

Consiglio Nazionale delle ricerche



**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA

**Contratto di Collaborazione Tecnico-Scientifica
Alenia-GAT/IEI-CNR**

**Sull'uso di una particolare tecnica ad
ultrasuoni per la valutazione delle condizioni di
interfaccia fra laminati in fibra di carbonio
saldati**

Mauro Bramanti

Nota Interna B4-28

1991

SULL'USO DI UNA PARTICOLARE TECNICA AD ULTRASUONI PER LA VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI INTERFACCIA FRA LAMINATI IN FIBRA DI CARBONIO SALDATI (*)

Mauro Bramanti - IEI-CNR

Via S. Maria, 46 - 56100 PISA

1. Introduzione

In [1, 2] è stata proposta una particolare tecnica ad ultrasuoni per la caratterizzazione di distacchi all'interno di strutture basata sull'analisi frequenziale del coefficiente di attenuazione e di riflessione relativi a materiali o strutture investiti da un fascio ultrasonico in onda continua modulata in frequenza (FM CW).

In particolare è stato trovato che la presenza di gap all'interno del materiale esaminato determina nel diagramma dell'attenuazione in funzione della frequenza minimi di attenuazione la spaziatura frequenziale dei quali consente di misurare lo spessore del distacco e, contemporaneamente, determina nel diagramma del coefficiente di riflessione in funzione della frequenza dei minimi di riflessione con spaziatura frequenziale dipendente dalla profondità del distacco medesimo. Scopo della presente relazione è la valutazione delle prestazioni della tecnica suddetta qualora venga applicata al caso particolare in cui il corpo esaminato sia costituito da due laminati in fibra di carbonio uniti tra loro con resina.

Nella presente relazione sono considerate le prestazioni del metodo sopradetto ai fini della misura di eventuali distacchi nella zona di interfaccia e successivamente la possibilità di misurare lo spessore della resina fra i due aderenti.

2. Caso considerato: geometria e materiali

In fig. 1 è schematicamente indicata la geometria del sistema preso in considerazione. I due aderenti di spessore S_1 sono laminati in materiale composito costituito da matrice epossidica e fibre di carbonio; per tale materiale è stato assunto, in base a conforme comunicazione da parte della Società Aeritalia, un'impedenza

(*) La stesura dei programmi usati è stata curata da P. Stiavetti del Servizio Programmazione dell'IEI.

caratteristica Z_p pari 4.65×10^5 Unità CGS e la rispettiva attenuazione è stata modellata, sull'intervallo 100 - 3000 KHz, nella forma

$$A_p = 2.2 \times 10^{-5} f_{\text{KHz}}^{1.72} + 0.4 \text{ [Neper/cm]} \quad (1)$$

Per l'impedenza caratteristica Z_{ar} della resina di incollaggio (spessore S_2) è stato assunto il valore di $2,7 \times 10^5$ Unità CGS mentre la rispettiva attenuazione A_{ar} è stata assunta pari a $1.1 \times A_p$. Le velocità di propagazione nel composito e nella resina di giunzione sono state assunte pari, rispettivamente, a

$$V_p = 300.000 \text{ cm/s}$$

$$V_{ar} = 400.000 \text{ cm/s}$$

Per i valori di S_1 e S_2 sono stati considerati valori variabili sull'intervallo 3.8 - 4.2 mm e 0.05 - 0.3 mm, rispettivamente. Nel caso in cui la struttura abbia al suo interno dei gap d'aria per questa sono stati assunti i seguenti valori:

$$\text{velocità di propagazione} = 33.000 \text{ cm/s}$$

$$\text{impedenza caratteristica} = 0.0004 \times 10^5 \text{ unità CGS}$$

$$\text{attenuazione} = 0.46 \times \frac{f_{\text{KHz}}}{500} \text{ [Neper/cm]}$$

2. Misura di distacchi nella zona di giunzione

La struttura di riferimento è riportata in fig. 2; per tale struttura è stato calcolato il coefficiente di attenuazione $P_i/P_T = \frac{\text{Densità di potenza incidente}}{\text{Densità di potenza trasmessa}}$ nell'ipotesi che i trasduttori di trasmissione e ricezione operino con mezzo di accoppiamento acquoso (impedenza caratteristica = 1.48×10^5 Unità CGS).

I diagrammi dell'attenuazione in funzione della frequenza per diversi valori S_2 dello spessore del distacco e per diversi valori S_1 dello spessore degli aderenti sono riportati nelle figure 8-22.

Possono farsi le seguenti osservazioni:

- 1) La discriminazione fra caso di pezzo privo di distacco (vedi per esempio figure 3-7) e pezzo con distacco è del tutto evidente;
- 2) Il rilievo dei minimi di attenuazione nel caso di pezzo con distacco appare agevole soprattutto con riferimento alla coppia localizzata a frequenza più bassa;
- 3) la spaziatura fra i minimi è funzione esclusivamente dello spessore del gap, indipendentemente dallo spessore S_1 ;

3. Misura dello spessore della resina fra gli aderendi

La misura dell'attenuazione P_i/P_T in funzione della frequenza non risulta efficace al fine di valutare lo spessore S_2 della resina fra gli aderendi sostanzialmente per i seguenti due motivi:

1. Insufficiente diversificazione fra le impedenze caratteristiche Z_p e Z_{ar} relative agli aderendi ed al collante ($Z_p = 4.65 \times 10^5$ Unità CGS, $Z_{ar} = 2.7 \times 10^5$ Unità CGS);
2. Elevato valore della velocità di propagazione relativo alla resina di incollaggio ($V_{ar} = 400.000$ cm/s); ciò determina una spaziatura fra i minimi di diversi MHz, incompatibile con una pratica implementazione del metodo tenuto anche conto dei valori dell'attenuazione del materiale al crescere della frequenza di esplorazione (vedi eq. (1)).

Una misura dello spessore S_2 può peraltro essere ottenuta da un'analisi del coefficiente di riflessione al variare della frequenza spostando la banda del segnale ultrasonico fra 100 e 500 KHz dove le attenuazioni dei materiali diminuiscono il loro valore e consentono un rilievo abbastanza agevole dei minimi presenti nel tracciato. In fig. 23 è riportato, a scopo di esempio, l'andamento del coefficiente di riflessione al variare della frequenza relativo al caso di $S_1 = 4$ mm e $S_2 = 0.1$ mm; i minimi presenti nell'intervallo 100 - 500 KHz sono abbastanza netti ed, in ogni caso, nel procedimento di seguito delineato, verrà fatto riferimento alla spaziatura Df_{R1} relativa alla coppia a frequenza più bassa. L'analisi numerica fatta ha dimostrato la sensibilità del valore Df_{R1} a variazioni nello spessore S_2 per un assegnato spessore S_1 degli aderendi. Tale sensibilità è tale da consentire discriminazioni fra spessori S_2 dell'ordine del decimo di millimetro. Può essere interessante notare che la rilevazione dei minimi suddetti addirittura migliora nel caso in cui il pezzo in esame

RESINA

FIBRA DI CARBONIO

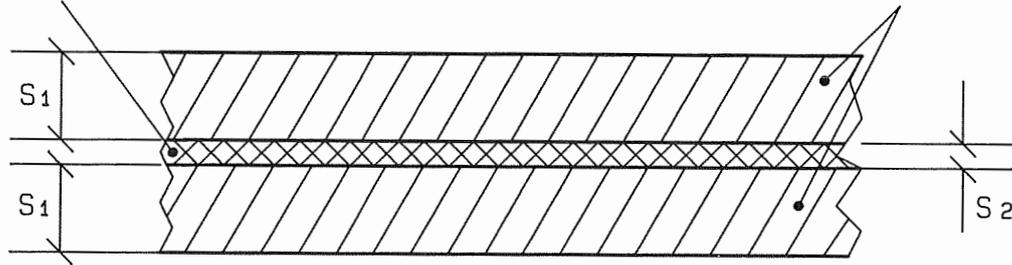


Fig.1

ARIA

FIBRA DI CARBONIO

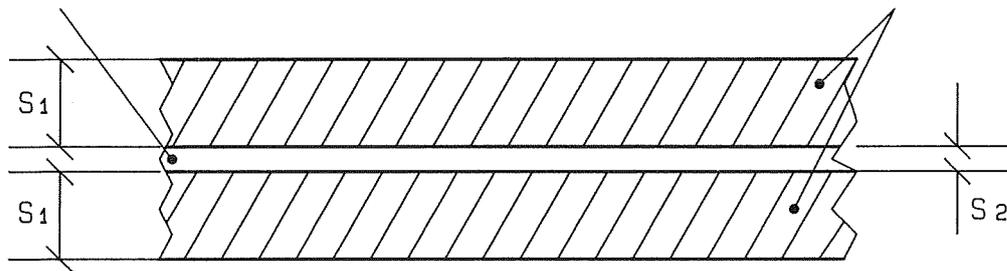
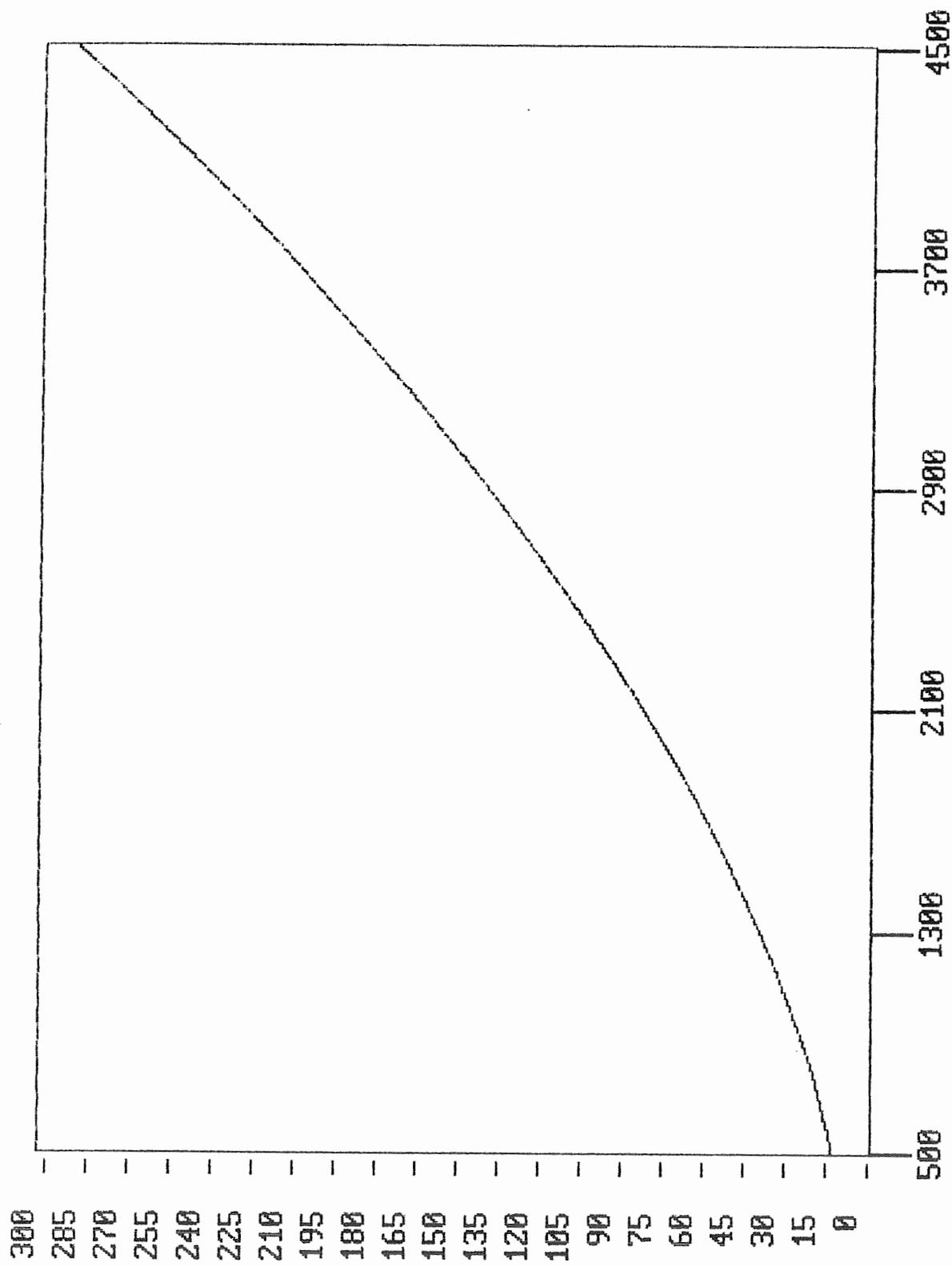


Fig.2



ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR=2.7000 ZP=4.6500 S=.770 S1=.380 S2=.010

Fig.3

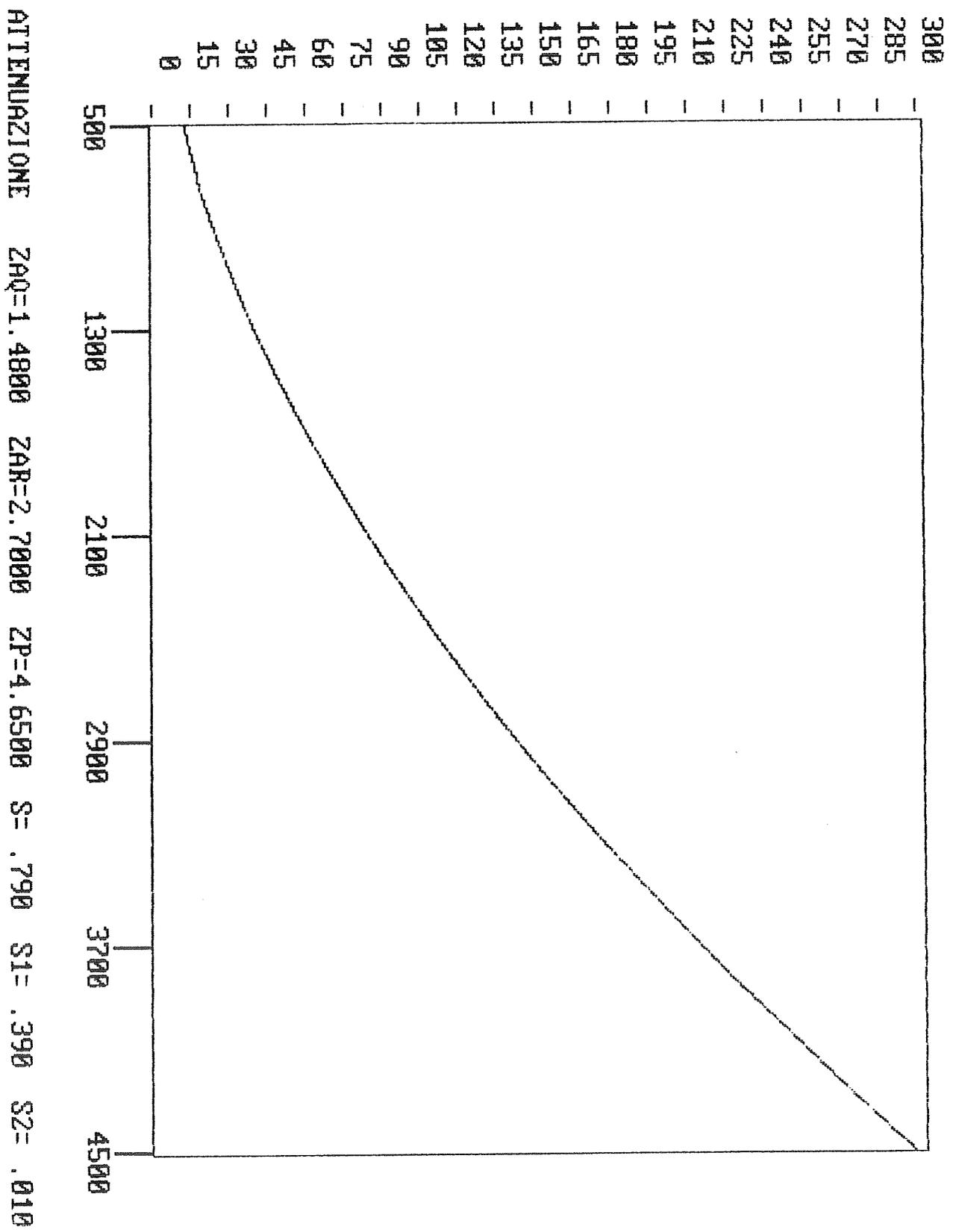
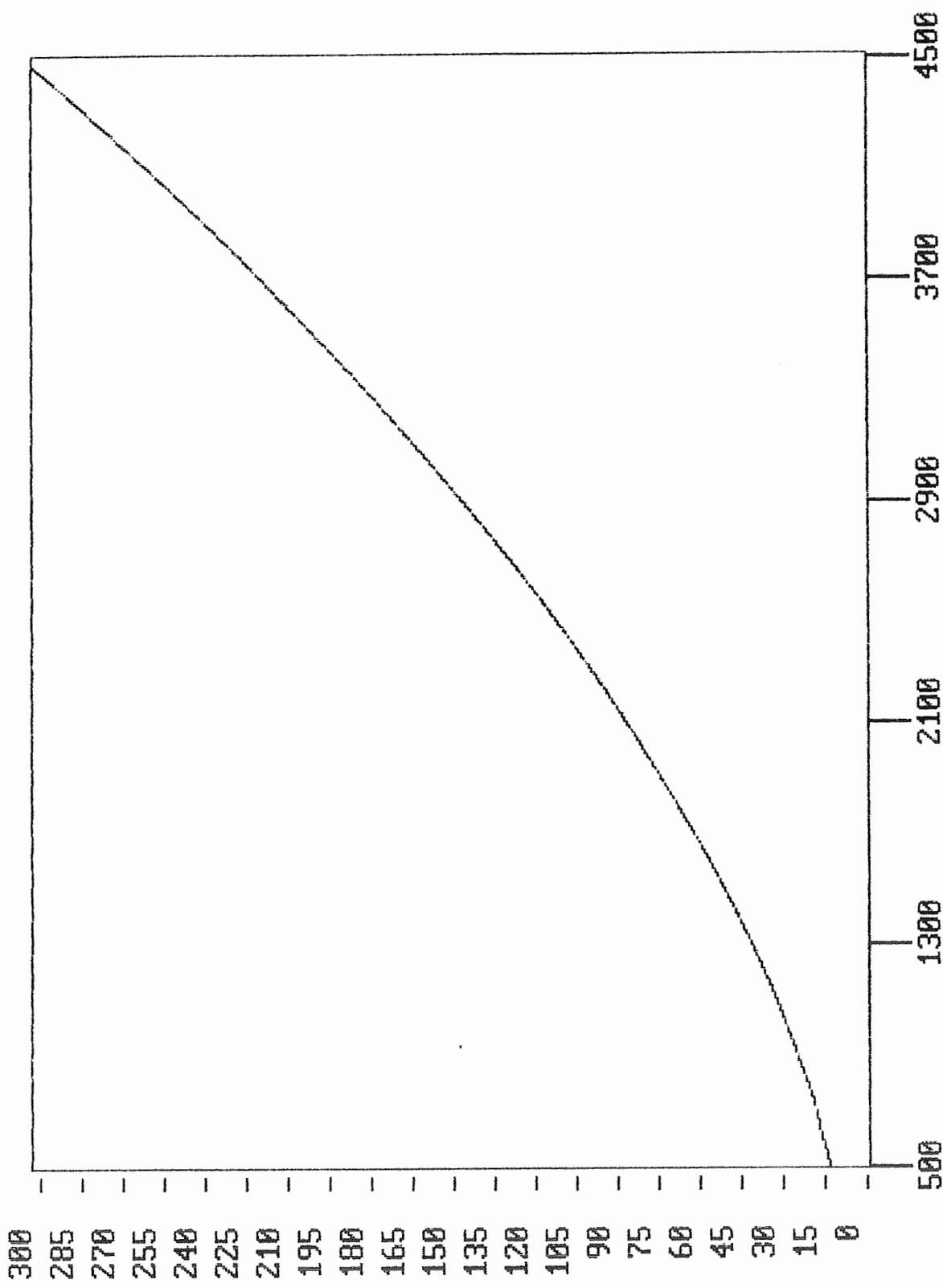


Fig.4



ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR=2.7000 ZP=4.6500 S= .810 S1= .400 S2= .010

Fig.5

ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR=2.7000 ZP=4.6500 S= .830 S1= .410 S2= .010

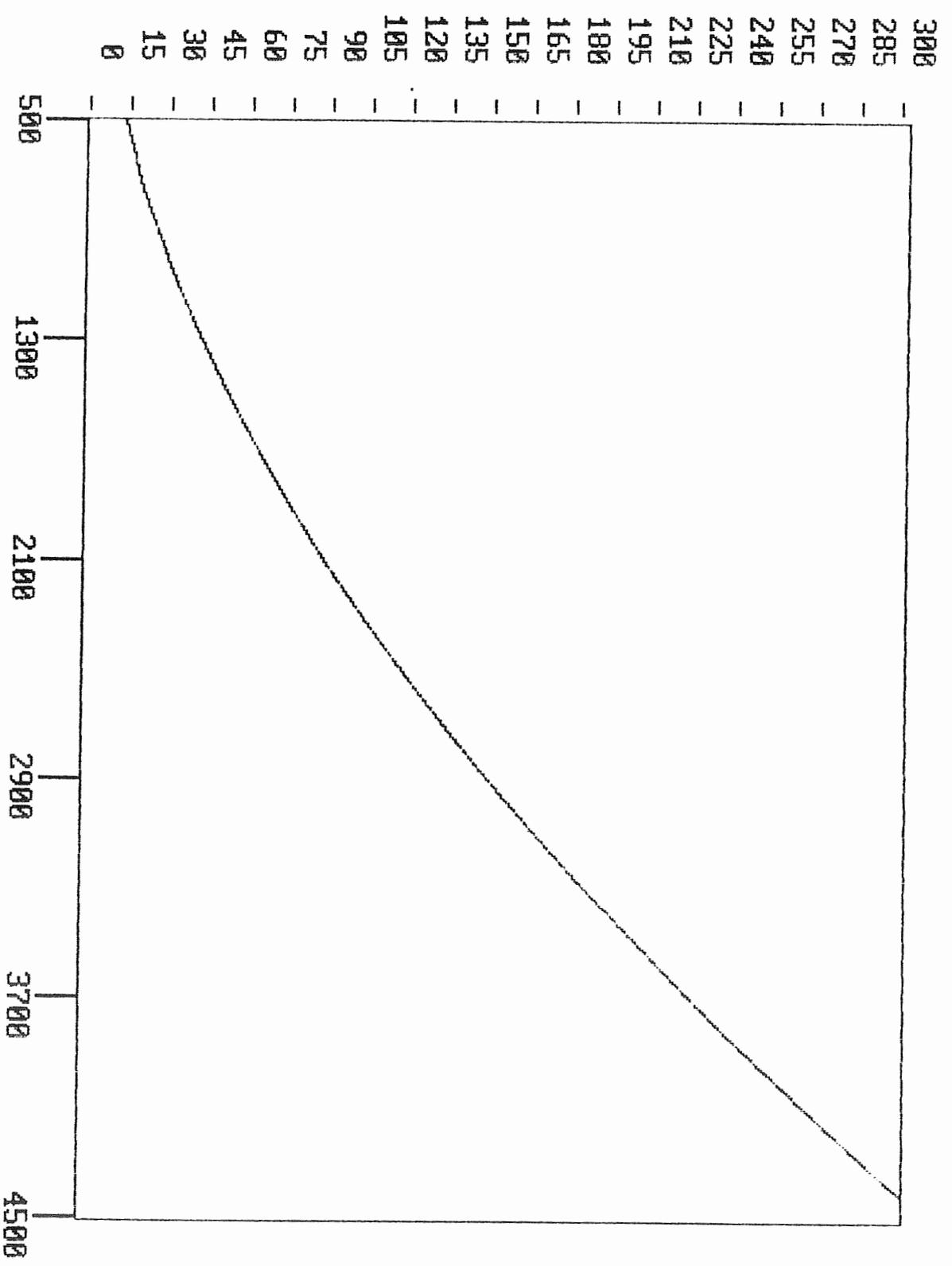
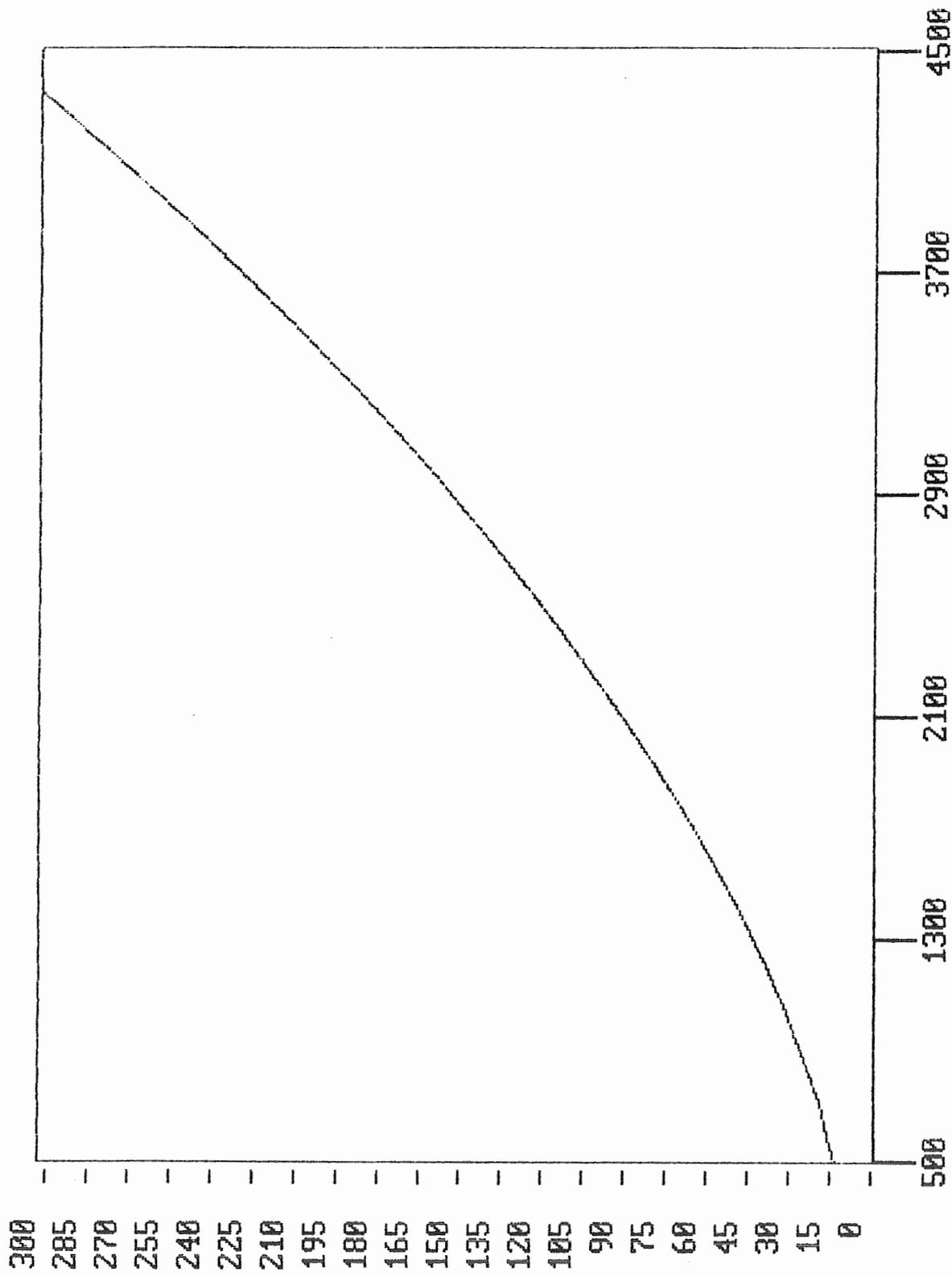


Fig.6



ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR=2.7000 ZP=4.6500 S= .850 S1= .420 S2= .010

Fig.7

ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR= .0004 ZP=4.6500 S= .770 S1= .380 S2= .010

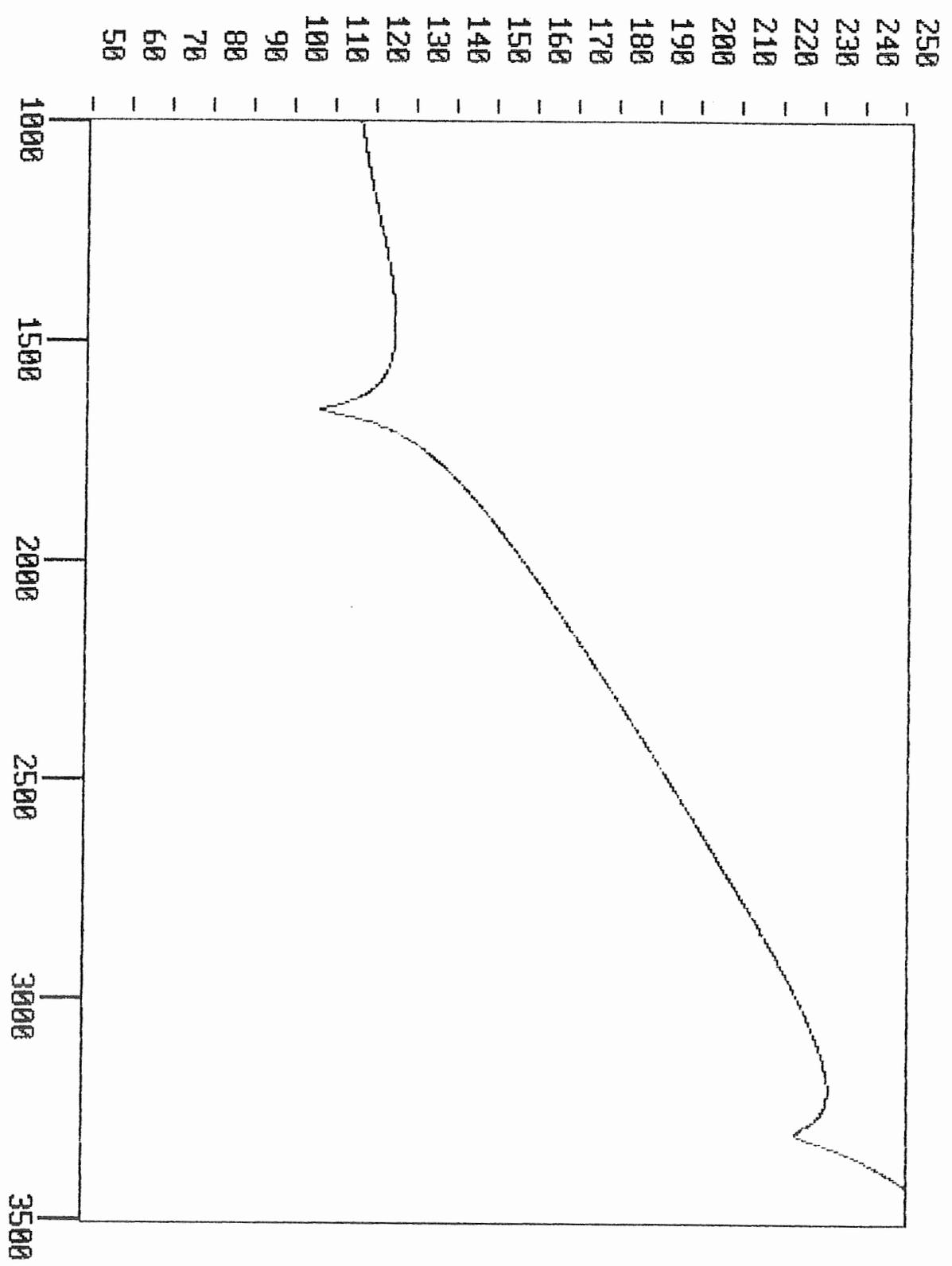
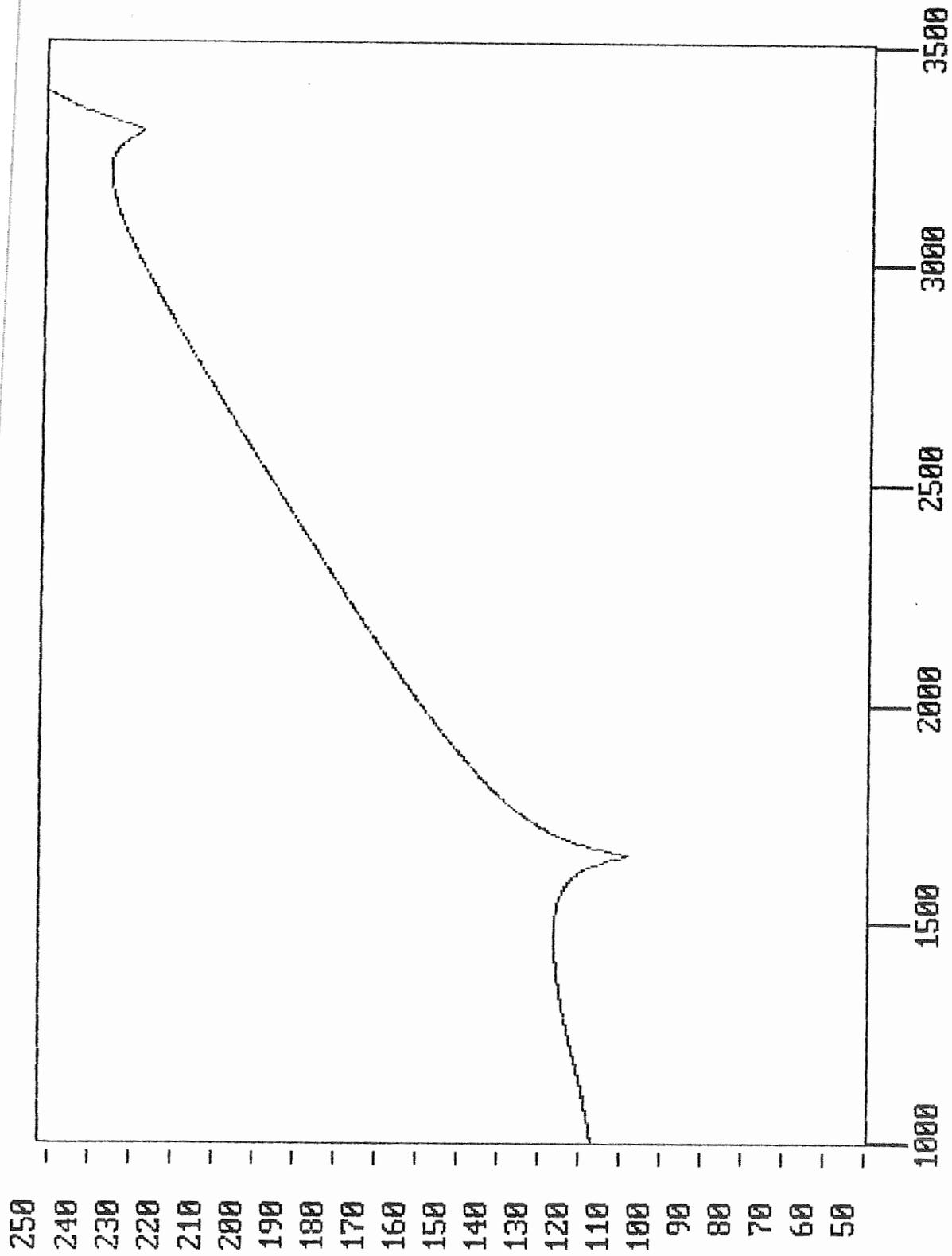


Fig.8



ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR= .0004 ZP=4.6500 S= .790 S1= .390 S2= .010

Fig.9

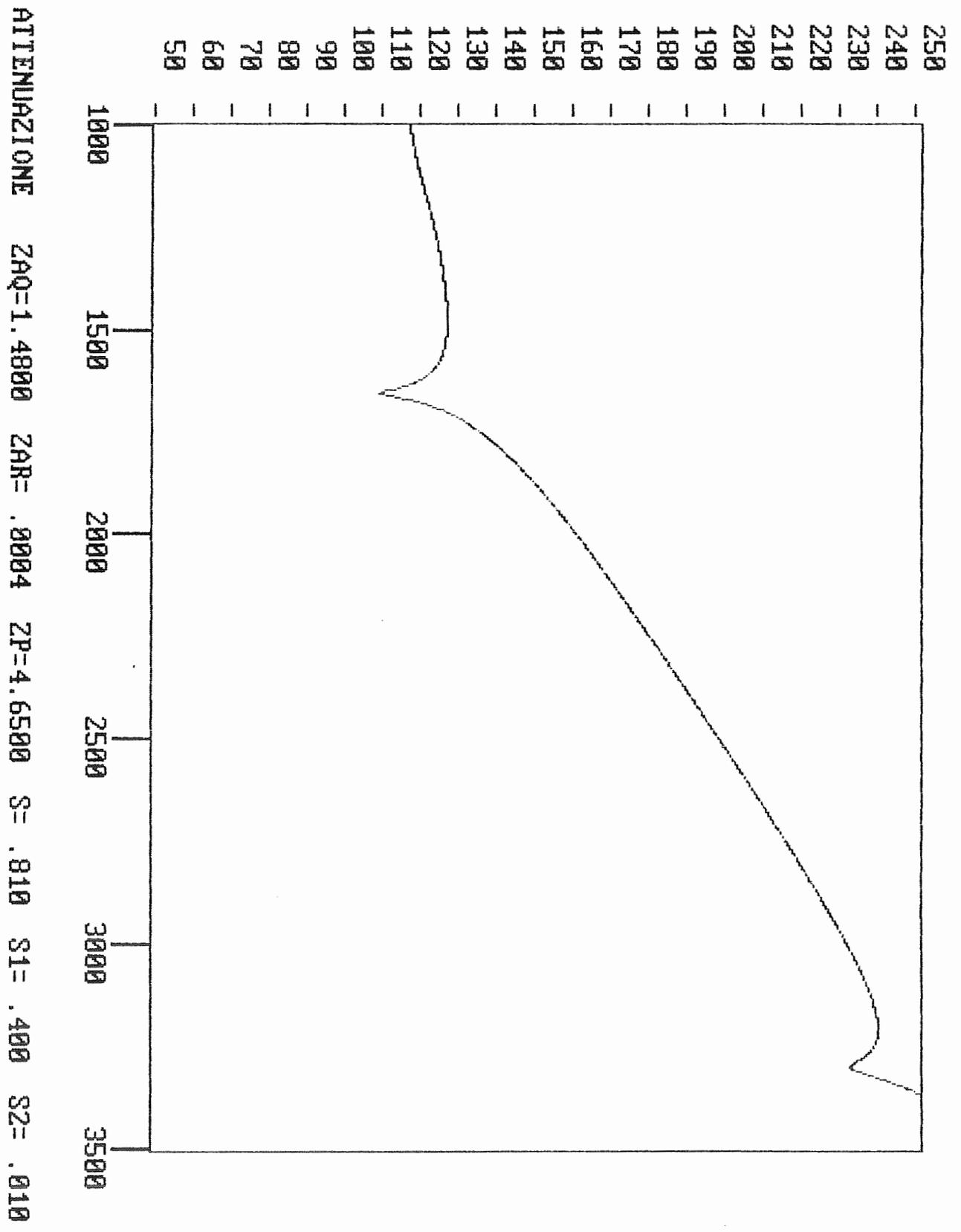
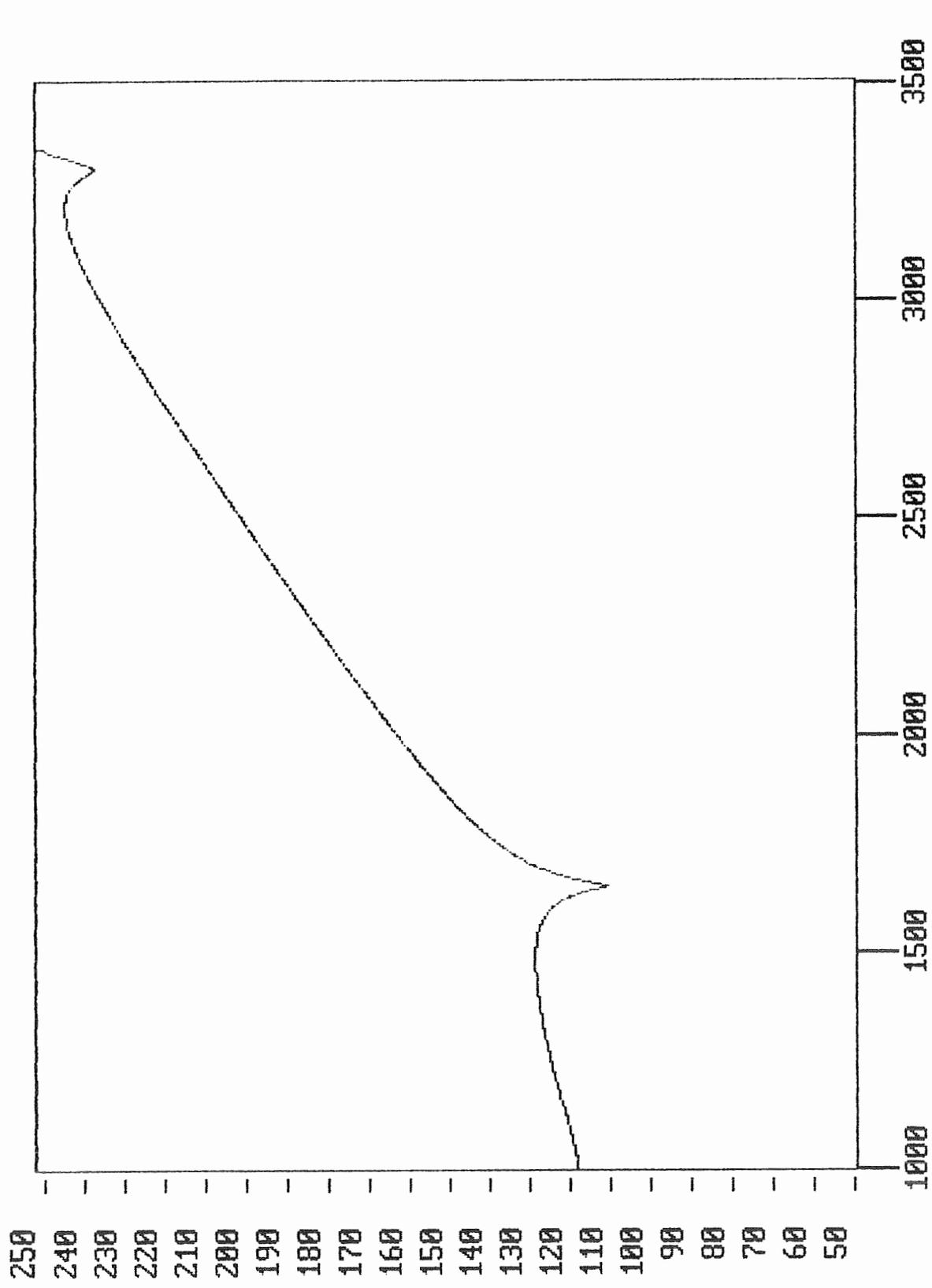


Fig.10



ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR= .0004 ZP=4.6500 S= .830 S1= .410 S2= .010

Fig.11

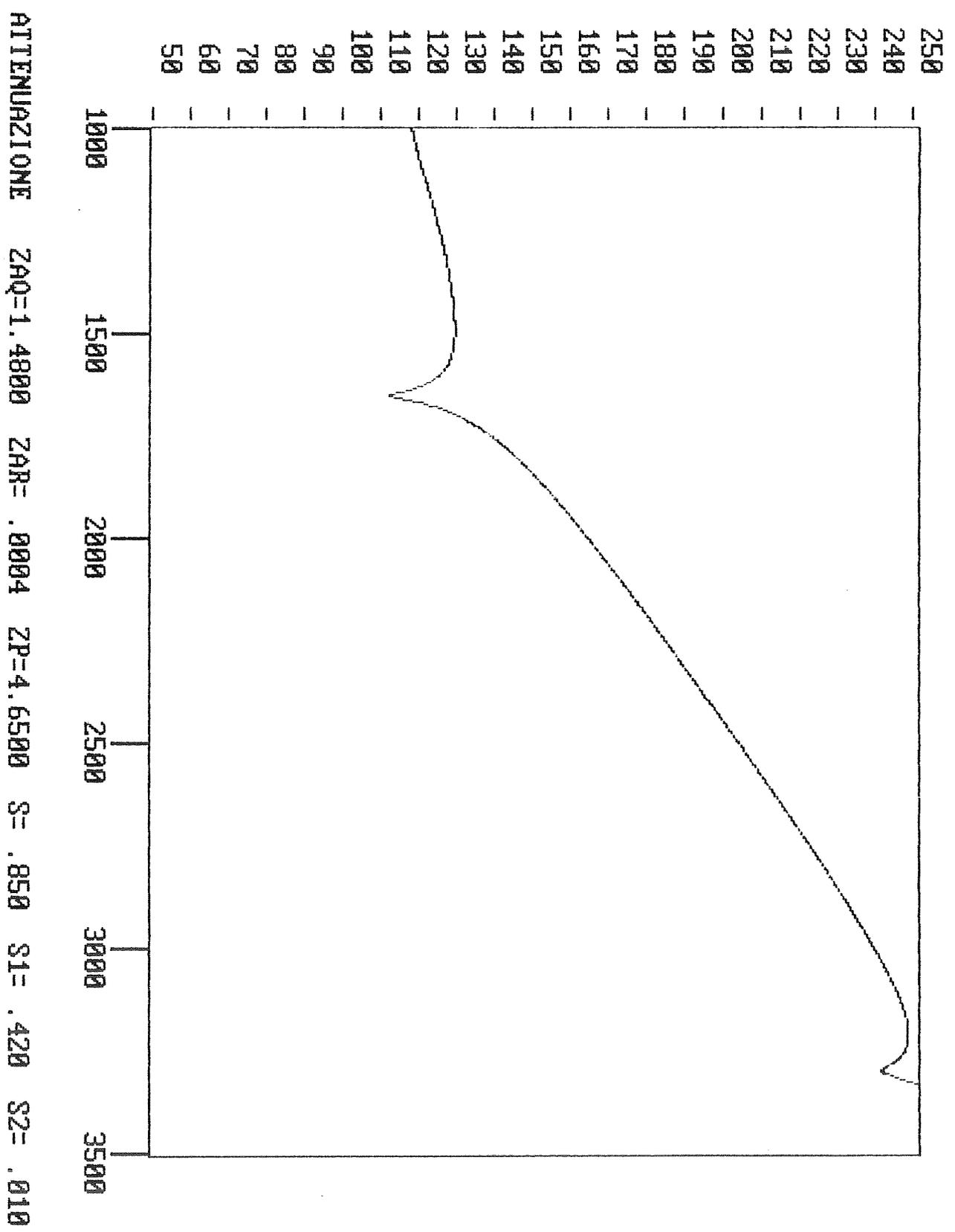
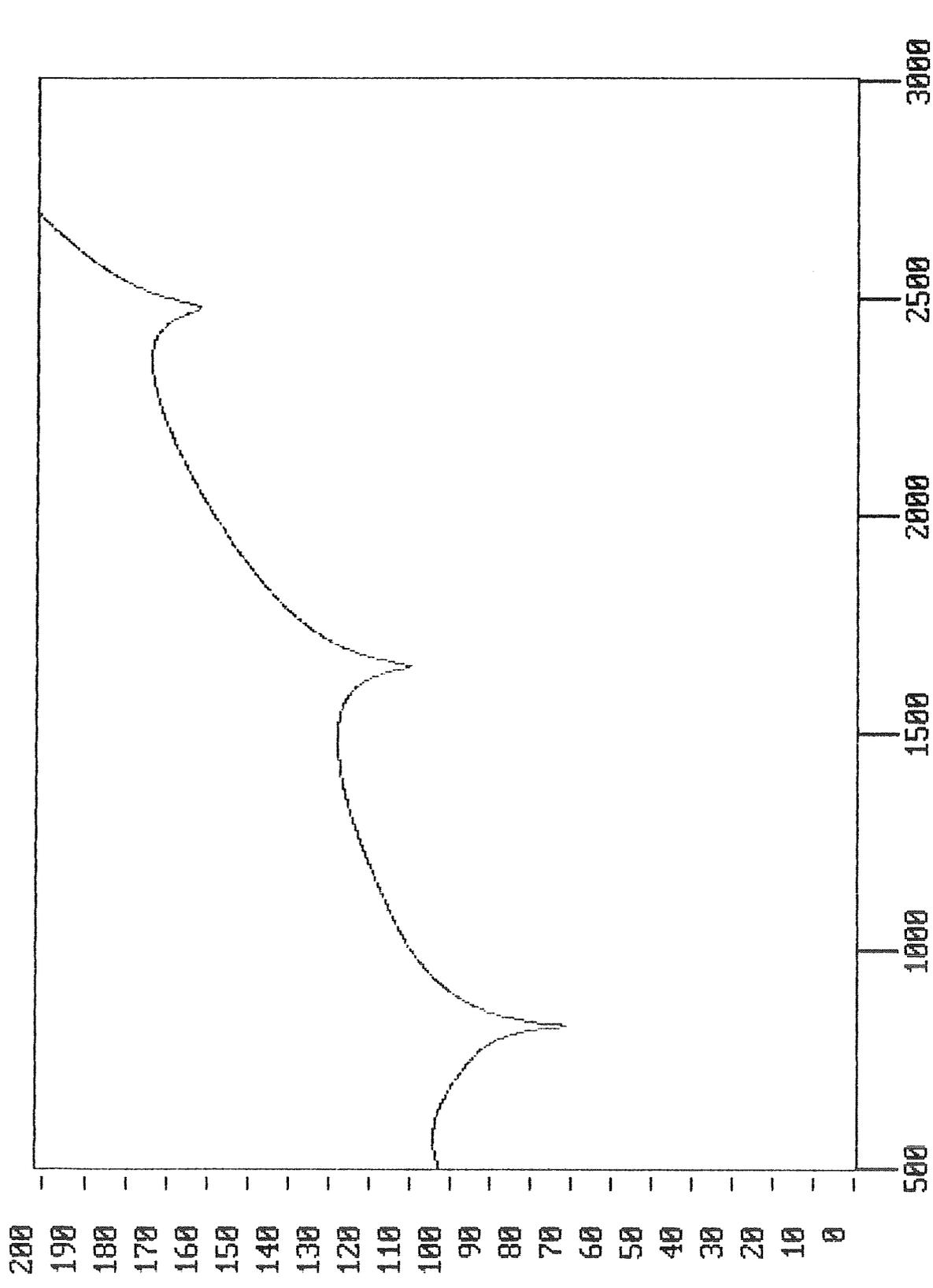


Fig.12



ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR= .0004 ZP=4.6500 S= .780 S1= .380 S2= .020

Fig.13

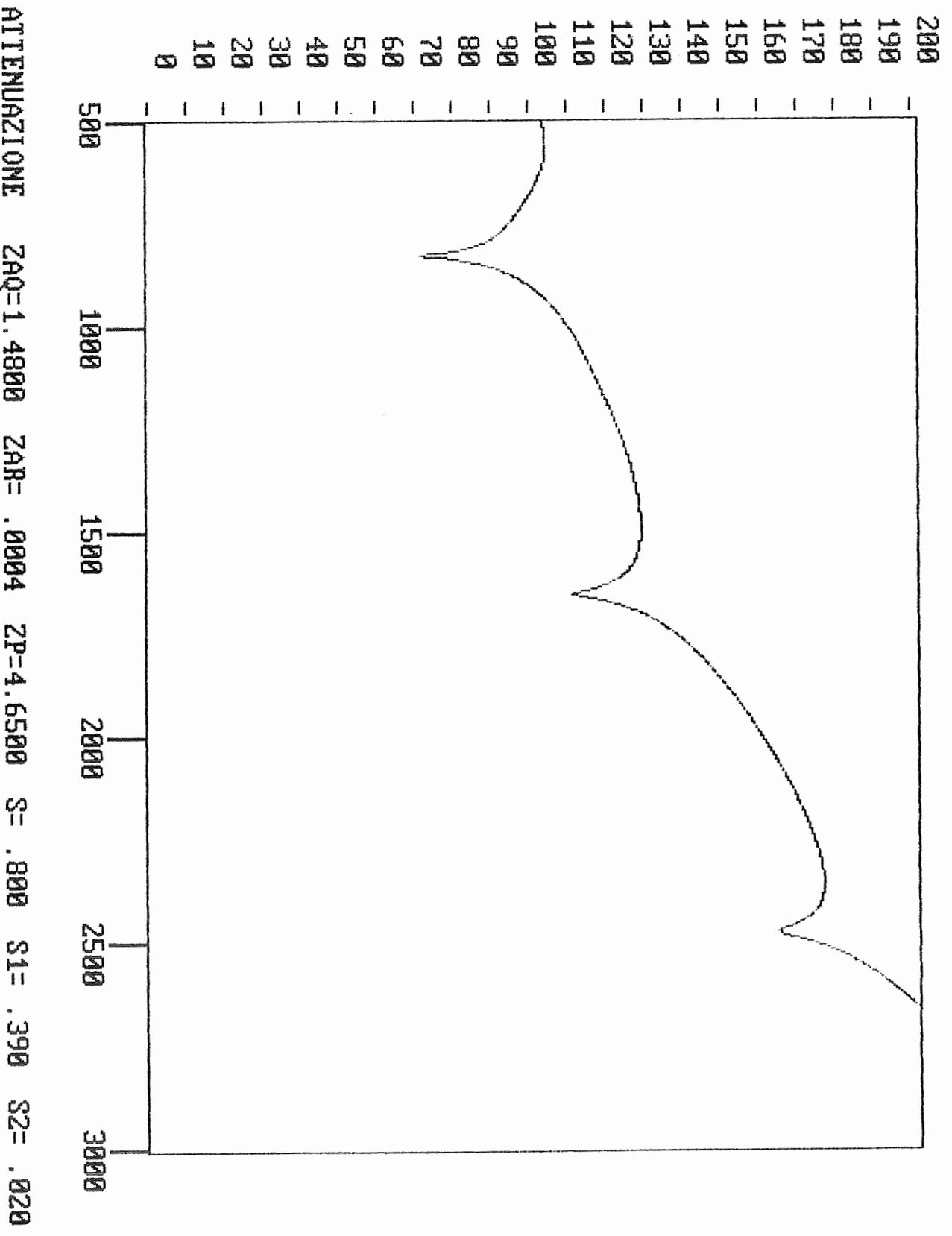


Fig.14

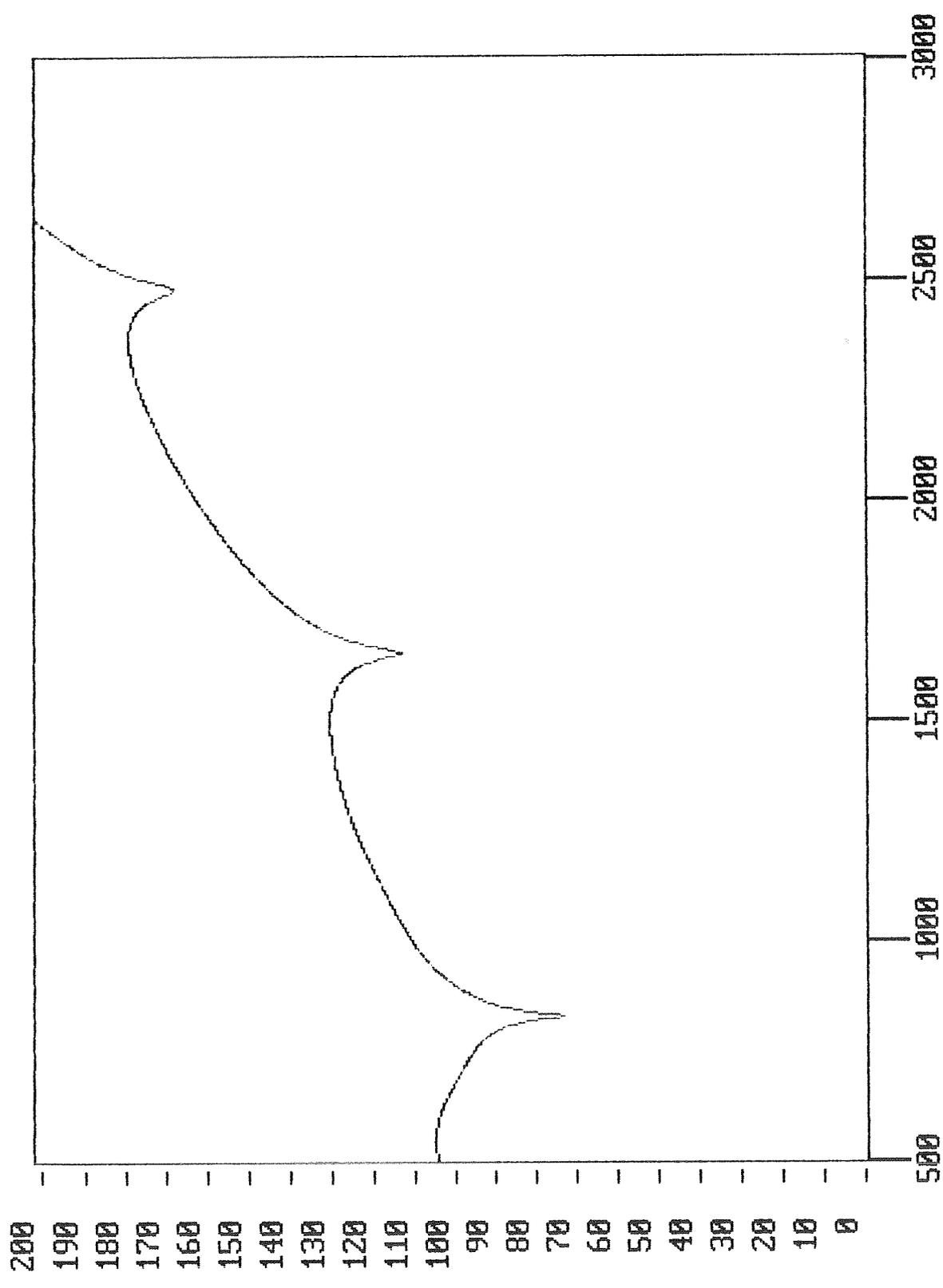


Fig.15

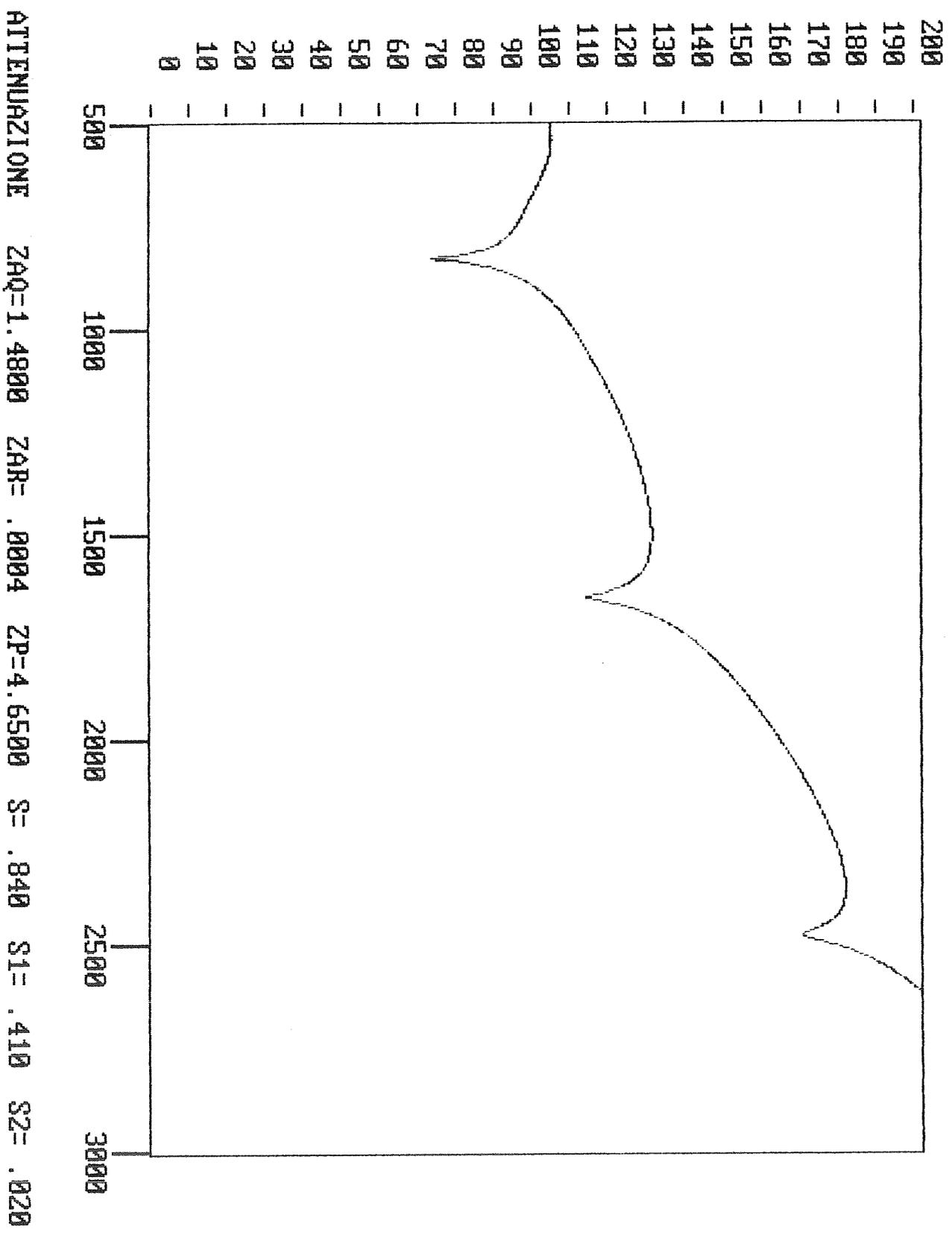


Fig.16

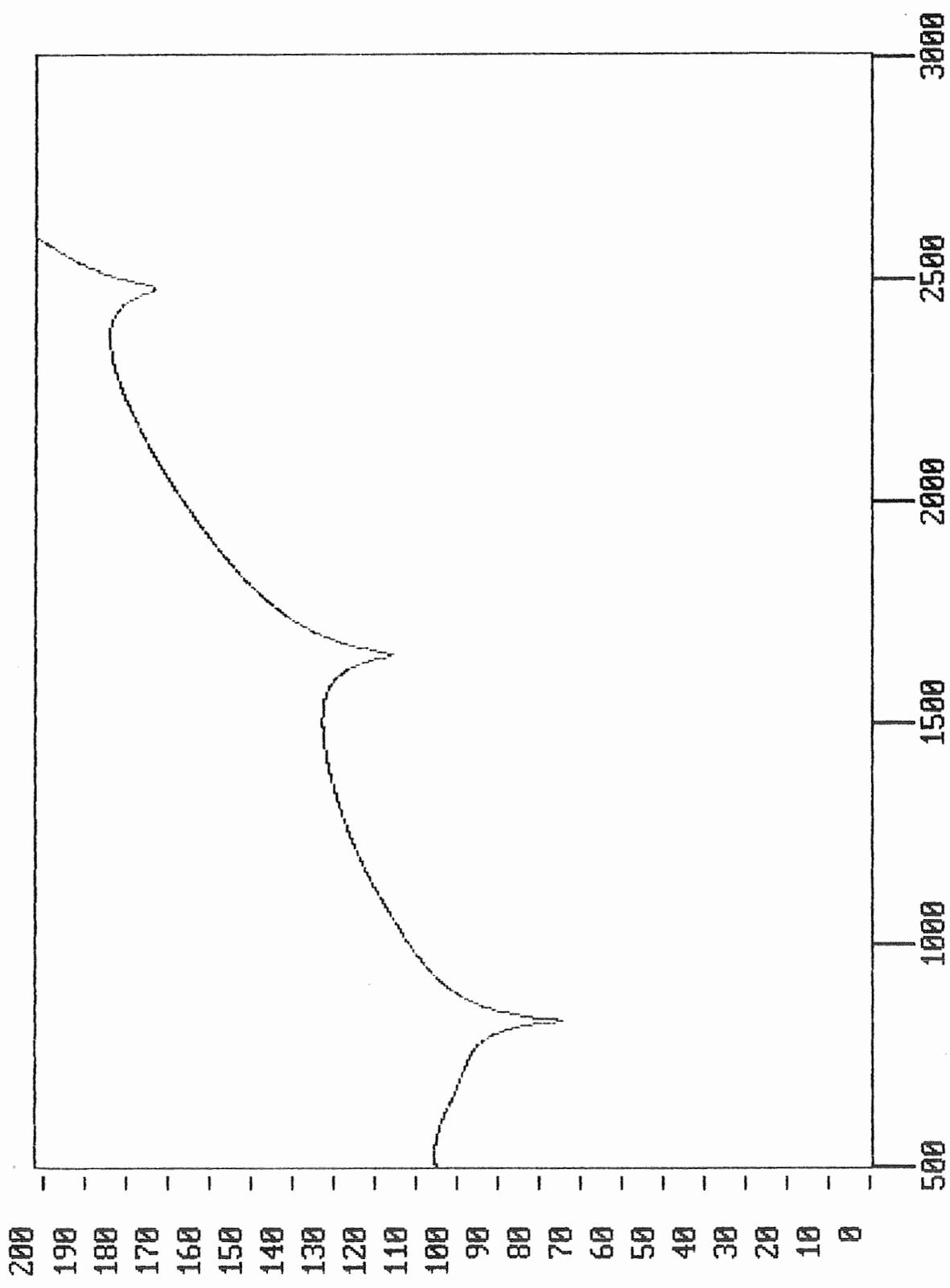


Fig.17

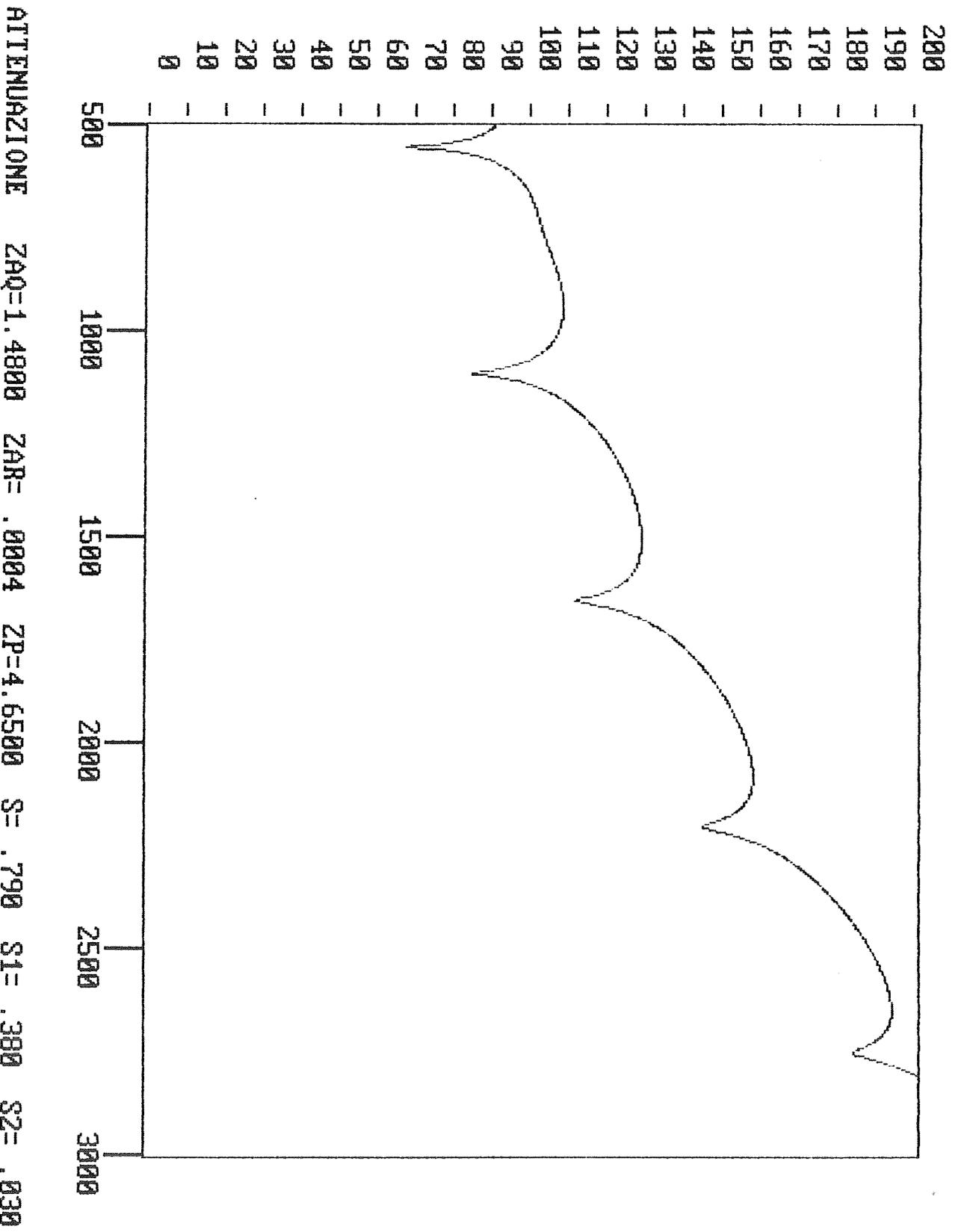


Fig.18

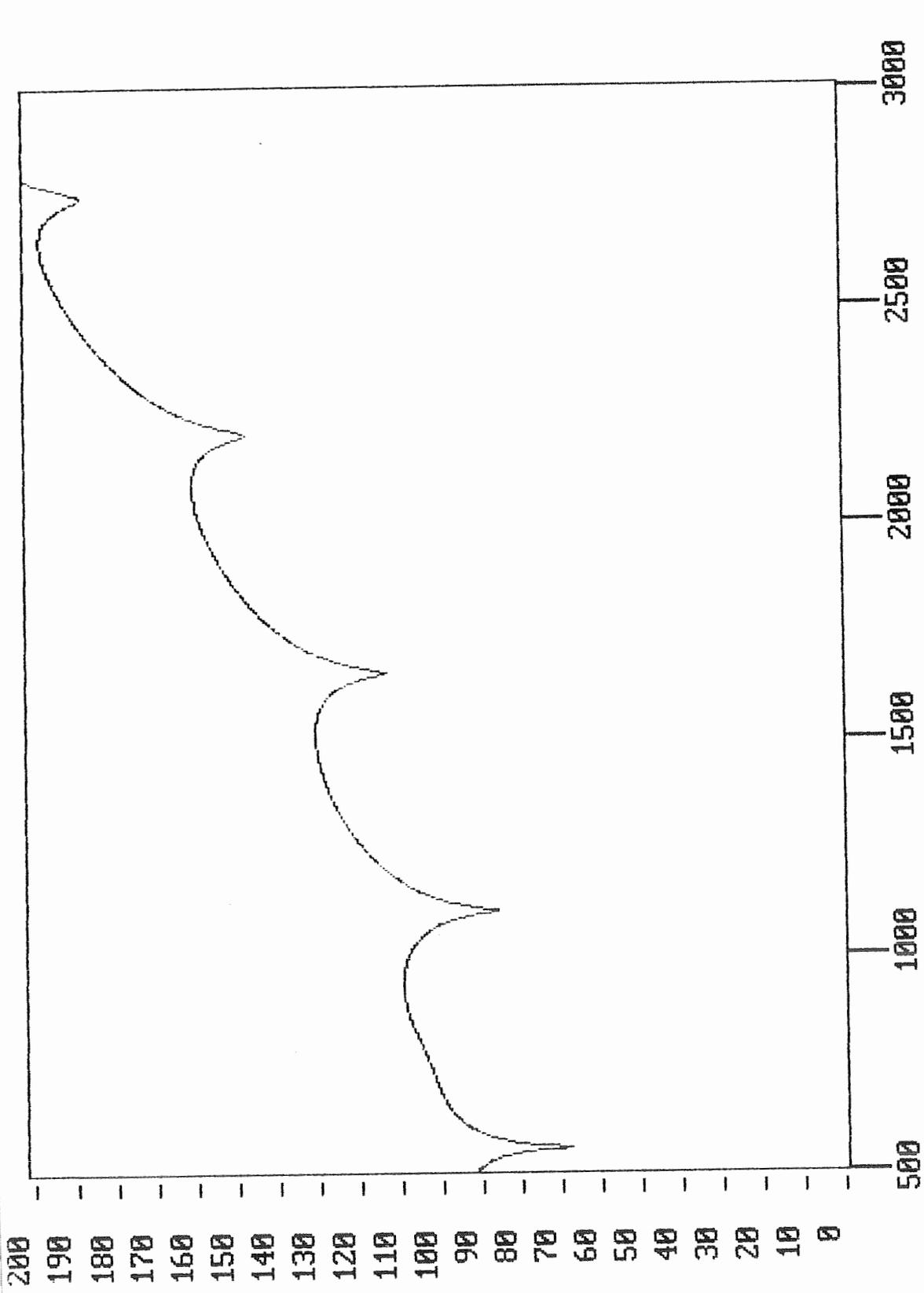


Fig.19

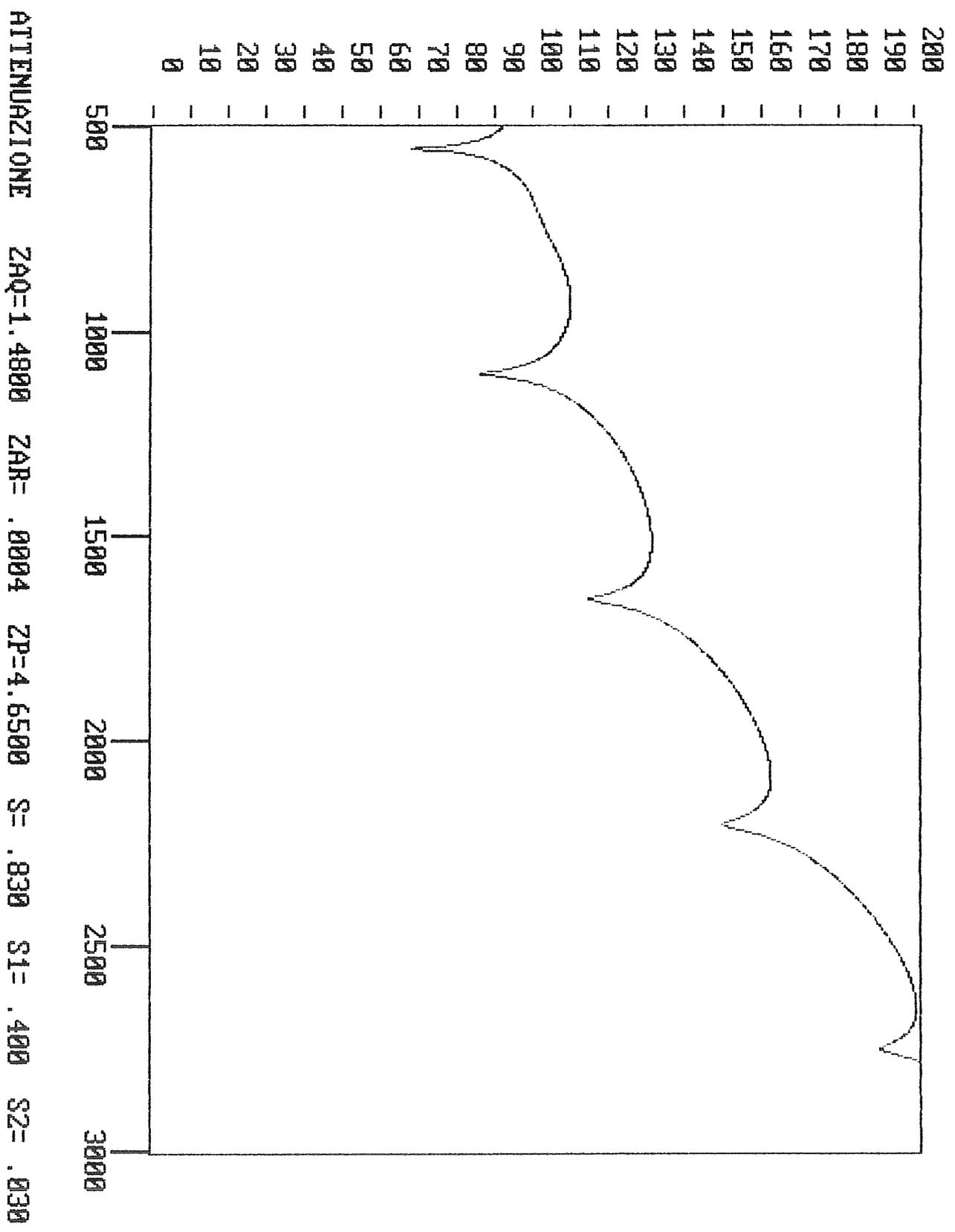
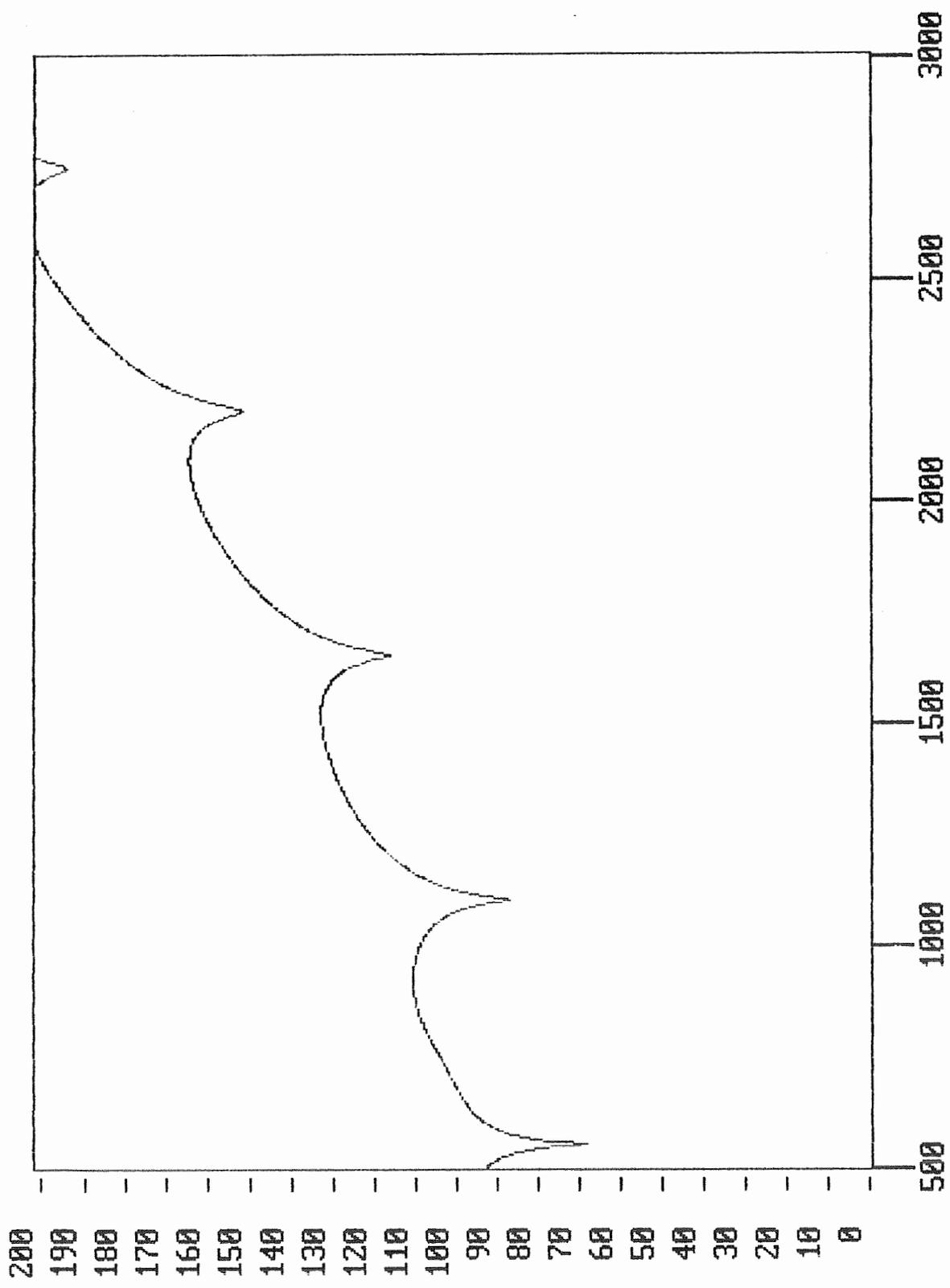


Fig.20



ATTENUAZIONE ZAQ=1.4800 ZAR= .0004 ZP=4.6500 S= .850 S1= .410 S2= .030

Fig.21

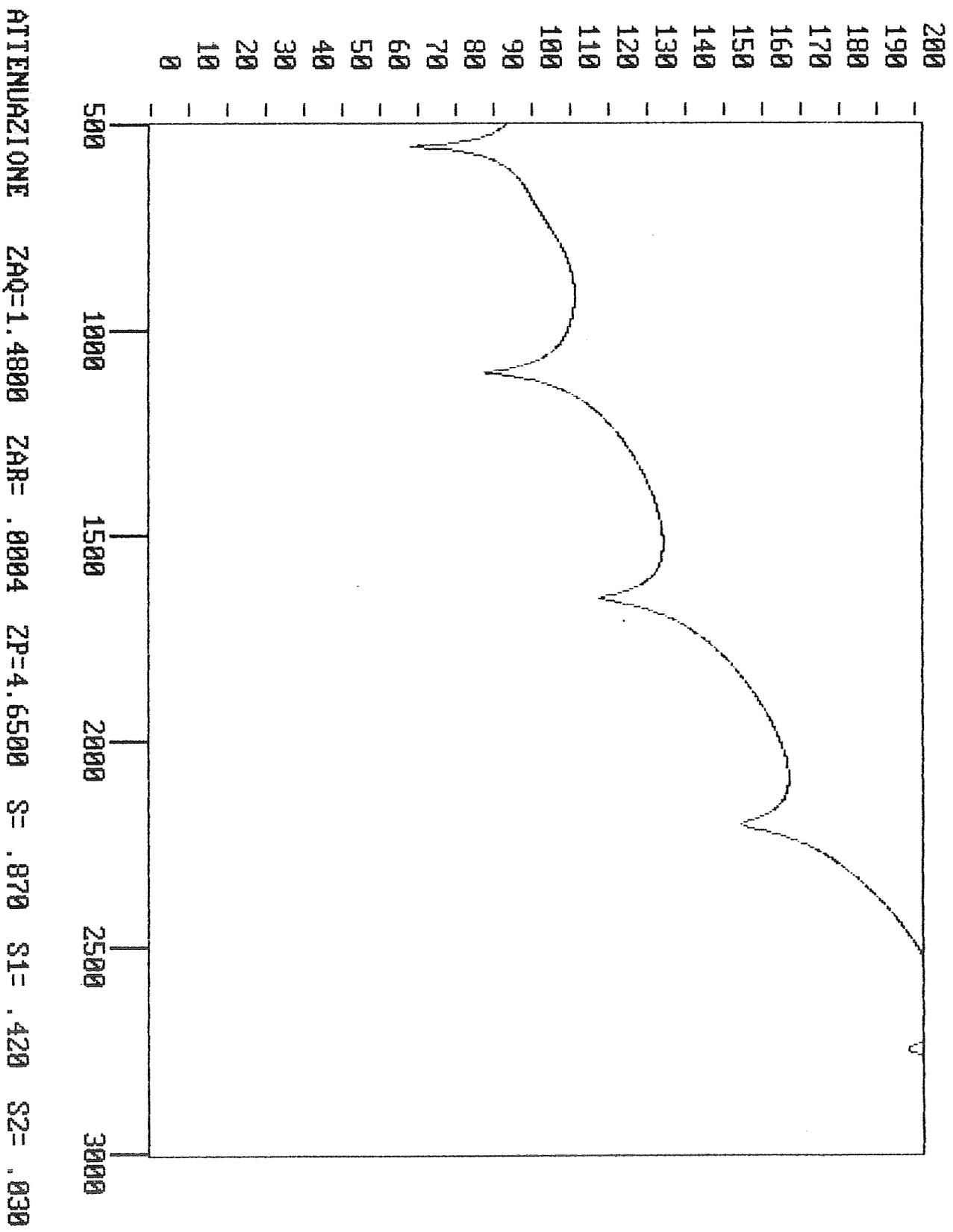
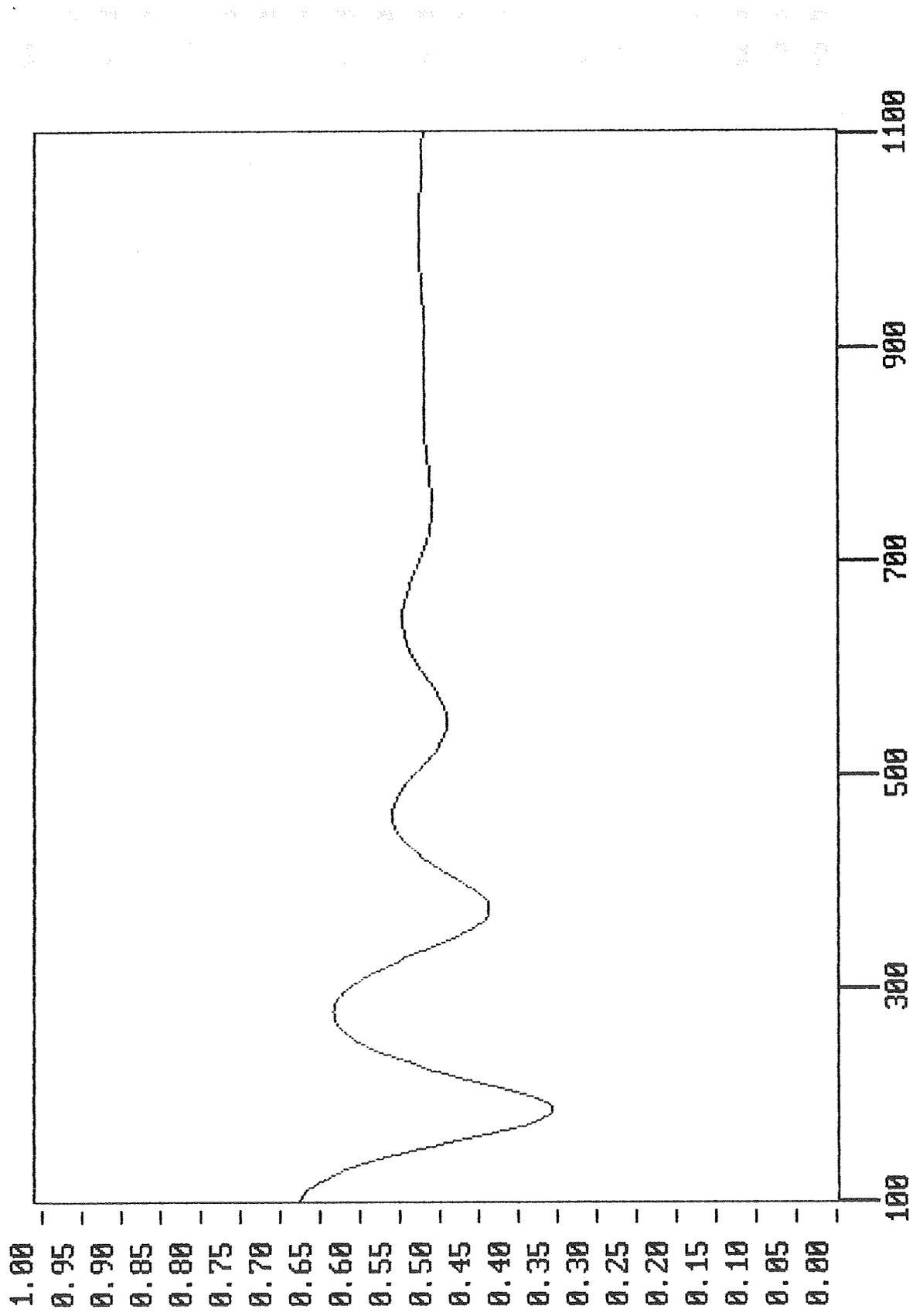


Fig.22



RIFLESSIONE ZAQ=1.4800 ZAR=2.7000 ZP=4.6500 S= .810 S1= .400 S2= .010

Fig.23

STRUTTURA ESAMINATA

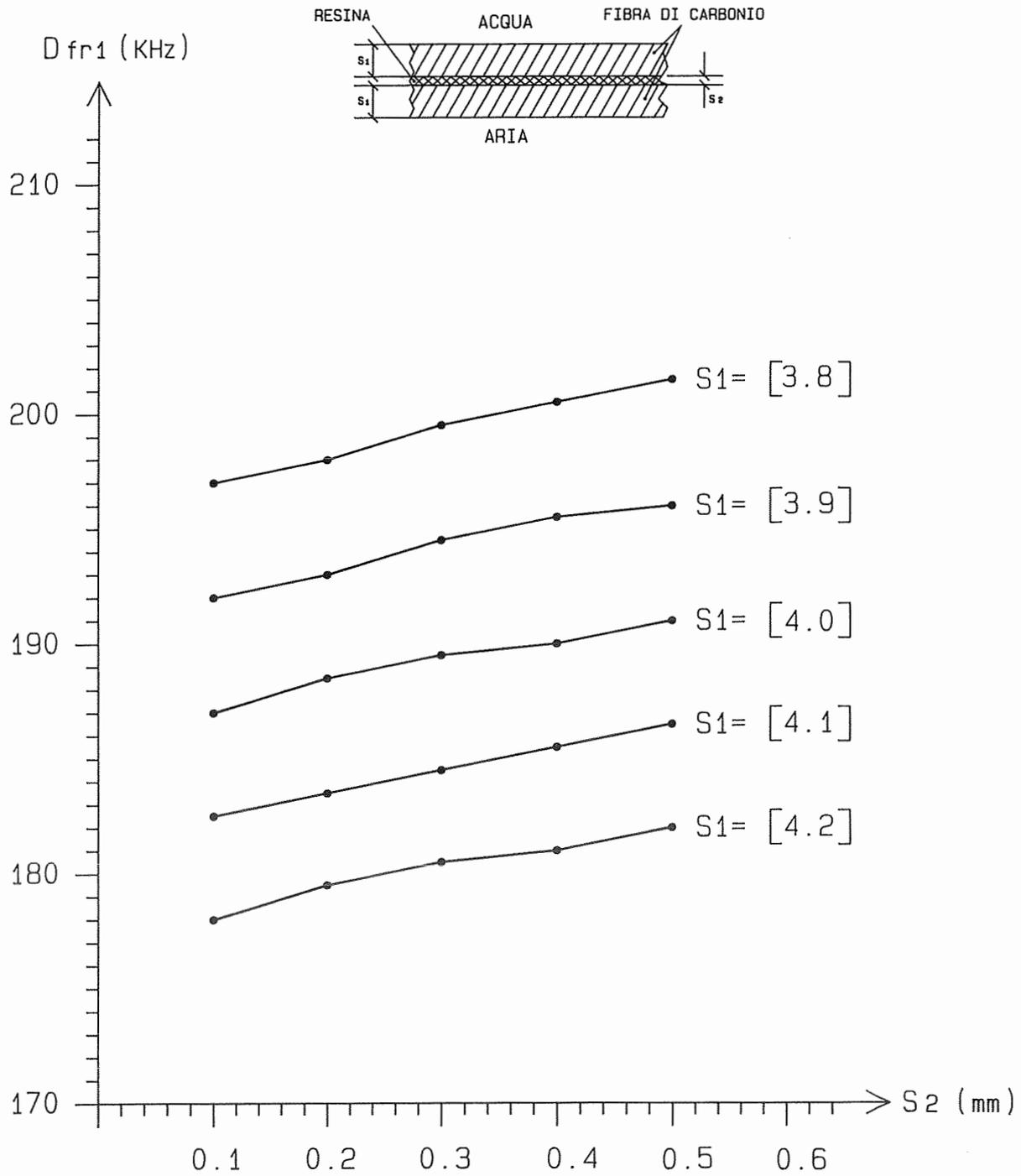


Fig.26