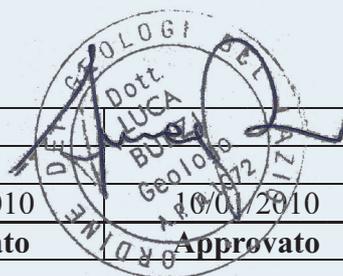




REGIONE BASILICATA

**PARCO EOLICO SERRA GAGLIARDI
GENZANO DI LUCANIA (PZ)**

ELABORATO DI PROGETTO



Em./Rev.	Data	Red./Dis.	Verificato	Approvato	Descrizione
2					
1					
0	10/01/2010	10/01/2010	10/01/2010		

Redazione: **SKYWIND S.r.l.** via Marconi, 6, 04024 Gaeta (LT)

Titolo dell'allegato:

**INDAGINI GEOLOGICHE IN SITO
MECCANICHE E GEOFISICHE E
RELATIVE RELAZIONI SPECIFICHE**



Pagine:

- 66 -

Doc.n°: **A.2**

Committente:



SKYWIND  S.r.l. Via Marconi, 6
04024 Gaeta (LT) ITALY

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: SKYWIND
Cantiere: Campo eolico
Località: Genzano di Lucania

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL030 10) (Medium)

Rif. Norme	DIN 4094	
Peso Massa battente		30 Kg
Altezza di caduta libera		0,20 m
Peso sistema di battuta		21 Kg
Diametro punta conica		35,68 mm
Area di base punta		10 cm ²
Lunghezza delle aste		1 m
Peso aste a metro		2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta		0,80 m
Avanzamento punta		0,10 m
Numero colpi per punta		N(10)
Coeff. Correlazione		0,761
Rivestimento/fanghi		No
Angolo di apertura punta		60 °

RESPONSABILE
geol Luca Burzi



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative delle prove penetrometriche dinamiche continue

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) 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 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 ulteriori indagini dirette o prospezioni geofisiche 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 ritenersi indicativa ed utile per la programmazione delle indagini geognostiche integrative (prospezioni, sondaggi a carotaggio continuo e prove di laboratorio) necessarie per la modellizzazione fisico-meccanica dei terreni da esperirsi a supporto del progetto esecutivo delle opere.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici si rileva che quello utilizzato per l'indagine in questione (a supporto del progetto definitivo di un campo eolico) in base al peso M della massa battente e' di

- tipo MEDIO (DPM)

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

Correlazione con N_{spt}

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, 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:

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

in cui

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

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

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

Metodologia di Elaborazione.

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

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

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

Media

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

Media minima

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

Massimo

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

Minimo

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

Scarto quadratico medio

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

Media deviata

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

Media + s

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

Media - s

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

Pressione ammissibile

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

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

N_{spt} è il valore medio nello strato

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

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 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) $\sigma > 5$ t/mq.
 De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
 Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
 Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da 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) $\sigma > 15$ 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_y)

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

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buisman-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 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ 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). *Cu min-max*.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
 - Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
 - (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu- N_{spt} -grado di plasticità).

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

Schmertmann 1975 C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .

Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (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.

Modulo Edometrico-Confinato (M_0)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_0 (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (E_y)

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

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume 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 (Nspt=0) a 0,545 (Nspt=28)

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...
 Prova eseguita in data
 Profondità prova
 Falda non rilevata

DPM (DL030 10) (Medium)
 13/12/2010
 6,10 m

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,10	1	0,857	2,89	3,37	0,14	0,17
0,20	1	0,855	2,88	3,37	0,14	0,17
0,30	1	0,853	2,87	3,37	0,14	0,17
0,40	1	0,851	2,87	3,37	0,14	0,17
0,50	1	0,849	2,86	3,37	0,14	0,17
0,60	1	0,847	2,86	3,37	0,14	0,17
0,70	1	0,845	2,85	3,37	0,14	0,17
0,80	1	0,843	2,84	3,37	0,14	0,17
0,90	1	0,842	2,71	3,23	0,14	0,16
1,00	1	0,840	2,71	3,23	0,14	0,16
1,10	4	0,838	10,81	12,90	0,54	0,65
1,20	4	0,836	10,79	12,90	0,54	0,65
1,30	3	0,835	8,08	9,68	0,40	0,48
1,40	4	0,833	10,75	12,90	0,54	0,65
1,50	4	0,831	10,73	12,90	0,54	0,65
1,60	6	0,830	16,06	19,35	0,80	0,97
1,70	6	0,828	16,02	19,35	0,80	0,97
1,80	5	0,826	13,33	16,13	0,67	0,81
1,90	5	0,825	12,75	15,46	0,64	0,77
2,00	5	0,823	12,73	15,46	0,64	0,77
2,10	7	0,822	17,79	21,65	0,89	1,08
2,20	9	0,820	22,83	27,84	1,14	1,39
2,30	8	0,819	20,25	24,74	1,01	1,24
2,40	6	0,817	15,16	18,56	0,76	0,93
2,50	5	0,816	12,61	15,46	0,63	0,77
2,60	7	0,814	17,63	21,65	0,88	1,08
2,70	8	0,813	20,11	24,74	1,01	1,24
2,80	8	0,811	20,08	24,74	1,00	1,24
2,90	10	0,810	24,06	29,70	1,20	1,49
3,00	10	0,809	24,02	29,70	1,20	1,49
3,10	13	0,757	29,24	38,61	1,46	1,93
3,20	14	0,756	31,44	41,58	1,57	2,08
3,30	13	0,755	29,14	38,61	1,46	1,93
3,40	15	0,753	33,57	44,55	1,68	2,23
3,50	13	0,752	29,04	38,61	1,45	1,93
3,60	15	0,751	33,45	44,55	1,67	2,23
3,70	16	0,750	35,63	47,52	1,78	2,38
3,80	17	0,748	37,79	50,50	1,89	2,52
3,90	18	0,747	38,43	51,43	1,92	2,57
4,00	16	0,746	34,10	45,71	1,71	2,29
4,10	21	0,695	41,69	60,00	2,08	3,00
4,20	20	0,744	42,50	57,14	2,12	2,86
4,30	18	0,743	38,19	51,43	1,91	2,57
4,40	20	0,741	42,37	57,14	2,12	2,86
4,50	26	0,690	51,28	74,29	2,56	3,71
4,60	26	0,689	51,20	74,29	2,56	3,71
4,70	24	0,688	47,19	68,57	2,36	3,43
4,80	25	0,687	49,08	71,43	2,45	3,57
4,90	29	0,686	54,76	79,82	2,74	3,99
5,00	31	0,635	54,18	85,32	2,71	4,27
5,10	31	0,634	54,09	85,32	2,70	4,27
5,20	37	0,633	64,46	101,83	3,22	5,09

5,30	47	0,582	75,29	129,36	3,76	6,47
5,40	52	0,581	83,16	143,12	4,16	7,16
5,50	55	0,580	87,81	151,38	4,39	7,57
5,60	60	0,579	95,64	165,14	4,78	8,26
5,70	58	0,578	92,30	159,63	4,61	7,98
5,80	70	0,577	111,22	192,66	5,56	9,63
5,90	85	0,576	130,07	225,66	6,50	11,28
6,00	75	0,575	114,59	199,12	5,73	9,96
6,10	100	0,575	152,55	265,49	7,63	13,27

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman	De Beer
Strato 1	0,76	1,00	0,05	0,10	0,00	0,03	0,07	0,10	0,07	0,50	0,04	0,03	0,10
Strato 2	3,5	3,00	0,22	0,44	0,15	0,14	0,34	0,44	0,32	0,69	0,18	0,27	0,44
Strato 3	11,17	4,40	0,75	1,40	0,50	0,45	1,10	1,29	0,98	1,30	0,56	1,37	1,40
Strato 4	20,02	5,20	1,35	2,50	1,00	0,78	1,98	2,23	1,70	2,08	1,00	2,80	2,50
Strato 5	38,58	5,70	2,60	4,82	0,00	1,41	3,85	4,19	3,01	4,06	1,93	5,90	4,82
Strato 6	58,03	6,10	3,92	7,25	0,00	1,97	5,82	6,20	4,10	6,59	2,90	9,27	7,25

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	0,76	1,00	3,49	11,40	9,54	9,50
Strato 2	3,5	3,00	16,06	52,50	37,49	43,75
Strato 3	11,17	4,40	51,25	--	115,72	111,70
Strato 4	20,02	5,20	91,85	--	205,98	200,20
Strato 5	38,58	5,70	177,01	--	395,28	385,80
Strato 6	58,03	6,10	266,24	--	593,66	580,30

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	0,76	1,00	-11,66	7,60
Strato 2	3,5	3,00	19,85	35,00
Strato 3	11,17	4,40	108,06	111,70
Strato 4	20,02	5,20	209,83	200,20
Strato 5	38,58	5,70	423,27	385,80
Strato 6	58,03	6,10	646,95	580,30

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	0,76	1,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato 2	3,5	3,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato 3	11,17	4,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato 4	20,02	5,20	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato 5	38,58	5,70	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE
Strato 6	58,03	6,10	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,76	1,00	Meyerhof ed altri	1,46
Strato 2	3,5	3,00	Meyerhof ed altri	1,67
Strato 3	11,17	4,40	Meyerhof ed altri	2,00
Strato 4	20,02	5,20	Meyerhof ed altri	2,10
Strato 5	38,58	5,70	Meyerhof ed altri	2,44
Strato 6	58,03	6,10	Meyerhof ed altri	2,50

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,76	1,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,84
Strato 2	3,5	3,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,87

Strato 3	11,17	4,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	--
Strato 4	20,02	5,20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	--
Strato 5	38,58	5,70	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,50
Strato 6	58,03	6,10	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,50

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...
 Prova eseguita in data
 Profondità prova
 Falda non rilevata

DPM (DL030 10) (Medium)
 13/12/2010
 9,20 m

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,10	3	0,857	8,66	10,11	0,43	0,51
0,20	5	0,855	14,40	16,85	0,72	0,84
0,30	2	0,853	5,75	6,74	0,29	0,34
0,40	5	0,851	14,34	16,85	0,72	0,84
0,50	8	0,849	22,89	26,97	1,14	1,35
0,60	8	0,847	22,84	26,97	1,14	1,35
0,70	10	0,845	28,49	33,71	1,42	1,69
0,80	10	0,843	28,43	33,71	1,42	1,69
0,90	10	0,842	27,15	32,26	1,36	1,61
1,00	10	0,840	27,09	32,26	1,35	1,61
1,10	14	0,788	35,59	45,16	1,78	2,26
1,20	12	0,836	32,37	38,71	1,62	1,94
1,30	13	0,785	32,90	41,94	1,65	2,10
1,40	15	0,783	37,88	48,39	1,89	2,42
1,50	18	0,781	45,36	58,06	2,27	2,90
1,60	17	0,780	42,75	54,84	2,14	2,74
1,70	18	0,778	45,17	58,06	2,26	2,90
1,80	17	0,776	42,57	54,84	2,13	2,74
1,90	14	0,775	33,55	43,30	1,68	2,16
2,00	12	0,823	30,55	37,11	1,53	1,86
2,10	13	0,772	31,02	40,21	1,55	2,01
2,20	12	0,820	30,44	37,11	1,52	1,86
2,30	13	0,769	30,90	40,21	1,55	2,01
2,40	15	0,767	35,59	46,39	1,78	2,32
2,50	11	0,816	27,75	34,02	1,39	1,70
2,60	11	0,814	27,70	34,02	1,39	1,70
2,70	14	0,763	33,03	43,30	1,65	2,16
2,80	14	0,761	32,97	43,30	1,65	2,16
2,90	14	0,760	31,61	41,58	1,58	2,08
3,00	13	0,759	29,30	38,61	1,46	1,93
3,10	17	0,757	38,24	50,50	1,91	2,52
3,20	21	0,706	44,04	62,38	2,20	3,12
3,30	16	0,755	35,87	47,52	1,79	2,38
3,40	17	0,753	38,04	50,50	1,90	2,52
3,50	17	0,752	37,98	50,50	1,90	2,52
3,60	17	0,751	37,92	50,50	1,90	2,52
3,70	15	0,750	33,40	44,55	1,67	2,23
3,80	15	0,748	33,35	44,55	1,67	2,23
3,90	13	0,747	27,75	37,14	1,39	1,86
4,00	13	0,746	27,71	37,14	1,39	1,86
4,10	15	0,745	31,92	42,86	1,60	2,14
4,20	17	0,744	36,12	48,57	1,81	2,43
4,30	13	0,743	27,58	37,14	1,38	1,86
4,40	15	0,741	31,78	42,86	1,59	2,14
4,50	14	0,740	29,61	40,00	1,48	2,00
4,60	16	0,739	33,79	45,71	1,69	2,29
4,70	18	0,738	37,96	51,43	1,90	2,57
4,80	15	0,737	31,59	42,86	1,58	2,14
4,90	16	0,736	32,41	44,04	1,62	2,20
5,00	15	0,735	30,35	41,28	1,52	2,06
5,10	17	0,734	34,34	46,79	1,72	2,34
5,20	15	0,733	30,26	41,28	1,51	2,06
5,30	15	0,732	30,22	41,28	1,51	2,06
5,40	13	0,731	26,16	35,78	1,31	1,79
5,50	15	0,730	30,14	41,28	1,51	2,06
5,60	17	0,729	34,12	46,79	1,71	2,34
5,70	17	0,728	34,07	46,79	1,70	2,34
5,80	16	0,727	32,03	44,04	1,60	2,20
5,90	17	0,726	32,78	45,13	1,64	2,26
6,00	15	0,725	28,89	39,82	1,44	1,99
6,10	20	0,725	38,47	53,10	1,92	2,65

6,20	17	0,724	32,66	45,13	1,63	2,26
6,30	19	0,723	36,46	50,44	1,82	2,52
6,40	22	0,672	39,25	58,41	1,96	2,92
6,50	19	0,721	36,38	50,44	1,82	2,52
6,60	20	0,720	38,25	53,10	1,91	2,65
6,70	23	0,670	40,88	61,06	2,04	3,05
6,80	23	0,669	40,83	61,06	2,04	3,05
6,90	22	0,668	37,68	56,41	1,88	2,82
7,00	16	0,717	29,42	41,03	1,47	2,05
7,10	19	0,716	34,90	48,72	1,75	2,44
7,20	19	0,716	34,86	48,72	1,74	2,44
7,30	25	0,665	42,62	64,10	2,13	3,21
7,40	24	0,664	40,87	61,54	2,04	3,08
7,50	26	0,663	44,23	66,67	2,21	3,33
7,60	25	0,663	42,48	64,10	2,12	3,21
7,70	19	0,712	34,69	48,72	1,73	2,44
7,80	25	0,661	42,39	64,10	2,12	3,21
7,90	25	0,661	40,95	61,98	2,05	3,10
8,00	26	0,660	42,54	64,46	2,13	3,22
8,10	83	0,559	115,08	205,79	5,75	10,29
8,20	49	0,559	67,86	121,49	3,39	6,07
8,30	35	0,608	52,75	86,78	2,64	4,34
8,40	33	0,607	49,68	81,82	2,48	4,09
8,50	35	0,607	52,64	86,78	2,63	4,34
8,60	41	0,556	56,52	101,65	2,83	5,08
8,70	41	0,555	56,45	101,65	2,82	5,08
8,80	45	0,555	61,89	111,57	3,09	5,58
8,90	47	0,554	62,50	112,80	3,13	5,64
9,00	55	0,553	73,06	132,00	3,65	6,60
9,10	70	0,553	92,88	168,00	4,64	8,40
9,20	100	0,552	132,55	240,00	6,63	12,00

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman	De Beer
Strato 1	2,19	0,40	0,14	0,27	0,15	0,09	0,21	0,29	0,20	0,60	0,11	0,35	0,27
Strato 2	8,53	6,00	0,58	1,07	0,50	0,34	0,84	1,05	0,76	1,08	0,43	0,70	1,07
Strato 3	14,26	7,90	0,96	1,78	0,50	0,56	1,41	1,45	1,24	1,56	0,71	1,38	1,78
Strato 4	26,44	8,90	1,79	3,31	1,00	1,00	2,63	2,58	2,18	2,72	1,32	3,37	3,31
Strato 5	49,47	9,20	3,34	6,18	0,00	1,74	4,95	4,68	3,66	5,41	2,47	7,19	6,18

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	2,19	0,40	10,05	32,85	24,13	27,38
Strato 2	8,53	6,00	39,14	--	88,79	106,63
Strato 3	14,26	7,90	65,43	--	147,24	142,60
Strato 4	26,44	8,90	121,31	--	271,46	264,40
Strato 5	49,47	9,20	226,97	--	506,36	494,70

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	2,19	0,40	4,79	21,90
Strato 2	8,53	6,00	77,70	85,30
Strato 3	14,26	7,90	143,59	142,60
Strato 4	26,44	8,90	283,66	264,40
Strato 5	49,47	9,20	548,51	494,70

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	2,19	0,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato 2	8,53	6,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato 3	14,26	7,90	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato 4	26,44	8,90	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato 5	49,47	9,20	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	2,19	0,40	Meyerhof ed altri	1,58
Strato 2	8,53	6,00	Meyerhof ed altri	1,92
Strato 3	14,26	7,90	Meyerhof ed altri	2,06
Strato 4	26,44	8,90	Meyerhof ed altri	2,13
Strato 5	49,47	9,20	Meyerhof ed altri	2,50

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	2,19	0,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,85
Strato 2	8,53	6,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	--
Strato 3	14,26	7,90	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	--
Strato 4	26,44	8,90	Bowles 1982, Terzaghi-Peck	2,26

			1948/1967	
Strato 5	49,47	9,20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,50

PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato...
 Prova eseguita in data
 Profondità prova
 Falda non rilevata

DPM (DL030 10) (Medium)
 13/12/2010
 8,90 m

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,10	1	0,857	2,89	3,37	0,14	0,17
0,20	1	0,855	2,88	3,37	0,14	0,17
0,30	1	0,853	2,87	3,37	0,14	0,17
0,40	1	0,851	2,87	3,37	0,14	0,17
0,50	1	0,849	2,86	3,37	0,14	0,17
0,60	1	0,847	2,86	3,37	0,14	0,17
0,70	1	0,845	2,85	3,37	0,14	0,17
0,80	1	0,843	2,84	3,37	0,14	0,17
0,90	4	0,842	10,86	12,90	0,54	0,65
1,00	4	0,840	10,84	12,90	0,54	0,65
1,10	5	0,838	13,52	16,13	0,68	0,81
1,20	6	0,836	16,19	19,35	0,81	0,97
1,30	6	0,835	16,15	19,35	0,81	0,97
1,40	6	0,833	16,12	19,35	0,81	0,97
1,50	7	0,831	18,77	22,58	0,94	1,13
1,60	8	0,830	21,41	25,81	1,07	1,29
1,70	12	0,828	32,05	38,71	1,60	1,94
1,80	14	0,776	35,06	45,16	1,75	2,26
1,90	16	0,775	38,34	49,48	1,92	2,47
2,00	15	0,773	35,87	46,39	1,79	2,32
2,10	15	0,772	35,80	46,39	1,79	2,32
2,20	13	0,770	30,96	40,21	1,55	2,01
2,30	13	0,769	30,90	40,21	1,55	2,01
2,40	9	0,817	22,75	27,84	1,14	1,39
2,50	9	0,816	22,70	27,84	1,14	1,39
2,60	9	0,814	22,66	27,84	1,13	1,39
2,70	8	0,813	20,11	24,74	1,01	1,24
2,80	9	0,811	22,59	27,84	1,13	1,39
2,90	8	0,810	19,25	23,76	0,96	1,19
3,00	10	0,809	24,02	29,70	1,20	1,49
3,10	10	0,807	23,98	29,70	1,20	1,49
3,20	12	0,806	28,73	35,64	1,44	1,78
3,30	12	0,805	28,68	35,64	1,43	1,78
3,40	12	0,803	28,64	35,64	1,43	1,78
3,50	12	0,802	28,59	35,64	1,43	1,78
3,60	10	0,801	23,79	29,70	1,19	1,49
3,70	11	0,800	26,13	32,67	1,31	1,63
3,80	11	0,798	26,09	32,67	1,30	1,63
3,90	11	0,797	25,06	31,43	1,25	1,57
4,00	11	0,796	25,02	31,43	1,25	1,57
4,10	11	0,795	24,98	31,43	1,25	1,57
4,20	11	0,794	24,94	31,43	1,25	1,57
4,30	13	0,743	27,58	37,14	1,38	1,86
4,40	13	0,741	27,54	37,14	1,38	1,86
4,50	9	0,790	20,32	25,71	1,02	1,29
4,60	10	0,789	22,55	28,57	1,13	1,43
4,70	15	0,738	31,64	42,86	1,58	2,14
4,80	15	0,737	31,59	42,86	1,58	2,14
4,90	14	0,736	28,36	38,53	1,42	1,93
5,00	13	0,735	26,30	35,78	1,31	1,79
5,10	20	0,734	40,40	55,05	2,02	2,75
5,20	17	0,733	34,30	46,79	1,71	2,34
5,30	24	0,682	45,05	66,06	2,25	3,30
5,40	22	0,681	41,24	60,55	2,06	3,03
5,50	23	0,680	43,05	63,30	2,15	3,17
5,60	23	0,679	42,99	63,30	2,15	3,17
5,70	19	0,728	38,08	52,29	1,90	2,61
5,80	15	0,727	30,03	41,28	1,50	2,06
5,90	18	0,726	34,71	47,79	1,74	2,39
6,00	14	0,725	26,96	37,17	1,35	1,86
6,10	18	0,725	34,63	47,79	1,73	2,39

6,20	20	0,724	38,43	53,10	1,92	2,65
6,30	22	0,673	39,30	58,41	1,96	2,92
6,40	22	0,672	39,25	58,41	1,96	2,92
6,50	26	0,671	46,33	69,03	2,32	3,45
6,60	30	0,670	53,39	79,65	2,67	3,98
6,70	38	0,620	62,50	100,89	3,13	5,04
6,80	38	0,619	62,42	100,89	3,12	5,04
6,90	38	0,618	60,21	97,44	3,01	4,87
7,00	30	0,667	51,32	76,92	2,57	3,85
7,10	38	0,616	60,06	97,44	3,00	4,87
7,20	33	0,616	52,09	84,62	2,60	4,23
7,30	41	0,565	59,39	105,13	2,97	5,26
7,40	34	0,614	53,54	87,18	2,68	4,36
7,50	35	0,613	55,05	89,74	2,75	4,49
7,60	39	0,563	56,27	100,00	2,81	5,00
7,70	45	0,562	64,85	115,38	3,24	5,77
7,80	38	0,611	59,56	97,44	2,98	4,87
7,90	33	0,611	49,96	81,82	2,50	4,09
8,00	46	0,560	63,86	114,05	3,19	5,70
8,10	60	0,559	83,19	148,76	4,16	7,44
8,20	64	0,559	88,63	158,68	4,43	7,93
8,30	55	0,558	76,08	136,36	3,80	6,82
8,40	55	0,557	75,99	136,36	3,80	6,82
8,50	76	0,557	104,88	188,43	5,24	9,42
8,60	62	0,556	85,46	153,72	4,27	7,69
8,70	63	0,555	86,74	156,20	4,34	7,81
8,80	63	0,555	86,65	156,20	4,33	7,81
8,90	100	0,554	132,98	240,00	6,65	12,00

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman	De Beer
Strato 1	0,76	0,80	0,05	0,10	0,00	0,03	0,07	0,10	0,07	0,50	0,04	0,05	0,10
Strato 2	3,97	1,70	0,25	0,50	0,15	0,16	0,39	0,51	0,36	0,73	0,20	0,50	0,50
Strato 3	7,47	5,00	0,47	0,93	0,25	0,30	0,73	0,87	0,67	1,00	0,37	0,66	0,93
Strato 4	13,25	6,60	0,89	1,66	0,50	0,53	1,31	1,40	1,16	1,47	0,66	1,40	1,66
Strato 5	25,46	7,90	1,72	3,18	1,00	0,97	2,53	2,58	2,11	2,62	1,27	3,35	3,18
Strato 6	42,01	8,90	2,84	5,25	0,00	1,51	4,19	4,09	3,22	4,47	2,10	5,91	5,25

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	0,76	0,80	3,49	11,40	9,54	9,50
Strato 2	3,97	1,70	18,21	59,55	42,28	49,63
Strato 3	7,47	5,00	34,27	--	77,98	93,38
Strato 4	13,25	6,60	60,79	--	136,93	132,50
Strato 5	25,46	7,90	116,81	--	261,47	254,60
Strato 6	42,01	8,90	192,74	--	430,27	420,10

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	0,76	0,80	-11,66	7,60
Strato 2	3,97	1,70	25,26	39,70
Strato 3	7,47	5,00	65,51	74,70
Strato 4	13,25	6,60	131,98	132,50
Strato 5	25,46	7,90	272,39	254,60
Strato 6	42,01	8,90	462,72	420,10

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	0,76	0,80	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato 2	3,97	1,70	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato 3	7,47	5,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato 4	13,25	6,60	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato 5	25,46	7,90	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato 6	42,01	8,90	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,76	0,80	Meyerhof ed altri	1,46
Strato 2	3,97	1,70	Meyerhof ed altri	1,70
Strato 3	7,47	5,00	Meyerhof ed altri	1,88
Strato 4	13,25	6,60	Meyerhof ed altri	2,04
Strato 5	25,46	7,90	Meyerhof ed altri	2,12
Strato 6	42,01	8,90	Meyerhof ed altri	2,50

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,76	0,80	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,84

Strato 2	3,97	1,70	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,87
Strato 3	7,47	5,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,90
Strato 4	13,25	6,60	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	--
Strato 5	25,46	7,90	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,24
Strato 6	42,01	8,90	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,50

PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato...
 Prova eseguita in data
 Profondità prova
 Falda non rilevata

DPM (DL030 10) (Medium)
 13/12/2010
 7,60 m

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,10	1	0,857	2,89	3,37	0,14	0,17
0,20	1	0,855	2,88	3,37	0,14	0,17
0,30	1	0,853	2,87	3,37	0,14	0,17
0,40	1	0,851	2,87	3,37	0,14	0,17
0,50	10	0,849	28,61	33,71	1,43	1,69
0,60	7	0,847	19,99	23,60	1,00	1,18
0,70	11	0,845	31,34	37,08	1,57	1,85
0,80	11	0,843	31,27	37,08	1,56	1,85
0,90	12	0,842	32,58	38,71	1,63	1,94
1,00	12	0,840	32,51	38,71	1,63	1,94
1,10	11	0,838	29,74	35,48	1,49	1,77
1,20	11	0,836	29,67	35,48	1,48	1,77
1,30	10	0,835	26,92	32,26	1,35	1,61
1,40	12	0,833	32,24	38,71	1,61	1,94
1,50	15	0,781	37,80	48,39	1,89	2,42
1,60	19	0,780	47,78	61,29	2,39	3,06
1,70	20	0,778	50,19	64,52	2,51	3,23
1,80	18	0,776	45,08	58,06	2,25	2,90
1,90	15	0,775	35,94	46,39	1,80	2,32
2,00	11	0,823	28,01	34,02	1,40	1,70
2,10	11	0,822	27,95	34,02	1,40	1,70
2,20	10	0,820	25,36	30,93	1,27	1,55
2,30	12	0,819	30,38	37,11	1,52	1,86
2,40	11	0,817	27,80	34,02	1,39	1,70
2,50	10	0,816	25,23	30,93	1,26	1,55
2,60	11	0,814	27,70	34,02	1,39	1,70
2,70	13	0,763	30,67	40,21	1,53	2,01
2,80	18	0,761	42,39	55,67	2,12	2,78
2,90	18	0,760	40,64	53,47	2,03	2,67
3,00	25	0,709	52,62	74,26	2,63	3,71
3,10	15	0,757	33,74	44,55	1,69	2,23
3,20	15	0,756	33,68	44,55	1,68	2,23
3,30	10	0,805	23,90	29,70	1,20	1,49
3,40	7	0,803	16,70	20,79	0,84	1,04
3,50	8	0,802	19,06	23,76	0,95	1,19
3,60	12	0,801	28,55	35,64	1,43	1,78
3,70	10	0,800	23,75	29,70	1,19	1,49
3,80	9	0,798	21,34	26,73	1,07	1,34
3,90	10	0,797	22,78	28,57	1,14	1,43
4,00	10	0,796	22,74	28,57	1,14	1,43
4,10	7	0,795	15,90	20,00	0,79	1,00
4,20	9	0,794	20,41	25,71	1,02	1,29
4,30	9	0,793	20,38	25,71	1,02	1,29
4,40	12	0,791	27,13	34,29	1,36	1,71
4,50	14	0,740	29,61	40,00	1,48	2,00
4,60	15	0,739	31,68	42,86	1,58	2,14
4,70	24	0,688	47,19	68,57	2,36	3,43
4,80	14	0,737	29,48	40,00	1,47	2,00
4,90	10	0,786	21,63	27,52	1,08	1,38
5,00	8	0,785	17,28	22,02	0,86	1,10
5,10	11	0,784	23,74	30,28	1,19	1,51
5,20	9	0,783	19,40	24,77	0,97	1,24
5,30	15	0,732	30,22	41,28	1,51	2,06
5,40	14	0,731	28,17	38,53	1,41	1,93
5,50	13	0,730	26,12	35,78	1,31	1,79
5,60	13	0,729	26,09	35,78	1,30	1,79
5,70	13	0,728	26,05	35,78	1,30	1,79
5,80	12	0,777	25,67	33,03	1,28	1,65
5,90	10	0,776	20,61	26,55	1,03	1,33
6,00	12	0,775	24,71	31,86	1,24	1,59
6,10	13	0,725	25,01	34,51	1,25	1,73

6,20	16	0,724	30,74	42,48	1,54	2,12
6,30	14	0,723	26,87	37,17	1,34	1,86
6,40	15	0,722	28,75	39,82	1,44	1,99
6,50	13	0,721	24,89	34,51	1,24	1,73
6,60	17	0,720	32,51	45,13	1,63	2,26
6,70	14	0,720	26,74	37,17	1,34	1,86
6,80	12	0,769	24,49	31,86	1,22	1,59
6,90	11	0,768	21,66	28,21	1,08	1,41
7,00	12	0,767	23,61	30,77	1,18	1,54
7,10	11	0,766	21,62	28,21	1,08	1,41
7,20	12	0,766	23,56	30,77	1,18	1,54
7,30	13	0,715	23,83	33,33	1,19	1,67
7,40	12	0,764	23,51	30,77	1,18	1,54
7,50	45	0,563	65,01	115,38	3,25	5,77
7,60	100	0,563	144,28	256,41	7,21	12,82

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.4

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman	De Beer
Strato 1	0,76	0,40	0,05	0,10	0,00	0,03	0,07	0,10	0,07	0,50	0,04	0,09	0,10
Strato 2	7,44	7,40	0,47	0,93	0,25	0,30	0,73	0,85	0,67	0,99	0,37	0,34	0,93

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	0,76	0,40	3,49	11,40	9,54	9,50
Strato 2	7,44	7,40	34,14	--	77,68	93,00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	0,76	0,40	-11,66	7,60
Strato 2	7,44	7,40	65,16	74,40

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	0,76	0,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato 2	7,44	7,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,76	0,40	Meyerhof ed altri	1,46
Strato 2	7,44	7,40	Meyerhof ed altri	1,88

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,76	0,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,84
Strato 2	7,44	7,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,90

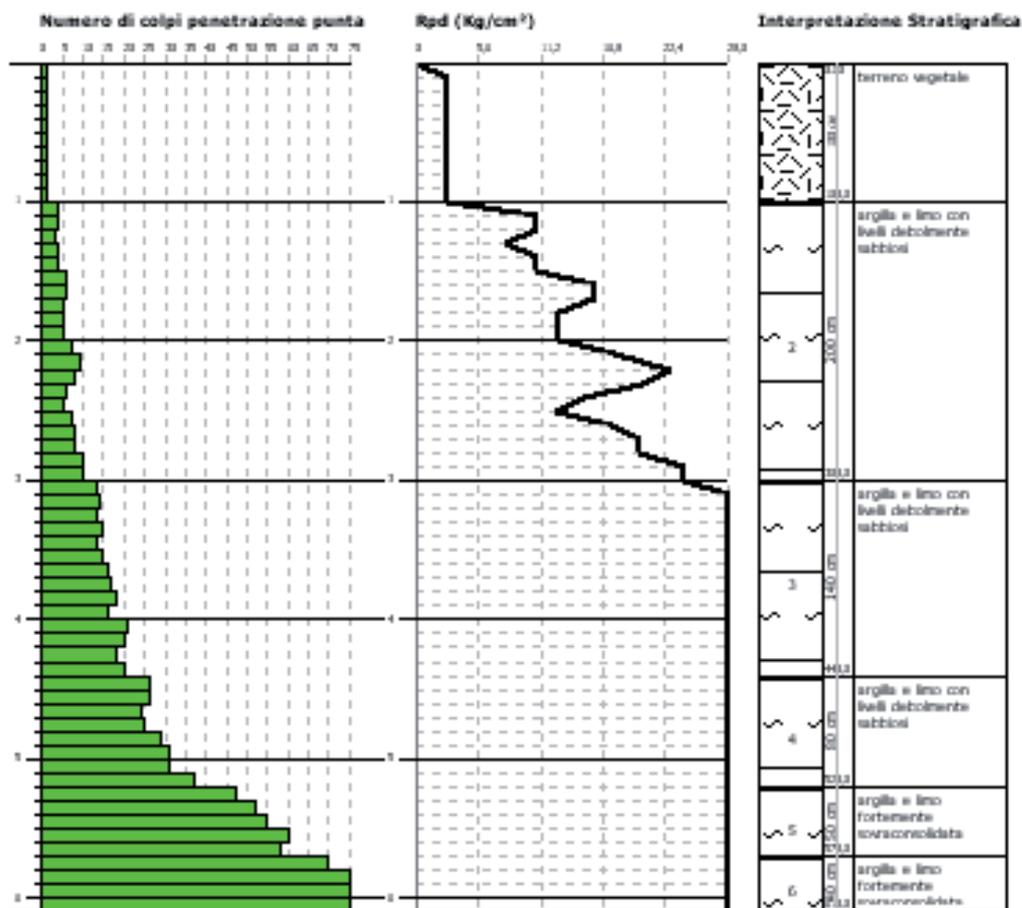
Studio di geologia tecnica
dr. Luca Buzi

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente : SKYRINO
Cantiere : Campo edico
Località : Giordano di Lucania

Data :13/12/2010

Scala 1:45



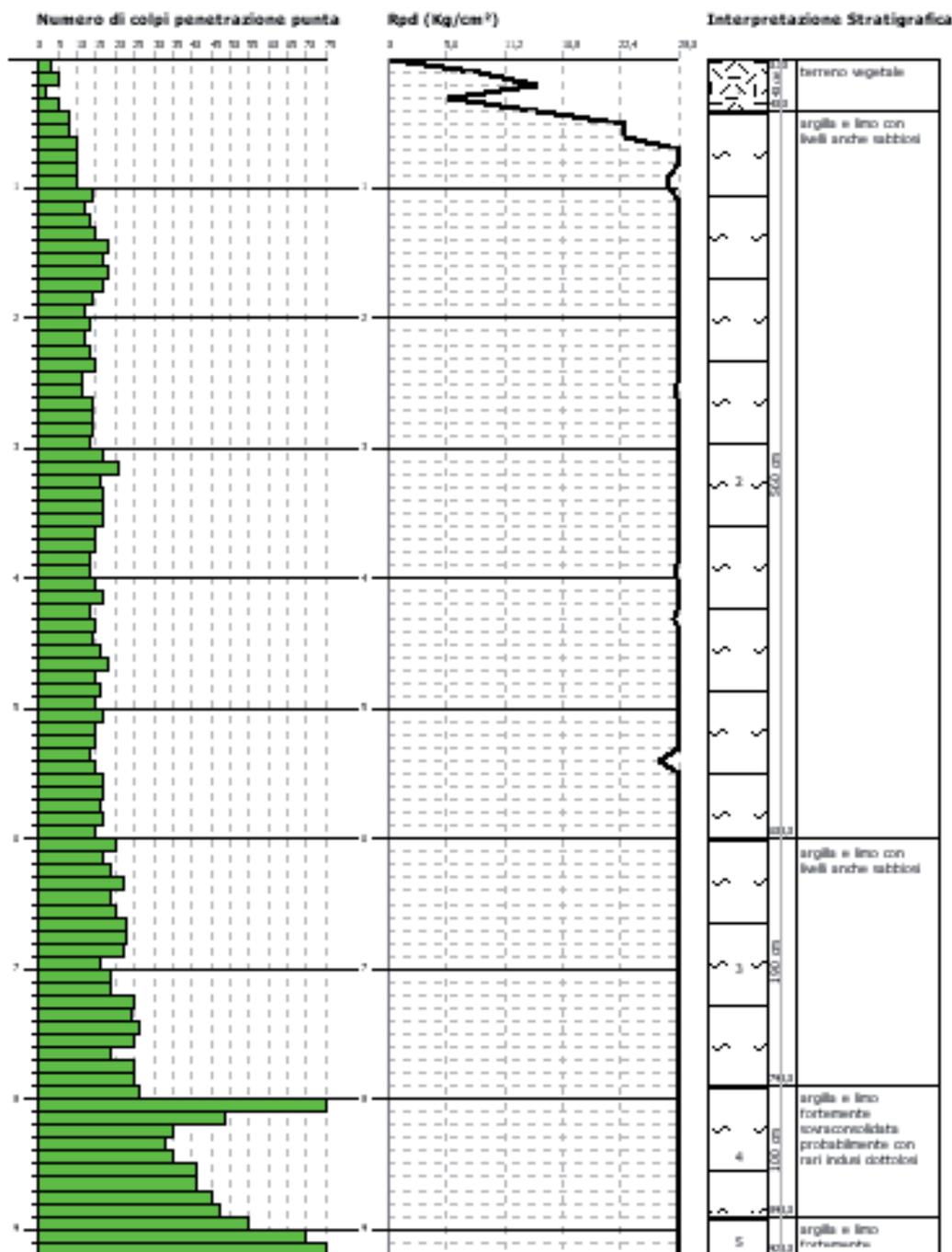
Studio di geologia tecnica
dr. Luca Buzi

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente : SKYRID
Cantiere : Campo edico
Località : Gerzano di Lucania

Data :13/12/2010

Scala 1:45



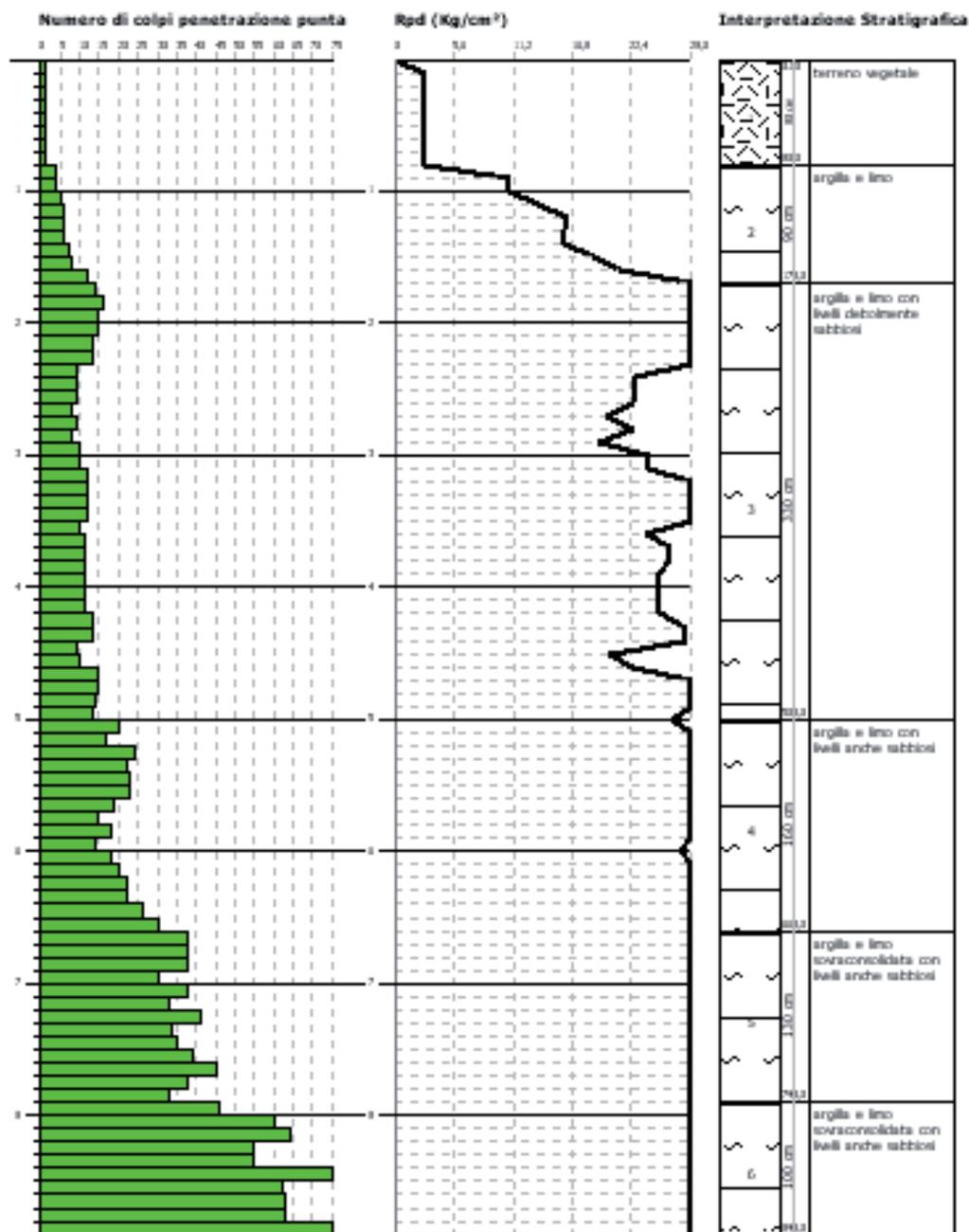
Studio di geologia tecnica
dr. Luca Buzi

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente : SKYBIRD
Cantiere : Campo edico
Località : Giordano di Lucania

Data :13/12/2010

Scala 1:45



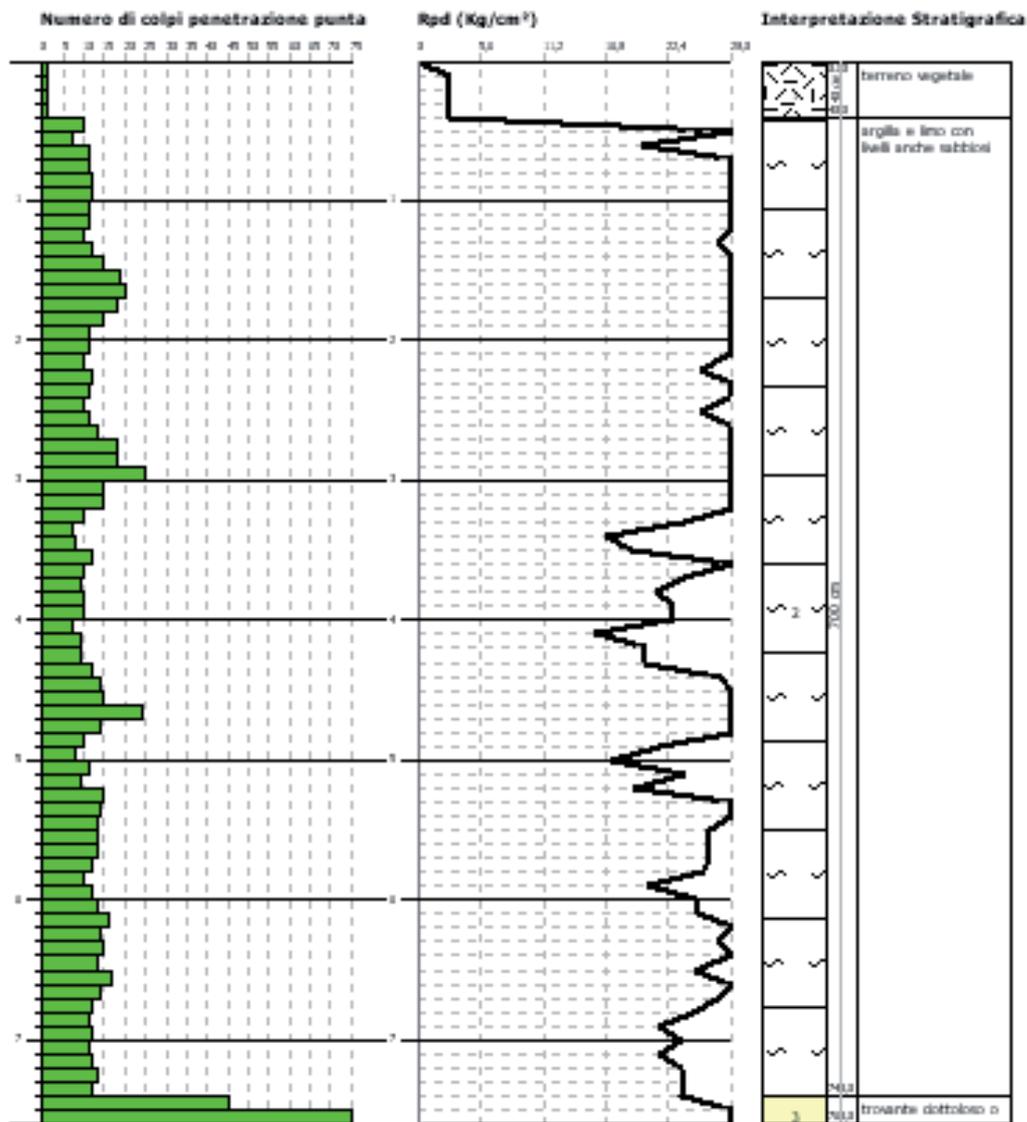
Studio di geologia tecnica
dr. Luca Buzi

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente : SKYRIND
Cantiere : Campo edico
Località : Gerzano di Lucania

Data :13/12/2010

Scala 1:45



COMUNE DI GENZANO DI LUCANIA

(Provincia di Potenza)

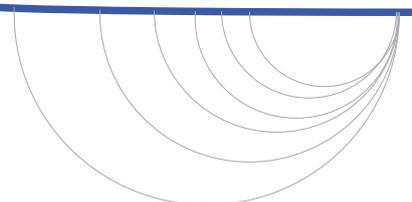
PARCO EOLICO IN LOCALITA' SERRA GAGLIARDI

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE



SISMICA A RIFRAZIONE

Studio di Geologia Tecnica e Ambientale
geol. Pierluigi Di Russo
Corso Italia, 31 - 04022 FONDI (LT)
0771501272 - 3282782674



Premessa

Su incarico del dott. Geol. L. Burzi, è stata eseguita una prospezione sismica a rifrazione con restituzione tomografica, in un sito nel Comune di Genzano di Lucania, su cui è in progetto il Parco Eolico Serra Gagliardi.

Lo scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri, con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle proprietà meccaniche elastiche, quali la velocità V_p delle onde longitudinali e i relativi parametri elastici (E e G). E' stato pertanto ricostruito il modello geofisico e la sezione sismo tomografica.

L'indagine è consistita in due stese di sismica a rifrazione con stendimento di 55 metri, con orientazione e caratteristiche, di seguito specificate, considerate le più idonee, in relazione alle problematiche logistiche e alle esigenze di investigazione:

<i>Stesa</i>	<i>Orientazione</i>	<i>Lunghezza (m)</i>	<i>Spazio intergeofonico (m)</i>	<i>Numero di scoppi</i>
<i>Sism 1</i>	<i>N 45° W</i>	<i>55</i>	<i>5</i>	<i>3 int+4est</i>
<i>Sism 2</i>	<i>N 135 E</i>	<i>55</i>	<i>5</i>	<i>3 int+4 est</i>

Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche di cui al paragrafo 3.2 della normativa e della definizione delle forme spettrali, in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate dei due siti oggetto di indagini sono le seguenti (la sigla ED50 si riferisce all'ellissoide di riferimento adottato per la carta di pericolosità dell'INGV):

Sism 1

Latitudine: ϕ_{ED50} 40,812261

Longitudine: λ_{ED50} 16,123866

Sism 2

Latitudine: ϕ_{ED50} 40,816581

Longitudine: λ_{ED50} 16,115198

Si riportano di seguito i dati relativi alle geometria delle linee di acquisizione sismica con indicazione dei punti di energizzazione.

GEOFONO	DISTANZA PROGRESSIVA (M)	DISTANZA PARZIALE (M)	PUNTI ENERGIZZAZIONE
	-10	-10	■
	-2.5	2.5	■
G1	0	0	
G2	5	5	
G3	10	5	■
G4	15	5	
G5	20	5	
G6	25	5	■
G7	30	5	
G8	35	5	
G9	40	5	■
G10	45	5	
G11	50	5	
G12	55	5	
	57.5	+2.5	■
	65	+10	■

L'elaborazione dei dati acquisiti è stata eseguita preliminarmente mediante l'analisi delle dromocrone, e successivamente con le metodologie proprie della tomografia.

Si riporta in allegato, lo schema con l'ubicazione dello stendimento, le dromocrone calcolate e le sezioni sismo tomografiche.

Descrizione del metodo di indagine e limiti dell'indagine sismica a rifrazione

Il metodo sismico si occupa dell'esplorazione del sottosuolo, attraverso lo studio della propagazione delle onde elastiche generate mediante l'utilizzazione di masse battenti o tramite esplosioni controllate (punto di energizzazione). L'impiego dell'una o dell'altra fonte di energizzazione dipende essenzialmente dalla profondità

d'investigazione richiesta e dallo scopo dell'indagine. Le onde elastiche seguono le stesse leggi delle onde luminose.

Il fine delle indagini sismiche è di risalire a modelli di terreni caratterizzati da una differente velocità delle onde elastiche, nell'individuare i loro spessori e la loro distribuzione spaziale. Inoltre poiché la velocità delle onde elastiche di volume, (onde "P" ed onde "S"), è funzione dei parametri elastici del mezzo in cui si propagano, conoscendone la densità, si possono ricavare i moduli elastici dinamici che caratterizzano il mezzo stesso. È valido quindi per ricerche stratigrafiche e per molti problemi di ingegneria.

Il metodo sismico, in altre parole, consente la ricostruzione di rappresentazioni bidimensionali della distribuzione della velocità delle onde sismiche, tra due allineamenti costituiti da energizzatori e rilevatori. La radiazione sismica, attraversando le rocce, è alterata dal corpo stesso per cui i valori di velocità e l'ampiezza delle onde risentono di differenti stati geomeccanici della roccia quali, ad esempio, la presenza di intense fasce di fratturazione o di zone a maggiore o minore velocità sismica quali giacimenti minerari o presenza di acqua. L'analisi delle immagini tomografiche consente di identificare zone fratturate all'interno di rocce, rinvenire giacimenti minerari, scoprire inquinanti.

Non rappresenta una metodologia risolutiva nel campo delle prospezioni per la ricerca delle cavità o di manufatti, specie in terreni alluvionali e, in genere, per cavità ed oggetti di ridotte dimensioni, ciò a causa della difficoltà di discriminazione di differenze di tempi estremamente piccole, (centesimi e millesimi di millisecondo), legate alla interferenza del segnale sismico provocato con l'anomalia sepolta.

Ad aggravare ulteriormente la difficoltà di lettura di tempi così brevi, sta la necessità di provvedere a disposizioni particolarmente accurate e precise del sistema di registrazione sul terreno, (posizione dei geofoni e del punto di energizzazione), che ovviamente mal si sposano con la velocità di esecuzione e l'economicità del sistema. Nonostante questa premessa, in determinate condizioni e grazie a strumentazione moderna e protocolli di impiego accuratamente predisposti, il metodo sismico può trovare applicazione, soprattutto quando si possa usufruire anche di sondaggi meccanici e prove penetrometriche.

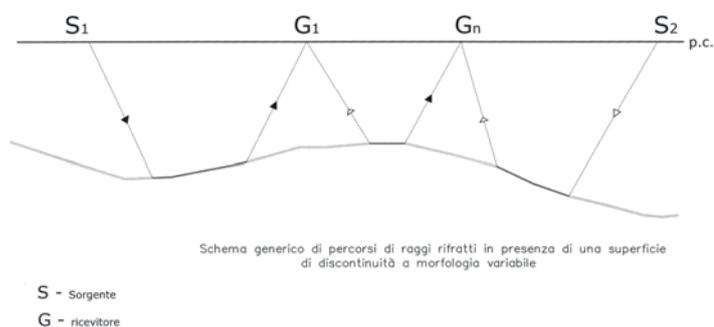
Le indagini sismiche, in pratica, si effettuano misurando i tempi diretti di propagazione nel terreno delle onde sismiche tra una sorgente di energia, e uno o più sensori (geofoni), che vengono posizionati lungo un allineamento a distanze progressivamente crescenti dal punto di emissione dell'energia. Le indagini possono essere effettuate sia a livello, che in foro.

Lungo la base sismica le onde provenienti dal punto di energizzazione che arrivano ai sismografi sono prima quelle dirette e poi quelle che hanno subito il fenomeno della rifrazione totale al tetto di strati sempre più profondi (supposto che la compattezza aumenti con la profondità).

L'indagine sismica a rifrazione è valida quando si verificano le condizioni sopra accennate e la velocità dei vari terreni aumenti con la profondità.

Se, cioè, terreni con velocità basse sono al di sotto di terreni con velocità più alte, non possono essere evidenziati dall'indagine.

La curva che da il tempo in funzione della distanza viene chiamata dromocrona e permette di determinare con opportuni calcoli le velocità e gli spessori dei vari terreni.



Apparecchiatura utilizzata

SISMOGRAFO Modello BF12C prodotto da IGS Idrogeostudi, 12 canali con risoluzione 12 bit interfacciato ad un personal computer dotato di Software su piattaforma a 32 bit Windows 98 o superiore.

- Acquisizione simultanea di tutti i segnali
- Elevata frequenza di acquisizione, 20000 Hz
- 8192 campioni/canale in display da una a quattro pagine
- Amplificazione settabile in acquisizione via software da 10 a 70 dB
- Possibilità di introdurre un ritardo
- Possibilità di filtraggio digitale dei segnali acquisiti

Alimentazione con batteria esterna a 12 Volt, consumo 50 mA

A corredo del sismografo:

n° 12 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza caratteristica di 10 Hz collegabili ad un cavo per stendimenti con offset max di 5 metri, lunghezza totale 55 metri.

Sorgente energizzante costituita da mazza battente di 8 kg con trigger piezoelettrico

Per l'elaborazione dei dati acquisiti in campagna

Software Rayfract sviluppato dalla Intelligent Resources Vancouver Canada.

Surfer(8) per il gridding e countoring della Golden Software

Caratteristiche del software:

RAYFRACT (tm) è un pacchetto software a 32-bit, adatto per il processing di dati di profili sismici a rifrazione con basse, medie o alte coperture. In particolare, permette l'interpretazione di profili realizzati sia con onde di tipo P che di tipo S. Esso consente di gestire reali contesti geologici, quali topografie estreme, faglie, gradienti di velocità laterali e verticali, anomalie di velocità locali, strati di alterazione a bassa velocità, ecc.

I tempi di primo arrivo possono essere importati attraverso file ASCII, o letti da file sismici con il picking manuale, semi-automatico o automatico. L'individuazione dei rifrattori in corrispondenza delle dromocrone può avvenire manualmente o in modo semi-automatico. In particolare, i dati sismici acquisiti per la ricostruzione della geometria dei rifrattori vengono elaborati secondo tre differenti metodi di interpretazione tradizionale: il metodo "CMP" (common mid point), il metodo "Plus-Minus" e il metodo "Wavefront".

Oltre ai metodi suddetti, si ha la possibilità di elaborare i dati secondo tecniche tomografiche; RAYFRACT fa uso del metodo d'inversione (pseudo 2D) denominato "Delta-t-V method" (Gebrande e Miller, 1985), che permette di ottenere profili mono-dimensionali (1D) di tipo "profondità-velocità" e di un affinamento del modello attraverso il nuovo processing per tomografia di tipo WET, wavepath eikonal travelttime (Schuster, 1993; Watanable, 1999). I profili sono scritti in formato ASCII, e possono essere plottati con opportuni software, quali il "Surfer", per ottenere rappresentazioni di tipo "station number-depth velocità maps".

Modalità esecutive dell'indagine tomografica

Una recente metodologia d'indagine geofisica per l'esplorazione geologico-strutturale a grande scala, consiste nella elaborazione dei dati ottenuti dalla prospezione sismica a rifrazione convenzionale con stendimenti lungo la superficie, tramite algoritmi propri dell'analisi tomografica, in modo tale da definire non solo singoli rifrattori ma una più completa mappatura, lungo un piano verticale, della distribuzione areale dei valori di velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s).

L'analisi dei risultati è completamente computerizzata e porta all'elaborazione di sismogrammi e, per analisi successive, a sismosezioni tomografiche.

Nella classica sismica a rifrazione, se si vogliono ottenere informazioni su rifrattori profondi, è bene utilizzare degli shot (spari) esterni distanti rispetto allo stendimento dei geofoni: maggiore è tale distanza, più in profondità giungeranno le

onde sismiche generate dalla sorgente e maggiori dati si ricaveranno per l'interpretazione del profilo.

Per ottenere una buona tomografia sismica, invece, tutti gli shot devono essere posizionati all'interno dello stendimento dei geofoni, al più, con qualcuno esterno distante dal primo/ultimo geofono di una/due unità in station number. Ciò poiché gli shot distanti non forniscono alcun contributo alla tomografia sismica a causa della mancanza di ricevitori ubicati in dette zone. Di solito, per conseguire dei buoni risultati, è opportuno eseguire uno shot ogni tre geofoni.

La tomografia sismica, per raggi diretti, è una tecnica d'indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un potere risolutivo nettamente superiore ad altri metodi, offrendo la possibilità della ricostruzione, con elevato grado di qualità, di anomalie stratigrafiche, anche particolarmente complesse non risolvibili con differenti tecniche d'indagine.

Per le procedure di realizzazione di immagini tomografiche è necessario utilizzare un maggior numero di sorgenti di energizzazione e di punti di ricezione delle onde sismiche, che permettano una distribuzione dei raggi sismici omogenea e con una densità che viene predefinita in funzione del "target" da raggiungere.

Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Il risultato finale sarà la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate, secondo una scala cromatica prefissata.

Analisi ed elaborazione dei dati: risultati ottenuti

Dai dati acquisiti, attraverso l'analisi dei sismogrammi, sono state ricostruite le dromocrone, ovvero i grafici che mettono in relazione i tempi di primo arrivo delle onde sismiche con le distanze dai punti di energizzazione (e quindi le distanze percorse dalle onde). Dall'analisi delle dromocrone coniugate in entrambe le stese Sism 1 e Sism

2, si evidenzia una generale simmetria che lascia ipotizzare la presenza di rifrattori orizzontale. L'analisi delle dromocrone permette di identificare la presenza di almeno due rifrattori per ogni sito, l'analisi con metodi tomografici evidenzia andamenti regolari delle velocità delle onde P nel sottosuolo, come di seguito specificato:

Sism 1

Una preliminare elaborazione è stata effettuata con il metodo delle intercette che ha permesso di determinare un primo rifrattore alla profondità media di 1.85 metri dal piano campagna; esso delimita un livello superiore che ha fatto registrare una velocità di 189 m/s; al di sotto di tale rifrattore i terreni hanno velocità medie di 678 m/s. Un secondo rifrattore si calcola a 5.83 m al di sotto del quale le velocità sono di circa 1600 m/s.

L'analisi dei dati acquisiti e l'elaborazione con metodi tomografici mostra andamenti delle isolinee di velocità sempre piuttosto uniformi, e velocità in linea di massima compatibili con l'andamento delle dromocrone.

Si distingue quindi un livello superficiale costituito dall'aerato superficiale di bassa velocità sismica e quindi bassa consistenza, sottostanti sedimenti non consolidati (terre sciolte) fino alla profondità investigata.

Sism 2

L'analisi dell'andamento delle dromocrone, mostra tre livelli.

Il primo rifrattore alla profondità di 5.90 m, che permette di distinguere un livello superficiale con velocità di 356 m/s al di sopra di un orizzonte con velocità di 1243 m/s. Il secondo rifrattore si rinviene alla profondità media di 15.28 m. L'ultimo sismostrato ha velocità di 1700 m/s. L'analisi dei dati acquisiti e l'elaborazione con metodi tomografici mostra andamenti delle isolinee di velocità sempre orizzontali, e velocità in linea di massima compatibili con l'andamento delle dromocrone.

Si distingue quindi un livello superficiale costituito dall'aerato superficiale di bassa velocità e quindi bassa consistenza, e sedimenti sottostanti non consolidati (terre sciolte). La sezione sismo tomografica mostra un notevole aumento della velocità a profondità dell'ordine dei 20 metri che lascia ipotizzare la presenza di sedimenti consolidati (arenarie, argille sovraconsolidate).

Calcolo del modulo dinamico di elasticità (Modulo di Young)

Nei problemi ingegneristici la sismica a rifrazione presenta il vantaggio di determinare il valore del modulo di elasticità la cui conoscenza è indispensabile ai fini della progettazione dei manufatti.

A questo proposito si ricorda che il modulo dinamico di elasticità E (o di Young) è uguale a:

E (kg/cmq) = P (kg/cmq)/ ϵ dove P è lo sforzo di compressione applicato e ϵ è la deformazione.

Ma si può arrivare alla ϵ anche da Poisson (σ) ove $\sigma = \epsilon_T / \epsilon_L$ (deformazione trasversale su deformazione longitudinale) ed il valore σ varia da 0 a 0.5.

Inoltre, dalla sismica e dai valori della velocità delle onde longitudinali, con particolari strumenti o algoritmi si ricava il valore delle onde trasversali.

Il valore di σ è poi in rapporto con V_s (m/s) = $V_p \sqrt{\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma}}$ (dove σ è il coefficiente di

Poisson dello strato, mediamente uguale a 0.25 nelle rocce e 0.35 nei terreni sciolti. I valori più bassi per ogni litotipo si riferiscono al caso di maggiore fratturazione o minore addensamento), quindi sulla base dei valori di velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali, la densità del mezzo ed il modulo di Poisson, è possibile stimare il modulo dinamico di elasticità. Questo modulo è meno preciso puntualmente, ma più valido come valore medio e più alto di quello statico che, per gli elevati sforzi a cui sottopone il terreno, è sensibile anche alle deformazioni plastiche irreversibili.

$$E = 2(V_s)^2 \times d(1 + \sigma) \times 10000 \text{ (dove } d \text{ è la densità del mezzo)}$$

Dal valore del modulo di elasticità è possibile calcolare il modulo di rigidità G (modulo di Taglio) attraverso la seguente relazione:

$$G = E/2(1 + \sigma)$$

Nella tabella di seguito riportata è possibile correlare i dati di velocità delle onde prime con i Moduli Dinamici di Elasticità espressi in Kg/cmq.

A tal fine si attribuiscono ai terreni litoidi valori del coefficiente di Poisson di 0.25 e ai terreni sciolti coefficienti di 0.35 lungo la verticale d'indagine può sintetizzarsi la seguente situazione sismo-stratigrafica:

SISM 1

CORRELAZIONI SISMICHE

Elaborazioni dati ottenuti da prospezioni sismiche .

Caratteristiche medie dei sismostrati:

Sismostrati	Vp [m/s]	γ [kg/m ³]	ν Poisson	Z [m]
1	189.0	1800	0.35	1.85
2	678.0	1800	0.35	3.58
3	1600.0	1900	0.35	24.57

Risultati elaborati:

Sismostrati	Vs [m/s]	D [kg/m ³]	Ed [kg/cm ²]	R [kg/cm ²]
1	90.8	183.6	408.6	151.4
2	325.7	183.6	5258.6	1947.6
3	768.6	193.8	30912.6	11448.7

SISM 2

CORRELAZIONI SISMICHE

Elaborazioni dati ottenuti da prospezioni sismiche .

Caratteristiche medie dei sismostrati:

Sismostrati	Vp [m/s]	γ [kg/m ³]	ν Poisson	Z [m]
1	356.0	1800	0.35	5.90
2	1243.0	1800	0.35	9.38
3	1700.0	1900	0.35	15.28

Risultati elaborati:

Sismostrati	Vs [m/s]	D [kg/m ³]	Ed [kg/cm ²]	R [kg/cm ²]
1	171.0	183.6	1449.8	536.9
2	597.1	183.6	17674.9	6545.9
3	816.7	193.8	34897.4	12926.4

Legenda:

- Vp = Velocità onde di compressione
- Vs = Velocità onde di taglio
- γ = Peso di volume del terreno
- Z = Spessore
- D = Densità
- ν = Modulo di Poisson
- Ed = Modulo di Young o di deformazione dinamica
- R = Modulo di rigidità

SISMICITA' DELL'AREA E CATEGORIE DI SUOLO

L'area oggetto di studio appartenente al Comune di Genzano di Lucania, in riferimento al D.M. 16/01/96, risulta classificata sismica di II categoria, con grado di sismicità S=9 e coefficiente di intensità sismica, utile per le calcolazioni progettuali, pari a 0,07.

Nella classificazione 2003 a cui fa riferimento la nuova normativa, la sismicità è definita mediante quattro zone, numerate da 1 a 4.

La corrispondenza fra queste diverse definizioni è riportata di seguito

1 prima categoria S=12; zona 1

2 seconda categoria S=9; zona 2

3 terza categoria S=6; zona 3

4 non classificato; - zona 4

Il Comune di Genzano di Lucania, classificato sismico di 2° categoria attualmente ricade nella zona 2.

La nuova normativa D.M. 14.01.2008, prevede in dettaglio le categorie di suolo di fondazione a cui far riferimento ai fini della definizione della azione sismica di

progetto; in essa si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In aggiunta a queste categorie, per le quali vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

SI Depositati di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Determinazione Vs30: Normativa sismica vigente

La nuova normativa sismica ha dato nuove disposizioni in termini di classificazione sismica portando a 4 il numero delle zone sismiche, differenziate in quattro corrispondenti valori di accelerazione orizzontale dello spettro elastico di risposta.

Ai fini delle azioni di progetto, vengono definite cinque categorie lito-stratigrafiche con aggiunta di due categorie particolari che prevedono studi speciali per la definizione dell'azione sismica. Per la definizione delle categorie, in funzione della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i 30 metri di profondità, viene considerata la seguente espressione

$$V_{s30} = 30 / \sum(h/V1)$$

*dove h1 e V1 indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato *i* esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.*

La sismica a rifrazione non è indagine specifica per la determinazione del Vs30; Attraverso i valori di Vp trasformati, mediante il coefficiente di Poisson imposto, in Vs, conoscendo la sequenza stratigrafica, è possibile comunque, fermo restando gli elementi di incertezza legati alla metodologia, determinare i valori del Vs30 e poter attribuire pertanto i terreni alla categoria di suolo indicata nelle norme tecniche.

Nel caso specifico, in riferimento ai valori di Vs calcolati precedentemente, si determina come di seguito specificato il valore di Vs30 in m/s:

SISM 1

SINTESI DI CALCOLO DEL Vs30

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

D.M. del 14/01/2008, (GU n. 29 del 4-2-2008 - Suppl. Ord. n.30).

Caratteristiche medie dei sismostrati:

Sismostrati	Vs [m/s]	Z [m]
1	90.8	1.85
2	325.7	3.58
3	768.6	24.57

Stima del Vs30 medio nei primi 30 metri di profondità:

Vs30 =	449.4	[m/s]
---------------	-------	-------

Categoria di suolo:

Classe	B
---------------	---

SISM 2

SINTESI DI CALCOLO DEL Vs30

Caratteristiche medie dei sismostrati:

Sismostrati	Vs [m/s]	Z [m]
1	171.0	5.90
2	597.1	9.38
3	816.7	15.28
4	0.0	0.00

Stima del Vs30 medio nei primi 30 metri di profondità:

Vs30 =	437.8	[m/s]
---------------	-------	-------

Categoria di suolo:

Classe	B
---------------	---

Legenda:

- Vs = Velocità onde di taglio
- Z = Spessore

Si riportano di seguito i parametri sismici caratteristici del sito

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 35anni
Coefficiente cu: 0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,041 g
Fo: 2,527
Tc*: 0,277[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 35 [anni]
ag: 0,044 g
Fo: 2,521
Tc*: 0,289 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 332 [anni]
ag: 0,110 g
Fo: 2,618
Tc*: 0,435 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 682 [anni]
ag: 0,142 g
Fo: 2,652
Tc*: 0,485 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,000
Kh: 0,009
Kv: 0,004
Amax: 0,483
Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,000
Kh: 0,010
Kv: 0,005
Amax: 0,519
Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200

Cc: 1,300
St: 1,000
Kh: 0,032
Kv: 0,016
Amax: 1,300
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,200
Cc: 1,270
St: 1,000
Kh: 0,041
Kv: 0,020
Amax: 1,670
Beta: 0,240

Formia, dicembre 2010

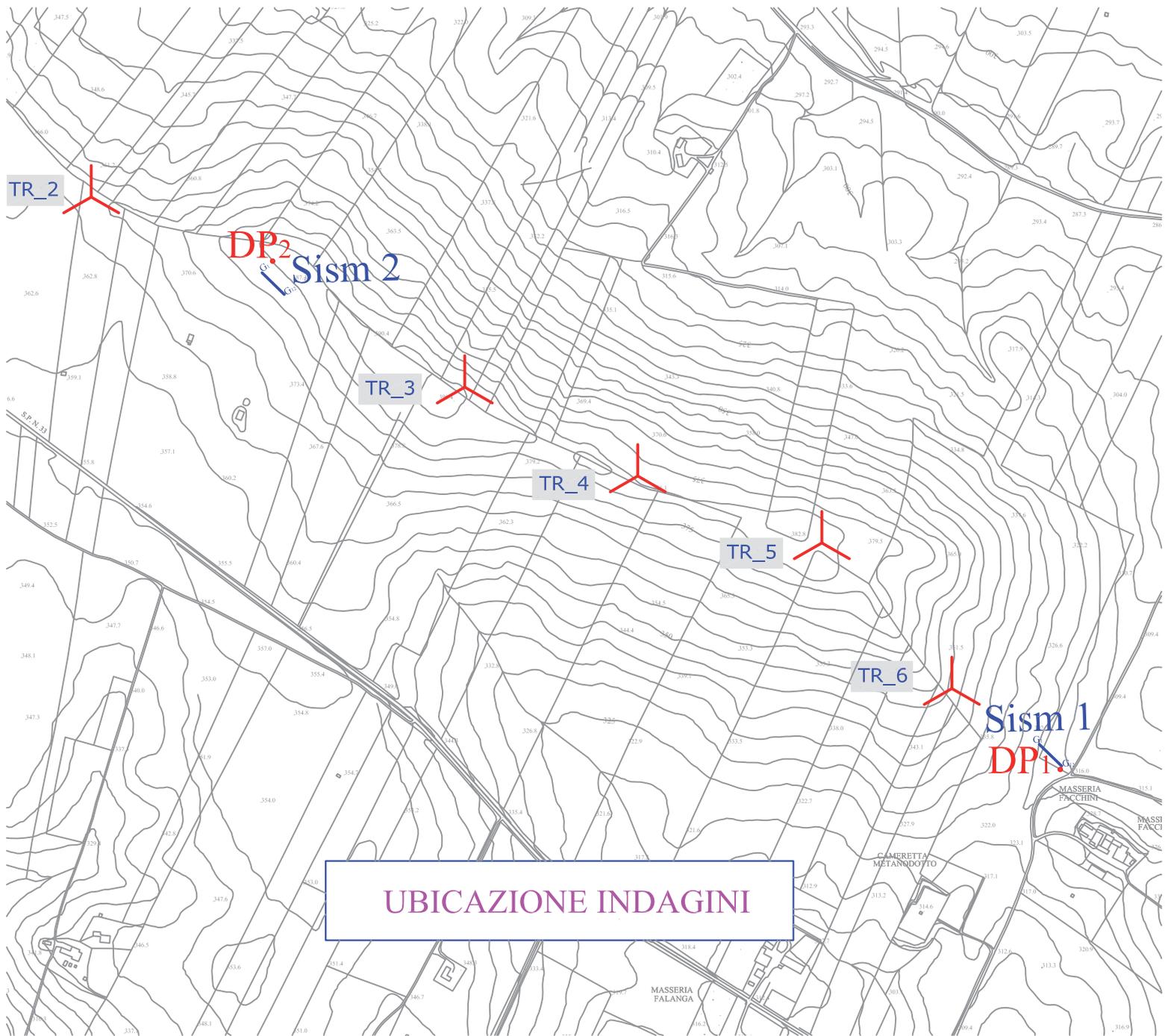
Geol. Pierluigi Di Russo

ALLEGATI

Planimetria ubicativa stesa sismica

Dromocrone onde P

Sezione sismo tomografica



TR_2

DP₂
Sism 2

TR_3

TR_4

TR_5

TR_6

Sism 1
DP₁

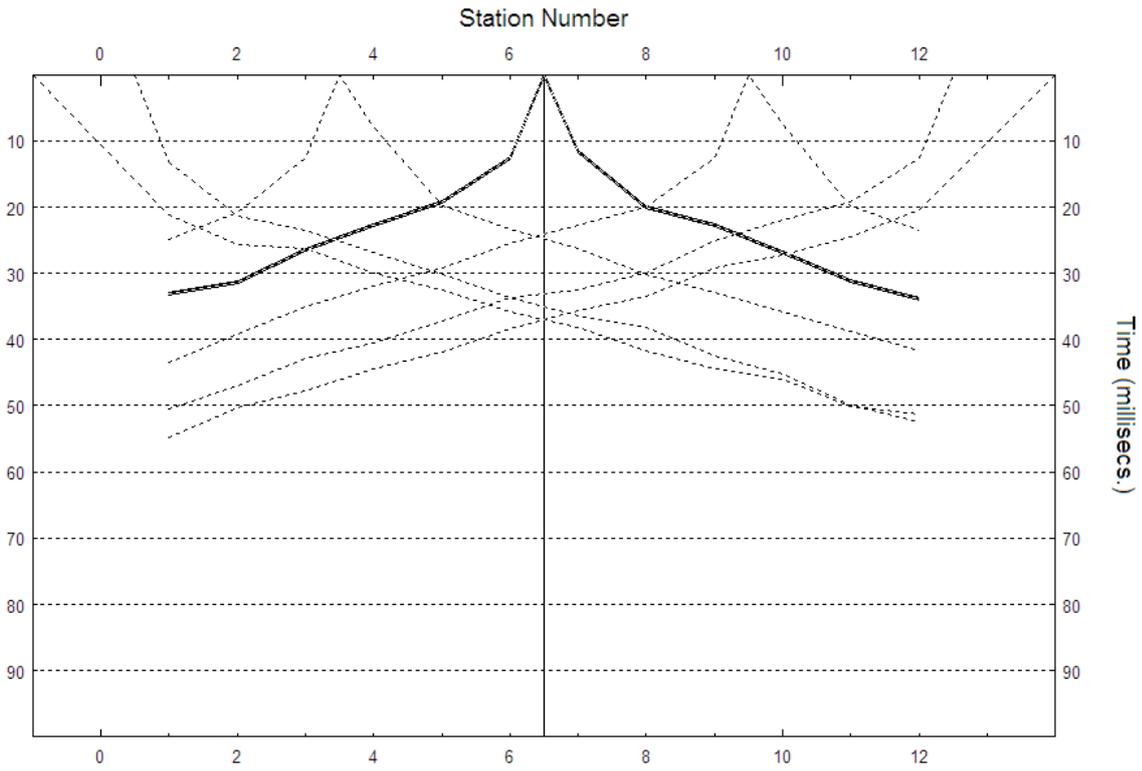
UBICAZIONE INDAGINI

MASSERIA FALANGA

MASSERIA FACCHINI

CAMERETTA METANODOTTO

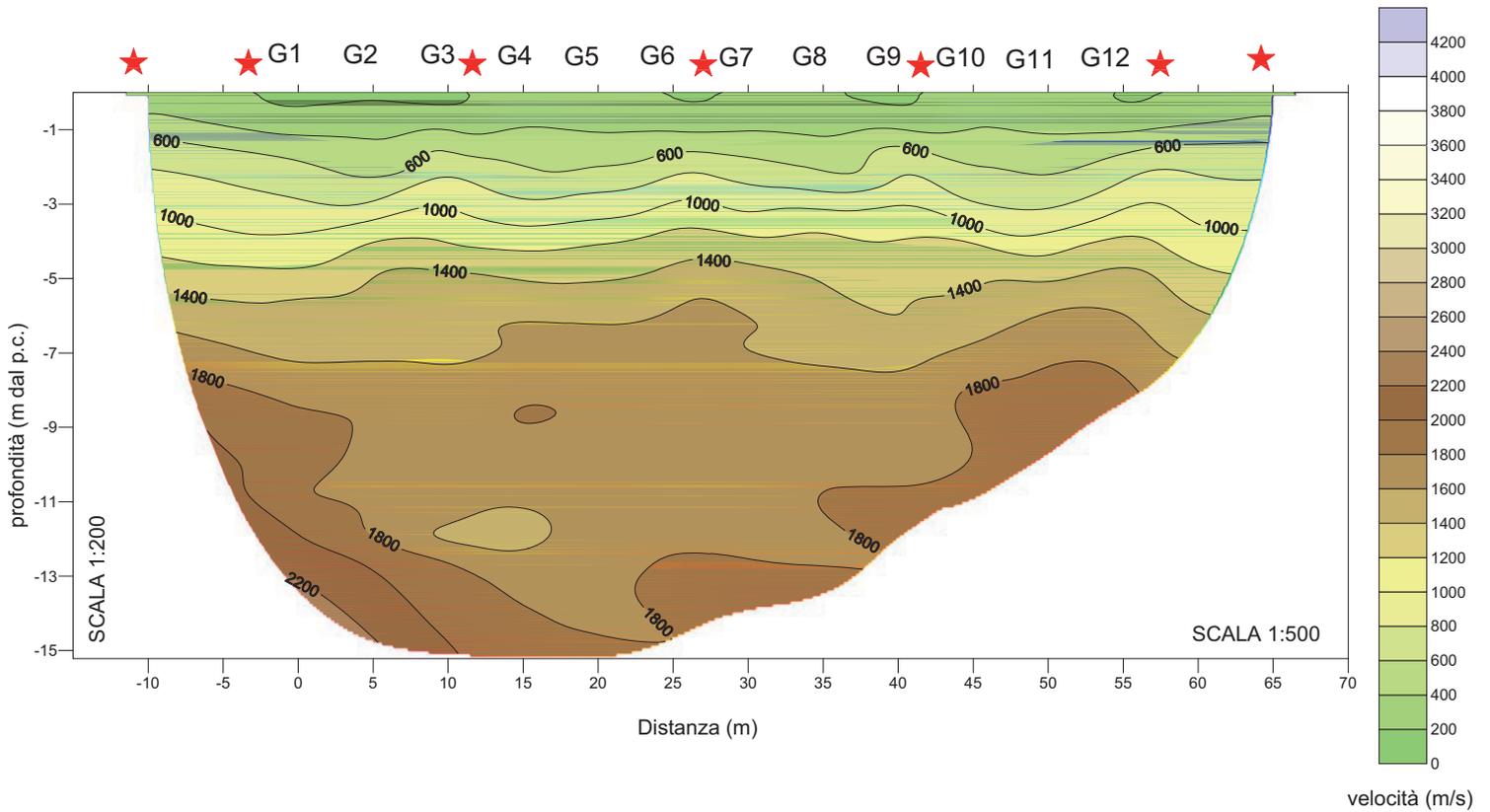
DROMOCRONE



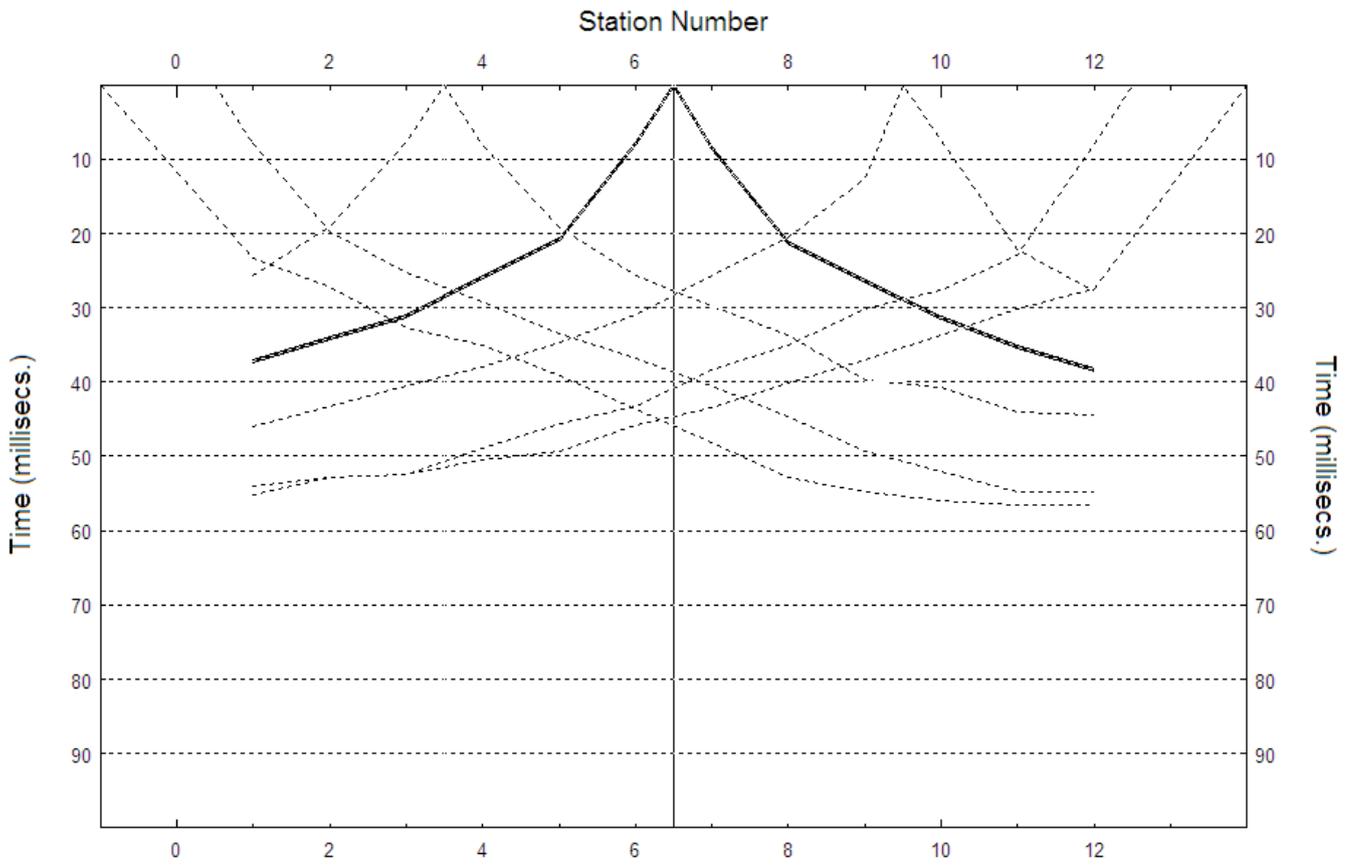
SEZIONE SISMO TOMOGRAFICA (Onde P)

Sism 1

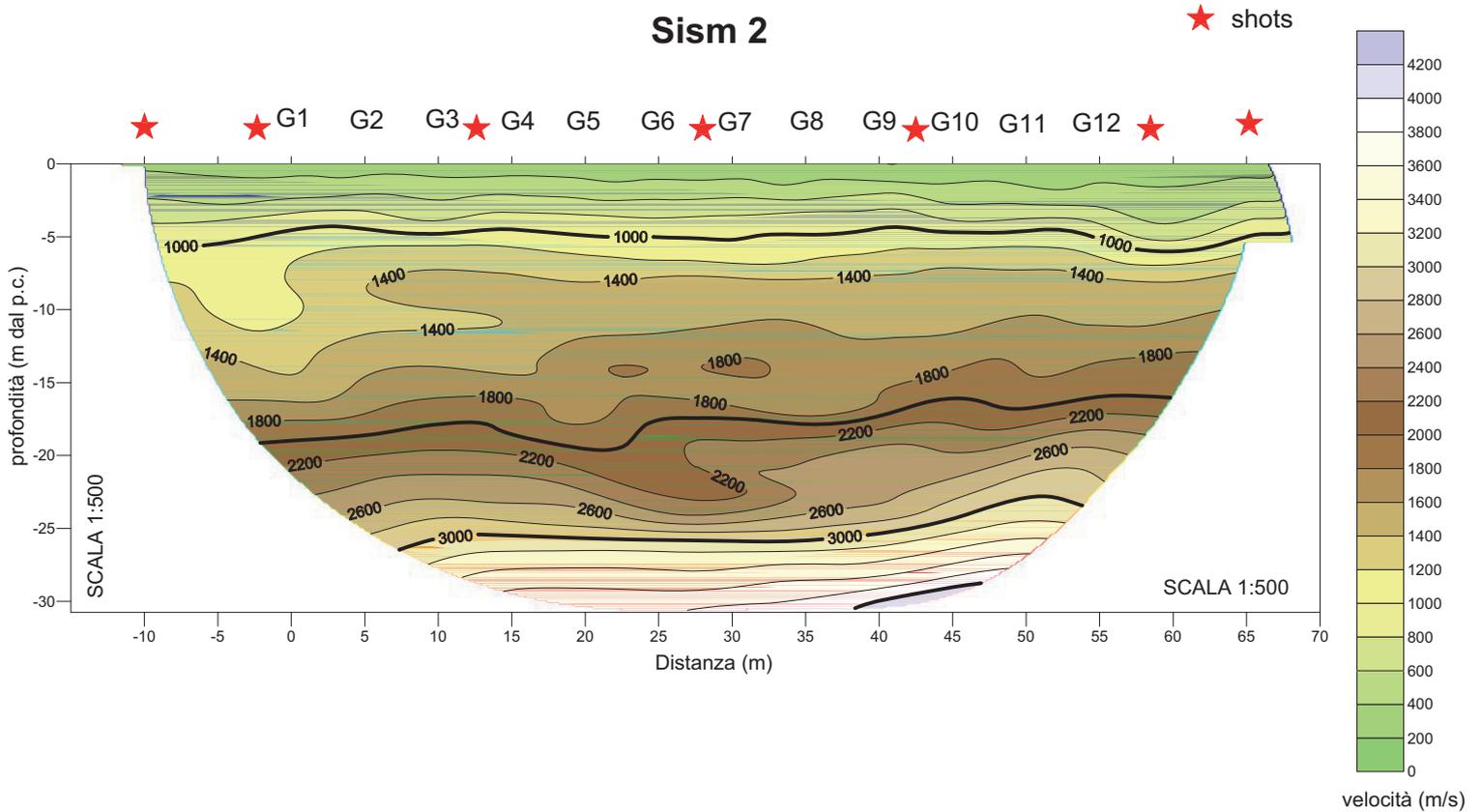
★ shots



DROMOCRONE



SEZIONE SISMO TOMOGRAFICA (Onde P)



COMUNE DI GENZANO DI LUCANIA

(Provincia di Potenza)

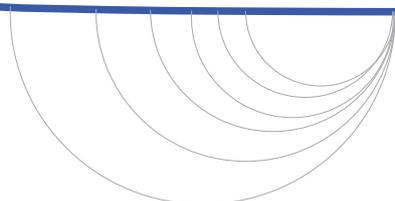
PARCO EOLICO IN LOCALITA' LA MATTINA GRANDE

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE



SISMICA A RIFRAZIONE

Studio di Geologia Tecnica e Ambientale
geol. Pierluigi Di Russo
Corso Italia, 31 - 04022 FONDI (LT)
0771501272 - 3282782674



Premessa

Su incarico del dott. Geol. L. Burzi, è stata eseguita una prospezione sismica a rifrazione con restituzione tomografica, in un sito nel Comune di Genzano di Lucania, su cui è in progetto un Parco Eolico in località La Mattina Grande.

Lo scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri, con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle proprietà meccaniche elastiche, quali la velocità V_p delle onde longitudinali e i relativi parametri elastici (E e G). E' stato pertanto ricostruito il modello geofisico e la sezione sismo tomografica.

L'indagine è consistita in due stese di sismica a rifrazione con stendimento di 55 metri, con orientazione e caratteristiche, di seguito specificate, considerate le più idonee, in relazione alle problematiche logistiche e alle esigenze di investigazione:

<i>Stesa</i>	<i>Orientazione</i>	<i>Lunghezza (m)</i>	<i>Spazio intergeofonico (m)</i>	<i>Numero di scoppi</i>
<i>Sism 3</i>	<i>N 15° W</i>	<i>55</i>	<i>5</i>	<i>3 int+6est</i>
<i>Sism 4</i>	<i>N 155 E</i>	<i>55</i>	<i>5</i>	<i>3 int+6 est</i>

Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche di cui al paragrafo 3.2 della normativa e della definizione delle forme spettrali, in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate dei due siti oggetto di indagini sono le seguenti (la sigla ED50 si riferisce all'ellissoide di riferimento adottato per la carta di pericolosità dell'INGV):

Sism 3:

Latitudine: ϕ_{ED50} 40,817677

Longitudine: λ_{ED50} 16,064848

Sism 4:

Latitudine: ϕ_{ED50} 40,810573

Longitudine: λ_{ED50} 16,068507

Si riportano di seguito i dati relativi alle geometria delle linee di acquisizione sismica con indicazione dei punti di energizzazione.

GEOFONO	DISTANZA PROGRESSIVA (M)	DISTANZA PARZIALE (M)	PUNTI ENERGIZZAZIONE
	-20	-20	■
	-10	-10	■
	-2.5	2.5	■
G1	0	0	
G2	5	5	
G3	10	5	■
G4	15	5	
G5	20	5	
G6	25	5	■
G7	30	5	
G8	35	5	
G9	40	5	■
G10	45	5	
G11	50	5	
G12	55	5	
	57.5	+2.5	■
	65	+10	■
	75	+20	■

L'elaborazione dei dati acquisiti è stata eseguita preliminarmente mediante l'analisi delle dromocrone, e successivamente con le metodologie proprie della tomografia.

Si riporta in allegato, lo schema con l'ubicazione dello stendimento, le dromocrone calcolate e le sezioni sismo tomografiche.

Descrizione del metodo di indagine e limiti dell'indagine sismica a rifrazione

Il metodo sismico si occupa dell'esplorazione del sottosuolo, attraverso lo studio della propagazione delle onde elastiche generate mediante l'utilizzazione di masse battenti o tramite esplosioni controllate (punto di energizzazione). L'impiego dell'una o dell'altra fonte di energizzazione dipende essenzialmente dalla profondità

d'investigazione richiesta e dallo scopo dell'indagine. Le onde elastiche seguono le stesse leggi delle onde luminose.

Il fine delle indagini sismiche è di risalire a modelli di terreni caratterizzati da una differente velocità delle onde elastiche, nell'individuare i loro spessori e la loro distribuzione spaziale. Inoltre poiché la velocità delle onde elastiche di volume, (onde "P" ed onde "S"), è funzione dei parametri elastici del mezzo in cui si propagano, conoscendone la densità, si possono ricavare i moduli elastici dinamici che caratterizzano il mezzo stesso. È valido quindi per ricerche stratigrafiche e per molti problemi di ingegneria.

Il metodo sismico, in altre parole, consente la ricostruzione di rappresentazioni bidimensionali della distribuzione della velocità delle onde sismiche, tra due allineamenti costituiti da energizzatori e rilevatori. La radiazione sismica, attraversando le rocce, è alterata dal corpo stesso per cui i valori di velocità e l'ampiezza delle onde risentono di differenti stati geomeccanici della roccia quali, ad esempio, la presenza di intense fasce di fratturazione o di zone a maggiore o minore velocità sismica quali giacimenti minerari o presenza di acqua. L'analisi delle immagini tomografiche consente di identificare zone fratturate all'interno di rocce, rinvenire giacimenti minerari, scoprire inquinanti.

Non rappresenta una metodologia risolutiva nel campo delle prospezioni per la ricerca delle cavità o di manufatti, specie in terreni alluvionali e, in genere, per cavità ed oggetti di ridotte dimensioni, ciò a causa della difficoltà di discriminazione di differenze di tempi estremamente piccole, (centesimi e millesimi di millisecondo), legate alla interferenza del segnale sismico provocato con l'anomalia sepolta.

Ad aggravare ulteriormente la difficoltà di lettura di tempi così brevi, sta la necessità di provvedere a disposizioni particolarmente accurate e precise del sistema di registrazione sul terreno, (posizione dei geofoni e del punto di energizzazione), che ovviamente mal si sposano con la velocità di esecuzione e l'economicità del sistema. Nonostante questa premessa, in determinate condizioni e grazie a strumentazione moderna e protocolli di impiego accuratamente predisposti, il metodo sismico può trovare applicazione, soprattutto quando si possa usufruire anche di sondaggi meccanici e prove penetrometriche.

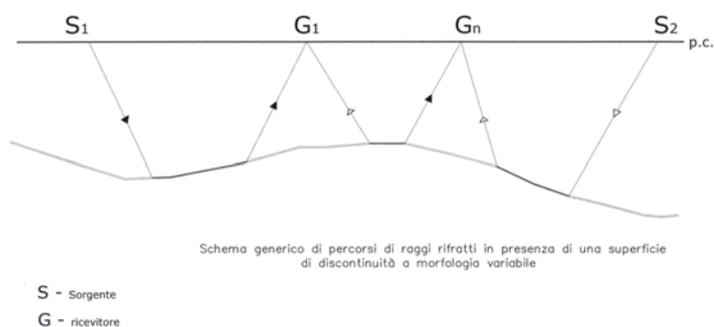
Le indagini sismiche, in pratica, si effettuano misurando i tempi diretti di propagazione nel terreno delle onde sismiche tra una sorgente di energia, e uno o più sensori (geofoni), che vengono posizionati lungo un allineamento a distanze progressivamente crescenti dal punto di emissione dell'energia. Le indagini possono essere effettuate sia a livello, che in foro.

Lungo la base sismica le onde provenienti dal punto di energizzazione che arrivano ai sismografi sono prima quelle dirette e poi quelle che hanno subito il fenomeno della rifrazione totale al tetto di strati sempre più profondi (supposto che la compattezza aumenti con la profondità).

L'indagine sismica a rifrazione è valida quando si verificano le condizioni sopra accennate e la velocità dei vari terreni aumenti con la profondità.

Se, cioè, terreni con velocità basse sono al di sotto di terreni con velocità più alte, non possono essere evidenziati dall'indagine.

La curva che da il tempo in funzione della distanza viene chiamata dromocrona e permette di determinare con opportuni calcoli le velocità e gli spessori dei vari terreni.



Apparecchiatura utilizzata

SISMOGRAFO Modello BF12C prodotto da IGS Idrogeostudi, 12 canali con risoluzione 12 bit interfacciato ad un personal computer dotato di Software su piattaforma a 32 bit Windows 98 o superiore.

- Acquisizione simultanea di tutti i segnali
- Elevata frequenza di acquisizione, 20000 Hz
- 8192 campioni/canale in display da una a quattro pagine
- Amplificazione settabile in acquisizione via software da 10 a 70 dB
- Possibilità di introdurre un ritardo
- Possibilità di filtraggio digitale dei segnali acquisiti

Alimentazione con batteria esterna a 12 Volt, consumo 50 mA

A corredo del sismografo:

n° 12 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza caratteristica di 10 Hz collegabili ad un cavo per stendimenti con offset max di 5 metri, lunghezza totale 55 metri.

Sorgente energizzante costituita da mazza battente di 8 kg con trigger piezoelettrico

Per l'elaborazione dei dati acquisiti in campagna

Software Rayfract sviluppato dalla Intelligent Resources Vancouver Canada.

Surfer(8) per il gridding e countoring della Golden Software

Caratteristiche del software:

RAYFRACT (tm) è un pacchetto software a 32-bit, adatto per il processing di dati di profili sismici a rifrazione con basse, medie o alte coperture. In particolare, permette l'interpretazione di profili realizzati sia con onde di tipo P che di tipo S. Esso consente di gestire reali contesti geologici, quali topografie estreme, faglie, gradienti di velocità laterali e verticali, anomalie di velocità locali, strati di alterazione a bassa velocità, ecc.

I tempi di primo arrivo possono essere importati attraverso file ASCII, o letti da file sismici con il picking manuale, semi-automatico o automatico. L'individuazione dei rifrattori in corrispondenza delle dromocrone può avvenire manualmente o in modo semi-automatico. In particolare, i dati sismici acquisiti per la ricostruzione della geometria dei rifrattori vengono elaborati secondo tre differenti metodi di interpretazione tradizionale: il metodo "CMP" (common mid point), il metodo "Plus-Minus" e il metodo "Wavefront".

Oltre ai metodi suddetti, si ha la possibilità di elaborare i dati secondo tecniche tomografiche; RAYFRACT fa uso del metodo d'inversione (pseudo 2D) denominato "Delta-t-V method" (Gebrande e Miller, 1985), che permette di ottenere profili mono-dimensionali (1D) di tipo "profondità-velocità" e di un affinamento del modello attraverso il nuovo processing per tomografia di tipo WET, wavepath eikonal travelttime (Schuster, 1993; Watanable, 1999). I profili sono scritti in formato ASCII, e possono essere plottati con opportuni software, quali il "Surfer", per ottenere rappresentazioni di tipo "station number-depth velocità maps".

Modalità esecutive dell'indagine tomografica

Una recente metodologia d'indagine geofisica per l'esplorazione geologico-strutturale a grande scala, consiste nella elaborazione dei dati ottenuti dalla prospezione sismica a rifrazione convenzionale con stendimenti lungo la superficie, tramite algoritmi propri dell'analisi tomografica, in modo tale da definire non solo singoli rifrattori ma una più completa mappatura, lungo un piano verticale, della distribuzione areale dei valori di velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s).

L'analisi dei risultati è completamente computerizzata e porta all'elaborazione di sismogrammi e, per analisi successive, a sismosezioni tomografiche.

Nella classica sismica a rifrazione, se si vogliono ottenere informazioni su rifrattori profondi, è bene utilizzare degli shot (spari) esterni distanti rispetto allo stendimento dei geofoni: maggiore è tale distanza, più in profondità giungeranno le

onde sismiche generate dalla sorgente e maggiori dati si ricaveranno per l'interpretazione del profilo.

Per ottenere una buona tomografia sismica, invece, tutti gli shot devono essere posizionati all'interno dello stendimento dei geofoni, al più, con qualcuno esterno distante dal primo/ultimo geofono di una/due unità in station number. Ciò poiché gli shot distanti non forniscono alcun contributo alla tomografia sismica a causa della mancanza di ricevitori ubicati in dette zone. Di solito, per conseguire dei buoni risultati, è opportuno eseguire uno shot ogni tre geofoni.

La tomografia sismica, per raggi diretti, è una tecnica d'indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un potere risolutivo nettamente superiore ad altri metodi, offrendo la possibilità della ricostruzione, con elevato grado di qualità, di anomalie stratigrafiche, anche particolarmente complesse non risolvibili con differenti tecniche d'indagine.

Per le procedure di realizzazione di immagini tomografiche è necessario utilizzare un maggior numero di sorgenti di energizzazione e di punti di ricezione delle onde sismiche, che permettano una distribuzione dei raggi sismici omogenea e con una densità che viene predefinita in funzione del "target" da raggiungere.

Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Il risultato finale sarà la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate, secondo una scala cromatica prefissata.

Analisi ed elaborazione dei dati: risultati ottenuti

Dai dati acquisiti, attraverso l'analisi dei sismogrammi, sono state ricostruite le dromocrone, ovvero i grafici che mettono in relazione i tempi di primo arrivo delle onde sismiche con le distanze dai punti di energizzazione (e quindi le distanze percorse dalle onde). Dall'analisi delle dromocrone coniugate in entrambe le stese Sism 3 e Sism

4, si evidenzia una generale simmetria che lascia ipotizzare la presenza di rifrattori orizzontali.

L'analisi delle dromocrone permette di identificare la presenza di almeno due rifrattori per ogni sito; l'analisi con metodi tomografici evidenzia andamenti regolari delle velocità delle onde P nel sottosuolo, come di seguito specificato:

Sism 3

Una preliminare elaborazione è stata effettuata con il metodo delle intercette che ha permesso di determinare un primo rifrattore alla profondità media di 2.00 metri dal piano campagna; esso delimita un livello superiore che ha velocità di 226 m/s; al di sotto di tale rifrattore i terreni hanno velocità medie di 1075 m/s. Un secondo rifrattore si calcola a 7.00 m al di sotto del quale le velocità sono di circa 1500 m/s.

L'analisi dei dati acquisiti e l'elaborazione con metodi tomografici mostra andamenti delle isolinee di velocità sempre piuttosto uniformi, e velocità in linea di massima compatibili con l'andamento delle dromocrone.

Si distingue quindi un livello superficiale costituito dall'aerato superficiale di bassa velocità sismica e quindi bassa consistenza, sottostanti sedimenti non consolidati (terre sciolte) fino alla profondità investigata.

Sism 4

L'analisi dell'andamento delle dromocrone, mostra tre livelli.

Il primo rifrattore alla profondità di 1.65 m, permette di distinguere un livello superficiale con velocità di 232 m/s al di sopra di un orizzonte con velocità di 556 m/s. Il secondo rifrattore si rinviene alla profondità media di 10.23 m. L'ultimo sismostrato ha velocità di 1570 m/s. L'analisi dei dati acquisiti e l'elaborazione con metodi tomografici mostra andamenti delle isolinee di velocità sempre orizzontali, e velocità in linea di massima, compatibili con l'andamento delle dromocrone.

Si distingue quindi un livello superficiale costituito dall'aerato superficiale di bassa velocità e quindi bassa consistenza, e sedimenti sottostanti non consolidati (terre sciolte) con velocità sismiche più alte, riferibili a sedimenti più consistenti e/o addensati.

Calcolo del modulo dinamico di elasticità (Modulo di Young)

Nei problemi ingegneristici la sismica a rifrazione presenta il vantaggio di determinare il valore del modulo di elasticità la cui conoscenza è indispensabile ai fini della progettazione dei manufatti.

A questo proposito si ricorda che il modulo dinamico di elasticità E (o di Young) è uguale a:

E (kg/cmq) = P (kg/cmq)/ ϵ dove P è lo sforzo di compressione applicato e ϵ è la deformazione.

Ma si può arrivare alla ϵ anche da Poisson (σ) ove $\sigma = \epsilon_T / \epsilon_L$ (deformazione trasversale su deformazione longitudinale) ed il valore σ varia da 0 a 0.5.

Inoltre, dalla sismica e dai valori della velocità delle onde longitudinali, con particolari strumenti o algoritmi si ricava il valore delle onde trasversali.

Il valore di σ è poi in rapporto con V_s (m/s) = $V_p \sqrt{\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma}}$ (dove σ è il coefficiente di

Poisson dello strato, mediamente uguale a 0.25 nelle rocce e 0.35 nei terreni sciolti. I valori più bassi per ogni litotipo si riferiscono al caso di maggiore fratturazione o minore addensamento), quindi sulla base dei valori di velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali, la densità del mezzo ed il modulo di Poisson, è possibile stimare il modulo dinamico di elasticità. Questo modulo è meno preciso puntualmente, ma più valido come valore medio e più alto di quello statico che, per gli elevati sforzi a cui sottopone il terreno, è sensibile anche alle deformazioni plastiche irreversibili.

$$E = 2(V_s)^2 \rho d(1 + \sigma) \times 10000 \text{ (dove } d \text{ è la densità del mezzo)}$$

Dal valore del modulo di elasticità è possibile calcolare il modulo di rigidità G (modulo di Taglio) attraverso la seguente relazione:

$$G = E / 2(1 + \sigma)$$

Nella tabella di seguito riportata è possibile correlare i dati di velocità delle onde prime con i Moduli Dinamici di Elasticità espressi in Kg/cmq.

A tal fine si attribuiscono ai terreni litoidi valori del coefficiente di Poisson di 0.25 e ai terreni sciolti coefficienti di 0.35 lungo la verticale d'indagine può sintetizzarsi la seguente situazione sismo-stratigrafica:

SISM 3

CORRELAZIONI SISMICHE

Elaborazioni dati ottenuti da prospezioni sismiche

Caratteristiche medie dei sismostrati:

Sismostrati	Vp [m/s]	γ [kg/m ³]	ν Poisson	Z [m]
1	226.0	1800	0.35	2.00
2	1075.0	1800	0.35	5.00
3	1506.0	1900	0.35	23.00

Risultati elaborati:

Sismostrati	Vs [m/s]	D [kg/m ³]	Ed [kg/cm ²]	R [kg/cm ²]
1	108.6	183.6	584.3	216.5
2	516.4	183.6	13220.0	4896.0
3	723.5	193.8	27387.1	10144.5

SISM 4

CORRELAZIONI SISMICHE

Elaborazioni dati ottenuti da prospezioni sismiche .

Caratteristiche medie dei sismostrati:

Sismostrati	Vp [m/s]	γ [kg/m ³]	ν Poisson	Z [m]
1	232.0	1800	0.35	1.65
2	556.0	1800	0.35	8.58
3	1570.0	1900	0.35	19.80

Risultati elaborati:

Sismostrati	Vs [m/s]	D [kg/m ³]	Ed [kg/cm ²]	R [kg/cm ²]
1	111.5	183.6	615.7	228.3
2	267.1	183.6	3536.4	1309.9
3	754.2	193.8	29764.2	11023.7

Legenda:

- Vp = Velocità onde di compressione
- Vs = Velocità onde di taglio
- γ = Peso di volume del terreno
- Z = Spessore
- D = Densità
- ν = Modulo di Poisson
- Ed = Modulo di Young o di deformazione dinamica
- R = Modulo di rigidità

SISMICITA' DELL'AREA E CATEGORIE DI SUOLO

L'area oggetto di studio appartenente al Comune di Genzano di Lucania, in riferimento al D.M. 16/01/96, risulta classificata sismica di II categoria, con grado di sismicità S=9 e coefficiente di intensità sismica, utile per le calcolazioni progettuali, pari a 0,07.

Nella classificazione 2003 a cui fa riferimento la nuova normativa, la sismicità è definita mediante quattro zone, numerate da 1 a 4.

La corrispondenza fra queste diverse definizioni è riportata di seguito

1 prima categoria S=12; zona 1

2 seconda categoria S=9; zona 2

3 terza categoria S=6; zona 3

4 non classificato; - zona 4

Il Comune di Genzano di Lucania, classificato sismico di 2° categoria attualmente ricade nella zona 2.

La nuova normativa D.M. 14.01.2008, prevede in dettaglio le categorie di suolo di fondazione a cui far riferimento ai fini della definizione della azione sismica di

progetto; in essa si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In aggiunta a queste categorie, per le quali vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

SI Depositati di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Determinazione Vs30: Normativa sismica vigente

La nuova normativa sismica ha dato nuove disposizioni in termini di classificazione sismica portando a 4 il numero delle zone sismiche, differenziate in quattro corrispondenti valori di accelerazione orizzontale dello spettro elastico di risposta.

Ai fini delle azioni di progetto, vengono definite cinque categorie lito-stratigrafiche con aggiunta di due categorie particolari che prevedono studi speciali per la definizione dell'azione sismica. Per la definizione delle categorie, in funzione della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i 30 metri di profondità, viene considerata la seguente espressione

$$V_{s30} = 30 / \sum(h/V1)$$

dove h1 e V1 indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

La sismica a rifrazione non è indagine specifica per la determinazione del Vs30; Attraverso i valori di Vp trasformati, mediante il coefficiente di Poisson imposto, in Vs, conoscendo la sequenza stratigrafica, è possibile comunque, fermo restando gli elementi di incertezza legati alla metodologia, determinare i valori del Vs30 e poter attribuire pertanto i terreni alla categoria di suolo indicata nelle norme tecniche.

Nel caso specifico, in riferimento ai valori di Vs calcolati precedentemente, si determina come di seguito specificato il valore di Vs30 in m/s:

SISM 3

SINTESI DI CALCOLO DEL Vs30

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

D.M. del 14/01/2008, (GU n. 29 del 4-2-2008 - Suppl. Ord. n.30).

Caratteristiche medie dei sismostrati:

Sismostrati	Vs [m/s]	Z [m]
1	108.6	2.00
2	516.4	5.00
3	723.5	23.00

Stima del Vs30 medio nei primi 30 metri di profondità:

Vs30 =	501.6	[m/s]
---------------	-------	-------

Categoria di suolo:

Classe	B
---------------	---

SISM 4

SINTESI DI CALCOLO DEL Vs30

Caratteristiche medie dei sismostrati:

Sismostrati	Vs [m/s]	Z [m]
1	111.5	1.65
2	267.1	8.58
3	754.2	19.80

Stima del Vs30 medio nei primi 30 metri di profondità:

Vs30 =	384.2	[m/s]
---------------	-------	-------

Categoria di suolo:

Classe	B
---------------	---

Legenda:

- Vs = Velocità onde di taglio
- Z = Spessore

Si riportano di seguito i parametri sismici caratteristici del sito

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 35anni
Coefficiente cu: 0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,042 g
Fo: 2,509
Tc*: 0,279 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 35 [anni]
ag: 0,045 g
Fo: 2,507
Tc*: 0,291 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 332 [anni]
ag: 0,114 g
Fo: 2,611
Tc*: 0,438 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 682 [anni]
ag: 0,146 g
Fo: 2,647
Tc*: 0,485 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,000
Kh: 0,009
Kv: 0,005
Amax: 0,495
Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,000
Kh: 0,010
Kv: 0,005
Amax: 0,531
Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,300

St: 1,000
Kh: 0,033
Kv: 0,016
Amax: 1,338
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,200
Cc: 1,270
St: 1,000
Kh: 0,042
Kv: 0,021
Amax: 1,720
Beta: 0,240

Formia, dicembre 2010

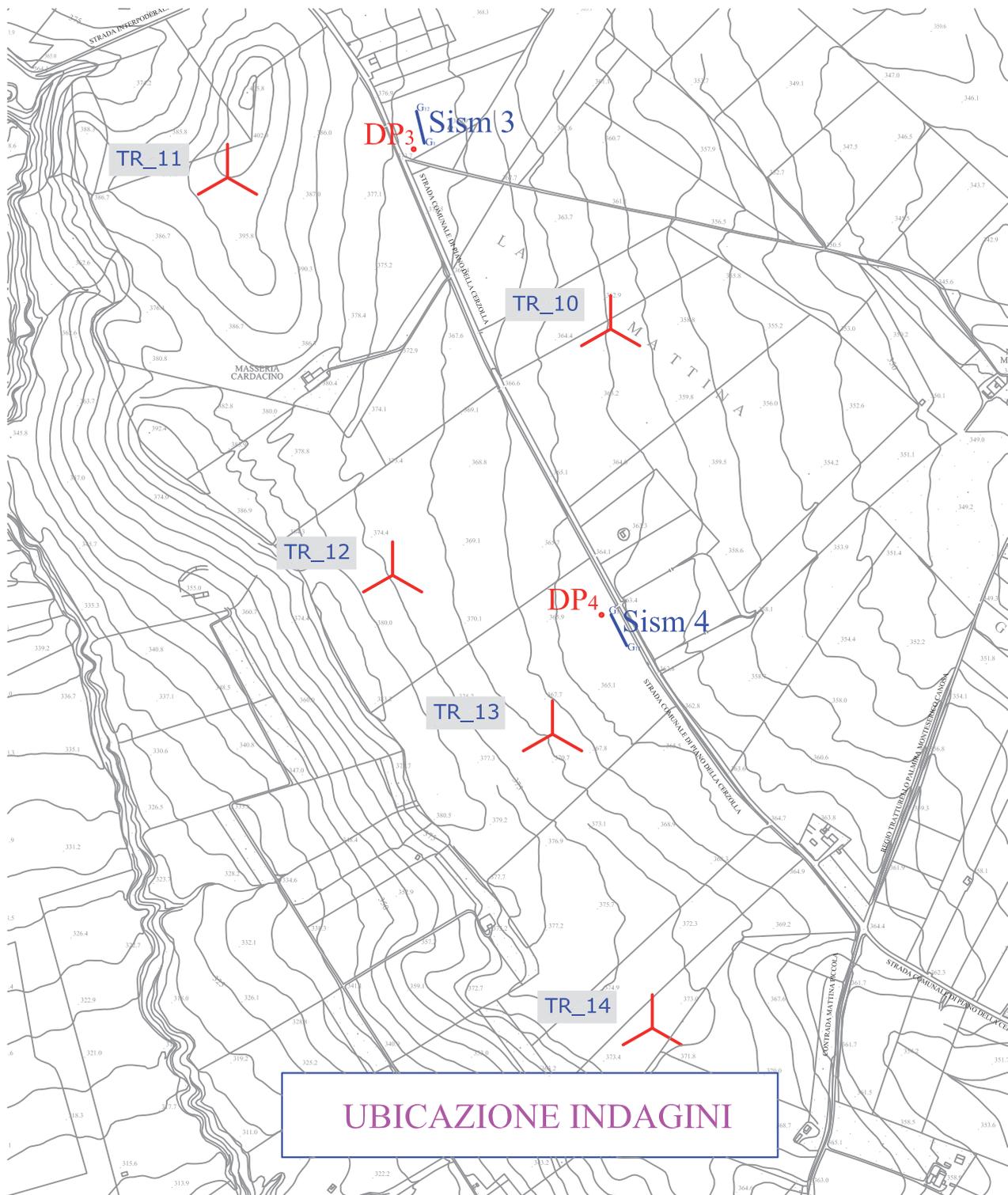
Geol. Pierluigi Di Russo

ALLEGATI

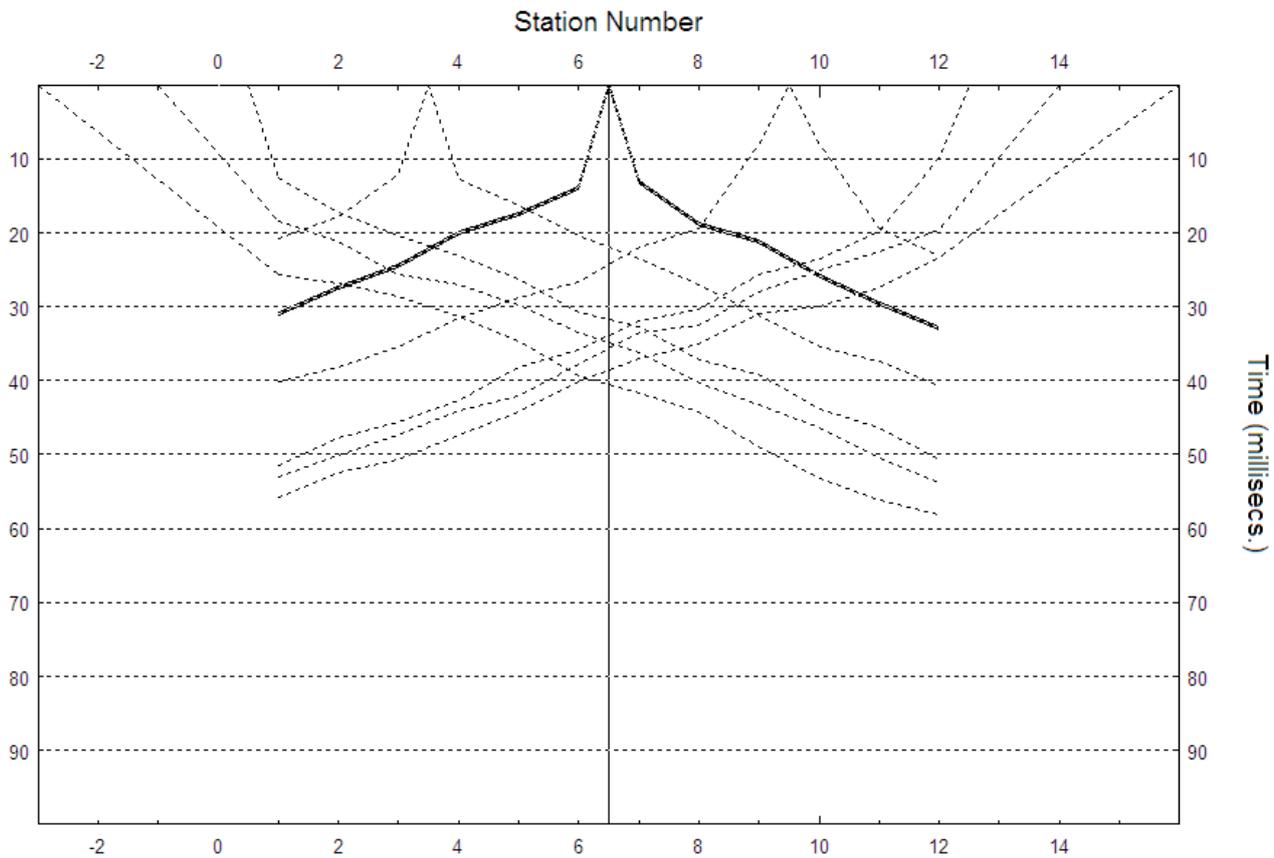
Planimetria ubicativa stesa sismica

Dromocrone onde P

Sezione sismo tomografica



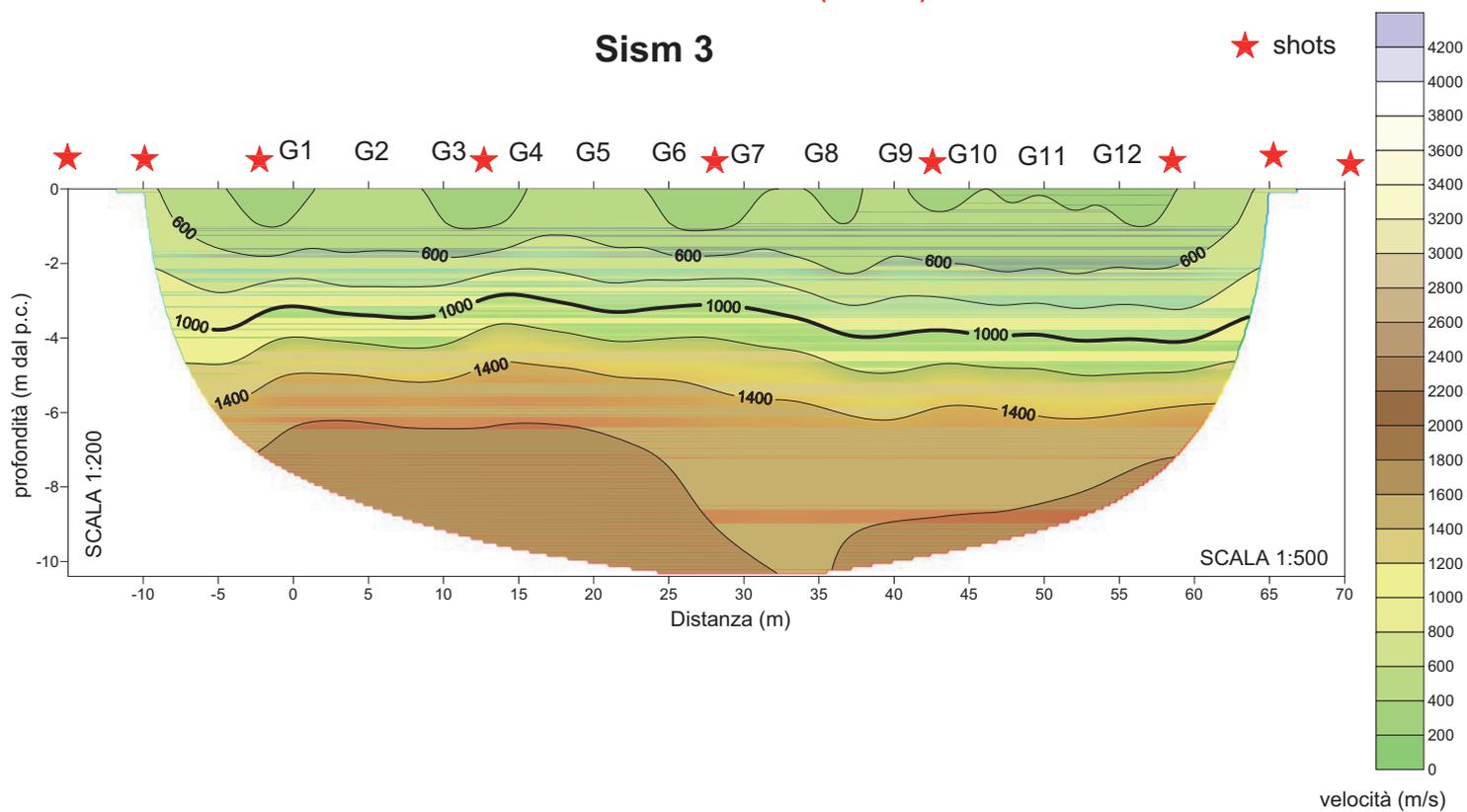
DROMOCRONE



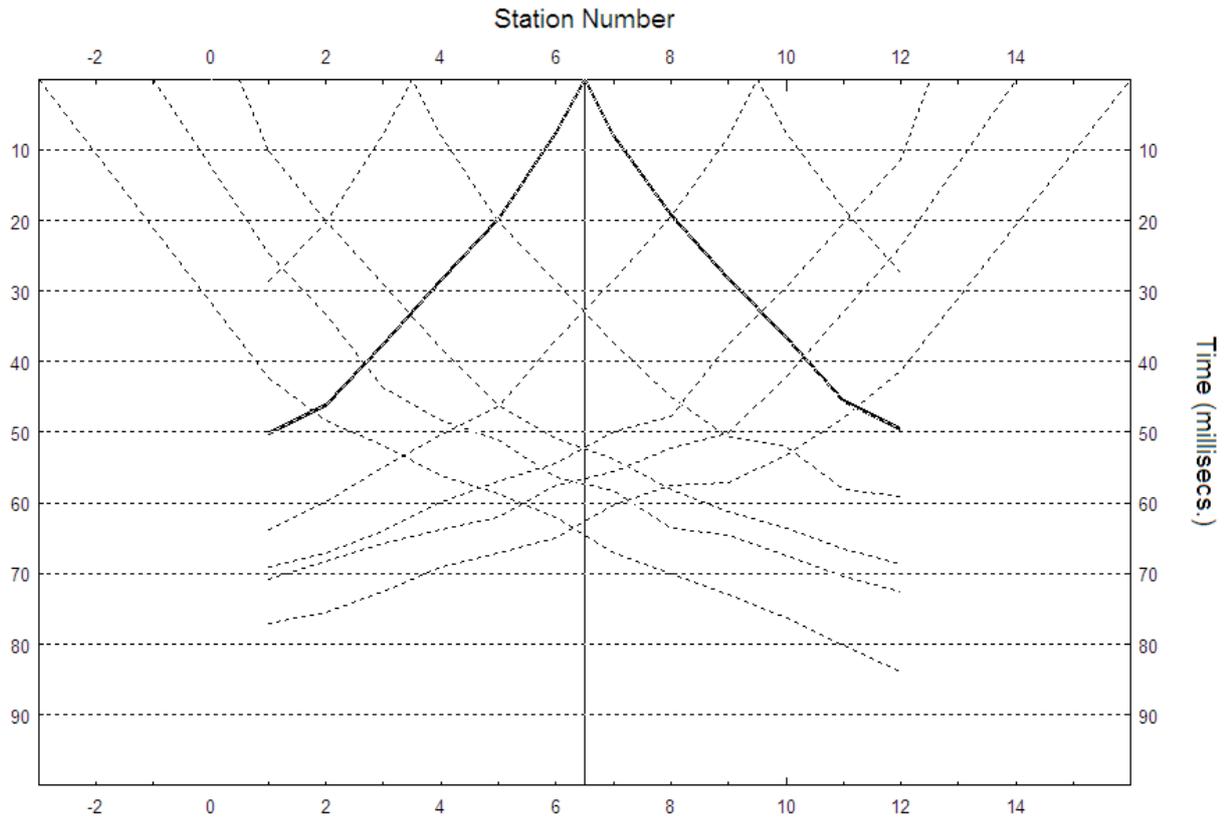
SEZIONE SISMO TOMOGRAFICA (Onde P)

Sism 3

★ shots



DROMOCRONE



SEZIONE SISMO TOMOGRAFICA (Onde P)

★ shots

Sism 4

