

In collaborazione
con

ENEA



PROGETTO FINALIZZATO ENERGETICA 1983-1987

2° SEMINARIO INFORMATIVO SULLE ATTIVITA' DI RICERCA PROMOSSE CON I PROGETTI ESECUTIVI 1984 e 1986

Sottoprogetto Energia Geotermica

Ferrara 21-22 dicembre 1987
Centro Congressi

SI - 5

PFE
Via Nizza, 428
00198 Roma
Febbraio 1988

C.N.R. - Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto Energia Geotermica
SULLE RISORSE GEOTERMICHE A MEDIO-BASSA TEMPERATURA NELLA PARTE
MERIDIONALE DEL BACINO NEOAUTOCTONO DELLA VAL D'ELSA - STUDI PRELIMINARI -

PROSPEZIONE GEOELETTIRICA

G. Censini

Georisorse Italia S.a.s. - Siena

INTRODUZIONE

Nell'ambito degli studi geologici che il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena sta conducendo nella zona meridionale del Bacino Neautoctono dell'Elsa, con finalità di valutazione delle potenzialità geotermiche dell'area, la Georisorse Italia ha effettuato una prospezione geofisica mediante Sondaggi Elettrici Verticali (SEV) al fine di definire l'andamento del substrato dei terreni neoautoctoni.

Il programma dell'intervento geofisico prevedeva l'esecuzione di circa 50 SEV; nella presente relazione si riportano i risultati dei primi 20: al termine di questi, infatti, si è deciso di interrompere momentaneamente le operazioni sul terreno per programmare in maniera migliore l'ubicazione e le caratteristiche dei rimanenti. Questa pausa di riflessione è stata condizionata dal fatto che la presenza, nella zona centrale del bacino, di zone industrializzate o, comunque, antropizzate, di notevole estensione, costituisce un serio problema per l'esecuzione dei SEV con la lunghezza di linea AB necessaria per ottenere informazioni sul substrato che si trova a profondità di 1.000-1.500 metri dal piano campagna.

I risultati sin qui conseguiti hanno, tuttavia, consentito di ricostruire l'andamento del substrato con una buona attendibilità entro un'area di oltre 50 kmq, mentre alcuni SEV esterni a questa hanno consentito di estrapolare i trends individuati fino ad ricostruire un andamento valido a livello di buona ipotesi di lavoro per un'estensione di oltre 100 kmq.

Tra i risultati più interessanti che sono stati ottenuti si può, fin da adesso, segnalare che alcune distorsioni delle curve di livello del tetto del substrato sembrano confermare l'esistenza di una importante discontinuità anti-appenninica.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per una dettagliata descrizione geologica della zona di intervento si rimanda allo specifico lavoro eseguito dal Dipartimento di Scienze della Terra; in questa sede se ne illustrano brevemente le caratteristiche essenziali e di interesse per la prospezione.

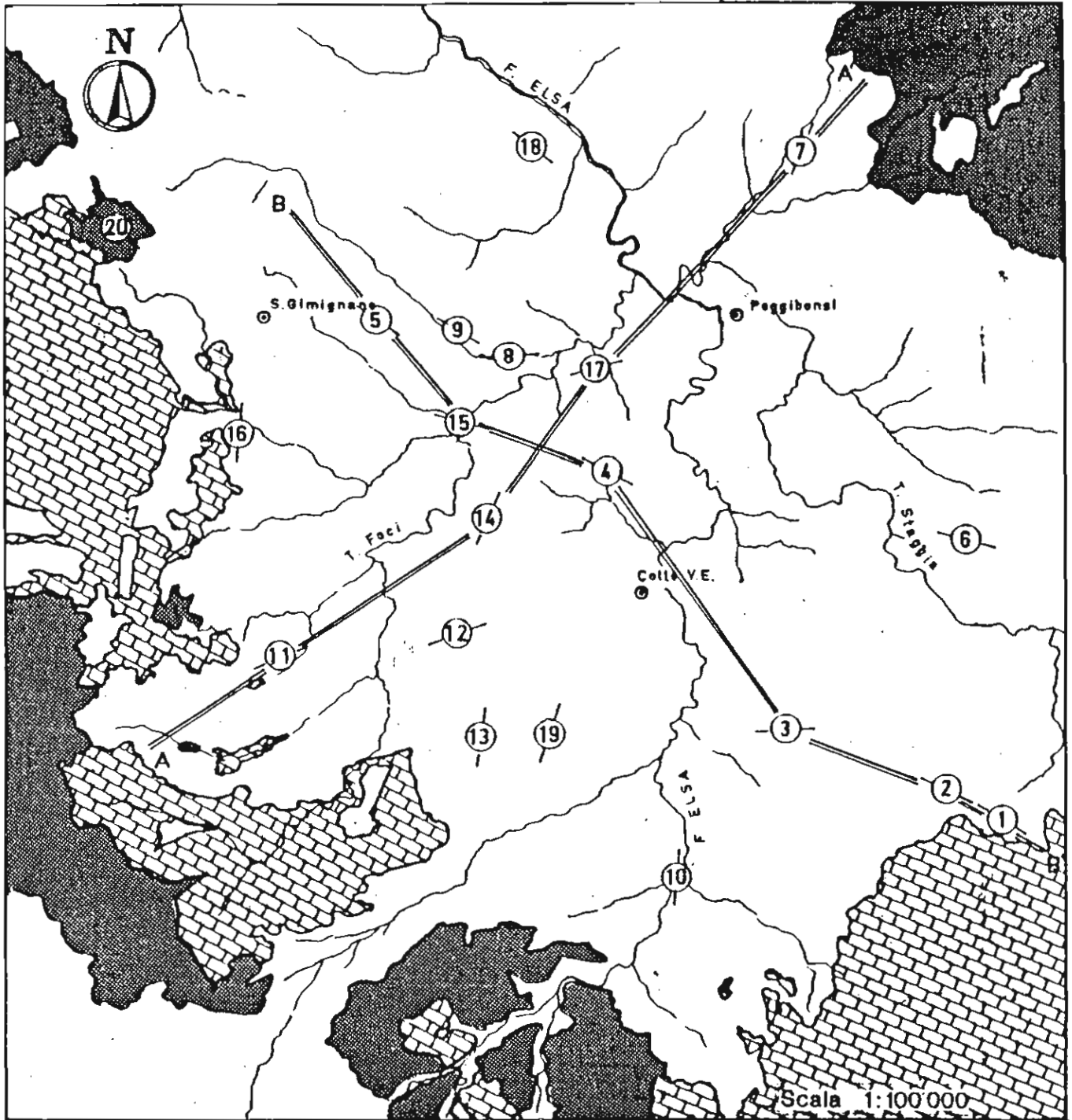
L'area in oggetto è caratterizzata dalla presenza di terreni mio-pliocenici appartenenti al Complesso Neautoctono della Toscana poggianti su un substrato che emerge ai bordi del bacino, presentando una vistosa variabilità litologica e formazionale che, ai soli fini del rilevamento geofisico è possibile raggruppare in due Complessi principali (vedi fig. 1):

- Il complesso più antico, che raggruppa le formazioni carbonatiche della Falda toscana è presente lungo tutto il bordo occidentale e meridionale del bacino; questo complesso raggruppa il Calcare cavernoso (CCv) e le formazioni mesozoiche metamorfiche della Montagnola Senese. In questo complesso è inserito anche il prodotto di elaborazione in situ o in ambiente continentale del CCv, indicato nella letteratura come Breccia di Cerreto a Merse, affiorante nella zona SE dell'area riportata in figura; questo accorpamento è stato effettuato in quanto, in base ad esperienze pregresse ed ai risultati sin qui ottenuti le caratteristiche elettriche di questo litotipo sono del tutto simili a quelle del CCv.

- Nel complesso delle formazioni in facies ligure l.s. sono stati raggruppate tutte le formazioni 'terrigene' (Argille a Palombini, Flysch di Monte Morello, formazione di Sillano, Pietraforte, Flysch di S. Donato). Anche le rocce ofiolitiche, in quanto inglobate, tettonicamente o come olistostromi, nelle formazioni 'terrigene' sopra indicate sono state inserite in questo gruppo.

- Nel gruppo delle formazioni neautoctone sono stati inseriti tutti i terreni marini (argille, sabbie e conglomerati del Pliocene), i depositi lacustri del Miocene ed i sedimenti continentali (travertini antichi e recenti ed alluvioni) del Quaternario ed Attuale.

PROSPEZIONE GEOELETTRICA NEL GRABEN DELL'ELSA



PIANO DI POSIZIONE

- ⑤ Sondaggio Elettrico, suo numero e direzione di espansione del dispositivo elettrodico
- Traccia delle sezioni interpretative

LEGENDA BASE GEOLOGICA SCHEMATICA




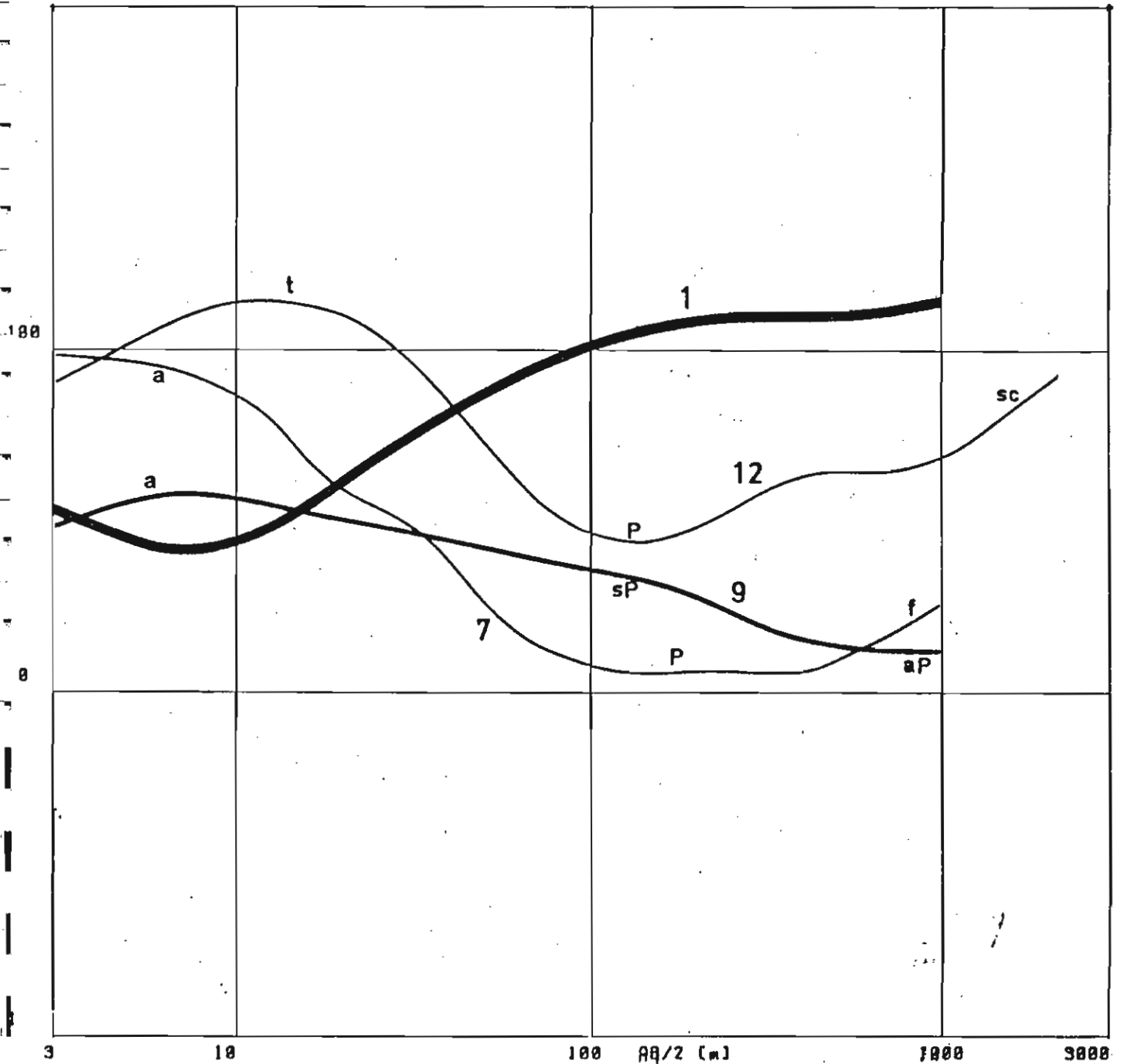
-  Formazioni Neogeniche e successive
-  Formazioni in facies ligure
-  Formazioni carbonatiche della serie toscana

Fig. 1

Fig. 2 - ESEMPI DI CURVE DI RESISTIVITA' APPARENTE RISULTATE
IN DIFFERENTI CONTESTI GEOLOGICI

- 1 - SEV sulla Breccia di Cerreto a Merse (subaffiorante)
- 7 - " su alluvioni (a), Pliocene (P), flysch (f)
- 9 - " su alluvioni (a), sabbie (sP) ed argille (aP) del Pliocene
- 12 - " su travertini (t), Pliocene (P) e substrato carbonatico (sc)

1000 [ohm*m]



OBIETTIVI DELLA PROSPEZIONE GEOFISICA

Come indicato nell'introduzione, l'obiettivo della prospezione era la determinazione dell'andamento del substrato del Neautoctono al fine di effettuare una migliore ricostruzione strutturale del bacino dell'Elsa, indicando, qualora possibile, la natura del substrato stesso.

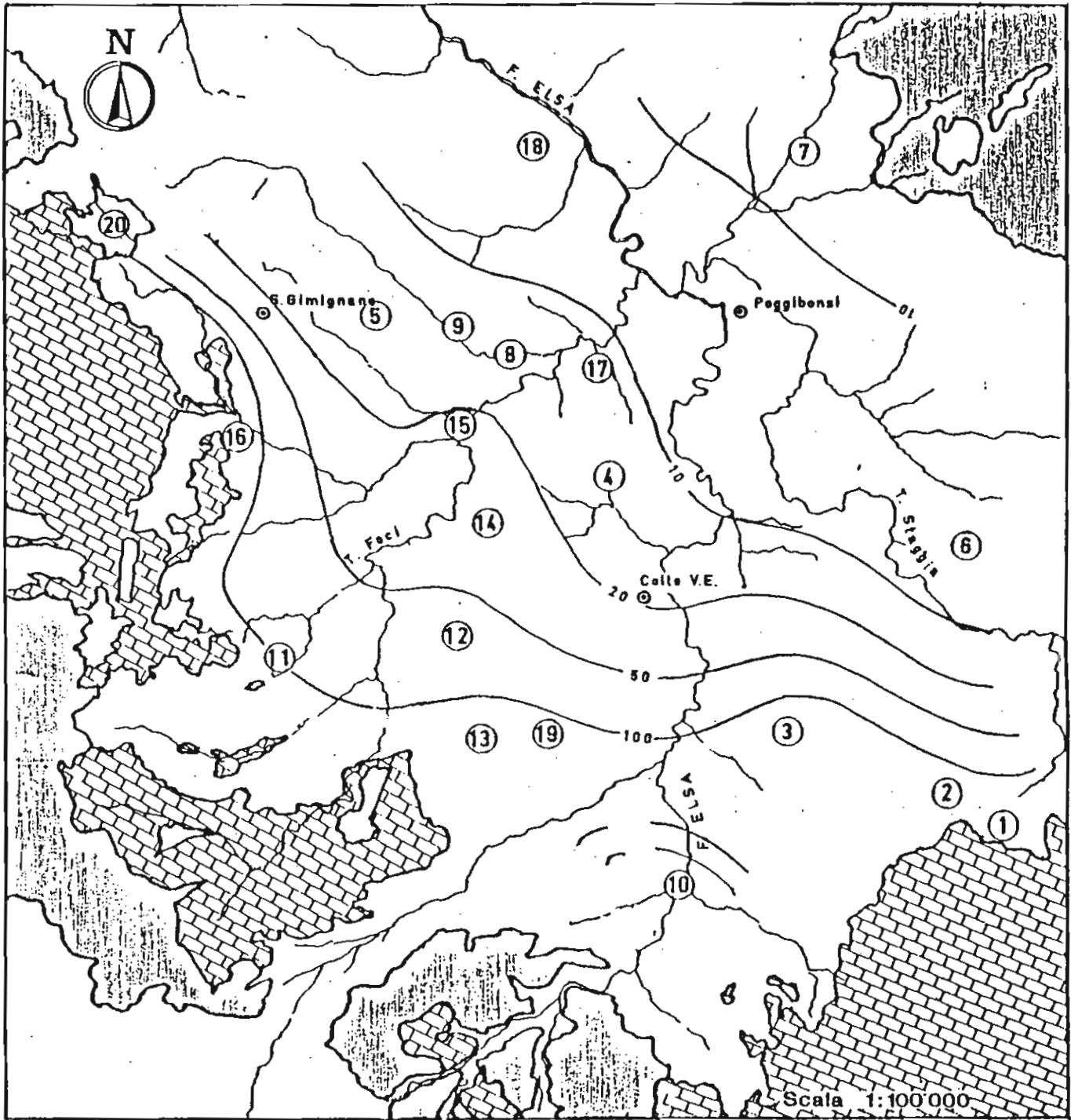
L'applicazione della metodologia di prospezione geofisica mediante Sondaggi Elettrici Verticali è apparsa come la più idonea a soddisfare le esigenze della ricerca tenendo conto, soprattutto del rapporto tra la quantità e qualità di informazioni ed il loro costo. I SEV, infatti, nel locale contesto geologico, sono uno strumento di indagine che ha i presupposti per raggiungere l'obiettivo poiché le caratteristiche elettriche dei vari terreni tendono a valori differenti. Le rocce carbonatiche della Serie Toscana, in genere, sono caratterizzate da alti valori di resistività (anche superiori a 1.000 ohm.m); si allontana un poco da questi valori il Calcarea cavernoso che nelle parti superficiali, laddove è più alterato, presenta resistività più basse e variabili tra 120 e 200 ohm.m. Questi ultimi valori sono, tuttavia, sempre più alti di quanto compete alle formazioni in facies di ligure che, generalmente, presentano resistività inferiori a 100 ohm.m con prevalenza di 30-50 ohm.m.

Nel complesso dei terreni neoautoctoni e successivi le possibilità di variazione nei valori della resistività sono molto grandi, si può passare, infatti, dalle centinaia di ohm.m dei travertini compatti, presenti nella parte Sud-Occidentale del bacino (a Sud di Colle di Val d'Elsa), a resistività dell'ordine di 20-30 ohm.m per i terreni argilloso-sabbiosi e giungere a valori inferiori a 8-10 ohm.m per le argille marine del Pliocene. Una constatazione che consente di restringere il range di variazione della resistività è che i terreni più resistivi (conglomerati e travertini) sono, di solito, confinati ai bordi del bacino (i primi) o alla parte alta della serie (i secondi).

Nella figura 2 sono riportati alcuni esempi di SEV eseguiti nei diversi contesti geologici.

Quindi, ad eccezione delle zone marginali dove l'interpretazione dei risultati può risentire di errate attribuzioni del significato geologico agli elettrostrati individuati, nelle zone centrali, laddove lo spessore del Neogene è superiore a 300-400 metri, il passaggio al sottostante substrato avviene,

PROSPEZIONE GEOELETTRICA NEL GRABEN DELL'ELSA



CARTA DI RESISTIVITA' APPARENTE PER AB=2.000 m

Linee iso-resistive e loro valore in ohm m.

Fig. 3

sicuramente, con un aumento di resistività; l'eventuale conglomerato trasgressivo, infatti, può aver potenze così ridotte rispetto alla profondità da non potersi considerare come causa dell'aumento di resistività apparente.

OPERAZIONI SUL TERRENO

I SEV, eseguiti con il dispositivo tipo Schlumberger, sono stati effettuati con misure a partire da una semilunghezza di linea AB ($AB/2$) pari a 3 metri ed incrementate a 7 punti per decade fino a lunghezze massime della linea AB pari a 5.000 metri ($AB/2 = 2.500$ m).

Le misure sono state effettuate per mezzo del resistivimetro a microprocessore SYSCAL R2E progettato e costruito dal B.R.G.M. di Orleans.

L'ubicazione del centro del dispositivo elettrodico di misura per i vari SEV è riportata nella fig. 1, in essa è indicata anche la direzione di espansione del dispositivo stesso.

La posizione dei SEV eseguiti durante questa prima fase è stata condizionata, prevalentemente, da fattori logistici e morfologici dal momento che per una esplorazione a maglia larga i Sondaggi sono stati ubicati nelle zone in cui erano fattibili senza dover 'preparare' i percorsi mediante apertura e segnalazione di stradelli nei boschi o attraversare terreni con colture in atto. Per l'ubicazione dei prossimi, per quanto possa venir guidata dalla maggiore conoscenza della zona, si dovrà prevedere di affrontare anche i problemi prima indicati.

ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI DI CAMPAGNA

I dati di campagna restituiti come curve di resistività apparente in funzione della semilunghezza di linea AB sono stati utilizzati per effettuare elaborazioni grafiche e numeriche atte ad ottenere una migliore interpretazione.

Per quanto riguarda le elaborazioni grafiche, si riporta nella figura 3 la Carta della resistività apparente per AB pari a 2.000 m. Su questa figura, grazie anche ad una opportuna scala cromatica, si può immediatamente notare che dai valori superiori a 100 ohm.m, che si trovano in prossimità degli affioramenti delle formazioni della Serie Toscana, si scende verso il centro del Graben fino a resistività apparenti inferiori a 10 ohm.m. Le linee

PROGETTO :

Prospezione geoelettrica nel
Graben dell'Elsa (SI)

Committente D.S.T. - Siena

27/87.GF

Res. [ohm.m]	Spess. [m]	Prof. [m]	Quota [m slm]
		0	198
101	.94	.9	197.1
10.4	.39	1.3	196.7
22.2	5.97	7.3	190.7
44.9	4.13	11.5	188.5
184	103	115	83
32.8	54.8	170	28
197			

x x x Curva di campagna
— Curva calcolata

1000 [ohm*m]

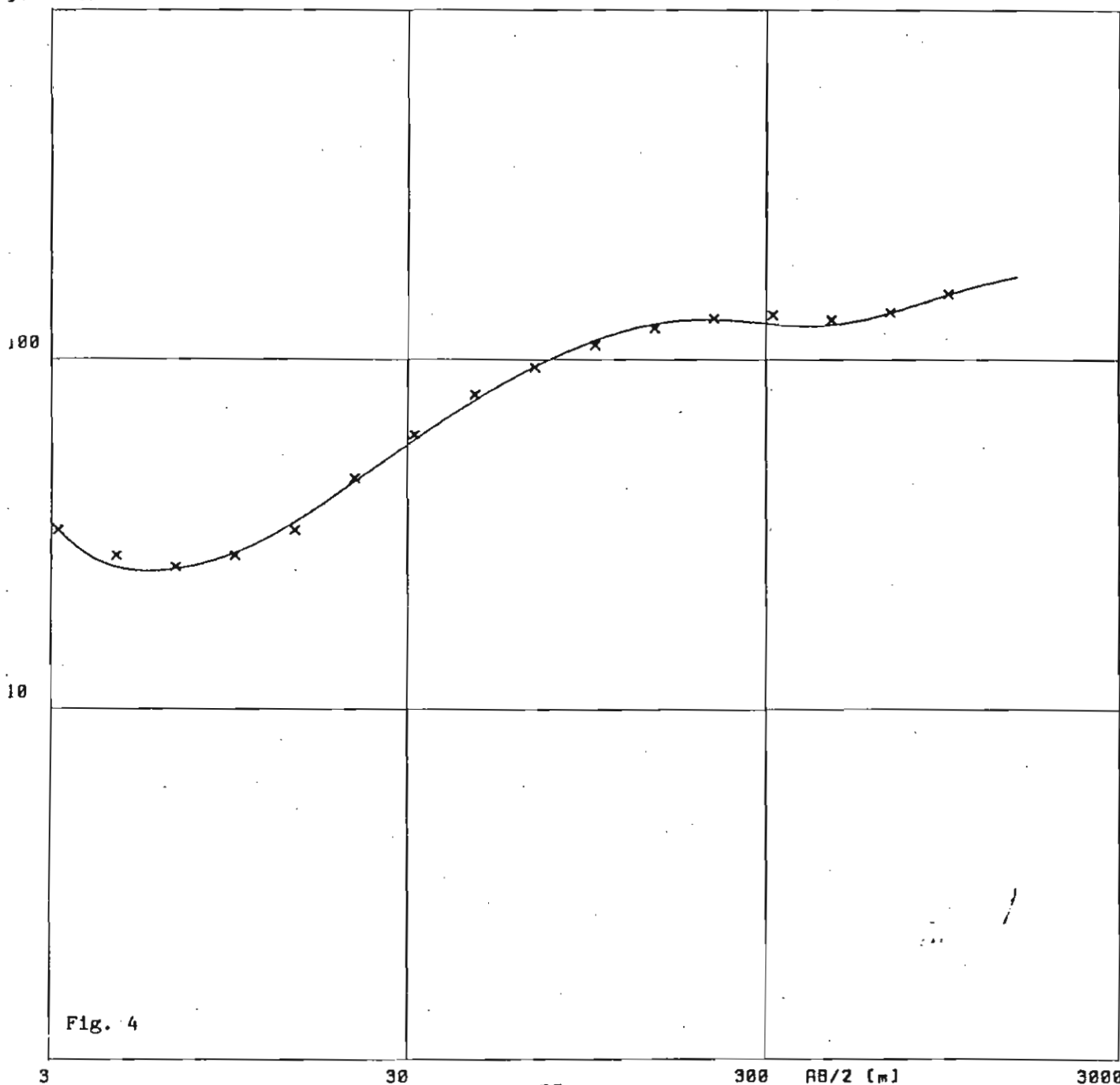


Fig. 4

isoresistive mostrano un trend generale parallelo all'asse del bacino; tuttavia, già in questa carta che ha valore solo qualitativo, si possono individuare alcune distorsioni che probabilmente riflettono altrettante discontinuità del substrato.

I risultati di campagna sono stati interpretati anche quantitativamente per poter stabilire la successione stratigrafica sia come caratteristiche elettriche, sia come spessori (elettrostratigrafie). Questa operazione è avvenuta in due fasi: una prima interpretazione è stata eseguita per mezzo di curve di resistività precalcolate e raccolte in abachi (Orellana & Mooney, 1966- Van Dam & Meulenkaamp, 1968). Successivamente, le elettrostratigrafie sono state ottimizzate mediante calcolatore elettronico calcolando la curva di resistività apparente partendo dal modello individuato con gli abachi: le differenze riscontrate tra i dati di campagna e le curve calcolate sono state, quindi, minimizzate apportando successive modifiche ai modelli. Quest'ultima operazione può avvenire anche in maniera automatica, ma è preferibile far intervenire la 'macchina' quando il modello consente di calcolare una curva che si adatta abbastanza bene ai dati di campagna ed apportare modifiche motivate da conoscenze geologiche quando le differenze sono maggiori (ad esempio in alcuni SEV gli strati inseriti nel calcolo sono di più di quanto si potrebbe intuire dall'andamento della curva: il motivo è che in base a conoscenze geologiche sono stati inseriti strati con resistività progressivamente in aumento o in diminuzione ottenendo, così, un ottimo 'fitting'). Operando con i soli abachi tali ipotesi non sarebbero state verificate per confronto con i risultati di campagna.

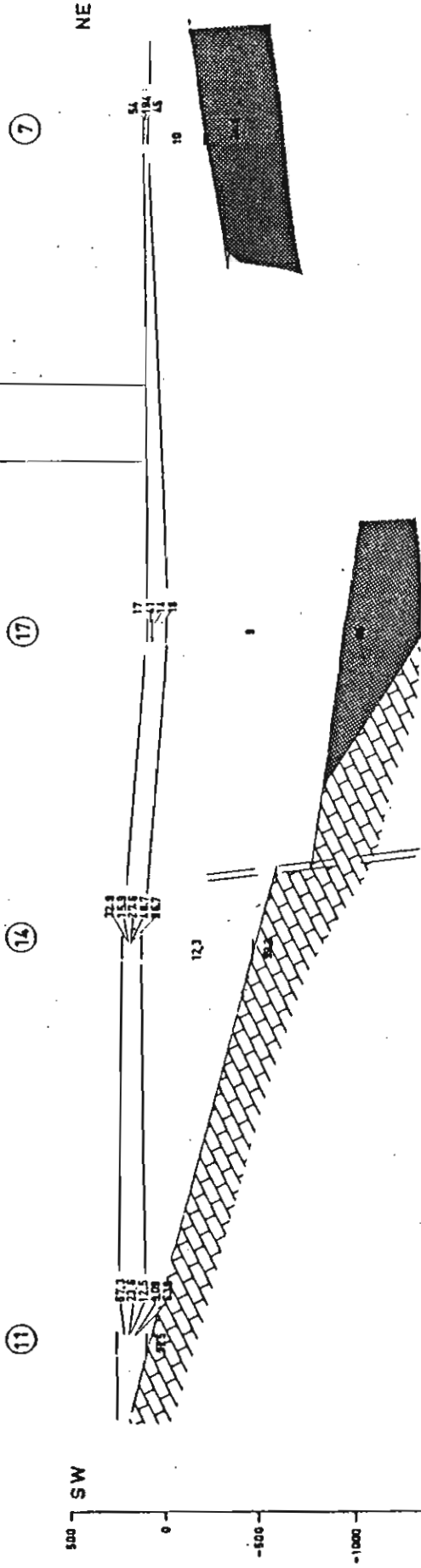
Nella figura 4 e 5 sono riportati due esempi di confronto tra i dati di campagna e le curve calcolate sulla base dei modelli elettrostratigrafici indicati.

Nella figura 6 sono stati riportati i risultati dell'interpretazione quantitativa dei SEV che ricadono sulle due sezioni di figura 1.

Nella sezione A-A' si nota che il substrato carbonatico si trova a profondità crescenti andando da Ovest ad Est e che tra i SEV 14 e 17 la differenza tra le resistività del substrato l.s. diminuiscono sensibilmente; si può, quindi, ipotizzare che in questa zona vi sia un consistente aumento della potenza delle formazioni 'in facies ligure' interposte tra coltre neoautoctona e Falda toscana.

POGGIBONSI

SEZIONE GEOELETRICA A-A'



COLLE DI VAL D'ELSA

SEZIONE GEOELETRICA B-B'

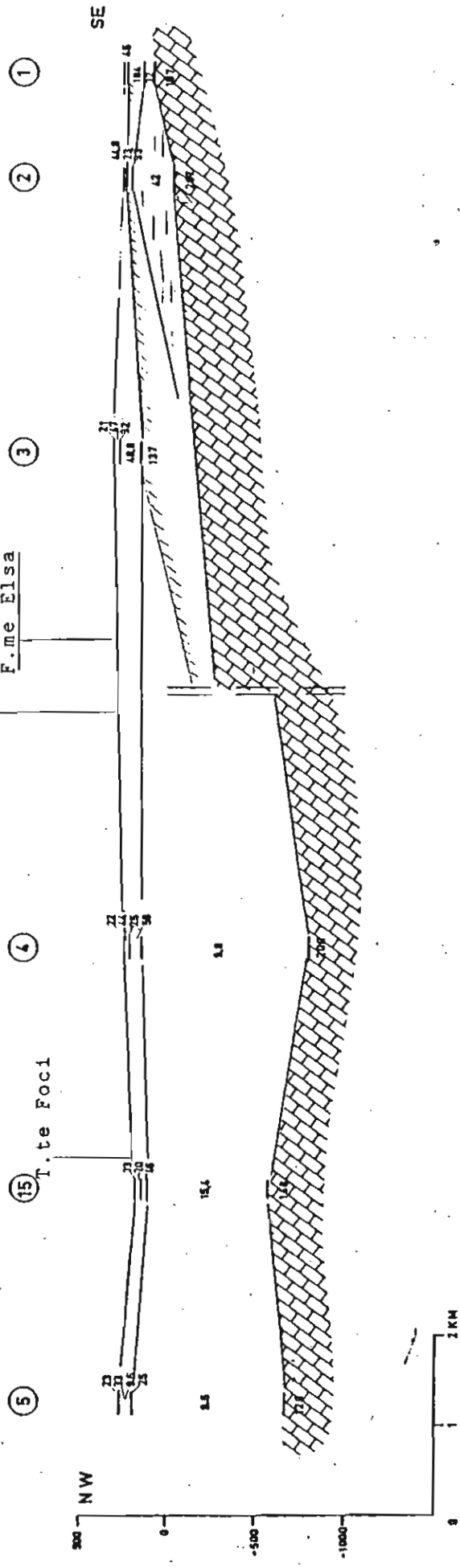


FIG. 6.

SEV elsal0

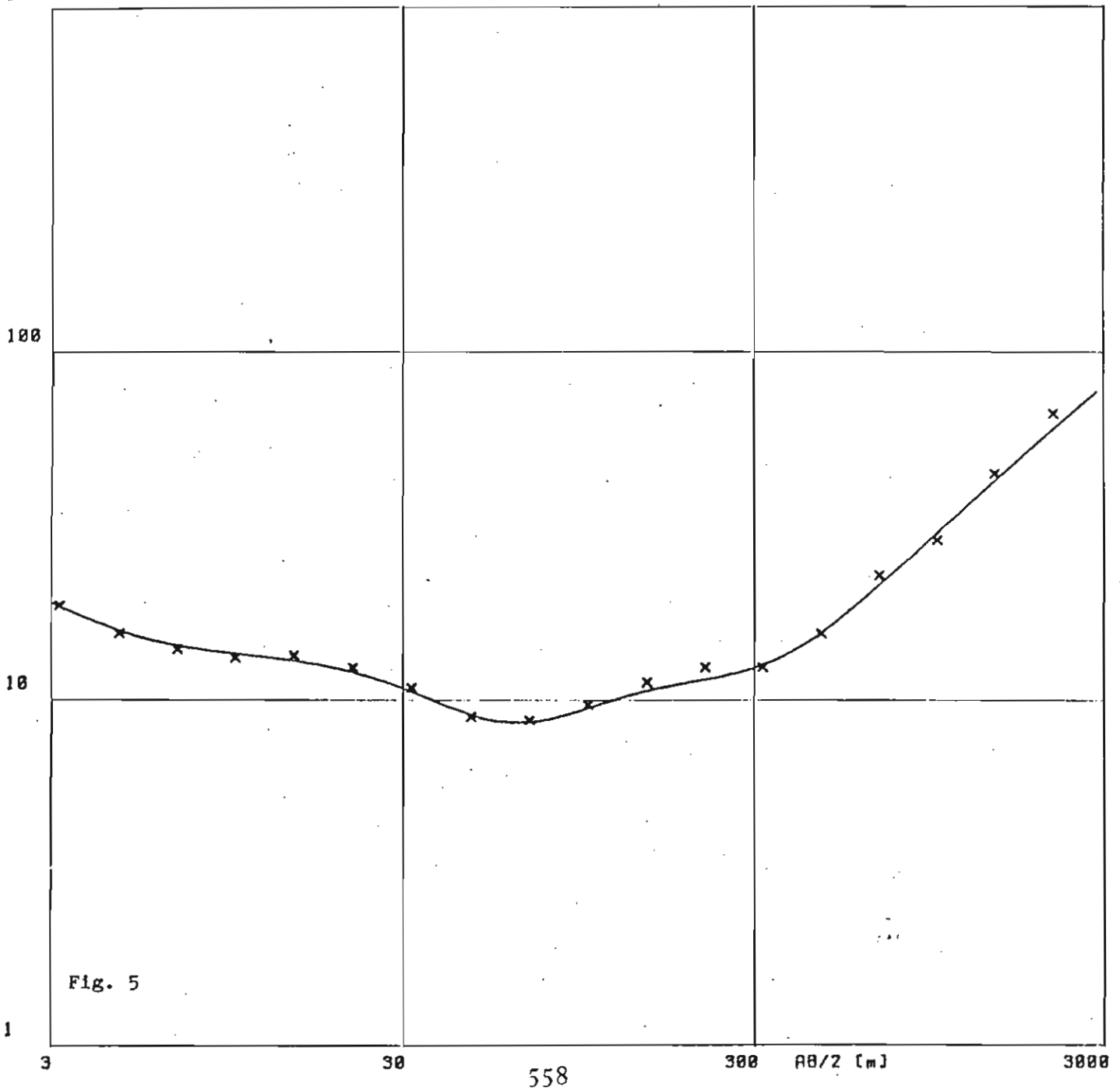
PROGETTO :

Prospezione geoelettrica nel
Graben dell'Elsa (SI)
Committente D.S.T. - Siena
27/87.GF

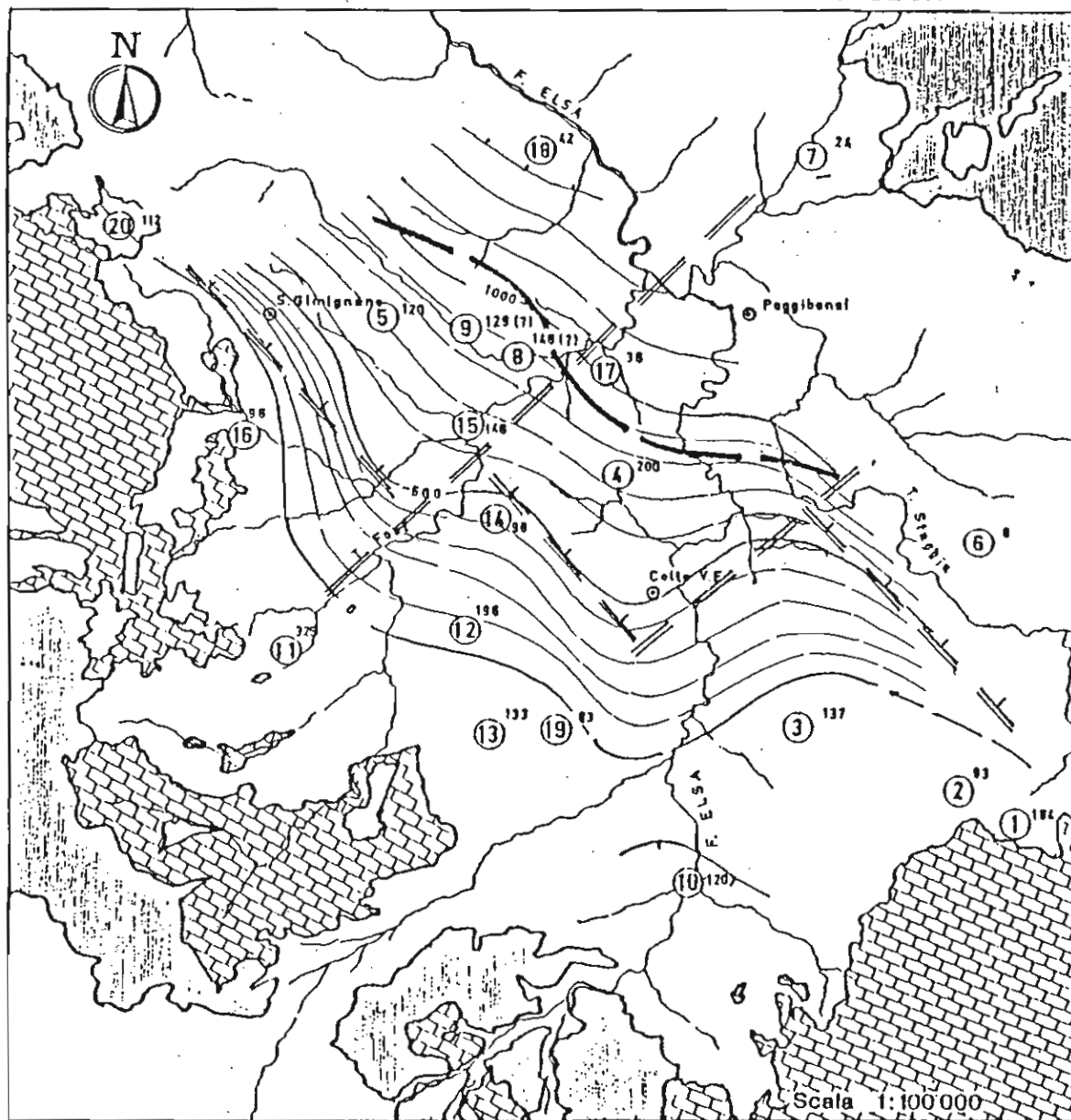
Res. [ohm.m]	Spess. [m]	Prof. [m]	Quota [m s.l.m.]
		0	183
26.7	1.15	1.2	181.8
12.8	18.1	19.3	183.7
4.23	23.7	49	140
57.5	14.7	57.8	125.2
7.05	183	221	-38
120	147	369	-186
384			

x x x Curva di campagna
— Curva calcolata

1000 [ohm*m]



PROSPEZIONE GEOELETRICA NEL GRABEN DELL'ELSA



CARTA DEL TETTO DEL SUBSTRATO




- ⑨²⁴ Sondaggio Elettrico, suo numero e resistività del substrato
-  Curve di livello del substrato e loro quota in m. slm
-  Possibili discontinuità del substrato
-  Probabile linea di confine tra substrato carbonatico e flyschoides

Fig. 7

Nella sezione B-B', i SEV fanno ritenere probabile che il substrato dei terreni neoautoctoni sia prevalentemente carbonatico; nella parte SE della sezione gli elevati valori di resistività risultati nella parte alta delle elettrostratigrafie sono attribuibili alla presenza della Breccia di Cerreto a Merse poggiante sul Calcare cavernoso che potrebbe trovarsi a profondità più elevate.

I dati ottenuti circa la profondità del substrato (o meglio, la sua quota rispetto al livello del mare) e la resistività individuata sono stati riportati nella figura 7. Anche in questo caso le curve di livello, come le iso-resistive della fig. 3, tendono a disporsi parallelamente all'asse del graben. In questa figura, rispetto alla 3, sembrano più evidenti le discontinuità trasversali e tra esse quella che corre parallela al Torrente Foci (NE-SW) ed attraversa l'intero bacino a Nord di Colle di Val d'Elsa e di Poggibonsi.

Sulla figura si può constatare che nella zona a NW di Poggibonsi lo spessore dei terreni di copertura (Neoautoctono) è sicuramente maggiore di 1.000-1.200 metri dal piano campagna e può raggiungere i 1.400-1.500 metri in corrispondenza del SEV 18.

Riguardo alla natura del substrato si può ipotizzare che, in base alle resistività risultate, vi è un passaggio da una zona in cui è prevalentemente 'carbonatico' o, quantomeno, le formazioni in facies ligure hanno una potenza limitata, ad una zona in cui le rocce che costituiscono il substrato stesso sono ascrivibili alle formazioni 'flyschoidi'; in corrispondenza del SEV 18 l'ipotesi della presenza di un substrato carbonatico può esser in accordo con la curva di campagna alla condizione di impostare uno spessore di copertura maggiore di 1.800 metri.

CONCLUSIONI E PROGRAMMA PER IL PROSEGUIMENTO DELLA PROSPEZIONE

In base a quanto descritto in precedenza si può concludere che la metodologia di prospezione impiegata è in grado di fornire risultati molto attendibili per quanto riguarda le zone in cui il substrato si trova a profondità inferiori a 1.000 metri, laddove tale profondità è maggiore le lunghezze di linea AB necessarie per ottenerne indicazioni sono tali (AB superiore a 5.000 m) da non esser sempre realizzabili a causa di ostacoli logistici: ne deriva una densità di informazioni molto bassa che insieme ad un debole contrasto di resistività

(il passaggio dalla copertura al substrato avviene, probabilmente, tra depositi lacustri miocenici e formazioni flyschoidi) influenzano le possibilità risolutive del metodo.

Nelle zone in cui la profondità è inferiore i risultati ottenibili da SEV con AB massimo pari a 4.000 metri (realizzabili con densità più elevata) sono sicuramente più attendibili e potranno consentire di delineare l'andamento delle strutture fino ad una profondità non superiore a 1000 metri con discreta approssimazione.

Il programma che si intende portare avanti è, quindi, quello di esplorare con maggior insistenza una fascia relativamente 'periferica' del bacino cercando di individuare alcune zone strutturalmente interessanti ai fini dello studio in corso; su queste si potranno altre ricerche geofisiche con metodologie di esplorazione di più pesante ed onerosa messa in opera, tra queste la sismica a riflessione sarebbe, indubbiamente, quella più adatta, ma gli elevati costi ne giustificherebbero l'impiego nel caso che dagli studi in corso emergano motivi di particolare interesse.