

Agip S. p. A.

SETTORE GIACIMENTI

STUDIO GIACIMENTI ITALIA

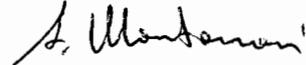
1508

Pozzo LAURA 1

Analisi delle prove di produzione n° 1 e 2
effettuate nei livelli gassiferi A e B.

Il Responsabile

Geom. A. Montanari



S. Donato Mil. 12 Gennaio 1981

Rel. n. 2836

Dist.: REIT - TEPR - PROI -
- OFFS - GESO

INDICE

1. PREMESSA
2. INTRODUZIONE
3. CONCLUSIONI
4. RACCOMANDAZIONI
5. DISCUSSIONE
 - 5.1. Inquadramento minerario della formazione prova
ta
 - 5.2. Sommario delle prove
 - 5.3. Prova di produzione n° 1 (int. 1450 - 1465 m.
T.R.)
 - 5.3.1. Dati della prova
 - 5.3.2. Analisi della prova
 - 5.3.3. Risultati dell'interpretazione
 - 5.4. Prova di produzione n° 2 (int. 1306 - 1320 m.
T.R.)
 - 5.4.1. Dati della prova
 - 5.4.2. Analisi della prova
 - 5.4.3. Risultati dell'interpretazione
 - 5.5. Situazione del pozzo dopo le prove

1508

TABELLE

1. - P.P. n° 1: Analisi Build up
2. - P.P. n° 2: Analisi Build up ($Q = 66083 \text{ Nm}^3/\text{g}$)
3. - P.P. n° 2: Analisi Build up ($Q = 163176 \text{ Nm}^3/\text{g}$)
4. - P.P. n° 2: Analisi Build up ($Q = 315700 \text{ Nm}^3/\text{g}$)
5. - P.P. n° 2: Profili di Pressione e di Temperatura

1508

FIGURE

1508

1. - Situazione prove nei livelli A e B
2. - P.P. n° 1: Situazione intervallo provato
3. - P.P. n° 1: Andamento della prova
4. - P.P. n° 1: Profili di Pressione e di Temperatura
5. - P.P. n° 1: Profili di Pressione e di Temperatura
(dettaglio)
6. - P.P. n° 1: Analisi della risalita di pressione
(Arps)
7. - P.P. n° 1: Diagramma dell'equazione di flusso
8. - P.P. n° 2: Andamento della prova
9. - P.P. n° 2: Diagramma equazioni di flusso (Fondo
e Testa)
10. - P.P. n° 2: Analisi della Build up (dopo $Q= 66083$
 Nm^3/g)
11. - P.P. n° 2: Analisi della Build up (dopo $Q=161294$
 Nm^3/g)
12. - P.P. n° 2: Analisi della Build up (dopo $Q=315700$
 Nm^3/g)
13. - P.P. n° 2: Profili di Pressione
14. - P.P. n° 2: Particolare dei profili di Pressione
15. - P.P. n° 2: Profili di Temperatura con particola-
re della zona spari

1. PREMESSA

In questo rapporto vengono analizzate le prove di produzione effettuate nel pozzo off-shore LAURA n° 1 nelle formazioni Gessoso-Solfifera e S. Mauro rispettivamente negli intervalli 1450 - 1465 e 1306 - 1330 m. T.R.

Non essendo ancora disponibile l'analisi del gas, i parametri termodinamici del gas di giacimento (Z , μ_g , S) sono stati assunti uguali a quelli del pozzo Lavinia 1 per le analogie relative ai parametri di giacimento (P , T) esistenti tra i due pozzi riferiti alla stessa profondità e per avere il gas lo stesso gradiente statico di pressione.

* * *
* *
*

1508

2. INTRODUZIONE

Il pozzo esplorativo LAURA 1 è situato nell'area dell'off-shore calabrese, nel permesso D. R50. AG, distante 2600 m. dalla costa.

Il fondale marino sulla postazione è di 186 m.

Lo scopo del presente rapporto è l'interpretazione delle prove di produzione effettuate nei livelli gasiferi A e B rispettivamente negli intervalli 1306 ÷ 1330 m. T.R. (P.P. n° 2) e 1450 ÷ 1465 m. T.R. (P. P. n° 1).

Dal punto di vista stratigrafico i due livelli mineralizzati fanno parte della formazione S. Mauro (Livello A) e Gessoso-Solfifera (Livello B).

* * *
* *
*

1508

3. CONCLUSIONI

1508

Il pozzo esplorativo LAURA 1 ha trovato gas in due livelli porosi, denominati in ordine discendente, Livello A e Livello B.

Le caratteristiche di giacimento (Pressione e Temperatura) relative ai due Livelli sono:

<u>Livello</u> <u>o</u> <u>Pool</u>	<u>Ps</u> <u>kg/cm²ass.</u>	<u>T</u> <u>°C</u>	<u>Datum</u> <u>m.s.s.l.</u>
A	149.60	35.3	1293
B	163.09	34.6	1433

Dal punto di vista idrodinamico i due pool sono separati.

Dall'esame dei gradienti delle due prove e considerando la pressione statica della DST n° 9 (152.4 kg/cm² a 1377 m.T.R.) i possibili contatti Gas/Acqua potrebbero essere a 1350 m. T.R. per il Pool A e 1480 m. T.R. per il Pool B (Fig. 1).

I risultati principali delle prove di produzione sono:

		<u>Livello</u> <u>A</u> <u>P.P.n°2</u>	<u>Livello</u> <u>B</u> <u>P.P.n°1</u>
AOFP	Nm ³ /g	1250000	210000
Q (prova)	Nm ³ /g	315700	110000
PS fondo	kg/cm ² ass.	149.60	163.09

1.508

ΔP	kg/cm ²	5.70	48.39
KH	mD x m	1655÷2824	31÷88
K	mD	40÷88	10÷30
CF	%	69÷72	93.79

Le equazioni di flusso al fondo ricavate dall'analisi delle prove sono:

Livello A: $\Delta P^2 = 0.114 q + (0.0747 \times 10^{-6} q^2)$
(P.P. n°2)

Livello B: $\Delta P^2 = 0.001299 q + (1.3272 \times 10^{-8} q^2)$
(P.P. n°1)

Sulla base delle equazioni di flusso si possono stimare le seguenti portate di regime:

Livello	AOFP Nm ³ /g	Q Nm ³ /g $\Delta P = 5 \% PS$	Q Nm ³ /g $\Delta P = 7 \% PS$	Q Nm ³ /g $\Delta P = 10 \% PS$
A	1250000	370000	470000	520000
B	210000	23000	32000	44000

In entrambe le prove sono stati riscontrati dei battenti di fluido che hanno interessato parzialmente gli spari e di conseguenza hanno influito negativamente sui parametri di erogazione; si ritiene pertanto che con il proseguire della produzione i parametri produttivi possano migliorare notevolmente.

Le portate riferite al Pool B si riferiscono al so-

lo intervallo 1450 ÷ 1456 m. T.R. in quanti gli spa-
ri 1460 ÷ 1465 m. T.R. non hanno erogato.

* * *
* *
* .

1508

4. RACCOMANDAZIONI

Nel caso di un prossimo sviluppo del campo va tenuto in considerazione quanto segue:

- a) effettuare un campionamento P.V.T. in entrambi i livelli mineralizzati A e B;
- b) nella prova di produzione n° 2 (Livello A) durante la fase di spurgo si sono avute tracce di sabbia al fondo.

Da questo livello si consiglia di erogare con portate non superiori a $370000 \text{ Nm}^3/\text{g}$ corrispondente a ca. 5 % ΔP di fondo, eventuali variazioni di portata saranno indicate dal comportamento produttivo;

- c) sempre con riferimento al Livello A (sabbie ad alta porosità e alta permeabilità). in mancanza di carote si richiede l'elaborazione del M P L (Mechanical property log) al fine di valutare preventivamente la possibile esistenza di problemi di trascinamento sabbia.

* * *
* *
*

1508

5. DISCUSSIONE

1508

* * *
* *
*

5.1. Inquadramento minerario delle formazioni prova
te

Nella struttura di LAURA sono presenti n° 2 li-
velli mineralizzati a gas denominati, in ordi-
ne discendente, Pool A e Pool B e localizzati
rispettivamente nelle formazioni S. Mauro e
Gessoso-Solfifera.

I reservoirs interessati dalle prove di produ-
zione hanno le seguenti caratteristiche princi-
pali:

Pool	Ø %	Sw %	Litologia
A	28	25	Sabbia, quarzosa grossolana con rari ciottoli e livel- letti argillosi.
B	14	60	Sabbia medio-fine a tratti argillosa con presenza di conglomerati e sottili li- velli di argilla.

In entrambi i Pool il contatto gas-acqua non è
stato incontrato

* * *
* *
*

1508

5.2. Sommario delle prove

Nel pozzo esplorativo LAURA 1 sono state effettuate n° 10 prove di strato e n° 2 prove di produzione.

Tutte le prove sono state fatte in foro tubato ad eccezione della n° 1 che è stata fatta attraverso la scarpa.

La sequenza delle prove è la seguente:

<u>Prova</u>	<u>Tipo</u>	<u>Intervallo m.T.R.</u>	<u>Formazione</u>
1	DST	3497-3554.5	S. Nicola
2	DST	3452-3465	M. Lacinia
3	DST	3883-3899	?
4	DST	3883-3899	?
5	DST	3883-3899	?
6	DST	3576-3591	S. Nicola
7	DST	3576-3591	S. Nicola
8	DST	1450-1465	G. Solfifera
1	P.P.	1450-1465	G. Solfifera
9	DST	1383-1400	S. Mauro
10	DST	1383-1400	S. Mauro
2	P.P.	1306-1330	S. Mauro

* * *
* *
*

5.3. Prova di produzione n° 1 (int. 1450 - 1465 m. T.R.)

* * *
* *
*

5.3.1. Dati di prova
.....

<u>Duse</u> <u>inch</u>	<u>Tempo</u> <u>min</u>	<u>Q</u> <u>Nm³/g</u>	<u>THFP</u> <u>kg/cm²</u>	<u>THSP</u> <u>kg/cm²</u>	<u>BHFP*</u> <u>kg/cm²</u>	<u>BHSP</u> <u>kg/cm²</u>
3/8"	660	100.000	77.4	-	96.4	-
chiuso	750	-	-	144.4	-	162.2
3/8"	710	110.000	98.0	-	113.7	-
chiuso	810	-	-	141.8	-	160.7

*) Amerada a 1446 m.T.R.

L'andamento della prova è diagrammato in Fig. 3.

* * *
* *
*

1508

5.3.2. Analisi della prova
.....

La prova di produzione in esame ha interessato due intervalli sparati e precisamente da 1460 a 1465 m.T.R e da 1450 a 1456 m.T.R.

Il reservoir è di tipo "multi-layer" e cioè caratterizzato da fitte intercalazioni di livelletti sabbiosi e argille; di conseguenza la prova ha interessato una serie di straterelli sabbiosi a diversa capacità produttiva separati tra loro da setti di argilla (Fig. 2).

La prova di produzione che comprende n° 2 erogazioni e n° 2 risalite ha messo in evidenza quanto segue (Fig. 3):

a. la prima erogazione (fase di spurgo) è caratterizzata da produzione di gas umido con cuscini di fango; la portata del gas è in aumento e varia da 80000 a 100000 Nm³/g; durante questa fase c'è stata una chiusura di 25 minuti per l'arrivo dell'elicottero. Durante questa fase Q, THP, BHP non sono stabilizzati.

Dal primo profilo statico di pressione si rileva che l'intervallo inferiore (i.c. 1460 - 1465 m.T.R.) non ha erogato per la presenza di un battente di fluido in pozzo a circa 1460 m.T.R.; di conseguenza gli unici livelletti che hanno prodotto sono stati quelli dell'intervallo superiore (Fig.5);

b. la seconda erogazione (duse Ø 3/8") è caratterizzata da una portata di gas

in aumento (range 80000+110000 Nm³/g)
e da produzione di liquido costituito
principalmente da acqua di strato (?)
(NaCl 19.8 + 13 gr/lt) e da 1 + 2 %
di gasolina.

Anche durante questa erogazione c'è
stata una chiusura intermedia per lo
arrivo dell'elicottero.

Dal profilo dinamico si rileva che an
che durante questa apertura l'inter-
vallo inferiore non ha erogato per
presenza di fluido (fango, NaCl 13.7
gr/lt) in pozzo; lo stesso fenomeno è
evidenziato dal profilo statico di
pressione rilevato alla fine della ri
salita (Fig. 5);

c. E' stata analizzata solo la seconda
risalita con il metodo di Arps.

La curva della Build up mette in evi-
denza due pendenze attribuibili a
strati separati aventi diversa capaci
tà produttiva (Fig. 6).

Questo comportamento della pressione
durante la chiusura sembra indicare,
oltre all'effetto "layering" (produ-
zione contemporanea di più livelli se
parati senza cross flow) anche un'a-
rea di drenaggio alquanto limitata.

Il secondo profilo statico di pressio
ne confermerebbe quanto detto (Figg.4
e 5).

Per quanto riguarda la capacità produttiva dell'intervallo provato è stata effettuata una valutazione di massima sia per quella relativa alla zona più esterna (K2 h2) che per quella più vicina al pozzo (K1 h1).

La permeabilità invece è di difficile valutazione perchè non si conosce il pay erogante effettivo; nei calcoli comunque è stato considerato un pay di 3 m. ed una permeabilità media di 20 md.

L'analisi della risalita è riportata in Fig. 6 e in Tab. 1;

- d. i profili di pressione indicano che l'intervallo inferiore (i.c. 1460 ÷ ÷ 1465 m.T.R.) non ha erogato per la presenza di un battente di fluido in pozzo a partire da 1460 m.T.R. in poi (Fig. 4-5).

Il sommario dei profili di pressione è il seguente:

Prof. m.T.R.	P kg/cm ² stat.	P kg/cm ² dynam.	P kg/cm ² stat.	Note
0	144.3	92.7	141.7	
500	150.4	97.7	148.1	
750	153.5	100.0	-	
1000	156.6	103.0	154.6	
1200	158.8	107.4	-	
1300	160.1	109.4	-	
1400	161.3	111.4	159.7	
1450	162.1	112.6	160.2	Top spari
1460	162.3	113.6	160.3	Top battente
1470	163.7	115.4	162.1	(fango)
1480	165.2	117.2	163.7	

Da questi dati si sono ricavati i seguenti gradienti medi di pressione in pozzo:

γ_g (statico): 0.0122 da 0 a 1450
m.T.R.

γ_g (dinamico): 0.0103 da 0 a 1000
m.T.R.

0.0213 da 0 a 1460
m.T.R.

γ_B (statico): 0.1750 da 1460 a 1480
m.T.R.

* * *
* *
*

5.3.3. Risultati dell'interpretazione

I risultati principali dell'interpretazione sono i seguenti:

AOFP	Nm ³ /g	:	210000
Ps ext.	kg/cm ²	ass:	163.09 (a 1446 m.T.R.)
Pf	kg/cm ²	:	114.70 (a 1446 m.T.R.)
ΔP	kg/cm ²	:	48.39
γ_g	kg/cm ² /m	:	0.0122
KH	mD x m	:	30.68 ÷ 87.66
K	md	:	10 ÷ 30
CF	%	:	93.79

Dati di base

Q	Nm ³ /g	:	110000	
T	°C	:	34.6	(a 1450 m.T.R.)
μ g	cp	(*):	0.01587	
Z	-	(*):	0.81	
Densità				
del gas(aria=1)(*): 0.556				

(*): valori assunti dal pozzo Lavinia n° 1.

L'analisi del potenziale assoluto è stata fatta con il metodo LIT (Laminar, Initial, Turbolence) attraverso l'equazione:

$$\Delta P^2 = aq + bq^2$$

Questa scelta è dovuta alla disponibilità di una sola portata (le due erogazioni hanno misurato praticamente la stessa portata, range 80000+100000 Nm³/g) e per il fatto che le pressioni non sono stabilizzate.

I coefficienti "a" e "b" sono risultati rispettivamente 0.114 e 0.0747 x 10⁻⁶ ; perciò l'equazione di cui sopra, considerando la portata misurata di 110000 Nm³/g diventa:

$$\Delta P^2 = (0.114 \times 110000) + (0.0747 \times 10^{-6} \times 110000^2)$$

$$\Delta P^2 = 12540 \times 903.87 = 13443.87 \text{ (kg/cm}^2\text{)}^2$$

Il potenziale assoluto del pozzo è stato valutato con questa equazione utilizzando i dati di prova ed assumendo altri valori di portata per tracciare la "back pressure" (Fig. 7).

Questa equazione di flusso si riferisce al solo intervallo 1450 ÷ 1465 m.T.R. ma andrebbe comunque verificata a pozzo completamente spurgato e con caratteristiche di erogazione stabilizzate.

Per quanto riguarda l'intervallo 1460 ÷ 1465 m.T.R. non possiamo fornire alcuna valutazione di produttività in quanto non ha prodotto per la presenza di battente fluido (fango) davanti agli spari.

Sulla base dell'equazione di flusso e limitatamente all'intervallo 1450 ÷ 1465m. T.R. si possono stimare le seguenti portate iniziali di regime (Fig. 7):

AOFP Nm ³ /g	Q Nm ³ /g <u>Δ P=10 % PS</u>	Q Nm ³ /g <u>Δ P= 5 % PS</u>
210000	44000	23000

Ovviamente la portata iniziale del pozzo potrebbe essere molto più elevata con il contributo dell'intervallo 1460 ÷ 1465m. T.R.

* * *

* *

*

5.4. Prova di produzione n° 2 (int. 1306 - 1330 m.T.R.)

* * *
* *
*

5.4.1. Dati di prova (alla testa)
.....

DUSE Ø pollici	STHP ² (kg/cm ²)	STHP ² (kg/cm ²)	STHP ² (kg/cm ²)	Δ P ² (kg/cm ²)	Q Nm ³ /g	TEMPO minuti
ch	134.1	135.1	18252	-	-	da 810
1/4	132.1	133.1	17715,6	536.4	61287	615
ch	134.1	135.1	18252	-	-	da 894
3/8	127.8	128.8	16589,0	1663	163176	546
ch	134.0	135.0	18225	-	-	da 930
5/8	114.6	115.6	13363,4	4888.6	315700	480
ch	134.0	135.0	18225	-	-	da 840

Dati di prova (al fondo)
.....

DUSE Ø pollici	SBHP ² (kg/cm ² rel)	SBHP ² (kg/cm ² a)	SBHP ² (kg/cm ²) ²	Δ P ² (kg/cm ²) ²	Q Nm ³ /g	TEMPO minuti
ch	148.4	149.4	22320	-	-	da 810
1/4	147.3	148.3	21993	387	61287	630
ch	148.6	149.6	22380	-	-	da 894
3/8	145.2	146.2	21374	1006	163176	546
ch	148.4	149.4	22320	-	-	da 930
5/8	142.9	143.9	20707	1673	315700	480
ch	148.5	149.5	22350	-	-	da 840

N.B. Quale pressione statica di fondo si è assunto il valore di 148.8 kg/cm^2 rel. a m. 1306 T.R., registrato nel corso della risalita di fondo con amerada a m. 1296 T.R. dopo erogazione con $Q = 66083 \text{ Nm}^3/\text{g}$.

Per cui i valori di ΔP sono stati calcolati riferendosi a detta pressione.

* * *
* *
*

5.4.2. Analisi della prova

La prova in oggetto, riassunta graficamente in Fig. 8 e condotta erogando il gas in atmosfera, è stata effettuata con tre portate e tre risalite di pressioni. Il completamento usato per la prova è stato del tipo provvisorio con packer RTTS \emptyset 13 3/8" fissato a m. 1296 con batteria di tubing \emptyset 3 1/2" VAM e scarpa tubing a m. 1300 T.R.

La prova è stata preceduta da uno spurgo con duse \emptyset 1/4" per circa 8 ore poi con duse \emptyset 3/8" per altre 5 ore circa.

Al fine di non far insabbiare il pozzo, data la conformazione geologica accenna-

ta, è stato usato l'accorgimento di spurgare il pozzo con portate basse e graduali effettuando tre calibrature per il controllo del fondo, campionando i fluidi e confrontando le quote del fondo stesso.

Le portate, sempre per eludere possibili problemi che avrebbe potuto generare l'arrivo di sabbia, sono state graduali a partire dalla più bassa alla più alta.

Tutti i valori di pressione e temperatura in pozzo sono stati rilevati usando elementi Amerada.

a) Problema sabbia
.....

Contrariamente ai timori avuti, se si fa eccezione alle tracce manifestatesi nel corso della prima parte dello spurgo, il pozzo non ha dato problemi di sabbia. La quota del fondo pozzo è rimasta costante per tutto l'arco della prova come dimostrato attraverso le calibrature effettuate.

b) Pressioni
.....

La pressione riscontrata al top spari m. 1306 T.R. è di 149.6 kg/cm^2 ass.

La massima pressione al fondo è stata di 149.8 kg/cm^2 ass. registrata nel corso della risalita di fondo dopo la 1ª portata con $66083 \text{ Nm}^3/\text{g}$.

I valori di pressione registrati nel corso della prova vengono riportati in Tab. 5 per quanto concerne i profili ed in Tabb. 2, 3, 4 per quanto concerne le risalite.

In particolare si fa notare che i valori dinamici nel corso dell'erogazione tendono ad aumentare per il fatto che il pozzo sta migliorando le sue condizioni, liberandosi dei battenti riscontrati di fronte alla zona inferiore sparata (m. 1321÷1330 T.R.).

I valori statici si ristabilizzano in 30 minuti e non mostrano differenze sostanziali tra l'inizio e la fine della prova.

Si può affermare che il livello in esame è in leggera sovrappressione, esso è infatti di circa 20 kg/cm^2 superiore al valore del gradiente idraulico.

c. **Temperatura**
.....

La temperatura, rilevata con profilo statico dopo $13 \frac{1}{2}$ ore dalla fine dello spurgo, al top spari m. 1306 R.T., è di 35.5°C per cui si può affermare che il livello rientra nella norma del valore di 3°C ogni 100 m. (Fig. 13).

d) Portate
.....

Queste possono considerarsi stabilizzate, il loro valore tende anzi ad un lieve aumento nel corso della stessa erogazione, e come per la pressione, ciò è da attribuire al fenomeno che il pozzo tende a far partecipare all'erogazione anche la parte inferiore degli spari (m. 1321 ÷ ÷ 1330 T.R.).

e) Battenti in pozzo
.....

La prova nel suo complesso ha evidenziato che il pozzo non completamente spurgato inizialmente, è sempre stato interessato da battente come mostra anche l'ultimo profilo statico rilevato.

Tuttavia la Fig. 14 ed in particolare la Fig. 15 sui profili di pressione mostrano come il battente va abbassandosi con la erogazione e quindi tende a liberarsi anche la serie bassa degli spari, inizialmente coperta dal fango.

f) Gradienti
.....

I profili di pressione statici, mostrano un gradiente di pressione che varia con la profondità e più preci-

samente nei primi 1000 metri si rileva un valore di $0,0108 \text{ kg/cm}^2$ e da m.1000 al top spari (m. 1306) il valore di $0,011438$. Il fenomeno per il momento non ancora ben definito, potrebbe essere attribuibile ad una possibile segregazione di prodotti più pesanti del metano presenti con lo stesso.

* * *
* *
*

5.4.3. Risultati dell'interpretazione

La prova in oggetto condotta con tre portate e rispettive risalite di pressione ha fornito i seguenti risultati:

O.F. testa $750000 \text{ Nm}^3/\text{g}$

O.F. fondo $1250000 \text{ Nm}^3/\text{g}$

Pressione statica di testa STHP $\text{kg/cm}^2 \text{ a} =$
 $= 135.1$

Pressione statica di fondo SBHP $\text{kg/cm}^2 \text{ a} =$
 $= 149.6$ (a 1296 m.T.R.)

Temperatura statica di fondo SBHT $^\circ\text{C} =$
 $= 35.3$ (a 1296 m.T.R.)

Le risalite di pressione al fondo interpretate con il metodo ARPS sulla base dei seguenti dati:

μg	= 0,01587 cp	(assunto v. LAVI-NIA 1)
Z	= 0,82	(adimensionale)
h	= 32 m.	spessore netto pay
\emptyset	= 0,28	porosità stimata dai log
rw	= 0,16 m.	raggio del foro
T	= 35,3°C	temperatura registrata al top

hanno fornito:

	<u>1[^]</u> <u>risalita</u>	<u>2[^]</u> <u>risalita</u>	<u>3[^]</u> <u>risalita</u>	
Kh	1655	1346	2823.7	mDm
h(ass.)	32	32	32	m
K	51.7	42	88.2	mD
CF	31	31	27.7	%
SE	69	69	72.3	%

Le pendenze rilevate, mostrano tutte un basso valore di $\Delta P^2/\text{ciclo}$ 25 ca. 75 $[(\text{kg}/\text{cm}^2)^2]/\text{ciclo}$ in cui predominano una alta percentuale dovuta a SKIN EFFECT.

Delle tre ricavate, la più rappresentativa è quella riferita post-erogazione con 315.700 Nm^3 del valore di 70 $[(\text{kg}/\text{cm}^2)^2]/\text{ciclo}$ alla quale corrisponde un $Kh = 2823 \text{ mDm}$.

Per cui avendo considerato un pay netto

di 32 m; corrisponderebbe una permeabilità di 88,24 mD.

La pressione statica estrapolata corrisponderebbe a 148.8 kg/cm² rel.

Su una perdita di carico del valore di 1733 $[(\text{kg}/\text{cm}^2)^2]$ totale, con la portata di 315.700 Nm³/g, il 27.7 % è dovuto al fattore di completamento ed il 72.3 % allo skin effect.

Quanto sopra sta a significare che il pozzo è migliorabile nei suoi parametri erogativi e si ritiene che ciò possa avvenire eliminando il battente di fango che interessa la serie bassa degli spari della formazione mineralizzata.

a. Equazione di flusso

.....
Sono state considerate due equazioni di flusso, una al fondo ed una alla testa (Fig. 9).

Poichè le tre portate non sono sufficientemente correlabili, e la situazione più realistica suggerita dai profili effettuati nel corso delle prove indica essere quella con erogazione a 315.700 Nm³/g, la equazione di flusso al fondo è stata calcolata a partire dalla risalita, con la formula $\Delta P^2 = Aq + Bq^2$.

In essa il termine lineare è stato assunto come prodotto della pendenza

m x n corrispondente al C.F. ed in questo caso del valore di $412.2 \text{ l} \cdot (\text{kg}/\text{cm}^2)^2$.

Il termine quadratico, in base al calcolo, assume il valore di $1322.8 \text{ l} \cdot (\text{kg}/\text{cm}^2)^2$.

Pertanto la formula diventa del tipo:

$$\Delta P^2 = 0,00129933 \cdot q + 1,3272 \cdot 10^{-8} \cdot q^2$$

L'equazione di flusso alla testa più probabile è stata calcolata assumendo i valori corrispondenti alle due portate ritenute quelle più significative, quella a $161294 \text{ Nm}^3/\text{g}$ e quella a $315700 \text{ Nm}^3/\text{g}$.

Pertanto essa diventa nella nota forma lineare

$$Q = C (\Delta P^2)^n$$

$$Q = 1590 (\Delta P^2)^{0,62288}$$

Consegue che le caratteristiche produttive dell'intero intervallo considerato: 1306 - 1317 e 1321 - 1330 non possono essere che soggette a miglioramento.

L'equazione di flusso dedotta con i dati della prova ha indicato un open-flow di ca. $1250000 \text{ Nm}^3/\text{g}$. al fondo e le portate erogabili corrispondentemente al Δp_f del 5 %, 7 % e 10 % sarebbero:

370000; 470000; 5120000 Nm³/g.

Le calibrature effettuate nel corso della prova hanno mostrato che il fondo è rimasto invariato e che pertanto è da escludere problemi di sabbia almeno con portate dell'ordine di 351.000 Nm³/g. (<5%)

I battenti fluidi, riscontrati con i profili effettuati, indicano che il pozzo, non completamente spurgato, in modo particolare per quanto riguarda la serie inferiore di spari, tende ad autopulirsi con la portata maggiore e a migliorare i parametri erogativi della formazione.

I profili di pressione presentano un aumento di gradiente nella parte bassa di ognuno di essi, ed il fenomeno potrebbe spiegarsi come effetto di una possibile segregazione delle parti più pesanti di una miscela gassosa.

* * *
* *
*

5.5. Situazione del pozzo dopo le prove

Il pozzo dopo le prove di produzione è stato chiuso minerariamente con tappi di cemento a 250÷350 m.T.R., 700÷800 m.T.R. e 1170÷1290 m.T.R.

ADP

S.p.A

ATTIVITÀ MINERARIE
Servizio Giacimenti

RAPPORTO SULLA PROVA DI RISALITA DELLA PRESSIONE DI FONDO (POZZIA GAS)

REGISTRAZIONE RISALITA

Δt	TEMPI			PRESSIONI (e)	
	t ₀ + Δt	$\frac{\Delta t}{t_0 + \Delta t}$	P _f Δt	assolute P _f Δt + 1	assolute P _f Δt
0	615		147,3	148,3	28992,9
1	616	.0016234	148,6	149,6	22380,2
2	617	.0032415	148,7	149,7	22410,1
3	618	.00485437	148,7	"	"
5	620	.0080645	148,7	"	"
10	625	0,016	148,7	"	"
15	630	0,02381	148,8	148,8	22440
30	645	0,046512	148,8	"	"
90	705	0,12766	148,8	"	"

(*) REGISTRARE CON DETTAGLIO I VALORI DELLE PRESSIONI
NEI PRIMI ISTANTI DI CHIUSURA

VISTO

OPERATORE

Portata alla chiusura P 66083 --- Nmc/g
 Produz. cumulativa Gp --- Nmc.
 Profondità strumento 1296 (T.R.) --- mt.
 Raggio del pozzo r_w 0,16 --- mt.
 Porosità σ --- 28 % ---
 Densità del gas ρ_g 0,6566 --- gr/lt
 Spessore netto h 32 --- mt.
 Intervallo mineralizzato 1306 - 1343 --- mt.
 " sparato 1306-1317/1321-1330 mt.
 Temperatura T 310 --- K

Pseudo tempi erog. t₀ 615 --- min.
 Pendenza m 5 --- (kg/cm²)
 ciclo
 Capacità Kh 1655 --- m.d.m
 Pressione statica P_{st}² 2246,0 --- (kg/cm²)²
 " P_{st} 149,8 --- kg/cm²
 Numero di cicli n 5,73 ---
 Permeabilità K 51,7 --- MD
 Fattore di turbolenza B_{ND} --- kg/cm²sec²
 Coefficiente " B' --- (kg/cm²)²
 Perdita di pressione totale Δp_t² 467 --- (kg/cm²)²
 " senza danneggiamento Δp_{ND} 145 ---
 " per danneggiamento Δp_D 322 ---
 Fattore di completamento C.F. 31,05 % ---
 Skin effect S.E. --- 68,95 % ---
 Fattore di skin S. ---
 E.D.R. = $\frac{1}{C.F.} \cdot 0,01587$ ---
 μ --- 0,87 --- z --- 0,87 ---

Δt_{st} = minuti (tempo fittizio stabilizzato)

CENTRO SECE
 CAMPO DI LAURA
 POOL 1306 - 1330
 POZZON° 1 PROVA N°
 Data 22-26/11/80ra

t₀ = $1440 \frac{Gp}{q}$
 $m' = \frac{\Delta P^2}{\text{Num. cicli}}$
 $Kh = 0,1552 \frac{q \mu z T}{m}$; $K = \frac{Kh}{h}$
 $n' = \log \frac{13 \cdot 10^5 t \cdot P_{st} K}{q \mu r^2}$
 $B' = 1,53737 \cdot 10^{-10} \frac{K_{ND} q \cdot K m}{h r_w \mu q}$
 $\Delta(P^2) = P_{st}^2 - P^2$
 $\Delta(P^2)_{ND} = m' \cdot n' \cdot B' q^2$
 $\Delta(P^2)_D = \Delta(P^2) - \Delta(P^2)_{ND}$
 $C.F. = \frac{\Delta(P^2)_{ND}}{\Delta(P^2)}$
 $S.E. = \frac{\Delta(P^2)_D}{\Delta(P^2)} = 1 - C.F.$
 $n = \log_{10} \Delta t_{st} + \log_{10} \left(\frac{K P_{st} \times 10^{-6}}{4,45 q \mu r_w^2} \right)$

AGIP

S.p.A

ATTIVITÀ MINERARIE
Servizio Giacimenti

RAPPORTO SULLA PROVA DI RISALITA DELLA PRESSIONE DI FONDO (POZZIA GAS)

REGISTRAZIONE RISALITA

Δt	t ₀ + Δt	Δt / (t ₀ + Δt)	PRESSIONI (•)	
			P _f Δt	absolute absolute P _f Δt+1 P _f Δt
0	546		145.2	146.2 21374.5
1	547	.00182815	147.8	148.8 22141.5
2	548	.00364964	148.2	149.2 22260.6
3	549	.0054645	148.3	149.3 22290.5
5	551	.0090744	148.3	" "
10	556	0.017986	148.3	" "
15	561	0.026738	148.3	" "
30	576	0.0520833	148.4	149.4 22320.4
90	636	0.14151	148.4	149.4 "

(•) REGISTRARE CON DETTAGLIO I VALORI DELLE PRESSIONI
NEI PRIMI Istanti di CHIUSURA

VISTO

OPERATORE

Portata alla chiusura p 161294 Nmc/g
 Produz. cumulativa Gp 1296 (T.R.) Nmc.
 Profondità strumento 0.16 mt.
 Raggio del pozzo r_w 28 % mt.
 Porosità σ 0.5566
 Densità del gas ρ_g 32 gr/ft
 Spessore netto h 1306 - 1343 mt.
 Intervallo mineralizzato 1306-1317/1321-1330 mt.
 " sparato 1306-1317/1321-1330 mt.
 Temperatura T 310 K

Pseudo tempi di erog. t₀ 546 min.
 Pendenza m 75 (kg/cm²/ciclo)
 Capacità Kh 1346 m.d.m
 Pressione statica P_{si} 22460 (kg/cm²)
 " P_{si} 149.8 kg/cm²
 Numero di cicli n 5,5947
 Permeabilità K 42,077 MD
 Fattore di turbolenza B_{ND} kg/cm²sec²
 Coefficiente " B' (kg/cm²g)
 Perdita di pressione totale ΔP₁² 1066 (Nmc/g)
 " " senza danneggiamento ΔP_{ND} 330 (kg/cm²g)
 " " per danneggiamento ΔP_D 736
 Fattore di completamento C.F. 30,95 %
 Skin effect S.E. 69,05 %
 Fattore di skin S.
 E.D.R. = $\frac{1}{C.F.} = 0.01587$ CP
 Δt* = minuti (tempo fittizio stabilizzato)

CENTRO SECE
 CAMPO DI LAURA
 Pool 1306 - 1330
 POZZON° 1 Prova N°
 Data 22-26/11/80 Gra

t₀ = 1440 $\frac{Gp}{q}$

m' = $\frac{\Delta P^2}{\text{Num. cicli}}$

Kh = 0,1552 $\frac{q \mu z T}{m}$; K = $\frac{K h}{h}$

n' = $\log \frac{13 \cdot 10^5 t_0 P_{si} K}{\sigma \mu r^2}$

B' = $1,53737 \cdot 10^{10} \frac{B_{ND} q \cdot K m}{h r_w \mu q}$

Δ(P²) = P_{si}² - P_f²

Δ(P²)_{ND} = m' · n' + B' q²

Δ(P²)_D = Δ(P²) - Δ(P²)_{ND}

C.F. = $\frac{\Delta(P^2)_{ND}}{\Delta(P^2)}$

S.E. = $\frac{\Delta(P^2)_D}{\Delta(P^2)}$ = 1 - C.F

n' = $\log_{10} \Delta t^* + \log_{10} \left(\frac{K P_{si} \times 10^{-6}}{4,45 \sigma \mu r_w^2} \right)$

RAPPORTO SULLA PROVA DI RISALITA DELLA PRESSIONE DI FONDO (POZZIA GAS)

REGISTRAZIONE RISALITA

Δt	TEMPI			PRESSIONI (•)	
	t. + Δt	$\frac{\Delta t}{t. + \Delta t}$	P _f , Δt	assolute P _f , Δt+1	assolute P _f , Δt
0	480		142.9	143.9	20707.2
1	481	0.00208	148	149.0	22201
2	482	0.0041494	148.2	149.2	22260.4
3	483	0.0062112	148.3	149.3	22290.5
5	485	0.0103093	"	"	"
10	490	0.0204082	"	"	"
15	495	0.030303	148.4	149.4	22320.4
30	510	0.0588235	148.5	149.5	22350.2
60	540	0.111111	148.5	149.5	"
90	600	0.2	148.5	149.5	"

(•) REGISTRARE CON DETTAGLIO I VALORI DELLE PRESSIONI NEI PRIMI Istanti DI CHIUSURA

VISTO

OPERATORE

Portato allo chiusura p 315700 Nmc/g
 Produz. cumulativa Gp 1296 Nmc.
 Profondità strumento 1296 mt.
 Raggio del pozzo r_w 0.1600 mt.
 Porosità σ 28%
 Densità del gas ρ_g 0.5566 gr/lt
 Spessore netto h 32 mt.
 Intervallo mineralizzato 1306 - 1343 mt.
 " " apparato 1306-1317/1321-1330 mt.
 Temperatura T (36.7°C) 310 ca.°K

Pseudo tempi di erog. t₀ 480 min.
 Pendenza m 70 (kg/cmq)²
 Capacità kh 282.7 m.d.m
 Pressione statica P_{si} 149.8 (kg/cmq)²
 " " P_{si} 5.86 kg/cmq
 Numero di cicli n 88.24
 Permeabilità K 88.24 MD
 Fattore di turbolenza B_{ND} Kg/cm²sec²
 Coefficiente " B' (kg/cm²g)²
 Perdita di pressione totale ΔP_T 1733 (kg/cm²g)²
 " " senza danneggiamento ΔP_{IND} 480
 " " per danneggiamento ΔP_D 1253
 Fattore di completamento C.F. 27.69 %
 Skin effect S.E. 72.31 %
 Fattore di skin S. z 0.82
 E.D.R. ¹ C.F. 0.1587 P
 Δt_{st} minuti (tempo fittizio stabilizzato)

CENTRO SECF
 CAMPO DI LAURA
 POOL 1306 - 1330
 POZZON° 1 PROVA N°
 Data 22-26/11/80 Ra

t. = 1440 $\frac{Gp}{q}$
 m' = $\frac{\Delta P^2}{\text{Num. cicli}}$
 Kh = 0.1352 $\frac{q \mu z T}{m}$; K = $\frac{K h}{h}$
 n' = $\log \frac{1.3 \cdot 10^5 t. P_{si} K}{\rho \mu r^2}$
 B' = 1.53737 \cdot 10^{-10} \frac{B_{ND} q \cdot K m}{h r_w \mu} \cdot \frac{1}{q}
 $\Delta(P^2) = P_{si}^2 - P_f^2$
 $\Delta(P^2)_{ND} = m' \cdot n' \cdot B' q^2$
 $\Delta(P^2)_D = \Delta(P^2) - \Delta(P^2)_{ND}$
 C.F. = $\frac{\Delta(P^2)_{ND}}{\Delta(P^2)}$
 S.E. = $\frac{\Delta(P^2)_D}{\Delta(P^2)} = 1 - C.F$
 $n = \log_{10} \Delta t \cdot \log_{10} \left(\frac{K P_{si} \times 10^{-6}}{4.45 \rho \mu r_w^2} \right)$

Profili di pressione e temperatura rilevati durante la

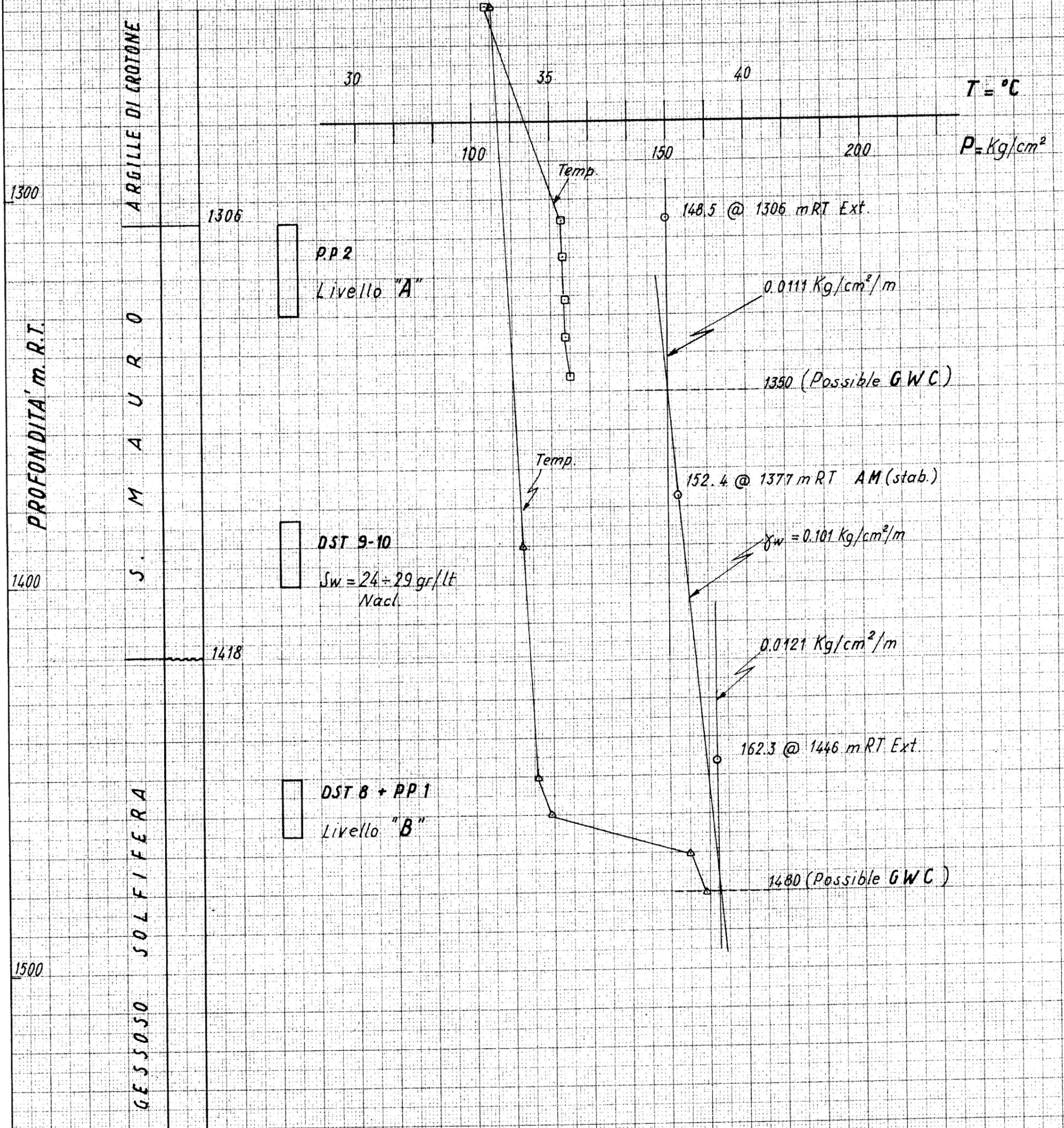
 prova

Statici iniziali			con \emptyset 1/4		ch	\emptyset 3/8	ch
n.	T. °C	P. kg/cm ² rel	T. °C	P. kg/cm ²	P. kg/cm ²	P. kg/cm ²	P. kg/cm ²
0	15.4	134.1	19.4	132.1	134.1	127.8	134.0
500	23.2	139.6	26.5	137.9	139.4	134.4	139.4
1000	29.3	144.9	33.1	143.6	145.0	141.0	144.8
1250	33.4	147.6	36.1	146.6	148.8	144.2	147.6
1306	35.3	148.4	36.7	147.3	148.6	145.2	148.4
1316	35.3	148.5	36.1	147.4	148.7	145.6	148.5
1326	35.35	149.6	36.1	148.5	149.8	146.2	149.3
1336	35.35	151.0	35.7	150.1	151.3	147.4	150.7
1343	35.5	152.8	35.9	151.9	152.9	148.9	152.3

Statici finali

n.	P. kg/cm ² rel
0	134.0
500	139.5
1000	145.1
1250	147.9
1296	148.5
1306	148.6
1316	148.7
1326	149.3
1336	150.9
1346	152.5

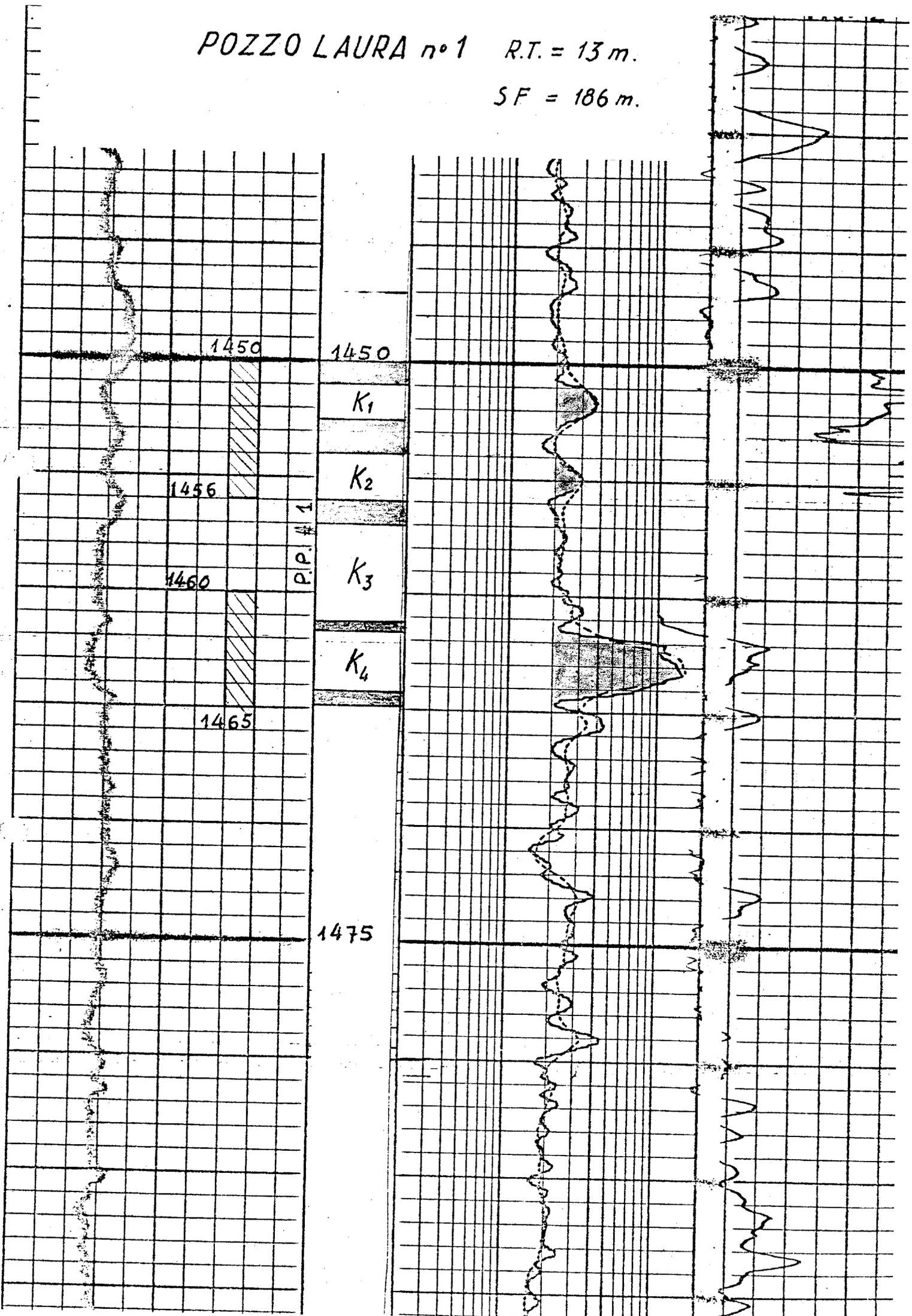
POZZO LAURA N° 1 : P_s & T - vs - Prof.



▲ Profilo Prova 1450 - 1465 m R.T.
 □ Profilo Prova 1306 - 1320 m R.T.

POZZO LAURA n°1 R.T. = 13 m.

SF = 186 m.



SPURGO

Ø 3/8"

CHIUSO

Ø 3/8"

Ø 3/8"

CHIUSO

Fig. 3

6.35

11.50

12.15

18.0

6.30

11.22-11.32

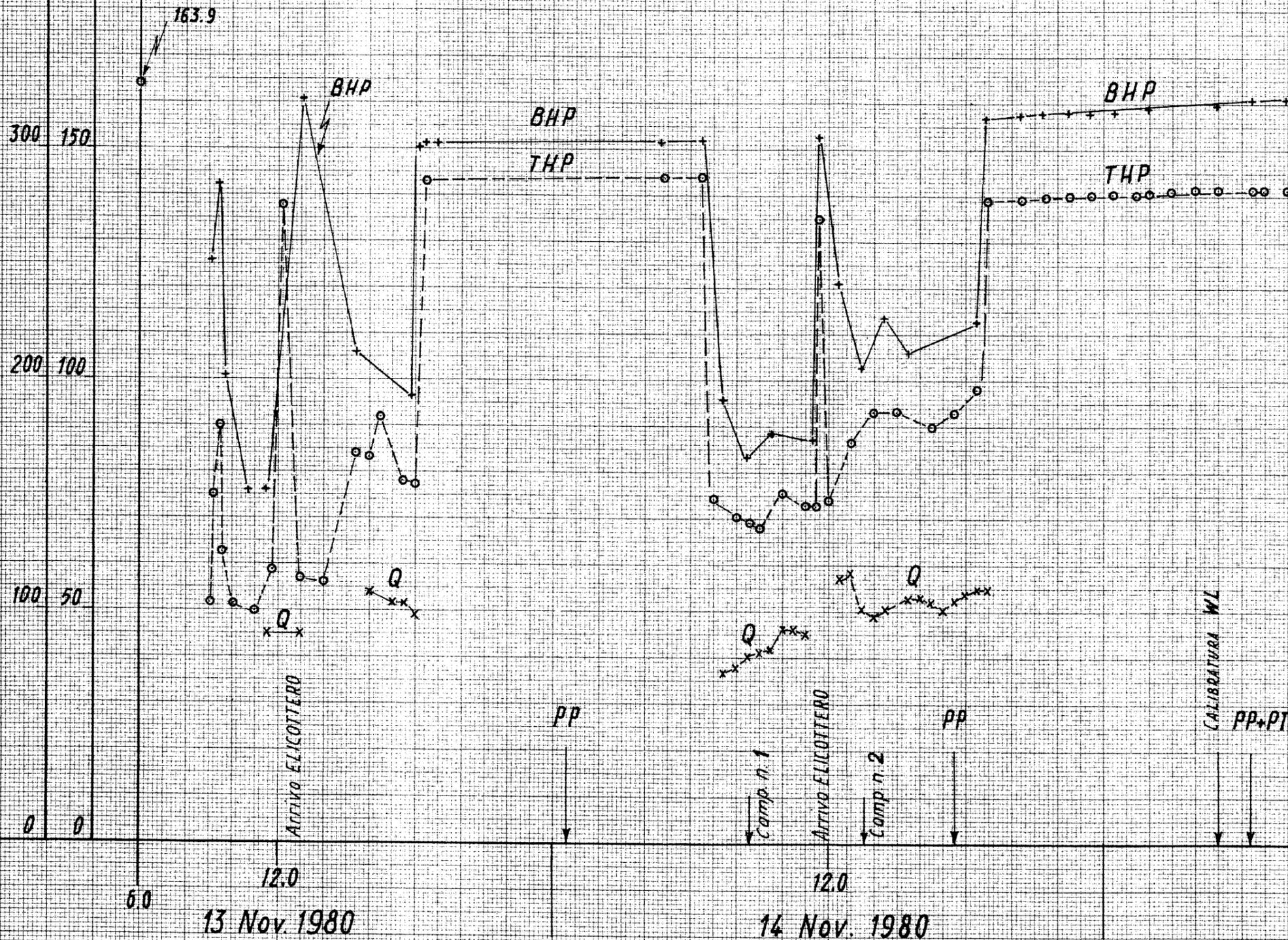
18.30

8.00

$Q = 10^3 \text{ Nm}^3/\text{g}$
 $Q = \text{Kg}/\text{cm}^2$

POZZO LAURA N° 1

(Int. 1450-1465 mRT)
PROVA DI PRODUZIONE



POZZO LAURA N°1: PROFILI DI PRESSIONE E TEMPERATURA

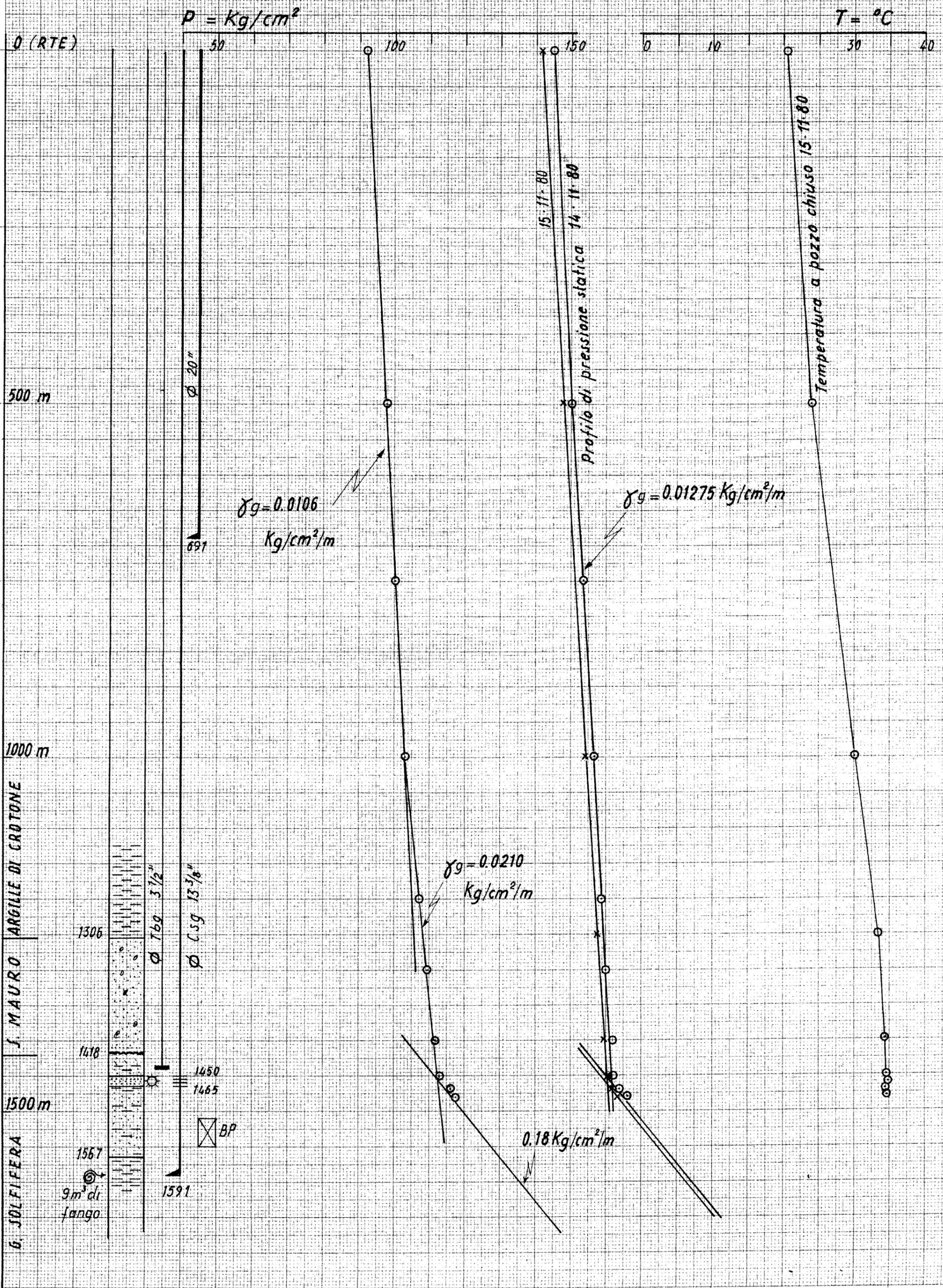
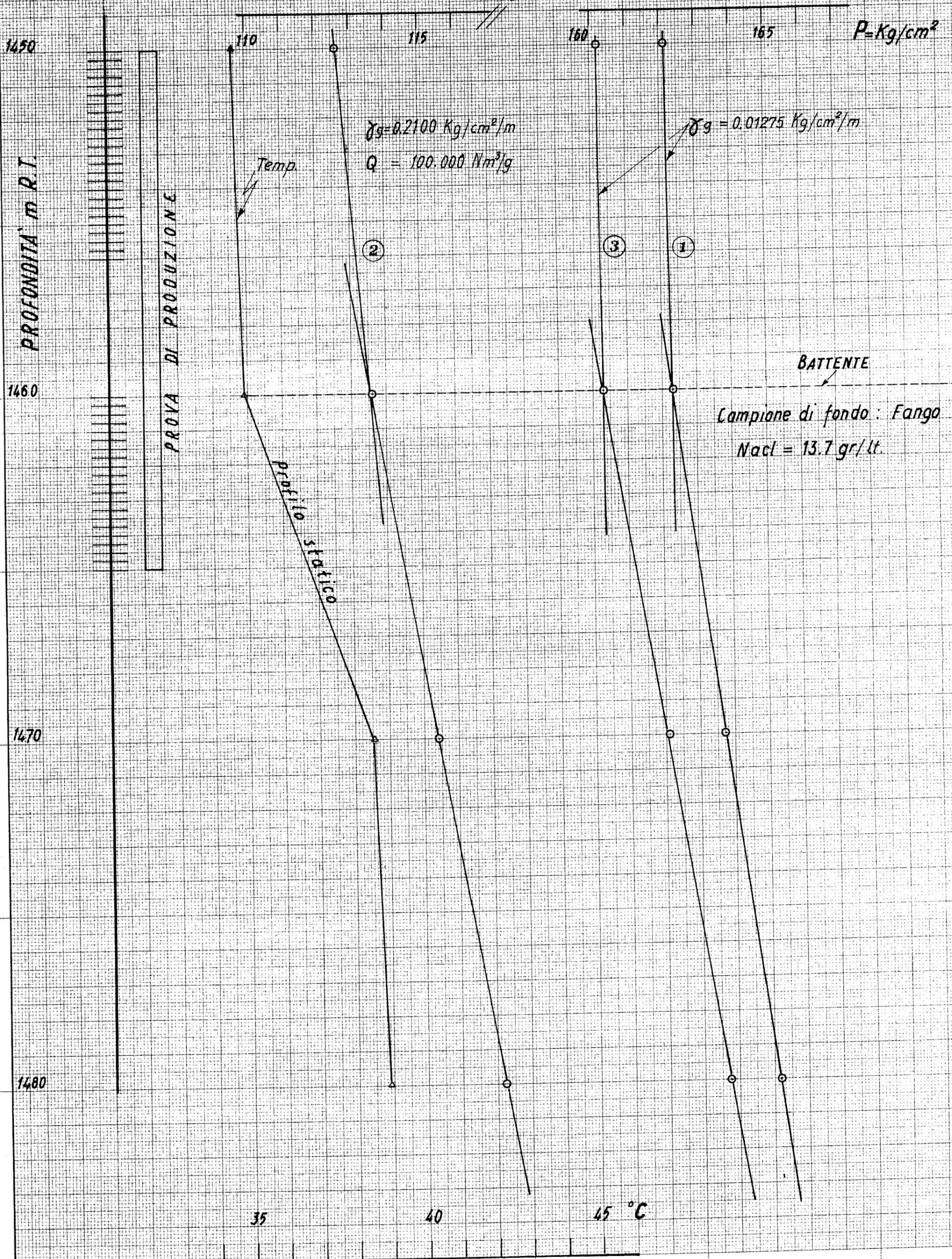


Fig. 4

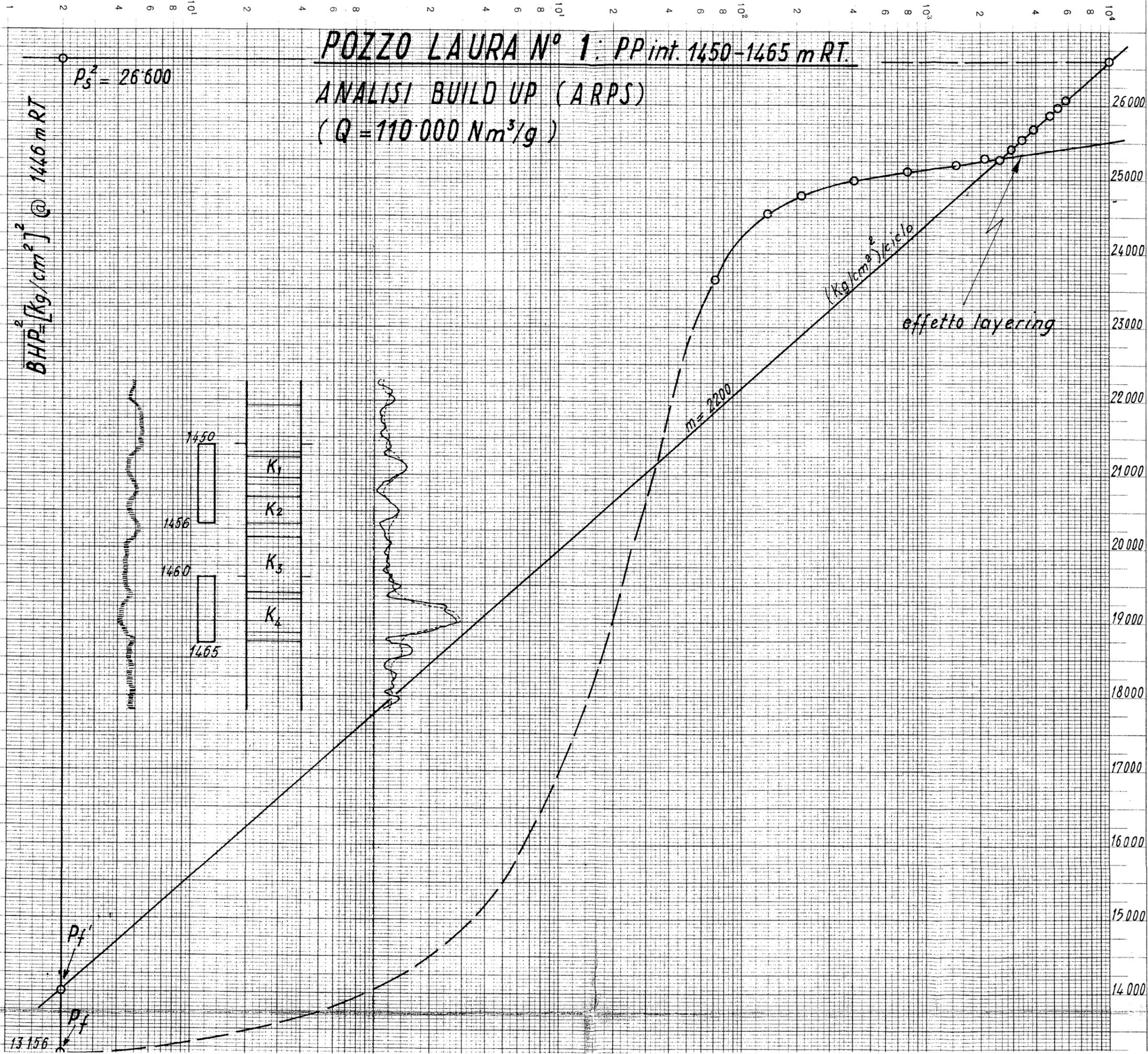
POZZO LAURA N°1: DETTAGLIO PROFILI DI PRESSIONE E TEMPERATURA



POZZO LAURA N° 1: PP int. 1450-1465 m RT.

ANALISI BUILD UP (ARPS)

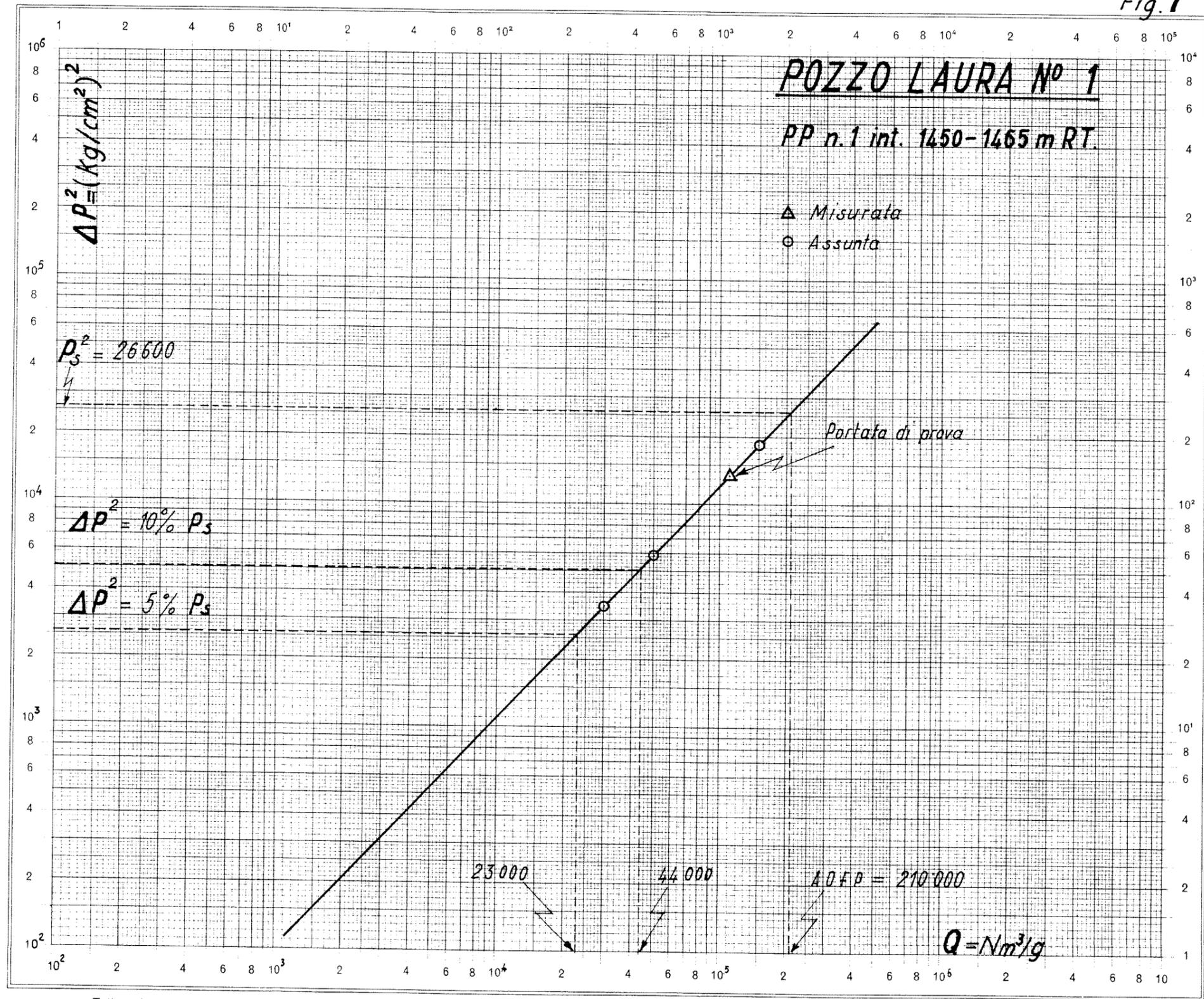
($Q = 110.000 \text{ Nm}^3/\text{g}$)



Logor. Teilung 1 - 10000, Einheit 50 mm

Ed. Aerni-leuc

Fig. 7



Logar. Teilung } 1-10000 u. 1-100000 Einheit } 50 mm
 Division } Unité }

Fig 8

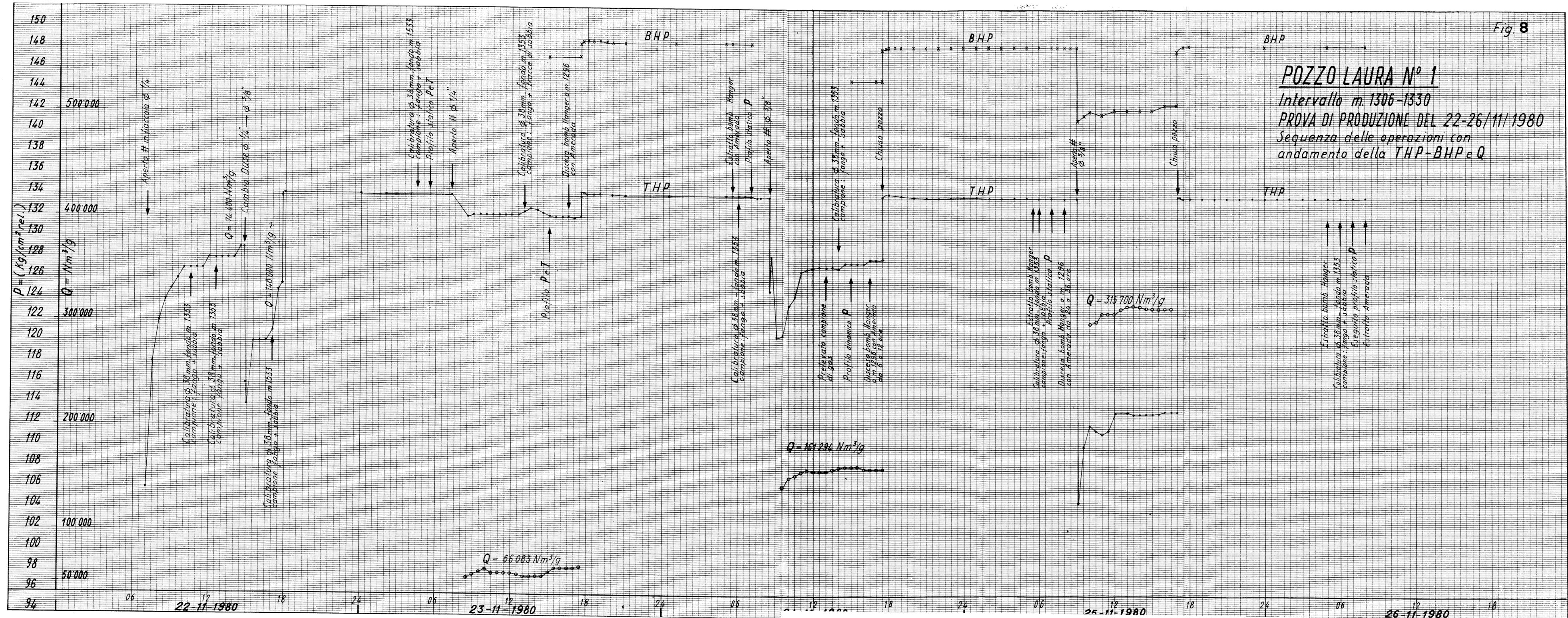
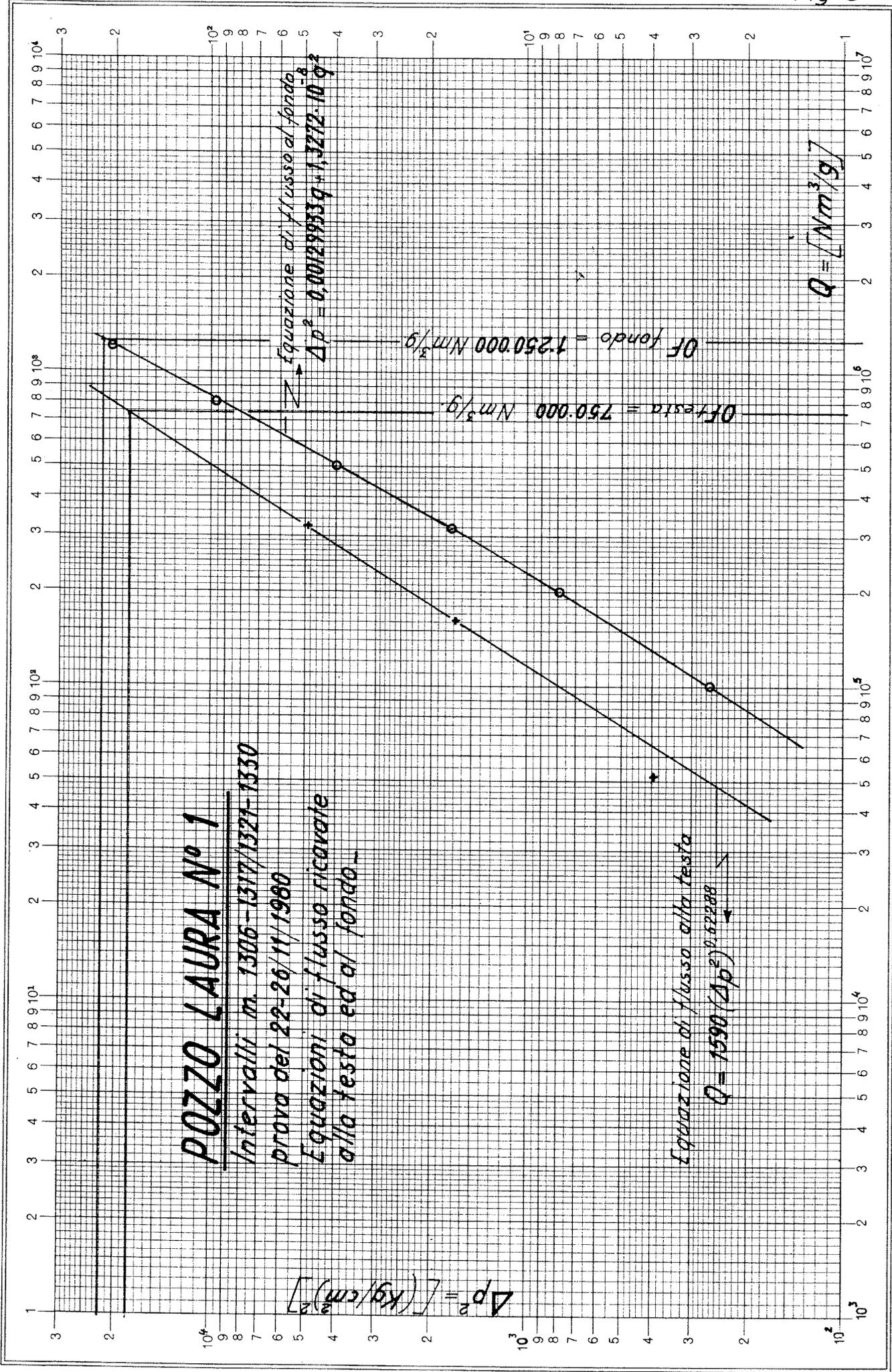


Fig. 9



POZZO LAURA N° 1

Intervallo m. 1306-1330 R.T.

Andamento Risalita di Fondo
con AMERADA a m. 1296 R.T.

Post. EROGAZIONE con

$Q = 66.083 \text{ Nm}^3/\text{g}$

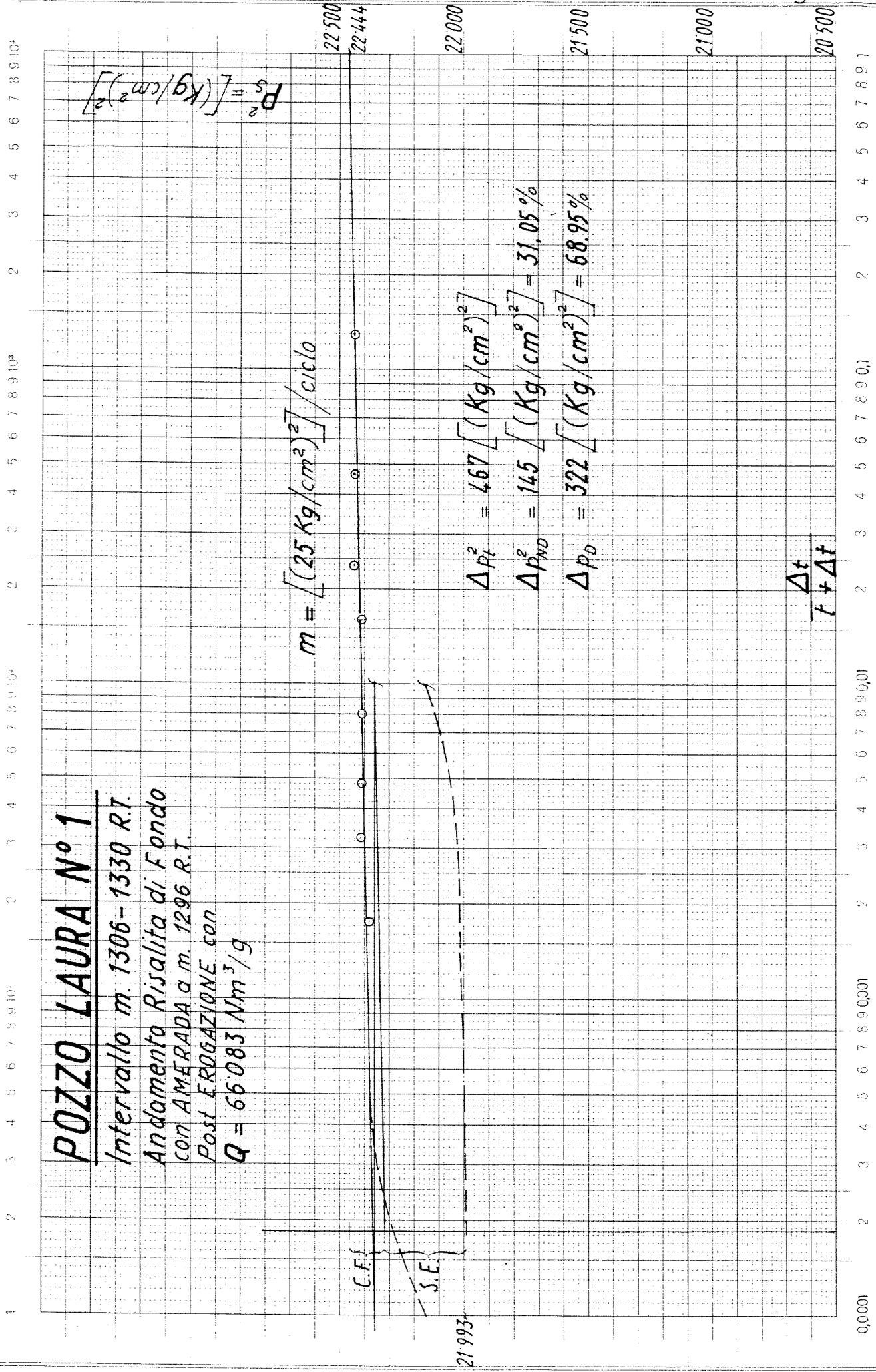
$$m = \left[\frac{25 \text{ Kg/cm}^2}{\text{ciclo}} \right]$$

$$\Delta p_l^2 = 467 \left[\frac{\text{Kg/cm}^2}{\text{ciclo}} \right]^2$$

$$\Delta p_{ND}^2 = 145 \left[\frac{\text{Kg/cm}^2}{\text{ciclo}} \right]^2 = 31.05 \%$$

$$\Delta p_D^2 = 322 \left[\frac{\text{Kg/cm}^2}{\text{ciclo}} \right]^2 = 68.95 \%$$

$$P_s^2 = \left[\frac{\text{Kg/cm}^2}{\text{ciclo}} \right]^2$$



Teilung } 1-10000 Einheit } 62,5 mm
Logar. Division }

POZZO LAURA N° 1

Intervallo m. 1306-1330 R.T.
 Andamento Risalita di Fondo
 con AMERADA a m. 1296 R.T.
 Post EROGAZIONE con
 $Q = 161'294 \text{ Nm}^3/\text{g}$

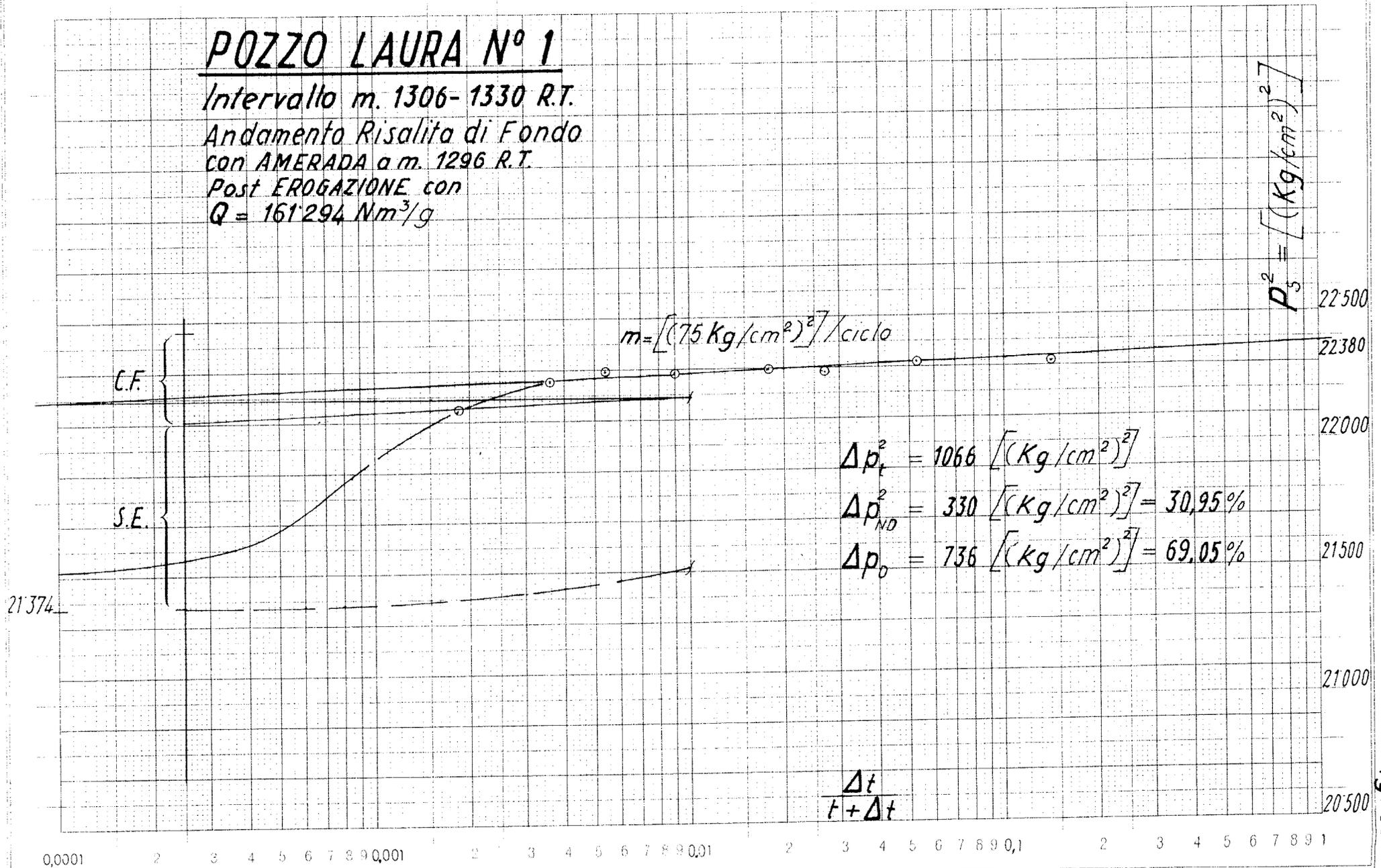


Fig. 11

POZZO LAURA N° 1

Intervallo m. 1306-1330 R.T.

Andamento Risalita di Fondo
con AMERADA a m. 1296 R.T.

Post EROGAZIONE con
 $Q = 315700 \text{ Nm}^3/\text{g}$

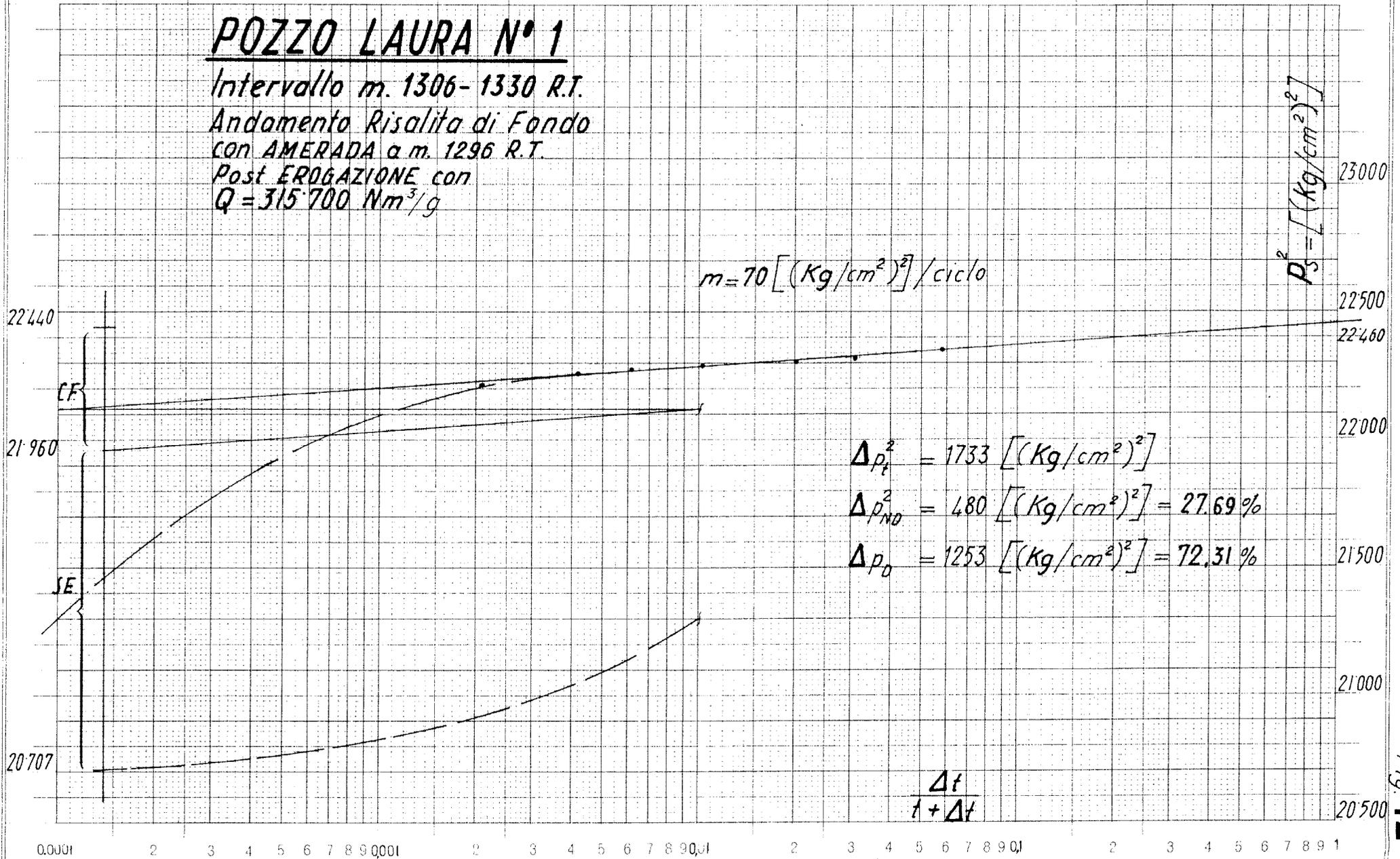


Fig. 12

POZZO LAURA N° 1: PROFILI DI TEMPERATURA effettuati durante la prova del 22-26/11/1980

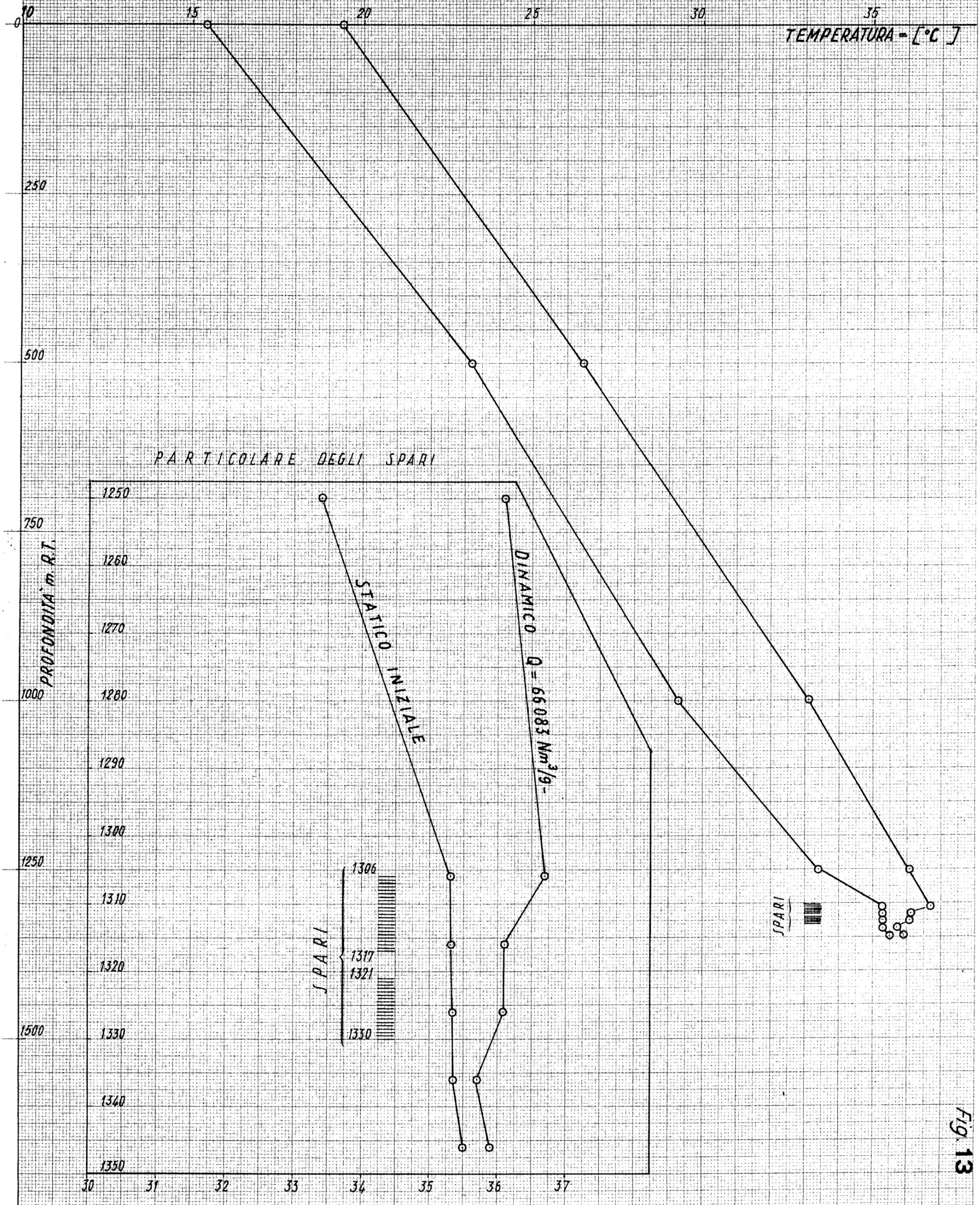
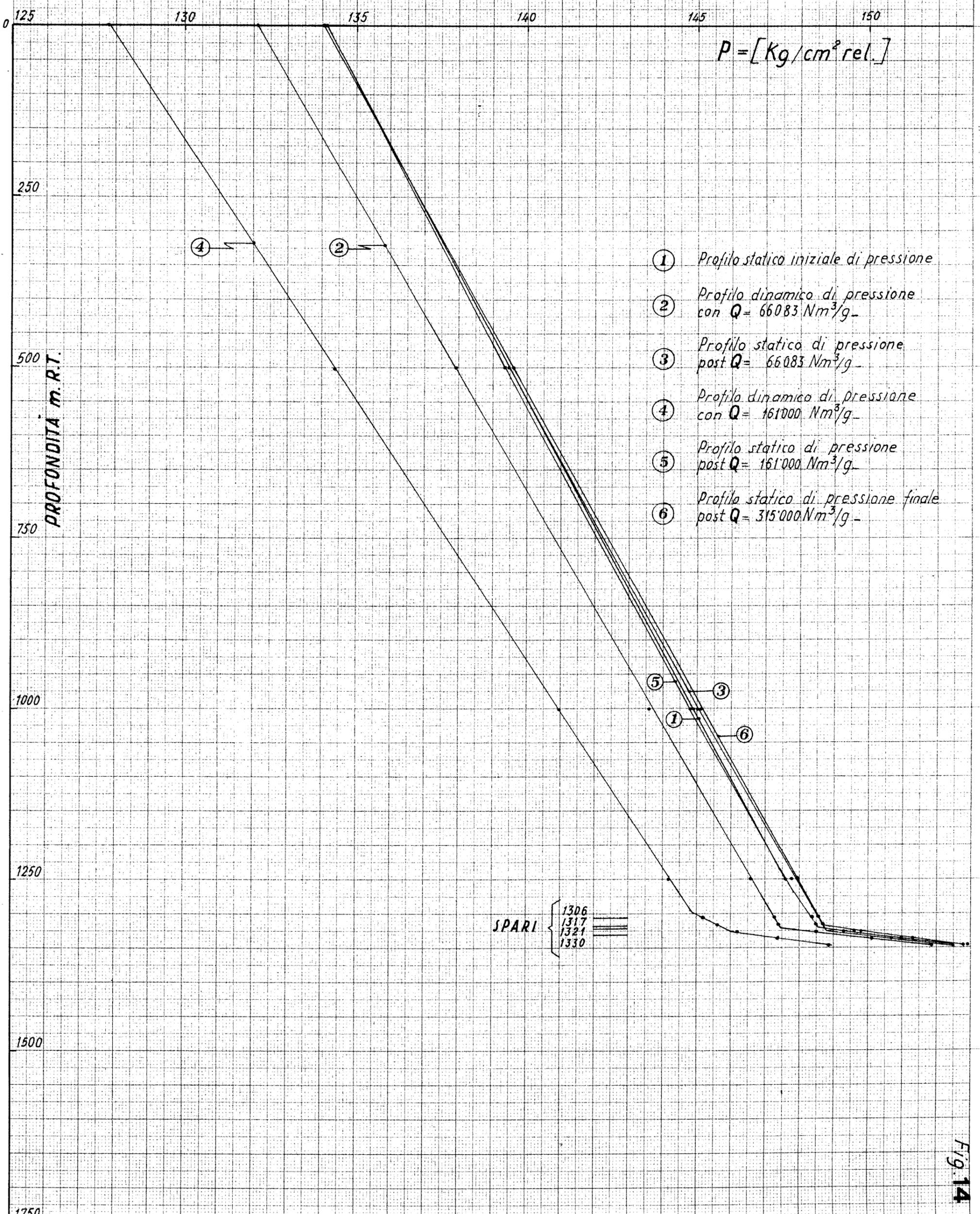


Fig. 13

POZZO LAURA N° 1: PROFILI DI PRESSIONE effettuati durante la prova del 22-26/11/1980



- ① Profilo statico iniziale di pressione
- ② Profilo dinamico di pressione con $Q = 66083 Nm^3/g$
- ③ Profilo statico di pressione post $Q = 66083 Nm^3/g$
- ④ Profilo dinamico di pressione con $Q = 161000 Nm^3/g$
- ⑤ Profilo statico di pressione post $Q = 161000 Nm^3/g$
- ⑥ Profilo statico di pressione finale post $Q = 315000 Nm^3/g$

POZZO LAURA N° 1 : PARTICOLARE DEI PROFILI DI PRESSIONE effettuati durante la prova del 22-26/11/1980

