



# MODELLO DINAMICO

AUTORE: S. CAMPOBASSO (GLAI)



## **INDICE**



2. MODELLO DINAMICO ED IPOTESI DI SVILUPPO	pag. 1
2.1. STORIA PRODUTTIVA	1
2.1.1. PRODUZIONE PRIMARIA	1
2.1.2. STOCCAGGIO	2
2.2. DATI DI PRESSIONE	4
2.3. CARATTERISTICHE PVT DEI FLUIDI	7
2.4. EROGABILITÀ	9
2.4.1. EROGABILITÀ DI POZZO ATTUALE	9
2.4.2. POSSIBILITÀ DI INCREMENTO DELL'EROGABILITÀ DI POZZO	11
2.4.3. POTENZIALITÀ DELLA CENTRALE	12
2.5. MODELLO DINAMICO	13
2.5.1. HISTORY MATCH	14
2.6. IPOTESI DI SVILUPPO	16
2.6.1. Caso base	16
2.6.2. Caso 1 con 6 work-over	17
2.6.3. Caso 2 con 6 work-over e 100% SBHP	17
2.6.4. Conclusioni	19



## **FIGURE**

- 1 Campo di Ripalta - Mappa del top strutturale del livello **A**
- 2 Campo di Ripalta - livello **A** - Andamento della produzione primaria
- 3÷25 Campo di Ripalta - livello **A** - pozzo \* - Andamento della produzione primaria
- 26 Campo di Ripalta - livello **A** - Andamento dello stoccaggio
- 27 Campo di Ripalta - livello **A** - Andamento della pressione statica
- 28 Campo di Ripalta - livello **A** - Andamento della pressione statica
- 29 Campo di Ripalta - livello **A** - Prova di interferenza (14-**18.12.1992**)
- 30 Campo di Ripalta - livello **A** - Andamento delle pressioni di testa / inverno **92-93**
- 31 Campo di Ripalta - livello **A** - zona Est - Andamento delle pressioni di testa / inverno **92-93**
- 32 Campo di **Ripalta** - livello **A** - zona Ovest - Andamento delle pressioni di testa / inverno **92-93**
- 33 Campo di **Ripalta** - livello **A** - Confronto tra le pressioni misurate e calcolate
- 34 Campo di Ripalta - livello **A** - Caso base - Curva di erogabilità
- 35 Campo di Ripalta - livello **A** - Caso 1 con **6** work-over - Curva di erogabilità
- 36 Campo di Ripalta - livello **A** - Caso **2** con **6** work-over e **100%SBHP** - Curva di erogabilità

## **TABELLE**



- 1      **Campo di Ripalta - Produzione primaria**
- 2      **Campo di Ripalta - Situazione pozzi al 30.6.1993**
- 3      **Campo di Ripalta - Coefficienti delle equazioni di flusso dei pozzi**
- 4      **Campo di Ripalta - Dati di erogabilità**

## 2. MODELLO DINAMICO ED IPOTESI DI SVILUPPO



### 2.1 STORIA PRODUTTIVA

#### 2.1.1. PRODUZIONE PRIMARIA

Il campo di Ripalta é stato sviluppato a partire dalla fine degli anni 40, in seguito alla perforazione del pozzo Ripalta 1 di scoperta, che ha individuato i seguenti livelli mineralizzati a gas: A - C - E - **F'** - **F** .

La produzione primaria del livello principale A é iniziata **nell'agosto** del 1949 con la perforazione, tra il 1949 e il 1952, di altri 29 pozzi (figura 1).

Di questi 30 pozzi soltanto 23 sono stati messi in produzione e cioè

**Ripalta 1 - 2 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 17 - 18 - 21 - 22 - 23 - 24 - 25 - 26 - 27**

mentre, degli altri 7, 4 (**R16, R19, R29, R30**) sono risultati sterili, 2 (**R20, R28**) sono stati aperti nei livelli superiori e un altro (**R3**) era incidentato.

La produzione primaria é continuata fino alla fine del **1966/inizio** del 1967, anno in cui il livello é stato convertito in stoccaggio.

Durante questo periodo il livello A ha prodotto complessivamente dai due **pool A<sub>1</sub>** e **A<sub>2</sub>** in cui é suddiviso **3477 MSm<sup>3</sup>**, con un recupero del 93% circa, essendo il GOIP pari a **3750 MSm<sup>3</sup>**, ripartiti come nella tabella 1. L'andamento della produzione totale e di ogni singolo pozzo é riportato nelle figure **2+25**. Come si può vedere, la produzione del livello ha subito un progressivo aumento fino al 1953 anno in cui é stato allacciato l'ultimo pozzo, **R27**, e quindi ha fatto registrare una diminuzione abbastanza costante dal 1957, dovuta al declino di pressione e **all'allagarsi** di molti dei pozzi marginali. Inoltre, la produzione di gas ha avuto dei picchi nei periodi invernali, per fare fronte alla maggiore richiesta.

Come detto, alcuni dei pozzi marginali inizialmente aperti nel livello A di Ripalta sono stati interessati della produzione di acqua per la risalita **dell'acquifero** e quindi sono stati ricompletati o nello stesso livello o in livelli superiori, come i pozzi **R1, R6, R13** e **R17** nel livello C e il pozzo **R23** nel livello **F''**.



Il pozzo R6 é stato poi adibito **allo** smaltimento di acqua nel 1971 e tuttora serve a questo scopo. Nel 1961 anche il pozzo R14 é stato adibito **allo** smaltimento di acqua, per poi essere chiuso **minerariamente** nel 1984.

I pozzi R15, R22 e R24 sono invece stati **utilizzati** come pozzi spia e attualmente solo il pozzo R24 svolge ancora questa funzione.

Infine é da notare che il pozzo R12 ha avuto problemi legati ad un'erosione causata dal fiume Serio.

In questa prima fase della storia del campo di **Ripalta** non é possibile separare la produzione del **pool A<sub>1</sub>** da quella del **pool A<sub>2</sub>** in quanto i pozzi erano stati completati su entrambi i **pool** del **livello A**. **Nell'Appendice** sono riportati i dati relativi al completamento dei pozzi.



### 2.1.2. STOCCAGGIO

Nel 1967 il livello A del campo di Ripalta é stato convertito in campo di stoccaggio, con la perforazione e la messa in servizio in fasi successive di 29 nuovi pozzi da quattro cluster secondo il seguente schema:

numero pozzi	cluster	anno di perforazione
3 (31÷33)	A	1967
4 (34,3941)	B	1979
4 (35÷38)	A	1981
6 (4348)	C	1983
6 (49÷54)	C	1986
6 (55÷60)	D	1989

Lo stoccaggio é così iniziato con 9 pozzi avendo recuperato a questo scopo i pozzi R5, R7, R9, R10, R18 e R27, i quali non avevano mai presentato problemi di acqua. Durante questo periodo, lo stock nel livello é arrivato ad un massimo di 1716  $\text{MSm}^3$  (Ottobre 1992), corrispondente ad una capacità di stoccaggio di 1989  $\text{MSm}^3$  e il suo andamento nel tempo é riportato in figura 26.

I pozzi perforati per lo stoccaggio sono stati completati inizialmente in modo convenzionale su entrambi i pool con tubing da 3"112, mentre i pozzi appartenenti ai cluster C e D sono stati completati quasi tutti in OHGP (**Open Hole Gravel Pack**) sul pool A2 con tubing da 5". Fanno eccezione i pozzi R46, R53, R54 e R60 che sono aperti anche sul pool A1 con un completamento ICGP (**Inside Casing Gravel Pack**). Nella tabella 2 é riportato in forma riassuntiva lo stato attuale di tutti i pozzi del campo di Ripalta.

Con i pozzi attualmente a disposizione il working gas massimo è pari a 1100  $\text{MSm}^3$ , con una portata di punta massima di 25.5  $\text{MSm}^3/\text{g}$ , data dalla capacità della centrale di trattamento..



## 2.2. DATI DI PRESSIONE

I dati di pressione utilizzati in questo studio sono quelli ricavati dall'interpretazione dei profili statici eseguiti durante la vita del giacimento.

La pressione originaria del livello è stata determinata secondo le ipotesi di studi precedenti e il suo valore risulta **pari a 184.9 kg/cm<sup>2</sup><sub>a</sub>**.

Nel periodo di produzione primaria la pressione registrata ha subito un declino pari a 134.5 kg/cm<sup>2</sup>, essendo passata dai 184.9 kg/cm<sup>2</sup><sub>a</sub> iniziali ad un minimo di 50.4 kg/cm<sup>2</sup><sub>a</sub> (datum = -1470 mlm) e il suo andamento è riportato in figura. 27. La correlazione tra la pressione statica di fondo pozzo e quella di testa è data dalla seguente retta:

$$\text{STHP} = 0.897 * \text{SBHP} - 0.3$$

Alla fine di questo primo periodo e prima della conversione a stoccaggio si è avuto anche un aumento di pressione di qualche kg/cm<sup>2</sup> a causa della drastica diminuzione di produzione e della spinta esercitata dall'acquifero.

Le pressioni di pozzo non si sono discostate molto dal valore medio calcolato per il livello, per cui il depletamento è avvenuto in maniera abbastanza uniforme.

Durante la successiva fase di stoccaggio la pressione statica di giacimento è passata dal valore di circa 53 kg/cm<sup>2</sup><sub>a</sub>, misurato **prima** dell'inizio dell'iniezione, ad un valore massimo di 167 kg/cm<sup>2</sup><sub>a</sub>, misurato con la campagna di profili **dell'ottobre** 1992, e il suo andamento è riportato in figura 28. La correlazione tra la pressione statica di fondo pozzo e quella di testa è data in questo caso dalla seguente retta:

$$\text{STHP} = 0.872 * \text{SBHP} + 1$$

Negli ultimi cicli sono state evidenziate delle differenze tra la pressione media del livello e le pressioni registrate nei pozzi R9 e R18 posizionati nella zona Est del campo, che risultano **più** basse alla fine dell'iniezione e mediamente **più** alte durante la produzione.

Tale comportamento è dovuto al fatto che:

- questi due pozzi sono completati in modo convenzionale, quindi con una bassa produttività e inoltre sono localizzati in una zona marginale del campo, in posizione isolata rispetto agli altri pozzi;



- la **trasmissibilità** della formazione non è molto elevata.

Per trovare conferma a queste due supposizioni e per valutare come interferiscono i pozzi tra di loro sono stati eseguiti **nell'inverno 92-93** una prova di interferenza ed un monitoraggio delle pressioni di testa in fase erogativa.

La prova di interferenza (vedere "Campo di Ripalta - **Monitoring** delle pressioni di testa pozzo", prot. **035/4312**), eseguita mettendo in erogazione prioritaria i pozzi **R57, R58, R59** ed **R60** e misurando sia i loro parametri erogativi ( $Q_{gas}$  e  $FTHP$ ) che la pressione statica di testa dei pozzi **R7, R10, R32** e **R40** ogni 4 ore e **R9** ogni 12 ore, ha **permesso** di ricavare i risultati riportati nella figura 29 e di trarre le seguenti conclusioni:

- tutti i pozzi interessati dalla prova, escluso il pozzo **R9**, subiscono, in seguito **all'erogazione** del campo di  $48.2 \text{ MSm}^3$ , un declino di pressione statica pari a  $5.5 \text{ kg/cm}^2$ : tale depletion è in buon accordo con il valore medio del campo (figura 29).
- Anche se il pozzo **R32** ha erogato durante la prova, i dati rilevati mostrano che nella zona Ovest del campo, in cui tale pozzo è localizzato, i valori di pressione sono più elevati, a causa del minor depletamento dovuto alla scarsa produttività dei pozzi.
- Dopo la chiusura, i pozzi **R10** e **R40** risentono di un aumento di pressione, più sensibile nel pozzo **R40** probabilmente perché è più vicino al pozzo **R59**.  
Il pozzo **R7** ha lo stesso comportamento dei pozzi **R10** e **R40**, anche se meno accentuato, vista la sua maggior distanza dai pozzi in erogazione.
- Il pozzo **R9**, che si trova ai margini della struttura, presenta **nell'arco** della prova, una  $STHP$  pressoché costante e, inoltre, il declino di pressione registrato durante il primo periodo di produzione risulta essere molto basso rispetto a quello registrato negli altri pozzi: il comportamento idraulico del pozzo **R9** è quindi differente da quello dei pozzi centrali.

I dati ricavati con il monitoraggio delle pressioni di testa pozzo, eseguito nel corso **dell'ultima** erogazione in tutti i pozzi con lo scopo di rilevare l'andamento e le eventuali differenze di pressione tra le zone del campo, sono riportati nelle figure 30 + 32.



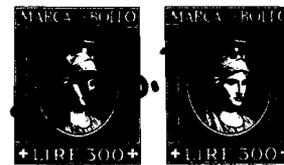
I dati di pressione misurati ad una stessa data sono molto dispersi e tendono ad **esserlo** in misura sempre maggiore man mano che prosegue l'erogazione del campo.

Considerando le due diverse zone Est e Ovest del campo (figure 31 e 32), si può notare che la zona Est (pozzi **R10**, R27, R34, R39, R40, R41, **R44**, R49, R50, R51, **R55**, R56, R57, R58, R59, **R60**), dove ci sono i pozzi con la miglior produttività, è mediamente più depletata della zona Ovest (pozzi R7, **R31**, R32, R33, R35, R36, R37, R38, R43, R45, R46, R47, R48, R52, R53, **R54**), anche se anche all'interno di queste zone sussistono ancora delle notevoli differenze di pressione ed in particolar modo in quella occidentale.

In base alle informazioni ricavate dalle misure effettuate nel ciclo invernale 92-93, si osserva che:

- nella zona Est, dove sono concentrati la maggior parte dei pozzi , il declino di pressione risulta abbastanza uniforme,
- mentre nella zona Ovest, dove i pozzi sono più distanziati tra di loro, le pressioni sono meno omogenee, per cui tale zona non è sfruttata in modo ottimale.

In conclusione, sembra esistere ancora un margine di miglioramento per quanto riguarda la produttività dei pozzi della zona occidentale.



### 2.3. CARATTERISTICHE PVT DEI FLUIDI

La mineralizzazione originaria del livello A del campo di Ripalta era costituita da un gas secco, le cui caratteristiche sono quelle del gas prelevato il 4.3.1959 a testa pozzo del pozzo R5 ("Bollettino d'analisi n. 19323") e sono le seguenti:

**Analisi centesimale (%)**  
(cromatografia)

<b>Metano</b>	<b>98.29</b>
Etano	0.47
Propano	0.24
i-Butano	0.02
n-Butano	0.02
i-Pentano	tracce
n-Pentano	assente
Azoto	0.94
Anidride Carbonica	0.02

**Gas Gravity = 0.5631 (aria=1)**

Durante la fase di stoccaggio la mineralizzazione è cambiata, risultando più ricca di componenti pesanti e le caratteristiche del gas attuale sono state assunte pari a quelle del gas prelevato il 14.2.1989 a testa pozzo del pozzo R50 ("Bollettino n. 90189 LACH (gas)") e sono le seguenti:

**Analisi centesimale (%)**  
(cromatografia)

<b>Metano</b>	<b>95.41</b>
Etano	1.96
Propano	0.53
I-Butano	0.079
N-Butano	0.12
Neo-Butano	0.002
i-Pentano	0.032
n-Pentano	0.031



Esani +	0.062
Azoto	1.61
Anidride Carbonica	0.16
Idrogeno Solforato	-

**Densità = 0.5839** (aria=1)

Le caratteristiche generali rappresentative dell'acqua di strato del campo di Ripalta sono quelle determinate sul campione prelevato l'11.7.1985 nel pozzo R22 ("Bollettino n. 257185 CIFL (gra)") e sono le seguenti:

**Peso specifico a 15°C = 1.0302**  
**pH a 20°C = 7.01**  
**Salinità come NaCl = 44 g/l**



## 2.4. EROGABILITA'

### 2.4.1. EROGABILITA' DI POZZO ATTUALE

L'erogabilità dei pozzi di Ripalta - Pool **A** attualmente in esercizio è stata ricavata sulla base dei dati sia di testa che di fondo misurati in varie prove di produzione e i valori dei coefficienti delle equazioni di flusso sono riassunti in tabella 3.

Le ultime prove sono state eseguite nel Gennaio 1993 e la loro analisi ed interpretazione è riportata nella relazione DICR/CEPR/INP 3/93 del 3.1993 "Campo di Ripalta - Pozzi 59 e 46 - Interpretazione della prova di produzione eseguita nel periodo 16-18.01.1993".

I principali risultati ottenuti sono:

	pozzo 46	pozzo 59
SBHP (kg/cm <sup>2</sup> <sub>a</sub> ) @ 1450.9 mlm	—	128.4
SBHP (kg/cm <sup>2</sup> <sub>a</sub> ) @ 1470.0 mlm (datum)	—	128.6
Kh (mDm)	—	2705.8
K (mD)	—	108
Skin totale S	—	0.74
A	—	5.704*10 <sup>-4</sup>
B	—	1.214*10 <sup>-9</sup>
C	11771.1	9707.7
n	0.510	0.556

Poichè la prova nel pozzo R46 ha avuto degli inconvenienti tecnici, i coefficienti delle equazioni di flusso di testa non sono stati considerati significativi, per cui sono stati considerati validi quelli **determinati** con la prova del 1989.



I coefficienti delle equazioni di flusso di testa del pozzo R59 sono stati ritenuti **validi** per tutti i pozzi del Cluster D, che non erano mai stati provati in precedenza.

I coefficienti delle equazioni di flusso di testa dei pozzi isolati e di quelli dei Cluster A, B e C sono stati ricavati dalle prove di erogazione degli anni 1986 e 1989.

I coefficienti dei pozzi R7, R9, R10, R18 e R27 sono stati posti uguali a quelli del pozzo R5 e i coefficienti dei pozzi R34, R39, R40 e R41 sono pari ad una media dei coefficienti degli altri pozzi del Cluster A. Infatti, per questi pozzi non esistono prove di testa attendibili e quindi si fa riferimento a pozzi con completamenti simili.

La massima portata **erogabile**, riportata in tabella 3, è stata calcolata considerando una STHP pari  $146.3 \text{ kg/cm}^2_r$  valore misurato **all'inizio** del ciclo di erogazione, quando il campo è pieno.

In base ai dati della tabella si osserva che, a parità di  $A_p$ , la massima portata ottenibile con un completamento tradizionale è circa  $2/3$  di quella di un completamento in **gravel pack**.

Inoltre, poichè i pozzi più vecchi, tradizionali, hanno la portata limitata per problemi di sabbia, si mantiene pari a circa  $300 \text{ KSm}^3/\text{g}$ .



#### **2.4.2.POSSIBILITA' DI INCREMENTO DELL'EROGABILITA' DI POZZO**

In base alle considerazioni sopra esposte **sull'erogabilità** attuale dei pozzi del campo di Ripalta e alla distribuzione delle pressioni durante la fase erogativa, precedentemente analizzata, che mostra un minor depletamento nella zona Ovest del campo dove sono localizzati la maggior parte dei pozzi vecchi, si è deciso di comune accordo con DICR di ricompletare in OHGP sei dei pozzi convenzionali e precisamente i pozzi R5, R27, R35, R36, R38 e R41.

La scelta di tali pozzi è stata dettata sia da considerazioni legate alla dinamica del reservoir che da considerazioni di carattere tecnico. Infatti, i pozzi indiziati dovevano essere sufficientemente distanti dagli altri da non interferire con essi durante la fase erogativa e inoltre dovevano essere completati in modo tale da poter eseguire il **work-over**.

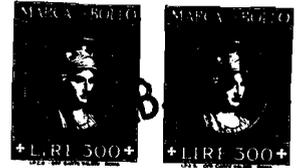
La scelta di eseguire dei work-over per incrementare la produttività del campo è stata condizionata dal fatto che esistono limitazioni ambientali e tecniche alla perforazione di nuovi pozzi di **infilling**.

Infatti, poichè il campo di Ripalta si trova localizzato **nell'area** del fiume Serio, che è un'area protetta, è difficile riuscire ad ottenere nuovi **permessi** di perforazione nella zona Est dei pozzi R9 e R18.

Le limitazioni tecniche sono invece dovute ai seguenti problemi:

- nella zona di culmine, la spaziatura tra i pozzi è già molto ridotta e non dà quindi adito alla realizzazione di nuove perforazioni.
- In zone marginali, esiste un'incertezza sulla reale capacità erogativa dei pozzi che potrebbe non apportare un oggettivo incremento della produttività del campo. Inoltre, **c'è** un'alta probabilità di innescare fenomeni di coning durante i cicli di emergenza, essendo zone più vicine al contatto attuale gas-acqua.

I coefficienti dell'equazione di flusso di testa di tali pozzi dopo work-over sono stati posti pari a quelli ricavati per il pozzo R59, che danno un valore medio di portata.



### **2.4.3.POTENZIALITA' DELLA CENTRALE**

La centrale di trattamento di **Ripalta** è attualmente in grado di trattare teoricamente **25.5 MSm<sup>3</sup>**, avendo la seguente configurazione:

- 2 colonne da **3.0 MSm<sup>3</sup>/g** con **p<sub>b</sub> = 72.53 bar**
- 2 colonne da **3.0 MSm<sup>3</sup>/g** con **p<sub>b</sub> = 74.48 bar**
- 3 colonne da **4.5 MSm<sup>3</sup>/g** con **p<sub>b</sub> = 78.50 bar**

Sulle colonne sono installati degli allarmi e dei blocchi che, per ragioni di sicurezza, si attivano automaticamente al raggiungimento di un valore di pressione minimo.

Nel caso delle colonne da **3.0 MSm<sup>3</sup>/g**, gli allarmi e i blocchi sono **settati** rispettivamente a **67 e 69 bar**, mentre nel caso delle colonne da **4.5 MSm<sup>3</sup>/g** i blocchi sono **settati** a **73.5 bar**, con conseguenti problemi di esercizio ad alte portate.

Vista la limitazione di portata dovuta alla potenzialità della centrale e considerati i problemi che si possono verificare ad alte portate per le caratteristiche delle colonne, la portata dei pozzi completati in GP viene limitata a circa **1200 KSm<sup>3</sup>/g**.



## 2.5. MODELLO DINAMICO

Lo studio dinamico del livello **A** del campo di Ripalta è stato effettuato mediante un modello **monocella**, che per la simulazione del comportamento del giacimento utilizza l'equazione di bilancio materiale.

La revisione stratigrafica ha fornito la mappa strutturale del top dei due **pool A<sub>1</sub>** e **A<sub>2</sub>**, in cui è suddiviso il livello di stoccaggio, sulla cui base è stato determinato l'andamento del volume poroso in funzione dell'altezza utilizzato in input al modello, mentre il valore di N/G è relativo al singolo pozzo.

I **pool A<sub>1</sub>** e **A<sub>2</sub>** sono stati considerati in comunicazione idraulica tra di loro e quindi come un unico corpo produttivo, in quanto l'argilla di separazione fa solo parziale tenuta.

La permeabilità del livello, praticamente costante **sull'intera** area del giacimento, è buona ed è stata assunta pari a **88 mD**, che è un valore medio ricavato dall'interpretazione della prove di produzione.

In base alla composizione del gas iniziale prodotto dal livello **A** di Ripalta è stato ricavato l'andamento del fattore di comprimibilità  $z$  in funzione della pressione  $p$  e il valore della viscosità  $\mu$  del gas, pari a **0.0175 cp** alla **SBHP<sub>i</sub>**.

I valori di saturazione iniziale in acqua e di saturazione critica di gas sono stati determinati in base **all'analisi** dei log e alle prove sulle carote e sono pari a:

$$S_{wi} = 0.20$$

$$S_{gc} = 0.18$$

I dati relativi **all'equilibrio** iniziale sono:

SBHP <sub>i</sub> (kg/cm <sup>2</sup> <sub>a</sub> ) (@ datum = -1470 mlm)	184.9
BHT (°C)	327.0
GWC <sub>i</sub> (mlm)	1518.0



### 2.5.1. HISTORY MATCH

La ricostruzione del comportamento dinamico del livello A del campo di Ripalta, riportata figura 33, mostra l'attendibilità dei dati calcolati in confronto a quelli misurati, specialmente durante la produzione primaria e negli ultimi anni dello stoccaggio, dal 1988 in poi.

L'errore che si commette approssimando il comportamento reale con quello simulato ai fini delle previsioni future è quindi trascurabile.

Il declino di pressione permette di individuare le caratteristiche dell'acquifero, che è di medie dimensioni e dotato di una certa inerzia.

Il meccanismo di produzione è perciò di tipo water drive, anche se la spinta esercitata dall'acquifero non è molto forte.

Le caratteristiche dell'acquifero sono confermate anche dal comportamento dei pozzi: infatti solo i pozzi marginali hanno avuto problemi di produzione di acqua.

Il modello **monocella**, individuato per simulare la vita produttiva del campo, rappresenta quindi un sistema giacimento-acquifero contraddistinto dai seguenti parametri:

Re (ad)	9
Td (1/giorni)	0.023
C (m <sup>3</sup> /kg/cm <sup>2</sup> )	4000

e ha permesso di stimare il gas originariamente in posto, pari a:

$$GOIP = 3750 \text{ MSm}^3$$

Tale valore è in buon accordo con quello ricavato dall'analisi volumetrica.



Durante la fase di stoccaggio si è riscontrata una diminuzione dei volumi di giacimento in gioco, poichè i cicli di iniezione ed erogazione interessano principalmente il livello **A2** (con caratteristiche **petrofisiche** migliori). Infatti, la maggior parte dei pozzi nuovi, tutti di culmine, è completata in GP sul livello A<sub>2</sub> con produttività pari a circa 3 volte quelle dei pozzi più vecchi e quindi si ha movimento di fluidi soprattutto nella zona da loro coinvolta.

Inoltre, poichè i pozzi di stoccaggio sono tutti concentrati nella zona di culmine, la pressione misurata non rappresenta la pressione media di giacimento, ma quella della zona di stoccaggio, circoscritta ai cluster.



## 2.6. IPOTESI DI SVILUPPO

L'analisi della storia produttiva del livello A del campo di Ripalta ha permesso di simulare lo sviluppo di tale campo di stoccaggio, in base alle seguenti condizioni erogative iniziali:

- Coefficiente di Utilizzo C.U. = 1
- FTHP<sub>min 1</sub> = 75 kg/cm<sup>2</sup>
- FTHP<sub>min 2</sub> = 45 kg/cm<sup>2</sup>
- ΔTHP<sub>max</sub> = 20%
- Q<sub>min</sub> di pozzo = 1000. Sm<sup>3</sup>/g
- Q<sub>min</sub> di campo = 1500. KSm<sup>3</sup>/g
- No limitazioni per water coning
- Limitazioni della portata dei pozzi completati in convenzionale a 300 KSm<sup>3</sup>/g per sabbia
- Limitazioni cautelative della portata dei pozzi completati in GP a 1200 KSm<sup>3</sup>/g per resistenza meccanica del gravel pack stesso.

Il primo caso simulato (caso base) è stata una previsione del comportamento del giacimento nel ciclo di erogazione relativo all'inverno 93÷94, in base alle condizioni attuali di erogazione.

Dopo di che si sono fatte due ipotesi di sviluppo:

- 1) mediante l'incremento della capacità erogativa del campo, per vedere come migliorano le caratteristiche di stoccaggio in termini di portata (caso 1 con 6 work-over)
- 2) mediante l'aumento di stock fino alla SBHP<sub>in</sub>, per cercare di incrementare l'efficienza dello stoccaggio (caso 2 con 6 work-over e 100% SBHP).

### 2.6.1. Caso base

La simulazione del caso base è avvenuta dopo aver ricostituito il giacimento fino ad una pressione massima pari a ~170 kg/cm<sup>2</sup><sub>a</sub>.



L'erogazione semestrale è stata quindi simulata considerando i pozzi allo stato attuale, cioè in base alle loro attuali equazioni di flusso, riportate in precedenza (tabella 3).

I risultati ottenuti sono sintetizzati in tabella 4 e le curve di erogabilità a svasso di regime e a svasso di emergenza sono rappresentate in figura 34.

### **2.6.2. Caso 1 con 6 work-over**

La prima ipotesi si basa sulla ricostituzione del giacimento fino alla pressione massima finora registrata durante lo stoccaggio, pari a  $-170 \text{ kg/cm}^2_a$ .

Lo svasso avviene quindi incrementando la capacità erogativa del campo mediante l'incremento di portata dei pozzi R5, R27, R35, R36, R38 e R41, le cui caratteristiche produttive sono state poste pari a quelle del pozzo R59.

Una volta ottenuto questo primo risultato, sono stati realizzati 10 cicli con working gas pari a  $615 \text{ MSm}^3$  e stock massimo costante, per vedere come varia la potenzialità del campo nel tempo.

Poiché, però, nelle condizioni considerate il campo ha ormai raggiunto la stabilizzazione, tale potenzialità rimane invariata.

I risultati ottenuti sono sintetizzati in tabella 4 e le curve di erogabilità a svasso di regime e a svasso di emergenza sono rappresentate nella figura 35.

### **2.6.3. Caso 2 con 6 work-over e 100% SBHP**

La seconda ipotesi si basa invece sull'aumento della massima pressione di esercizio fino al 100% della pressione statica iniziale, cioè fino a  $184.9 \text{ kg/cm}^2$ , che rappresenta il limite ammesso dalla legge.

Lo svasso avviene poi considerando l'erogabilità dei pozzi come quella del caso 2.

Ottenuto il risultato della prima erogazione, il campo è stato chiuso alla massima pressione per un tempo tale da raggiungere le condizioni di equilibrio e quindi è stato riempito di nuovo alla  $\text{SBHP}_{in}$ .



In queste condizioni sarebbe teoricamente possibile aumentare lo stock di 515 MSm<sup>3</sup>; il valore reale sarà pertanto compreso tra i due limiti individuati di -2030 e -2550 MSm<sup>3</sup>.

I risultati ottenuti sono sintetizzati in tabella 4 e le curve di erogabilità a svasso di regime e a svasso di emergenza sono rappresentate nella figura 36.



#### 2.6.4. Conclusioni

Al 31.10.1993 lo stock realizzato nel campo di **Ripalta** è pari a 1750  $\text{MSm}^3$  con una  $\text{STHP}$  di  $-150 \text{ kg/cm}^2$ .

Il **working gas** ottenibile senza ricompressione ( $\text{FTHP}_{\min}=75 \text{ kg/cm}^2$ ) è di 1100  $\text{MSm}^3$ , mentre andando ad una  $\text{FTHP}_{\min}$  di  $45 \text{ kg/cm}^2$  sarebbero teoricamente producibili ulteriori 420  $\text{MSm}^3$ .

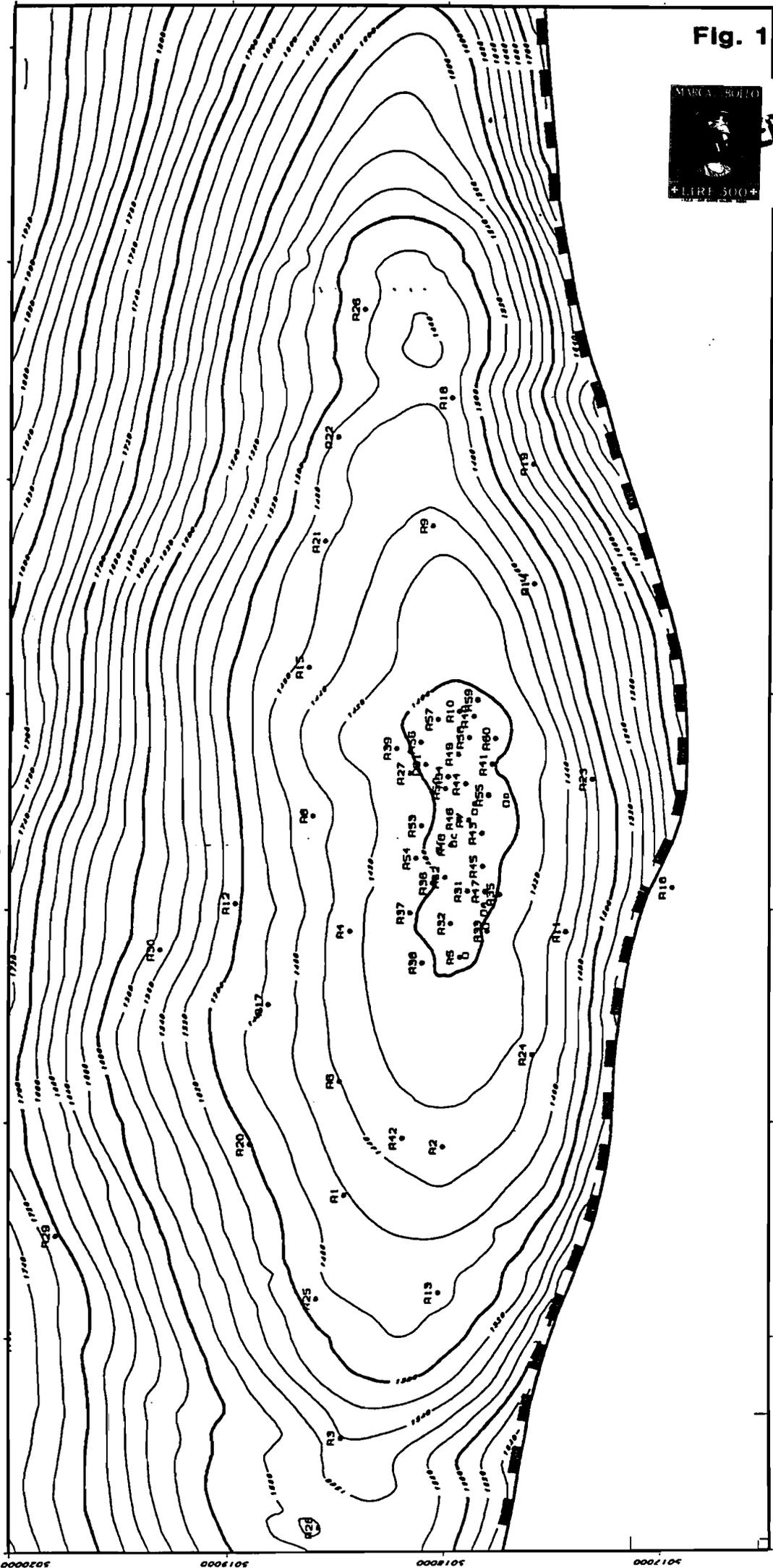
La pressione minima di  $45 \text{ kg/cm}^2$  non è mai stata raggiunta e quindi sono prevedibili dei problemi di esercizio del campo in tali condizioni. I pozzi marginali verrebbero infatti interessati **dall'arrivo** del fronte di acqua con conseguenze **sull'erogabilità** del campo e sulle sue prestazioni future. Il **working** massimo di 1520  $\text{MSm}^3$  è pertanto da considerarsi come un valore di emergenza non raggiungibile in un normale esercizio.

E' possibile aumentare i volumi producibili dal campo aumentando la pressione massima di esercizio, raggiungendo il valore della  $\text{SBHP}$  iniziale di  $185 \text{ kg/cm}^2$ . In tali condizioni si può prevedere uno stock massimo di 2030  $\text{MSm}^3$  con una  $\text{STHP}$  di circa  $162 \text{ kg/cm}^2$ .

Il **working gas** ottenibile in un **normale** esercizio del campo sarebbe in questo caso pari a 1380  $\text{MSm}^3$ , mentre quello ottenibile in condizioni di emergenza sarebbe pari a 1800  $\text{MSm}^3$ .

Per quanto riguarda i principali parametri di erogabilità, attualmente è realizzabile una portata di punta di  $26.5 \text{ MSm}^3/\text{g}$  con una  $\text{STHP}_{\max}$  di  $150 \text{ kg/cm}^2$ , valore che aumenterebbe a  $31.0 \text{ MSm}^3/\text{g}$  dopo l'operazione di work-over e a  $33.0 \text{ MSm}^3/\text{g}$  con una  $\text{STHP}_{\max}$  di  $162 \text{ kg/cm}^2$  qualora si potesse esercire il campo fino alla  $\text{SBHP}_{\max}$  uguale alla  $\text{SBHP}_{\text{in}}$ .

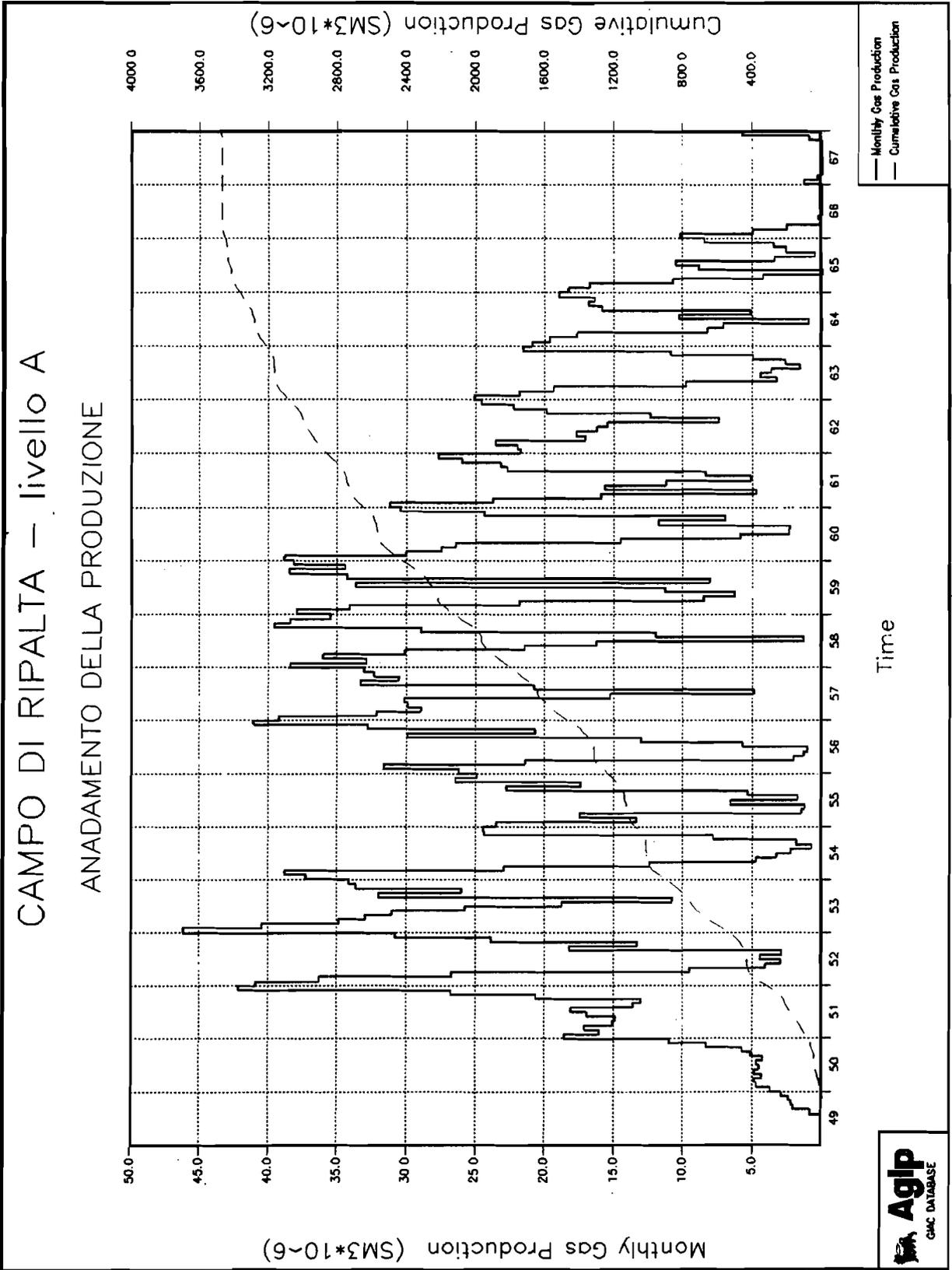
**CAMPO DI RITALTA**  
**MAPPA TOP S'RIITTURALE LIVELLO A**  
**SI ALA " :25000**



**Fig. 1**

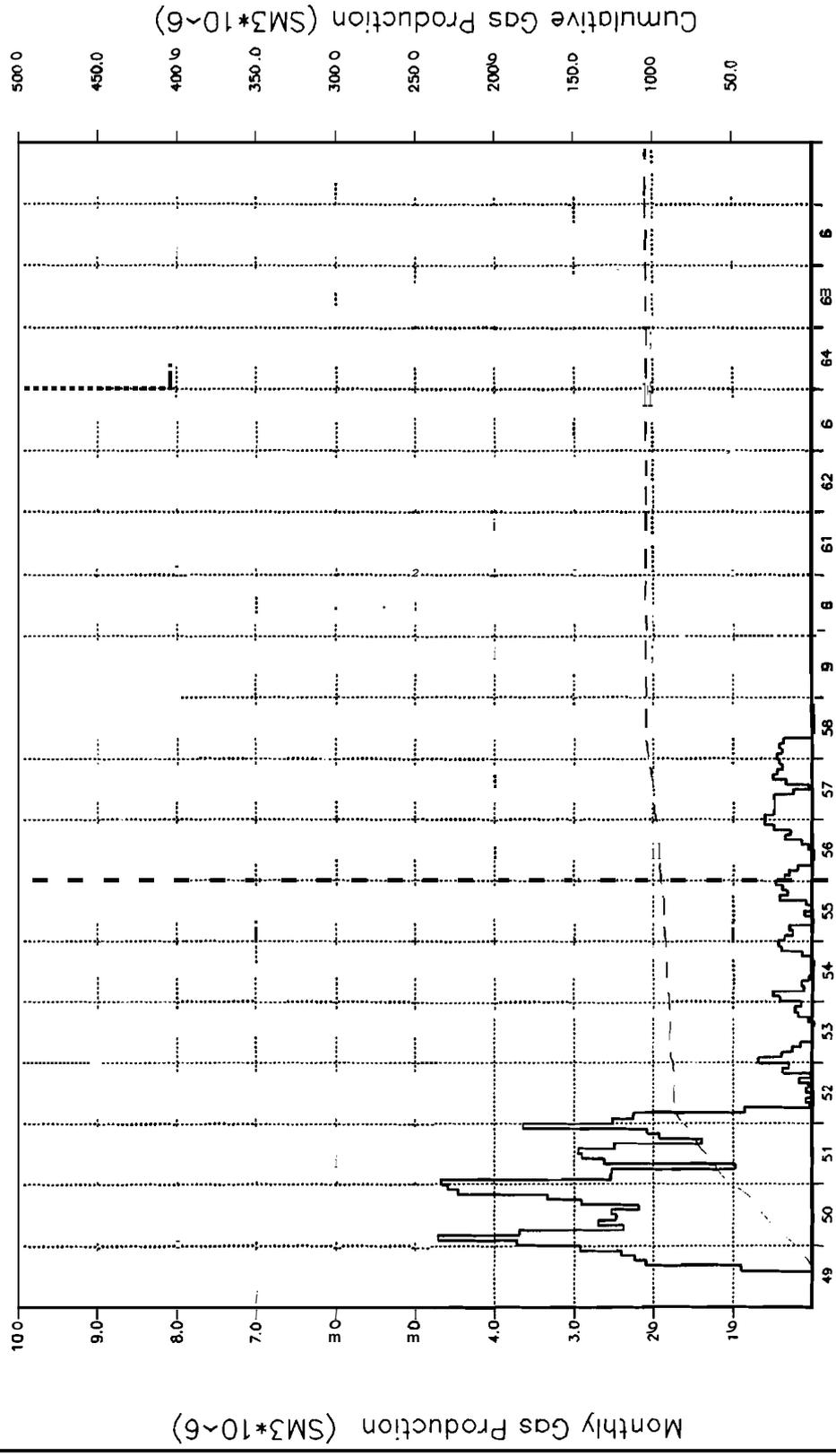


Fig. 2



# COMPO DIR P QLT A - I M S I O A - P O Z Z O 1

ANDAM E I T D E U L A P R D U Z I O N E P R I M A R I A



— Monthly Gas Production  
 - - - Cumulative Gas Production

Time



Fig. 3

# CAMPO DI RIPALTA - livello A - pozzo 2

## ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE PRIMARIA

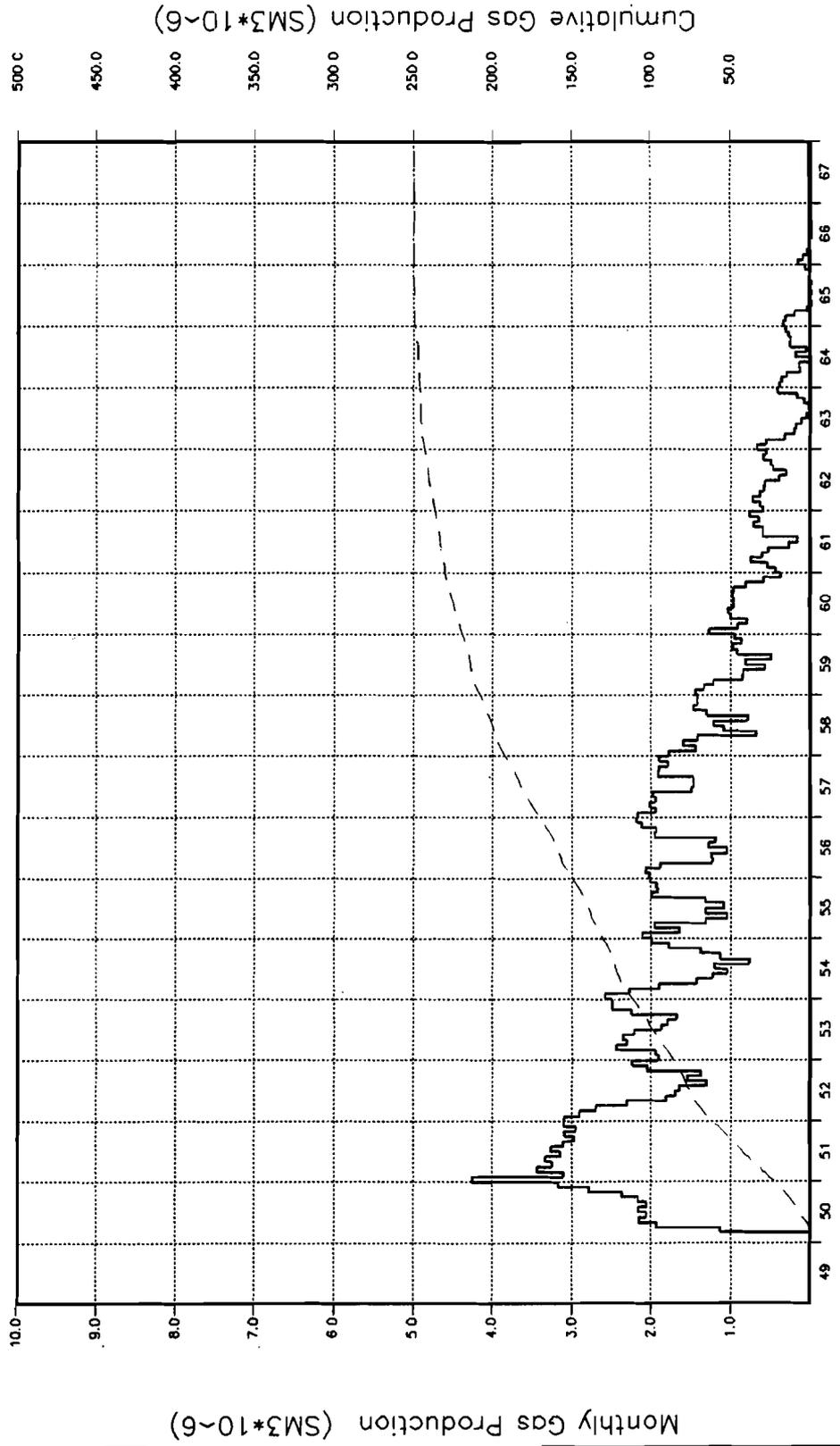
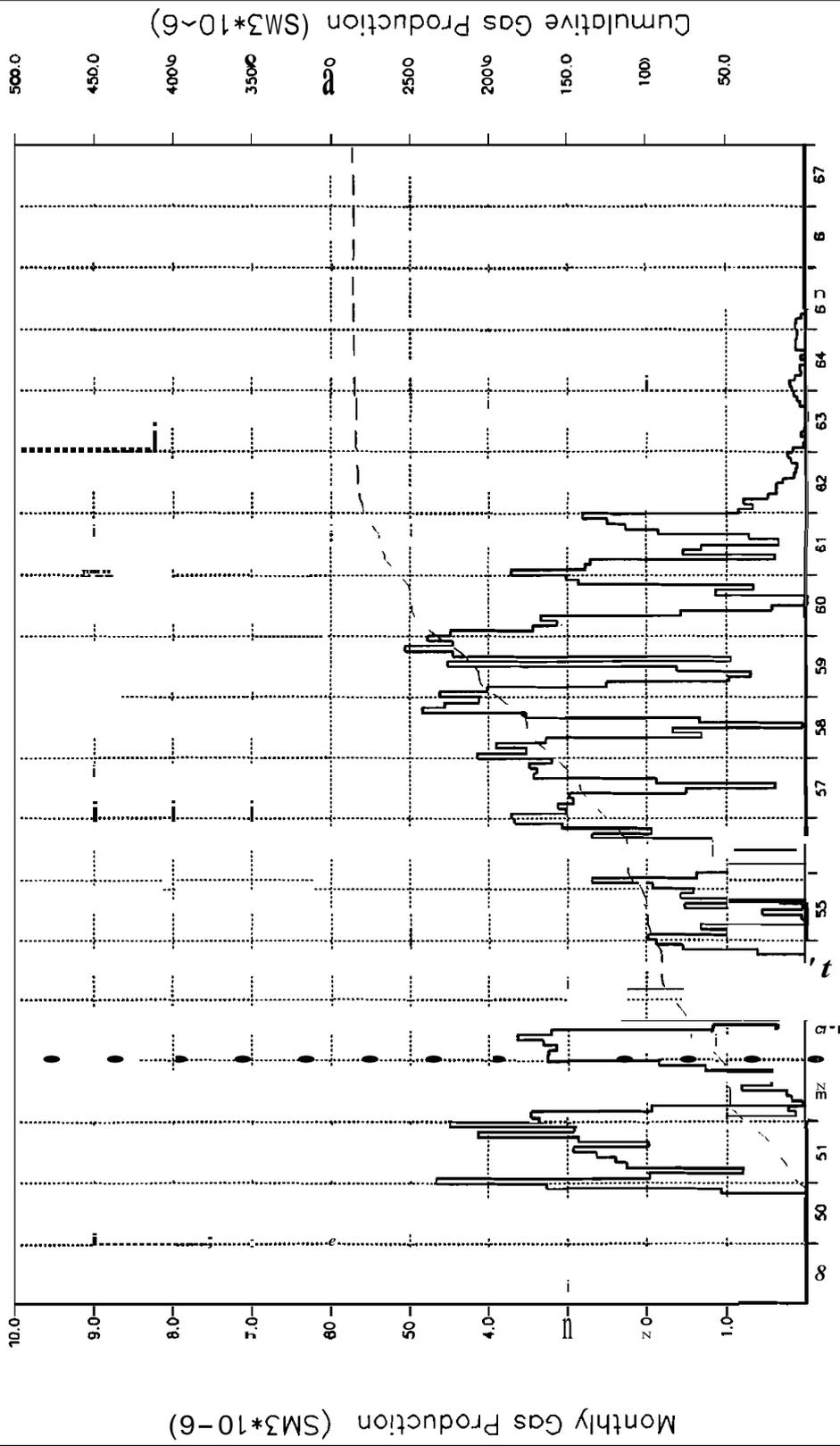


Fig. 4

COMPO DIR IPOL 4 - Iiv b A - p ozzo 4

ANZ ENTO DEU PRODUZIO E PRIM RA



Monthly Gas Production  
Cumulative Gas Production

Time

X

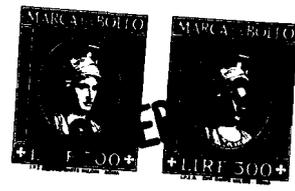


Fig. 5

# CAMPO DI RIPALTA – livello A – pozzo 5

## ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE PRIMARIA

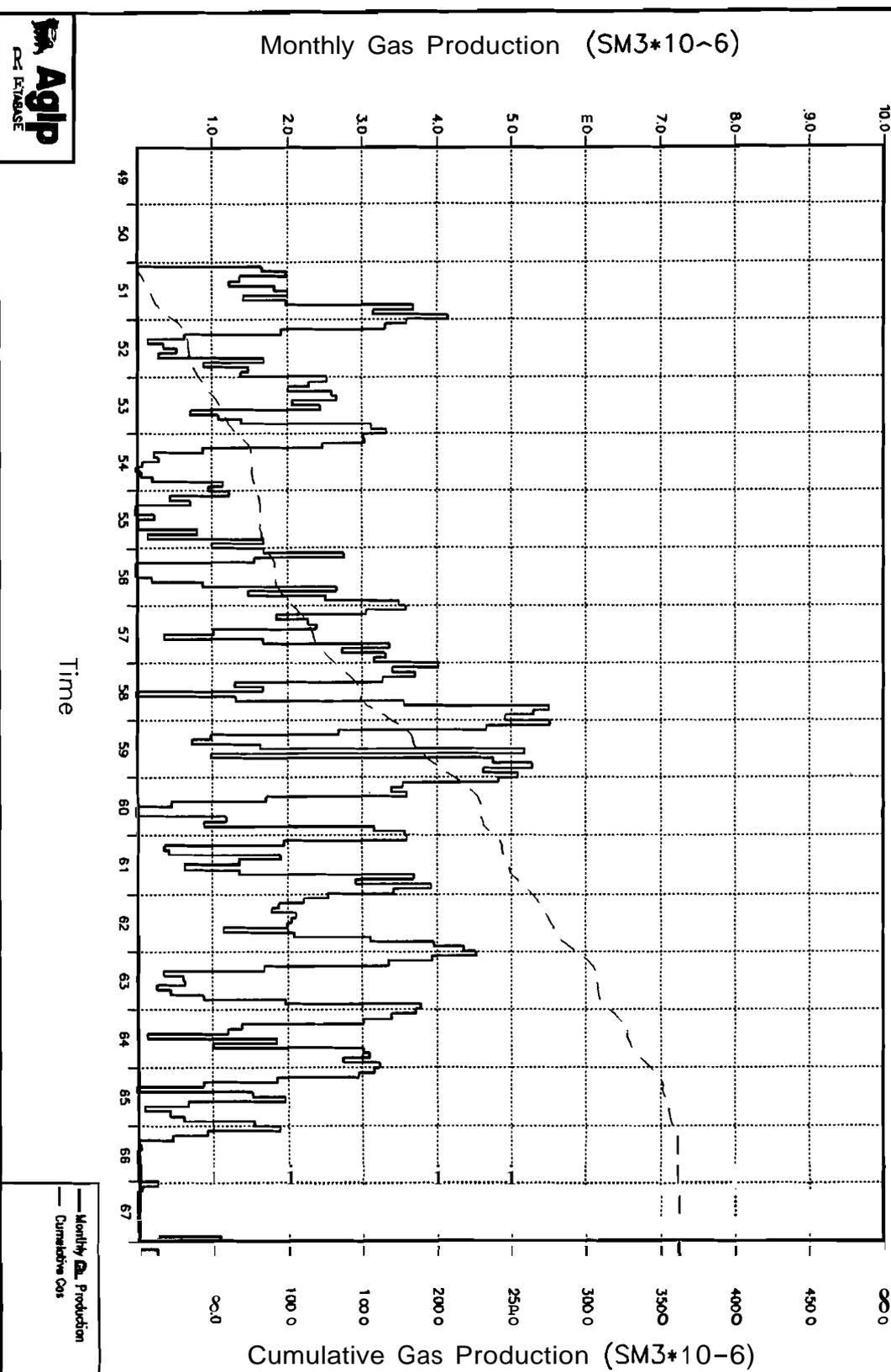
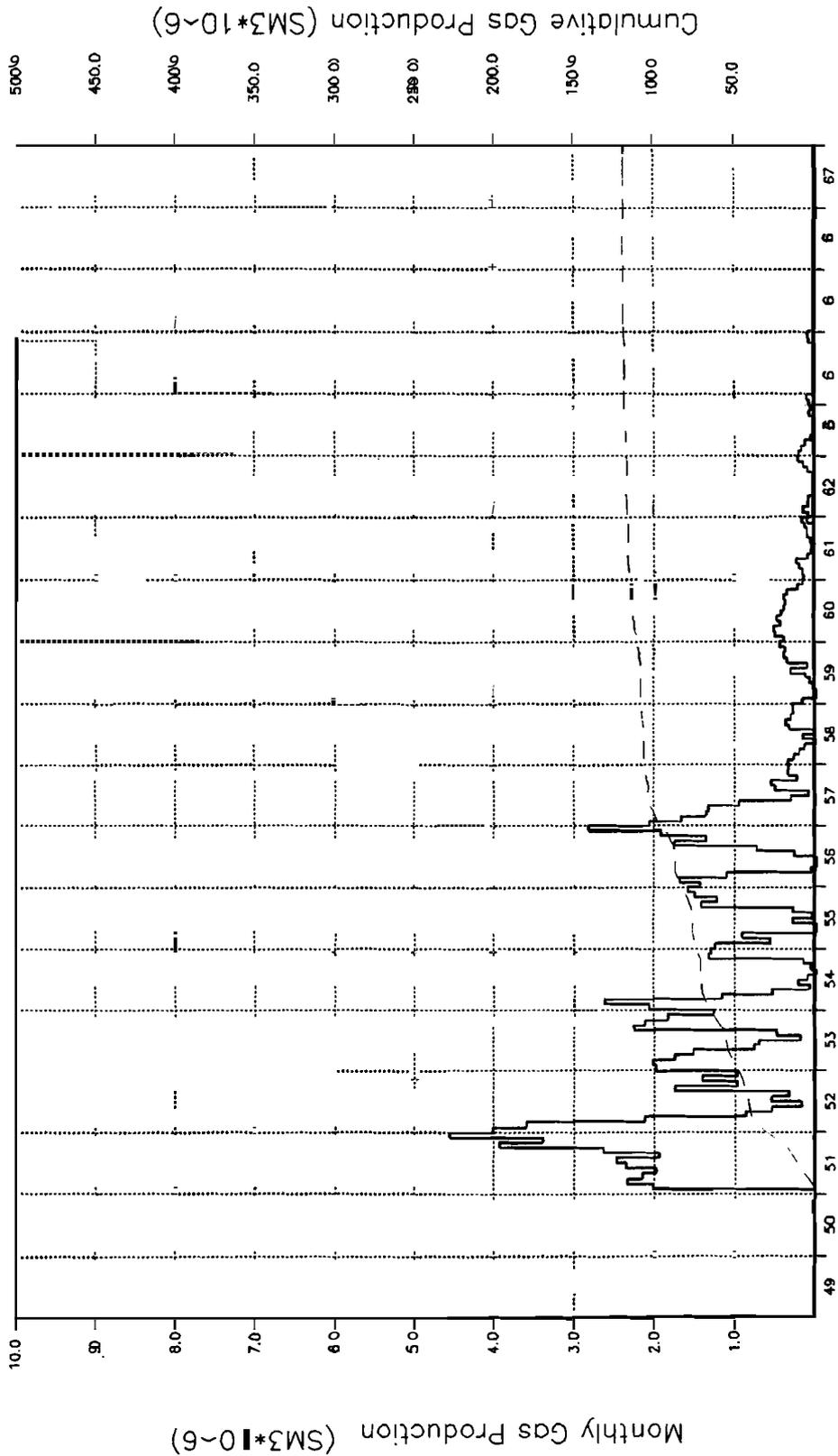


Fig. 6

# CAMPODI IDAL - LINEA - BOZZO 6

ANIMATO DELTA PRODUZIONE I RIMARRA



Produzione  
 Produzione Cumulata

Time



Fig. 7

Fig. 8

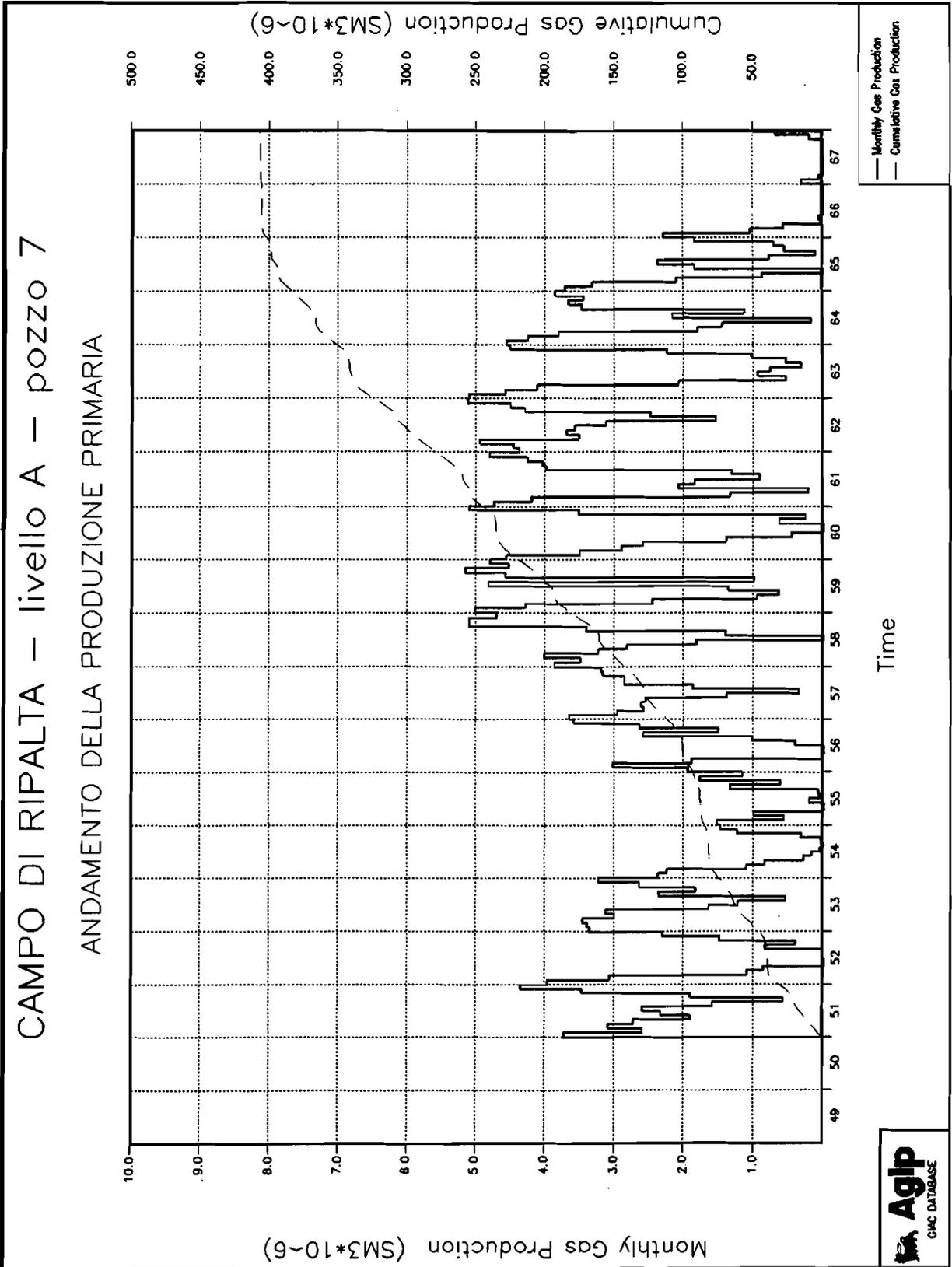


Fig. 9

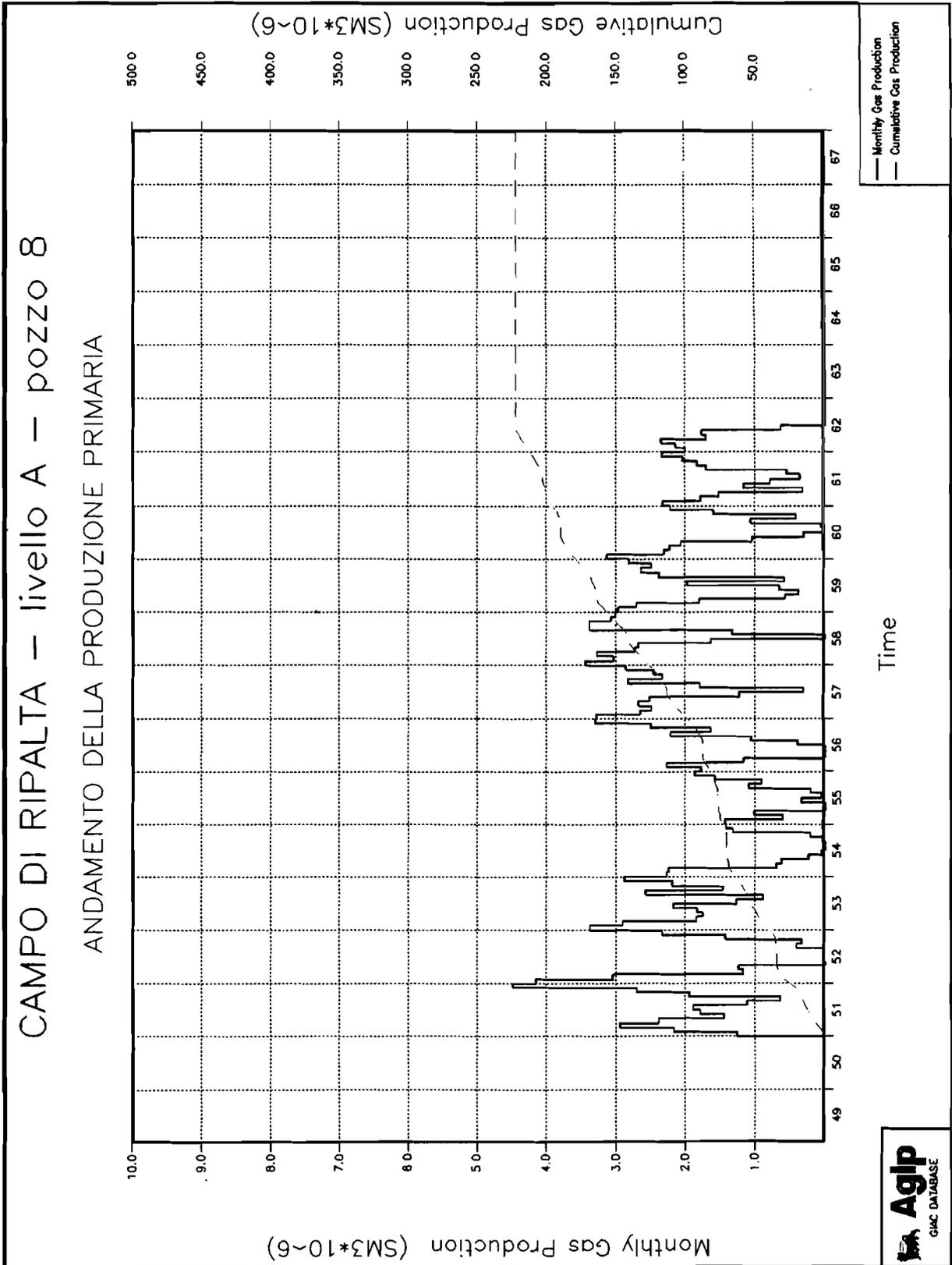
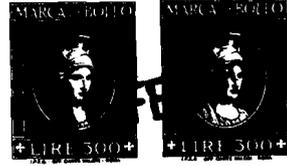


Fig. 10



# CAMPO DI RIPALTA - livello A - pozzo 9

## ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE PRIMARIA

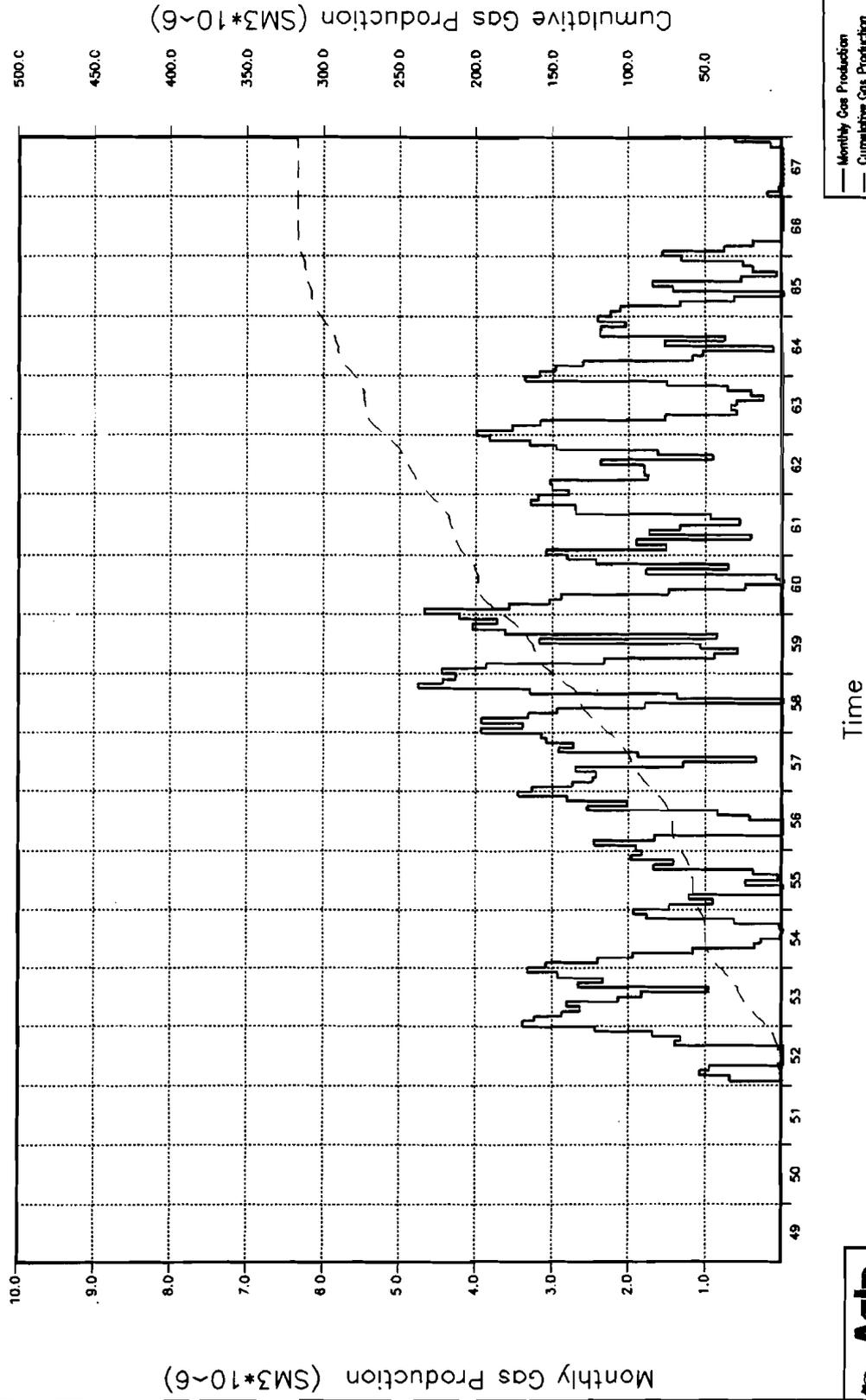
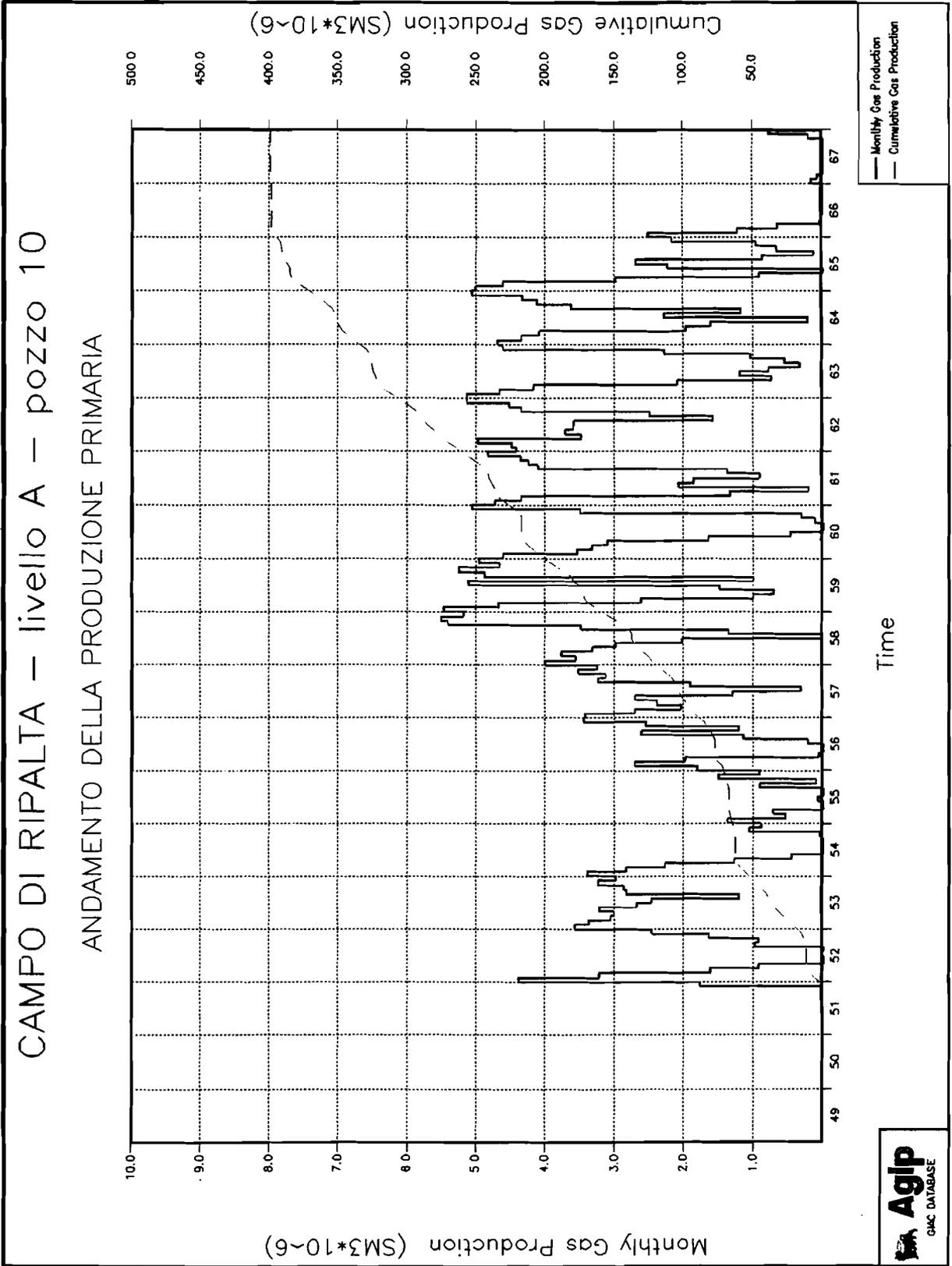


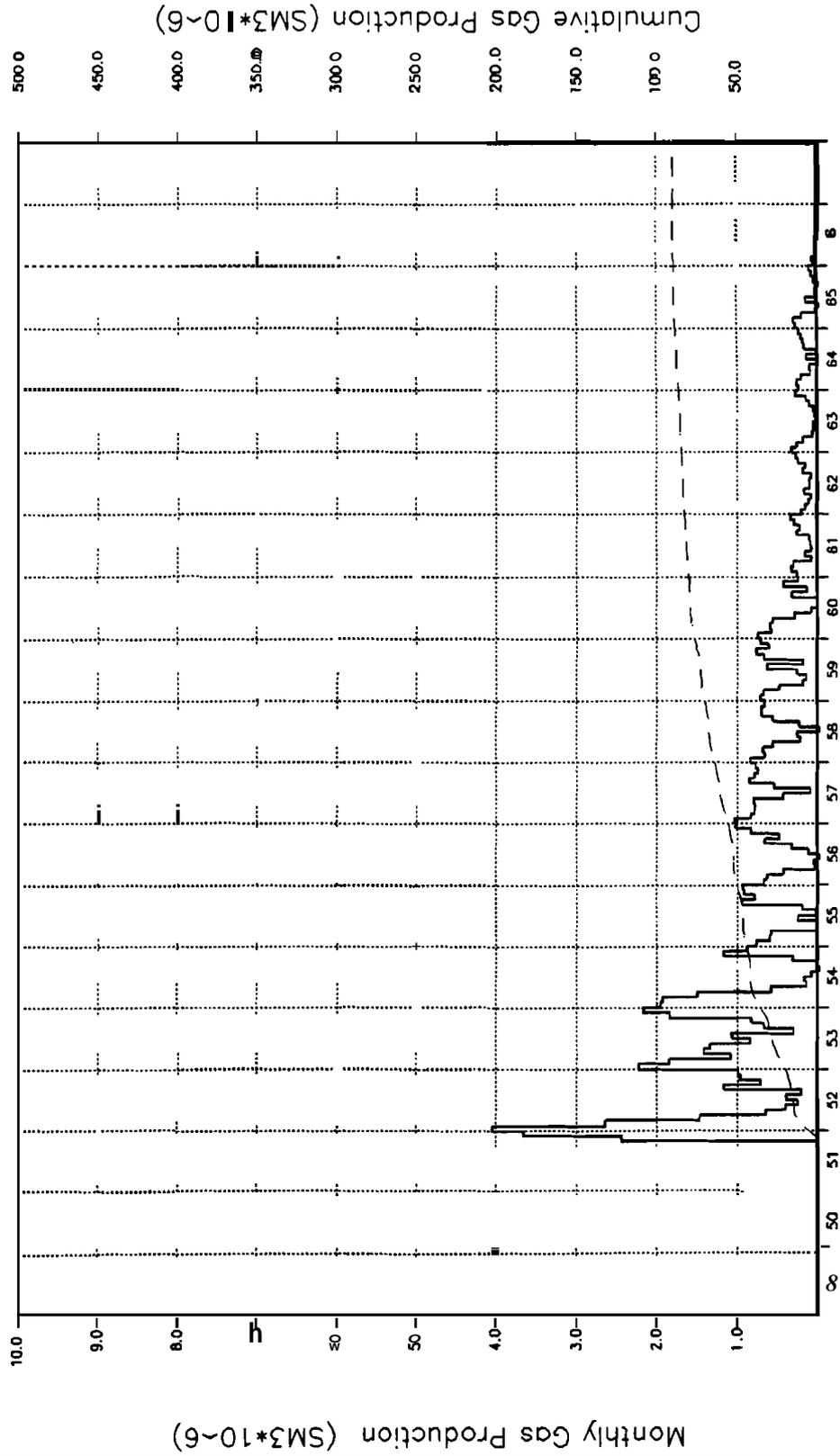
Fig.11





COMPO DI R'ALTO - livello 0 - 00 ZO +1

ANDAMEN O DELTA ORD UZIONE PRIMARA



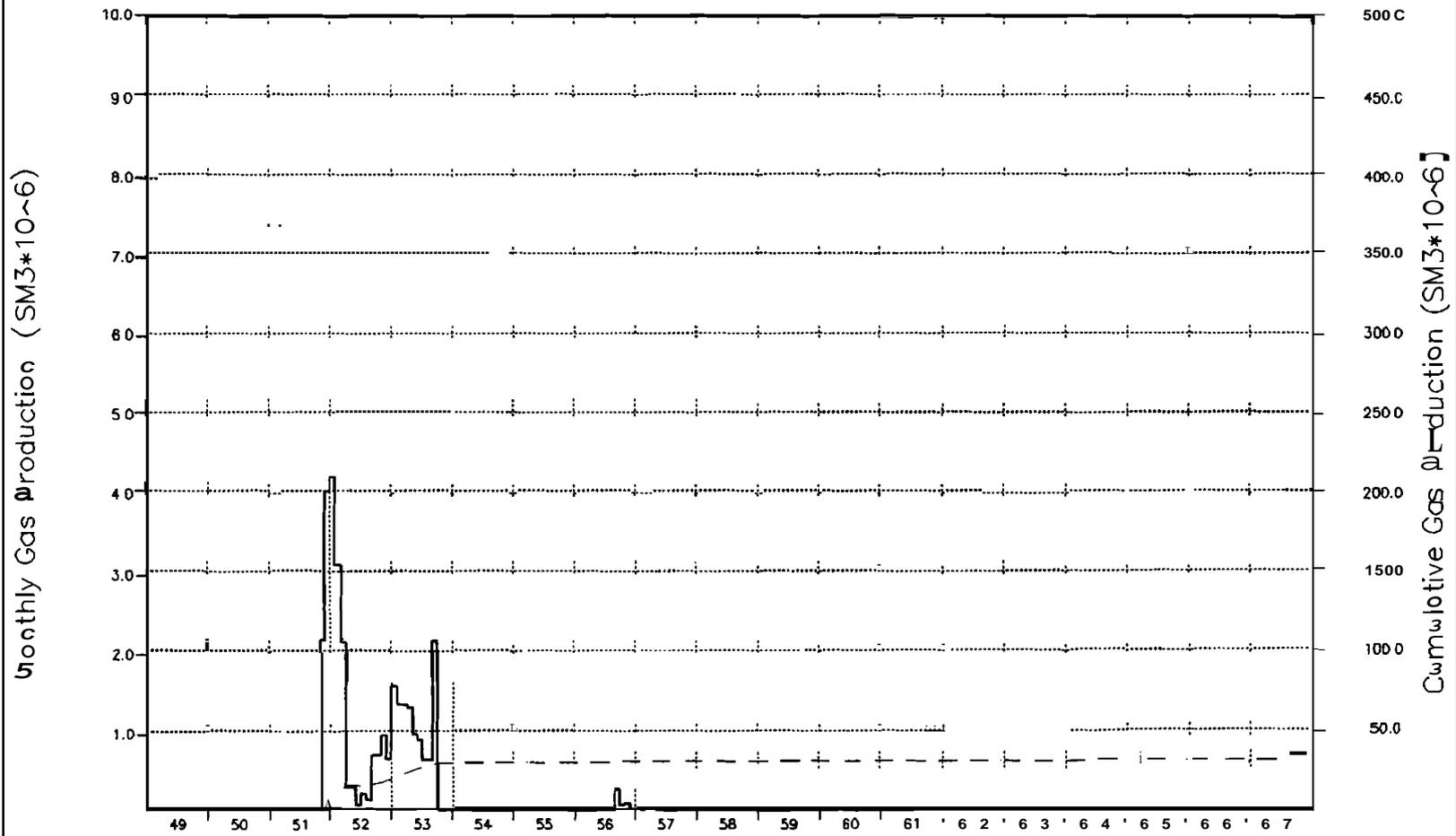
— Monthly Gas Production  
 - - - Cumulative Gas Production

Time



# CAMPO DI RIPALTA – livello A – pozzo 12

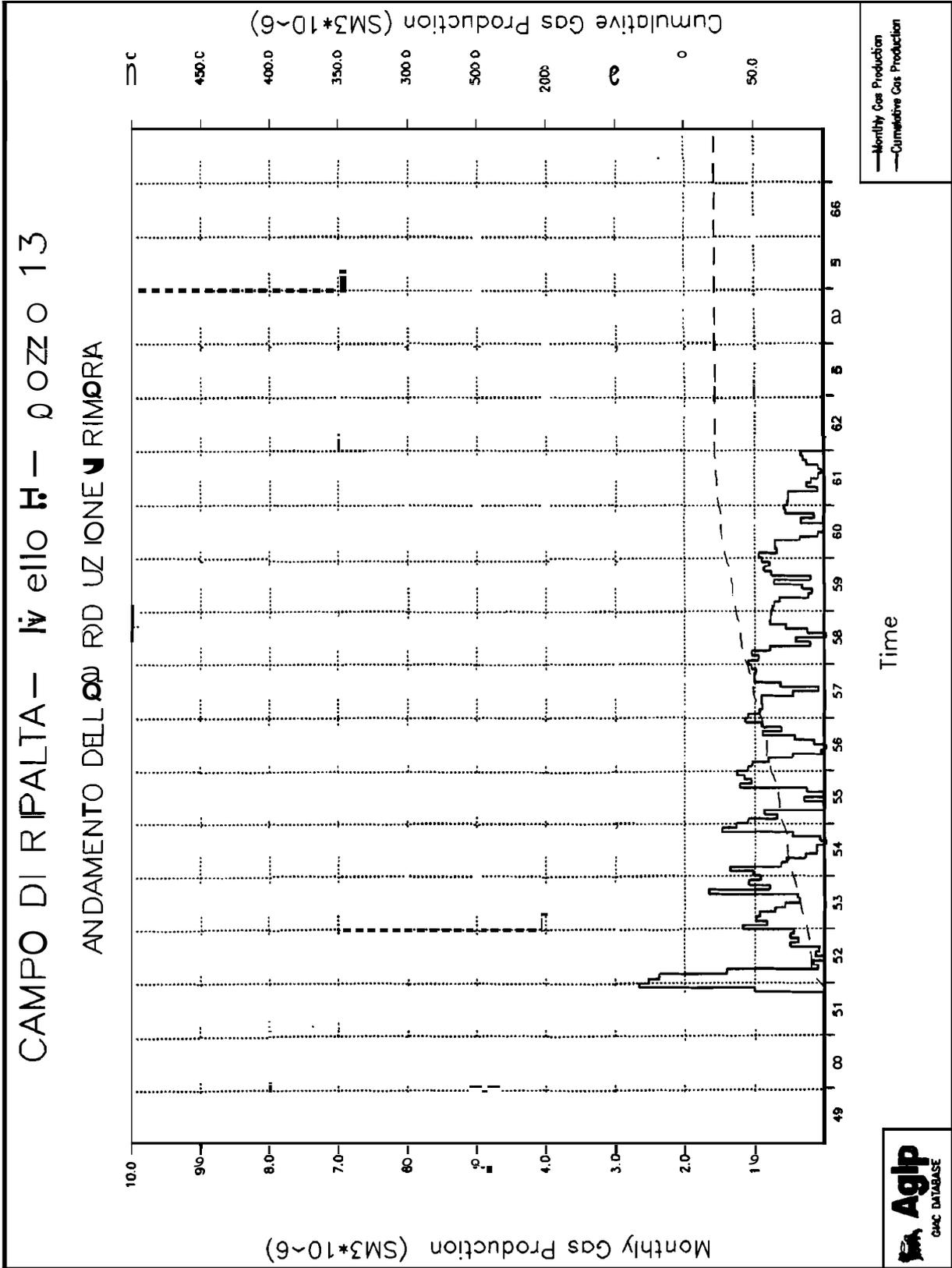
## ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE PRIMARIA



— Monthly Gas Production  
- - - Cumulative Gas Production

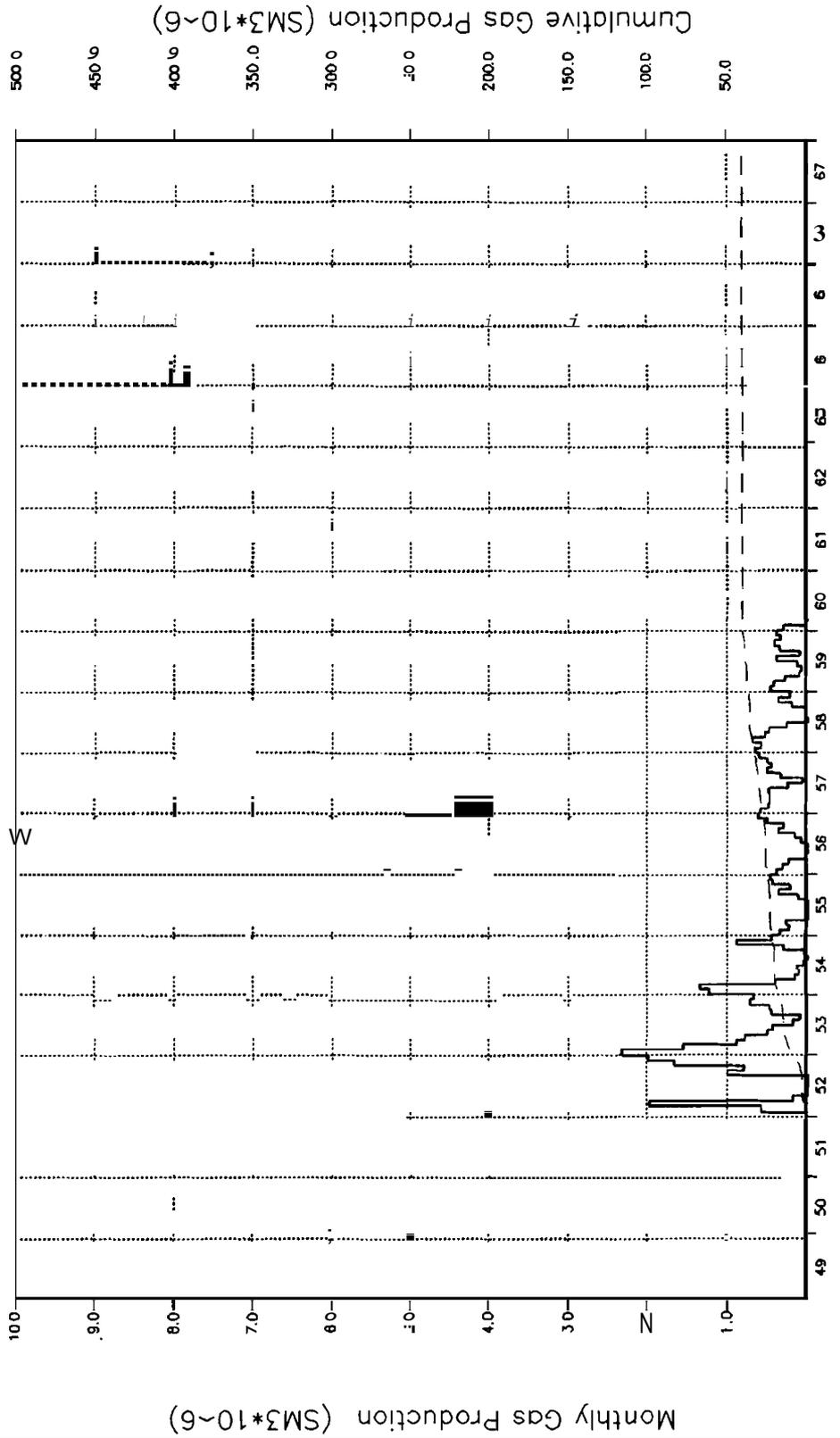


Fig. 13



# COMPTO D RIPALTO - IVELLO - POZZO 1P

ANDAMENTO LA PRODUZIONE PRIMARIA



— Monthly Gas Production  
- - - Cumulative Gas Production

Time

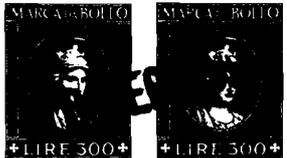


Fig. 15

# CAMPO DI RIPALTA – livello A – pozzo 15

## ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE

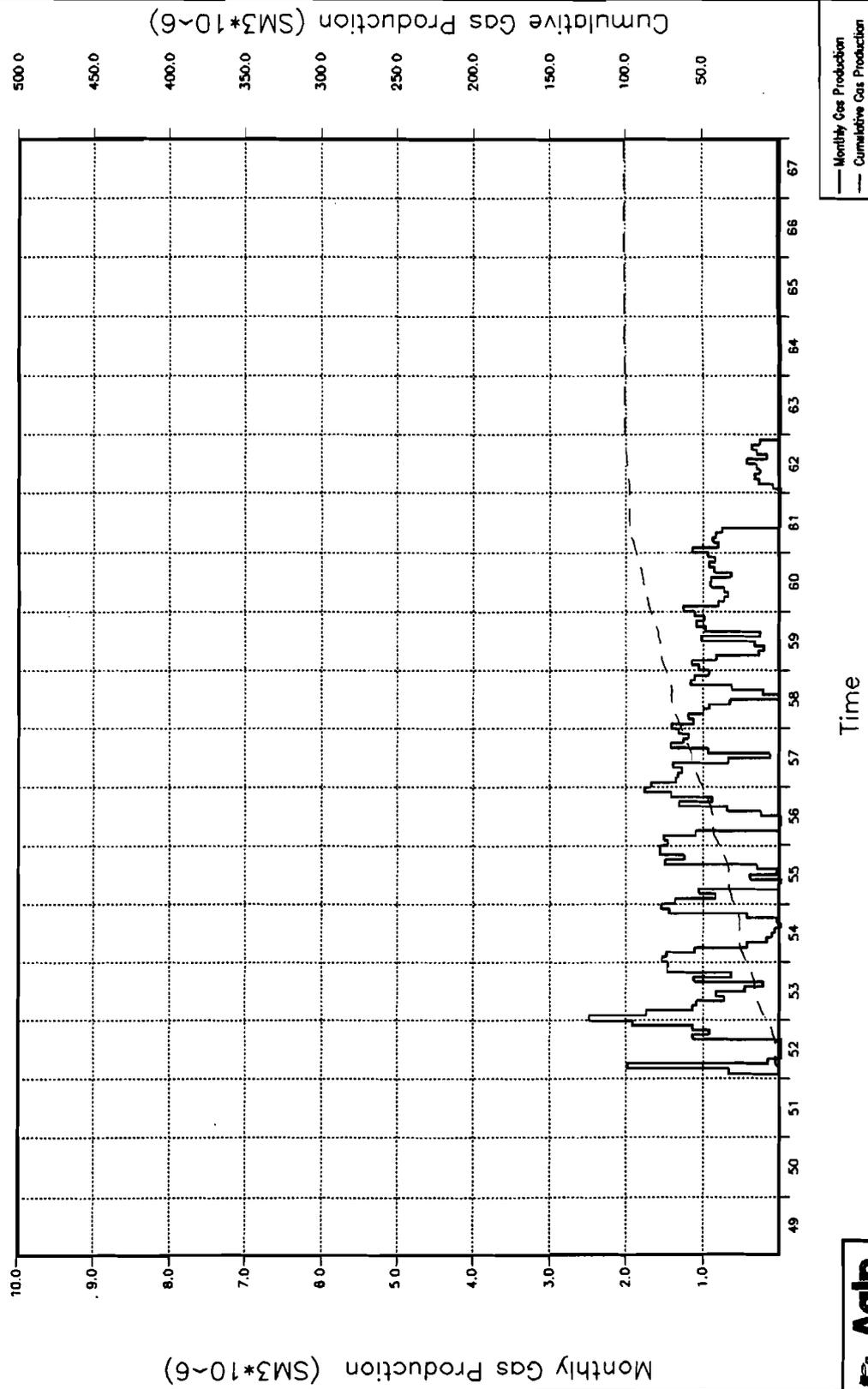
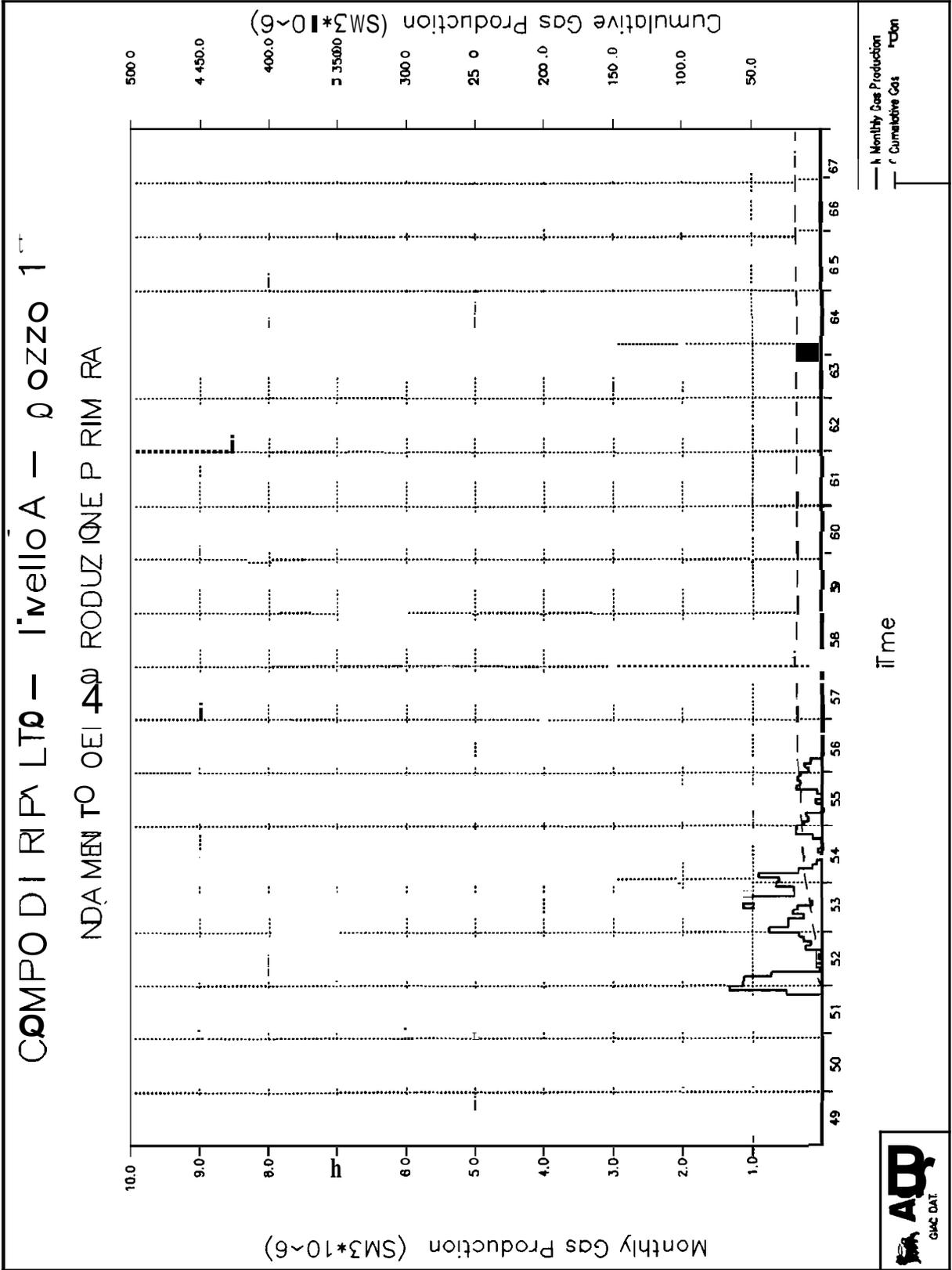
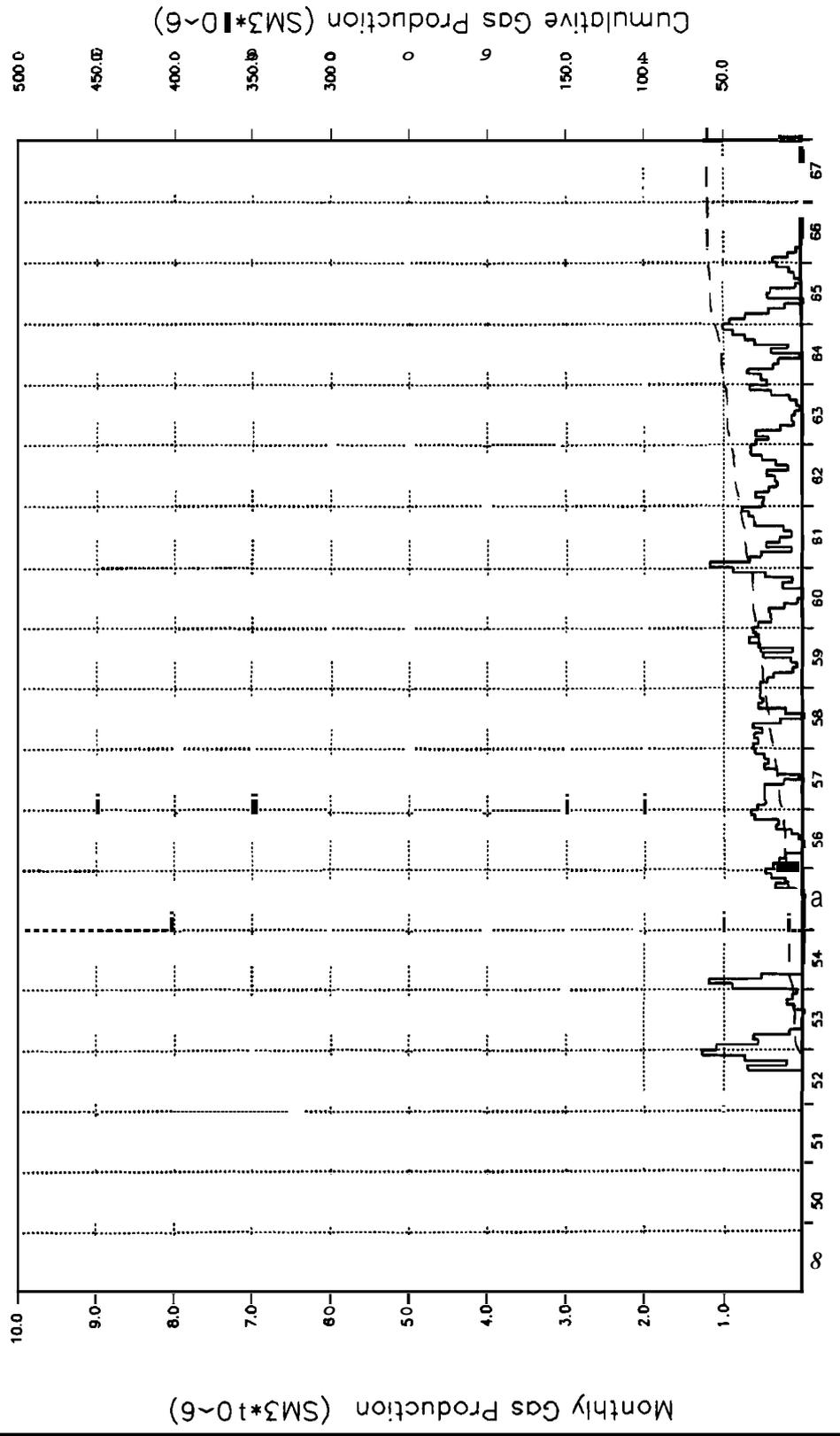


Fig. 16

Fig. 17



COMPO DI RPA LTO - well 0 - po zo 18  
 ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE MINERALI



— Monthly Gas Production  
 - - - Cumulative Gas Production

Time

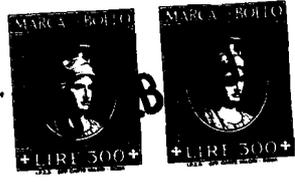
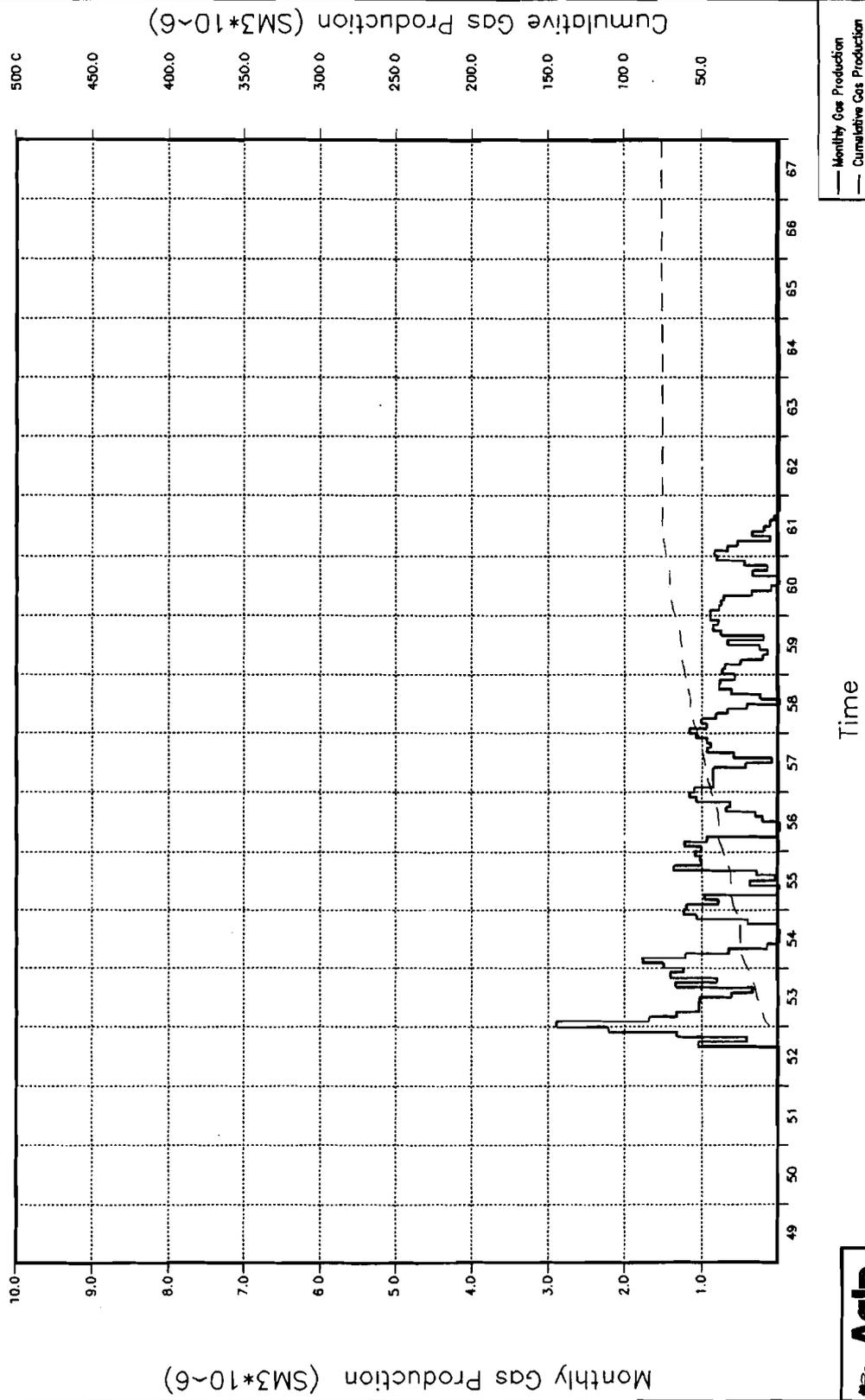


Fig. 18

CAMPO DI RIPALTA - livello A - pozzo 21  
 ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE PRIMARIA



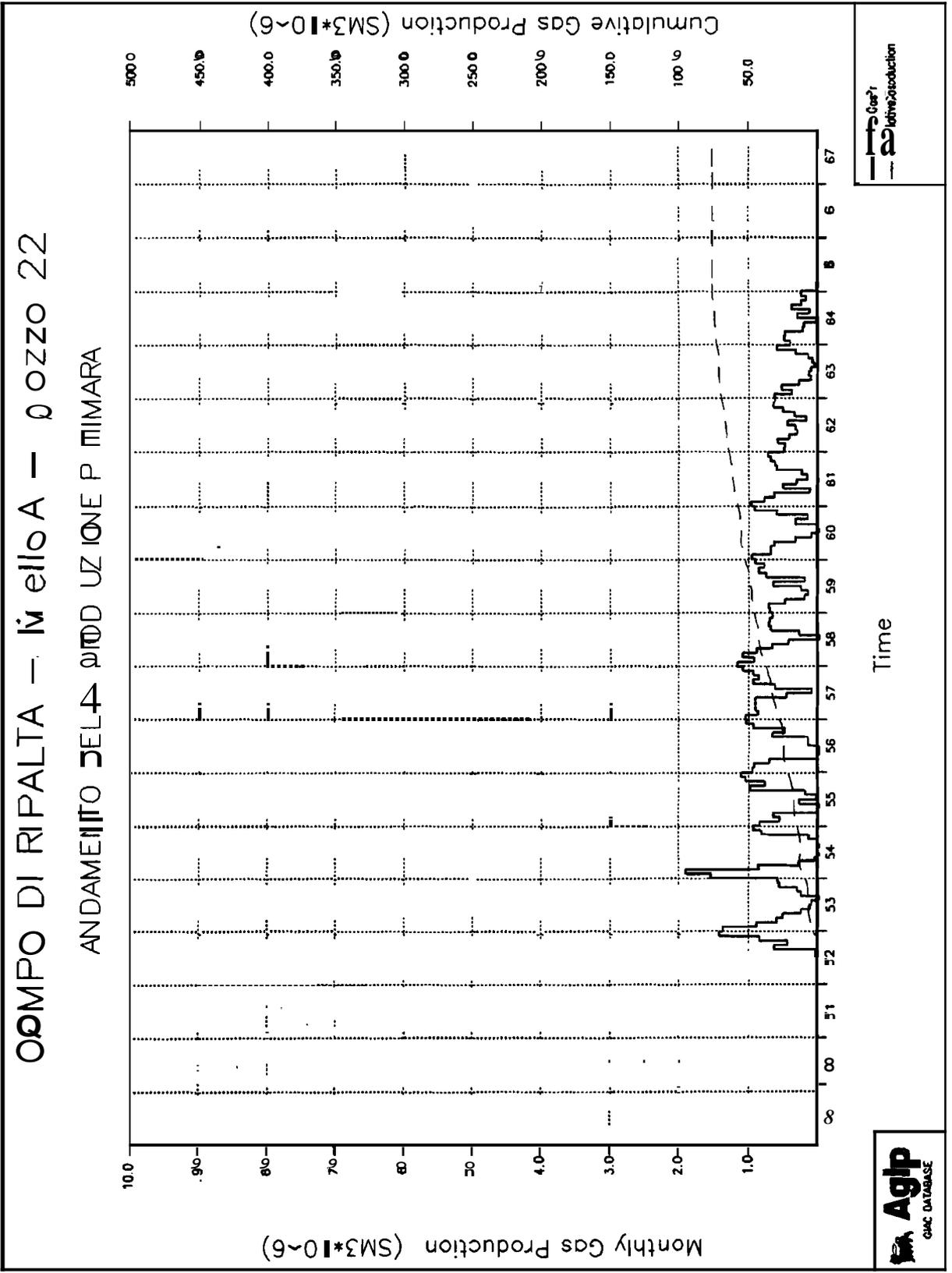
— Monthly Gas Production  
 - - - Cumulative Gas Production

Time



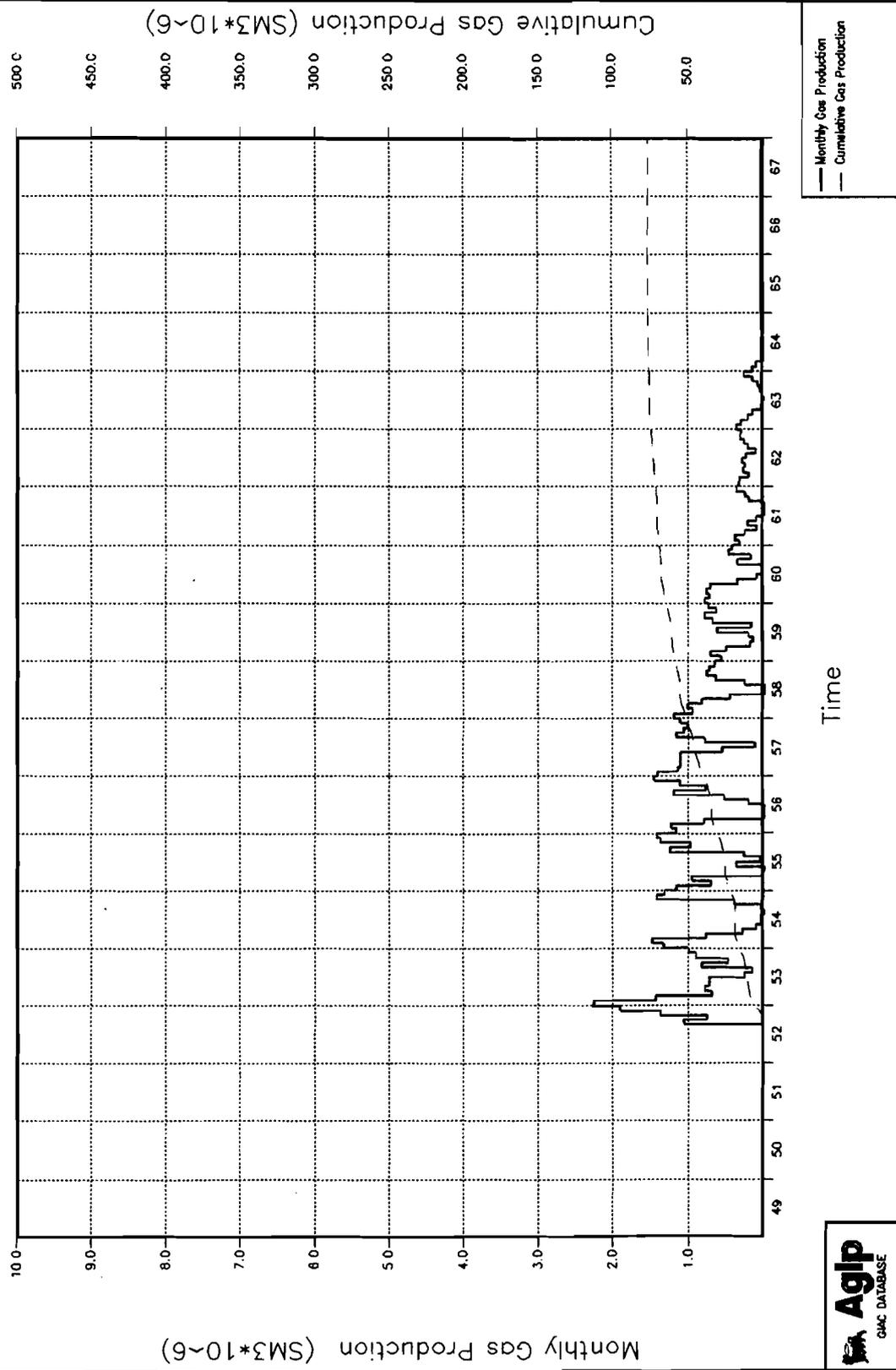
Fig. 19

Fig.20



# CAMPO DI RIPALTA – livello A – pozzo 23

## ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE PRIMARIA

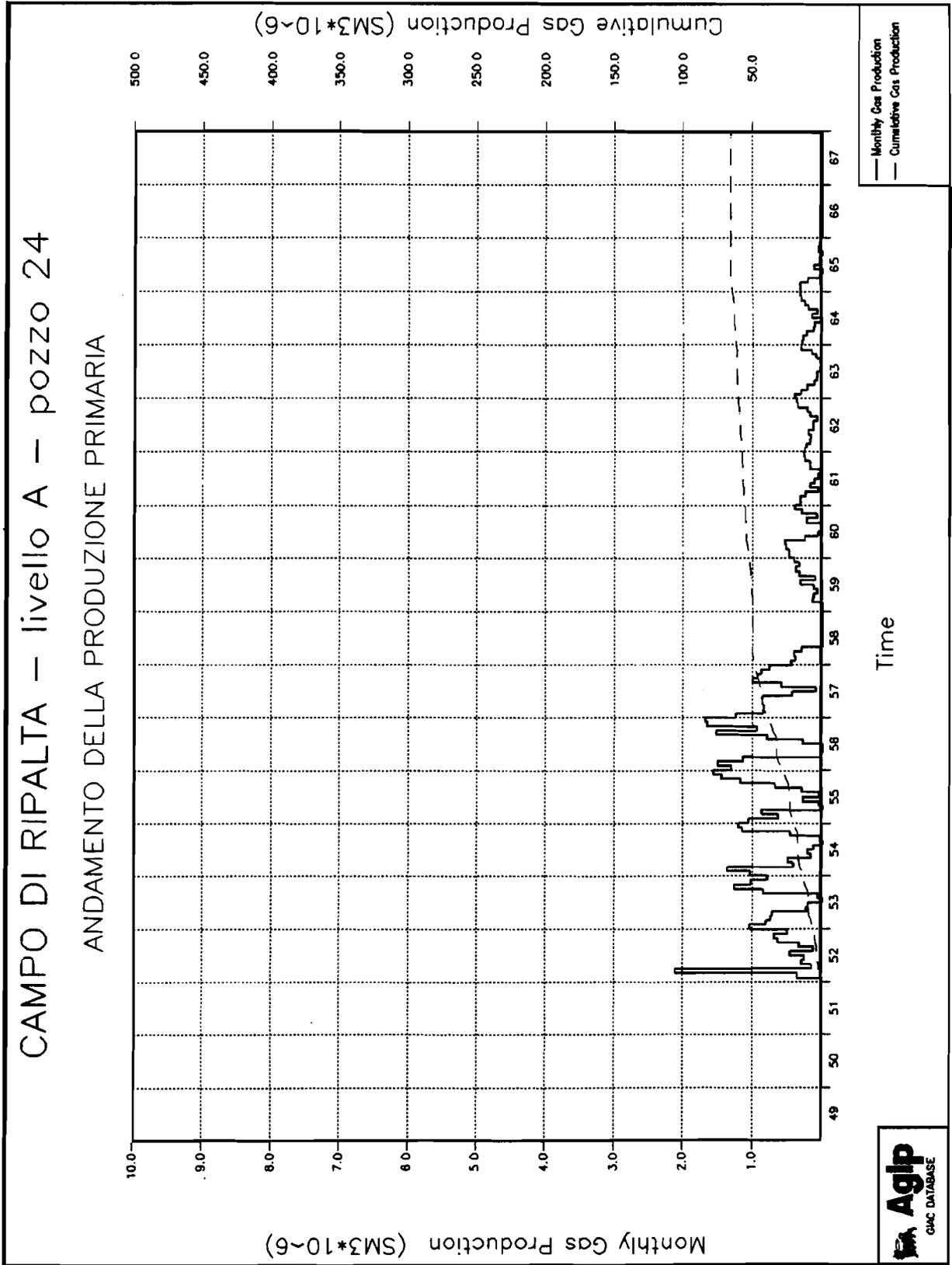


— Monthly Gas Production  
- - - Cumulative Gas Production

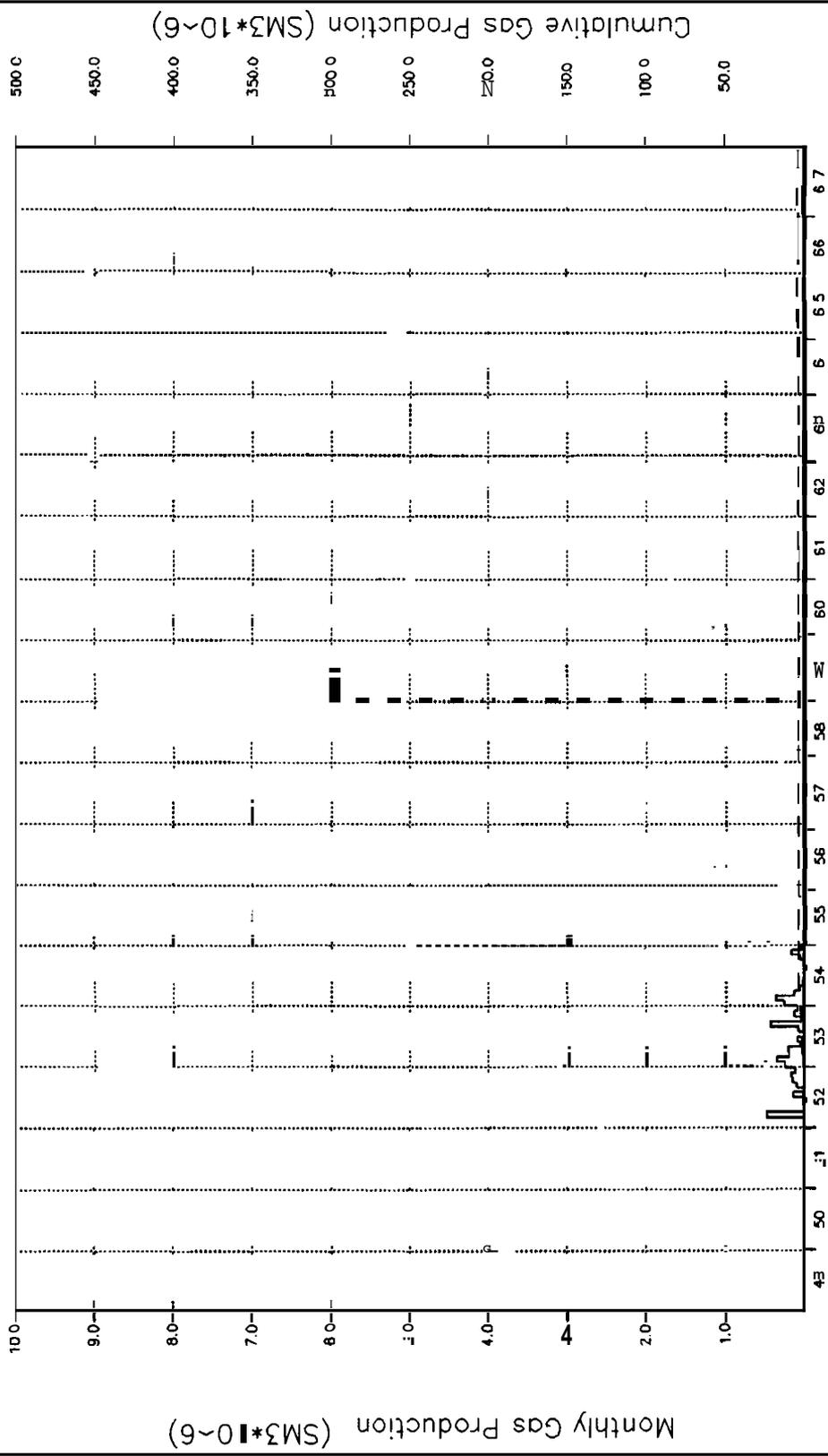


Fig.21

Fig.22



COMPO DI R PALTA - Ir ello 0 - OZ o 25  
 ANDAMENTO DELLO PRODUZIONE MINORA

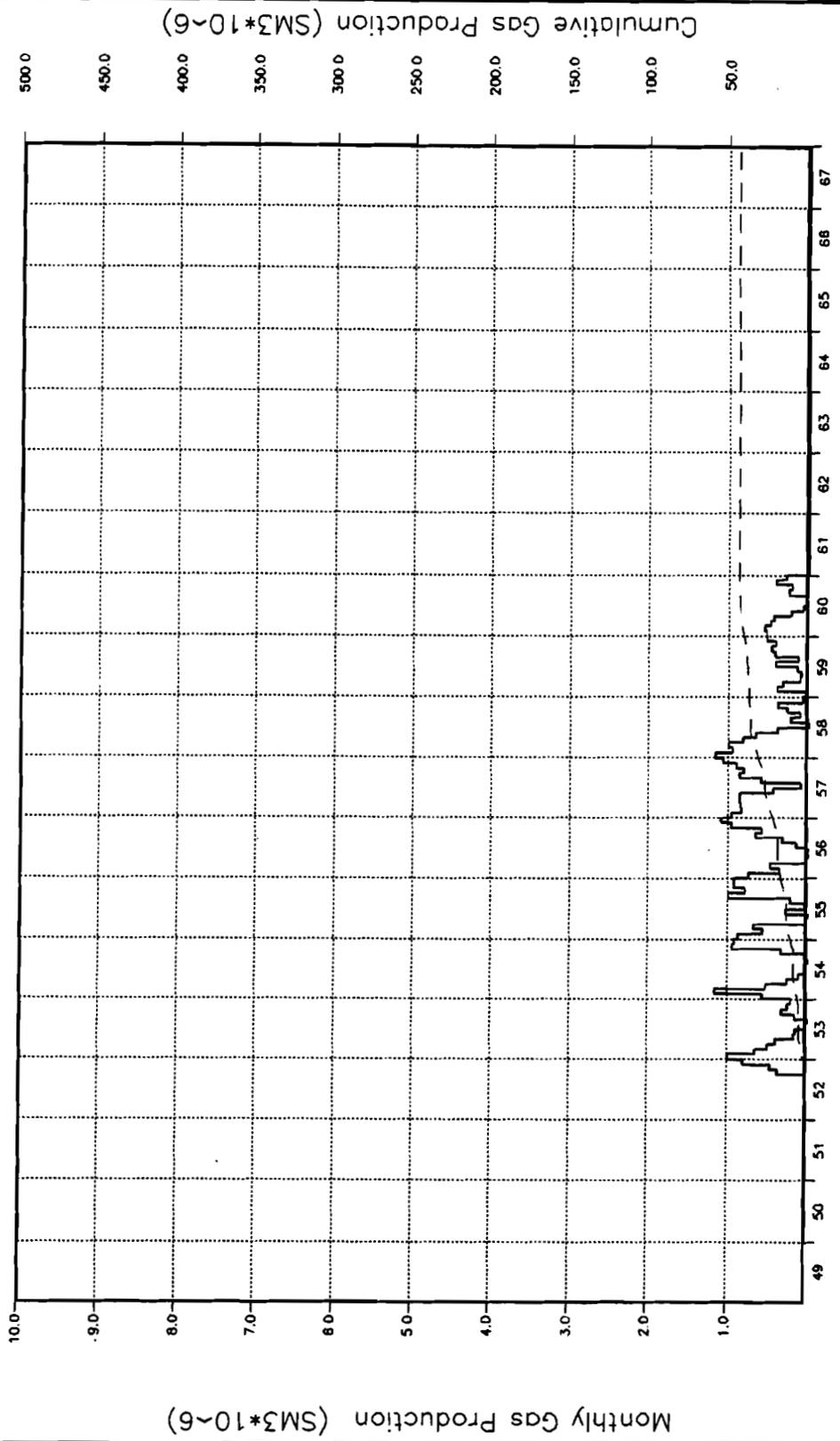


— Monthly Gas Production  
 - - - Cumulative Gas Production



Fig.23

CAMPO DI RIPALTA – livello A – pozzo 26  
 ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE PRIMARIA



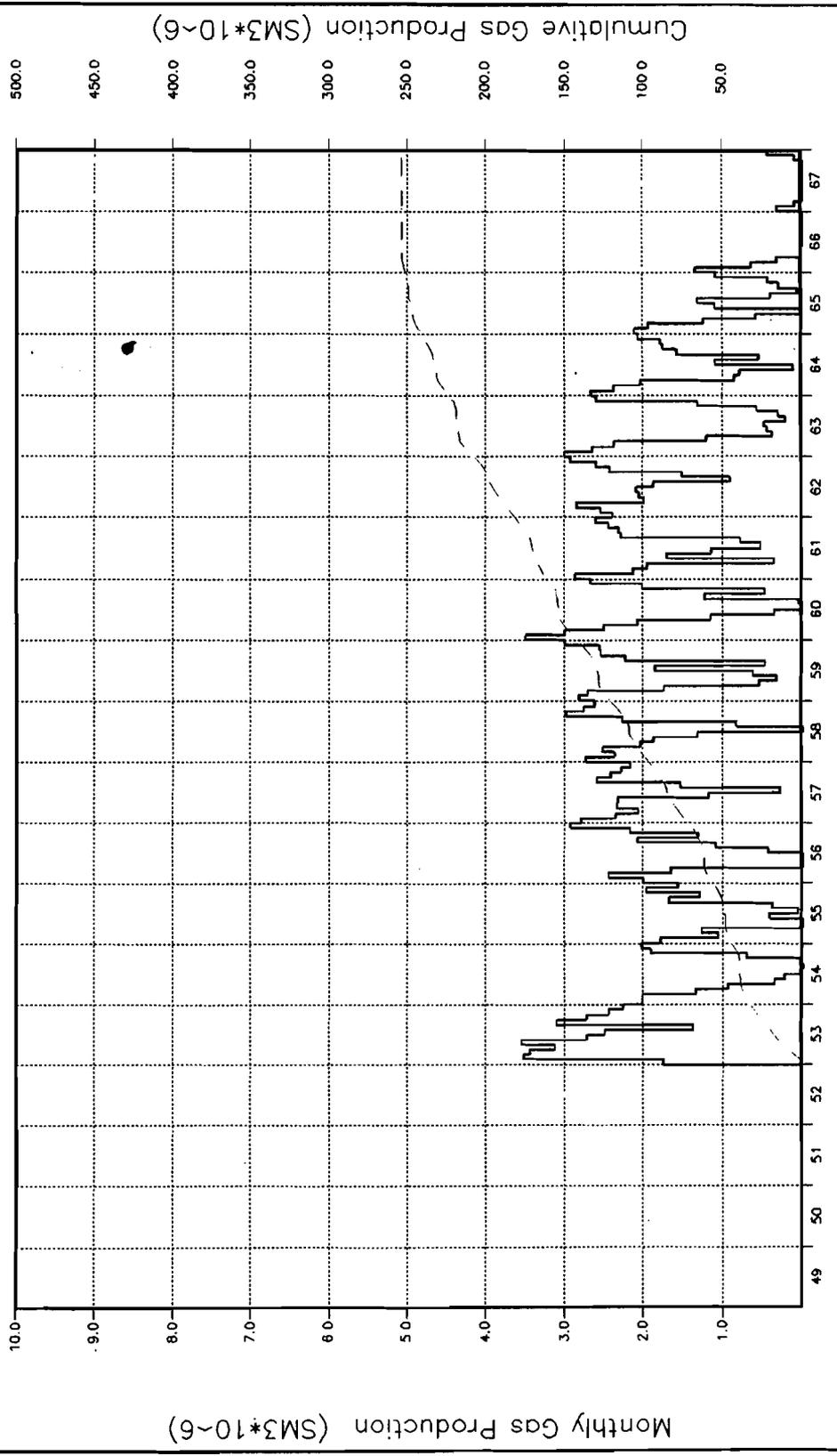
— Monthly Gas Production  
 - - - Cumulative Gas Production

Time



Fig.24

CAMPO DI RIPALTA – livello A – pozzo 27  
 ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE PRIMARIA



— Monthly Gas Production  
 - - Cumulative Gas Production



Fig.25

# CAMPO DI RIPALTA - livello A

## ANDAMENTO DELLO STOCCAGGIO

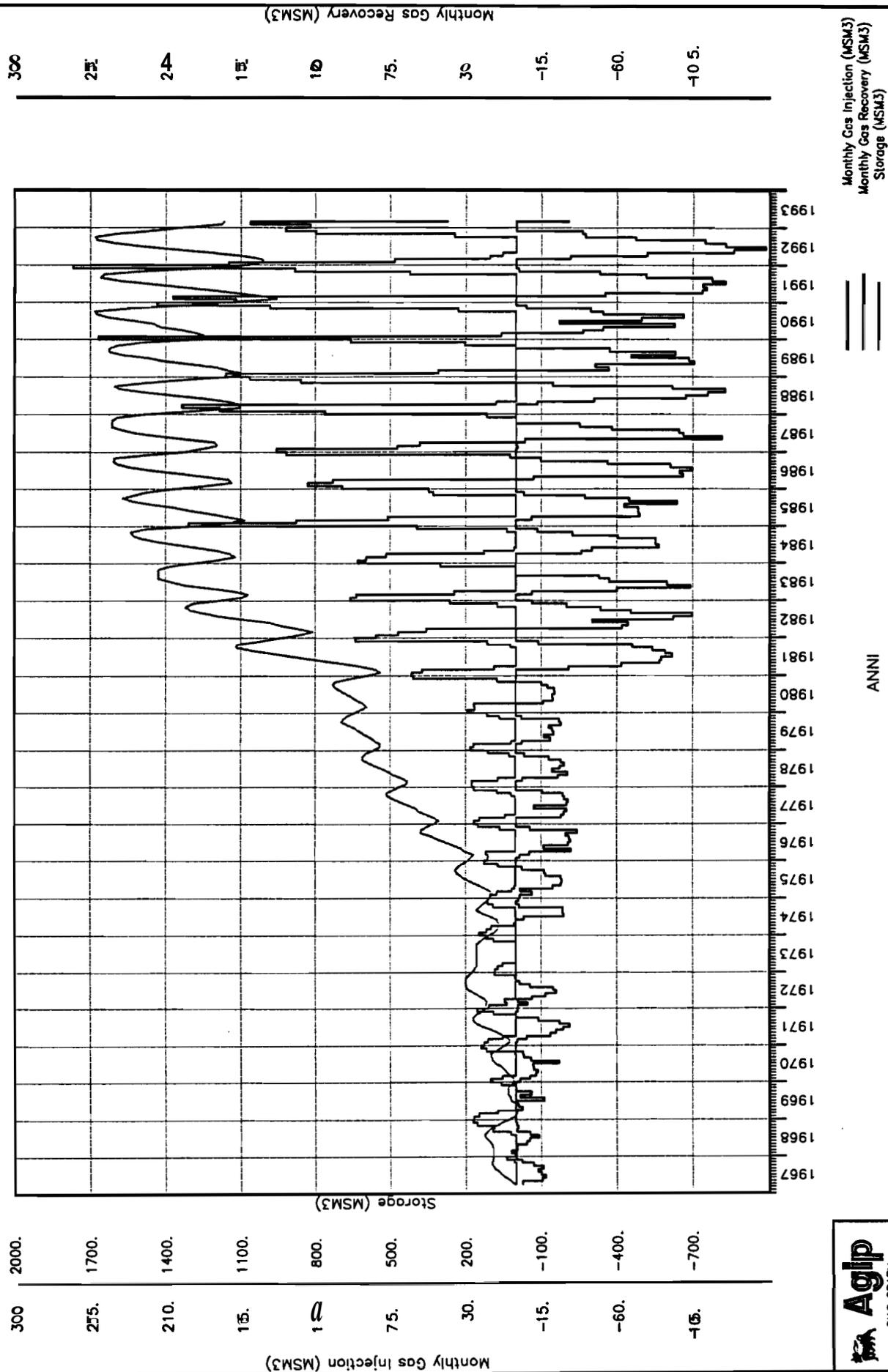
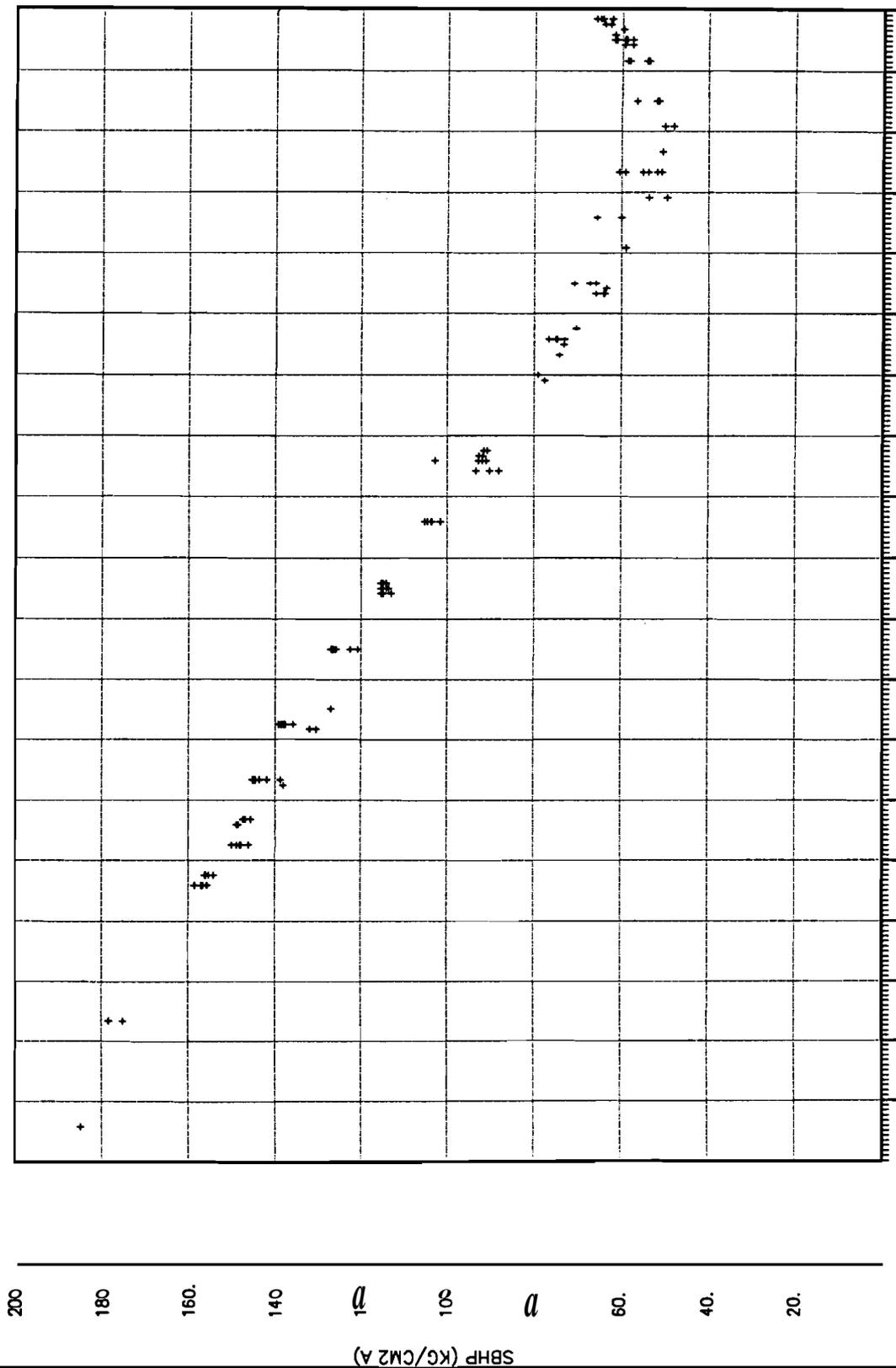


Fig.26

# CAM O DI I P P - l'vello P

ANDAMENTO DELLA  $\omega$ E ON STOTICA



1943 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967  
SBHP ( KG/CM2 A)

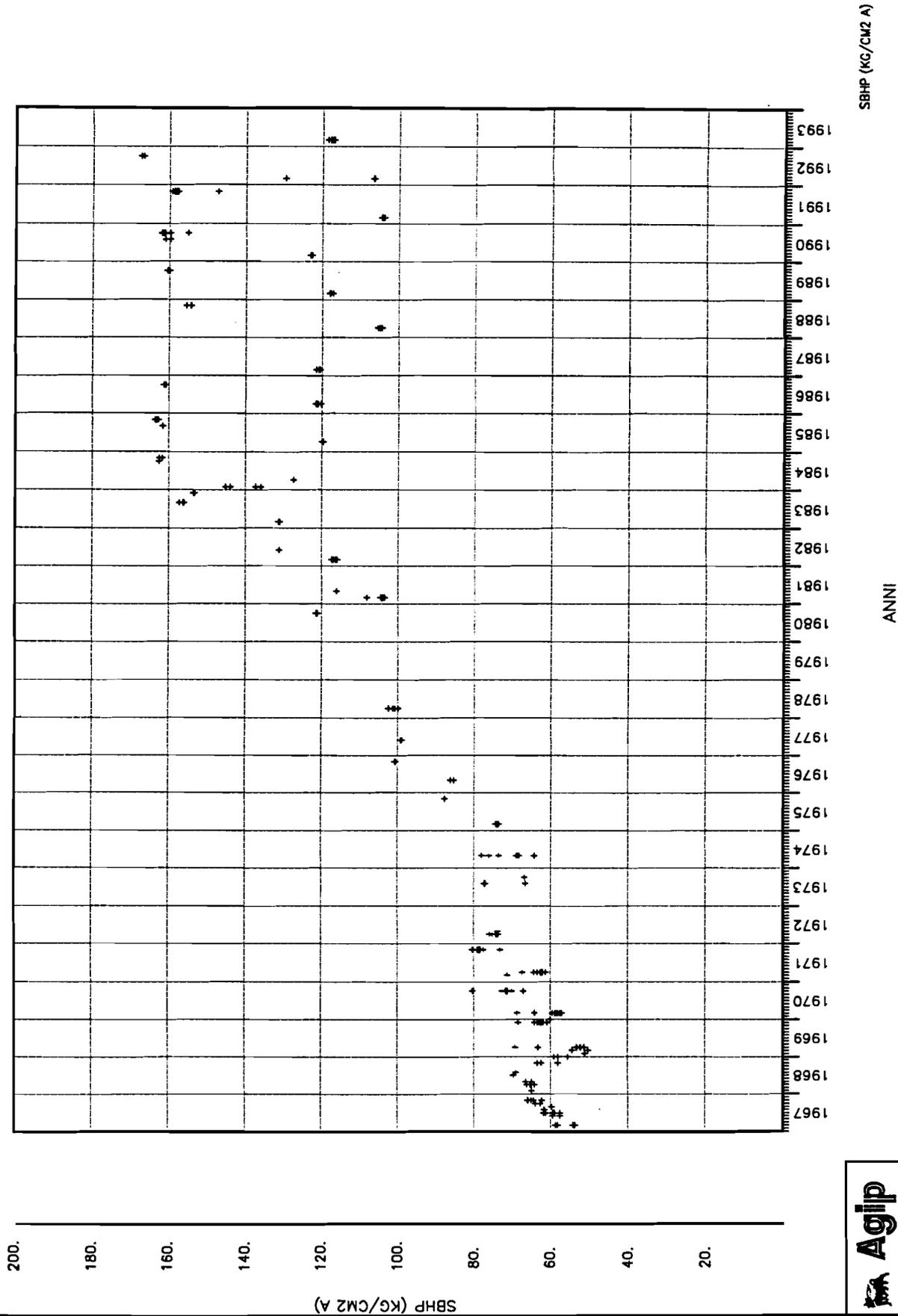
A NI



Fig.27

# CAMPO DI RIPALTA - livello A

## ANDAMENTO DELLA PRESSIONE STATICA



# CAMPO DI RIPALTA – livello A

## PROVA DI INTERFERENZA (14–18.12.1992)

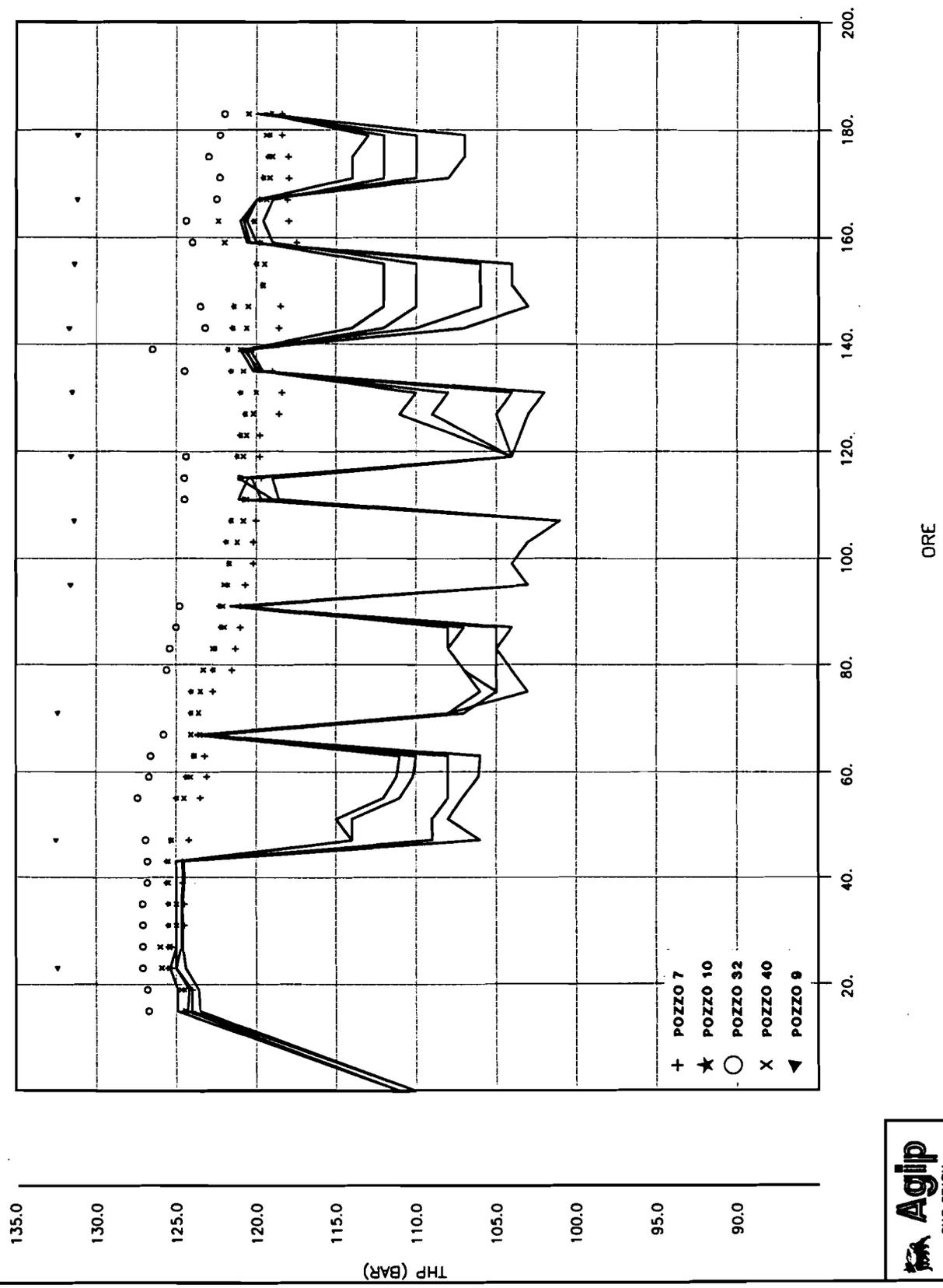
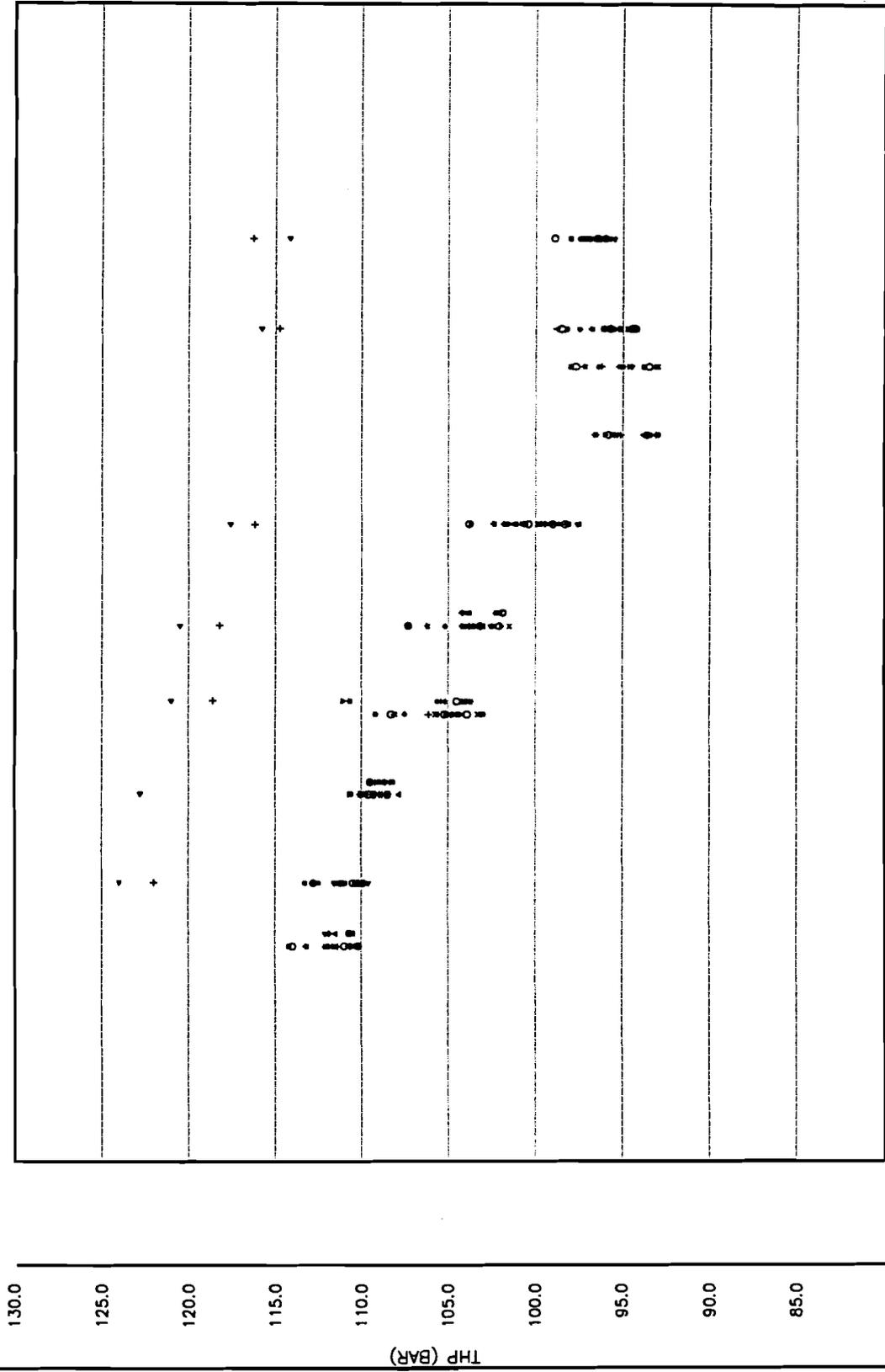


Fig.29

# CAMPO DI RIPALTA - livello A

## ANDAMENTO DELLE PRESSIONI DI TESTA - INVERNO 92-93



1993  
MESI  
GEN MAR

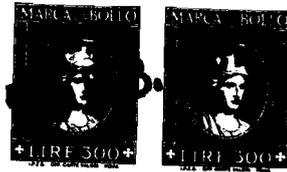
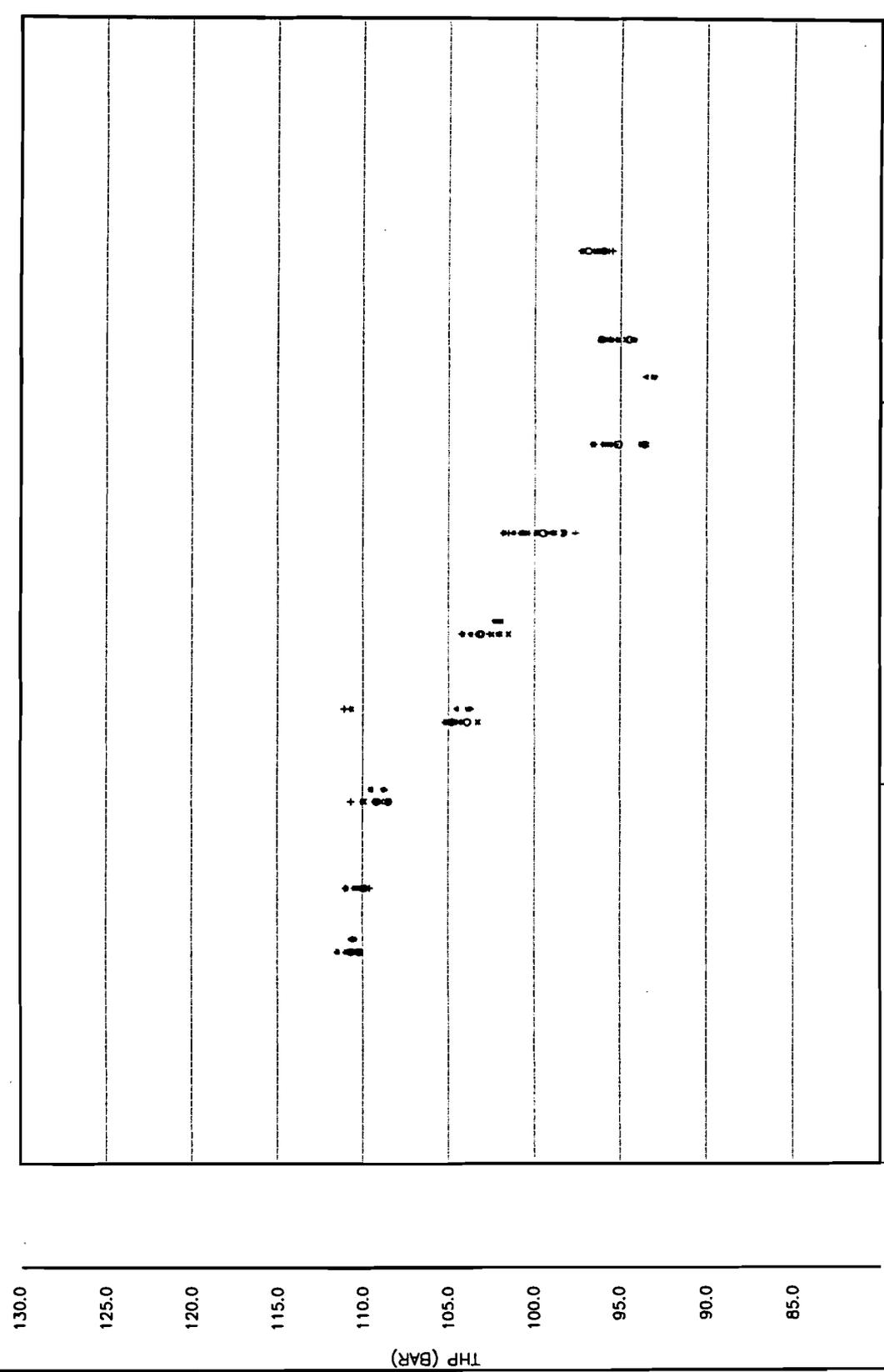


Fig.30



# CAMPO DI RIPALTA - livello A - ZONA EST

## ANDAMENTO DELLE PRESSIONI DI TESTA - INVERNO 92-93



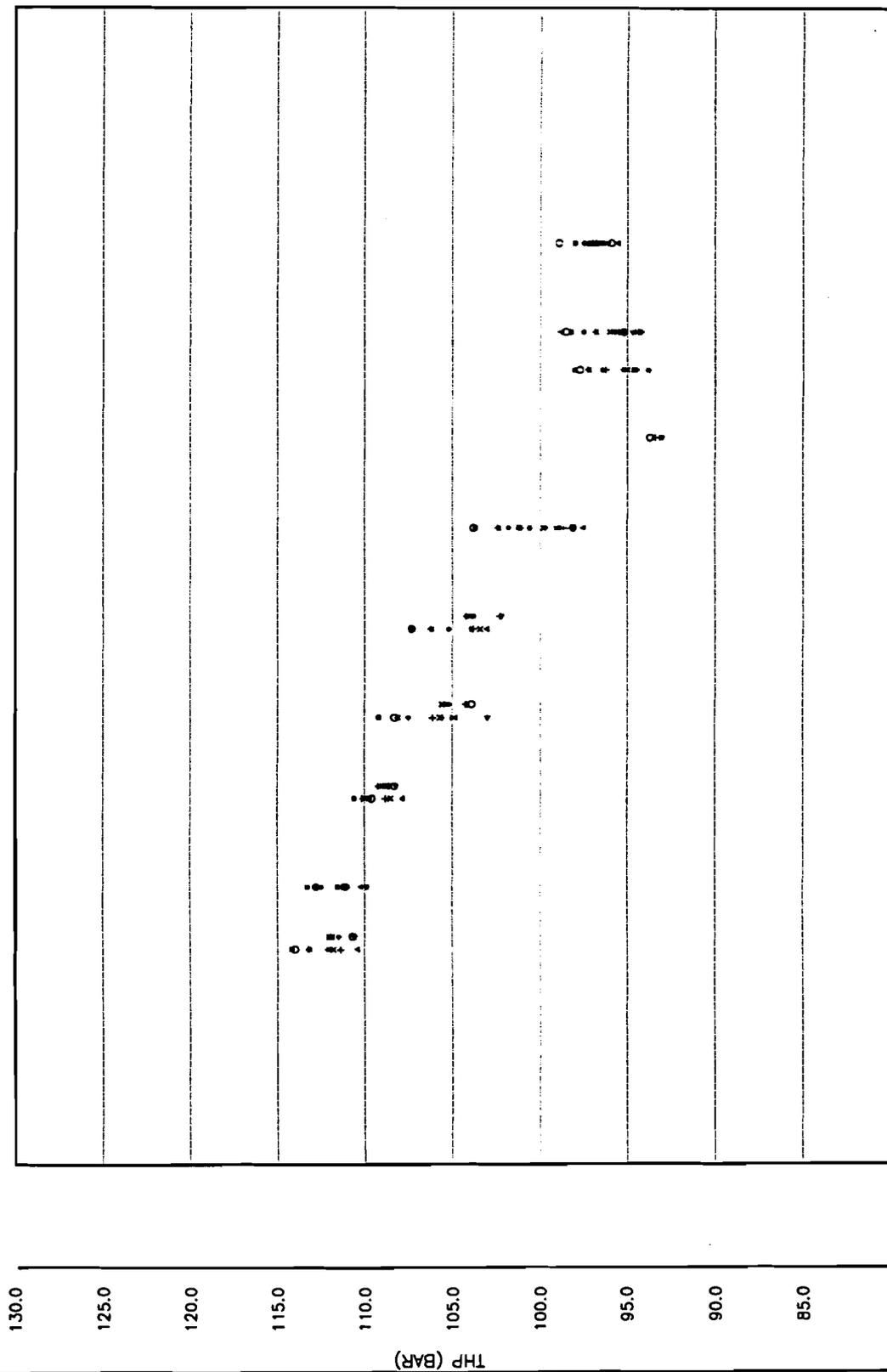
1993  
MESI  
GEN MAR





# CAMPO DI RIPALTA - livello A - ZONA OVEST

## ANDAMENTO DELLE PRESSIONI DI TESTA - INVERNO 92-93



MAR

1993

MESI

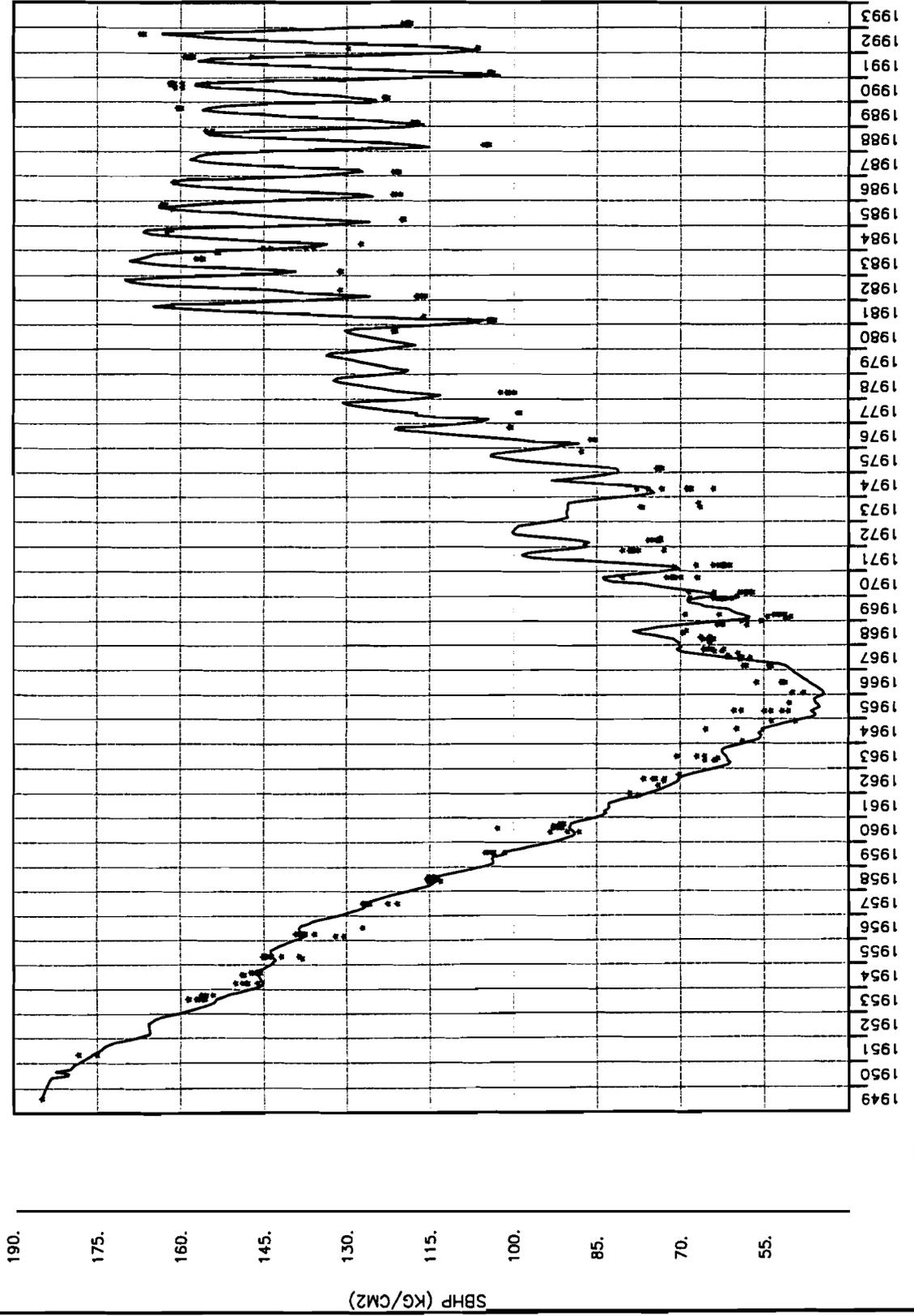
GEN





# CAMPO DI RIPALTA - livello A

## CONFRONTO TRA LE PRESSIONI MISURATE E CALCOLATE



SBHP (KG/CM2)

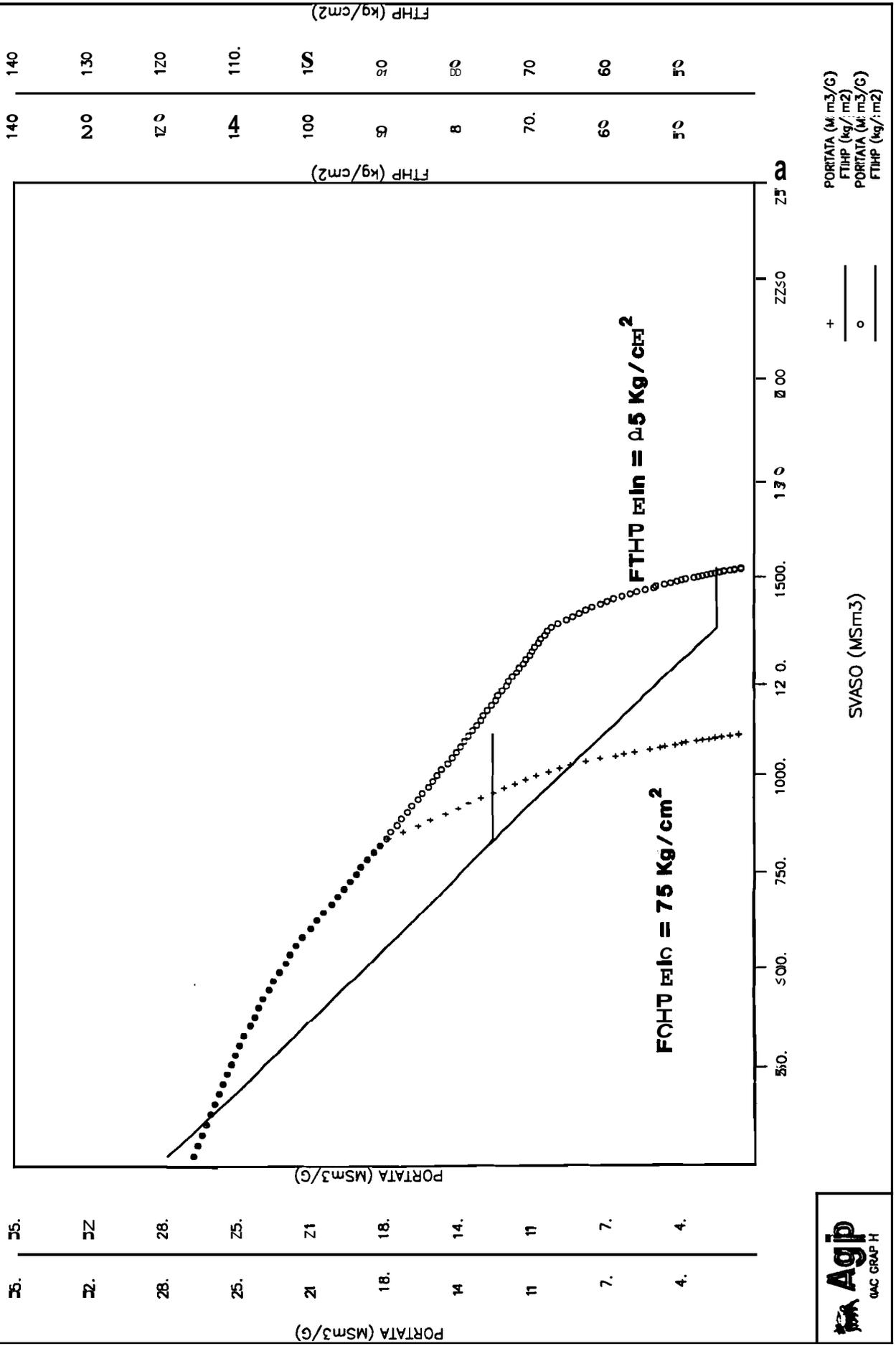
ANNI





# CONFO DI RIFONATA - liv illo 0

CASO BASE - CU - O EROGABILITA'



# CAMPO DI RIPALTA – livello A

## CASO 1 CON 6 WORK-OVER – CURVE DI EROGABILITA'

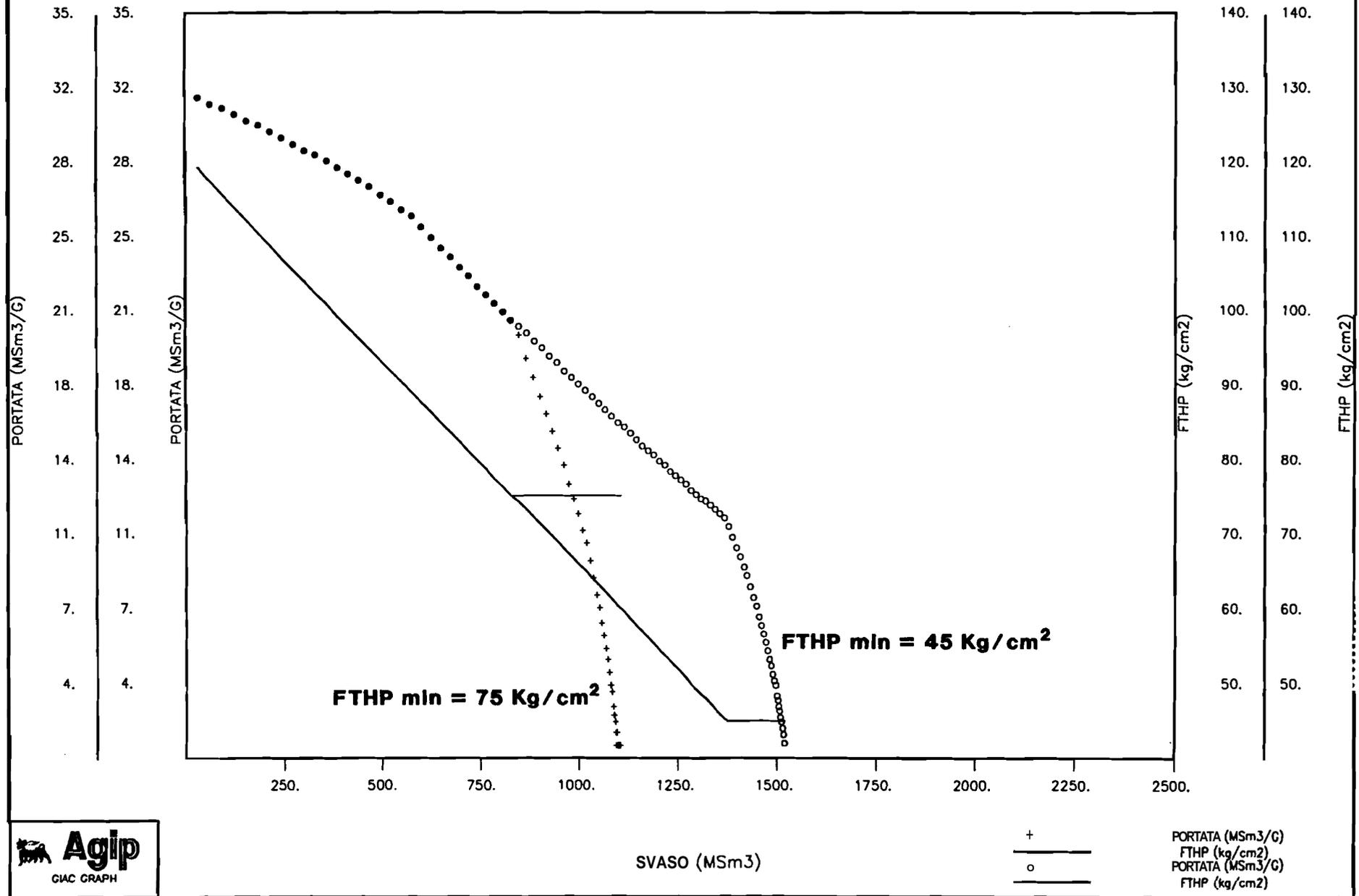


FIG. 35

# CAMPO DI RIPALTA – livello A

CASO 2 CON 6 WORK-OVER E 100% SBHP – CURVE DI EROGABILITA'

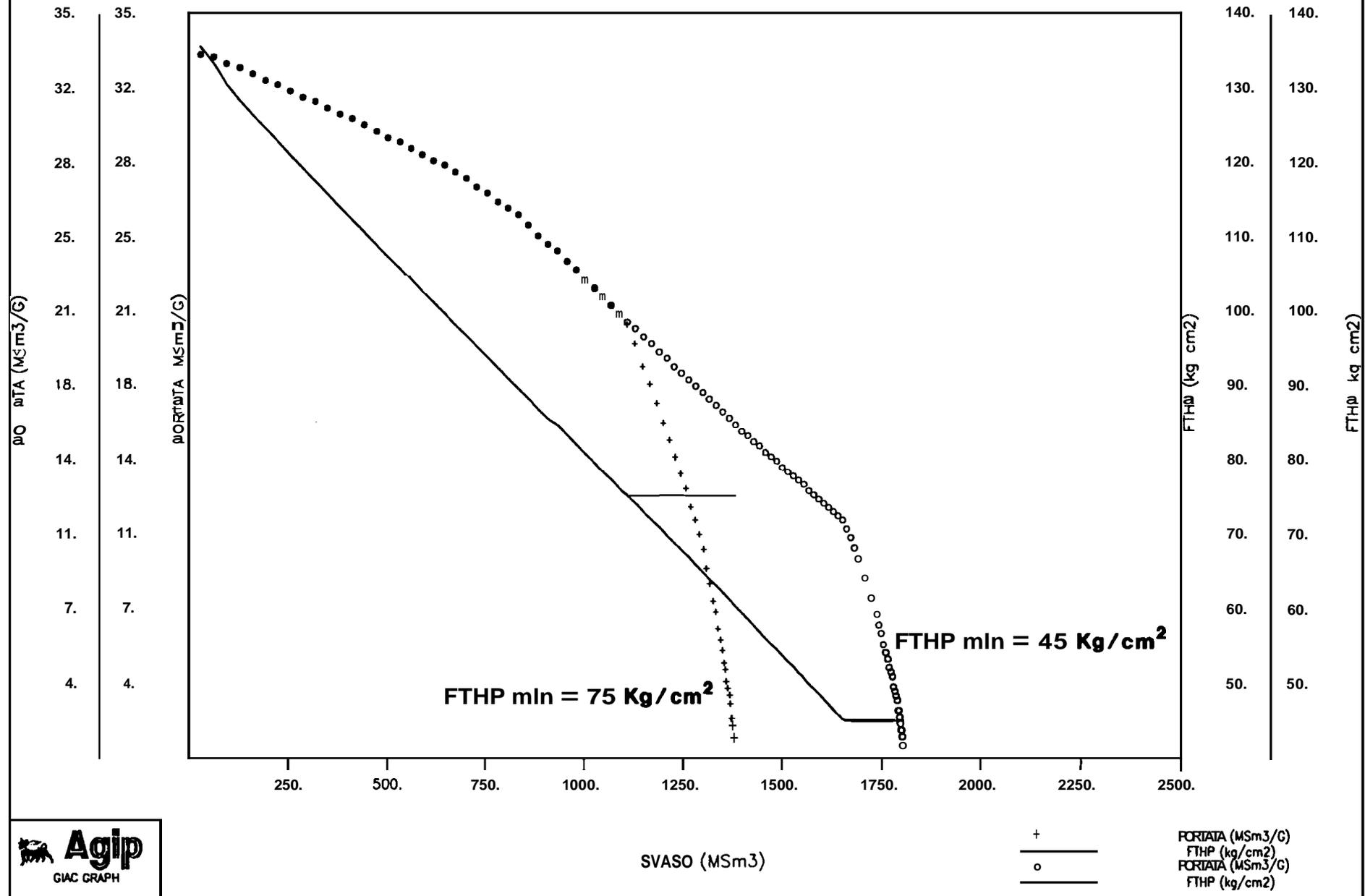


Fig. 36

CAMPO DI RIPALTA  
PRODUZIONE PRIMARIA

POZZI	PRODUZIONE
	Msm3
1	104.1
2	249.5
4	286.7
5	362.1
6	118.8
7	406.3
8	221.9
9	317.3
10	399.1
11	89.8
12	30.6
13	78.7
14	40.1
15	100.7
17	18.1
18	59.3
21	75.4
22	76.0
23	75.8
24	65.3
25	4.4
26	43.5
27	253.5
<b>TOTALE</b>	<b>3477.0</b>

CAMPO DI RIPALTA  
SITUAZIONE POZZI AL 30-6-1993



POZZI	CLUSTER	POOL	COMPLETAMENTO	TUBING	STATO	UTILIZZO
1					C.M.	
2					CM.	
3					CM.	
4					CM.	
5	Isolato	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stoccaggio
6		A1+A2	convenzionale	3"1/2		<b>smaltimento</b>
7	B	A1+A2	convenzionale	3"1/2	<b>allacciato</b>	<b>stoccaggio</b>
8					CM.	
9	Isolato	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	<b>stoccaggio</b>
10	Isolato	A1+A2	convenzionale	3"1/2	ellacciato	stoccaggio
11					CM.	
12					CM.	
13					CM.	
14					CM.	
15					CM.	
17					CM.	
18	Isolato	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stocceggio
20		C	convenzionale	2"7/8	non allacciato	spia
21					CM.	
22					CM.	
23		F*	convenzionale	2"7/8	non allacciato	<b>spia</b>
24		A1+A2	convenzionale	2"7/8	non allacciato	<b>spia</b>
25					CM.	
26					CM.	
27	Isolato	A1+A2	wnvenzionale	3"1/2	allacciato	stoccaggio
28					CM.	
31	A	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stoccaggio
32	isolato	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stoccaggio
33	A	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stoccaggio
34	B	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stocceggio
35	A	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stocceggio
36	A	A1+A2	wnvenzionale	3"1/2	allacciato	stocceggio
37	A	A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	<b>stoccaggio</b>
38	A	A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stoccaggio
39	B	A2	<b>convenzionale</b>	3"1/2	allacciato	stoccaggio
40	B	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	<b>stoccaggio</b>
41	B	A1+A2	convenzionale	3"1/2	allacciato	stoccaggio
42						esplorativo
43	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
44	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
45	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
46	C	A1+A2	I.C.G.P.+O.H.G.P.	5"	<b>allacciato</b>	stocceggio
47	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
48	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stocceggio
49	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
50	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
51	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
52	C	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stocceggio
53	C	A1+A2	I.C.G.P.+O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
54	C	A1+A2	I.C.G.P.+O.H.G.P.	5"	allacciato	<b>stoccaggio</b>
55	D	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
56	D	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
57	D	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
58	D	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	stoccaggio
59	D	A2	O.H.G.P.	5"	allacciato	<b>stoccaggio</b>
60	D	A1+A2	I.C.G.P.+O.H.G.P.	5"	allacciato	<b>stoccaggio</b>

CAMPO DI RIPALTA  
COEFFICIENTI DEUE EQUAZIONI DI FLUSSO DEI POZZI



pozzo	anno prova	C	n	Q (KSm <sup>3</sup> /g)
				Dp=20%
R5	1986	3352.0	0.629	934.2
R7	1986	3352.0	0.629	934.2
R9	1986	3352.0	0.629	934.2
R10	1986	3352.0	0.629	934.2
R18	1986	3352.0	0.629	934.2
R27	1986	3352.0	0.629	934.2
R31	1986	1308.5	0.721	830.9
R32	1986	1556.6	0.698	804.5
R33	1986	4732.0	0.522	506.1
R34	1986	2797.8	0.638	845.2
R35	1986	3983.7	0.603	879.7
R36	1986	3405.1	0.623	899.4
R37	1986	2480.6	0.629	691.3
R38	1986	2118.0	0.671	859.7
R39	1986	2797.8	0.638	845.2
R40	1986	2797.8	0.638	845.2
R41	1986	2797.8	0.638	845.2
R43	1989	483.6	0.900	1524.4
R44	1989	463.7	0.902	1488.0
R45	1989	719.8	0.852	1476.5
R46	1989	586.7	0.858	1269.8
R47	1989	971.9	0.820	1497.1
R48	1989	481.9	0.906	1602.8
R49	1989	1537.3	0.780	1655.3
R50	1989	5022.1	0.618	1268.4
R51	1989	607.1	0.886	1688.3
R52	1989	1375.3	0.788	1590.8
R53	1989	951.2	0.789	1110.1
R54	1989	538.1	0.847	1055.4
R55	1993	9708.0	0.556	1407.6
R56	1993	9708.0	0.556	1407.6
R57	1993	9708.0	0.556	1407.6
R58	1993	9708.0	0.556	1407.6
R59	1993	9708.0	0.556	1407.6
R60	1993	9708.0	0.556	1407.6
		A	B	
R33(*)	1986	1.924E-03	1.037E-08	-
R59(*)	1993	5.704E-04	1.214E-09	-

(\*) Pozzi per i quali A stata ricavata anche l'equazione di flusso di fondo.

CAMPO DI RIPALTA  
DATI DI EROGABILTA'



<b>CAPACITA' EROGATIVA ATTUALE</b>								
	<b>STOCK MSm<sup>3</sup></b>	<b>SBHP<sub>max</sub> kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>STHP<sub>max</sub> kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>WG MSm<sup>3</sup></b>	<b>E.S. %</b>	<b>Q<sub>Dunta</sub> MSm<sup>3</sup>/g</b>	<b>Q<sub>75</sub><sup>1</sup> MSm<sup>3</sup>/g</b>	<b>Q<sub>45</sub><sup>1</sup> MSm<sup>3</sup>/g</b>
<b>CASO BASE</b>	1752	170.5	149.7	1100	54.3	26.5	17.2	9.5

<b>IPOTESI DI INCREMENTO DELLA CAPACITA' EROGATIVA</b>								
	<b>STOCK MSm<sup>3</sup></b>	<b>SBHP<sub>max</sub> kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>STHP<sub>max</sub> kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>WG MSm<sup>3</sup></b>	<b>E.S. %</b>	<b>Q<sub>Dunta</sub> MSm<sup>3</sup>/g</b>	<b>Q<sub>75</sub><sup>1</sup> MSm<sup>3</sup>/g</b>	<b>Q<sub>45</sub><sup>1</sup> MSm<sup>3</sup>/g</b>
<b>CASO II:- 6 W.O.</b>	1752	170.5	149.7	1100	54.3	31.0	20.5	10.8
<b>CASO 2 6 W.O. E 100% SBHP</b>	2034	184.9	162.2	1380	59.8	33.0	20.3	10.7

<sup>1</sup>Q<sub>75</sub> e Q<sub>45</sub> sono le protate misurate quando la pressione di testa raggiunge rispettivamente 75 e 45 kg/cm<sup>2</sup>.