



DISE - SETTORE IDROCARBURI

POZZO MILA 5

ANALISI DELLA PROVA DI PRODUZIONE

(DST n. 22)

E. E. PAGE

Milano, Aprile 1980

I N D I C E

CONCLUSIONI

I.	SVILUPPO DELLA PROVA	Pag.	1
II.	PRESSIONE INIZIALE DI FORMAZIONE	"	3
III.	DELIVERABILITY	"	3
IV.	PREVISIONI DI PRODUZIONE	"	4
V.	MECCANISMO DI PRODUZIONE	"	4
VI.	DANNEGGIAMENTO	"	4
VII.	PENETRAZIONE PARZIALE NEL PAY	"	5
VIII.	AUMENTO DI PRODUTTIVITA'	"	5
IX.	VOLUMI DRENATI DURANTE LA PROVA	"	5
X.	METODOLOGIA USATA	"	6
X.1	Draw down	"	6
X.2	Build-up	"	7
X.3	Penetrazione parziale	"	7
1.	<u>ANDAMENTO DELLA PROVA</u>	"	9
1.1	<u>Tavola riassuntiva della prova</u>	"	11
2.	<u>ANALISI DEI DRAW-DOWN</u>	"	12
2.1	<u>Prima erogazione</u>	"	12
2.1.1	Permeabilità	"	13
2.1.2	Danneggiamento	"	13
2.1.3	Fattore di completamento	"	14
2.1.4	Raggio di drenaggio	"	14
2.2	<u>Seconda erogazione</u>	"	15
2.2.1	Permeabilità	"	15

2.2.2	Danneggiamento	Pag. 16
2.2.3	Fattore di completamento	" 16
2.3	<u>Terza erogazione</u>	" 17
2.3.1	Permeabilità	" 17
2.3.2	Danneggiamento	" 18
2.3.3	Fattore di completamento	" 18
2.4	<u>Quarta erogazione</u>	" 19
2.4.1	Permeabilità	" 19
2.4.2	Danneggiamento	" 20
2.4.3	Fattore di completamento	" 20
2.5	<u>Quinta erogazione (prolungata)</u>	" 21
2.5.1	Permeabilità	" 22
2.5.2	Danneggiamento	" 22
2.5.3	Fattore di completamento	" 23
2.5.4	Raggio di drenaggio	" 23
2.5.5	Volume drenato	" 24
2.6	<u>Tavola riassuntiva delle erogazioni</u>	" 25
2.7	<u>Parzializzazione del pay</u>	" 25
2.8	<u>Analisi dello skin totale (erogazioni)</u>	" 27
3.	<u>RISALITE PARZIALI DI PRESSIONE</u>	" 30
3.1	<u>Prima risalita</u>	" 31
3.1.1	Permeabilità	" 31
3.1.2	Danneggiamento	" 31
3.1.3	Fattore di completamento	" 32
3.2	<u>Seconda erogazione</u>	" 33
3.2.1	Permeabilità	" 33
3.2.2	Danneggiamento	" 33
3.2.3	Fattore di completamento	" 34

3.3	<u>Terza risalita</u>	Pag. 34
3.3.1	Permeabilità	" 34
3.3.2	Danneggiamento	" 35
3.3.3	Fattore di completamento	" 35
3.4	<u>Quarta risalita</u>	" 36
3.4.1	Permeabilità	" 36
3.4.2	Danneggiamento	" 36
3.4.3	Fattore di completamento	" 37
3.5	<u>Quinta risalita (finale)</u>	" 38
3.5.1	Permeabilità	" 39
3.5.2	Danneggiamento	" 39
3.5.3	Fattore di completamento	" 40
3.6	<u>Tavola riassuntiva delle risalite</u>	" 40
3.7	<u>Analisi dello skin totale (risalite)</u>	" 41
4.	<u>POTENZIALE ASSOLUTO</u>	" 45
4.1	<u>Curve di back pressure</u>	" 45
4.2	<u>Metodo LIT</u>	" 46

APPENDICE N. 1 : CARATTERISTICHE DEL RESERVOIR

I)	MOBILITA' TOTALE	" 1
II)	FATTORE VOLUMETRICO DEL GAS	" 1
III)	FATTORE VOLUMETRICO DELL'OLIO	" 2
IV)	COMPRESSIBILITA' DELL'OLIO	" 3
V)	COMPRESSIBILITA' DEL GAS	" 4
VI)	COMPRESSIBILITA' DELL'ACQUA E DELLA FORMAZIONE	" 5
VII)	COMPRESSIBILITA' TOTALE	" 5

APPENDICE N. 2 : TABELLE DATI N. 1.....10

APPENDICE N. 3 : FIGURE N. 1.....31

BIBLIOGRAFIA

NOMENCLATURA

CONCLUSIONI

I. SVILUPPO DELLA PROVA

Al pozzo Mila 5 è stata condotta una prova di produzione del tipo isocrono modificato, sull'intervallo calcareo compreso fra m 3548,5 e m 3577, allo scopo di ottenere più ampie informazioni circa la capacità produttiva e le principali caratteristiche del reservoir in esame.

La prova isocrona, effettuata dopo un'acidificazione e seguita sullo stesso intervallo, ha avuto inizio il 27 febbraio 1980 ed è terminata il 5 marzo 1980, per un totale di 162 ore.

Nel corso della prova sono stati complessivamente prodotti circa 2.435 STB di olio (a 37,6°API a 60°F), pari a 324 tons, e 3,322 MMSCF di gas (SG = 0,706), pari a 94.069 Scm, con un GOR medio di 1364 SCF/STB (243 Scm/Stcm).

Durante la prova sono state effettuate quattro erogazioni isocrone (12 ore), rispettivamente su duse da 4/16", 5/16", 6/16" e 7/16", ed una erogazione prolungata su duse da 4/16" (42 ore), con portate sufficientemente stabilizzate. Non vi è stata produzione di acqua.

Dopo ogni erogazione isocrona il pozzo è stato chiuso in superficie per periodi di 12 ore, mentre la chiusura finale è stata protratta per 24 ore.

A seguito della prova effettuata non sembra essersi manifestato alcun fenomeno di depletion a carico della pressione iniziale di giacimento (5267,6 psia a 11.726

ft) del quale peraltro non sono stati raggiunti i bordi, come chiaramente evidenziato dalle curve di draw-down.

Con le attuali conoscenze non è pertanto possibile formulare ipotesi attendibili circa la valutazione delle riserve.

Il potenziale assoluto del pozzo, valutato con la stessa metodologia adottata per i pozzi a gas, è risultato pari a circa 1.170 STBPD. Tale valore è suscettibile di un modesto incremento (circa 100 STBPD), qualora fosse tecnicamente possibile rimuovere totalmente il danneggiamento di natura meccanica, mentre il danneggiamento legato ad altre cause, quali turbolenza del flusso, gas blocking, ecc. si ritiene non possa essere eliminato.

Essendo il pozzo ubicato in posizione strutturale alquanto più bassa rispetto alla zona del gas cap, non sembra probabile la presenza di "free gas" in formazione, ammettendo che il gas prodotto durante le erogazioni possa essersi totalmente sviluppato dall'olio (solution gas).

Nel corso delle prime quattro erogazioni l'andamento del GOR ha evidenziato una tendenza a mantenersi su valori quasi costanti (~ 1200 SCF/STB), denotando invece un forte incremento (fino a ~ 1800 SCF/STB) durante la quinta erogazione, pur avendo utilizzato per quest'ultima erogazione la stessa duse ($1/4"$) usata per la prima. Ciò porterebbe a pensare che il gas liberatosi in formazione, nelle vicinanze del pozzo, soprattutto durante la quarta erogazione (a causa del più elevato ΔP ,

che ha raggiunto il 52,3%), possa aver raggiunto la saturazione critica e quindi aver cominciato a fluire liberamente.

Per quanto riguarda la permeabilità all'olio, nella zona interessata dalla prova, risulta dell'ordine di 9.0 md., come media aritmetica fra i valori ottenuti dalle risalite di pressione.

In sostanza, la prova ha evidenziato tra l'altro quanto segue:

II. PRESSIONE INIZIALE DI FORMAZIONE

La pressione di strato iniziale, pari a 5.268 Psia misurata a 11.726 ft., si ritiene non abbia subito variazioni a seguito della prova effettuata.

III. DELIVERABILITY

Le capacità produttive del pozzo sono riportate nella Fig. 25; la curva "1" rappresenta la capacità produttiva del pozzo nelle condizioni attuali di completamento (AOF_P = 1170 STBPD); la curva "2" rappresenta la capacità produttiva nell'ipotesi di riuscire a rimuovere totalmente il danneggiamento meccanico (AOF_P = 1300 STBPD); la curva "4" esprime la capacità produttiva teorica del reservoir, in assenza di qualsiasi danneggiamento (AOF_P = 6000 STBPD).

IV. PREVISIONI DI PRODUZIONE

Per una previsione circa la portata di esercizio del pozzo occorre fare riferimento alla curva "2" della fig. n. 25, in quanto la maggior parte dello "skin" è dovuta a cause praticamente non rimovibili (gas blocking). Si stima una produzione di circa 800 STBPD, con un ΔP del 40% circa, ^(*) che non dovrebbe comunque innescare fenomeni di "water coning", in quanto tale elevato draw-down è causato sostanzialmente da fenomeni di turbolenza e di gas blocking.

≈ 6'000
con/qualcosa

V. MECCANISMO DI PRODUZIONE

La capacità produttiva teorica del reservoir è espressa da una equazione con esponente $n = 1,30260$ e sembra confermare che la produzione avvenga essenzialmente per water-drive.

VI. DANNEGGIAMENTO

Lo "skin effect" globale è molto elevato; esso assume valori differenti se determinato dalle curve di erogazione, o dalle risalite di pressione. In particolare le curve di erogazione evidenziano uno skin meccanico negativo, in accordo con l'acidificazione effettuata prima del test, mentre le risalite di pressione mostrano uno skin positivo. Può darsi che tale discrepanza sia dovuta allo sviluppo di flusso bifasico durante l'erogazione, seguito da una solubilizzazione

(*) che si riduce all'11% circa se si tiene conto dello skin effect totale.

del "free gas" nell'olio durante la risalita della pressione. (*)

E' da notare che sia durante le erogazioni che durante la risalita, la componente di skin dovuta a fenomeni di turbolenza e gas-blocking si mantiene praticamente costante.

VII. PENETRAZIONE PARZIALE NEL PAY

L'analisi delle curve di draw-down sembra indicare una parziale penetrazione nel pay produttivo, che provocherebbe uno pseudo-danneggiamento, e quindi una notevole perdita di produttività.

VIII. AUMENTO DELLA PRODUTTIVITA'

Nelle attuali condizioni non sembra ipotizzabile un sensibile aumento della produttività, a meno di un ampliamento dell'intervallo produttivo. Occorre comunque tenere presente che tale operazione comporta un forte rischio di innescare la venuta di acqua attraverso il sistema di fratture verticali che caratterizza il reservoir.

IX. VOLUMI DRENATI NEL CORSO DELLA PROVA

In base al calcolo del raggio di drenaggio sviluppatosi al termine dell'erogazione prolungata ($r_d = 783$ ft, pari a 239 mt., per $t_p = 42$ ore) è stato stimato il vo

(*) Può darsi che i differenti valori dello skin derivino da variazioni del tipo di flusso (da sferico a lineare) durante l'erogazione e la chiusura, a causa della penetrazione parziale e del bottom water drive. In questa ipotesi è più corretto determinare la permeabilità e lo skin effect dal draw-down che riflette le condizioni di produzione e non dalla bulle-up.

lume di olio interessato dalle prove.

Tale volume risulta pari a $3,280 \times 10^6$ RBL, cui corrispondono $1,960 \times 10^6$ STB.

X. METODOLOGIA USATA

X.1 Draw-down

Per il regime transitorio sono state diagrammate le pressioni di erogazione in funzione del $\log t$.

La pendenza della retta di draw-down

$$m = 162.6 \frac{Q u B}{hK}$$

è stata utilizzata per calcolare Kh/μ , K.

Lo skin factor è stato valutato dalla relazione di Van Everdingen

$$S = 1.151 \left[\frac{P_{wf} - P_{1h}}{m} - \log \frac{k}{\phi u c r_w^2} + 3.23 \right]$$

Il raggio di drenaggio è stato valutato dalla relazione:

$$r_d = 0.029 \sqrt{\frac{kt}{\phi u c}}$$

nell'ipotesi $t_{DA} = 0.1$

Le perdite di carico dovute a skin sono state valutate dalla relazione:

$$\Delta P_s = 141.2 \frac{Q u B}{hK} \cdot S = 0.87 \text{ mS}$$

L'analisi dello skin factor è stata completata determinando la componente meccanica e quella turbolenta in base alla relazione:

$$S = a + DQ$$

X.2 Build-up

Per il regime transitorio sono state diagrammate le pressioni di chiusura in funzione del $\lg (t + \Delta t) / \Delta t$ secondo la metodologia di Horner.

La pendenza della retta della build-up

$$m = 162.6 \frac{Q u B}{hk}$$

è stata utilizzata per calcolare kh/u , k .

Lo skin factor è stato valutato dalla relazione:

$$S = 1.151 \left[\frac{P_{1h} - P_{wf} (\Delta t = 0)}{m} - \log \frac{k}{\phi u cr_w^2} + 3.23 \right]$$

L'analisi dello skin factor è stata completata determinando la componente meccanica e quella turbolenta in base alla relazione:

$$S = a + DQ$$

Le perdite di carico dovute a skin sono state calcolate dalla relazione:

$$\Delta P_s = 0.87 mS$$

X.3 Penetrazione parziale

Lo skin factor relativo alla penetrazione parziale è stato calcolato dalla relazione di Brons-Marting:

$$S = \frac{1-b}{b} \left[\ln \frac{h}{r_w} - G(b) \right]$$

La perdita di produttività nel caso di un reservoir circolare, è stata valutata dalla relazione:

$$I = \frac{S}{\ln \frac{r_e}{r_w} - 0,75 + S}$$

1. ANDAMENTO DELLA PROVA

Il DST n. 22, effettuato in foro tubato con CSG 9"5/8, condotto con la metodologia dei tests isocroni modificati, ha interessato la Fm. Streppenosa sull'intervallo calcareo fra m 3548,5 e m 3577 T.R. (*) (11.642 - 11.736 ft.), precedentemente sottoposto ad acidificazione.

La prova di produzione ha avuto inizio il 27.2.1980 ed è terminata il 5.3.1980, per una durata totale di 162 ore. v. fig. n. 28 e 29.

La pressione iniziale di strato, misurata a m 3574 (ft. 11.726), con elemento Hewlett Packard, è risultata P_i (BH) = 5267,6 psia, mentre in superficie il manometro a pesi ha fornito un valore P_i (WH) = 2175 psia.

Si è proceduto effettuando quattro erogazioni isocrone disposte nell'ordine crescente, ognuna della durata di 12 ore, rispettivamente su duse da 4/16", 5/16", 6/16" e 7/16".

La prima erogazione ha fornito una portata media di 585 STBD per l'olio e di 641 MSCFD per il gas, con un GOR di 1096 SCF/STB, e con ΔP di 1304 psi non stabilizzato pari al 24,8%.

La seconda erogazione ha avuto una portata media di 640 STBD per l'olio e di 755 MSCFD per il gas, con un GOR uguale a 1180 SCF/STB ed un ΔP di 1795 psi non stabilizzato, pari al 34,1%.

(*) Altezza T.R. sul livello del mare = 10,00 m

La terza erogazione ha avuto una portata di 810 STBD per l'olio e di 854 MSCFD per il gas, con un GOR uguale a 1178 SCF/STB, ed un ΔP di 2936 psi non stabilizzato, pari al 45,5%.

La quarta erogazione, infine, ha avuto una portata di 910 STBD per l'olio e di 1247 MSCFD per il gas, con un GOR uguale a 1370 SCF/STB, con un ΔP al fondo di 2754 psi non stabilizzato, pari al 52,3%.

Dopo ogni erogazione isocrona il pozzo è stato chiuso in superficie per periodi di 12 ore.

Successivamente è stata effettuata una erogazione prolungata, della durata di 42 ore, con portata media di 490 STBD per l'olio e 865 MSCFD per il gas, con un GOR uguale a 1765 SCF/STB ed ΔP non stabilizzato di 1347 psi, pari al 25,6%.

Al termine è seguita la chiusura finale, protratta per 24 ore.

Nel corso della prova isocrona si sono prodotti in totale 2435 STB di olio a densità 37,6°API a 60°F, pari a circa 324 tons.

Alla torcia sono stati bruciati 557 STB, mentre i rimanenti 1878 STB sono stati pompati sulla petroliera "Ionio" e inviati a Priolo.

Si sono inoltre prodotti cumulativamente 3,322 MMSCF di gas (SG = 0,706), pari a 94.069 Scm, con un GOR medio di 1364 SCF/STB pari a 243 Scm/Stcm.

1.1 DST N. 22 - Prova di produzioneTAVOLA RIASSUNTIVA (v. fig. n. 28 e 29)

OPERAZIONI	DUSE g ⁿ	DURATA ore	PRESSIONI		P _t %	PORTATE (*)		GOR SCF/STB	PRODUZIONE		NOTE
			(WH) psia	(BH) psia		olio STBPD	gas MSCFPD		olio STB	gas MSCF	
Pezzo chiuso	-	-	2179	5268	-	-	-	-	-	-	
I Erogazione	4/16	12	1355	3964	24,8	585	641	1096	296	318	Bruciatl 296 bbls di olio
I Chiusura	-	12	2115	5242	-	-	-	-	-	-	
II Erogazione	5/16	12	1117	3473	34,1	640	755	1180	329	377	Bruciatl 261 bbls; 68 bbls pomp. su "lonio"
II Chiusura	-	12	2175	5234	-	-	-	-	-	-	
III Erogazione	6/16	12	876	2872	45,5	810	954	1178	429	479	429 bbls su "lonio"
III Chiusura	-	12	2208	5259	-	-	-	-	-	-	
IV Erogazione	7/16	12	732	2514	52,3	910	1247	1370	492	639	492 bbls su "lonio"
IV Chiusura	-	12	2180	5220	-	-	-	-	-	-	
V Erogazione	4/16	42	1340	3921	25,5	490	865	1765	889	1509	889 bbls su "lonio"
V Chiusura	-	24	2155	5216	-	-	-	-	-	-	
TOTALE	-	162	-	-	-	650	886	1364	2435	3322	Bruciatl 557 bbls; su "ig nio" 1878 bbls

(*) N.B. Ogni valore di portata si intende riferito a condizioni quasi stabilizzate.

2. ANALISI DEI DRAW-DOWN

I diagrammi di draw-down, costruiti in base ai valori di pressione registrati a fondo pozzo, hanno nel complesso fornito risultati abbastanza congrui fra loro.

Dalle curve di erogazione si evidenzia, quale dato di primaria importanza, un regime di flusso tipicamente transitorio; ciò indica che il raggio di drenaggio non ha mai raggiunto i bordi del giacimento.

E' comunque da notare che il particolare andamento delle pressioni, tipico di questo regime di flusso, nel caso attuale risulta parzialmente mascherato da vistosi fenomeni di WBS (Well Bore Storage), peraltro riscontrabili anche in fase di risalita. A tali fenomeni si sovrappongono inoltre gli effetti di una penetrazione parziale nello spessore del reservoir. Tale argomento viene sviluppato con maggior dettaglio alla fine del capitolo.

Durante l'intero corso della prova non è stata riscontrata alcuna erogazione di acqua di strato.

2.1 Prima erogazione - Duse \varnothing 1/4" (Fig. n. 2)

Dall'analisi della curva di draw-down transient si può riconoscere l'andamento rettilineo tipico di questo regime, a partire da un tempo di produzione $T_p = 240$ m'.

Per tempi minori i fenomeni di WBS e di penetrazione parziale nascondono il reale andamento della curva.

2.1.1 Permeabilità relativa all'olio

Tramite il valore di pendenza ricavato dalla curva di draw-down è possibile effettuare una stima della permeabilità relativa all'olio:

$$K_o = \frac{162,6 Q_o \mu B_o}{m h} \quad \text{da cui:}$$

$$K_o = \frac{162,6 \cdot 585 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{150 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 4,5 \text{ md}}$$

2.1.2 Danneggiamento

Skin effect

L'entità del danneggiamento risulta dalla seguente relazione:

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_i - P_{1h}}{m} - \lg \frac{k}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right]$$

da cui:

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5267,6 - 4140,0}{150} - \lg \frac{4,5}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot [7,52 - 7,81 + 3,23]$$

$$S = 3,38354$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{\text{skin}} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{\text{skin}} = 0,87 \cdot 150 \cdot 3,38 = 441 \text{ psia} = 31 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$$

2.1.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{\bar{P} - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{585}{5267,6 - 3964,0} = 0,45 \text{ STBD/psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{\text{skin}}}$$

$$J_t = \frac{585}{(5267,6 - 3964,0) - 441} = 0,68 \text{ STBD/psia}$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,66$$

$$CF = 0,66$$

$$DR = 0,34$$

2.1.4 Raggio di drenaggio

Il raggio di drenaggio sviluppatosi nel corso delle erogazioni isocrone risulta dalla relazione di seguito riportata:

$$r_d = 0,029 \cdot \sqrt{\frac{k t}{\phi_t u c_t}}$$

nell'ipotesi che sia $t_{DA} = 0.1$ (cioè $t_{DE} = 0,1 \cdot \pi = 0.314$) e che $\left(\frac{k}{u}\right)_t = 24,8 \frac{\text{md}}{\text{cps}}$

$$r_d = 0,029 \cdot \sqrt{\frac{24,8 \cdot 12}{0,05 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6}}} = 418 \text{ ft.}$$

$$\underline{r_d = 128 \text{ m circa}}$$

2.2 Seconda erogazione - Duse $\phi^{5/16}$ " (fig. n. 3)

La curva delle pressioni, assume l'andamento rettilineo tipico del regime transitorio, dopo circa 240 m' dall'inizio dell'erogazione. Anche in questo caso è ben riconoscibile il fenomeno di post-produzione, che scompare dopo i primo 8 m', e l'effetto della penetrazione parziale che si protrae fino a 240 m'.

2.2.1 Permeabilità relativa all'olio, k_o

$$K_o = \frac{162,6 \cdot Q_o \cdot B_o}{m h}$$

$$K_o = \frac{162,6 \cdot 640 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{205 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 3,6 \text{ md}}$$

2.2.2 Danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_i - P_{1h}}{m} - \lg \frac{k}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right],$$

da cui

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5267,6 - 3700,0}{205} - \lg \frac{3,6}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot [7,65 - 7,71 + 3,23]$$

$$S = 3,64413$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot 205 \cdot 3,64$$

$$\Delta P_{skin} = 650 \text{ psia} = 48 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$$

2.2.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{\bar{P} - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{640}{5267,6 - 3473,0} = 0,36 \text{ STBD/psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{skin}}$$

$$J_t = \frac{640}{(5267,6 - 3473) - 650} = 0,56 \text{ STBD/psia}$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,64$$

$$CF = 0,64$$

$$DR = 0,36$$

2.3 Terza erogazione - Duse ϕ 6/16" (fig. n. 4)

Come riscontrato nelle precedenti erogazioni, il regime di flusso si mantiene transitorio durante l'intero tempo di erogazione.

La curva di draw-down diviene rettilinea per tempi superiori a $t_p = 240$ m', mentre per tempi inferiori il fenomeno di "Well Bore Storage" e quello della penetrazione parziale nel pay produttivo mascherano la reale espressione della curva di declino.

2.3.1 Permeabilità relativa all'olio, K_o

$$K_o = \frac{162,6 \cdot Q_o \cdot u \cdot B_o}{m h}$$

$$K_o = \frac{162,6 \cdot 810 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{220 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 4,3 \text{ md}}$$

2.3.2 Danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_i - P_{1h}}{m} - \lg \frac{K}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right]$$

da cui:

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5267,6 - 3100,0}{220} - \lg \frac{4,3}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 6,09430$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot 220 \cdot 6,09$$

$$\Delta P_{skin} = 1166 \text{ psia} = 82 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$$

2.3.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{\bar{P} - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{810}{5267,6 - 2872,0}$$

$$J_a = 0,34 \text{ STBD/psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - P_{skin}}$$

$$J_t = \frac{810}{(5267,6 - 2872) - 1166}$$

$$J_t = 0,66 \text{ STBD/psia}$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,52$$

$$CF = 0,52$$

$$DR = 0,48$$

2.4 Quarta erogazione - Duse $\varnothing 7/16''$ (fig. n. 5)

La curva di declino assume l'andamento rettilineo tipico del regime transitorio, a partire dal tempo $t_p = 270 \text{ m}'$.

Per tempi inferiori il fenomeno del WBS e la parziale penetrazione nello spessore del reservoir deviano la curva dal normale andamento.

2.4.1 Permeabilità relativa all'olio, K_o

$$K_o = \frac{162,6 \cdot Q_o \cdot u \cdot B_o}{m \cdot h}$$

$$K_o = \frac{162,6 \cdot 910 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{200 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 5,3 \text{ md}}$$

2.4.2 Danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_i - P_{1h}}{m} - \lg \frac{k}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5267,6 - 2705,0}{200} - \lg \frac{5,3}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 9,39706$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot 200 \cdot 9,40$$

$$\Delta P_{skin} = 1635 \text{ psia} = 115 \text{ kg/cm}^2 \text{ ss.}$$

2.4.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{(P - P_{wf})}$$

$$J_a = \frac{910}{5267,6 - 2514,0}$$

$$J_a = 0,33 \text{ STBD/psia}$$

$$J_t = \frac{910}{(5267,0 - 2514,0) - 1635}$$

$$J_t = 0,81 \text{ STBD/psia}$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,41$$

$$CF = 0,41$$

$$DR = 0,59$$

2.5 Quinta erogazione (extended flow) - Duse \varnothing 4/16" (fig. n.6)

La quinta erogazione è stata protratta per circa 42 ore.

Come evidenziato dal diagramma di draw-down, il regime di flusso si è mantenuto transitorio per l'intera durata dell'erogazione; nessun bordo del giacimento è stato pertanto raggiunto dal raggio di drenaggio.

Dall'esame della curva di declino non si evidenziano disturbi attribuibili a soluzioni di continuità del reservoir, mentre sono sempre presenti, come nel corso delle quattro precedenti, gli effetti del well bore storage e della penetrazione parziale nel pay.

Tali fenomeni, che alterano il normale andamento delle pressioni, si esauriscono dopo circa 270 m' dallo inizio dell'erogazione.

Dopo tale tempo infatti il diagramma di draw-down assume un andamento rettilineo con pendenza costante di 80 psia/ciclo.

2.5.1 Permeabilità relativa all'olio, K_o

$$K_o = \frac{162,6 \cdot Q_o \cdot u \cdot B_o}{m \cdot h}$$

$$K_o = \frac{162,6 \cdot 490 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{80 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 7,1 \text{ md}}$$

2.5.2 Danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_i - P_{1h}}{m} - \lg \frac{k}{\phi \cdot u \cdot c \cdot r_w^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5267,6 - 4040,0}{80} - \lg \frac{7,1}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 12,16523$$

Perdita di carico, ΔP_{skin}

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{skin}} &= 0,87 \cdot m \cdot S = 0,87 \cdot 80 \cdot 12,16 = 847 \text{ psia} = \\ &= 60 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.} \end{aligned}$$

2.5.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf})}$$

$$J_a = \frac{490}{5267,6 - 3921,0}$$

$$J_a = 0,36 \text{ STBD/psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{skin}}$$

$$J_t = \frac{490}{(5267,6 - 3921,0) - 847}$$

$$J_t = 0,98 \text{ STBD/psia}$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,37$$

$$CF = 0,37$$

$$DR = 0,63$$

2.5.4 Raggio di drenaggio

Il raggio di drenaggio sviluppatosi al termine della erogazione prolungata viene stimato utilizzando la relazione sottoriportata, nell'ipotesi che $t_{DA} = 0,1$ e che la mobilità $\left(\frac{K}{u}\right)_t$ sia pari a 24,8 md/cps:

$$r_d = 0.029 \cdot \sqrt{\frac{k t}{\phi_t u c_t}}$$

$$r_d = 0.029 \cdot \sqrt{\frac{24,8 \cdot 42}{0,05 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6}}}$$

$$\underline{r_d = 783 \text{ ft} = 239 \text{ m}}$$

Come si può notare per una distanza pari a 239 m non sono state incontrate faglie od altre soluzioni di continuità del reservoir.

2.5.5 Volume drenato durante la prova

In base al calcolo del raggio di drenaggio sviluppatosi nel corso dell'erogazione prolungata (42 ore) è possibile stimare l'area ed i volumi interessati dalla prova:

essendo $A = r_d^2 \cdot \pi$, dove $r_d = 783 \text{ ft}$, dopo 42 ore di flusso

$$A = (783)^2 \cdot \pi = 1,926 \cdot 10^6 \text{ sq.ft.}$$

pari a 178.938 m^2 .

Ipotizzando uno spessore di net pay costante ed omogeneo di 300 ft, pari a 91 m, si ricava il volume delle riserve interessate nel corso della prova:

$$V_B = A \cdot h = 178.938 \cdot 91 = 16,283 \cdot 10^6 \text{ mc}$$

Considerando $S_o = 80\%$ ed $S_w = 20\%$ si ottiene il volume dell'olio in posto alle condizioni di reservoir:

$$V_o = V_B \cdot \phi_h \cdot S_o$$

$$V_o = 16,238 \cdot 10^6 \cdot 0,04 \cdot 0,8 = 521.000 \text{ mc} \rightarrow 3.280.000 \text{ RBL,}$$

a cui corrispondono 1.960.000 STB.

2.6 Tavola dei principali risultati forniti dalle erogazioni

	DUSE #	Q_o STB/DPD	Q_g MSCFPD	GOR STB/SCF	ΔP %	K_o md	S_t	ΔP_{skin} psia	μ psia/ey
I erogazione	4/16"	585	641	1096	24,6	4,5	3,4	441	150
II erogazione	5/16"	640	755	1180	34,0	3,6	3,6	650	205
III erogazione	6/16"	810	954	1178	45,5	4,3	6,1	1166	220
IV erogazione	7/16"	910	1247	1370	52,3	5,3	9,4	1635	200
V erogazione	4/16"	490	865	1765	25,5	7,1	12,2	847	80

2.7 Parzializzazione del pay produttivo

Tentativo di valutazione degli effetti

L'analisi dei draw-down ($P, \log t$) sembra evidenziare gli effetti di una parziale penetrazione nel reservoir (*).

Tale penetrazione parziale produce un fenomeno, specie nelle formazioni ad elevata permeabilità verticale (come dimostrato nel caso particolare), che fisicamente è equivalente ad uno "skin factor" addizionale, detto "pseudo-skin", che va a sommarsi al danneggiamento già esistente.

(*) F. Brons e V.E. Marting "The effect of restricted fluid entry on well productivity", Serie S.P.E., vol. 5 "Well completions" pag. 324 e segg.

R.C. Earlougher "Advances in well test analysis", pag. 156 - 157

Nell'ipotesi che il pay totale ammonti a 300 ft, è possibile tentare una stima del valore del "pseudo skin", S_b , avvalendosi della relazione di seguito riportata:

$$S_b = \frac{1-b}{b} \cdot \left[\ln \frac{h}{r_w} - G(b) \right]$$

dove "b" è il rapporto fra le misure del pay totale e quello aperto al flusso, mentre $G(b)$ è una funzione numerica di "b", il cui andamento viene riportata in fig. n. 27.

$$b = \frac{94}{200} = 0,313, \text{ da cui}$$

$$S_b = \frac{1 - 0,313}{0,313} \left[\ln \frac{94}{0,35} - 1,635 \right]$$

$S_b = 8,688$, da cui la perdita di produttività, nel caso di un reservoir circolare risulta:

$$I = \frac{S}{\ln \frac{r_e}{r_w} - 0,75 + S} = \frac{8,688}{\ln \frac{2000}{0,35} - 0,75 + 8,688} = 0,52$$

E' inoltre possibile calcolare le perdite di carico causate dalla penetrazione parziale, ricorrendo alla relazione:

$$\Delta P = 0,87 \cdot m \cdot S_p$$

$$\text{I erogazione : } \Delta P_b = 0,87 \cdot 150 \cdot 8,69 = 1134 \text{ psia}$$

$$\text{II erogazione : } \Delta P_b = 0,87 \cdot 205 \cdot 8,69 = 1550 \text{ psia}$$

$$\text{III erogazione : } \Delta P_b = 0,87 \cdot 220 \cdot 8,69 = 1663 \text{ psia}$$

$$\text{IV erogazione : } \Delta P_b = 0,87 \cdot 200 \cdot 8,69 = 1512 \text{ psia.}$$

$$\text{V erogazione : } \Delta P_b = 0,87 \cdot 80 \cdot 8,69 = 605 \text{ psia}$$

Come si nota i primi tre valori di ΔP_b ottenuti non sono ben confrontabili con i ΔP_{skin} ricavati durante le erogazioni, risultando più elevati di questi ultimi. Migliori approssimazioni si ottengono correlando con lo "skin factor" valutati dalle risalite di pressione.

2.8 Analisi del danneggiamento totale S_t , ricavato dalle erogazioni (v. fig. n. 26)

I valori di skin effect totale S_t ottenuti con i dati di pressione relativi alle erogazioni, possono essere considerati costituiti dalla somma di due elementi; un termine S_1 rappresentato dal danneggiamento meccanico, indipendente dalla portata, ed un termine S_2 variabile in funzione della portata.

Si ha cioè:

$$S_t = S_1 + S_2 = S + DQ$$

dove D è un coefficiente di turbolenza.

Nel caso particolare si avranno quindi le seguenti quattro espressioni (la quinta è stata omessa risultando non congrua):

$$4/16" \quad 3,38354 = S + 585 D$$

$$5/16" \quad 3,64413 = S + 640 D$$

$$6/16" \quad 6,09430 = S + 810 D$$

$$7/16" \quad 9,39706 = S + 910 D$$

da cui, ricavando S e D si ottiene:

$$S = - 7,62280$$

$$D = 0,01800 \text{ (STBPD)}^{-1}$$

Lo skin effect totale resta quindi determinato dalla equazione che segue:

$$\underline{S_t = - 7,62280 + 0,01800 Q}$$

Il valore negativo è congruo con l'acidificazione effettuata prima di eseguire la prova.

Considerato che la perdita di carico ΔP_{skin} è data dalla relazione:

$$\Delta P_{\text{skin}} = 0,87 \cdot S_t \cdot m$$

è possibile ricavare i valori di $\underline{\Delta P_{\text{skin}}}$ totale (cioè relativo al danneggiamento meccanico ed a quello dovuto alla turbolenza), durante le erogazioni:

$$\begin{aligned} \Delta P_t (4/16") &= 0,87 \cdot 150 \cdot [(-7,62280) + 0,01800 \cdot 585] = \\ &= 379 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_t (5/16") &= 0,87 \cdot 205 \cdot [(-7,62280) + 0,01800 \cdot 640] = \\ &= 694 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_t (6/16") &= 0,87 \cdot 220 \cdot [(-7,62280) + 0,01800 \cdot 810] = \\ &= 1331 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_t (7/16") &= 0,87 \cdot 200 \cdot [(-7,62280) + 0,01800 \cdot 910] = \\ &= 1524 \text{ psia} \end{aligned}$$

mentre i $\underline{\Delta P_{\text{skin}}}$ parziali, cioè dovuti al solo danneggiamento di natura meccanica risultano:

$$\Delta P_m (4/16") = 0,87 \cdot 150 \cdot (-7,62280) = -995 \text{ psia}$$

$$\Delta P_m (5/16") = 0,87 \cdot 205 \cdot (-7,62280) = -1360 \text{ psia}$$

$$\Delta P_m (6/16") = 0,87 \cdot 220 \cdot (-7,62280) = -1459 \text{ psia}$$

$$\Delta P_m (7/16") = 0,87 \cdot 200 \cdot (-7,62280) = -1326 \text{ psia}$$

A questo punto, tenendo presenti i valori delle pressioni dinamiche finali, a fondo pozzo, è possibile schematizzare i vari ΔP nel modo seguente:

Duse ϕ''	P_i psia	P_{wf} psia	ΔP			
			$P_i - P_{wf}$ psia	Componenti del ΔP		
				ΔP_{LF} psia	$\Delta P_{Mecc.}$ psia	ΔP_{IT} psia
4/16	5268	3964	1304	935	- 995	1374
5/16	5268	3473	1795	1101	-1360	2054
6/16	5268	2872	2396	1065	-1459	2790
7/16	5268	2514	2754	1230	-1326	2850
4/16	5268	3921	1347	-	-	-

Come si nota dai calcoli soprariportati il ΔP di natura meccanica assume durante le erogazioni valori negativi; ciò pone in rilievo l'efficacia dell'acidificazione effettuata prima della prova isocrona.

3. RISALITE PARZIALI DI PRESSIONE

Dopo ciascuna erogazione isocrona il pozzo è stato chiuso in superficie per un periodo di 12 ore. Il rilevamento delle pressioni di fondo durante tali periodi ha consentito la ricostruzione dei diagrammi di build-up (Horner plots) risultati complessivamente abbastanza soddisfacenti.

E' comunque da segnalare che tali diagrammi non risultano completamente indicativi per ciò che concerne l'estrapolazione delle pressioni di chiusura al valore della "false pressure" P^* , a causa di un fenomeno di "humping" dovuto alla risalita di bolle gassose attraverso la fase liquida presente in pozzo, che maschera parzialmente il reale allineamento degli ultimi punti.

Il fenomeno, ampiamente trattato dalla letteratura, si verifica solitamente quando il pozzo, parzialmente riempito di olio, viene chiuso in superficie. Dopo la chiusura le bolle di gas continuano a risalire attraverso l'olio, determinando, dopo un certo tempo, una sovrappressione all'interno del pozzo che, in talune condizioni, provoca un lento riflusso di olio in formazione, causando così un'apparente stabilizzazione delle pressioni.

Nel caso particolare la pressione P^* è stata estrapolata graficamente al valore di P_1 , 5268 Psia in considerazione sia di tale fenomeno, sia di regime di flusso che durante tutte le erogazioni si è mantenuto transitorio.

Dall'analisi delle porzioni rettilinee delle curve di risalita è stato possibile ottenere i valori di permeabilità relativa all'olio, K_o , nell'ipotesi di flusso monofasico, ed è stato effettuato il calcolo del danneggiamento.

3.1 Prima risalita (v. fig. n. 12)

3.1.1 Calcolo della permeabilità

Tramite il valore di pendenza ricavato dalla porzione rettilinea della curva di build-up, viene ricavato un valore di permeabilità relativa all'olio, applicando la consueta relazione:

$$K_o = 162,6 \cdot \frac{Q_o \cdot u \cdot B_o}{m \cdot h}$$

$$K_o = 162,6 \cdot \frac{585 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{68 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 9,9 \text{ md.}}$$

3.1.2 Danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_{1h} - P_{wf}}{m} - \lg \frac{K}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5190,0 - 3964,1}{68} - \lg \frac{9,9}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot [18,03 - 8,15 + 3,23]$$

$$S = 15,08712$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{\text{skin}} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{\text{skin}} = 0,87 \cdot 68 \cdot 15,09 = 893 \text{ Psia} = 63 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$$

3.1.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{\bar{P} - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{585}{5267,6 - 3964,0} = 0,45 \text{ STBD/Psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{\text{skin}}}$$

$$J_t = \frac{585}{(5267,6 - 3964,0) - 893} = 0,70 \text{ STBD/Psia}$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,64$$

$$CF = 0,64$$

$$DR = 0,36$$

3.2 Seconda risalita (v. fig. n. 13)

3.2.1 Calcolo della permeabilità

$$K_o = \frac{162,6 \cdot Q_o \cdot u \cdot B_o}{m \cdot h}$$

$$K_o = \frac{162,6 \cdot 640 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{88 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 8,4 \text{ md}}$$

3.2.2 Danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_{1h} - P_{wf}}{m} - \lg \frac{K}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5160,0 - 3473,0}{88} - \lg \frac{8,4}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = [1,151 \cdot 19,17 - 8,08 + 3,23]$$

$$S = 16,48429$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot 88 \cdot 16,48 = 1262 \text{ Psia} = 89 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$$

Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{\bar{P} - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{640}{5267,6 - 3473,0} = 0,36 \text{ STBD/Psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{skin}}$$

$$J_t = \frac{640}{(5267,6 - 3473,0) - 1262} = 1,20 \text{ STBD/Psia}$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,30$$

$$CF = 0,30$$

$$DR = 0,70$$

3.3 Terza risalita (v. fig. n. 14)3.3.1 Calcolo della permeabilità

$$K_o = 162,6 \cdot \frac{Q_o \cdot u \cdot B_o}{m \cdot h}$$

$$K_o = 162,6 \cdot \frac{810 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{103 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 9,1 \text{ md}}$$

3.3.2 Danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_{1h} - P_{wf}}{m} - \lg \frac{K}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5150,0 - 2872,0}{103} - \lg \frac{9,1}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 19,83518$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot 103 \cdot 19,83 = 1777 \text{ Psia} = 125 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$$

3.3.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{\bar{P} - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{810}{5267,6 - 2872,0}$$

$$J_a = 0,34 \text{ STBD/Psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{skin}}$$

$$J_t = \frac{810}{(5267,0 - 2872,0) - 1777} = 1,31$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,26$$

$$CF = 0,26$$

$$DR = 0,74$$

3.4 Quarta risalita (v. fig. n. 15)

3.4.1 Calcolo della permeabilità

$$K_o = 162,6 \cdot \frac{Q_o \cdot u \cdot B_o}{m \cdot h}$$

$$K_o = 162,6 \cdot \frac{910 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{123 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 8,6 \text{ md}}$$

3.4.2 Calcolo del danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_{1h} - P_{wf}}{m} - \lg \frac{K}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5130,0 - 2514,0}{123} - \lg \frac{8,6}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot [21,27 - 8,09 + 3,23]$$

$$S = 18,88713$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{\text{skin}} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{\text{skin}} = 0,87 \cdot 123 \cdot 18,89 = 2021 \text{ Psia} = 142 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$$

3.4.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{P - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{910}{5267,6 - 2514,0}$$

$$J_a = 0,33 \text{ STBD/Psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{\text{skin}}}$$

$$J_t = \frac{910}{(5267,6 - 2514,0) - 2021}$$

$$J_t = 1,24 \text{ STBD/Psia}$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,27$$

$$CF = 0,27$$

$$DR = 0,73$$

3.5 Risalita finale (v. figg. n. 16 e 17)

L'analisi della risalita finale di pressione è stata condotta costruendo il diagramma di Horner.

L'andamento del diagramma di build-up evidenzia una prima porzione ad andamento curvilineo (zona in cui si risentono gli effetti della post-produzione e del danneggiamento), che permane fino ad un valore del rapporto $\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} \approx 15$. Per tempi superiori il diagramma assume un andamento rettilineo, di pendenza $m = 75$ Psia/cy, tendendo successivamente ad una stabilizzazione su valori di circa 5215 Psia. Tale fenomeno non deve essere, nel caso particolare, interpretato come l'effetto di una "depletion" del giacimento, in quanto, come già descritto all'inizio del presente capitolo, è da considerarsi causato dal parziale riassorbimento di olio in formazione durante la chiusura. Ad avallo di tale ipotesi basta richiamare l'attenzione al tipo di flusso avuto durante l'erogazione prolungata.

Infatti, essendosi il regime di flusso mantenuto chiaramente transitorio ("infinite-acting reservoir", con $P^* = P_i = \bar{P}$), non essendo stato incontrato alcun bordo, non è giustificato pensare ad una stabilizzazione delle pressioni di chiusura su valori apprezzabilmente più bassi di quello iniziale, salvo l'intervento di fenomeni particolari che, come nel caso in esame, possono aver alterato il normale andamento delle pressioni.

A conferma di tale fenomeno si noti anche l'andamento delle pressioni registrate in superficie.

3.5.1 Calcolo della permeabilità

Dalla pendenza misurata nel tratto rettilineo della curva di build-up, è possibile ottenere una misura della permeabilità relativa all'olio, che risulta dall'espressione che segue:

$$K_o = 162,6 \cdot \frac{Q_o \cdot u \cdot B_o}{m \cdot h}$$

$$K_o = 162,6 \cdot \frac{490 \cdot 0,4 \cdot 1,67}{75 \cdot 94}$$

$$\underline{K_o = 7,6 \text{ md}}$$

3.5.2 Calcolo del danneggiamento

Skin effect

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{P_{1h} - P_{wf}}{m} - \lg \frac{K}{\phi u c r_w^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot \left[\frac{5195,0 - 3921,0}{75} - \lg \frac{7,6}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 28,6 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35)^2} + 3,23 \right]$$

$$S = 1,151 \cdot [17,00 - 8,03 + 3,23]$$

$$S = 14,02077$$

Perdite di carico, ΔP_{skin}

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot m \cdot S$$

$$\Delta P_{skin} = 0,87 \cdot 75 \cdot 14,02 = 915 \text{ Psia} = 64 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$$

3.5.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{\bar{P} - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{490}{5267,6 - 3921,0}$$

$$J_a = 0,36 \text{ STBD/Psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{skin}}$$

$$J_t = \frac{490}{(5267,6 - 3921,0) - 915}$$

$$J_t = 1,14$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,32$$

$$CF = 0,32$$

$$DR = 0,68$$

3.6 Tavola dei principali dati forniti dalle risalite

	K_o md	S_t	ΔP_{skin} Psia	m Psia/cy
I Risalita	9,9	15,1	893	68
II Risalita	8,4	16,5	1262	88
III Risalita	9,1	19,8	1777	103
IV Risalita	8,6	18,9	2021	123
V Risalita	7,6	14,0	915	75

3.5.3 Fattore di completamento

$$J_a = \frac{Q_o}{\bar{P} - P_{wf}}$$

$$J_a = \frac{490}{5267,6 - 3921,0}$$

$$J_a = 0,36 \text{ STBD/Psia}$$

$$J_t = \frac{Q_o}{(\bar{P} - P_{wf}) - \Delta P_{skin}}$$

$$J_t = \frac{490}{(5267,6 - 3921,0) - 915}$$

$$J_t = 1,14$$

$$\frac{J_a}{J_t} = 0,32$$

$$CF = 0,32$$

$$DR = 0,68$$

3.6 Tavola dei principali dati forniti dalle risalite

	K_o md	S_t	ΔP_{skin} Psia	m Psia/cy
I Risalita	9,9	15,1	893	68
II Risalita	8,4	16,5	1262	88
III Risalita	9,1	19,8	1777	103
IV Risalita	8,6	18,9	2021	123
V Risalita	7,6	14,0	915	75

3.7 Analisi del danneggiamento totale S_t , ricavato dalle risalite (v. fig. n. 26)

In analogia a quanto fatto in precedenza a proposito delle erogazioni, anche nel caso dello skin effect totale ottenuto dai valori di pressione in chiusura viene formulata l'ipotesi che quest'ultimo possa essere considerato costituito dalla somma di due termini distinti:

$$S_t = S_1 + S_2 = S_m + DQ$$

dove D esprime un coefficiente di turbolenza.

Nel caso particolare si avranno perciò le seguenti espressioni (quella relativa alla quarta risalita è stata omessa, avendo fornito un risultato non congruente):

I	Risalita	:	15,08712	=	S_m	+	585 D
II	Risalita	:	16,48429	=	S_m	+	640 D
III	Risalita	:	19,83518	=	S_m	+	810 D
V	Risalita	:	14,02077	=	S_m	+	490 D

Dalle espressioni soprariportate vengono ricavati S_m e D:

$$S_m = 4,55878$$

$$D = 0,01869$$

per cui il danneggiamento totale S_t risulta dalla espressione seguente:

$$S_t = 4,55878 + 0,01869 Q$$

Da notare che, contrariamente a quanto succede nelle erogazioni, lo skin meccanico è nel caso in esame positivo.

Calcolo delle perdite di carico totali ΔP_{skin} dalle risalite

Dalla relazione $\Delta P_S = 0,87 \text{ m } S_t$ si ottiene:

$$\Delta P_t (4/16") = 0,87 \cdot 68 \cdot [4,55878 + 0,01869 \cdot 585] = 916 \text{ Psia}$$

$$\Delta P_t (5/16") = 0,87 \cdot 88 \cdot [4,55878 + 0,01869 \cdot 640] = 1265 \text{ Psia}$$

$$\Delta P_t (6/16") = 0,87 \cdot 103 \cdot [4,55878 + 0,01869 \cdot 810] = 1765 \text{ Psia}$$

$$\Delta P_t (7/16") = 0,87 \cdot 75 \cdot [4,55878 + 0,01869 \cdot 490] = 895 \text{ Psia}$$

mentre i ΔP_{skin} parziali, cioè dovuti all'effetto del solo danneggiamento meccanico risultano:

$$\Delta P (4/16") = 0,87 \cdot 68 \cdot 4,55878 = 270 \text{ Psia}$$

$$\Delta P (5/16") = 0,87 \cdot 88 \cdot 4,55878 = 349 \text{ Psia}$$

$$\Delta P (6/16") = 0,87 \cdot 103 \cdot 4,55878 = 409 \text{ Psia}$$

$$\Delta P (7/16") = 0,87 \cdot 75 \cdot 4,55878 = 297 \text{ Psia}$$

Nella tabella che segue vengono schematizzati i diversi ΔP ottenuti:

Risalite			ΔP	Componenti del ΔP		
	P_i	P_{wf}	$P_i - P_{wf}$	ΔP_{LF}	$\Delta P_{Mecc.}$	ΔP_{IT}
	Psia	Psia	Psia	Psia	Psia	Psia
I	5268	3964	1304	388	270	646
II	5268	3473	1795	530	349	916
III	5268	2872	2396	631	409	1356
IV	5268	2514	2754	(446)	(488)	(1820)
V	5268	3921	1347	452	297	598

Dalle due componenti ($\Delta P_{Mecc.}$ e ΔP_{IT}) che costituiscono il ΔP_S totale, soltanto l'elemento $\Delta P_{Mecc.}$ può essere rimosso, mentre il termine, ΔP_{IT} , è praticamente irrimovibile, in quanto dipende dalle caratteristiche petrofisiche del reservoir.

Nell'ipotesi particolarmente ottimistica di riuscire a rimuovere totalmente le perdite di carico dovute a cause meccaniche, le pressioni finali di erogazione, P'_{wf} , potrebbero raggiungere, sulle diverse duse, i valori di seguito riportati:

Valori di pressione dinamica P_{wf} raggiungibili in assenza totale di danneggiamento meccanico:

Duse	P_{wf} , Psia		$\Delta P_{Mecc.}$, Psia		P'_{wf} , Psia
4/16"	3964	+	270	=	4234
5/16"	3473	+	349	=	3822
6/16"	2872	+	409	=	3281
7/16"	2514	+	(488)	=	(3002)
4/16"	3921	+	297	=	4218

Inoltre, con la stessa metodologia, è possibile stimare i valori teorici di pressione dinamica P_{wf}'' che si avrebbero se fosse assente qualsiasi forma di danneggiamento:

Valori teorici di pressione dinamica P_{wf}'' (assenza di qualsiasi danneggiamento)

Duse	P_{wf} , Psia	$\Delta P_{skin\ tot.}$, Psia	P_{wf}'' , Psia
4/16"	3964	+ 916	= 4880
5/16"	3473	+ 1265	= 4738
6/16"	2872	+ 1765	= 4637
7/16"	2514	+ (2308)	= (4822)
4/16"	3921	+ 895	= 4816

Tramite i valori di pressione dinamica P_{wf}'' così ricavati sono state costruite le curve di "back pressure", nell'ipotesi di rimozione totale del danneggiamento meccanico, ed in assenza di qualsiasi danneggiamento (potenziale teorico del reservoir).

4. POTENZIALE ASSOLUTO (AOFP)

4.1 Curve di back-pressure (v. fig. n. 23)

Il potenziale assoluto è stato ricavato seguendo la stessa tecnica impiegata per i giacimenti a gas: tale metodologia è considerata infatti applicabili anche nei giacimenti ad olio, purchè saturi, come nel caso particolare di Mila.

E' stata quindi costruita la curva di back-pressure (di equazione $Q = 4,2200 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta P^2$), correlando quattro dei cinque punti delle portate. Il coefficiente "n" è risultato pari ad 1,00, mentre l'AOFP ammonta a 1170 STBPD. (Fig. N. 23, curva "1")

Nella stessa figura compaiono altre due curve di back-pressure; la curva n. 2, di equazione $Q = 18,7380 \cdot 10^{-5} \cdot (\Delta P^2)^{0,9194}$, fornisce quello che sarebbe il potenziale assoluto del pozzo (circa 1300 STBPD) qualora fosse possibile rimuovere completamente il danneggiamento di natura meccanica, mentre la curva n. 3, di equazione $Q = 1,21150 \cdot 10^{-6} (\Delta P^2)^{1,30260}$, esprime l'AOFP teorico del reservoir, in assenza di qualsiasi danneggiamento (circa 6000 STBPD). E' interessante notare come tale valore, sia pure strettamente teorico, sia identico a quello riscontrato durante le prove effettuate al pozzo Mila 4.

4.2 Metodo LIT (v. fig. n. 24)

Il potenziale assoluto è stato calcolato anche con il metodo LIT (Laminar - Inertial - Turbolent), dal quale risulta AAFP = ~1400 STBPD. Tale valore deriva dall'equazione sotto riportata:

$$\Delta P^2 = aQ + bQ^2$$

dove i coefficienti "a" e "b" vengono ricavati con il metodo dei minimi quadrati, applicando le relazioni seguenti:

$$a = \frac{(\sum \Delta P^2 / Q) \cdot (\sum Q^2) - (\sum \Delta P^2) \cdot (\sum Q)}{N \cdot \sum Q^2 - \sum Q \cdot \sum Q}$$

$$b = \frac{N \cdot \sum \Delta P^2 - (\sum \Delta P^2 / Q) \cdot \sum Q}{N \sum Q^2 - \sum Q \cdot \sum Q}$$

in base ai valori della tabella seguente:

Erogazioni	ΔP^2 (M Psi ²)	Q (MSTBD)	$\Delta P^2/Q$ (MPsi ² /MSTBD)	Q^2 MMSTBD ²
I	-	-	-	-
II	15.416	0.640	24.088	0.410
III	19.146	0.810	23.637	0.656
IV	21.337	0.910	23.447	0.828
V (t _p = 12 ore)	11.567	0.490	24.233	0.240
Σ	67.466	2.850	95.405	2.134

N.B. Il dato relativo alla I erogazione, risultato non congruo, è stato ommesso dal conteggio.

I coefficienti "a" e "b" risultano quindi:

$$a = \frac{(95.405) \cdot (2,134) - (67.446) \cdot (2,850)}{(4) \cdot (2,134) - (2,850) \cdot (2,850)}$$

$$a = \underline{27.366,80 \text{ Psia}^2/\text{STBPD}}$$

$$b = \frac{(4) \cdot (67.446) - (95.405) \cdot (2,850)}{(4) \cdot (2,134) - (2,850) \cdot (2,850)}$$

$$b = \frac{-2040,25}{0,41}$$

$$b = -4976,22 \frac{\text{Psia}^2/\text{STBPD}}{1000}$$

$$b = \underline{-4,976 \text{ Psia}^2/\text{STBPD}} \quad \text{Da notarsi il segno negativo del valore "b".}$$

per cui si ha che:

$$\Delta P_{12 \text{ hrs}}^2 = 27.366,80 Q - 4,976 Q^2$$

e per $P_{wf} = 0$ si ottiene:

$$\text{AOF} = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 b \bar{P}^2}}{2b}$$

$$\text{AOF} = \frac{-27.366,80 + \sqrt{(27.366,80)^2 + 4 (4,976) \cdot (5267,6)^2}}{2 \cdot (-4,976)}$$

$$\text{AOF} = 1.340 \text{ STBPD}$$

Nell'ipotesi che il coefficiente "b" si mantenga costante nel tempo, si stima il valore del potenziale assoluto per $t_p = 42$ ore (erogazione prolungata):

Dopo 42 hrs $P_{wf} = 3921 \text{ Psia} \rightarrow \Delta P^2 = 11.874 \text{ M Psia}^2$
 da cui

a $_{42 \text{ hrs}} = 26.671,22 \text{ Psia}^2/\text{STBP}$ e quindi:

$$\Delta P^2_{42 \text{ hrs}} = 26.671,22 \cdot Q - 4,976 Q^2$$

$$\text{AOFP}_{42 \text{ hrs}} = \frac{-26.671,22 + \sqrt{(26.671,22)^2 - 4 \cdot (4,976) \cdot (5267,6)^2}}{2 \cdot (4,976)}$$

$$\text{AOFP}_{42 \text{ hrs}} = \underline{1400 \text{ STBD ca.}}$$

NOMENCLATURA

A	= Area	Sq. ft.
B _g	= Fattore volumetrico del gas	RB/SCF
B _o	= Fattore volumetrico dell'olio	RB/STB
C _t	= Compressibilità totale del sistema	psi ⁻¹
h	= Spessore del pay produttivo	ft
J	= Indice di produttività	STBD/psi
K _g	= Permeabilità relativa al gas	md
K _o	= Permeabilità relativa all'olio	md
m	= Pendenza (Transient ed Horner plot)	psi/cy
n	= Pendenza (WBS plot)	psi/m'
P _i	= Pressione iniziale	psi
P _{wf}	= Pressione dinamica a fondo pozzo	psi
P _{ws}	= Pressione in chiusura a fondo pozzo	psi
P _{ts}	= Pressione in chiusura a testa pozzo	psi
\bar{P}	= Pressione media del reservoir	psi
P _{1h}	= Pressione intercetta per t = 1 ora	psi
P*	= Pressione estrapolata "false pressure" (Horner plot)	psi
ΔP	= Variazione di pressione	psi
ΔP_{skin}	= Perdita di carico dovuta a danneggiamento	psi
Q _g	= Portata del gas	MSCFD
Q _o	= Portata dell'olio	STBD
r _d	= Raggio di drenaggio	ft
r _e	= Raggio del giacimento	ft
r _w	= Raggio del pozzo	ft
R _S	= Quantità di gas in soluzione nello olio	SCF/STB
S	= Fattore di skin (Van Everdinger-Hurst)	-
S _p	= Pseudo-skin dovuto a penetrazione parziale	-

S_g	= Saturazione in gas	%
S_o	= Saturazione in olio	%
S_w	= Saturazione in acqua	%
t	= Tempo	hrs, m'
t_p	= Tempo di produzione	hrs, m'
t	= Tempo di chiusura in pressione	hrs, m'
T	= Temperatura	°R, °F
Z	= Fattore di compressibilità	-
γ	= Peso specifico riferito all'aria od all'acqua	-
μ	= Viscosità	cp
ϕ	= Porosità	%
ΔP_{LF}	= Perdite di carico nel flusso laminare	psia
ΔP_M	= Perdite di carico per skin mecca nico	psia
ΔP_{IT}	= Perdite di carico per effetti di turbolenza (flusso non darciano)	psia

BIBLIOGRAFIA

Per la stesura del presente rapporto sono state consultate le pubblicazioni seguenti:

- . C.S. Matthews - D.G. Russel : "Pressure build-up and flow tests in wells" - SPE Vol. 1 - Dallas 1967

- . Robert C. Earlougher Jr. : "Advances in well test analysis" - SPE Vol. 5 - Dallas 1977

- . Katz - Cornell : "Handbook of natural gas engineering" Mc.Graw Hill N.Y. - 1959

- . Brons - Marting : "The effect of restricted fluid entry on well productivity" - Serie SPE Vol. 5° "Well completions", ed. 1970

- . Stegemeier - Matthews : "A study of anomalous pressure build-up behavior" Serie SPE, Vol. 9° "Pressure analysis methods", 1967

APPENDICE N. 1

CARATTERISTICHE DEL RESERVOIR

I) RICERCA DELLA MOBILITA' TOTALE $\left(\frac{K}{u}\right)_t$

$$\left(\frac{K}{u}\right)_t = \frac{K_o}{u_o} + \frac{K_g}{u_g} + \frac{K_w}{u_w}$$

$$\left(\frac{K}{u}\right)_t = \frac{162,6 \cdot Q \cdot B}{m \cdot h}$$

$$\left(\frac{K}{u}\right)_t = \frac{162,6 \cdot 1,67 \cdot 585}{68 \cdot 94}$$

$$\left(\frac{K}{u}\right)_t = 24,85 \text{ md/cp}$$

II) FATTORE VOLUMETRICO DEL GAS, Bg

$$Bg = 0,00504 \cdot \frac{Z \cdot T}{P} \quad \text{dove } Z = 1,00$$

$$Bg = 0,00504 \cdot \frac{1 \cdot (460 + 258)}{5268} = 0,0006869 \text{ BBL/SCF}$$

III) CALCOLO DI B_o

Estrapolando i dati del Katz, Fig. 12-14 p. 474 a P = 5268 Psia e 37.6°API la solubilità del gas è di circa

$$P_S = 1500 \text{ SCF/STB}$$

al quale corrisponde

$$B_o = 1.85 \quad (\text{Katz Fig. 12-14 pag. 476})$$

$$P_{bp} = 6000 \text{ psia} \quad (\text{Katz Fig. 12-18 pag. 477})$$

Assumendo invece il giacimento saturo, ossia ponendo

$$P_{bp} = P_i = 5268 \text{ psia}$$

in base alla correlazione di Standing (v. Katz pag. 477) il GOR risulta uguale a:

$$\left(\frac{\text{GOR}}{G}\right)^{0,83} \cdot \frac{10^{0,00091 \cdot T}}{10^{0,0125 \cdot \text{API}}} = 280$$

$$\left(\frac{\text{GOR}}{G}\right)^{0,83} \cdot \frac{10^{0,00091 \cdot 258}}{10^{0,0125 \cdot 37,6}} = 280$$

$$\left(\frac{\text{GOR}}{G}\right)^{0,83} = \frac{280}{0,58181} = 481,257$$

$$\text{GOR} = 0,83 \sqrt{481,257 \cdot 0,706}$$

$$\text{GOR} = 1204 \text{ MSCF/STB} \quad \underline{\text{GOR analitico}}$$

in ottimo accordo con i:

GOR sperimentali :	1	1096	(I st Flow)	} Erogazione di olio sen za gas libero
	2	1180	(II nd Flow)	
	3	1178	(III rd Flow)	

Dalla Fig. 12-18 a pag. 477 del Katz segue:

$$B_o = 1,67 \text{ RBL/STB}$$

Per la determinazione della compressibilità dell'olio sono stati assunti i seguenti valori:

$$R_s = 1200 \text{ SCF/STB}$$

$$B_o = 1.67 \text{ RBL/STB}$$

$$\gamma_g = 0.706 \text{ (Aria = 1)}$$

$$\gamma_o = 0.837$$

IV) RICERCA DELLA COMPRESSIBILITA' DELL'OLIO, C_o

$$C_o = \frac{B_g}{B_o} \cdot \frac{\partial R_s}{\partial P} - \frac{1}{B_o} \cdot \frac{\partial B_o}{\partial P}$$

dove

$$\frac{B_g}{B_o} = \frac{0,0006869}{1,67} = 0,000410$$

$$\frac{\partial R_s}{\partial P} = \frac{R_s}{0,83 \cdot P + 21,75} = \frac{1200}{0,83 \cdot 5268 + 21,75} = 0,278 \text{ SCF/STB-PSI}$$

(v. Earlougher: Advances in well test analysis - pag. 230 - Fig. D.4)

$$\frac{1}{B_o} = \frac{1}{1,67} = 0,5988 \text{ STB/RBL}$$

$$\frac{\partial B_o}{\partial P} = \frac{\partial B_o}{\partial R_S} \cdot \frac{\partial R_S}{\partial P} = \frac{d B_o}{d R_S} \cdot 0,273 \text{ RBL/STB - PSI}$$

$$\frac{d B_o}{d R_S} = \sqrt{\frac{\gamma_o}{\gamma_g}} \times 10^4 = 5.6$$

(v. Earlougher: pag. 230 - Fig. D-15)

$$\frac{d B_o}{d R_S} = 4.95 \cdot 10^{-4} \text{ RBL/SCF}$$

ossia:

$$\begin{aligned} C_o &= 0,000410 \cdot 0,273 - 0,5988 \cdot 4,95 \cdot 10^{-4} \cdot 0,273 = \\ &= \underline{31.1 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1}} \end{aligned}$$

V) COMPRESSIBILITA' DEL GAS

$$C_g = \frac{1}{P} - \frac{1}{Z} \cdot \frac{\partial Z}{\partial P}$$

$$C_g = \frac{1}{5268} - 85 \cdot 10^{-6} \quad (\text{v. Gatlin pag. 11})$$

$$C_g = 104,8 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$$

VI) COMPRESSIBILITA' DELL'ACQUA E DELLA FORMAZIONE

$$C_w = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1} \text{ a } 251^\circ\text{F}$$

$$C_f = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$$

VII) COMPRESSIBILITA' TOTALE

Nell'ipotesi che sia:

$$S_o = 80\% \quad \phi_{\text{tot.}} = 5\%$$

$$S_g = 0 \quad (\text{nella zona ad olio})$$

$$S_w = 20\%$$

$$C_t = (31,1 \cdot 0,80 + 3,4 \cdot 0,20 + 3,0) \cdot 10^{-6} =$$

$$C_t = 28,6 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$$

APPENDICE N. 2

TABELLE N. 1 ...10

$P_o = 5268$ psia a 11.726 ft

POZZO MILA 5

PRIMA EROGAZIONE

(Duse 1/4")

<u>Ora</u>	<u>Δt</u> <u>minuti</u>	<u>P_{wf}</u> <u>psia</u>	<u>P_{wh}</u> <u>psia</u>	<u>$P_i - P_{wf}$</u> <u>psi</u>	<u>Oil</u> <u>STBD</u>	<u>Gas</u> <u>MSCFD</u>	<u>Gor</u> <u>SCF/STB</u>
21.00		5268	2140	0	-	-	-
21.03	3	5195	2150	73	-	-	-
21.05	5	5052	-	216	-	-	-
21.10	10	4826	1675	442	-	-	-
21.15	15	4660	1510	608	-	-	-
21.20	20	4501	1270	767	-	-	-
21.30	30	4425	1260	843	-	-	-
21.40	40	4390	1273	878	-	-	-
21.50	50	4356	1285	912	-	-	-
22.00	60	4322	1290	946	-	-	-
22.15	75	4280	1300	988	757	632	834
22.30	90	4243	1320	1025	749	609	812
22.45	105	4207	1315	1061	680	691	1017
23.00	120	4178	1313	1090	690	642	928
23.30	150	4135	1313	1133	597	641	1074
24.00	180	4109	1313	1159	654	641	1020
0.30	210	4063	1310	1205	526	567	1079
1.00	240	4048	1312	1220	575	641	1113
1.30	270	4031	1300	1237	550	641	1164
2.00	300	4023	1300	1245	574	641	1116
2.30	330	4017	1300	1251	574	641	1116
3.00	360	4013	1300	1255	579	641	1106
3.30	390	4008	1300	1260	565	641	1134
4.00	420	4002	1300	1266	586	641	1094
4.30	450	4002	1302	1266	602	641	1064
5.00	480	3994	1300	1274	586	641	1093
5.30	510	3994	1308	1274	608	641	1054
6.00	540	3988	1308	1280	598	641	1072
6.30	570	3984	1310	1284	610	641	1050
7.00	600	3982	1320	1286	597	641	1073
7.30	630	3974	1318	1294	578	641	1107
8.00	660	3971	1321	1297	571	652	1141
8.30	690	3971	1327	1297	619	649	1048
9.00	720	3964	1340	1304	-	-	-

POZZO MILA 51° CHIUSURA(dopo erogazione duse $1/4''$) $t_0 = 12 \text{ ore} = 720 \text{ minuti}$

<u>Δt</u> minuti	<u>$\frac{t + \Delta t}{\Delta t}$</u>	<u>P_{ws}</u> psia	<u>$P_{ws} - P_{wf}$</u> psi
0	-	3964	-
1	721	4002	38
2	361	4029	65
3	241	4054	90
4	181	4079	115
5	145	4105	141
15	49	4328	364
30	25	4608	644
60	13	4954	990
90	9	5114	1150
120	7	5179	1215
150	5.8	5207	1243
180	5	5216	1252
210	4.43	5221	1257
240	4	5228	1264
270	3.67	5228	1264
300	3.40	5230	1266
330	3.18	5231	1267
360	3.00	5232	1268
420	2.71	5234	1270
480	2.5	5239	1275
540	2.33	5245	1281
600	2.20	5247	1283
660	2.09	5245	1281
720	2.00	5242	1278

POZZO MILA 52a EROGAZIONE

(con duse 5/16")

 $P_i = 5242$ psia a 11.726 ft.

<u>Ora</u>	<u>t</u> <u>minuti</u>	<u>P_{wf}</u> <u>psia</u>	<u>P_{wh}</u> <u>psia</u>	<u>P_i-P_{wf}</u> <u>psi</u>	<u>Oil</u> <u>STBD</u>	<u>Gas</u> <u>MSCFD</u>	<u>Gor</u> <u>SCF/STB</u>
21.00	-	5242	-	-	-	-	-
21.02	2	5230	2000	12	-	-	-
21.05	5	4841	1750	401	-	-	-
21.09	9	4551	1400	691	-	-	-
21.11	11	4455	1320	787	-	-	-
21.15	15	4366	1250	876	-	-	-
21.21	21	4275	1180	967	-	-	-
21.25	25	4235	1170	1007	-	-	-
21.30	30	4197	1175	1045	-	-	-
21.35	35	4163	1175	1079	-	-	-
21.45	45	4090	1175	1152	-	657	-
22.00	60	4012	1188	1230	954	676	709
22.30	90	3878	1180	1364	851	722	849
23.00	120	3786	1170	1456	798	733	918
23.30	150	3720	1180	1522	786	755	960
24.00	180	3660	1170	1582	712	834	1171
0.30	210	3611	1135	1631	619	782	1264
1.00	240	3583	1128	1659	650	771	1184
1.30	270	3563	1115	1679	648	759	1171
2.00	300	3549	1117	1693	657	755	1149
2.30	330	3536	1117	1706	622	755	1213
3.00	360	3526	1112	1716	654	755	1154
3.30	390	3519	1111	1723	620	755	1217
4.00	420	3512	1108	1730	629	755	1199
4.30	450	3506	1106	1736	640	755	1179
5.00	480	3501	1105	1741	635	755	1179
5.30	510	3495	1103	1747	622	755	1214
6.00	540	3492	1100	1750	661	755	1141
6.30	570	3489	1100	1753	625	755	1208
7.00	600	3486	1100	1756	663	777	1162
7.30	630	3482	1098	1760	656	788	1202
8.00	660	3479	1098	1763	642	776	1208
8.30	690	3478	1102	1764	659	776	1177
9.00	720	3473	1102	1769	-	-	-

POZZO MILA 52a CHIUSURA(dopo erogazione duse $5/16''$) $t_0 = 12 \text{ ore} = 720 \text{ minuti}$

<u>Δt</u> minuti	<u>$\frac{t + \Delta t}{\Delta t}$</u>	<u>P_{ws}</u> psia	<u>$P_{ws} - P_{wf}$</u> psi
0	-	3473	0
1	721	3500	27
2	361	3529	56
3	241	3557	84
4	181	3590	117
5	145	3616	143
15	49	3869	396
30	25	4213	740
60	13	4703	1230
90	9	4973	1500
120	7	5112	1639
150	5.8	5174	1701
180	5	5197	1724
210	4.43	5207	1734
240	4	5213	1740
270	3.67	5222	1749
300	3.40	5230	1757
330	3.18	5238	1765
360	3.00	5246	1773
420	2.71	5254	1781
480	2.50	5229	1756
540	2.33	5232	1759
600	2.20	5233	1760
660	2.09	5233	1760
720	2.00	5234	1761

POZZO MILA 53a EROGAZIONE

(duse 3/8")

<u>Ora</u>	<u>Δt</u> minuti	<u>P_{wf}</u> psia	<u>P_{wh}</u> psia	<u>$P_i - P_{wf}$</u> psi	<u>Oil</u> STBD	<u>Gas</u> MSCFD	<u>Gor</u> SCF /STB
21.00	-	5234	2160	-	-	-	-
21.01	1	5049	2000	185	-	-	-
21.02	2	4889	1950	345	-	-	-
21.05	5	4470	1400	764	-	-	-
21.10	10	4167	1120	1067	-	-	-
21.15	15	4080	1092	1154	-	-	-
21.20	20	4009	1080	1225	-	-	-
21.30	30	3873	1070	1361	-	862	-
21.45	45	3715	1045	1519	1331	871	654
22.00	60	3578	1030	1656	1257	902	718
22.15	75	3480	1013	1754	1155	912	789
22.30	90	3383	998	1851	1127	948	841
22.45	105	3313	998	1921	-	-	-
23.00	120	3232	970	2002	1042	1122	1077
23.30	150	3133	950	2101	932	969	1033
24.00	180	3074	930	2160	898	948	1055
0.30	210	3031	913	2203	864	1000	1174
1.00	240	3003	907	2231	858	990	1154
1.30	270	2958	896	2276	827	979	1183
2.00	300	2958	892	2276	806	990	1127
2.30	330	2945	885	2289	820	954	1163
3.00	360	2934	882	2300	809	954	1179
3.30	390	2926	881	2308	802	954	1190
4.00	420	2918	877	2316	799	954	1193
4.30	450	2912	876	2322	811	954	1176
5.00	480	2908	873	2326	808	954	1180
5.30	510	2902	873	2332	810	954	1178
6.00	540	2895	871	2339	812	954	1174
6.30	570	2887	868	2347	816	954	1169
7.00	600	2881	867	2353	821	954	1163
7.30	630	2877	865	2357	815	954	1171
8.00	660	2873	863	2361	814	954	1172
8.30	690	2872	861	2362	806	954	1184
9.00	720	2872	861	2362	806	954	1184

POZZO MILA 53a CHIUSURA

(dopo erogazione conduse 3/8")

<u>Δt</u> minuti	<u>$\frac{t + \Delta t}{t}$</u>	<u>P_{ws}</u> psia	<u>$P_{ws} - P_{wf}$</u> psi
0	-	2872	0
1	721	2875	3
2	361	2901	29
3	241	2931	59
4	181	2961	89
5	145	2991	119
15	49	3263	391
30	25	3641	769
60	13	4302	1430
90	9	4705	1833
120	7	4947	2075
150	5.80	5084	2212
180	5.00	5151	2279
210	4.43	5180	2308
240	4.00	5194	2322
270	3.67	5202	2330
300	3.40	5209	2337
330	3.18	5215	2343
360	3.00	5212	2340
390	2.85	5228	2356
420	2.71	5235	2363
450	2.60	5241	2369
480	2.50	5241	2369
510	2.41	5250	2378
540	2.33	5253	2381
570	2.26	5256	2384
600	2.20	5257	2385
630	2.14	5258	2386
660	2.09	5259	2387
690	2.04	5259	2387
720	2.00	4259	2387

POZZO MILA 54a EROGAZIONE(duse $7/16''$)

<u>Ora</u>	<u>Δt</u> minuti	<u>P_{wf}</u> psia	<u>P_{wh}</u> psia	<u>$P_i - P_{wf}$</u> psi	<u>Oil</u> STBD	<u>Gas</u> MSCFD	<u>Gor</u> SCF /STB
21.00	-	5259	2208	*	-	-	-
21.01	1	4870	2000	389	-	-	-
21.05	5	4234	1450	1025	-	-	-
21.10	10	4024	1053	1236	-	-	-
21.15	15	3906	1028	1353	-	-	-
21.20	20	3791	1010	1468	-	-	-
21.25	25	3697	987	1562	-	-	-
21.30	30	3614	972	1645	-	1267	-
21.45	45	3415	945	1844	1604	1349	840
22.00	60	3270	920	1989	1455	1344	923
22.15	75	3131	895	2128	1367	1438	1053
22.30	90	3041	895	2218	1336	1473	1221
23.00	120	2863	860	2396	1206	1427	1183
23.30	150	2764	817	2495	1060	1358	1282
24.00	180	2699	796	2560	1014	1327	1308
0.30	210	2657	783	1602	986	1297	1316
1.00	240	2629	772	2630	971	1281	1319
1.30	270	2602	760	2657	945	1266	1340
2.00	300	2582	760	2677	944	1235	1310
2.30	330	2570	745	2689	934	1236	1324
3.00	360	2564	745	2695	936	1236	1320
3.30	390	2556	745	2703	932	1231	1322
4.00	420	2545	745	2714	930	1232	1325
4.30	450	2544	745	2715	926	1245	1345
5.00	480	2544	745	2715	930	1245	1338
5.30	510	2537	735	2722	948	1262	1331
6.00	540	2531	732	2728	900	1247	1384
6.30	570	2525	730	2734	917	1262	1375
7.00	600	2519	730	2740	918	1247	1357
7.30	630	2516	727	2743	919	1247	1357
8.00	660	2514	726	2745	902	1247	1381
8.30	690	2514	726	2745	910	1247	1370
9.00	720	2514	732	2745	910	1247	1370

POZZO MILA 54a CHIUSURA(dopo erogazione $7/16''$)

<u>Δt</u> minuti	<u>$\frac{t + \Delta t}{\Delta t}$</u>	<u>P_{ws}</u> psia	<u>$P_{ws} - P_{wf}$</u> psi
0	-	2514	-
1	721	-	-
2	361	2540	26
3	241	2551	37
4	181	2573	59
5	145	2588	74
15	49	2775	235
30	25	3171	657
60	13	3835	1321
90	9	4380	1866
120	7	4745	2231
150	5.80	4965	2451
180	5.00	5084	2570
210	4.43	5144	2630
240	4.00	5174	2660
270	3.67	-	-
300	3.40	5199	2685
330	3.18	5204	2690
360	3.00	5208	2694
390	2.85	5211	2697
420	2.71	5214	2700
450	2.60	5215	2701
480	2.50	5215	2701
510	2.41	5216	2702
540	2.33	5217	2703
570	2.26	5218	2704
600	2.20	5219	2705
630	2.14	5219	2705
660	2.09	5220	2706
690	2.04	5220	2706
720	2.00	5220	2706

EROGAZIONE PROLUNGATA(Duse $1/4''$)

Ora	Δt minuti	P_{wf} psia	P_{wh} psia	$P_i - P_{wf}$ psi	Oil STBD	Gas MSCFD	Gor SCF/STB
21.07	-	5220	2180	-	-	-	-
21.08	1	5078	2050	142	-	-	-
21.10	3	4946	1900	274	-	-	-
21.15	8	4681	1650	539	-	-	-
21.30	23	4429	1335	791	-	748	-
21.45	38	4361	1292	859	580	551	951
22.00	53	4330	1315	890	772	599	776
22.30	83	4259	1350	961	722	645	893
23.00	113	4197	1353	1023	622	782	1257
23.30	143	4152	1363	1068	622	764	1227
24.00	173	4124	1390	1096	640	772	1206
0.30	203	4090	1403	1130	589	791	1342
1.00	233	4051	1365	1169	516	853	1654
1.30	263	4032	1368	1188	521	836	1605
2.00	293	4018	1367	1202	503	818	1628
2.30	323	4008	1372	1212	536	836	1558
3.00	353	3998	1374	1222	537	836	1557
3.30	383	3988	1370	1232	493	844	1714
4.00	413	3982	1370	1238	504	844	1675
4.30	443	3974	1368	1246	496	836	1685
5.00	473	3971	1362	1249	492	836	1699
5.30	503	3970	1361	1250	500	836	1673
6.00	533	3968	1361	1252	496	836	1687
6.30	563	3965	1360	1255	496	836	1701
7.00	593	3963	1358	1257	499	836	1665
7.30	623	3962	1358	1258	493	836	1695
8.00	653	3961	1358	1259	497	836	1678
8.30	683	3961	1358	1259	492	836	1698
9.00	713	3960	1358	1260	489	836	1709
9.30	743	3959	1357	1261	492	833	1691
10.00	773	3957	1357	1263	489	832	1700
10.30	803	3956	1357	1264	480	832	1720
11.00	833	3955	1357	1265	474	823	1735
11.30	863	3953	1355	1267	487	823	1689
12.00	893	3952	1355	1268	507	814	1607
12.30	923	3951	1355	1269	504	835	1657
13.00	953	3950	1355	1270	458	856	1869
13.30	983	3949	1352	1271	468	856	1828

segue Erogazione Prolungata

14.00	1013	3949	1352	1271	481	879	1827
14.30	1043	3950	1352	1270	488	869	1801
15.00	1073	3951	1352	1269	495	869	1765
15.30	1103	3951	1352	1269	489	879	1798
16.00	1133	3951	1350	1269			
17.00	1193	3949	1350	1271	496	872	1760
18.00	1253	3947	1350	1273	505	903	1788
19.00	1313	3946	1350	1274	486	905	1864
20.00	1373	3943	1350	1277	499	907	1818
21.00	1433	3941	1350	1279	481	898	1869
22.00	1493	3939	1350	1281	479	898	1875
23.00	1553	3936	1350	1284	481	863	1792
24.00	1613	3935	1350	1285	477	863	1807
1.00	1673	3932	1347	1288	472	863	1826
2.00	1733	3930	1343	1290	480	863	1799
3.00	1793	3927	1340	1293	458	865	1890
4.00	1853	3926	1337	1294	485	865	1786
5.00	1913	3927	1337	1293	476	862	1812
6.00	1973	3930	1340	1290	484	869	1796
7.00	2033	3930	1340	1290	481	836	1735
8.00	2093	3933	1340	1287	496	836	1685
9.00	2153	3933	1340	1287	489	836	1710
10.00	2213	3932	1340	1286	511	874	1710
11.00	2273	3931	1340	1289	510	873	1708
12.00	2333	3930	1340	1290	512	880	1718
13.00	2393	3929	1340	1291	520	877	1686
14.00	2453	3925	1340	1295	507	877	1730
15.00	2513	3921	1340	1299	507	877	1730

POZZO MILA 55a CHIUSURA(dopo erogazione prolungata $1/4''$) $t_0 = 2513$ minuti

<u>Δt</u> minuti	<u>$\frac{t + \Delta t}{\Delta t}$</u>	<u>P_{ws}</u> psia	<u>$P_{ws} - P_{wf}$</u> psi
0	-	3921	0
1	2514	3933	12
3	838	3986	65
5	504	4039	118
10	252	4117	196
15	169	4263	342
30	85	4546	625
60	43	4886	965
90	29	5058	1137
120	22	5138	1217
150	18	5173	1252
180	15	5188	1267
210	13	5195	1274
240	11.47	5200	1279
270	10.30	5204	1283
300	9.38	5205	1284
330	8.62	5208	1287
360	7.98	5209	1288
390	7.44	5210	1289
420	6.98	5211	1290
450	6.58	5212	1291
480	6.24	5213	1292
510	5.93	5214	1293
540	4.93	5215	1294
600	5.19	5215	1294
660	4.81	5216	1295
720	4.49	5215	1294
780	4.22	5215	1294
840	3.99	5215	1294
900	3.79	5215	1294
960	3.62	5215	1294
1020	3.46	5215	1294
1080	3.33	5215	1294
1140	2.89	5215	1294

APPENDICE N. 3

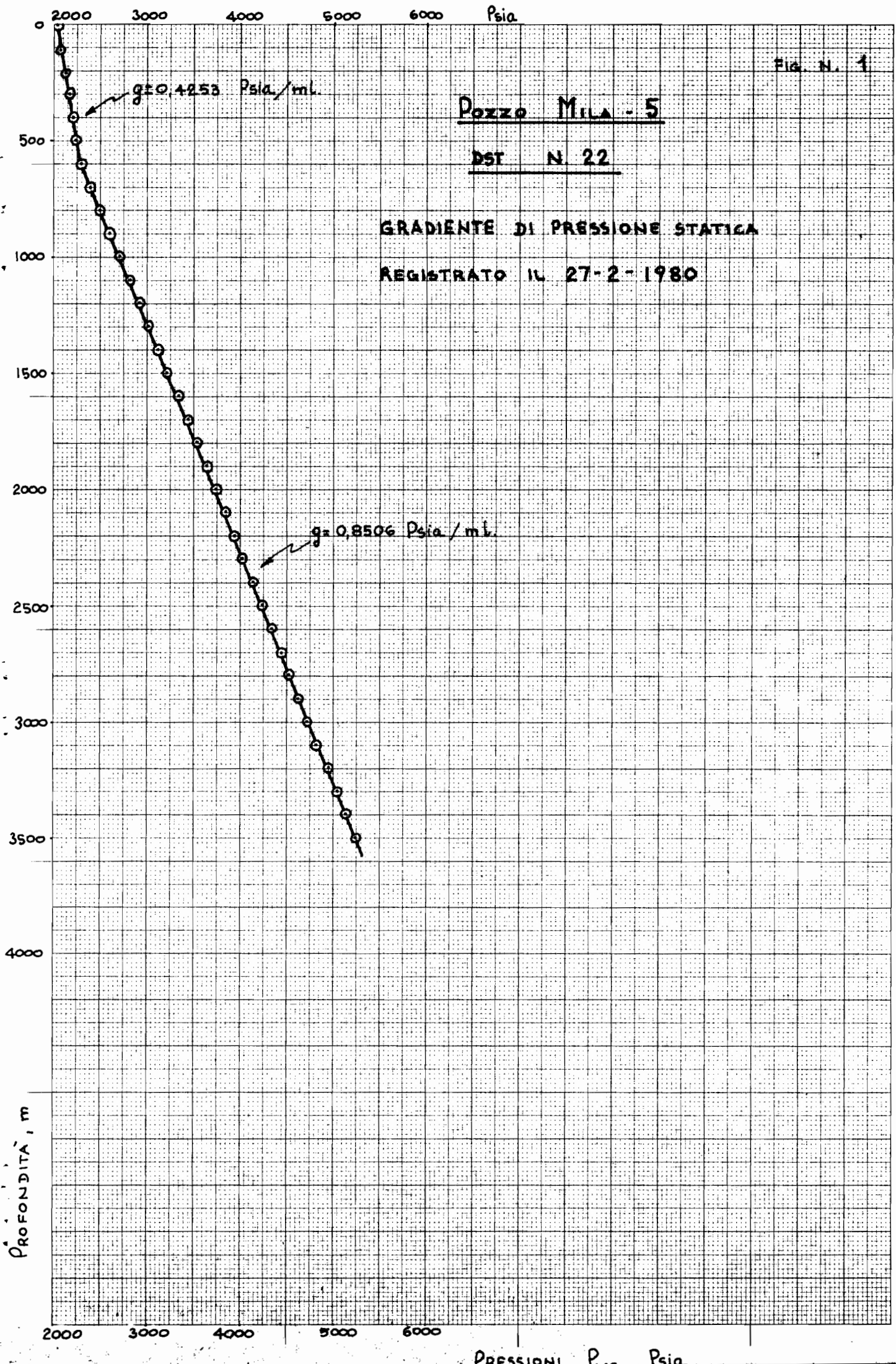
FIGURE N. 1.....31

Pozzo MILA - 5

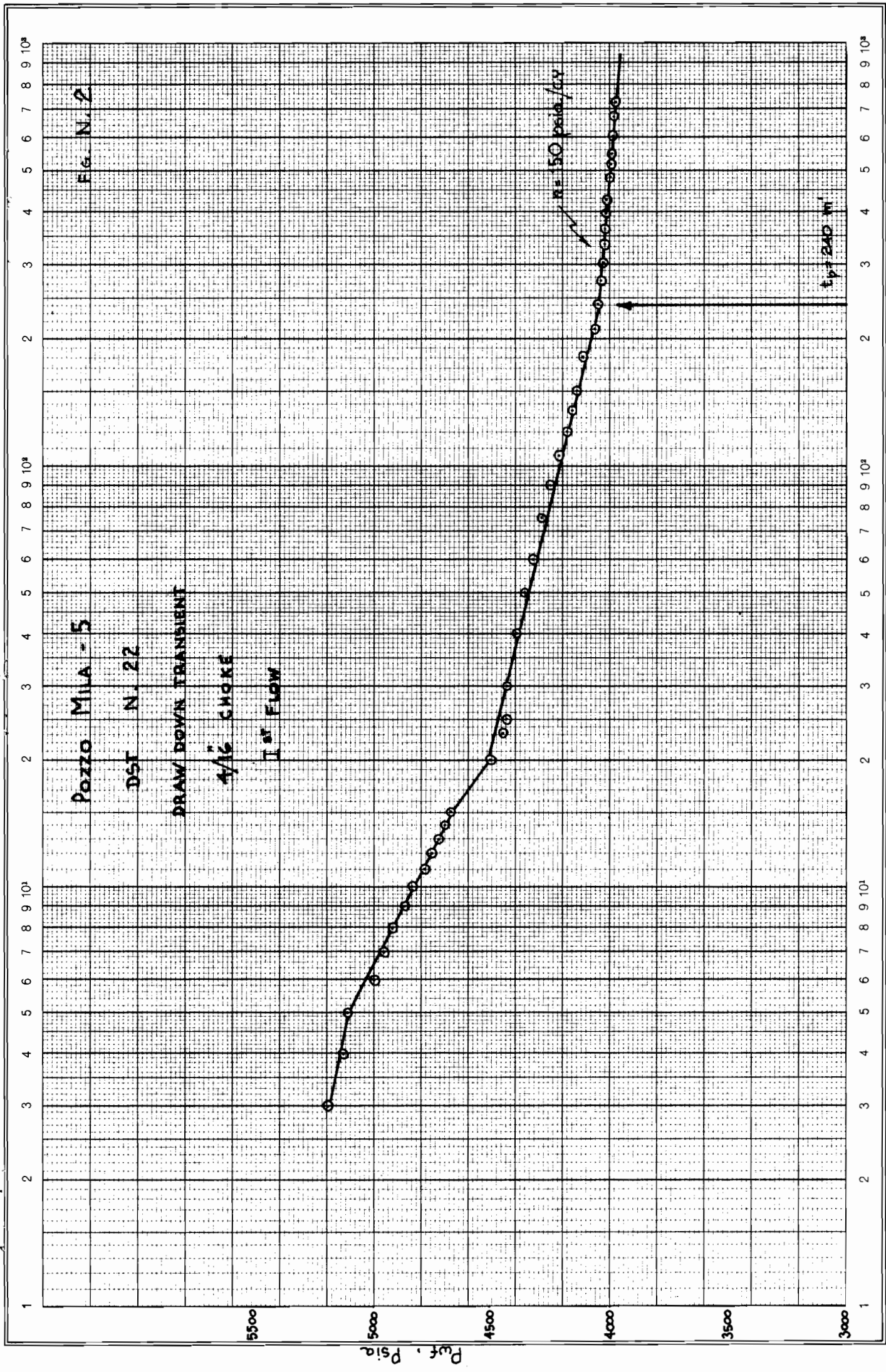
DST N. 22

GRADIENTE DI PRESSIONE STATICA

REGISTRATO IL 27-2-1980

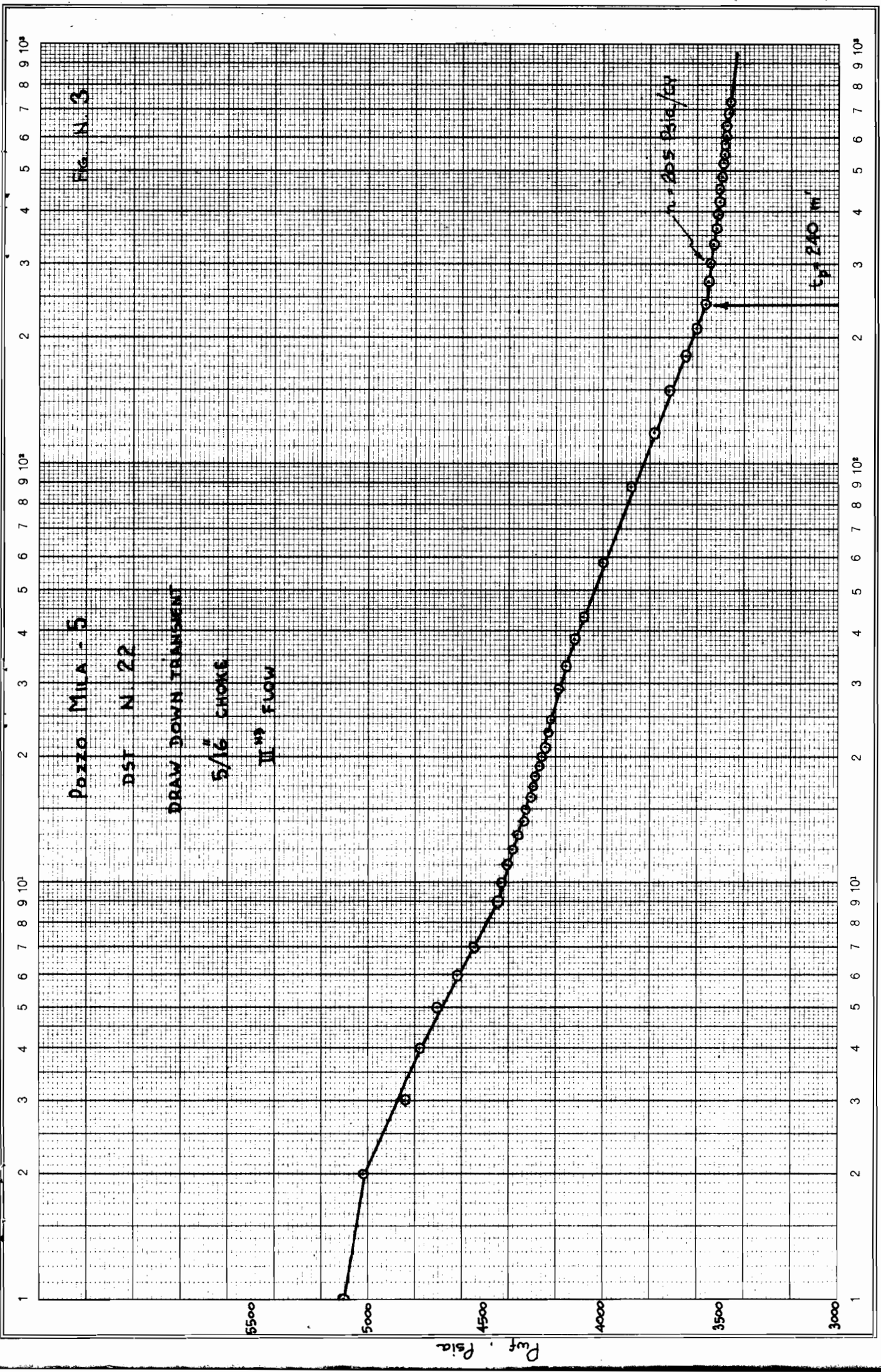


13



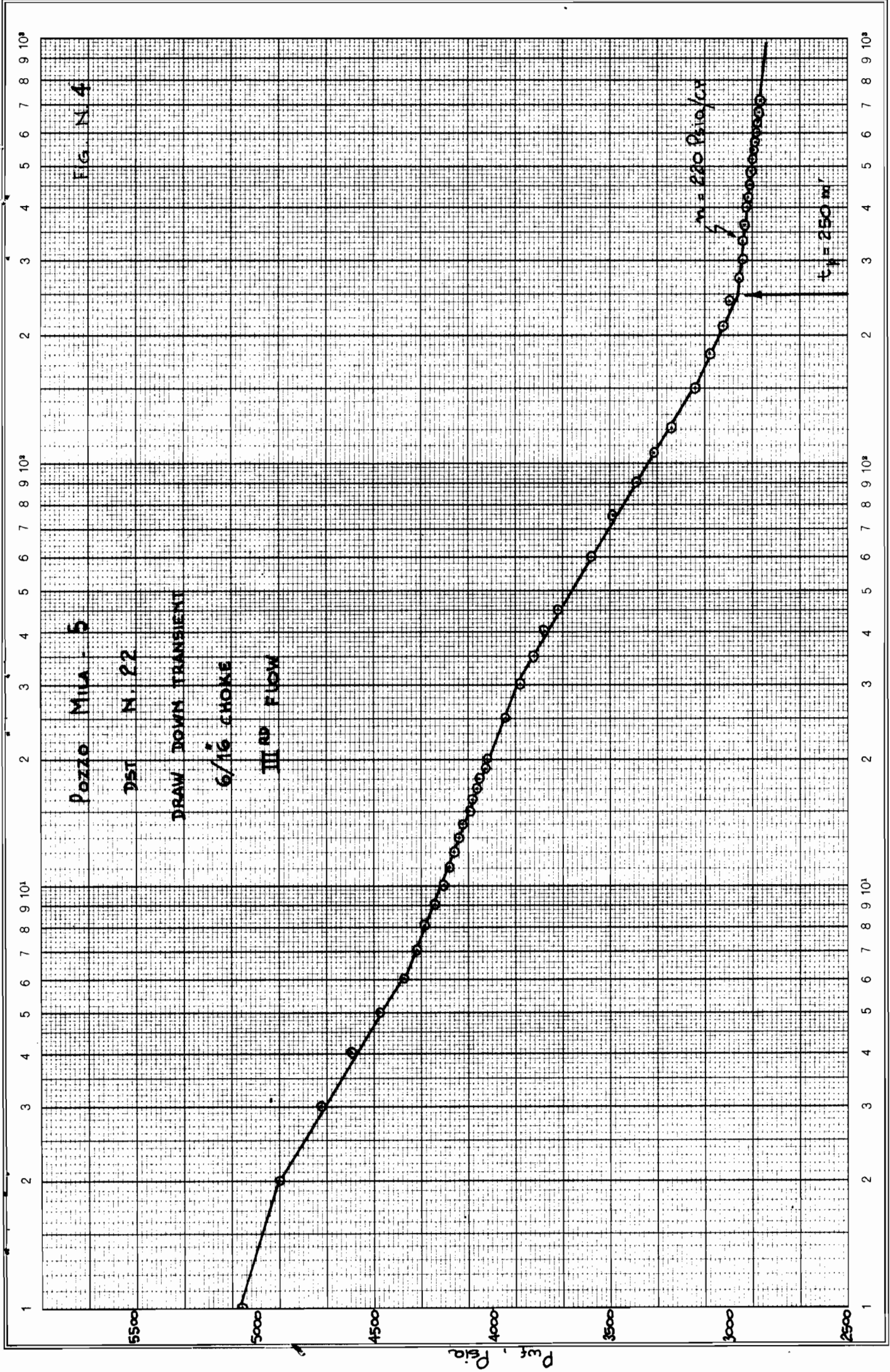
Logar. Division } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
 } 1 - 1000 Unité }

PRODUCTION TIME, m'



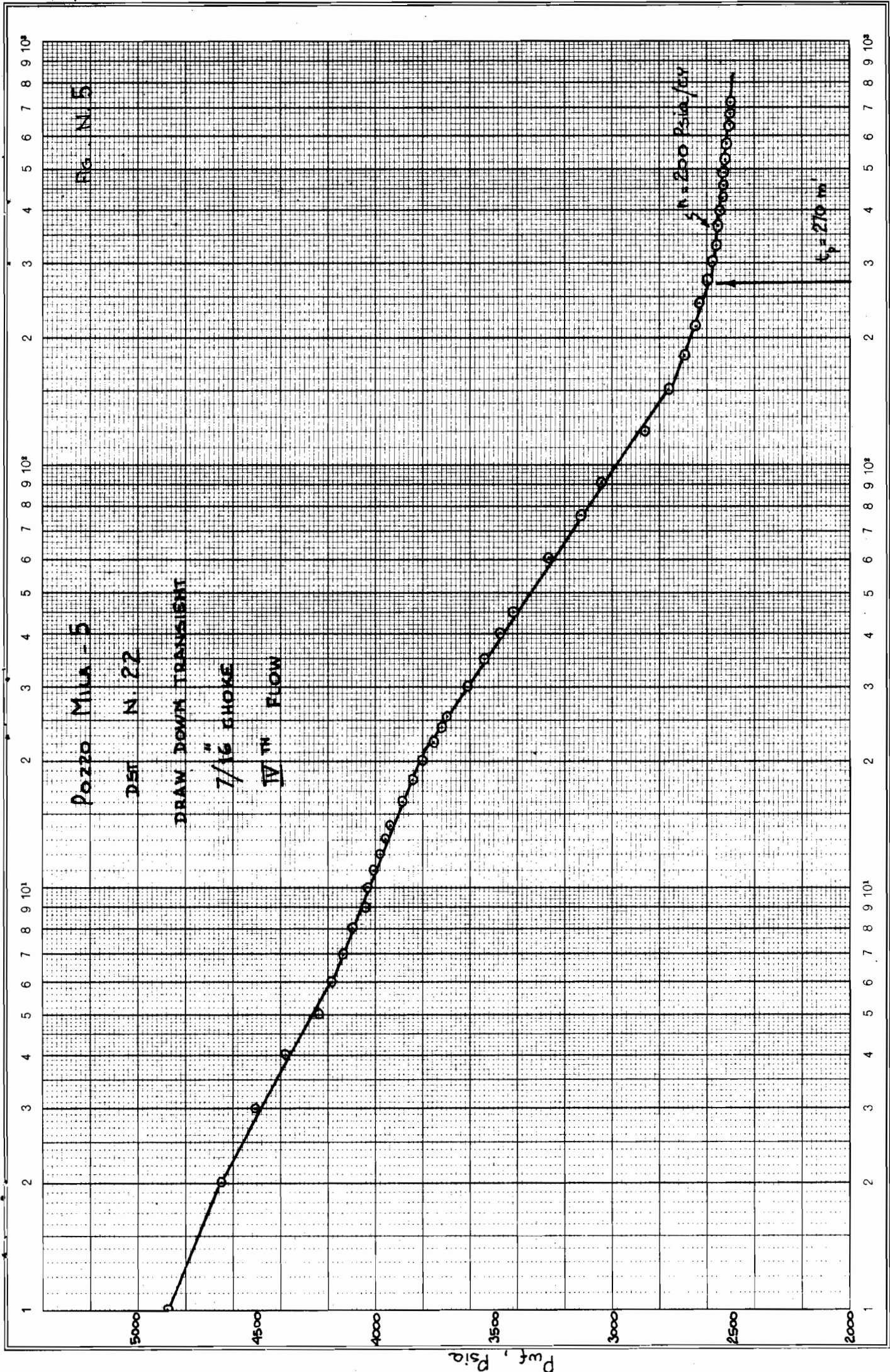
Logar. Teilung } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
 Division } Unité }

PRODUCTION TIME, m'



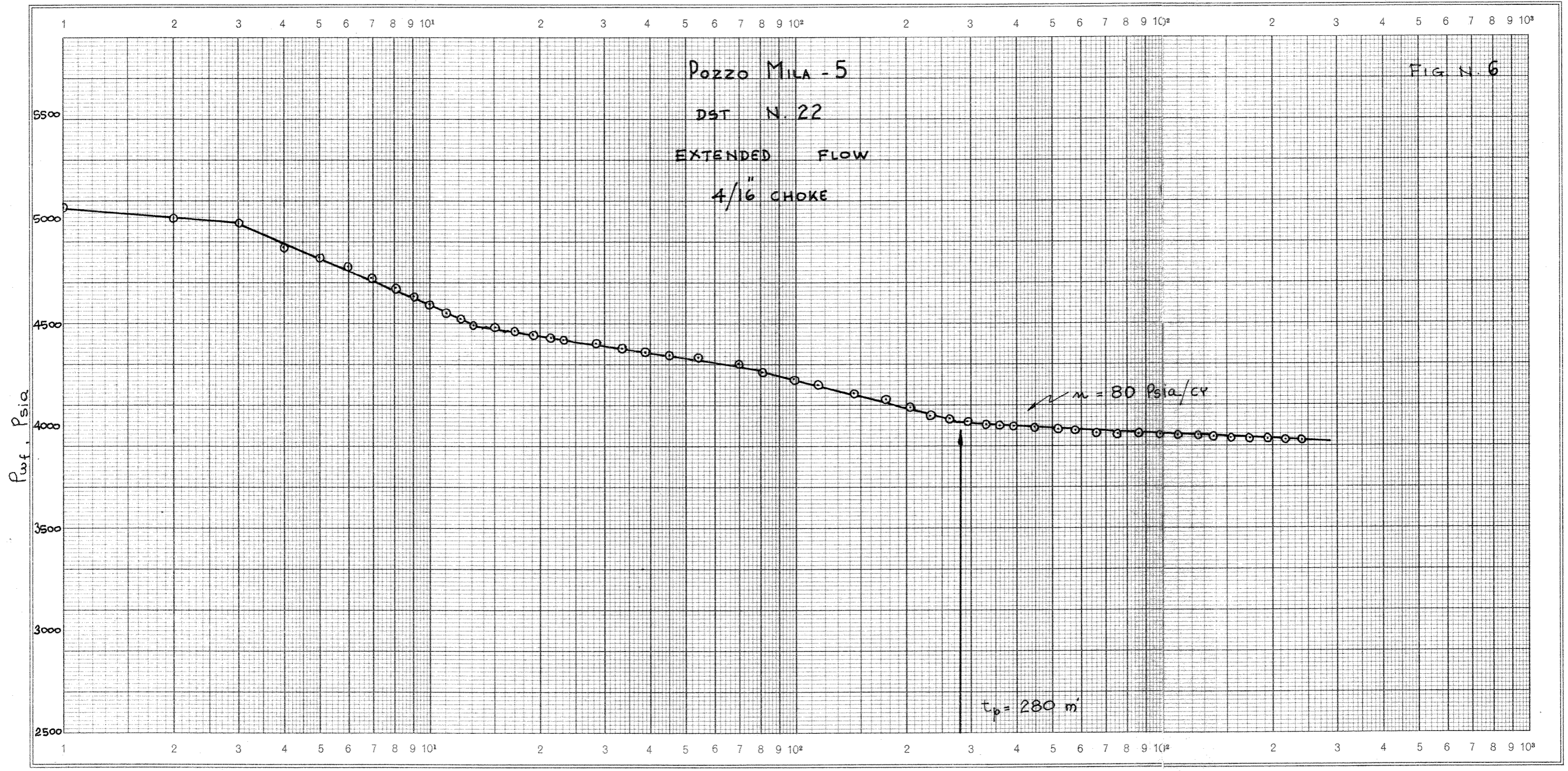
Teilung } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
 Division } 1 - 1000 Unité }

PRODUCTION TIME, m'



Logar. Division } 1 - 1000 Einheit } 90 mm

PRODUCTION TIME, m'

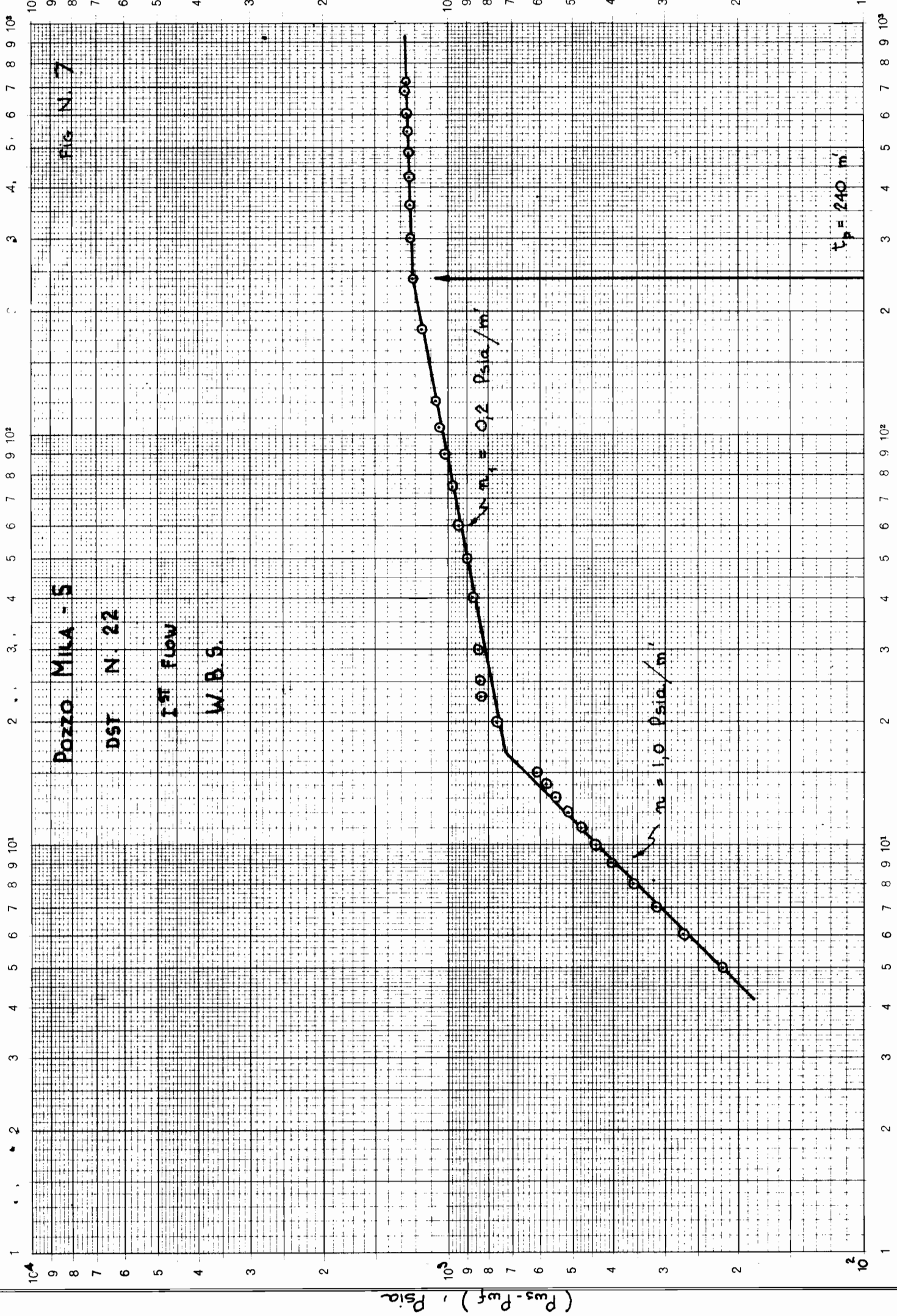


Logar. Teilung } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
 Division } Unité }

Ed. Aerni-Leuch, Bern. Nr. 534

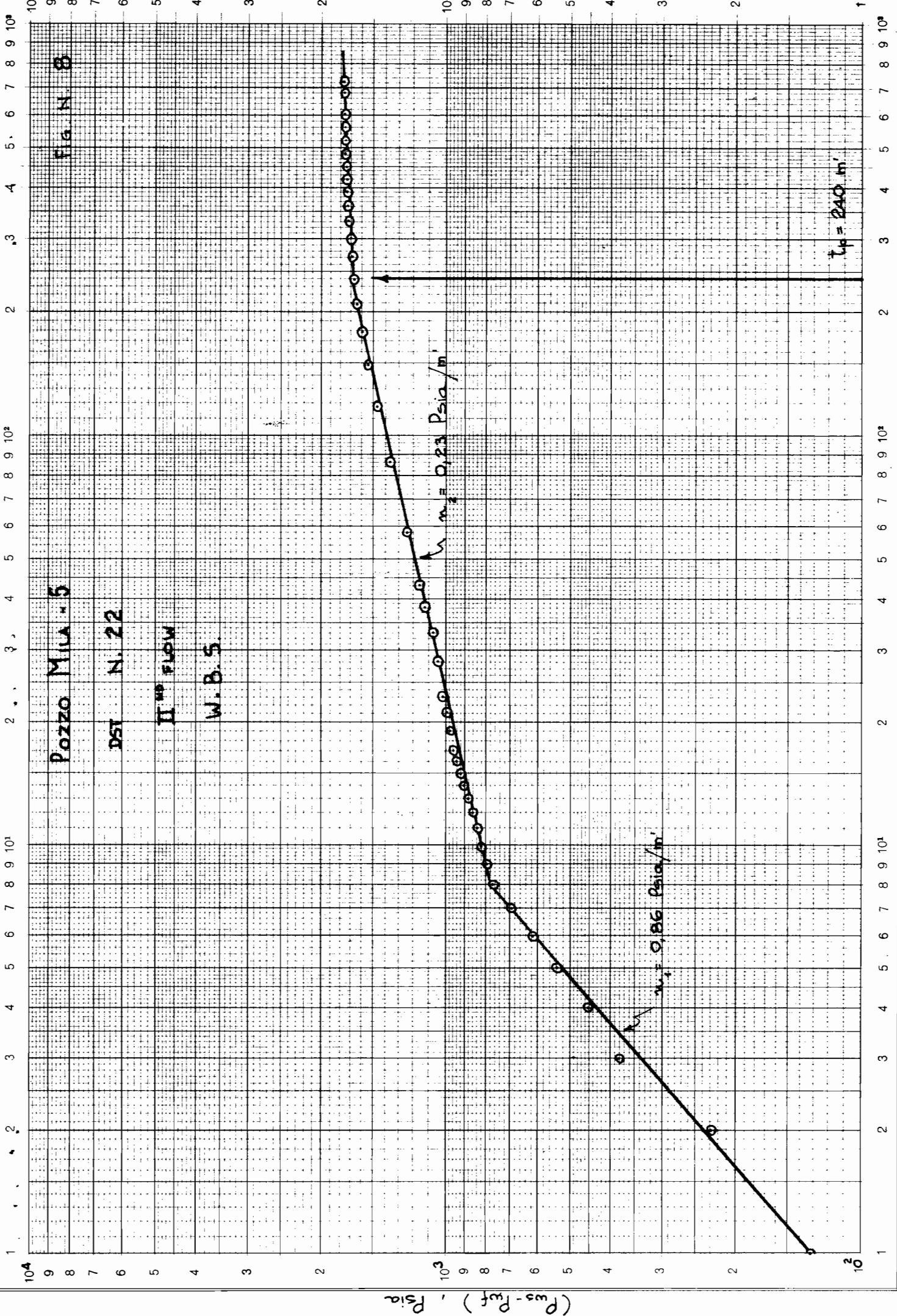
Ed. Aerni-Leuch, Bern. Nr. 534

PRODUCTION TIME, m'



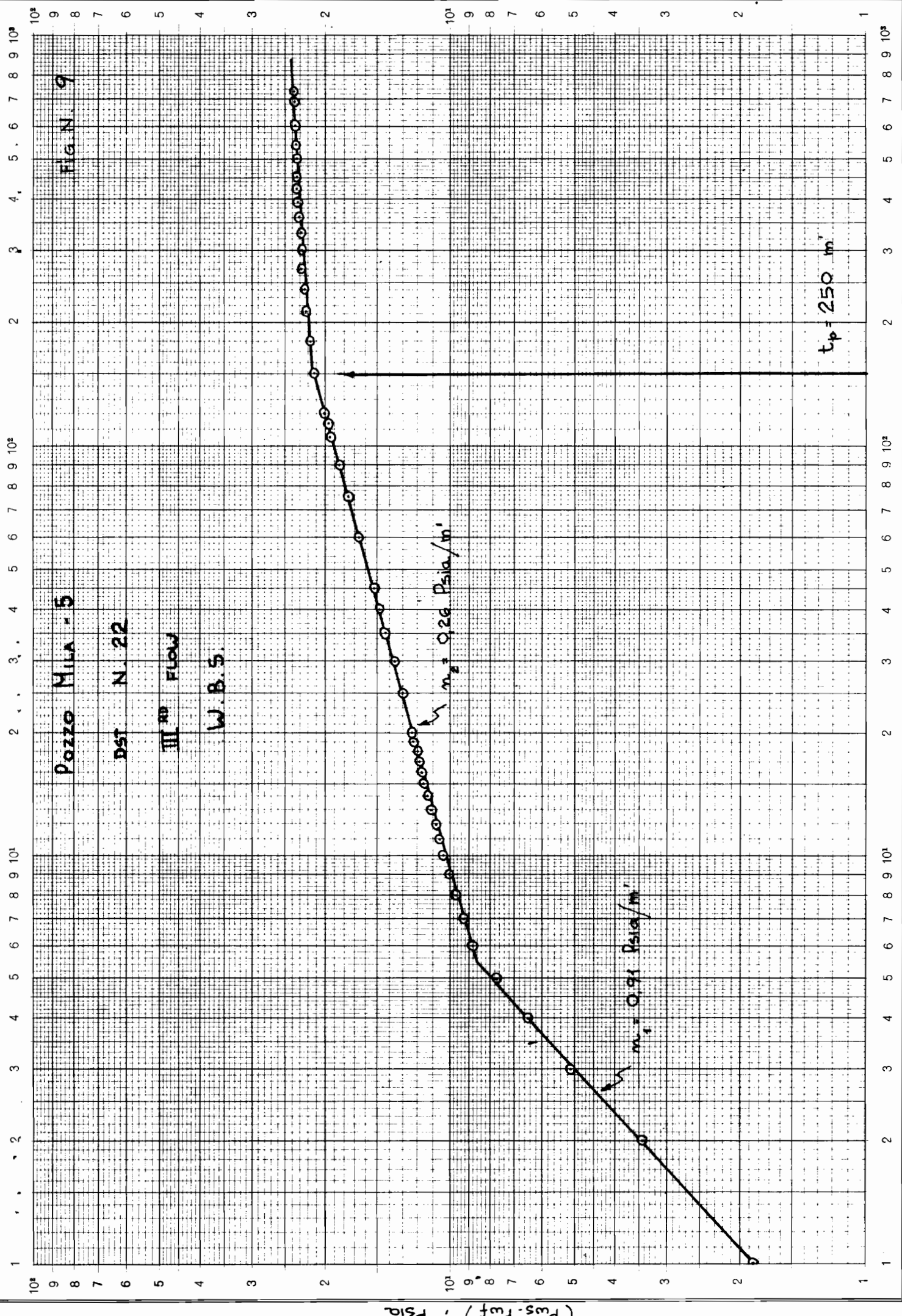
Teilung } 1-100 und 1-1000 Einheit } 90 mm
 Division } 1-100 und 1-1000 Unité }

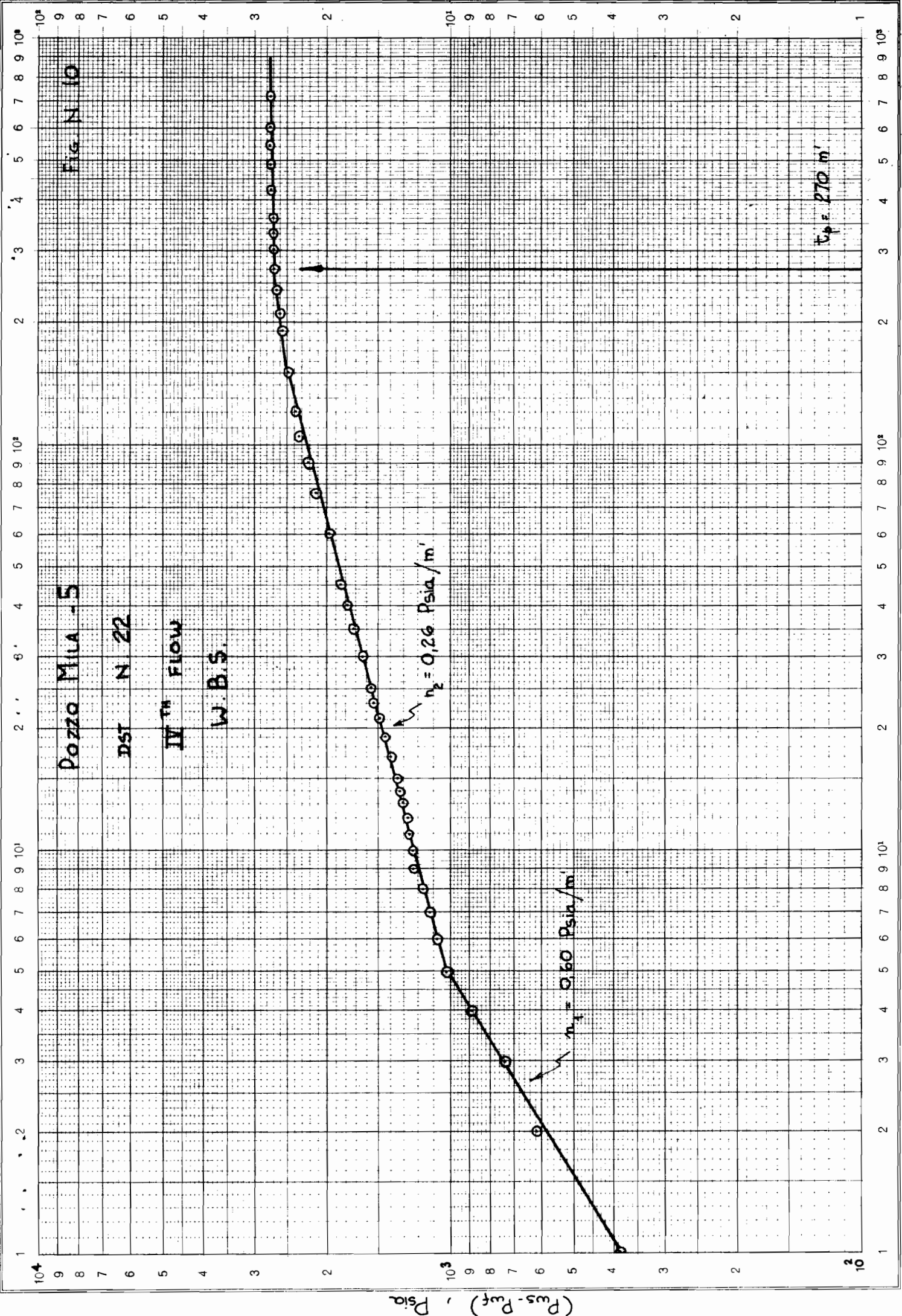
$\Delta t, m'$

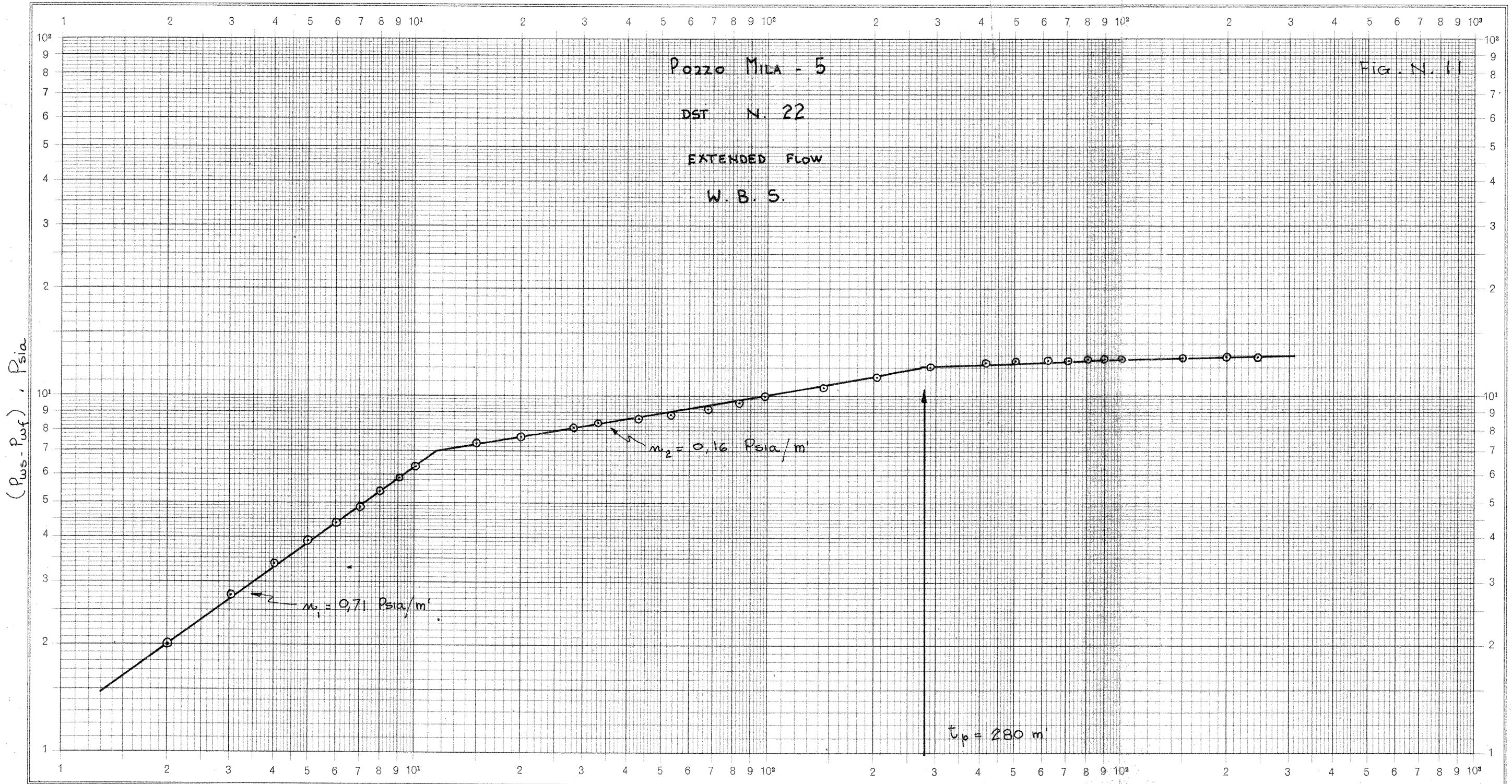


Teilung } 1-100 und 1-1000 Einheit } 90 mm
 Division }

$\Delta t, m'$





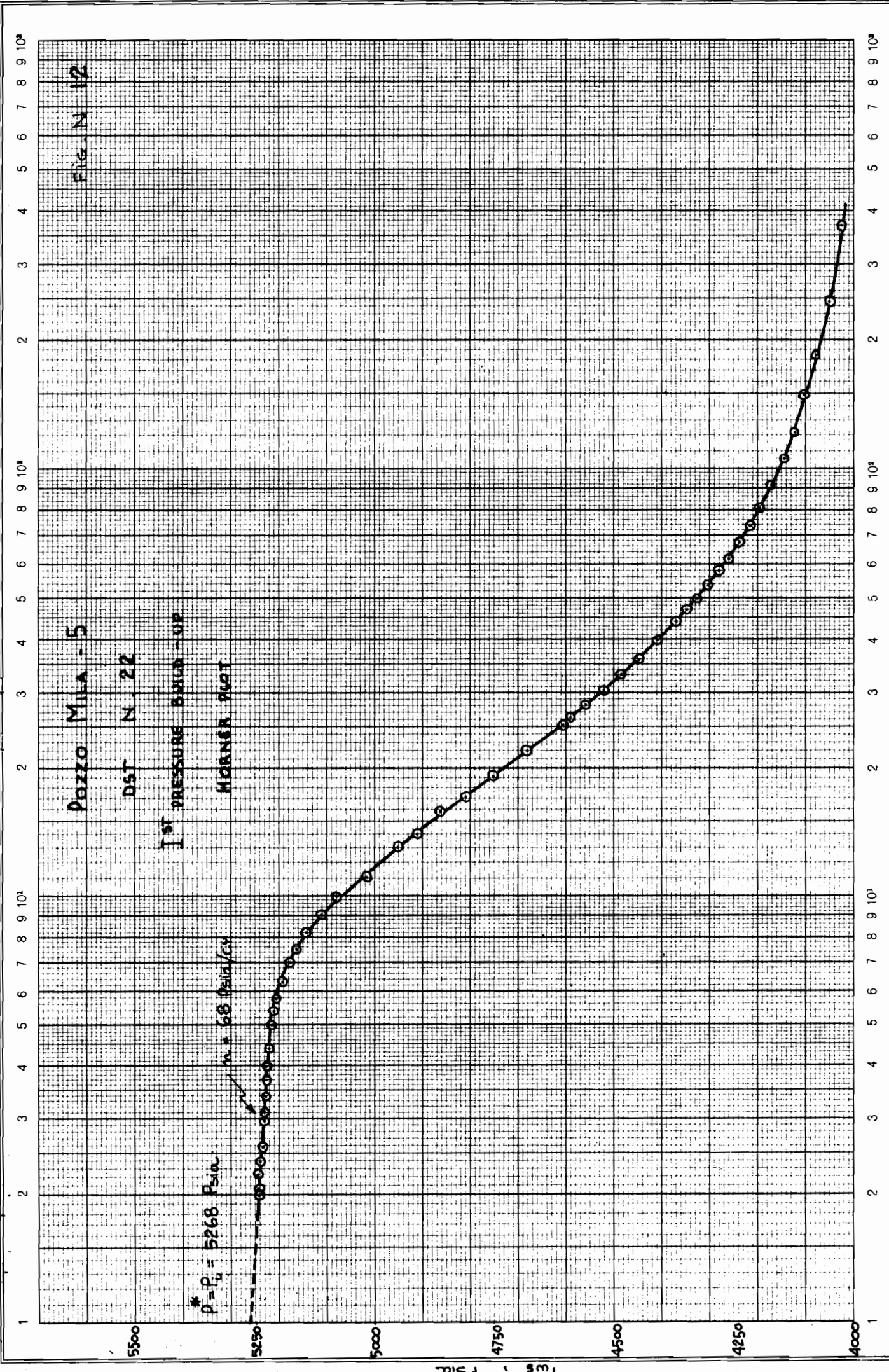


Logar. Teilung } 1-100 und 1-1000 Einheit } 90 mm
 Division } Unité }

$\Delta t, \text{ m'}$

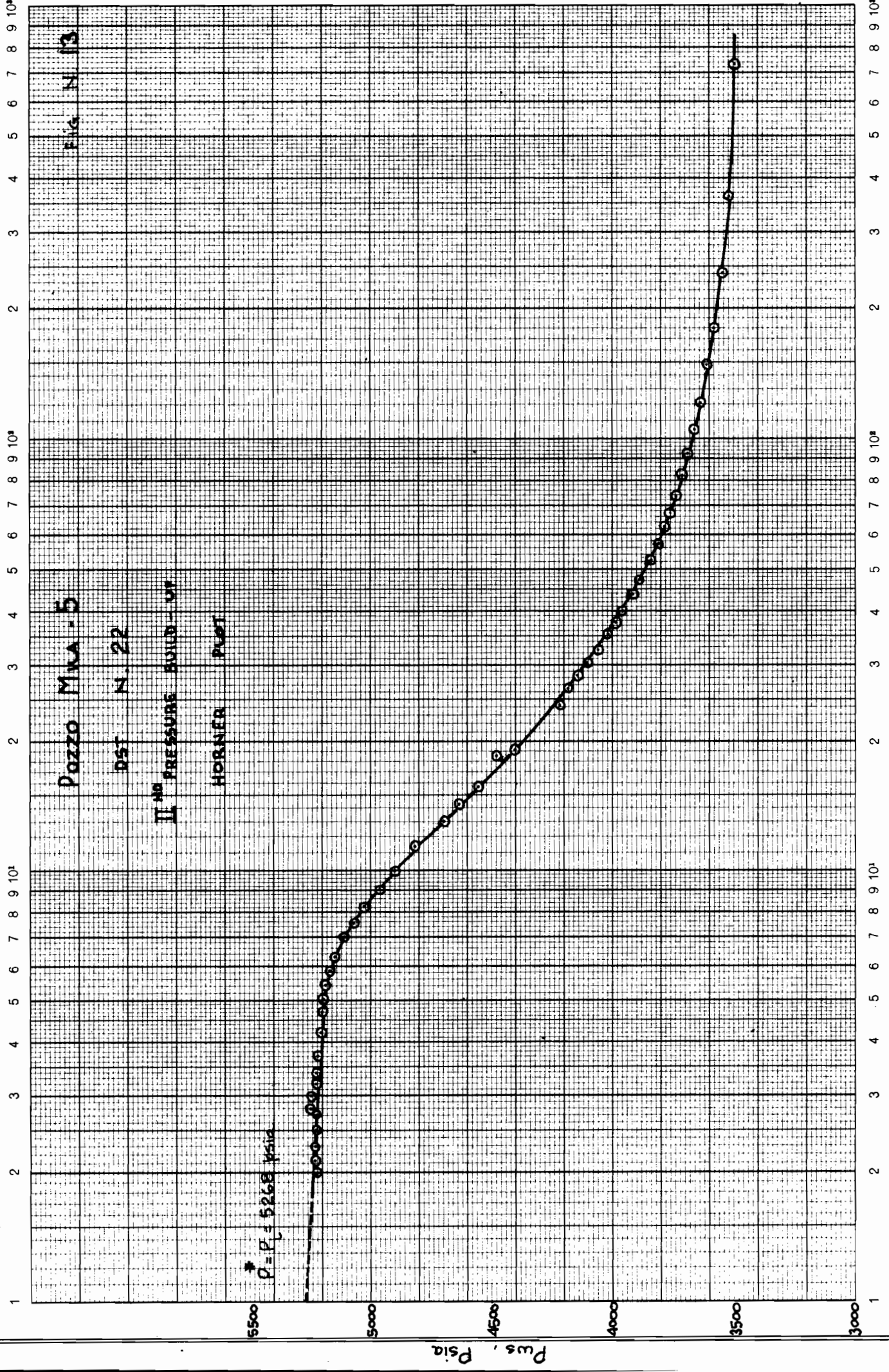
Ed. Aerni-Leuch, Bern Nr. 553

Ed. Aerni-Leuch, Bern Nr. 553



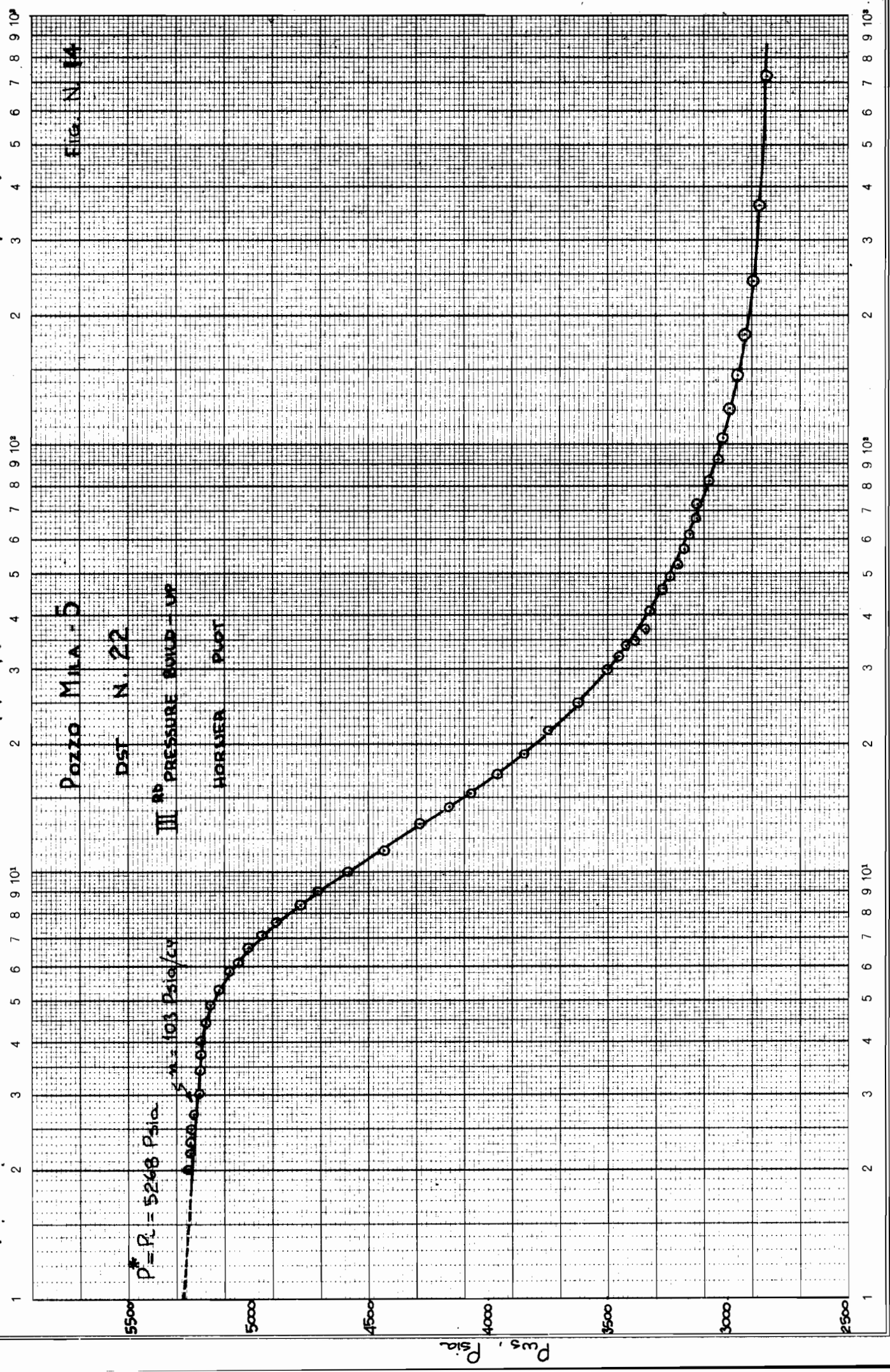
Logar. Division } 1 - 1000 Einheit } 90 mm

$$\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} ; t_p = 12 \text{ hrs.}$$



Teilung } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
 Logar. Division } 1 - 1000 Unité }

$$\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} ; t_p = 12 \text{ hrs}$$



Teilung } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
 Division } 1 - 1000 Unité }

$$\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} ; t_p = 12 \text{ hrs}$$

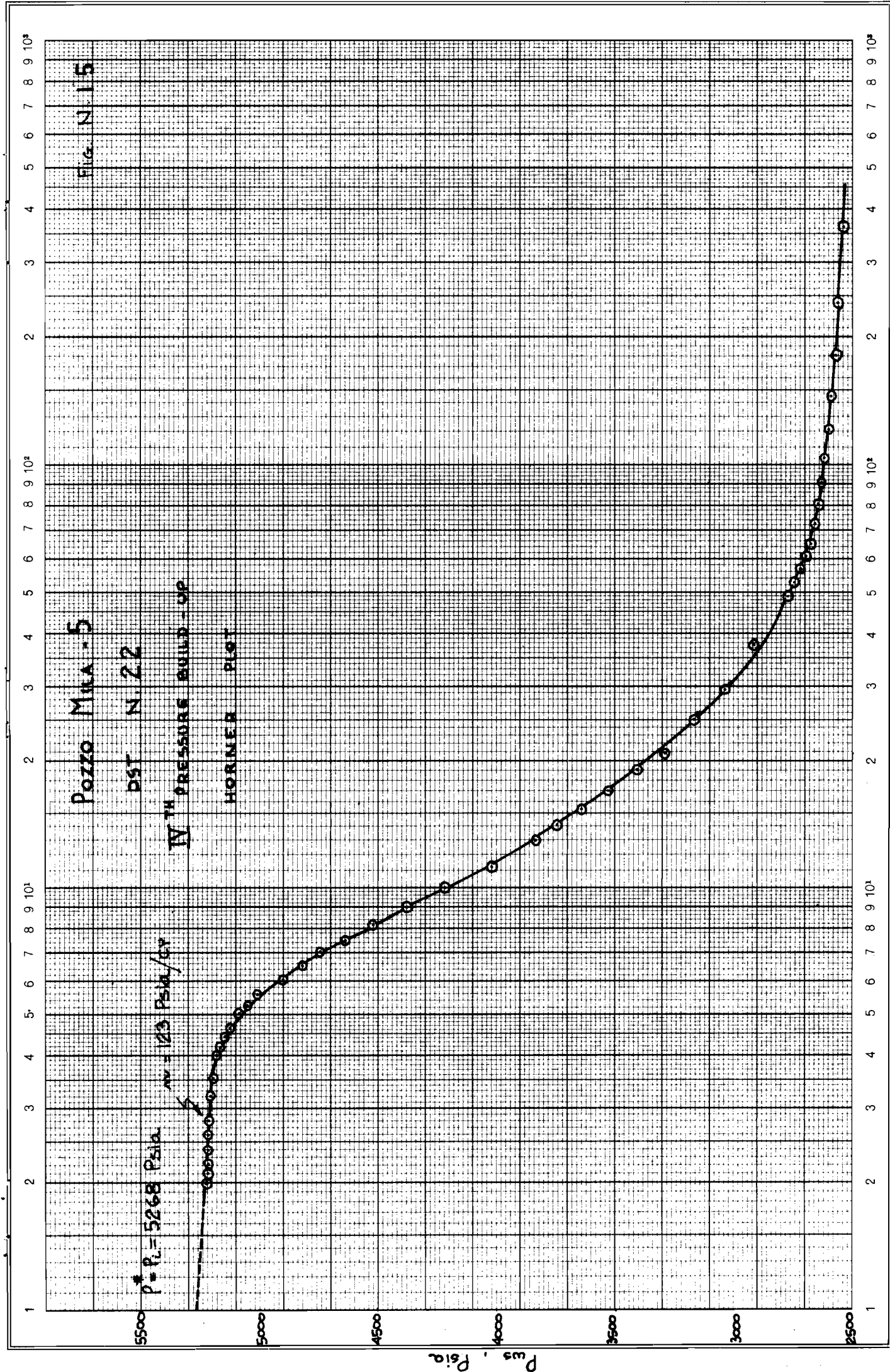
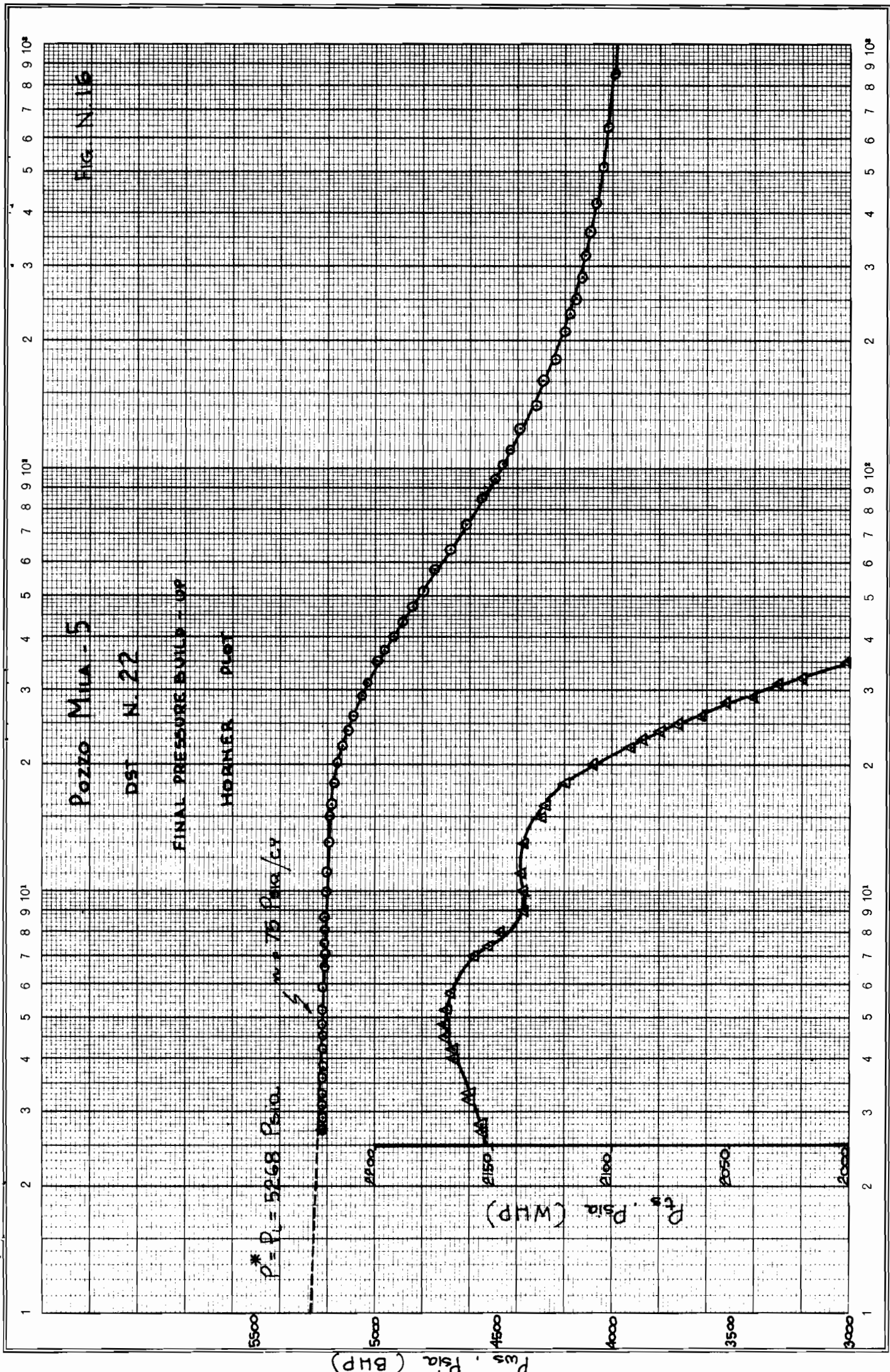


Fig. N. 15

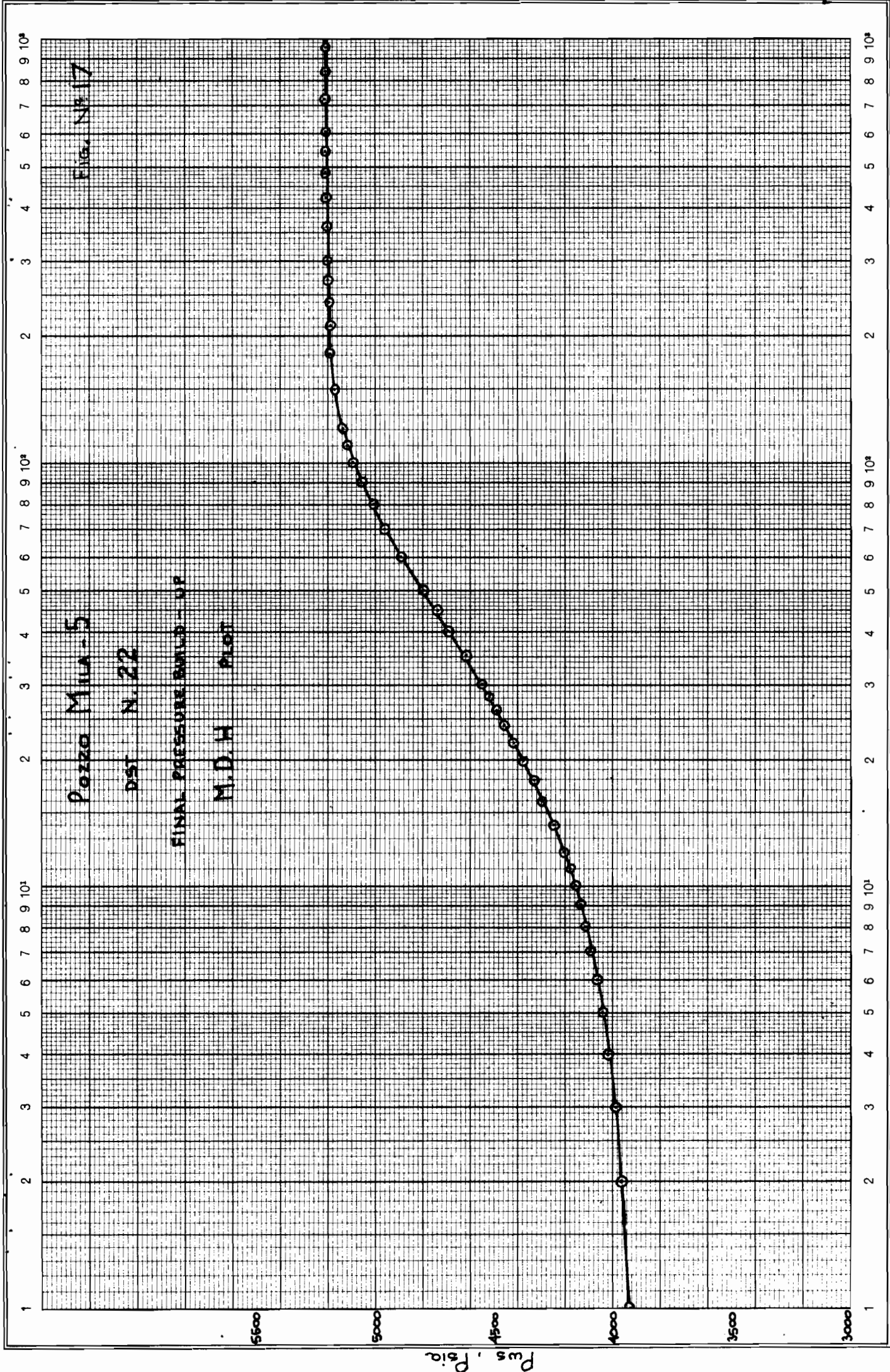
Logar. Division } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
 Telling }

$$\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} ; t_p = 12 \text{ hrs}$$



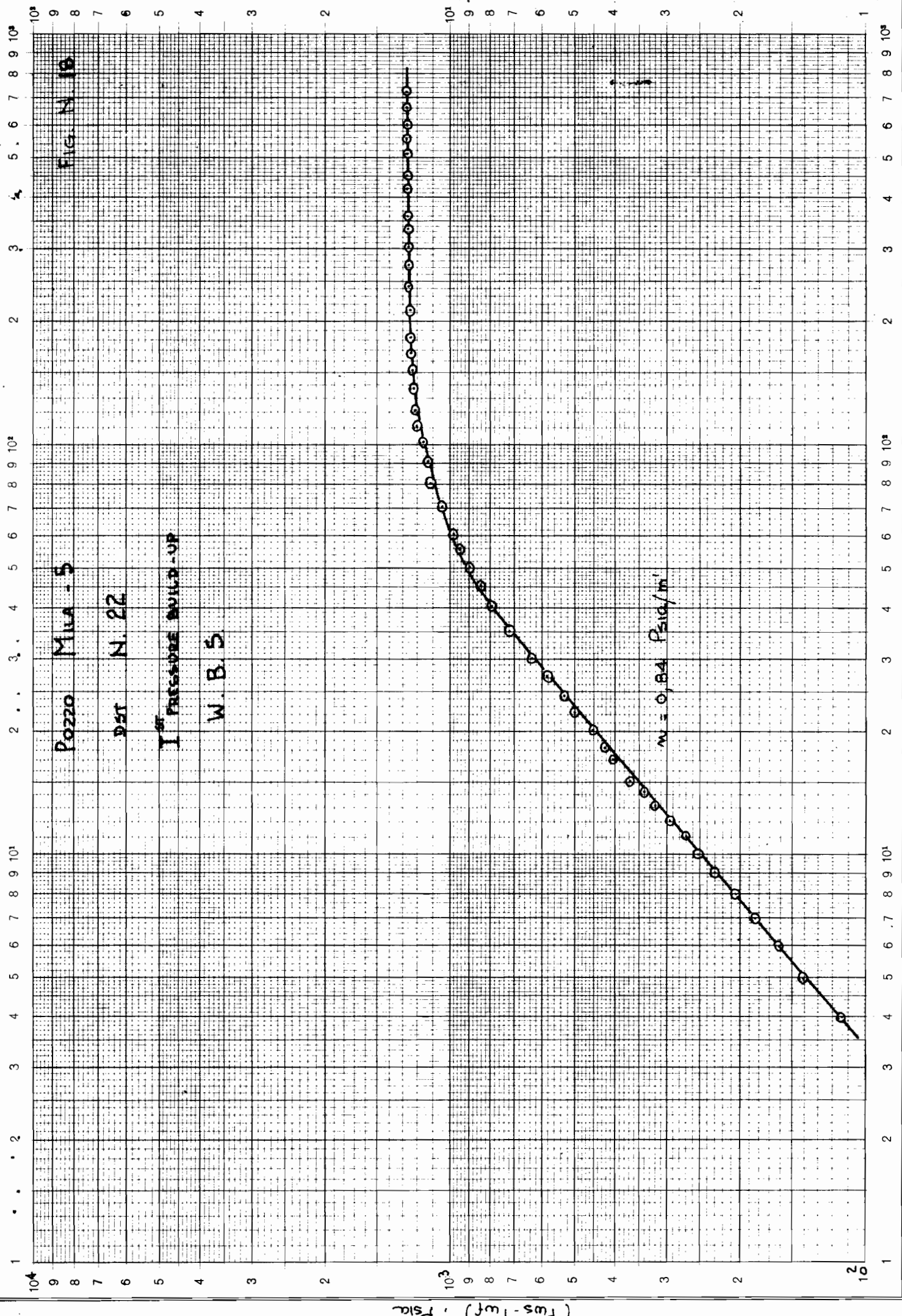
Logar. Division } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
Unité }

$$\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} ; t_p = 42 \text{ hrs}$$



Teilung } 1 - 1000 Einheit } 90 mm
 Logar. Division }

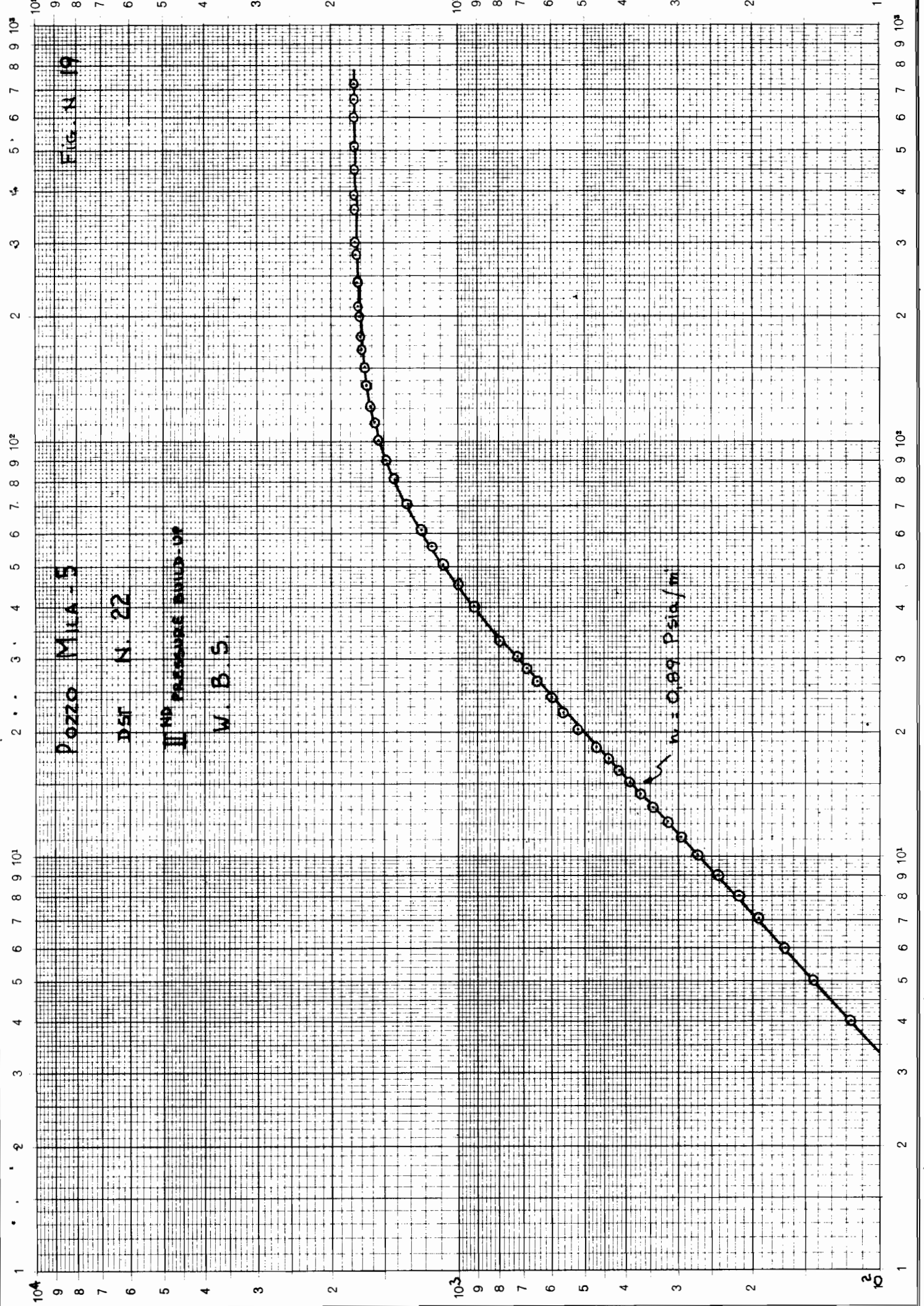
Δt , m'



($P_{ws} - P_{wf}$) : Psia

Teilung } 1-100 und 1-1000 Einheit } 90 mm
 Logar. Division }

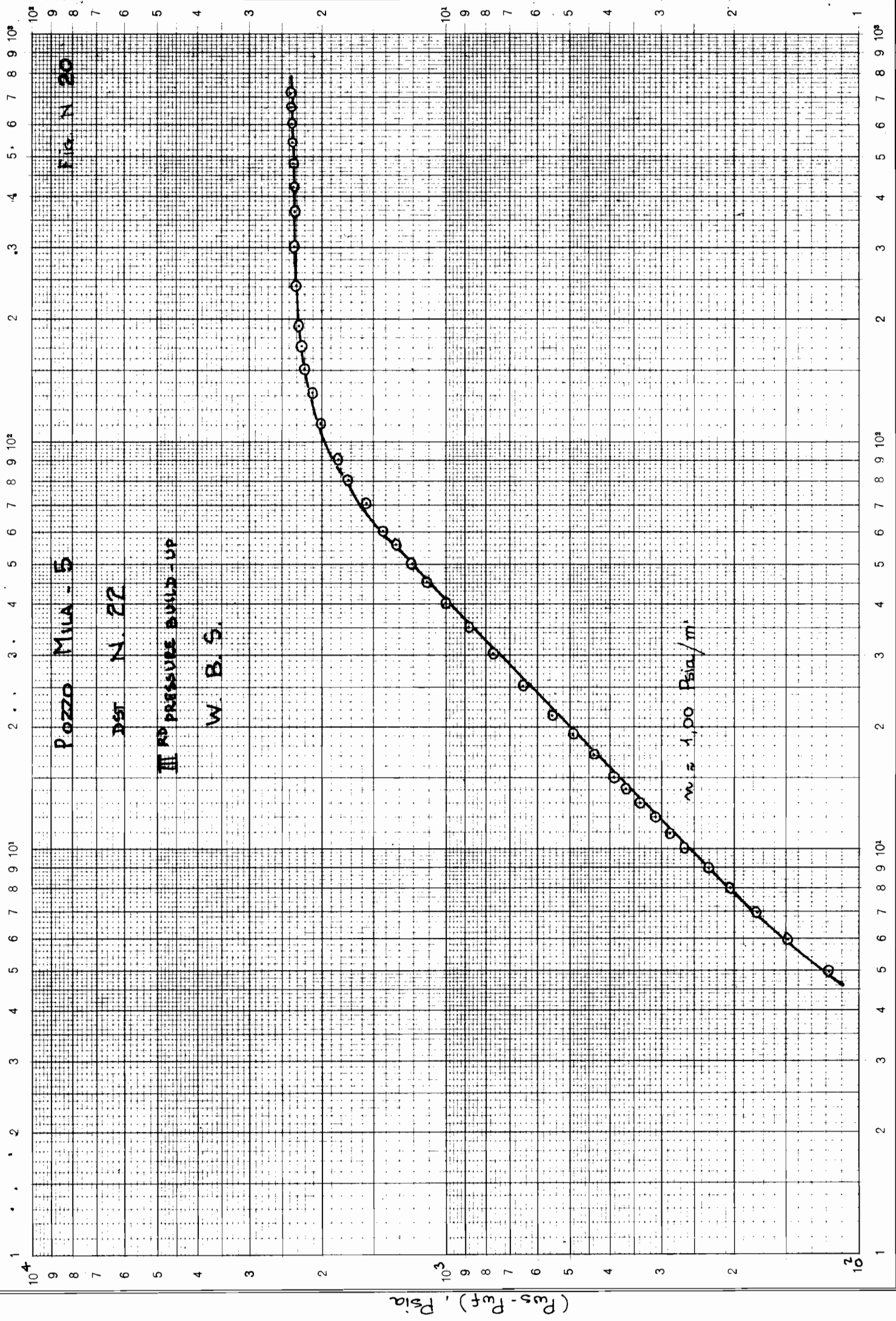
$\Delta t, \text{ m'}$

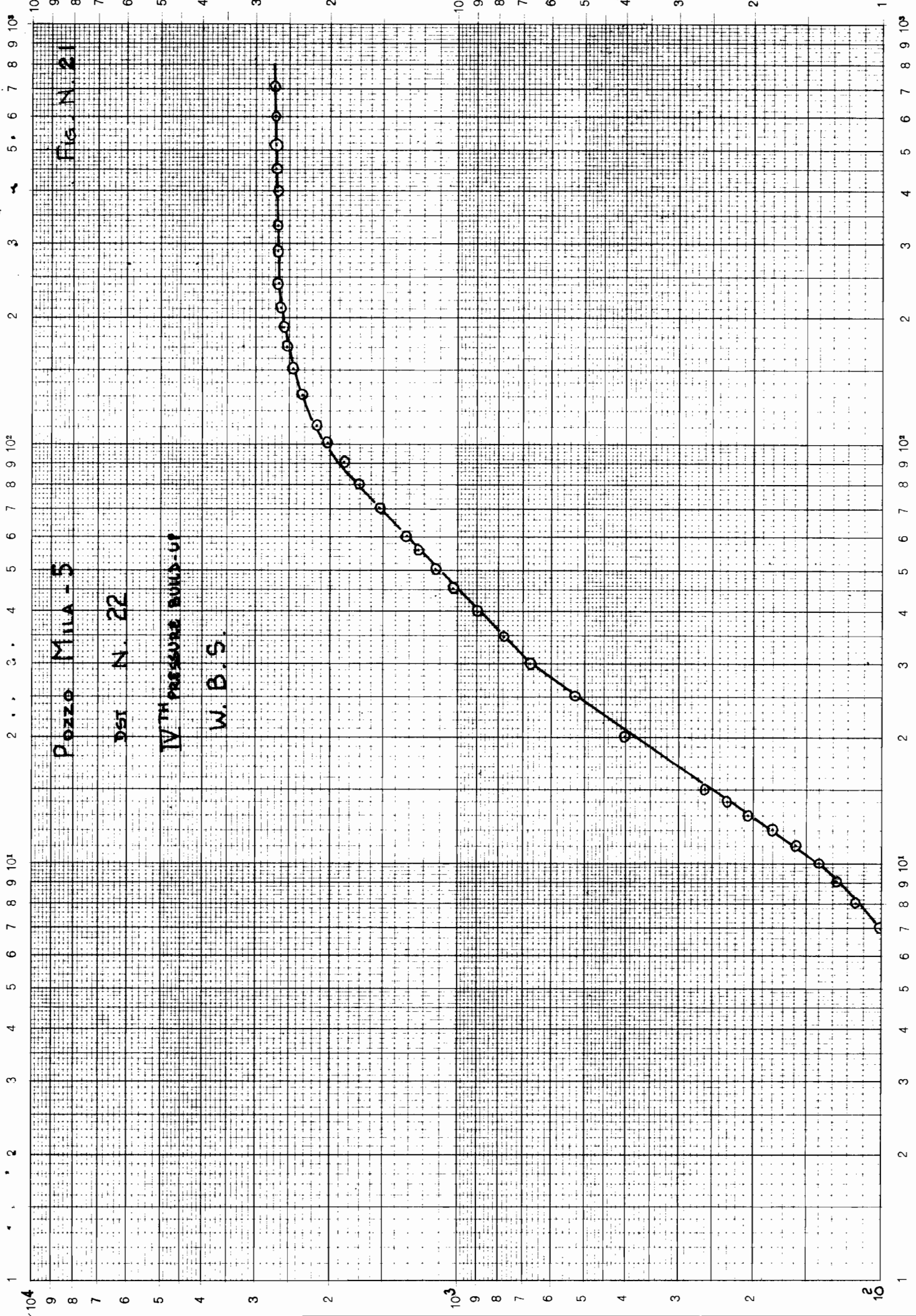


($P_{ws} - P_{wf}$), Psia

Teilung } 1-100 und 1-1000 Einheit } 90 mm
 Logar. Division }

Δt , m'



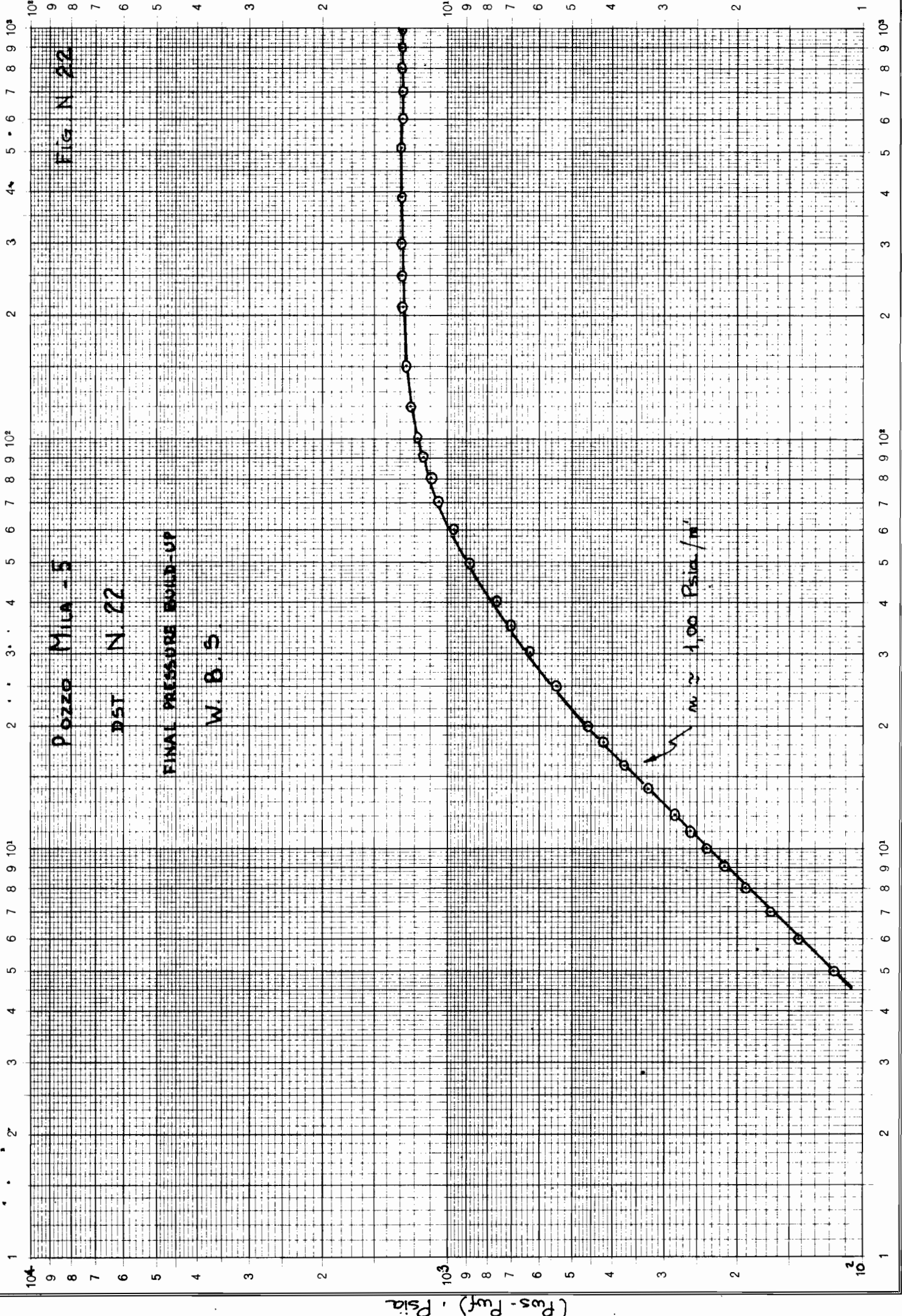


Pozzo MILA - 5
 DST N. 22
 IVTH PRESSURE BUILD-UP
 W. B. S.

FIG. N. 21

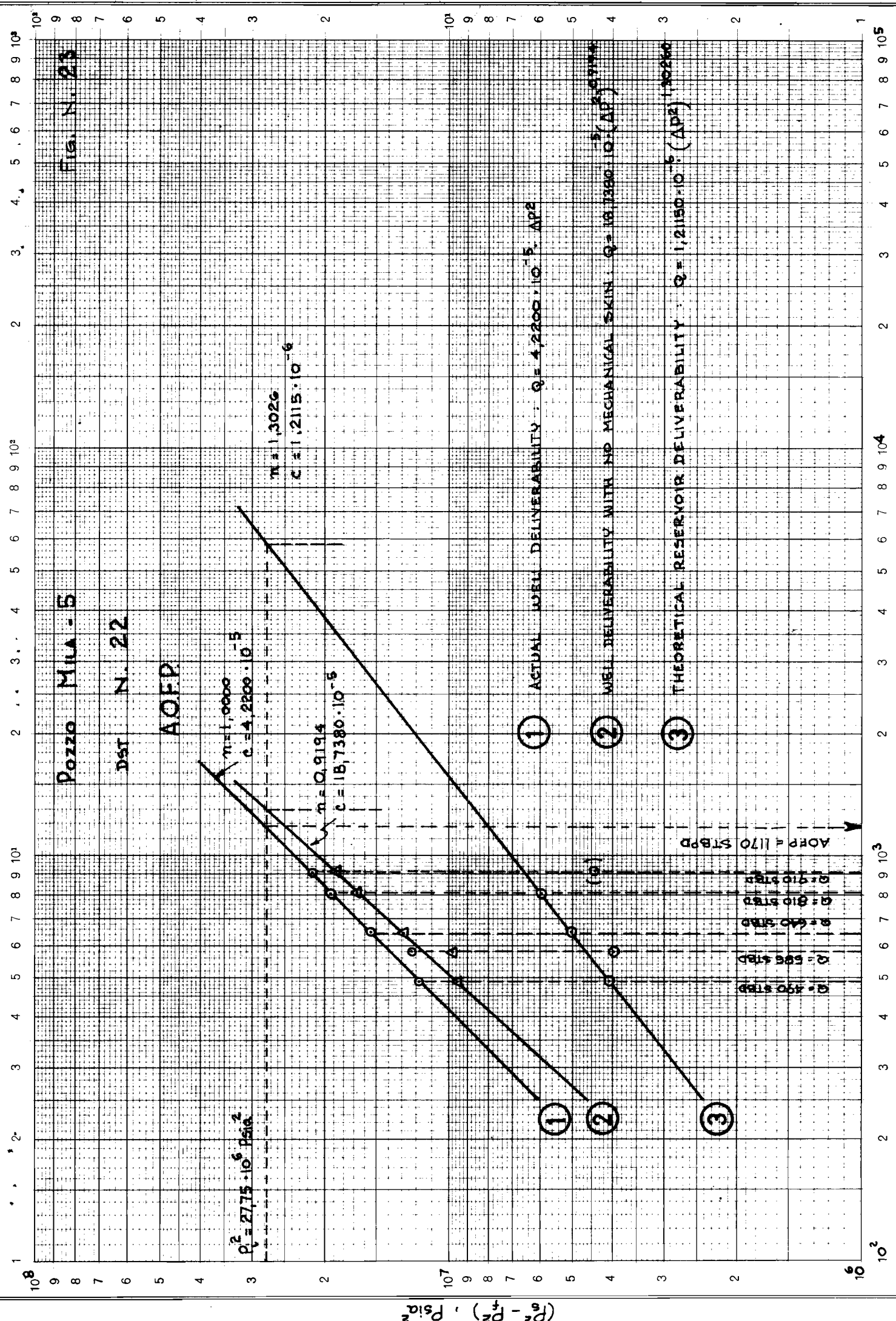
Teilung } 1-100 und 1-1000 Einheit } 90 mm
 Division } 1-100 und 1-1000 Unité }

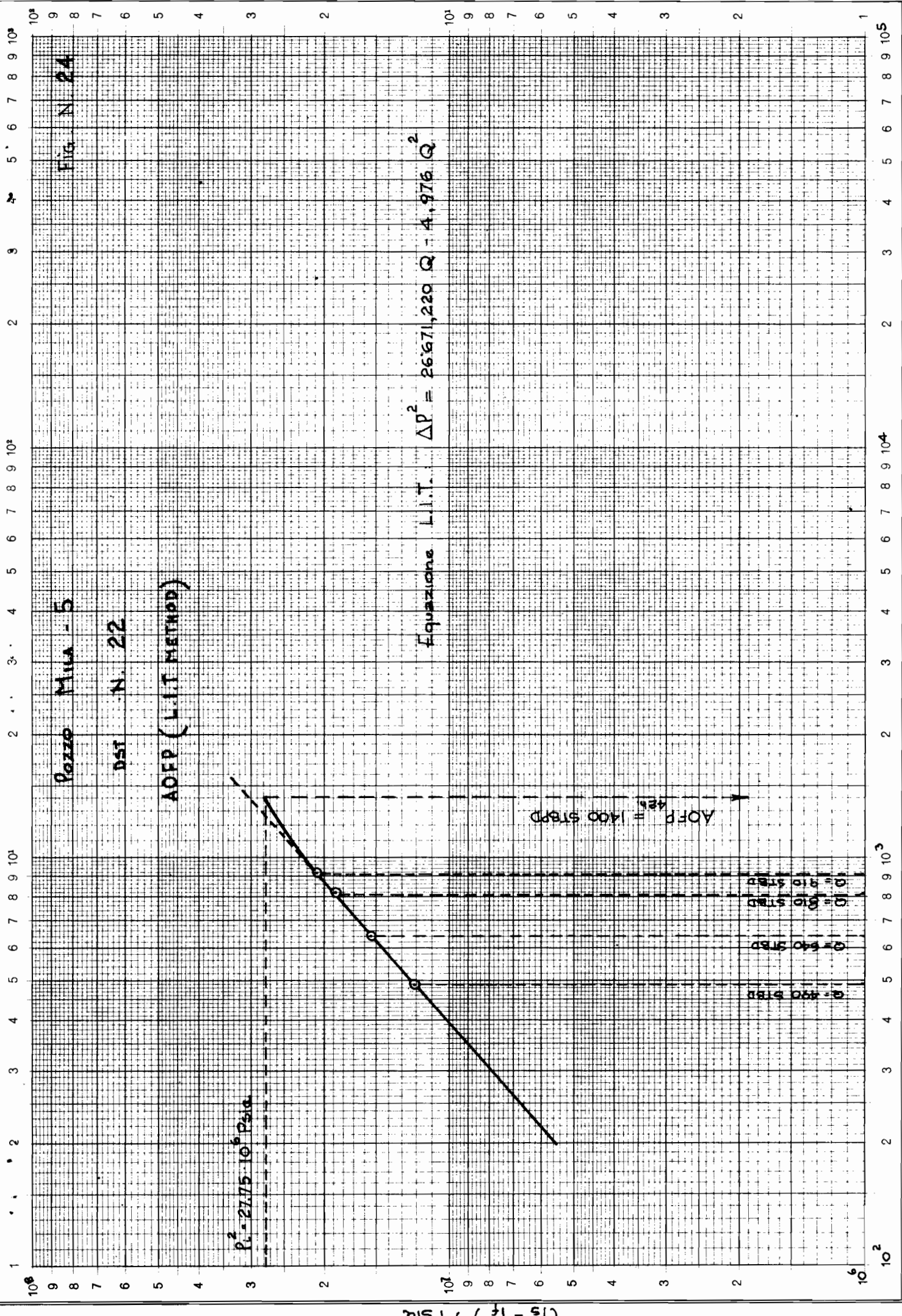
Δt , m'



Logar. Division } 1-100 und 1-1000 Einheit } 90 mm
 Division } Unité }

$\Delta t, \text{ m'}$





Paizzo MUA - 5

Fig. N. 24

DST N. 22

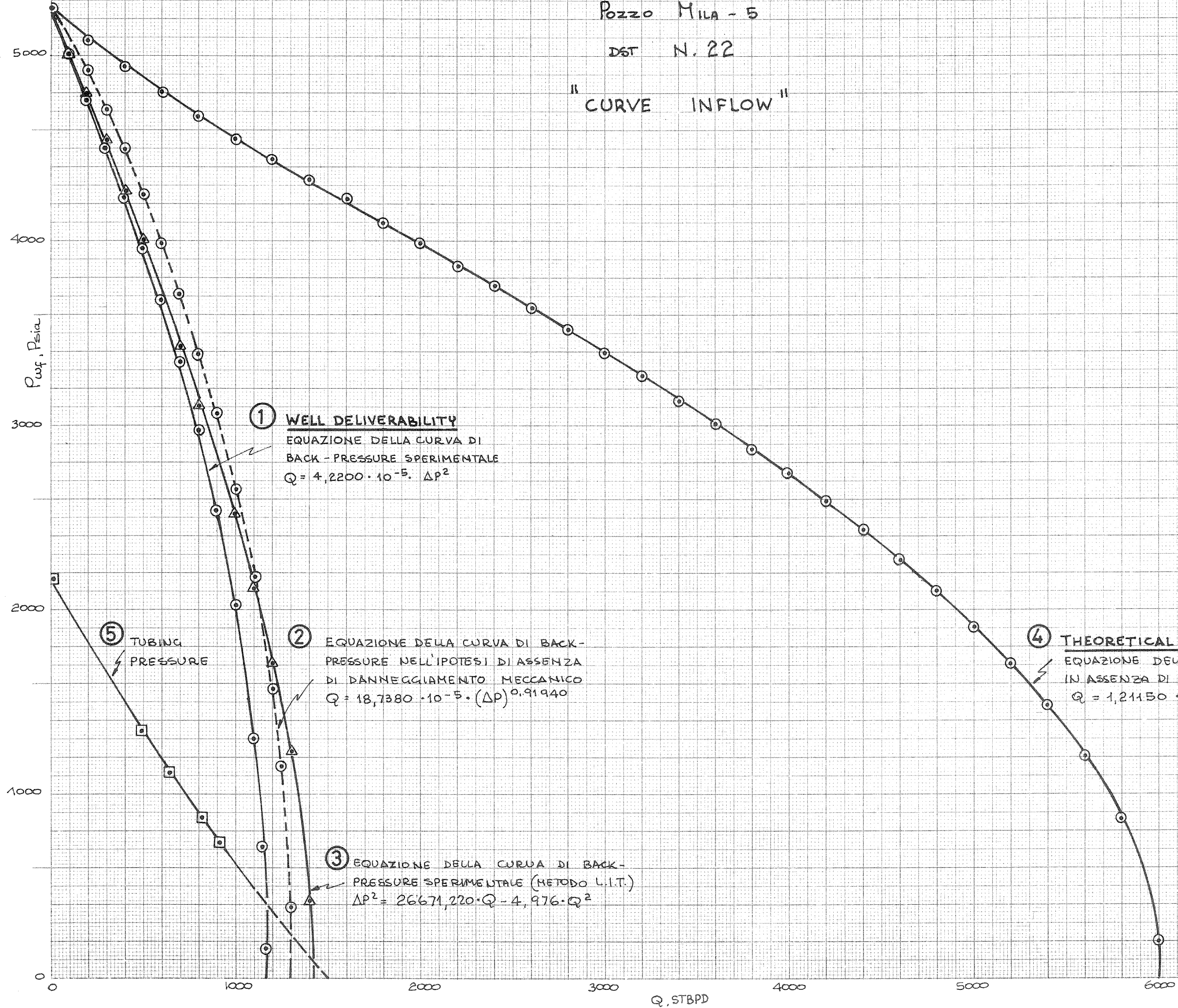
AOF P (L.I.T. METHOD)

Equazione L.I.T. $\Delta P^2 = 26671,229 Q - 4,976 Q^2$

Pozzo MILA - 5

DST N. 22

"CURVE INFLOW"



Pozzo Mila - 5

DBT N. 22

DIAGRAMMI DI DANNEGGIAMENTO

SKIN
FACTOR

"S_c"

30

25

20

15

10

5

0

BUILD-UP

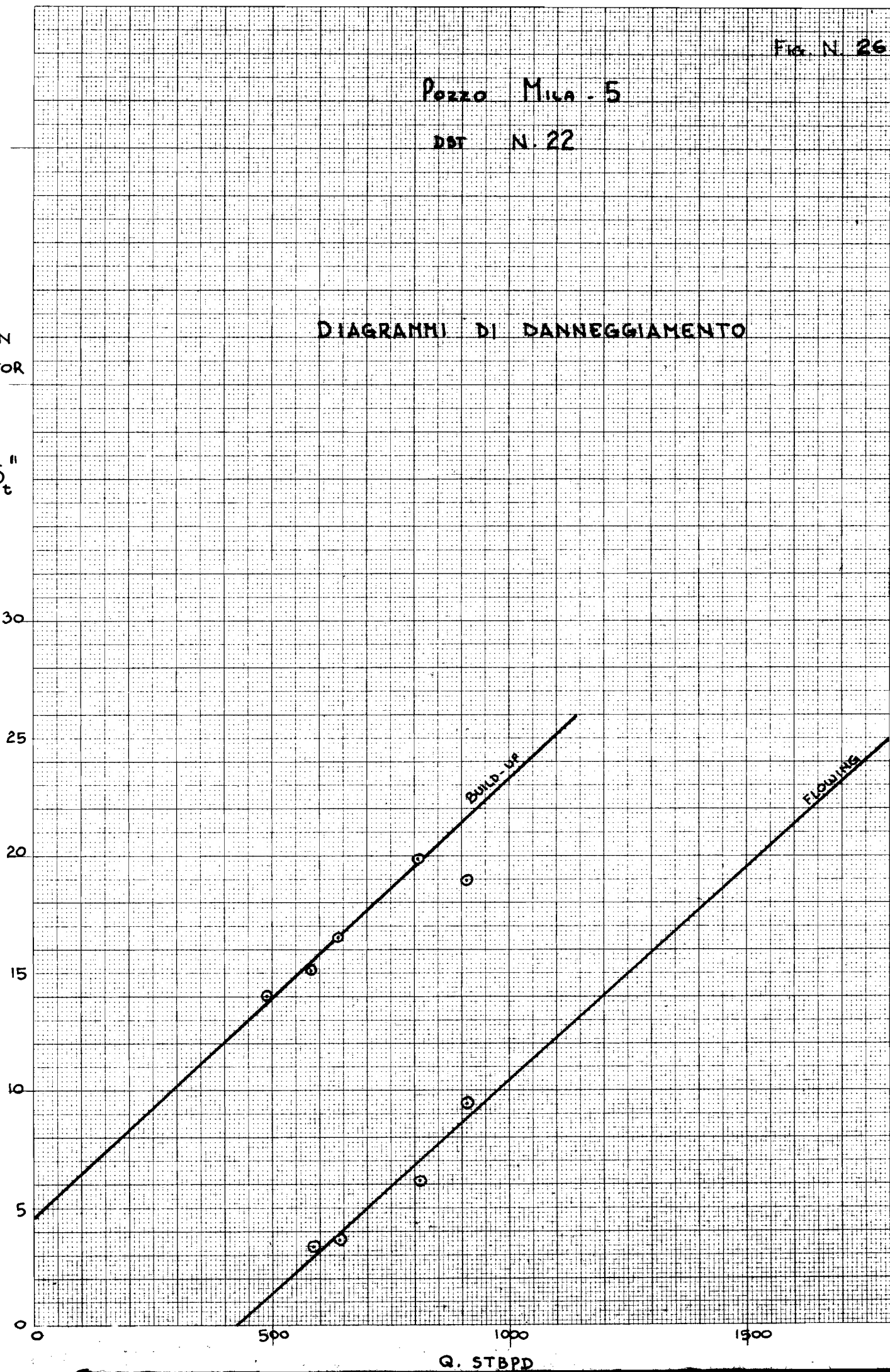
FLOWING

500

1000

1500

Q. STBPD



Pozzo Mila - 5

Fig. N. 27

DST N. 22

DIAGRAMMA DI VARIAZIONE DI "G"
(BRONS - MARTING)

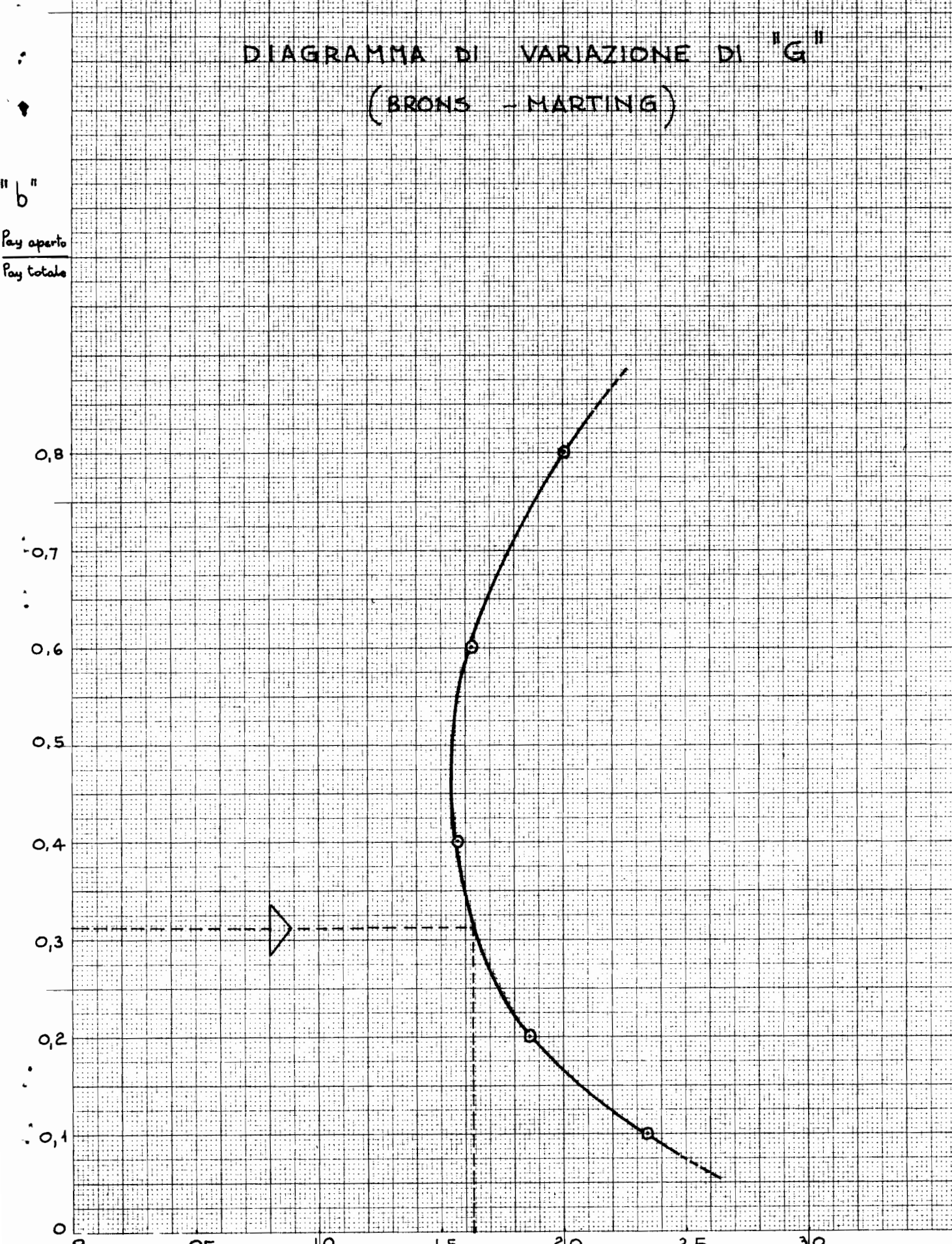
"b"

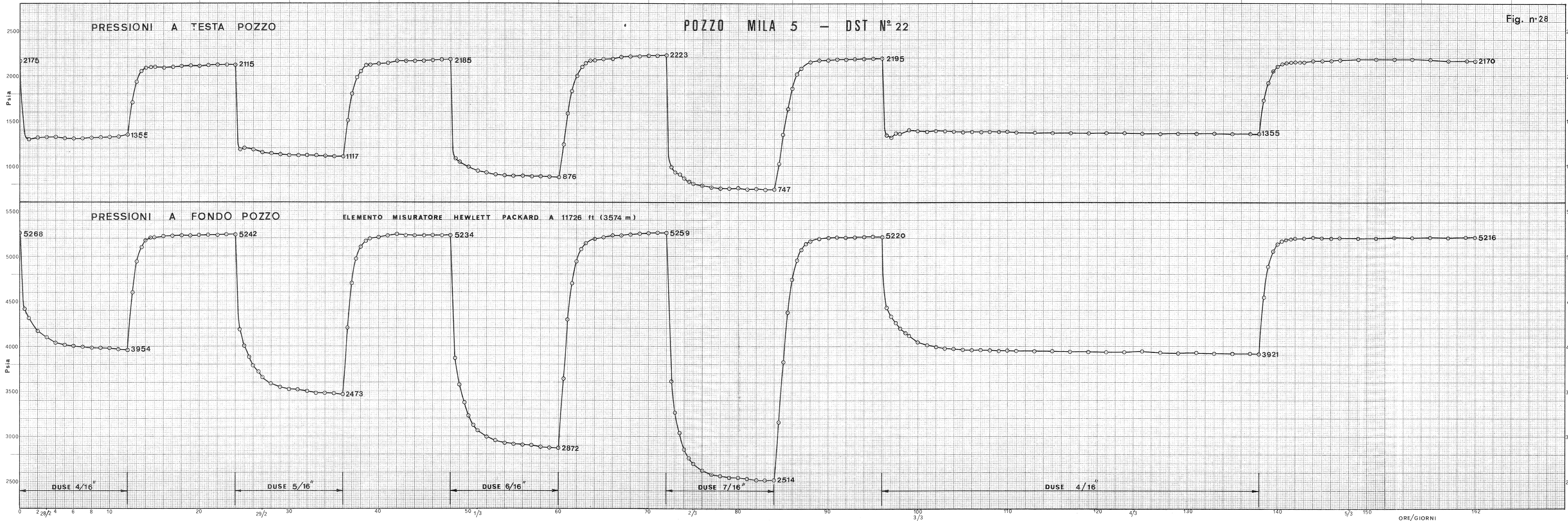
Pay aperto
Pay totale

0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

0 0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0

$G = f(b)$





POZZO MILA 5 - DST N° 22

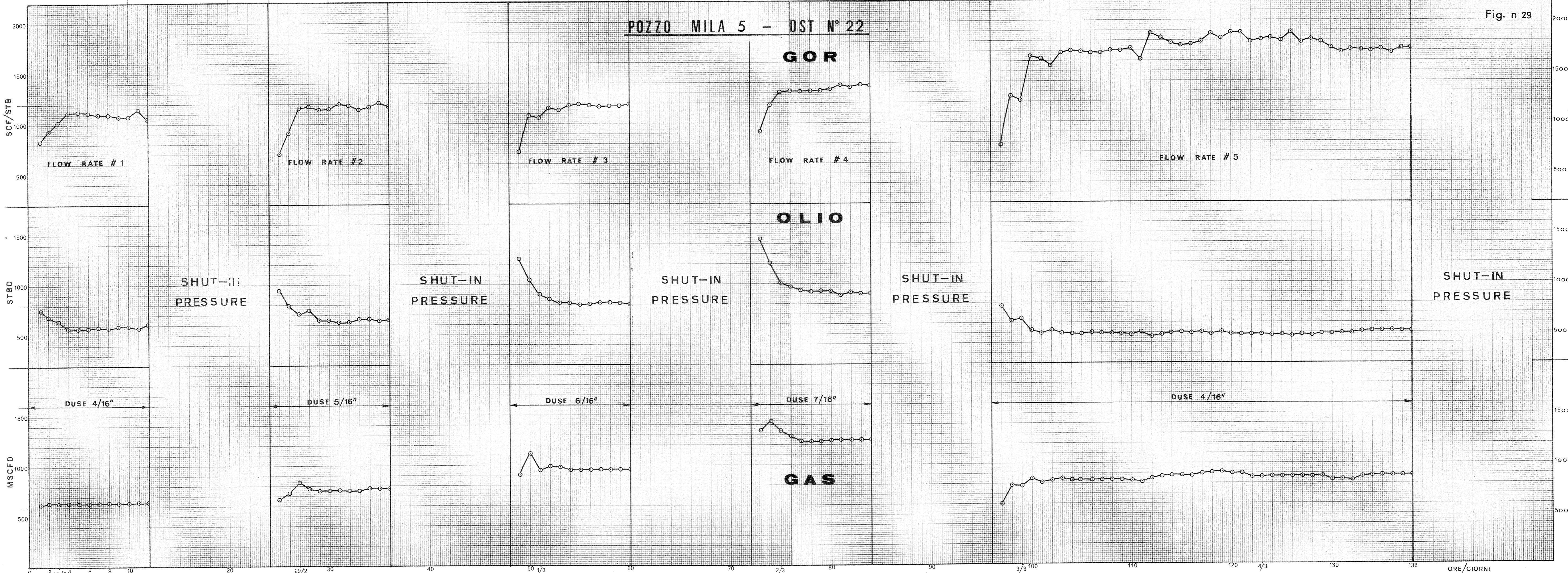
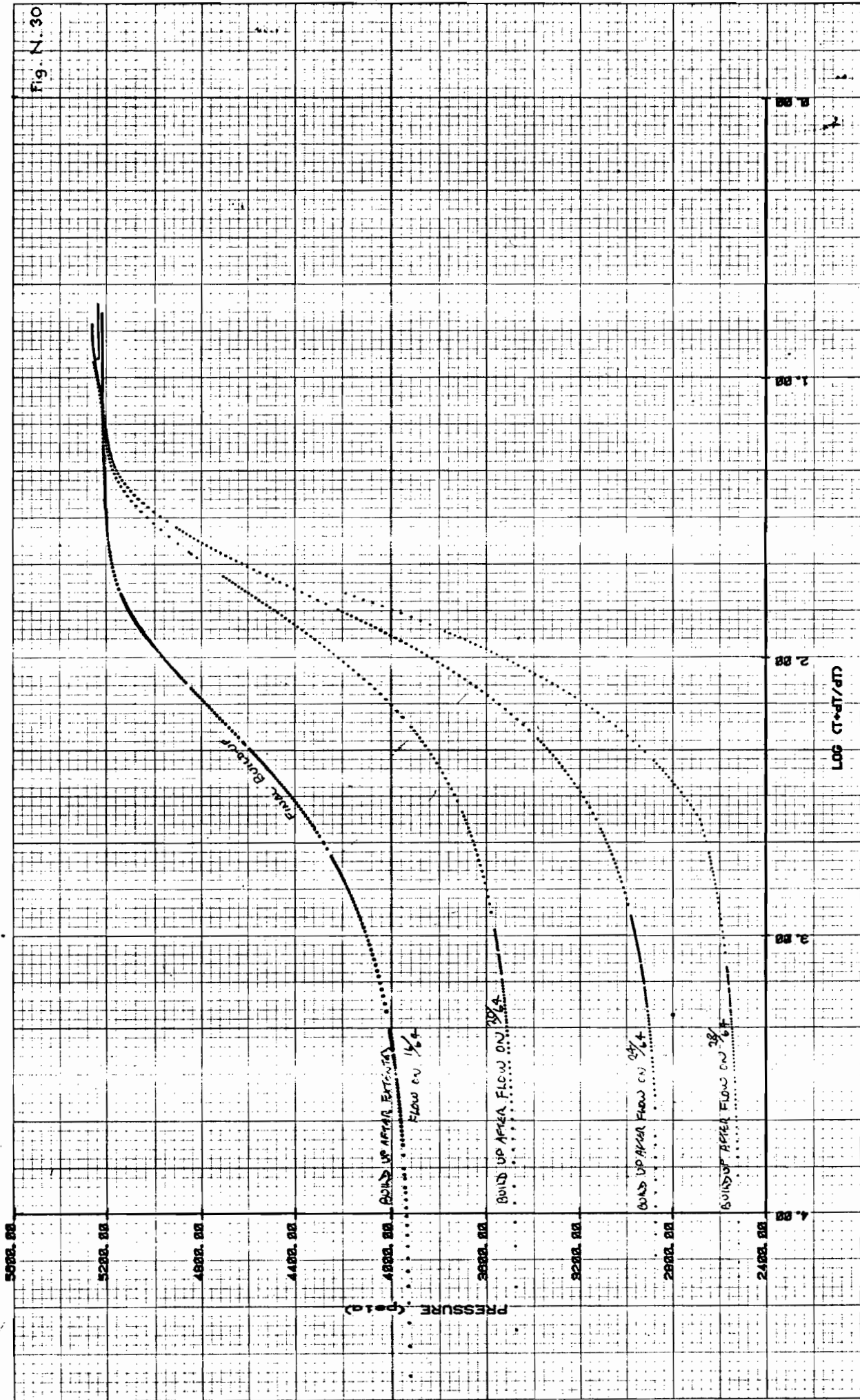


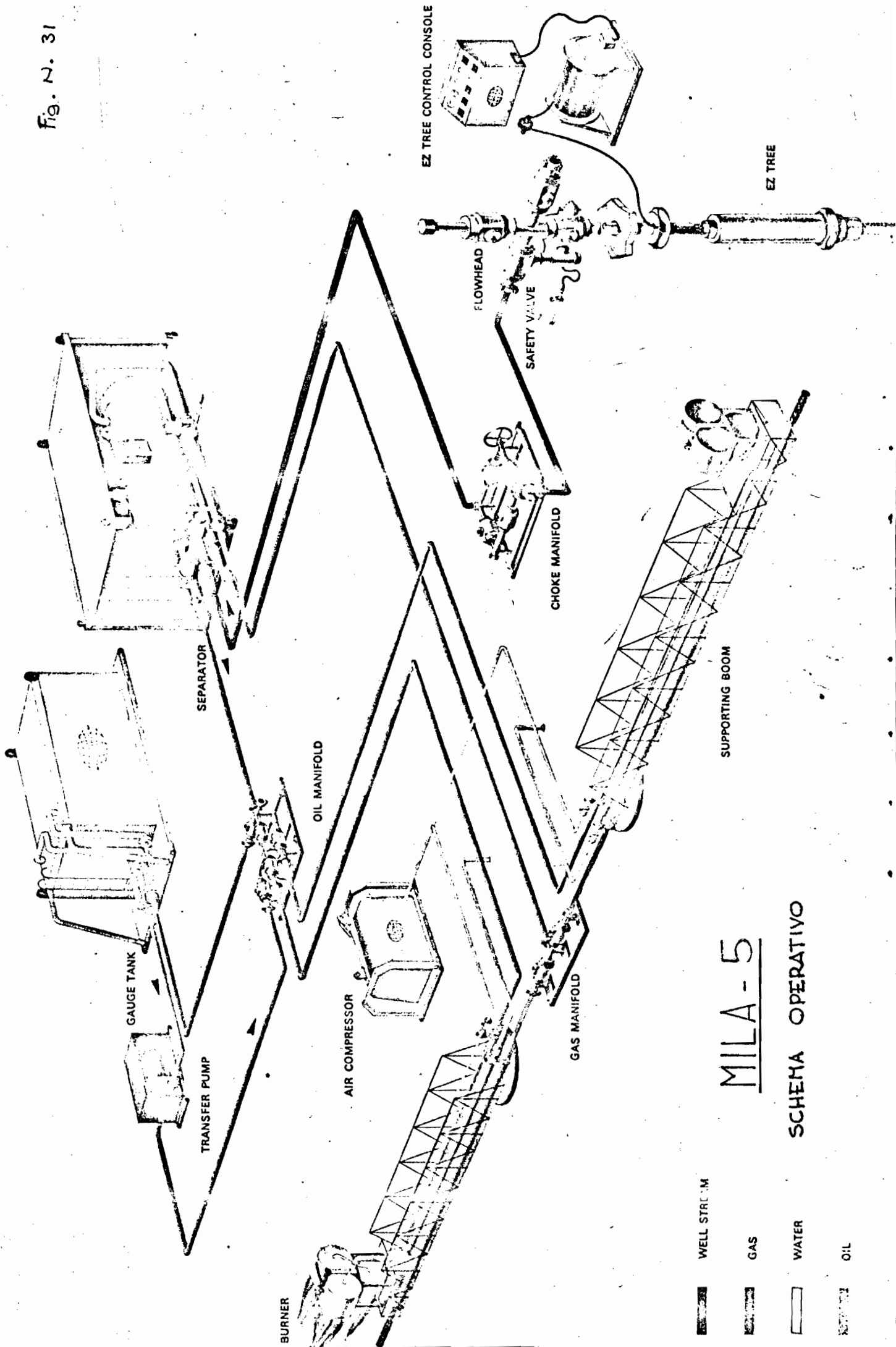
Fig. N. 30



OTIS HIGH ACCURACY DOWNHOLE PRESSURE and TEMPERATURE MEASUREMENTS

CUSTOMER	MONTEJISON
AREA	SICILY
WELL NAME	MILA-5
TEST No.	DST22
DATE	01-03-70.

Fig. N. 31



MILA-5
SCHEMA OPERATIVO

- WELL STREAM
- GAS
- WATER
- OIL