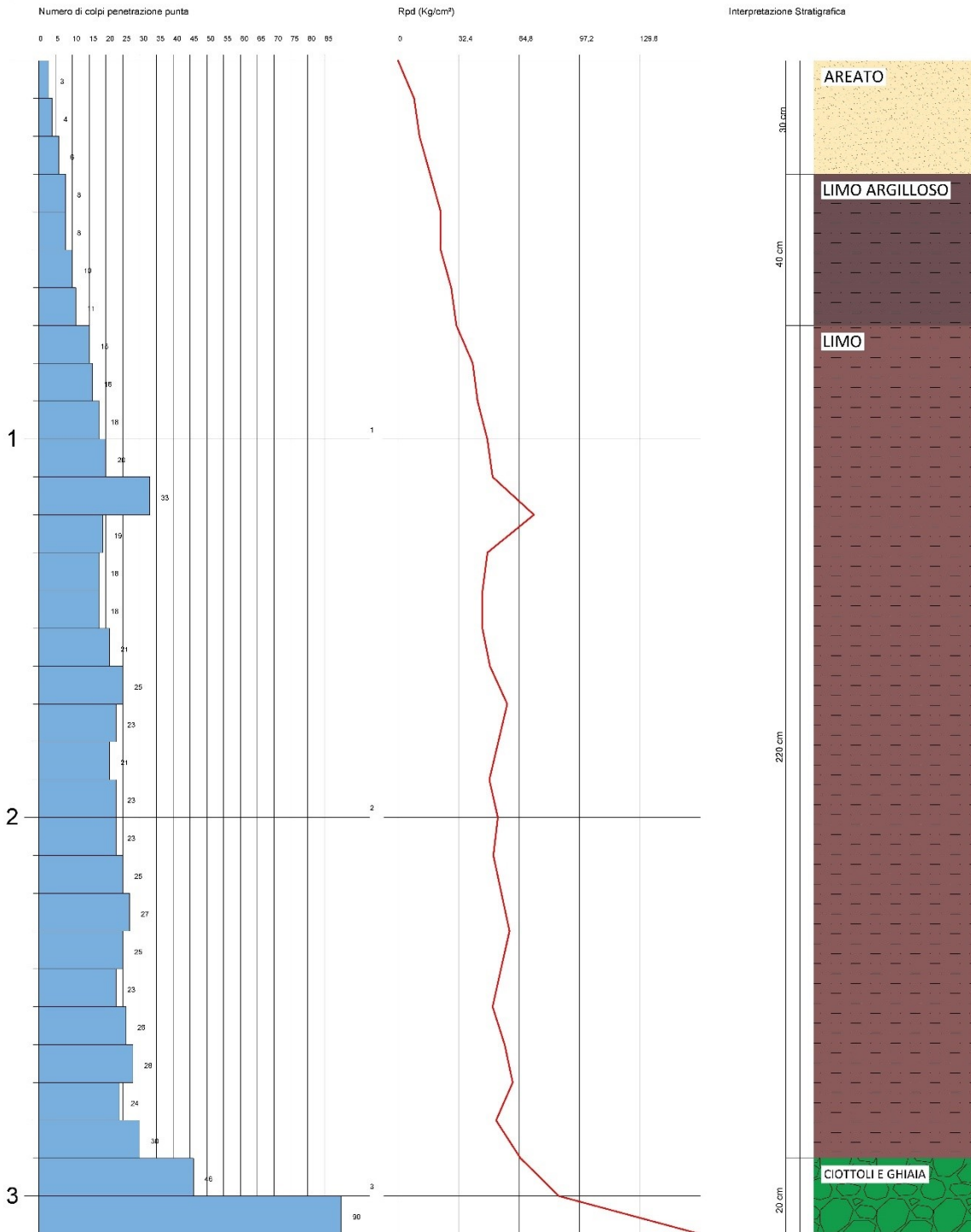
*Figura 4 – Fase di esecuzione della prova penetrometrica DP3.*

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3

DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Data :26/05/2023

Scala 1:15



Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)  
 Prova eseguita in data 26/05/2023  
 Profondità prova 3,10 mt  
 Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	3	0	0,857	8,65	10,09	0,43	0,50
0,20	4	0	0,855	11,50	13,46	0,58	0,67
0,30	6	0	0,853	17,21	20,19	0,86	1,01
0,40	8	0	0,851	22,90	26,92	1,14	1,35
0,50	8	0	0,849	22,85	26,92	1,14	1,35
0,60	10	0	0,847	28,50	33,64	1,42	1,68
0,70	11	0	0,845	31,28	37,01	1,56	1,85
0,80	15	0	0,793	40,04	50,47	2,00	2,52
0,90	16	0	0,792	42,61	53,83	2,13	2,69
1,00	18	0	0,790	47,83	60,56	2,39	3,03
1,10	20	0	0,788	50,66	64,29	2,53	3,21
1,20	33	0	0,686	72,79	106,07	3,64	5,30
1,30	19	0	0,785	47,91	61,07	2,40	3,05
1,40	18	0	0,783	45,29	57,86	2,26	2,89
1,50	18	0	0,781	45,20	57,86	2,26	2,89
1,60	21	0	0,730	49,24	67,50	2,46	3,38
1,70	25	0	0,728	58,49	80,36	2,92	4,02
1,80	23	0	0,726	53,70	73,93	2,68	3,70
1,90	21	0	0,725	48,92	67,50	2,45	3,38
2,00	23	0	0,723	53,46	73,93	2,67	3,70
2,10	23	0	0,722	51,07	70,77	2,55	3,54
2,20	25	0	0,720	55,39	76,92	2,77	3,85
2,30	27	0	0,719	59,70	83,08	2,99	4,15
2,40	25	0	0,717	55,16	76,92	2,76	3,85
2,50	23	0	0,716	50,65	70,77	2,53	3,54
2,60	26	0	0,714	57,14	80,00	2,86	4,00
2,70	28	0	0,713	61,41	86,15	3,07	4,31
2,80	24	0	0,711	52,54	73,85	2,63	3,69
2,90	30	0	0,710	65,54	92,31	3,28	4,62
3,00	46	0	0,609	86,15	141,54	4,31	7,08
3,10	90	0	0,607	161,29	265,57	8,06	13,28

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3****TERRENI COESIVI****Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	3,8	0,30	Terzaghi-Peck	0,24
Strato 2	7,04	0,70	Terzaghi-Peck	0,44
Strato 3	16,79	2,90	Terzaghi-Peck	1,13

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	3,8	0,30	3,8	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	28,09
Strato 2	7,04	0,70	7,04	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	29,01
Strato 3	16,79	2,90	16,79	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	31,8

**Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	3,8	0,30	Robertson (1983)	7,60
Strato 2	7,04	0,70	Robertson (1983)	14,08
Strato 3	16,79	2,90	Robertson (1983)	33,58

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	3,8	0,30	Stroud e Butler (1975)	17,43
Strato 2	7,04	0,70	Stroud e Butler (1975)	32,30
Strato 3	16,79	2,90	Stroud e Butler (1975)	77,03

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	3,8	0,30	Apollonia	38,00
Strato 2	7,04	0,70	Apollonia	70,40
Strato 3	16,79	2,90	Apollonia	167,90

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	3,8	0,30	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato 2	7,04	0,70	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato 3	16,79	2,90	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	3,8	0,30	Meyerhof ed altri	1,69
Strato 2	7,04	0,70	Meyerhof ed altri	1,86
Strato 3	16,79	2,90	Meyerhof ed altri	2,08

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	3,8	0,30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,87
Strato 2	7,04	0,70	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,90
Strato 3	16,79	2,90	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---

## 5.9 DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Le prove penetrometriche dinamiche eseguite hanno permesso ricostruire dei modelli stratigrafici in linea con la geologia presente in letteratura.

Per permettere un più agevole confronto, i diagrammi Rpd delle tre prove sono stati riuniti all'interno del medesimo grafico per avere una visione d'insieme delle due prove.

Tutte le prove eseguite sono contraddistinte da un areato di superficie spesso 0,30 m, con valori di Rpd inferiori a 20 Kg/cm<sup>2</sup>, e costituito perlopiù una matrice argillosa-limosa alterata, frammista ad una componente organica (DP1 e DP2) e ad inclusi litici di dimensioni centimetriche (DP3).

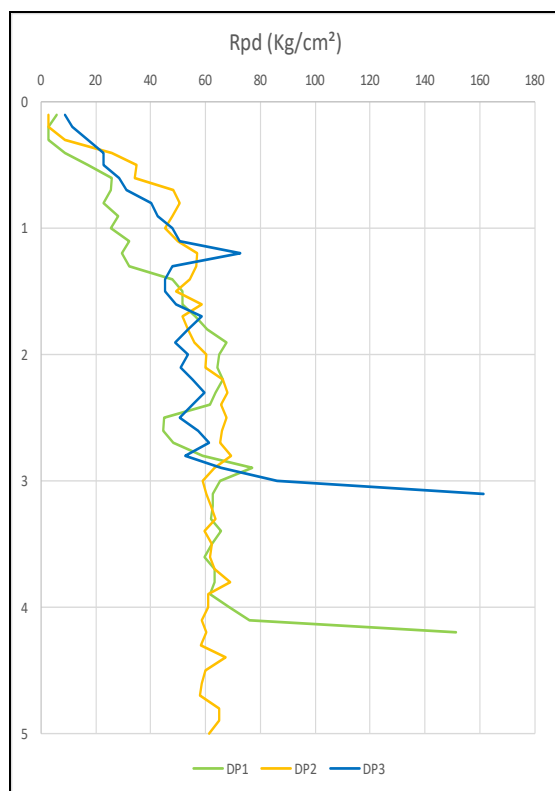


Figura 12 – Grafico comparative delle tre prove penetrometriche

Come si può evincere dall'esame del diagramma, da 0,3 fino a circa 1,5 m di profondità dal piano campagna, le tre prove sono caratterizzate da valori di Rpd poco affini tra loro e che si attestano in un range compreso tra 20 e 75 Kg/cm<sup>2</sup>; questa discrepanza di valori è correlabile alla diversa percentuale di argilla e/o limo presente in questo strato. A partire da circa 1,5 m da p.c. in tutte le prove si osservano parametri affini tra loro, con valori di Rpd che si attestano intorno 60 Kg/cm<sup>2</sup> e dunque correlabili alla predominanza della componente argilloso-limosa.

Riguardo le profondità d'indagine, le prove sono state eseguite sino ad una profondità di 4,20 m nella DP1, 5,00 m nella DP2 e 3,10 nella DP3.

Nella tabella seguente si riportano e si evidenziano i principali parametri geotecnici calcolati per i singoli strati delle relative prove, e le connesse interpretazioni.



Tabella 1 - Parametri geotecnici e strati correlati.

DP1								
	P.Iniz. (m)	P. Fin. (m)	Spessori (m)	Nspt	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0,0	0,30	0,3	0,76	0,05	27,22	Coesivi	Limo
Strato 2	0,3	1,30	1,0	6,28	0,39	28,79	Coesivi	Argilla limosa
Strato 3	1,3	4,10	2,8	21,93	1,48	33,27	Coesivi	Argilla
DP2								
	P.Iniz. (m)	P. Fin. (m)	Spessori (m)	Nspt	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,3	0,3	0,76	0,05	27,22	Coesivi	Limo
Strato 2	0,3	5,0	4,7	21,7	1,47	33,20	Coesivi	Argilla
DP3								
	P.Iniz. (m)	P. Fin. (m)	Spessori (m)	Nspt	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,3	0,3	3,8	0,24	28,09	Coesivi	Limo
Strato 2	0,3	0,7	0,4	7,04	0,44	29,01	Coesivi	Limo argilloso
Strato 3	0,7	2,9	2,2	16,79	1,13	31,80	Coesivi	Argilla limosa

Fin quanto detto, le 3 prove forniscono alcuni elementi stratigrafici correlabili tra loro, seppur con spessore e profondità diversa. In tutte le prove si riscontra un primo strato aerato di 0,30 m, seguito da uno strato a matrice prevalentemente limosa (talora mescolata con una componente argillosa nei primi 1,5 m) con inclusi di natura ciottolosa.

I valori medi di coesione della prova DP1 variano tra un minimo di 0,05 Kg/cm<sup>2</sup> (strato 1) e un massimo di 1,48 Kg/cm<sup>2</sup> (strato 3). In questo range di valori, rientrano le argille miste a componente organica (torba), argille e limi coesivi; tuttavia, il valore Nstp pari a 21,93 dello strato 3 suggerisce la presenza una piccola percentuale di limo incoerente. Secondo i criteri della Classificazione AGI, questi primi 3 strati sono costituiti da terreni con consistenza che va da scarsa (areato di superficie) ad elevata (argilla limosa). Per quanto riguarda i valori dell'angolo di attrito, questo si attesta tra 27,22° e 33,27°.

Per quanto riguarda la prova DP2, si individuano due strati con parametri correlabili a terreni di natura coesiva. Lo strato 1 (areato), con valori di coesione pari a 0,05 Kg/cm<sup>2</sup> e angolo di attrito 27,22°, è costituito per lo più da limi argillosi rimaneggiati e frammisti ad una componente organica. Lo strato 2, i cui valori di coesione e di angolo di attrito si attestano rispettivamente a 1,47 Kg/cm<sup>2</sup> e 33,20°, è composto da limo coesivo e in minor parte da limo incoerente (vedi valori Nstp nella Tabella 1). Secondo i criteri della Classificazione AGI, i terreni di questi due strati possono essere definiti rispettivamente come privo di consistenza e molto consistente.

La prova DP3, così come le precedenti, è caratterizzata da uno strato areato superficiale (strato 1) spesso circa 0,30 m; tuttavia, con valori di coesione che si attestano 0,24 Kg/cm<sup>2</sup>, si riscontra una minor rilevanza della componente organica e lo strato si classifica come poco consistente (classificazione AGI). Gli strati a seguire (2 e 3) sono caratterizzati da valori di coesione pari a 0,44 e 1,13 Kg/cm<sup>2</sup>,

rispettivamente indici di limi argillosi e di limi coesivi. Inoltre, il valore di  $N_{stp}$  16,79 (minore rispetto a quello riscontrato negli strati limosi delle prove DP1 e DP2) suggerisce che il limo individuato in questa prova si contraddistingue per la quasi totale assenza della componente incoerente. Per quanto riguarda i valori dell'angolo di attrito, questo si attesta tra  $28,09^\circ$  e  $31,80^\circ$ . Per i criteri della Classificazione AGI, tali terreni presentano una consistenza che va da scarsa (areato di superficie) ad elevata (limo).

### **5.10 BIBLIOGRAFIA**

*Carbone, S., Catalano, S., Grasso, M., Lentini, F., & Monaco, C. (1990). Carta geologica della Sicilia centro-orientale, scala 1: 50,000. S. EL. CA., Università di Catania.*

*Cestelli Guidi, C. (1980) – Geotecnica e tecnica delle fondazioni. Volumi 1 e 2. Ed Hoepli.*

*Lentini, F., Carbone, S., Catalano, S., Grasso, M., & Monaco, C. (1991). Presentazione della carta geologica della Sicilia centro-orientale. Memorie della Società Geologica Italiana, 47, 145-156.*

*Pasqualini, E. (1983): Standard Penetration Test – Atti dell'istituto di Scienza delle Costruzioni – Politecnico di Torino*

*Scesi, L., Papini, M. (2006). Il rilevamento geologico-tecnico, Torino, Città studi.*

*Vanelli, F. And Benassi, E.: (1983), Penetrómetro Dinámico Sunda DL030, Studio d Geologia e Meccanica dei Terreni, Bologna, Italia.*

## 6 INDAGINI GEOFISICHE

Ai fini della definizione del modello geologico-stratigrafico, per la definizione di elementi geometrici (spessori degli strati, variazioni, ecc.), della categoria di sottosuolo e per la valutazione dei parametri geomeccanici, in corrispondenza dei siti di progetto dei tralici sono state effettuate le seguenti indagini geofisiche:

- N. 3 tomografie sismiche a 16 canali, step 2 m, per una lunghezza “end to end shot” dello stendimento pari a 40 m;
- N. 3 prove MASW a 16 ricevitori per la definizione della sismostratigrafia e della categoria del sottosuolo ai sensi del D.M. 14/01/2008.

Le sezioni sismiche sono state effettuate nella direzione di massima pendenza, cosicché da ottenere le informazioni necessarie alla ricostruzione dei profili nelle verifiche di stabilità.

### 6.1 *Prospezione Sismica tomografica*

Per la ricostruzione geometrica e la caratterizzazione fisica ( $V_p$ ) dei terreni interessati ai fini progettuali sono state eseguite due tomografie sismiche assiali di superficie allo scopo di restituire la struttura del substrato come “immagine” bidimensionale di velocità delle onde sismiche longitudinali.

La tomografia sismica ha il compito di stabilire le proprietà dinamiche in sito dei terreni di fondazione, individuare eventuali discontinuità, cavità o strati particolarmente poco consistenti presenti nel sottosuolo, mediante la definizione della velocità e della direzione di propagazione delle onde elastiche generate da sorgenti artificiali.

La velocità di propagazione in un terreno è legata essenzialmente alle proprietà elastiche ed alla densità, che a sua volta dipende dalla porosità, dal grado di fratturazione, dal contenuto in acqua e dalla composizione chimica. Ogni variazione di questo fattore influenza il valore della densità provocandone, quindi, una corrispondente variazione della velocità di propagazione delle onde sismiche.

I dati sismici ottenuti (tempi d’arrivo delle onde longitudinali), sono stati trattati tomograficamente, al fine di ricostruire profili 2D lungo le sezioni sismiche investigate.

In fase di elaborazione dei dati è stato applicato il metodo di interpretazione dei dati noto come Generalized Simulated-Annealing Optimization.

Il G.S.A.O. è un modello di calcolo che consente una procedura non lineare dell’inversione dei tempi di primo arrivo delle fasi dirette e rifratte delle onde sismiche registrate durante una prospezione sismica superficiale a rifrazione.

Il vantaggio di tale tecnica è nell’assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che vengono eseguite nel processo d’elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

- Calcolo dei travel - time attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell’errore minimo quadrato ( $E_0 = \text{least-square error}$ ), tra il travel – time calcolato e quello osservato.

Per ogni iterazione  $i$  è possibile definire il “least–square error” secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N} \left[ \sum_{j=1}^N (t_j^{obs} - t_j^{cal})^2 \right] \quad (1)$$

dove N è il numero di campioni, j denota ogni osservazione, e tobs e tcal sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

- Perturbazione del modello di velocità mediante l'inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo "least – square error" E1.
- Determinazione della probabilità P di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$P = 1; \quad E_1 \leq E_0 \quad (2)$$

$$P = P_c = \exp \left[ \frac{(E_{\min} - E_1)^q \Delta E}{T} \right]; \quad E_1 > E_0 \quad (3)$$

dove Pc è la probabilità di accettare la condizione,  $\Delta E = E_0 - E_1$ , q è una costante d'integrazione (che si determina empiricamente), ed Emin è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali.

Teoricamente si ha Emin = 0.

L'equazione (2), media tutti i valori accettati dal nuovo modello, laddove l'errore minimo quadrato (least – square error) è minore nell'iterazione prevista.

Ciò consente, durante l'inversione dei dati, di sfuggire dall'intorno dei minimi locali, andando alla ricerca del minimo globale.

- Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell'errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

## 6.2 Strumentazione utilizzata

Per la realizzazione delle prospezioni sismiche in oggetto è stato utilizzato un sismografo a memoria incrementale per sismica a rifrazione e riflessione della MAE, modello A6000-S a 24 canali con risoluzione del segnale a 24 bit per canale.

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura utilizzata.


4DATI TECNICI DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA		
MODELLO SISMOGRAFO <b>M.A.E. A-6000-S</b>	N. CANALI <b>24 (differenziali)</b>	
CONVERSIONE A/D <b>24 bit a singolo canale</b>	CAMPIONI PER CANALE <b>10.922</b>	
CAMPIONAMENTO <b>50-50.000 camp./sec.</b>	LARGHEZZA DI BANDA <b>0-25 KHz</b>	
BAND REJECT <b>110dB@50Hz</b>	AMPIEZZA MAX. IN INGRESSO <b>10Vpp,0dB</b>	
FORMATO DATI <b>SEG-2 standard</b>	SISTEMA OPERATIVO <b>Windows XP Embedded</b>	
IMPEDENZA D'INGRESSO <b>220 kOhm@0dB</b>	RUMORE <b>250nV/@2mS, 36dB</b>	



Figura 13 – Geofoni verticali – freq. 4.5 hz

Per le operazioni di campo, inerenti l'esecuzione dell'indagine geofisica, sono stati inoltre utilizzati i seguenti accessori:

N. 2 Cavi sismici multipolari in Purex da 60 metri, 12 take-out, intervallo 5 metri;

N. 24 geofoni verticali, frequenza 4.5 Hz.

N. 24 geofoni verticali, frequenza 14.0 Hz.

DENOMINAZIONE:

**6.3 Sezione sismica tomografica TS1**

NUMERO GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	NUMERO SHOT	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA
16	2 m	3	40 m	6 m



Figura 14 – Ubicazione dello stendimento sismico Ts1-mw1.

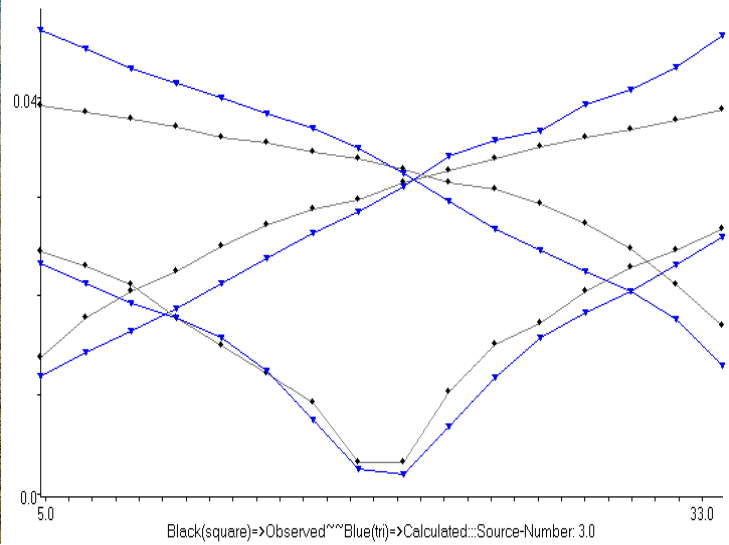


Figura 15 – Immagine stendimento sismico (sn.); dromocrone misurate e calcolate

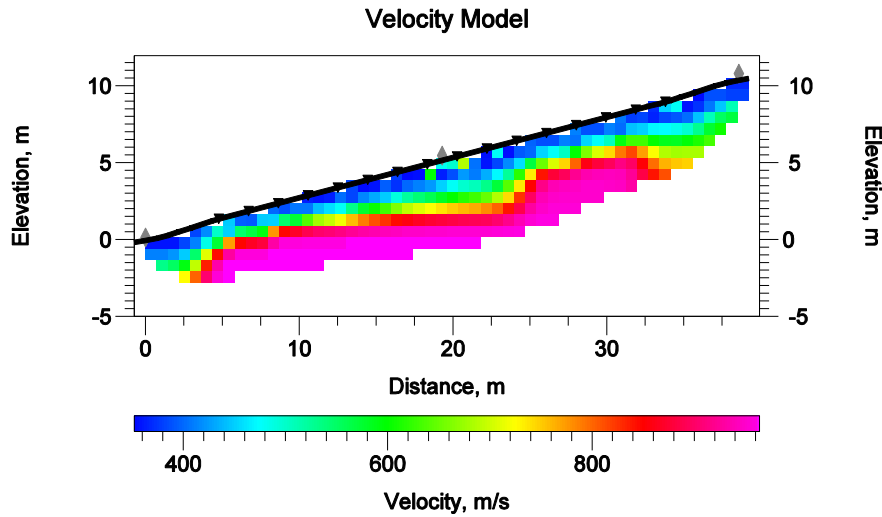


Figura 16 – Tsl – Restituzione sezione tomografica

L'analisi di tipo tomografico dei dati sismici ha permesso la definizione puntuale delle velocità sismiche lungo una sezione bidimensionale ad elevata risoluzione. Attraverso questo tipo di sviluppo è emersa una sismostratigrafia a tre sismostrati, secondo il seguente schema:

Sismostrato	Vp media (m/s)	Spessore min.-max.(m)	Litologia
1	400	0,4 – 0,8	Coltre superficiale
2	650	1,0 – 1,8	Limi argillosi moderatamente consistenti
3	1000	---	Argille limose mediamente consistenti

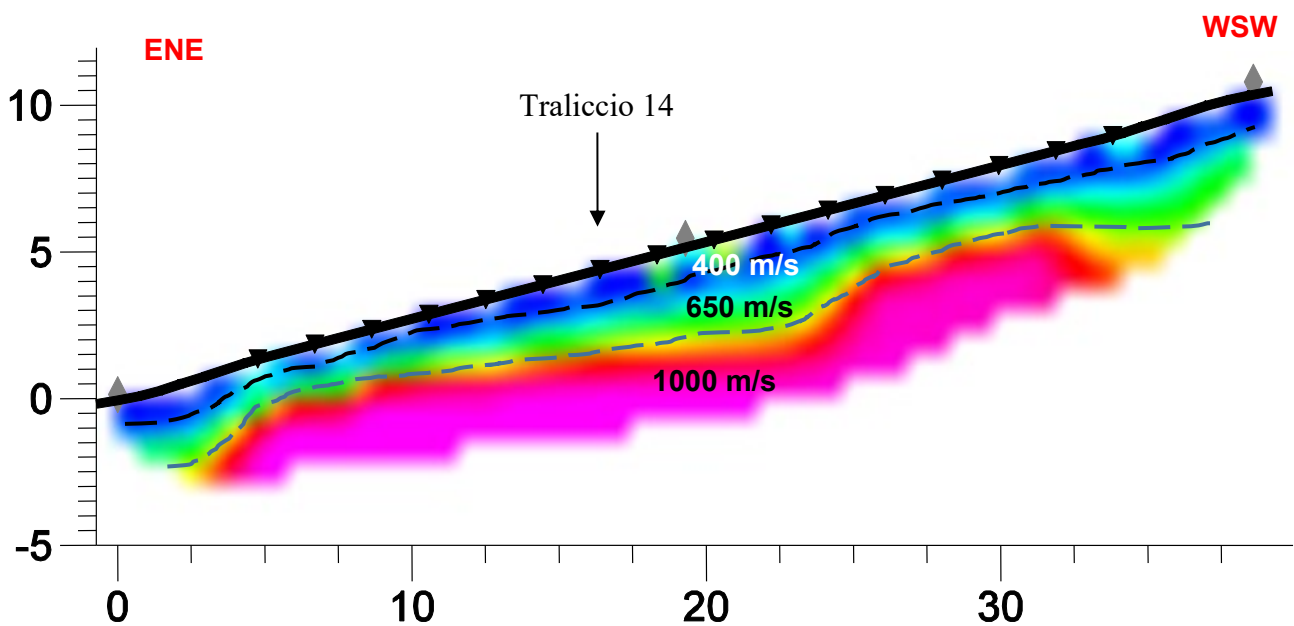


Figura 17 – Tsl - Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE:

**6.4 Sezione sismica tomografica TS2**

NUMERO GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	NUMERO SHOT	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA
16	2 m	3	40 m	7 m

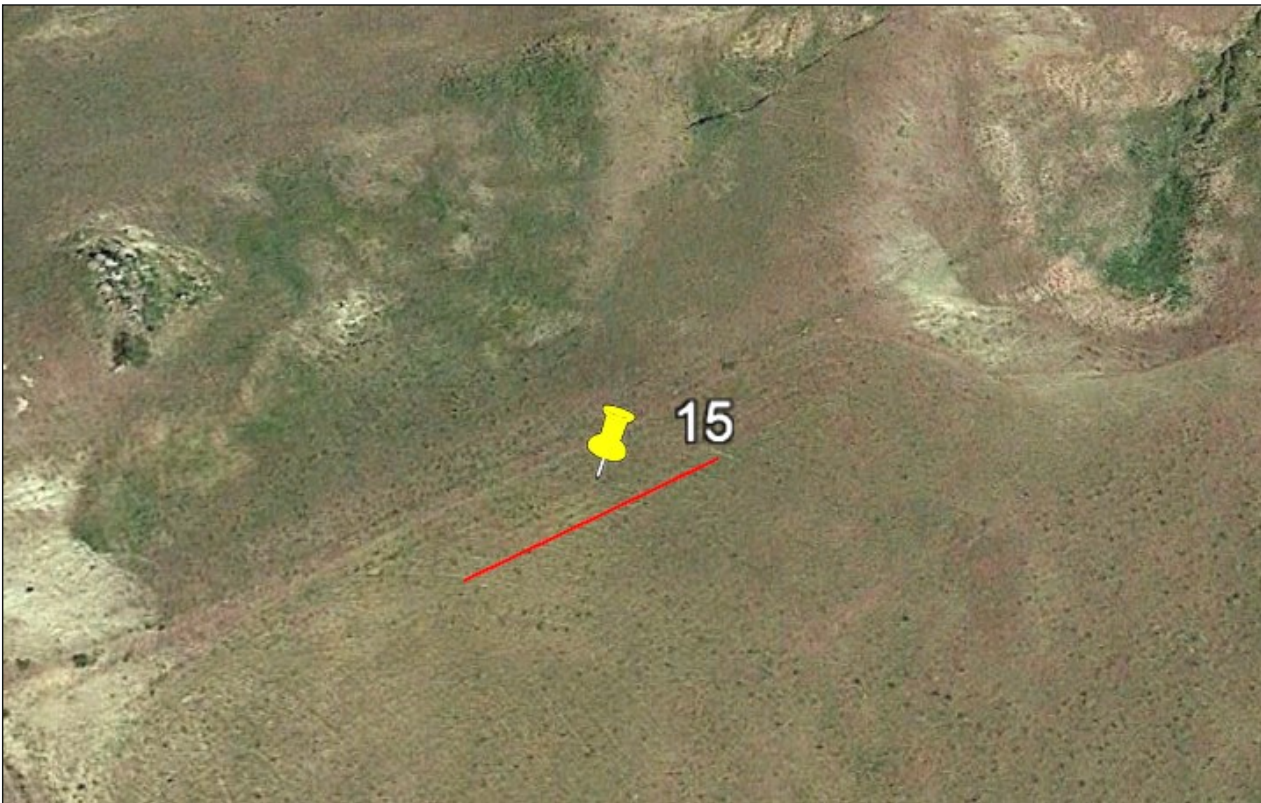


Figura 18 – Ubicazione dello stendimento sismico Ts2-mw2.

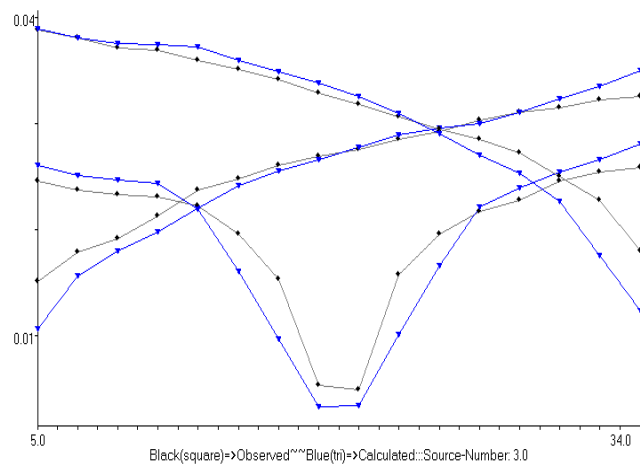


Figura 19 – Immagine stendimento sismico (sn.); dromocrone misurate e calcolate (dx)



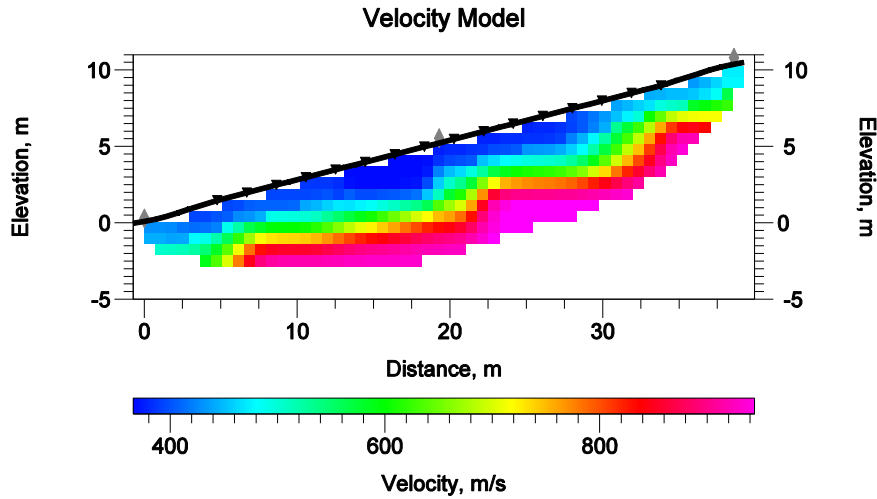


Figura 20 – Ts1 – Restituzione sezione tomografica

L'analisi di tipo tomografico dei dati sismici ha permesso la definizione puntuale delle velocità sismiche lungo una sezione bidimensionale ad elevata risoluzione. Attraverso questo tipo di sviluppo è emersa una sismostratigrafia a tre sismostrati, secondo il seguente schema:

Sismostrato	Vp media (m/s)	Spessore min.-max.(m)	Litologia
1	400	0,4 – 1,8	Coltre superficiale
2	650	1,5 –2,0	Limi argillosi moderatamente consistenti
3	1000	---	Argille limose mediamente consistenti

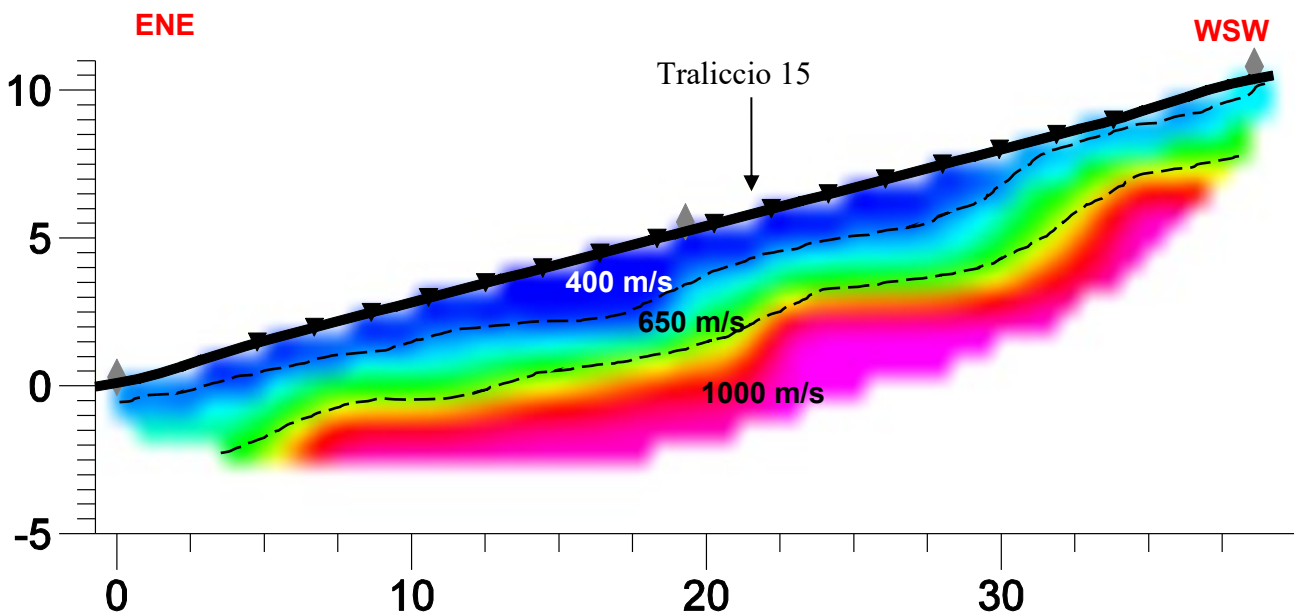


Figura 21 – Ts2- Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>1.1 Sezione sismica tomografica TS3</b>				
NUMERO GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	NUMERO SHOT <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>7 m</b>

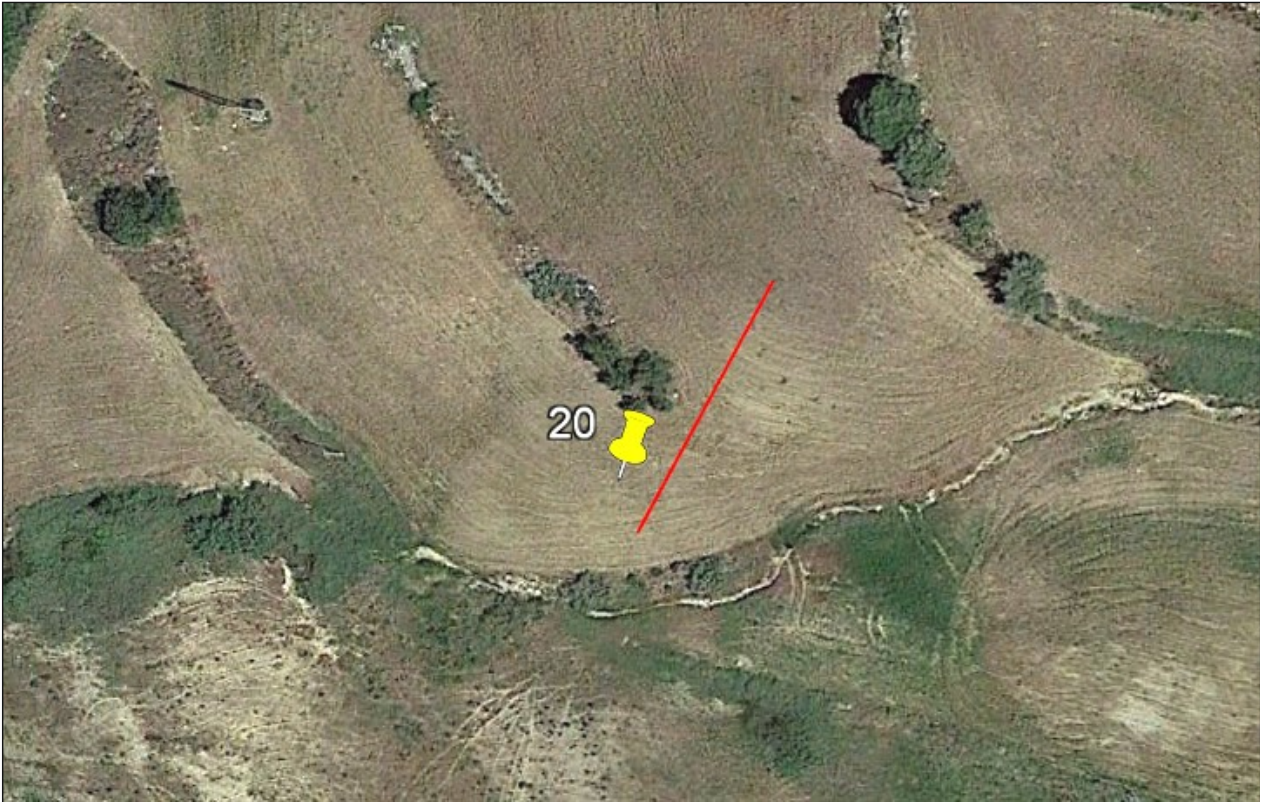


Figura 22 – Ubicazione dello stendimento sismico Ts3-mw3.

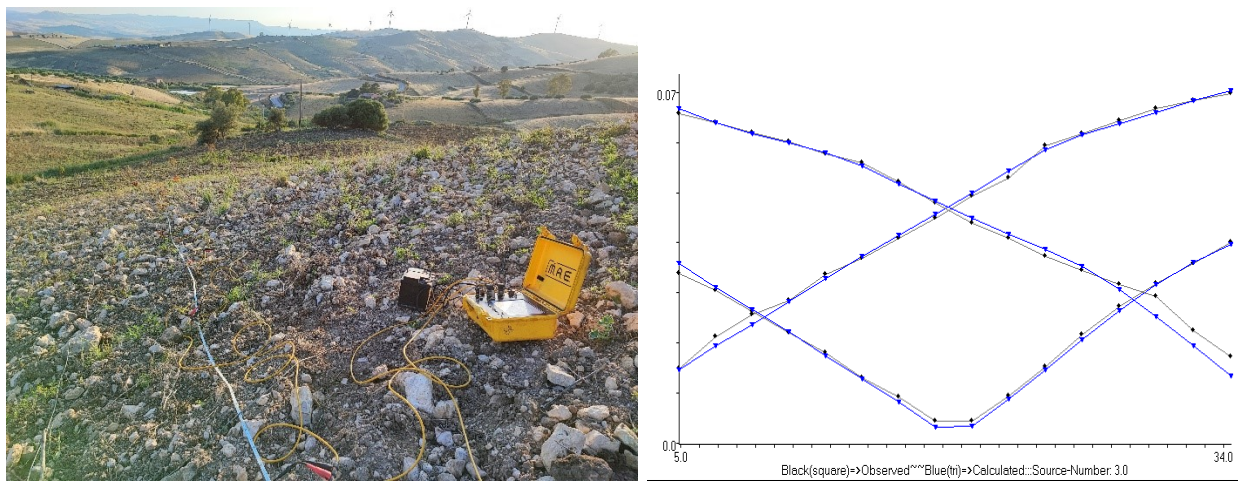


Figura 23 – Immagine stendimento sismico (sn.); dromocrone misurate e calcolate (dx)

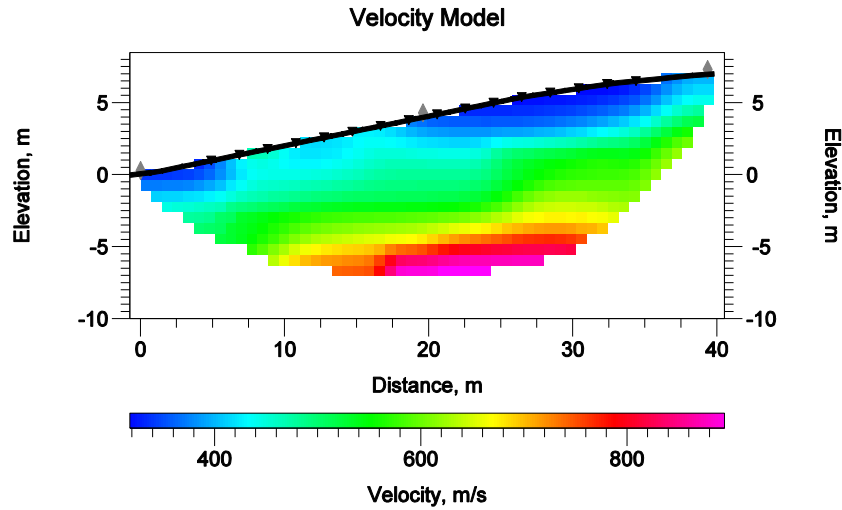


Figura 24 – Ts3 – Restituzione sezione tomografica

L'analisi di tipo tomografico dei dati sismici ha permesso la definizione puntuale delle velocità sismiche lungo una sezione bidimensionale ad elevata risoluzione. Attraverso questo tipo di sviluppo è emersa una sismostratigrafia a tre sismostrati, secondo il seguente schema:

Sismostrato	Vp media (m/s)	Spessore min.-max.(m)	Litologia
1	320	0,3 – 1,8	Coltre superficiale
2	520	5,0 – 6,0	Detrito limoso argilloso poco consistente
3	950	---	Argille limose mediamente consistenti

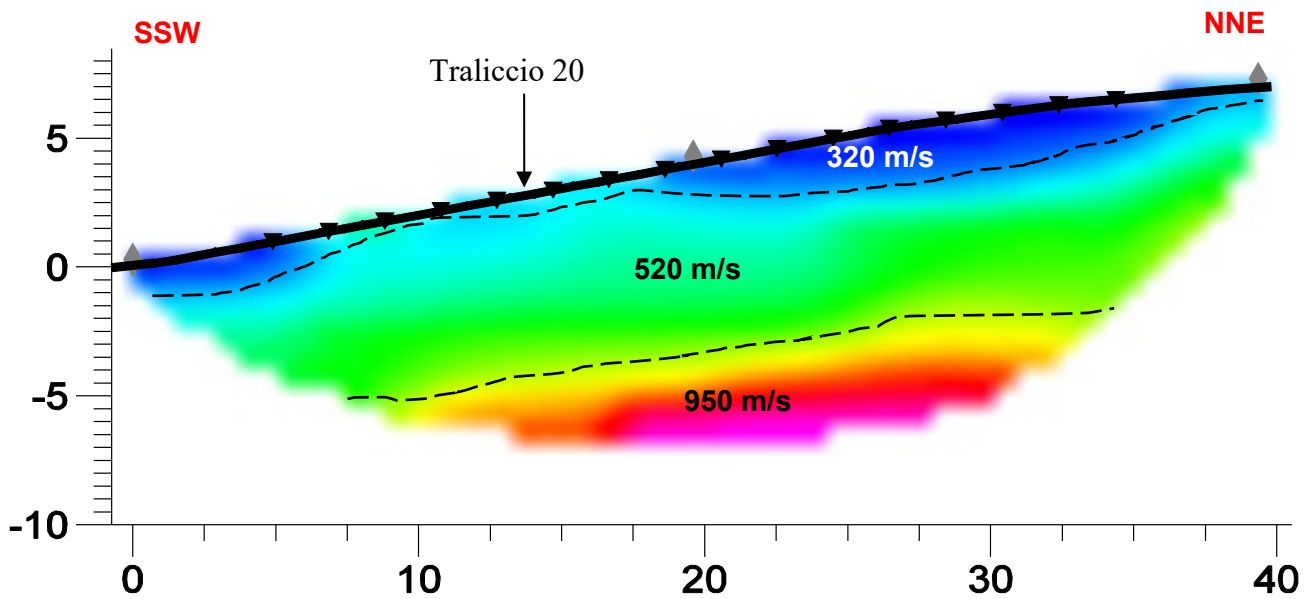


Figura 25 – Ts3- Modello sismostratigrafico del sottosuolo

## 7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

### 7.1 Generalità

La nuova normativa tecnica per le costruzioni in aree sismiche, il D.M. del 17 gennaio 2018, conferma le importanti innovazioni del D.M. 14.01.08, introdotte in merito alla progettazione antisismica che ci adegua allo standard europeo e mondiale (Ordinanza 3274/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri, Eurocodici EC7 ed EC8). Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata confermata la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E), eliminando invece le categorie S1 ed S2, sulla base del parametro  $V_{s,eq}$ . Questo rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde S dei terreni poggianti sul substrato rigido, a profondità H (m), con  $V_s$  pari o superiore ad 800 m/s, calcolati a partire dalla quota di base delle fondazioni, ed è calcolato mediante l'espressione:

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

dove H rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore ad 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore o pari a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati del terreno fino a quella profondità.

Viene in sostanza confermata l'importanza del parametro  $V_s$  che, com'è noto, è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

### 7.2 Prospezione MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30 m-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo. Nella presente indagine si effettua il metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30 m di profondità. Il metodo passivo è più usato quando si ha interesse ad avere informazioni, comunque meno precise, sugli strati più profondi.

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica;
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson  $\nu$ , la densità di massa  $\rho$  e si variano lo spessore  $h$  e la velocità  $V_s$  degli strati. Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità  $V_s$  e degli spessori  $h$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica (Roma, 2001-2, Joh, 1998) la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

### 7.2.1 Bibliografia

- Dorman, J., Ewing, M., 1962. *Numerical inversion of seismic surface wave dispersion data and crust-mantle structure in the New York-Pennsylvania area.* *J.Geophys. Res.* 67,5227-5241
- Louie, J., 2001. *Faster, Better: Shear Wave Velocity to 100 meters Depth from Refraction Microtremor Arrays.* *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91, 2, 347-364 aprile
- Nakamura, Y., 1989. *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on ground surface.* *QR Rayln.Tech. Res.Inst.*, 30, 25-33.
- Nazarian, S. e Stokoe, K. H., 1984. *In situ shear wave velocities from spectral analysis of surface waves in Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, vol.8, San Francisco, 21-28 luglio*
- Park, C. B., R. D. Miller e Xia, J., 1999. *Multi-channel analysis of surface waves,* *Geophys.* 64, 800-808
- Rayleigh, W., 1885. *On waves propagated along the plane surface of an elastic solid.* *London Mathematical Soc.Proc.*, 17:4-11
- Roma, V., 2006. *Caratterizzazione sismica del sottosuolo con il metodo MASW.*
- Romeo R.W., 2007. *La risposta sismica locale per la progettazione strutturale.* *International Centre for Mechanical Sciences*
- Dal Moro G., 2012. *Onde di superficie nella Geofisica Applicata.* Dario Flaccovio ed.

DENOMINAZIONE:						
<b>1.3 Profilo MW1 (Traliccio 14)</b>						
NUMERO GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PASSO DI CAMPIONAMENTO	OFFSET	CAMPIONI ACQUISITI PER CANALE	LUNGHEZZA FINESTRA DI ACQUISIZIONE
16	2 m	30 m	2 millisec.	5.0 m	2048	4,1 sec

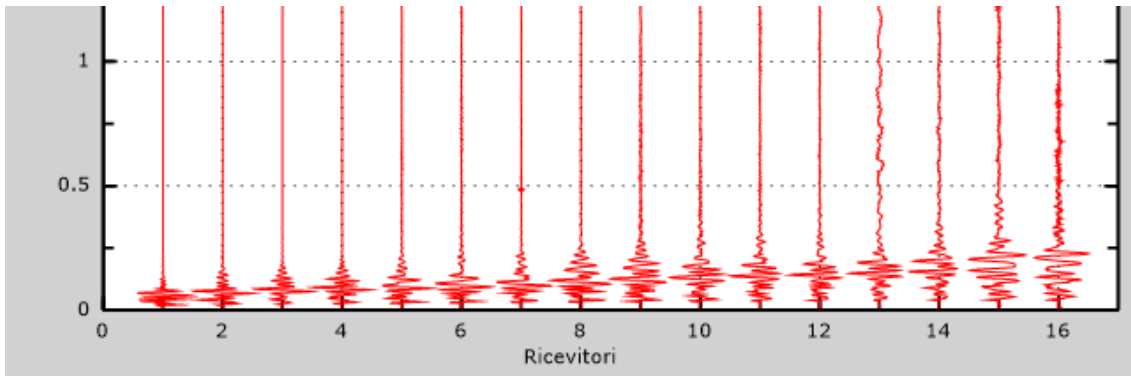


Figura 26 Serie tracce temporali

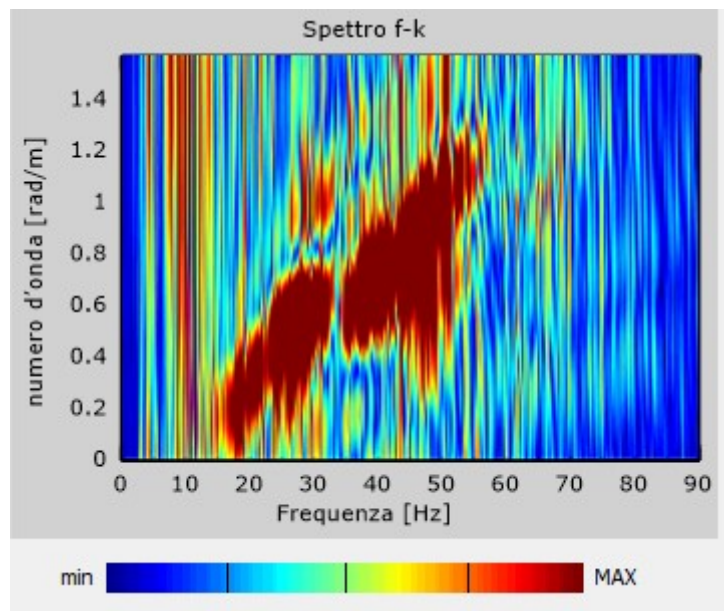


Figura 27–Spettro f-k

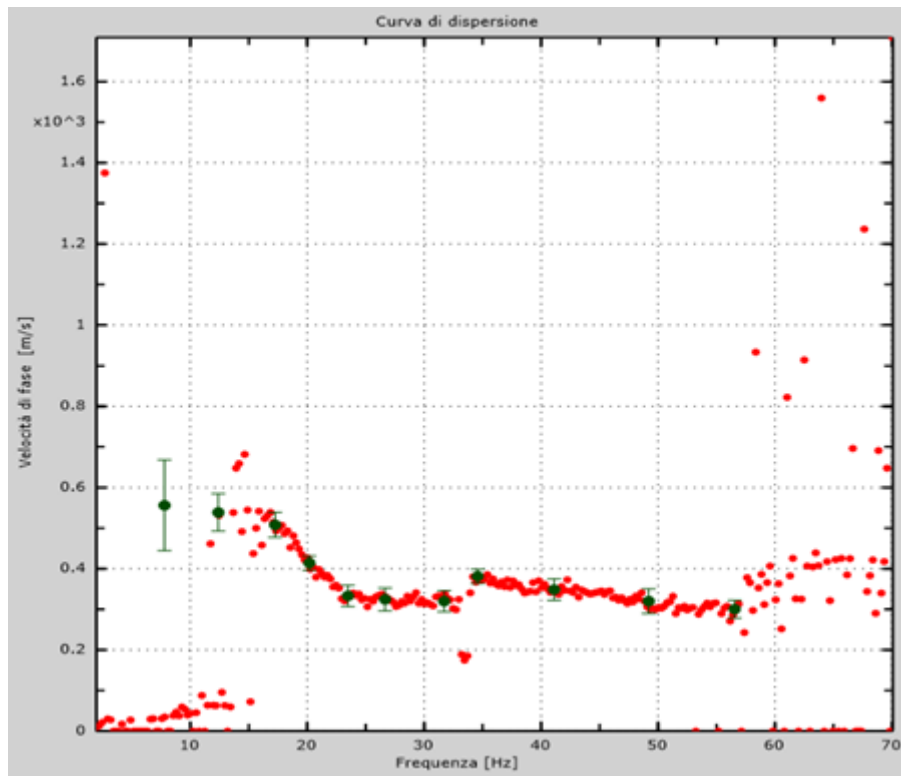


Figura 28 – Curva di dispersione sperimentale

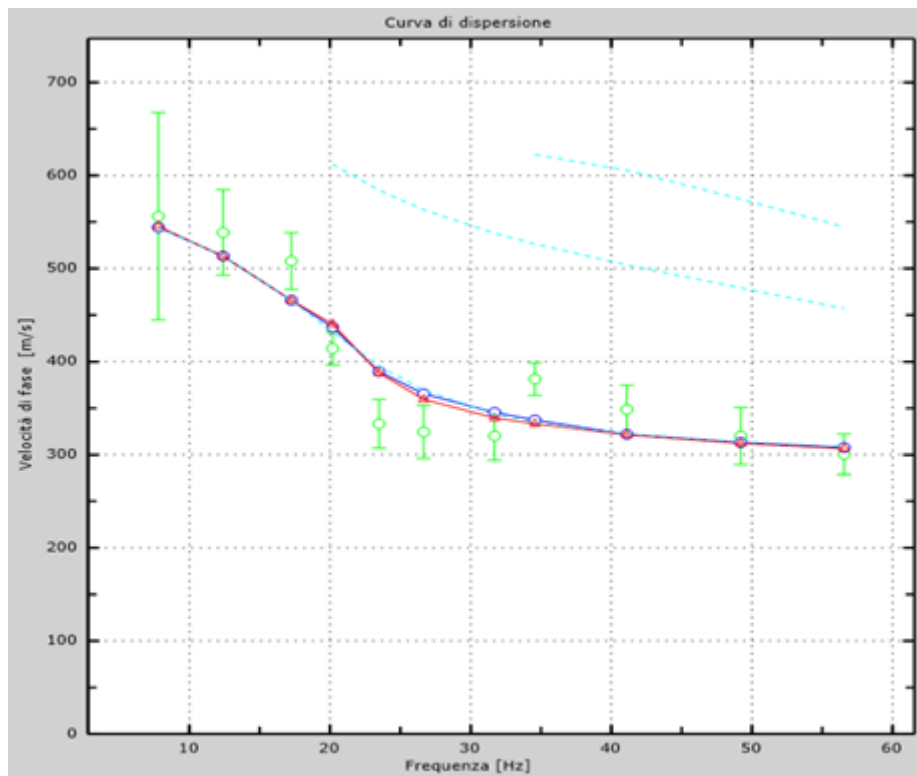


Figura 29 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)

### 7.3 Descrizione dei risultati

La modellazione del sottosuolo per inversione diretta ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale a 8 intervalli dell'andamento delle Vs in sottosuolo.

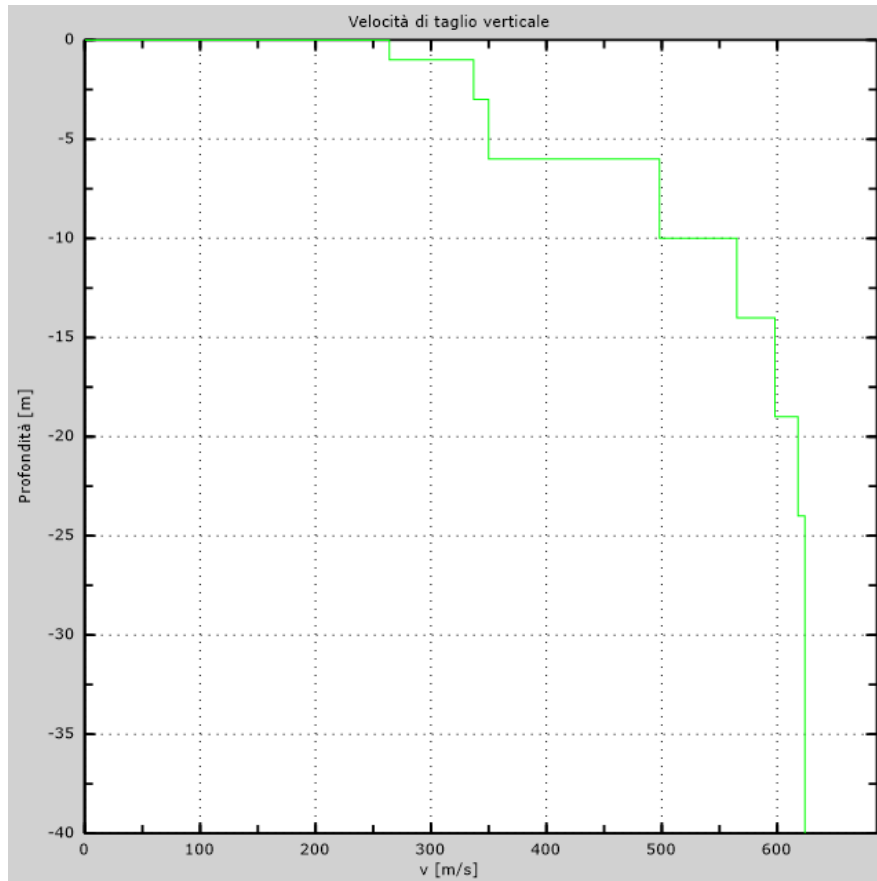


Figura 30 – Modello Vs 1-D del sottosuolo

Il profilo Vs mostra valori di velocità bassi entro il primo metro di profondità, correlabili con il terreno di copertura vegetale scarsamente consistente; inferiormente, fino a 6 m circa di profondità si hanno valori di Vs intorno a 340 m/s, correlabile con limi argillosi moderatamente addensati, per passare inferiormente alle argille inalterate del substrato, molto consistenti, con valori di Vs intorno a 600 m/s. Tali velocità possono presupporre anche la presenza di strati arenacei lapidei in alternanza alle argille. Con le Vs osservate si delinea complessivamente un profilo di rigidità medio, ove non viene raggiunta la velocità di 800 m/s. In queste condizioni, la velocità equivalente Vs introdotta dal D.M. 17.01.18 corrisponde al valore  $V_{S30}$  in quanto, nell'espressione:

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



il termine H assume il valore di 30 m, riconducendo il calcolo della velocità equivalente al consueto valore di  $V_{S30}$  della precedente normativa.

Il valore di  $V_{S,eq}$  calcolato è il seguente:

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	264	0,004
2	1.0-3.0	2,0	337	0,006
3	3.0-6.0	3,0	350	0,009
4	6.0-10.0	4,0	498	0,008
5	10.0-14.0	4,0	565	0,007
6	14.0-19.0	5,0	598	0,008
7	19.0-24.0	5,0	618	0,008
8	24.0-30.0	6,0	624	0,010
$\Sigma$	□	30,0	$\Sigma$	0,059
			$V_{S,eq} =$	<b>504,43</b>

Il sottosuolo in oggetto, sotto il profilo delle velocità sismiche, è riconducibile alla **Categoria B** di cui al D.M. 17/01/2018.

DENOMINAZIONE:						
<b>7.4 Profilo MW2 (Traliccio 15)</b>						
NUMERO GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PASSO DI CAMPIONAMENTO	OFFSET	CAMPIONI ACQUISITI PER CANALE	LUNGHEZZA FINESTRA DI ACQUISIZIONE
16	2 m	30 m	2 millisec.	5.0 m	2048	4,1 sec

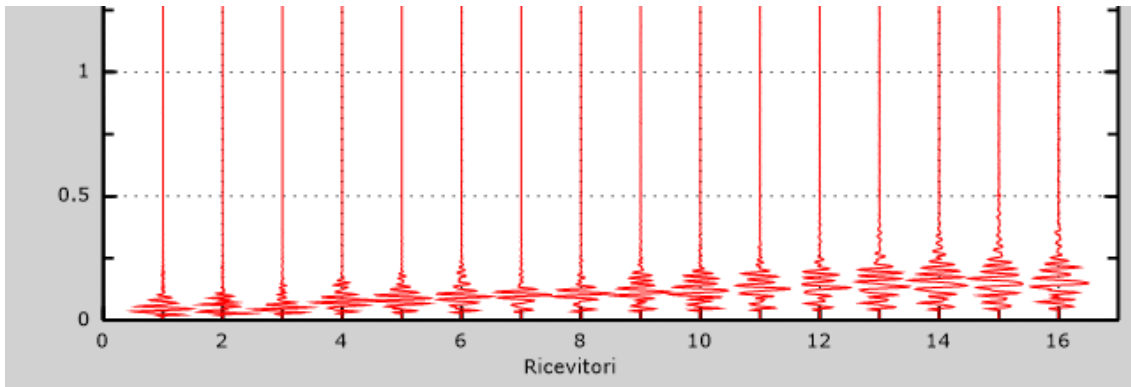


Figura 31 Serie tracce temporali

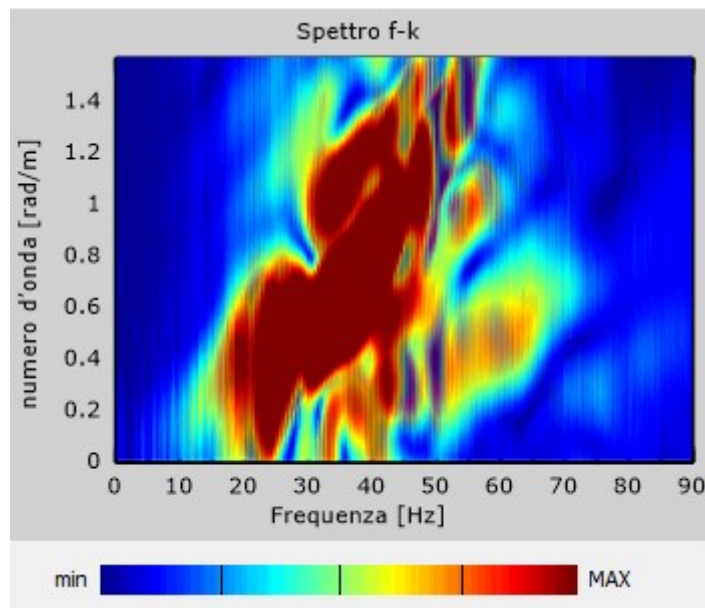


Figura 32 -Spettro f-k

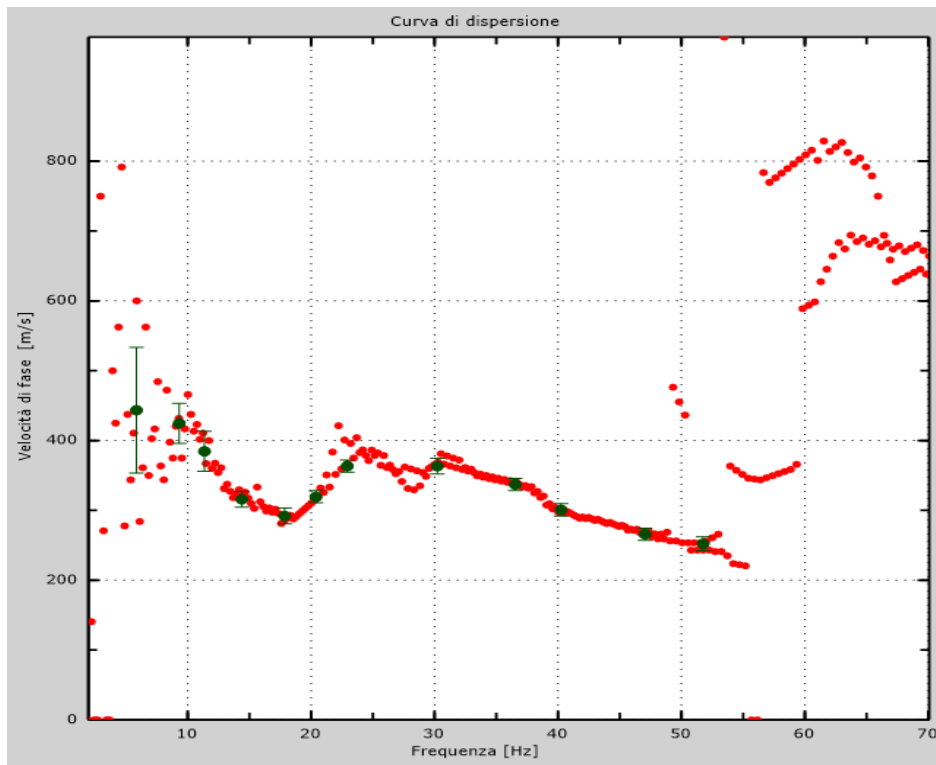


Figura 33 – Curva di dispersione sperimentale

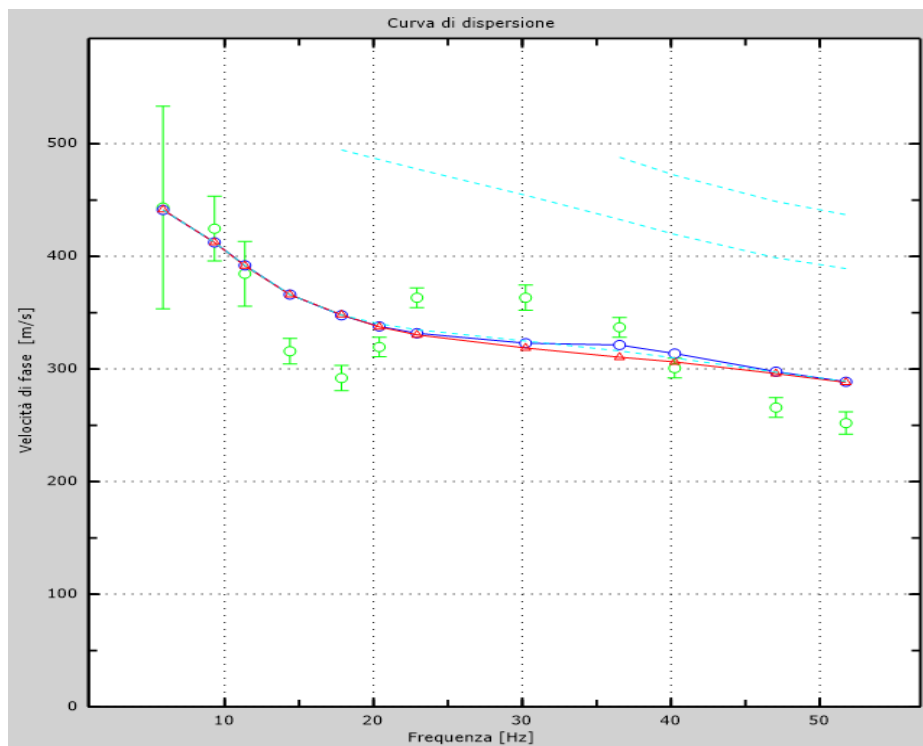


Figura 34 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)

## 7.5 Descrizione dei risultati

La modellazione del sottosuolo per inversione diretta ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale a 8 intervalli dell'andamento delle Vs in sottosuolo.

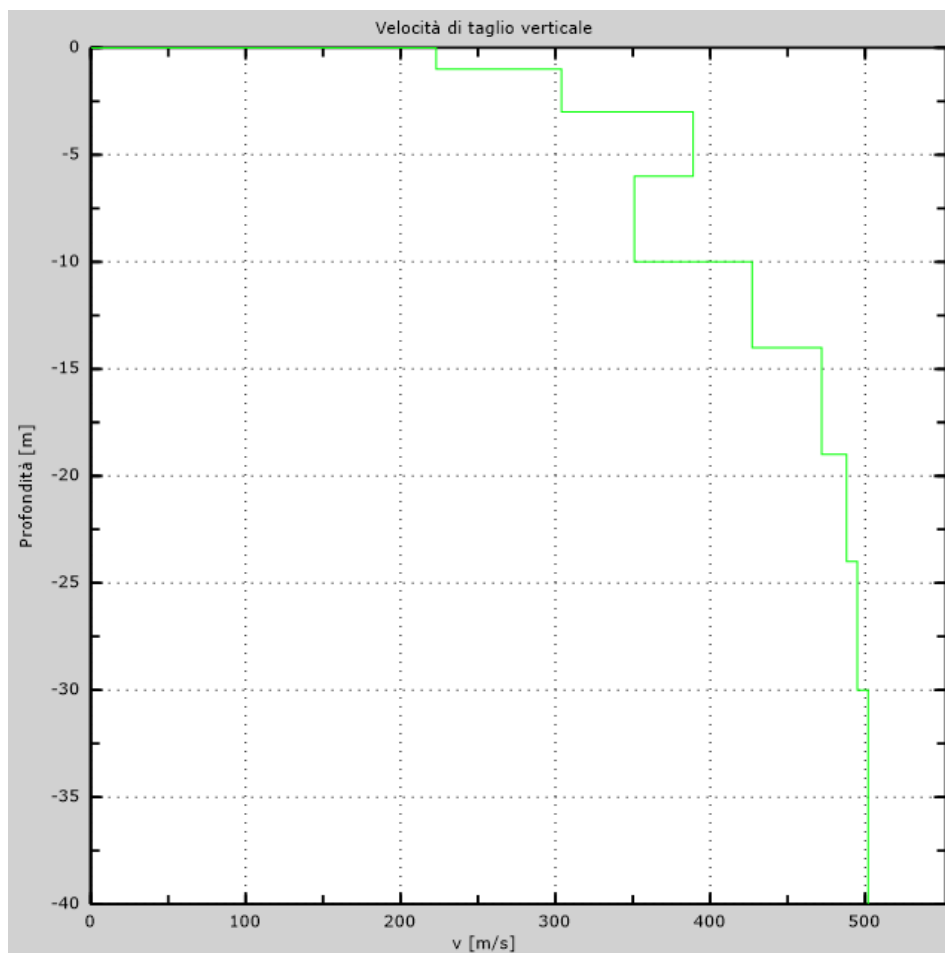


Figura 35 – Modello Vs 1-D del sottosuolo

Il profilo Vs mostra valori di velocità bassi entro il primo metro di profondità, correlabili con il terreno di copertura vegetale scarsamente consistente; inferiormente, si assiste ad una progressiva crescita dei valori di velocità, ad eccezione di una modesta inversione di velocità a 6 m di profondità presumibilmente dovuta a differente tenore di umidità e consistenza del terreno,

Le Vs del substrato si attestano intorno a 500 m/s, correlabile con terreni argillosi molto consistenti, tipici del Flysch numidico affiorante nell'area.

Con le Vs osservate si delinea complessivamente un profilo di rigidità medio, ove non viene raggiunta la velocità di 800 m/s. In queste condizioni, la velocità equivalente Vs introdotta dal D.M. 17.01.18 corrisponde al valore  $V_{S30}$  in quanto, nell'espressione:

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

il termine H assume il valore di 30 m, riconducendo il calcolo della velocità equivalente al consueto valore di  $V_{S30}$  della precedente normativa.

Il valore di  $V_{S,eq}$  calcolato è il seguente:

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	223	0,004
2	1.0-3.0	2,0	304	0,007
3	3.0-6.0	3,0	389	0,008
4	6.0-10.0	4,0	351	0,011
5	10.0-14.0	4,0	427	0,009
6	14.0-19.0	5,0	472	0,011
7	19.0-24.0	5,0	488	0,010
8	24.0-30.0	6,0	495	0,012
Σ	□	30,0	Σ	0,072
			$V_{S,eq} =$	<b>413,80</b>

Il sottosuolo in oggetto, sotto il profilo delle velocità sismiche, è riconducibile alla **Categoria B** di cui al D.M. 17/01/2018.

DENOMINAZIONE:						
<b>7.6 Profilo MW3 (Traliccio 20)</b>						
NUMERO GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PASSO DI CAMPIONAMENTO	OFFSET	CAMPIONI ACQUISITI PER CANALE	LUNGHEZZA FINESTRA DI ACQUISIZIONE
16	2 m	30 m	2 millisec.	5.0 m	2048	4,1 sec

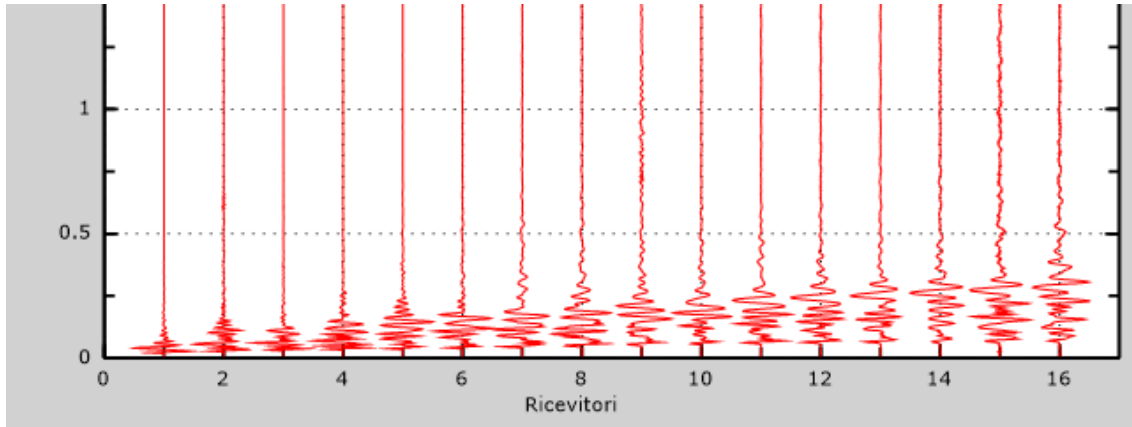


Figura 36 Serie tracce temporali

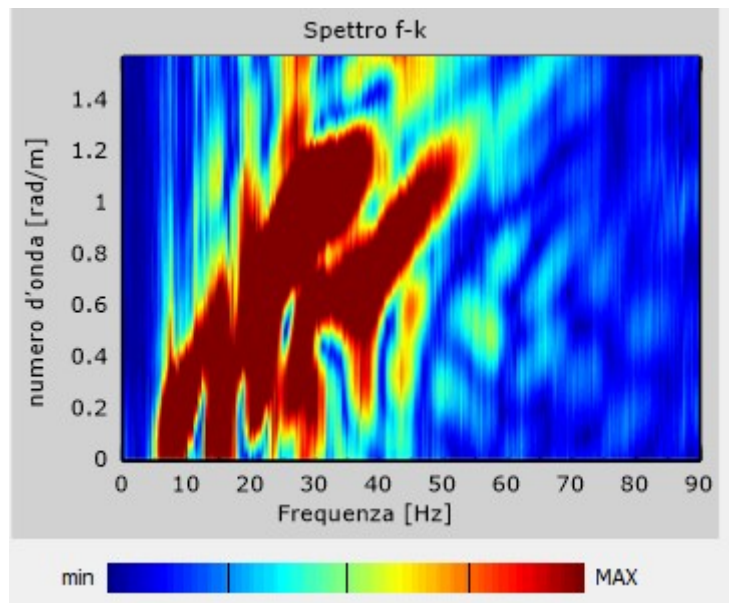


Figura 37–Spettro f-k

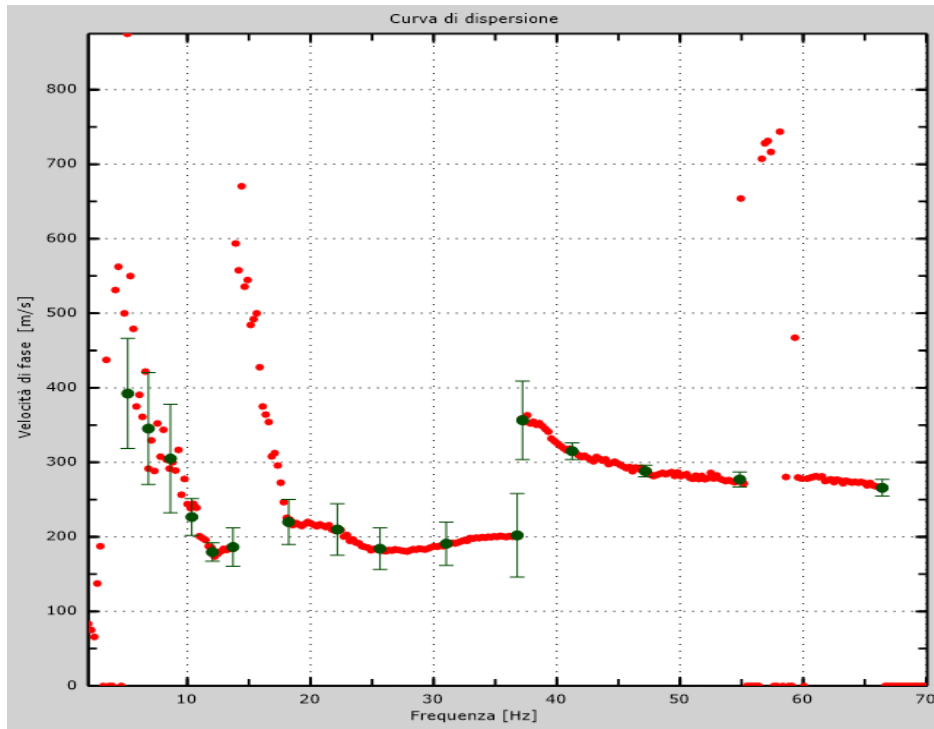


Figura 38 – Curva di dispersione sperimentale

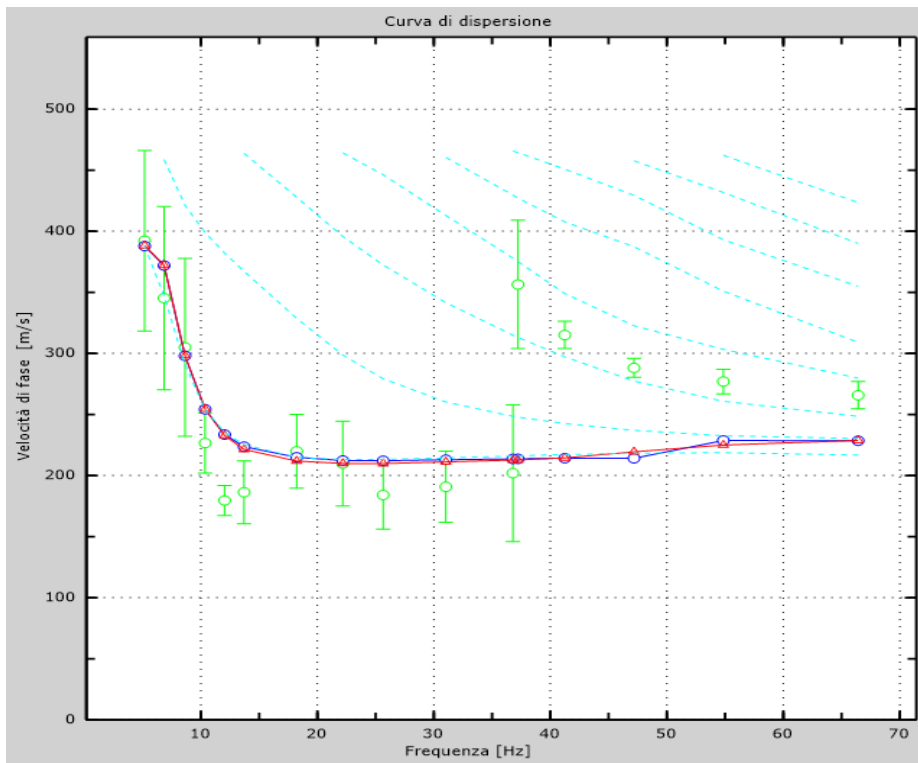


Figura 39 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)

## 7.7 Descrizione dei risultati

La modellazione del sottosuolo per inversione diretta ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale a 8 intervalli dell'andamento delle Vs in sottosuolo.

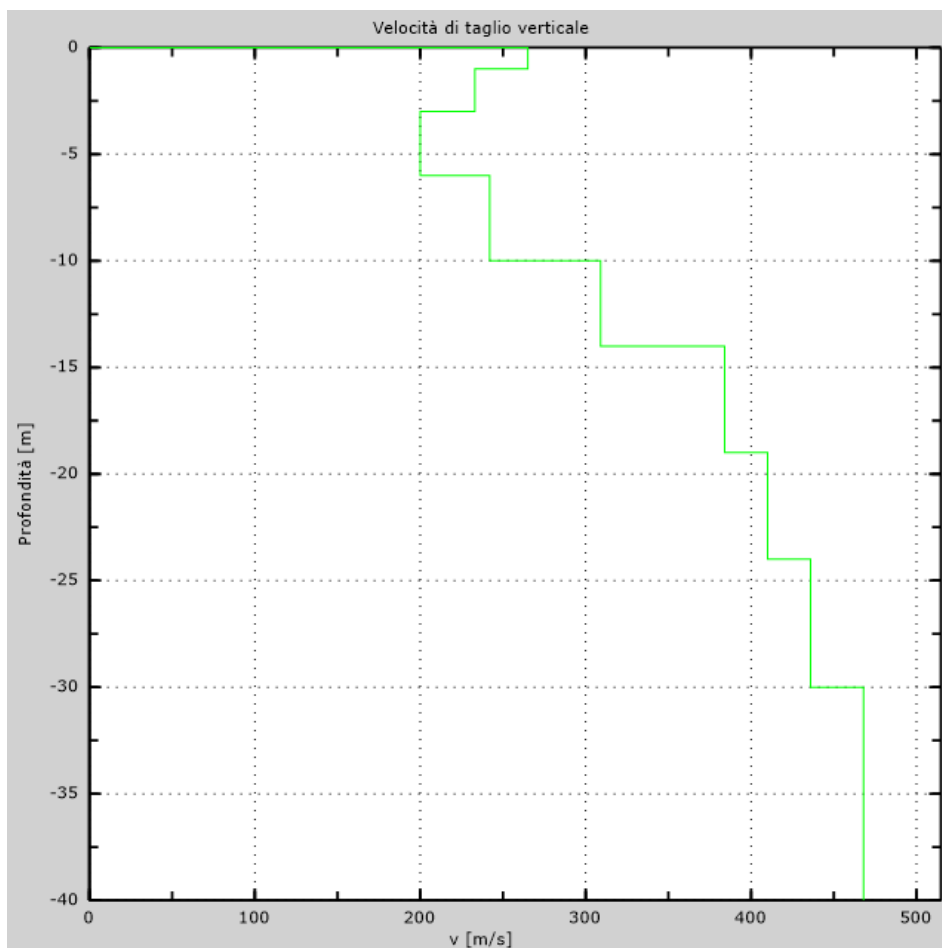


Figura 40 – Modello Vs 1-D del sottosuolo

Il profilo Vs evidenzia una inversione di velocità superficiale imputabile ad aumento della compattezza del terreno per disidratazione. Inferiormente, fino a 6 m circa, le Vs si attestano intorno a 200-230 m/s per poi incrementarsi gradualmente con la profondità per via dell'incremento del carico litostatico e dell'addensamento dei costituenti. Nel suo complesso, il profilo mostra una rigidità medio-bassa.

Poiché entro 30 m di profondità non viene raggiunta la velocità di 800 m/s, la velocità equivalente Vs introdotta dal D.M. 17.01.18 corrisponde al valore  $V_{S30}$ , in quanto, nell'espressione:



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

il termine H assume il valore di 30 m, riconducendo il calcolo della velocità equivalente al consueto valore di  $V_{S30}$  della precedente normativa.

Il valore di  $V_{S,eq}$  calcolato è il seguente:

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	265	0,004
2	1.0-3.0	2,0	233	0,009
3	3.0-6.0	3,0	200	0,015
4	6.0-10.0	4,0	242	0,017
5	10.0-14.0	4,0	309	0,013
6	14.0-19.0	5,0	384	0,013
7	19.0-24.0	5,0	410	0,012
8	24.0-30.0	6,0	436	0,014
Σ	□	30,0	Σ	0,096
			$V_{S,eq} =$	<b>313,12</b>

Il sottosuolo in oggetto, sotto il profilo delle velocità sismiche, è riconducibile alla **Categoria C** di cui al D.M. 17/01/2018.

Il geologo  
Dott. Domenico Boso