

COMUNE DI CARDINALE

(CATANZARO)

INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AL PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO DELL'ABITATO

- ♦ **PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE**
- ♦ **PROSPEZIONE SISMICA IN FORO DOWN-HOLE**
- ♦ **PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CROSS-HOLE**

Dott. Geol. Vincenzo LO POLITO



LUGLIO 2001

PREMESSA

Nell'ambito delle indagini geognostiche a corredo del progetto per il consolidamento dell'abitato di Cardinale (CZ), è stata eseguita una prospezione geofisica a rifrazione consistente in:

- n.6 stendimenti di sismica a rifrazione, distribuiti in modo da raccogliere maggiori informazioni possibili sulle caratteristiche fisiche dei terreni investigati;*
- n. 2 prospezioni sismiche in foro con metodologia down-hole;*
- n. 1 prospezioni sismiche in foro con metodologia cross-hole.*

Fanno parte integrante di tale rapporto:

- 1. Dromocrone e sezioni sismostratigrafiche;*
- 2. Tabelle e grafici delle prospezioni in foro "down-hole"*
- 3. Tabelle e grafici delle prospezioni in foro "cross-hole"*

A. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

L'indagine sismica di superficie è consistita nell'esecuzione di n.7 stendimenti sismici a rifrazione coniugati per un totale di 1.000 metri lineari.

La prospezione sismica a rifrazione è stata finalizzata, con priorità principale, alla ricostruzione dei rapporti geometrici dei sismostrati rilevati, alla verifica degli spessori ed al calcolo dei moduli elastici.

I risultati della suddetta indagine vengono descritti nella presente relazione, della quale costituiscono parte integrante l'interpretazione dei dati rilevati in campagna (dromocrone e sismostratigrafie).

Prima di procedere alla descrizione dei sondaggi ed all'analisi dei risultati, si riportano di seguito dei brevi cenni sull'apparecchiatura utilizzata.

*Gli stendimenti, di cui alla premessa, sono stati realizzati mediante l'utilizzo di geofoni **Sensor Geospace** con frequenza di 14Hz e distorsione del 0.05%, testati con certificazione del 15.10.2000.*

Le registrazioni, nelle prospezioni eseguite, sono avvenute convogliando i dati delle singole stazioni alla centrale raccolta dati (per le indagini sismiche eseguite sono state utilizzate due apparecchiature: (a) ELGI/05 mod. ESS 01-24M, composta da una unità di acquisizione a 24 canali, dotata di memoria per la cumulabilità degli impulsi, (b) PASI 24 canali.

L'impulso sismico (battuta) è stato creato con una sorgente ad esplosivo in grado di produrre un impatto con il terreno netto e chiaro. Difatti, nel corso dell'indagine geofisica si è ottenuto un ottimo rapporto segnale/rumore e, quindi, mediante l'introduzione di opportuna amplificazione della memoria ad accumulo di segnale si è verificata la rilevabilità del primo impulso per tutti gli stendimenti eseguiti.

Tutti i sismogrammi ottenuti e registrati su apposito supporto magnetico sono stati filtrati per discriminare e pertanto rendere minimo il rapporto segnale/rumore.

PRINCIPI TEORICI

Il metodo della sismica a rifrazione è basato sulla misura del tempo necessario affinché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente a energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale.

bassa velocità (con onde dirette) e le superfici di strati a velocità crescente con la profondità (onde rifratte).

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni sismiche è costituita da una serie di geofoni che vengono spazati regolarmente lungo un determinato allineamento e da un cronografo che registra l'istante di partenza della perturbazione ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono. La registrazione, sia del momento dell'esplosione sia del segnale amplificato da ciascun geofono, avviene simultaneamente su un unico diagramma. La sorgente di energia è costituita da esplosivo.

ANALISI DELLE PROSPEZIONI

I valori dei tempi di percorso delle onde sismiche misurati in fase di acquisizione dati, unitamente con la distanza dei geofoni sono stati elaborati con i software: refraction v3.0, winsism 8.0 e sisma v1.4, che hanno consentito il calcolo delle velocità delle onde di volume, la profondità degli orizzonti rifrangenti con relative inclinazioni sull'orizzonte e la determinazione de alcuni moduli elastici.

Tutti gli stendimenti hanno evidenziato un modello a due sismostrati; per l'analisi dettagliata dei dati vedasi le allegate sezioni sismostratigrafiche.

VELOCITÀ LONGITUDINALE, TRASVERSALE MODULI ELASTICI * :
tali calcoli derivano dall'assunzione di valori medi di velocità e stime di densità pari a: 1,50 t/m³

STENDIMENTO N°1

Strato	V _P (km/s)	V _S (km/s)	E (kg/cm ²)	R (kg/cm ²)	P
1	0,610	0,340	5.500	2.145	0,28
2	1,270	0,780	22.600	8.700	0,30

STENDIMENTO N°2

Strato	V _P (km/s)	V _S (km/s)	E (kg/cm ²)	R (kg/cm ²)	P
1	0,750	0,415	8.300	3.240	0,28
2	1,510	0,800	31.950	12.290	0,30

STENDIMENTO N°3

Strato	V _P (km/s)	V _S (km/s)	E (kg/cm ²)	R (kg/cm ²)	P
1	0,600	0,330	5.310	2.080	0,28
2	1,370	0,730	26.300	10.100	0,30

STENDIMENTO N°4

Strato	V _P (km/s)	V _S (km/s)	E (kg/cm ²)	R (kg/cm ²)	P
1	0,545	0,300	4.390	1.710	0,28
2	1,260	0,670	22.250	8.550	0,30

STENDIMENTO N°5

Strato	V _P (km/s)	V _S (km/s)	E (kg/cm ²)	R (kg/cm ²)	P
1	0,675	0,370	6.700	2.630	0,28
2	1,520	0,810	32.380	12.450	0,30

STENDIMENTO N°6

Strato	V _P (km/s)	V _S (km/s)	E (kg/cm ²)	R (kg/cm ²)	P
1	0,610	0,340	5.500	2.145	0,28
2	1,390	0,750	27.080	10.410	0,30

LEGENDA : V_p = vel. longitudinale; V_s = vel. trasversale; E = mod. di Young; R = mod. di rigidità; P = mod. di Poisson.

^(*) Considerando l'influenza esercitata dalla presenza della falda idrica, a tale incremento bisognerà sommare un valore pari a 0,697 (h_{falda} pari a 3m), 0,527 (h_{falda} pari a 4m), 0,368 (h_{falda} pari a 5m), dove h indica la profondità della falda rispetto al piano campagna.

B. INDAGINE DOWN-HOLE ED ANALISI DEI DATI

Le misure di velocità con la tecnica down-hole si basano sulla determinazione dei tempi di propagazione delle onde di volume tra una sorgente collocata sulla superficie in prossimità della bocca di un foro, ed uno o più geofoni posti a varie profondità nel foro. Il foro in cui viene effettuata la misura viene rivestito (nel nostro caso si è fatto uso di tubi di metallo). I geofoni sono bloccati al foro per la misura delle velocità alle profondità stabilite. Il geofono da pozzo utilizzato per tale indagine (meccanica OYO) è costituito da una tripletta di geofoni di cui uno verticale e altri due orizzontali. Pertanto per determinare le onde di taglio, la sorgente energizzante, è stata collocata sul terreno in modo tale da poterle rilevare.

Un elemento importante di cui tener conto, nelle misure down-hole, è l'intervallo tra i geofoni. Questo dovrà essere piuttosto piccolo in modo da poter ricavare con maggiore definizione la velocità e le variazioni di velocità dei vari sismostrati. Le misure sono state eseguite sino ad una profondità di 46 metri nei fori di sondaggio attrezzati S1 e S2, con intervallo intergeofonico di 2 metro ed offset dal foro pari a 4,50 metri.

Nell'elaborazione, relativa all'indagine eseguita sono riportate le velocità V_p e V_s dirette ai vari geofoni e le velocità V_p e V_s .

Allo scopo di avere una valutazione del grado di disomogeneità dei sismostrati riscontrati è bene sottolineare l'importanza delle velocità intervallo, vale a dire le

velocità con cui viaggierebbe il fronte d'onda, lungo l'asse verticale, tra due posizioni consecutive dell'intervallo intergeofonico considerato (2 metri).

I risultati mostrano picchi di velocità in corrispondenza dei terreni più consistenti ed addensati, dove le velocità raggiungono valori medio-alti. E' indicativo il dato del modulo di Poisson che con valori minori di 0,300, in più punti di misura, indica che il litotipo interessato è granulare: (sabbie, ghiaie..).

E' da ribadire che non sempre gli spessori e le velocità intervallo coincidono con i litotipi riscontrati dalla stratigrafia puntuale del sondaggio, poiché possono individuarsi strati con caratteristiche elastiche costanti, che possono essere comuni a litotipi simili.

Successivamente alla elaborazione dei dati sismici si è proceduti alla determinazione dei parametri elastici per i sismostrati riconosciuti. Negli elaborati grafici è possibile valutare i moduli elastici calcolati.

DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI ELASTICI

Successivamente all'elaborazione dei dati sismici si è proceduto alla determinazione dei parametri elastici per i sismostrati riconosciuti.

Con i dati a disposizione si è determinato l'incremento (N_r) dell'intensità sismica (I), vale a dire l'intensità macrosismica prevedibile in generale nell'area considerata.

Il metodo utilizzato è quello elaborato da Medvedev (1965) della rigidità sismica per il calcolo dell'incremento sismico (N_r). Per quanto riguarda il tipo di onde sismiche da considerare, tenuto conto dei litotipi presenti, si è utilizzato nella elaborazione proposta da Medvedev il valore della velocità V_p . Come termine di paragone, cui riferire le rigidità delle formazioni presenti in loco, si è stimato un valore di rigidità di 8.000 mgr/cm² *sec.

Tali valori inseriti nella formula del Medvedev, consentono il calcolo dell'incremento sismico locale, considerando come parametri di calcolo :

- la rigidità sismica ricavata dai valori di rigidità media degli orizzonti sismici evidenziati;
- la rigidità delle rocce lapidee summenzionate.

Non si tiene conto, in questi calcoli, dell'effetto della falda acquifera dal p.c.^(*).

L'incremento sismico determinato è pari a 1,190

Determinando l'amplificazione sismica in termini d'incremento d'intensità, è stata ricavata, per avere un parametro utile ai fini ingegneristici, l'accelerazione sismica massima in superficie, stimando un'intensità sismica totale compresa tra 6 e 7 ed utilizzato il metodo di Medvedev (senza considerare l'influenza della falda). Tale calcolo è stato eseguito considerando un valore di **Is pari a 1,190**

It	Is	A(g)
6,00	1,190	0,08
6,10	1,190	0,09
6,20	1,190	0,09
6,30	1,190	0,10
6,40	1,190	0,11
6,50	1,190	0,12
6,60	1,190	0,13
6,70	1,190	0,14
6,80	1,190	0,15
6,90	1,190	0,16
7,00	1,190	0,17

It= intensità sismica ; Is = incremento sismico; A(g) accelerazione sismica max (secondo Richter).

C. INDAGINE CROSS-HOLE ED ANALISI DEI DATI

Queste indagini sono effettuate lungo un profilo orizzontale utilizzando due fori di sondaggio (S1 e S2) opportunamente attrezzati. Uno di questi (S2) contiene la sorgente esplosiva, l'altro (S1) contiene la tripletta dei geofoni posti alla stessa profondità della sorgente.

Si effettua in questo modo una misura della differenza di tempo impiegata dalle onde, a percorrere, lungo l'orizzontale la distanza tra sorgente e geofoni. Da tale differenza si ricava direttamente la velocità delle onde che attraversano il terreno.

I fori utilizzati per le misure hanno una profondità di 50.0 ml e distano tra di loro 9.0 ml; le misure sono state effettuate, partendo dal fondo foro, da 48.0 m con una distanza intergeofonica di 2.0 ml fino al p.c.

Negli allegati grafici sono riportati le velocità sismiche (V_p e V_s) ed il profilo della velocità trasversale in modalità tomografica.

I risultati indicano un progressivo aumento delle velocità con la profondità, pur non rilevandosi un aumento costante e proporzionale delle stesse; si rileva infatti che il picco di 2.000 m/sec a circa 40.0 m dal p.c., non progredisce proporzionalmente, anzi i valori delle velocità tendono, seppure di poco, a diminuire.

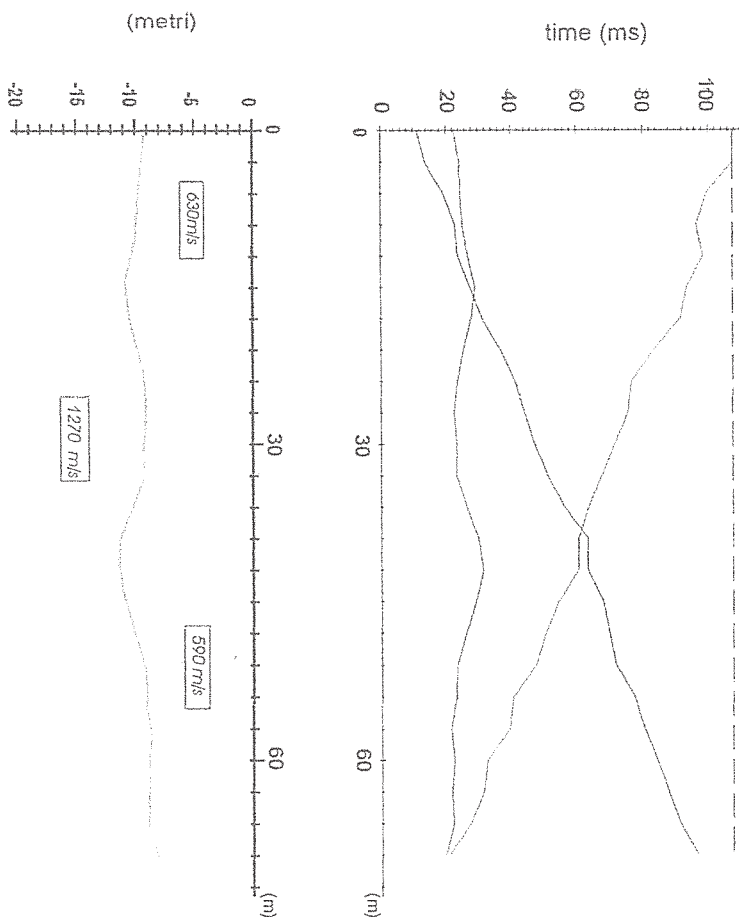
Castrovillari, luglio 2001

Dr. Geol. Vincenzo Lo Polito

Dromocrone (l,m) - Sezioni sismostratigrafiche : COMUNE di CARDINALE (CZ)
 Prospezione sismica a rifrazione allegata al progetto di consolidamento dell'abitato

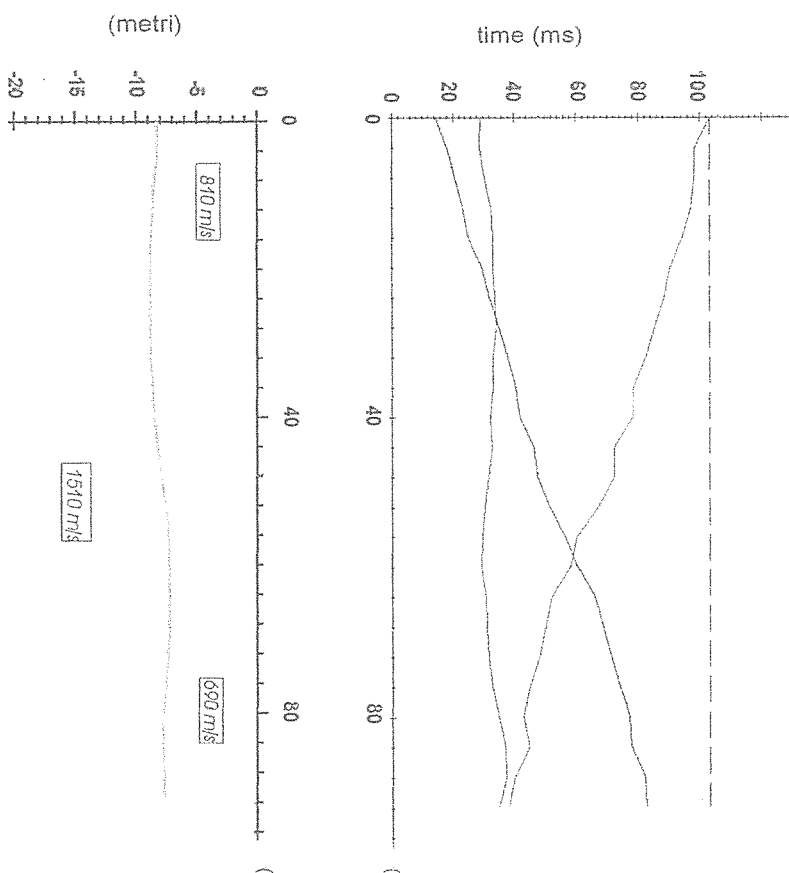
1

LUNGHEZZA STENDIMENTO:
 69 metri



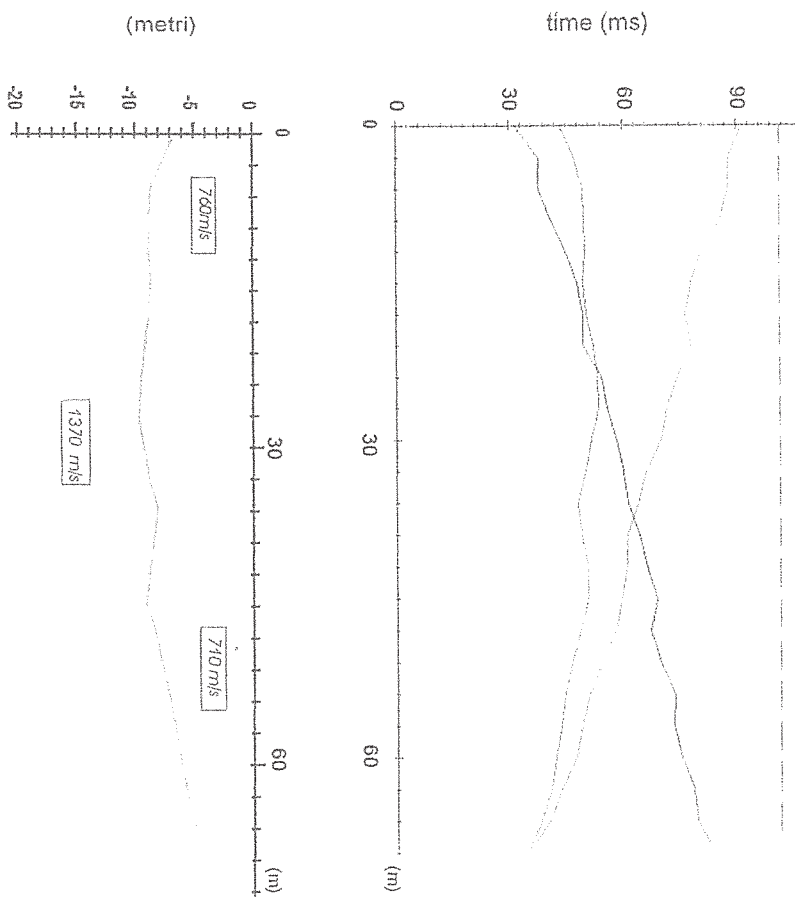
2

LUNGHEZZA STENDIMENTO:
 96 metri



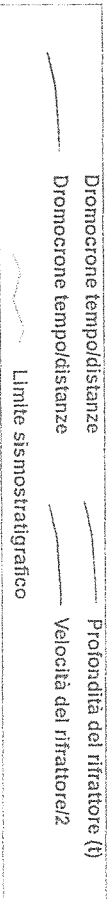
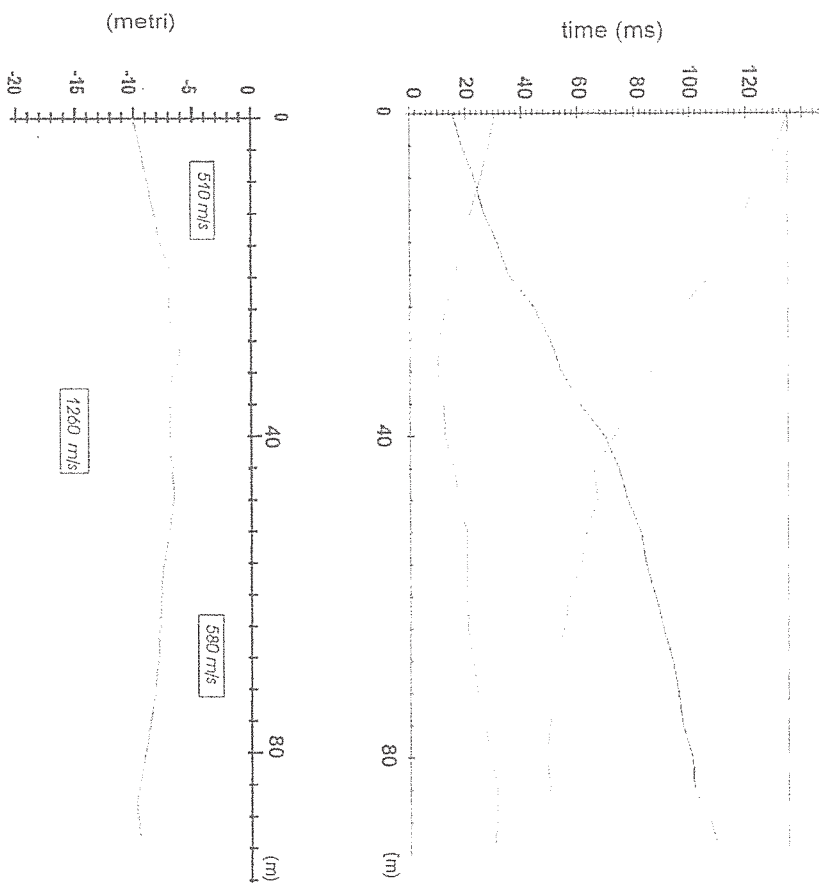
3

LUNGHEZZA STENDIMENTO:
69 metri



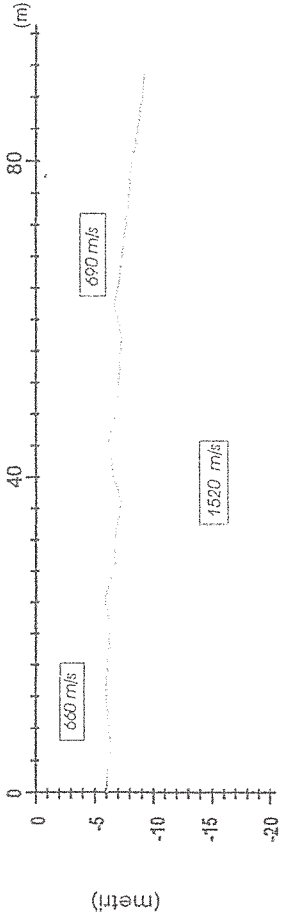
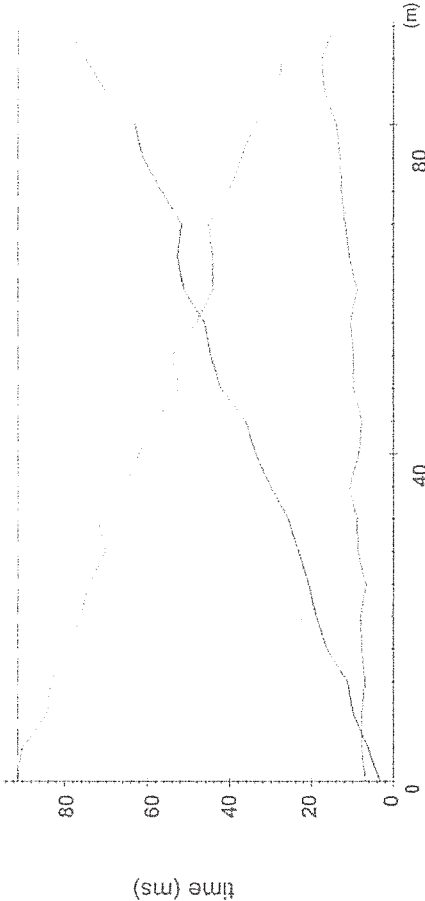
4

LUNGHEZZA STENDIMENTO:
92 metri



5

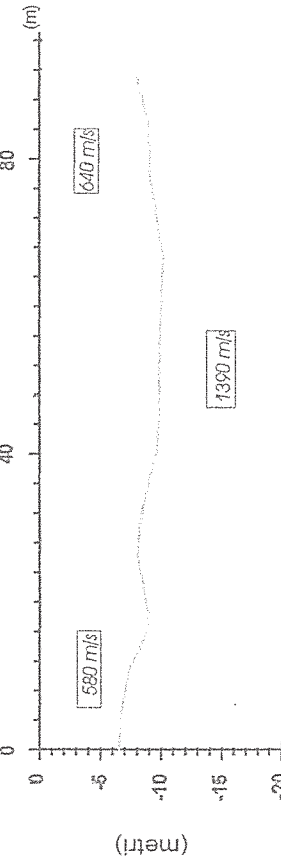
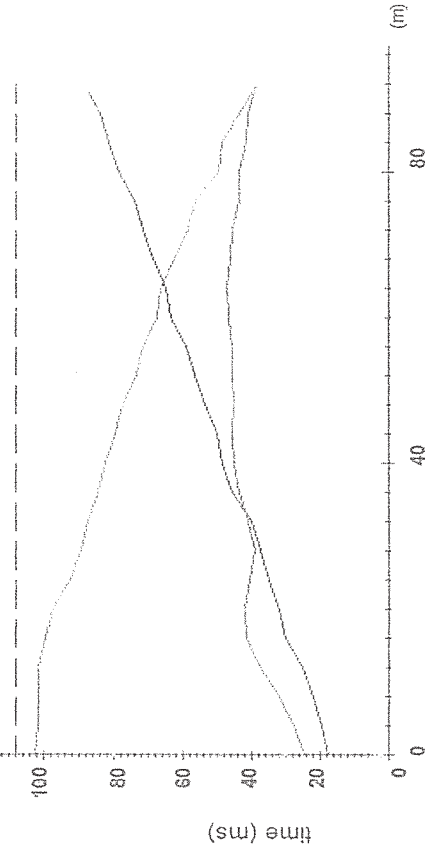
LUNGHEZZA STENDIMENTO:
92 metri



Dromocrone tempo/distanze	Profondità del rifrattore (t)
Dromocrone tempo/distanze	Velocità del rifrattore/2
Limite sismostratigrafico	

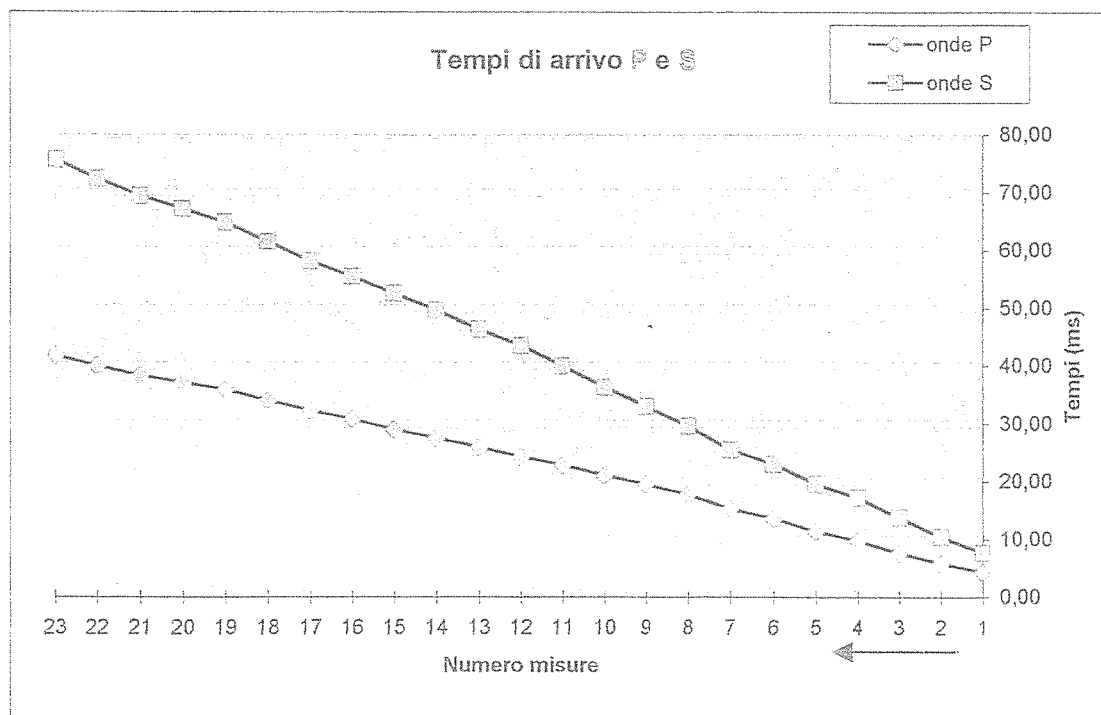
6

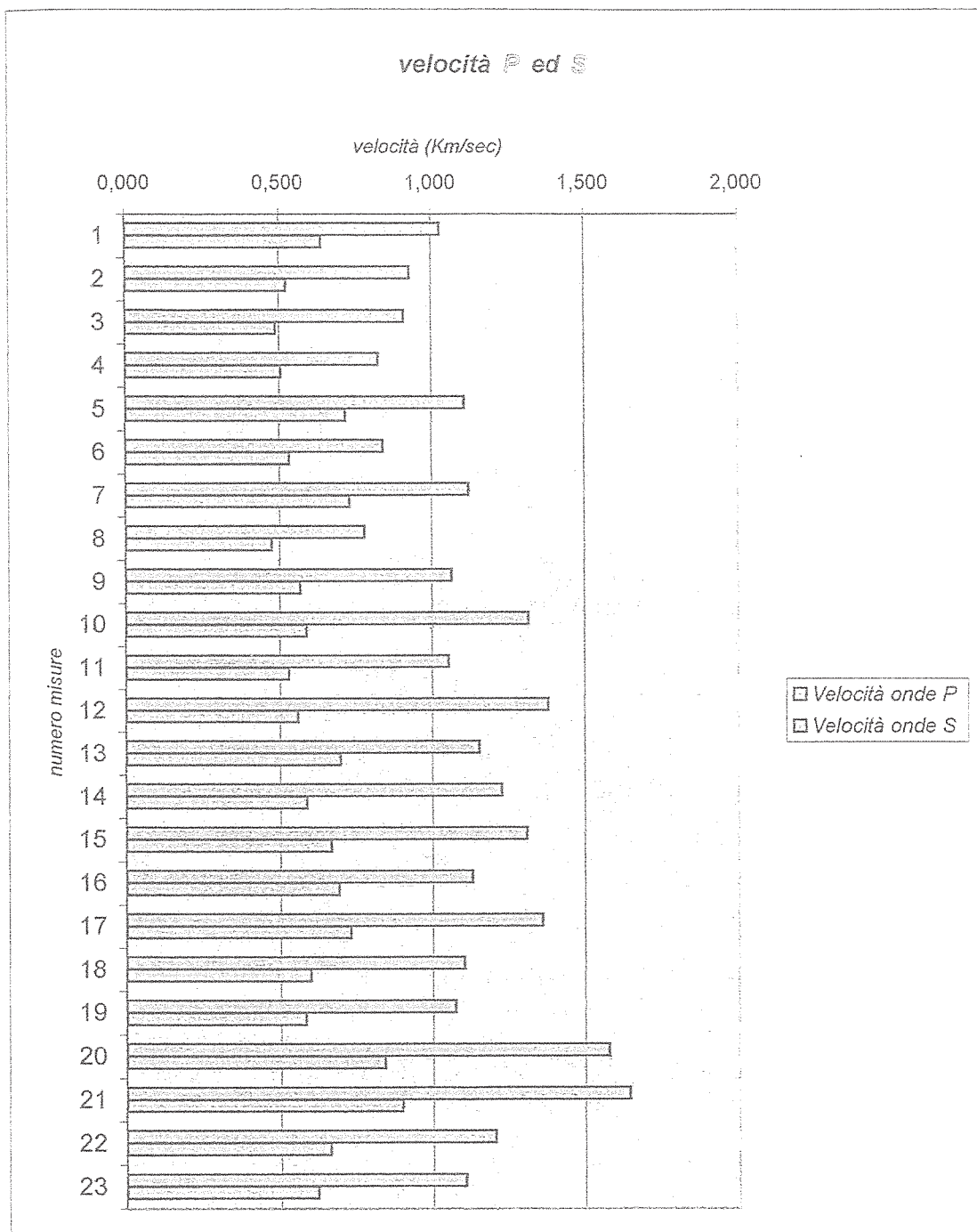
LUNGHEZZA STENDIMENTO:
92 metri

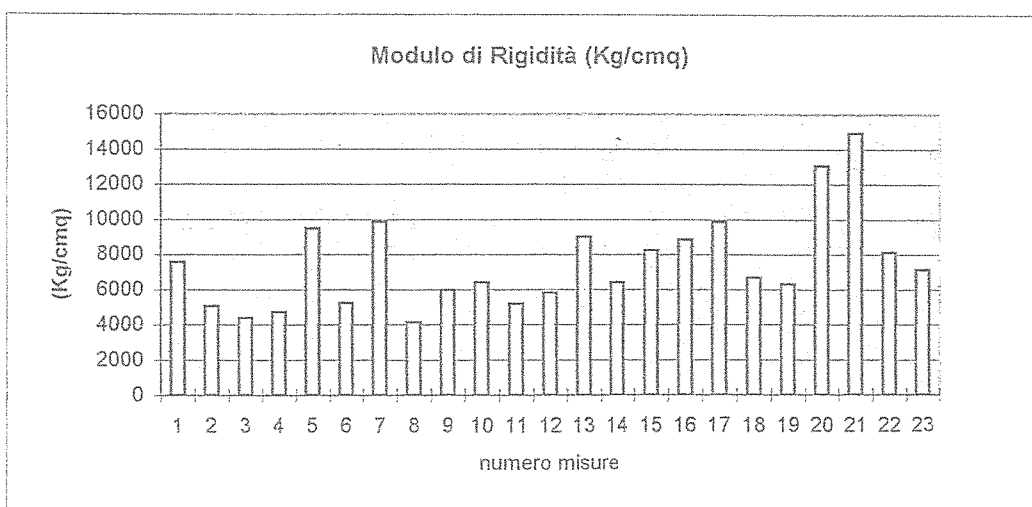
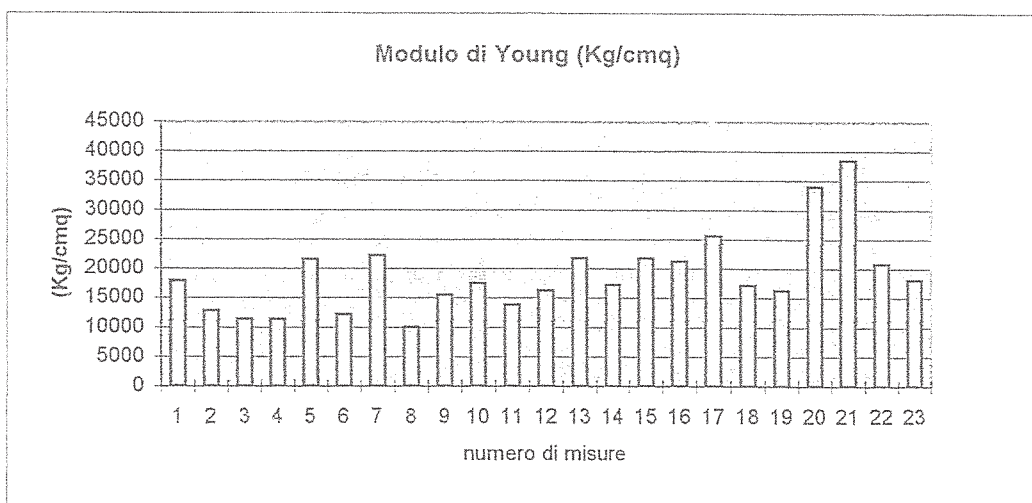
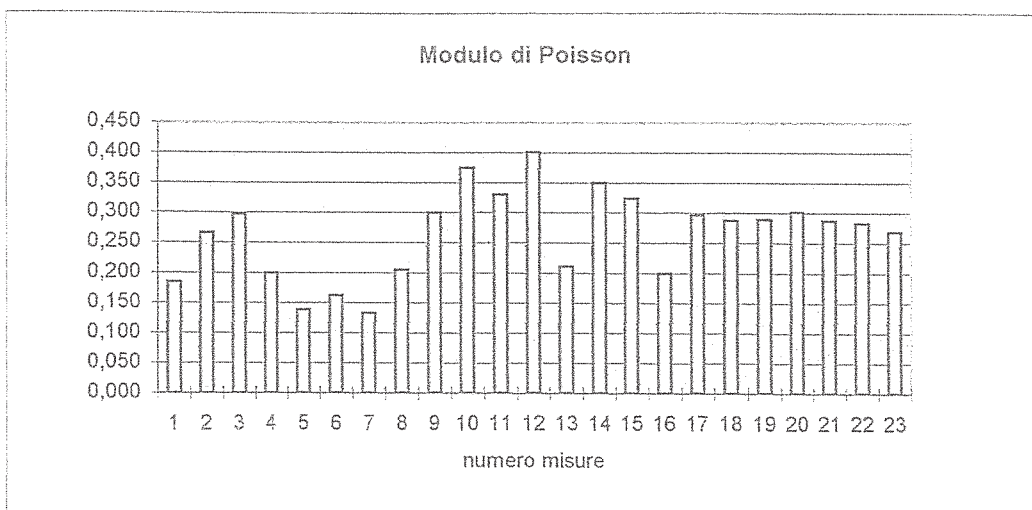


Prospezione sismica DOWN-HOLE Comune di CARDINALE (CZ) -DH_1

N. ETT.	PROF (m)	Onda P sper. (msec.)	Onda S sper. (msec.)	Onda P reale (msec.)	Onda S reale (msec.)	Vel. Int. Onde P (km/s)	Vel. Int. Onde S (km/s)	Modulo di Poisson	Modulo di Young Kg/cmq	Modulo di Rigidità (Kg/cmq)	Densità (g/cm3)
1	2,0	4,35	7,70	1,767	3,127	1,028	0,640	0,184	17922	7567	1,85
2	4,0	5,90	10,45	3,920	6,943	0,929	0,524	0,266	12875	5084	1,85
3	6,0	7,65	13,80	6,120	11,040	0,909	0,488	0,297	11437	4408	1,85
4	8,0	9,80	17,20	8,541	14,991	0,826	0,506	0,199	11369	4740	1,85
5	10,0	11,35	19,50	10,350	17,782	1,106	0,716	0,138	21616	9497	1,85
6	12,0	13,60	23,00	12,734	21,536	0,839	0,533	0,162	12208	5254	1,85
7	14,0	15,25	25,50	14,518	24,277	1,121	0,730	0,132	22303	9848	1,85
8	16,0	17,75	29,60	17,087	28,494	0,779	0,474	0,205	10027	4160	1,85
9	18,0	19,55	33,00	18,966	32,015	1,064	0,568	0,301	15535	5972	1,85
10	20,0	21,00	36,30	20,488	35,415	1,314	0,588	0,375	17602	6402	1,85
11	22,0	22,85	40,00	22,386	39,189	1,053	0,530	0,331	13826	5196	1,85
12	24,0	24,25	43,50	23,835	42,755	1,381	0,561	0,401	16306	5818	1,85
13	26,0	25,95	46,30	25,570	45,622	1,153	0,698	0,211	21806	9004	1,85
14	28,0	27,55	49,65	27,201	49,021	1,226	0,588	0,350	17297	6404	1,85
15	30,0	29,05	52,60	28,729	52,018	1,309	0,667	0,325	21823	8238	1,85
16	32,0	30,80	55,45	30,500	54,910	1,129	0,692	0,200	21234	8850	1,85
17	34,0	32,25	58,15	31,971	57,647	1,359	0,731	0,297	25612	9874	1,85
18	36,0	34,05	61,45	33,787	60,975	1,101	0,601	0,288	17210	6681	1,85
19	38,0	35,90	64,85	35,651	64,400	1,073	0,584	0,290	16274	6310	1,85
20	40,0	37,15	67,20	36,917	66,779	1,579	0,841	0,302	34063	13078	1,85
21	42,0	38,35	69,40	38,132	69,005	1,647	0,898	0,288	38462	14930	1,85
22	44,0	40,00	72,40	39,792	72,024	1,204	0,662	0,283	20832	8118	1,85
23	46,0	41,80	75,60	41,601	75,241	1,106	0,622	0,269	18149	7152	1,85

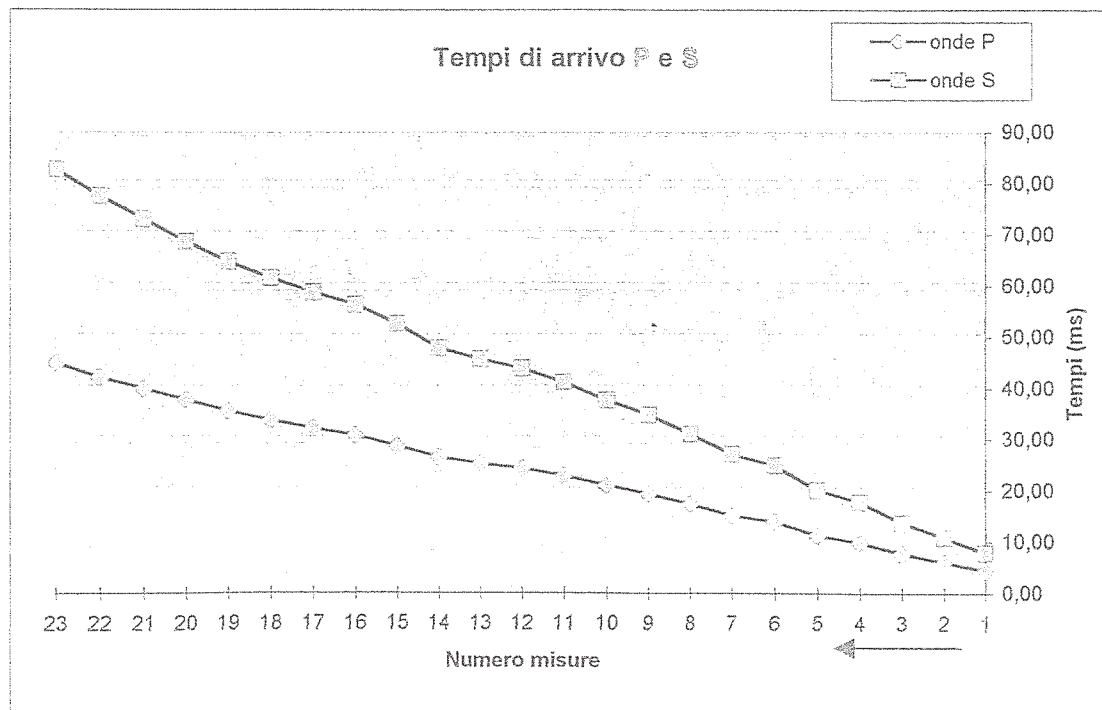


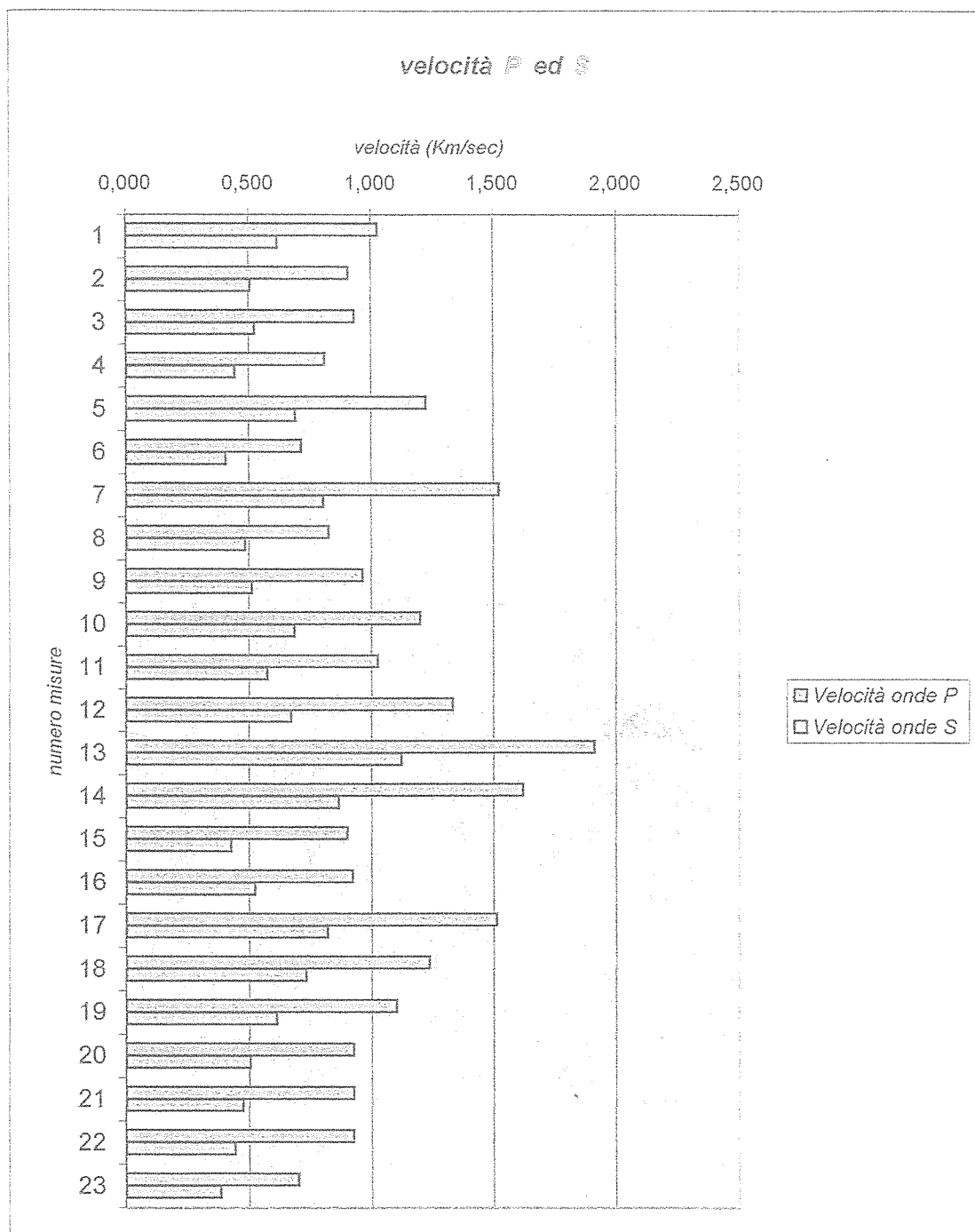


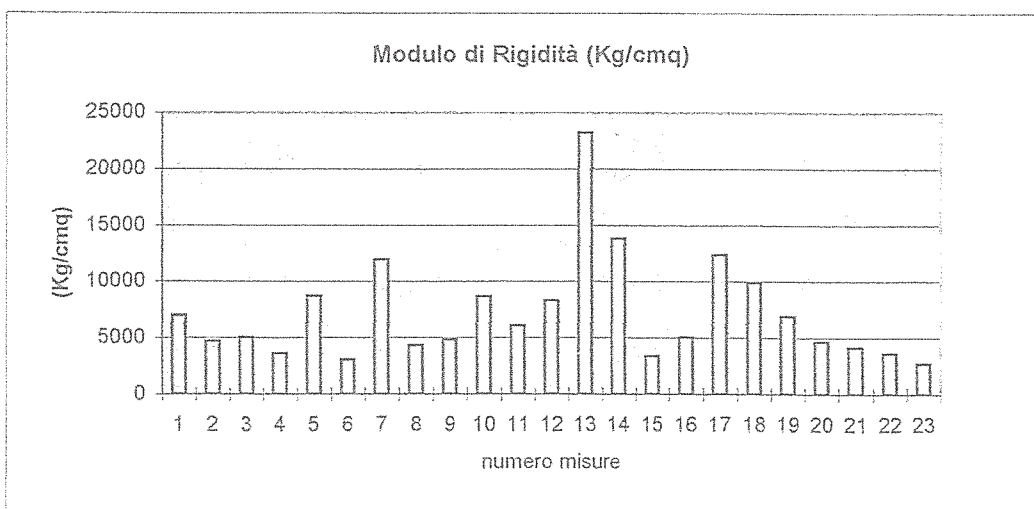
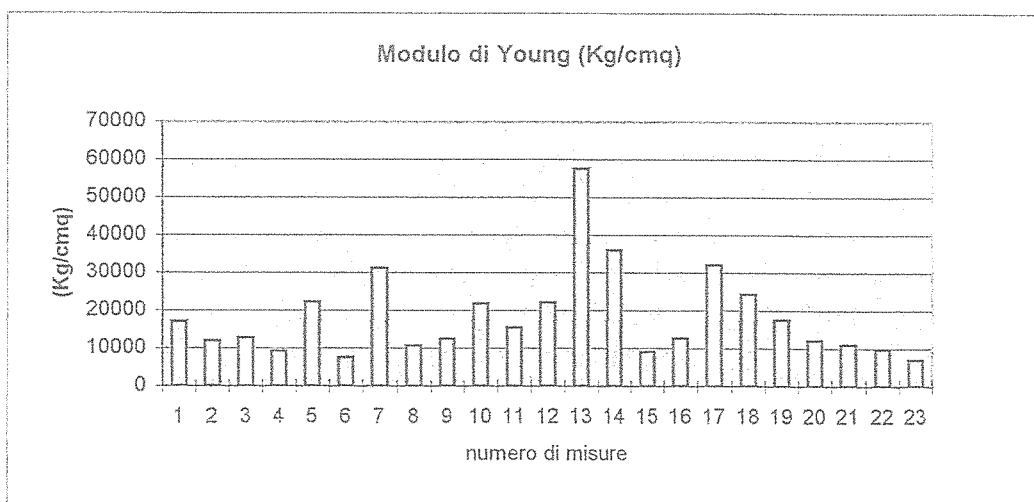
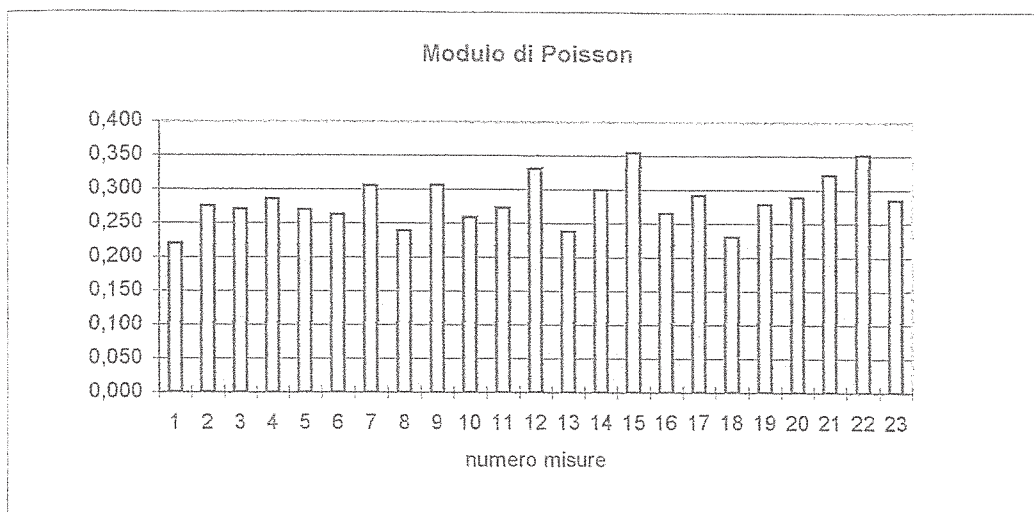


Prospezione sismica DOWN-HOLE Comune di CARDINALE (CZ) -DH_2

V. TT.	PROF (m)	Onda P sper. (msec.)	Onda S sper. (msec.)	Onda P reale (msec)	Onda S reale (msec)	Vel. Int. Onde P (km/s)	Vel. Int. Onde S (km/s)	Modulo di Poisson	Modulo di Young Kg/cmq	Modulo di Rigidità (Kg/cmq)	Densità (g/cm3)
1	2,0	4,55	8,00	1,848	3,249	1,028	0,616	0,221	17111	7010	1,85
2	4,0	6,10	10,85	4,053	7,208	0,907	0,505	0,275	12040	4721	1,85
3	6,0	7,75	13,80	6,200	11,040	0,931	0,522	0,271	12813	5040	1,85
4	8,0	9,95	17,85	8,672	15,558	0,809	0,443	0,286	9328	3626	1,85
5	10,0	11,30	20,25	10,305	18,466	1,225	0,688	0,270	22216	8746	1,85
6	12,0	14,00	25,00	13,109	23,408	0,713	0,405	0,263	7652	3030	1,85
7	14,0	15,15	27,20	14,423	25,895	1,521	0,804	0,306	31254	11965	1,85
8	16,0	17,50	31,20	16,846	30,035	0,825	0,483	0,239	10704	4318	1,85
9	18,0	19,50	35,00	18,918	33,955	0,966	0,510	0,306	12580	4815	1,85
10	20,0	21,10	37,80	20,585	36,878	1,199	0,684	0,259	21803	8661	1,85
11	22,0	23,00	41,20	22,533	40,364	1,027	0,574	0,273	15502	6089	1,85
12	24,0	24,45	44,10	24,031	43,345	1,335	0,671	0,331	22177	8331	1,85
13	26,0	25,45	45,80	25,077	45,129	1,912	1,121	0,238	57558	23241	1,85
14	28,0	26,65	48,05	26,312	47,441	1,619	0,865	0,300	35998	13842	1,85
15	30,0	28,85	52,70	28,531	52,117	0,902	0,428	0,355	9171	3385	1,85
16	32,0	31,00	56,50	30,698	55,949	0,923	0,522	0,265	12746	5038	1,85
17	34,0	32,30	58,90	32,021	58,391	1,512	0,819	0,292	32088	12416	1,85
18	36,0	33,90	61,60	33,638	61,124	1,237	0,732	0,231	24375	9903	1,85
19	38,0	35,70	64,85	35,452	64,400	1,102	0,611	0,279	17639	6896	1,85
20	40,0	37,85	68,80	37,613	68,369	0,926	0,504	0,289	12116	4698	1,85
21	42,0	40,00	73,00	39,772	72,585	0,926	0,474	0,322	11009	4164	1,85
22	44,0	42,15	77,50	41,931	77,098	0,926	0,443	0,352	9821	3633	1,85
23	46,0	45,00	82,70	44,786	82,307	0,701	0,384	0,285	7010	2727	1,85







CROSS-HOLE

Cr1

Profondità (m)	Velocità onde Vp (km/sec)	Velocità onde Vs (km/sec)	Rapporto Vp/Vs
-2	0.27	0.13	2.15
-4	0.34	0.16	2.18
-6	0.40	0.20	2.03
-8	0.44	0.21	2.05
-10	0.55	0.26	2.11
-12	0.60	0.27	2.18
-14	0.67	0.29	2.31
-16	0.71	0.31	2.28
-18	0.69	0.30	2.31
-20	0.87	0.41	2.10
-22	0.85	0.40	2.15
-24	0.88	0.41	2.13
-26	0.87	0.42	2.10
-28	1.64	0.83	1.98
-30	1.06	0.55	1.95
-32	1.20	0.57	2.10
-34	1.49	0.72	2.07
-36	1.61	0.80	2.01
-38	1.81	0.91	1.98
-40	2.00	0.97	2.05
-42	2.09	1.05	1.99
-44	1.76	0.90	1.95
-46	1.46	0.71	2.04
-48	1.58	0.77	2.06

SEZIONE DI VELOCITA'

