

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.**



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

CUP: J94F04000020001

U.O. GEOLOGIA

PROGETTO DEFINITIVO

ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

**ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**

LOTTO 1: FORTEZZA - PONTE GARDENA

GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

INDAGINI GEOFISICHE

INDAGINI MAGNETOTELLURICHE - LOCALITA' LAION

SCALA:



COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I B L 1 1 0 D 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 2 5 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	C. Corno		S. Rodani		C. Mazzocchi		F. Marchese	

ITALFERR S.p.A.
Resp. U.O. GEOLOGIA
Dott. Geologo Laureato in Ingegneria
Ordine Geologi Lombardia n. 17247

File:

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	3
2	METODOLOGIA UTILIZZATA	4
2.1	GENERALITÀ	4
2.2	ACQUISIZIONE DATI – PROCEDURE OPERATIVE	5
2.3	ACQUISIZIONE DATI – DOTAZIONE STRUMENTALE	5
2.3.1	<i>Tracciamento linee e posizionamento stazioni</i>	6
2.3.2	<i>Rilevamento planoaltimetrico</i>	6
2.3.3	<i>Installazione dei sensori</i>	6
2.3.4	<i>Acquisizione e registrazione dati</i>	6
2.4	ELABORAZIONE DATI – DOTAZIONE STRUMENTALE.....	7
2.5	ELABORAZIONE DATI – DOTAZIONE SOFTWARE.....	7
2.6	ELABORAZIONE DATI – PROCEDURE OPERATIVE	7
2.7	ANALISI DEI DATI	9

1 PREMESSA

Si sintetizzano i risultati di un rilievo magnetotellurico (MT) sviluppato su stazioni allineate lungo una sezione a passo regolare, registrate lungo l'asse del tracciato in Comune di Laion.

Il rilievo è stato programmato per l'acquisizione di informazioni geofisiche in corrispondenza di elevate coperture (superiori a 600 metri dal p.c.).

Fanno parte integrante del Rapporto le curve di Resistività Apparente e di Fase unitamente al modello bidimensionale di ogni singola stazione.

Correlata dai dati emergenti dai profili tomografici elettrici relativi alla porzione più superficiale, è stata ricostruita una specifica sezione di Resistività Apparente.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
INDAGINI MAGNETOTELLURICHE – LOCALITA' LAION	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 025	REV. A	FOGLIO 4 di 31

2 METODOLOGIA UTILIZZATA

2.1 Generalità

Il metodo di indagine geofisica definito **Magnetotellurica (MT)** è parte del gruppo dei metodi di prospezione del sottosuolo basati sullo studio delle caratteristiche **elettriche** dei materiali, il parametro fondamentale è quindi la **resistività apparente (ρ)**. In particolare la **MT** è uno dei metodi definiti “**elettromagnetici**” dove la **ρ** è calcolata utilizzando la teoria dei fenomeni che governano la propagazione dei **campi elettromagnetici (EM)**.

Nelle misure di MT il campo EM primario è costituito dai campi naturali che derivano dall’energia generata nello spazio a grande distanza dalla zona di lavoro (teoria delle “plane waves”) nella magnetosfera e nella ionosfera superiore. Sfruttando tale energia, che penetra per chilometri la superficie terrestre, è possibile calcolare i valori di ρ fino a profondità di decine di chilometri. Il rilievo in alta frequenza è limitato a profondità inferiori (>1000 m) tramite la registrazione di segnali provenienti da distanze inferiori, in genere l’attività temporalesca dell’atmosfera. Tramite il valore di ρ , espresso in funzione della frequenza del segnale EM, è quindi possibile caratterizzare e discriminare le diverse unità geolitologiche e ricostruirne la geometria nel sottosuolo.

Come accennato la resistività apparente è calcolata dalla misura, sulla superficie del terreno, del campo EM naturale. Semplificando è possibile affermare che il valore di ρ , espresso in ohm x m, è funzione del rapporto fra i valori dei campi elettrico e magnetico (E/H) ed è calcolata in funzione della frequenza del segnale EM misurato. Campionando in continuo, e per un intervallo di tempo adeguato, il segnale EM naturale è successivamente possibile, tramite l’”analisi spettrale” del segnale, ricostruire una curva che esprime la variazione della ρ in funzione della frequenza e quindi della profondità.

Con un rilievo “in continuo” cioè lungo profili costituiti da singole stazioni disposte con elevata densità laterale, come nel caso in esame, è possibile l’elaborazione di un modello bidimensionale, in termini di formazioni geofisiche, della sezione indagata.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
INDAGINI MAGNETOTELLURICHE – LOCALITA' LAION	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 025	REV. A	FOGLIO 5 di 31

2.2 Acquisizione dati – Procedure operative

L'acquisizione dei dati prevede diverse fasi operative che è possibile riassumere come segue:

- 1) Ricognizione dettagliata delle aree, tracciamento linee;
- 2) Rilevamento plano-altimetrico delle stazioni;
- 3) Installazione dei sensori;
- 4) Acquisizione e registrazione dati;

2.3 Acquisizione dati – Dotazione strumentale

La strumentazione utilizzata è composta da:

- Unità di acquisizione AMT/MT tipo MT1/MT24HF
- Sensori magnetici EMI BF-4, BF-7, BF-6
- Ricevitori GPS per la sincronizzazione delle Unità di acquisizione
- Elettrodi acciaio e impolarizzabili
- Garmin e-trex Summit
- ATLANTA Reflectorless Laser
- GPS differenziale Sokkia
- Teodolite laser Topcon GPT-2009
- GPS Topcon MAP-R con antenna MG-A1



	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
INDAGINI MAGNETOTELLURICHE – LOCALITA' LAION	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 025	REV. A	FOGLIO 6 di 31

2.3.1 Tracciamento linee e posizionamento stazioni

La prima fase di lavoro comporta un'attenta ricognizione realizzata allo scopo di individuare tutti gli eventuali ostacoli e sorgenti di disturbo elettromagnetico presenti sul territorio, informazioni necessarie sia in questa fase sia nella successiva elaborazione. Si rende così possibile l'eventuale modifica dei tracciati di progetto allo scopo di minimizzare l'impatto dei disturbi sui dati da registrare.

2.3.2 Rilevamento planoaltimetrico

Una volta tracciate le linee, i punti di stazione sono stati oggetto di un adeguato rilievo planoaltimetrico per la restituzione delle coordinate XYZ di ogni stazione.

2.3.3 Installazione dei sensori

I sensori elettrici e magnetici sono collocati sul terreno con opportune procedure. Il campo elettrico è misurato tramite opportuni dipoli ortogonali (Ex-Ey) di lunghezza variabile con la tipologia di acquisizione: 50 m per l'alta frequenza (AMT) e 50-100 m per la bassa frequenza MT in senso lato. Nel presente rilievo sono stati utilizzati dipoli da 50 m. Alle estremità dei dipoli si collocano gli opportuni elettrodi che assicurano il contatto con il terreno, collocati in trincee opportunamente preparate allo scopo di ridurre al massimo il valore della "resistenza di contatto". Anche i sensori magnetici (Hx-Hy), con particolare riguardo all'acquisizione in "bassa frequenza" devono essere sistemati in trincee di 30-40 cm di profondità necessari per prevenire le vibrazioni da parte degli agenti atmosferici. Procedura viceversa non necessaria per i sensori di AMT.

2.3.4 Acquisizione e registrazione dati

L'acquisizione dati si realizza tramite il campionamento del segnale EM secondo un'opportuna frequenza. Le frequenze più elevate (96/48/5 KHz) e quindi tempi rapidi si utilizzano per l'AMT, mentre frequenze più basse (500/20/0.2 Hz) e quindi tempi di acquisizione più lunghi per l'MT. In genere per una stazione AMT possono essere sufficienti 1-2 ore mentre per un sito MT sono necessarie diverse ore (12-14) fino a oltre 24 in particolari situazioni. I dati sono registrati su opportuni supporti magnetici in forma di "serie temporali" per ogni canale registrato.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
INDAGINI MAGNETOTELLURICHE – LOCALITA' LAION	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 025	REV. A	FOGLIO 7 di 31

2.4 Elaborazione dati – Dotazione Strumentale

- SERVER UNIX
- WORK STATION DELL PRECISION T3500
- WORK STATION DELL PRECISION T1600
- Portatili
- Plotter OCE' 2044
- Stampante LASER COLOR XEROX PHASER 7760
- Scanner A0 B/N e A3 colori

2.5 Elaborazione dati – Dotazione Software

- Autodesk MAP 3D 2013
- Raster Design 2013
- ARCGis 10.1
- EVS environmental Visualization System 9.82
- Grapher 9.0 - Golden software
- Surfer 11 - Golden software
- ACQ24 software sviluppato "in house", pacchetto integrato per l'acquisizione e l'elaborazione
- EMIXMT 2.2 Interpex Limited" Golden Colorado *per l'analisi 1D*
- Software sviluppati "in house" di analisi e "gridding" dati.
- Software sviluppati "in house" per l'elaborazione 2D

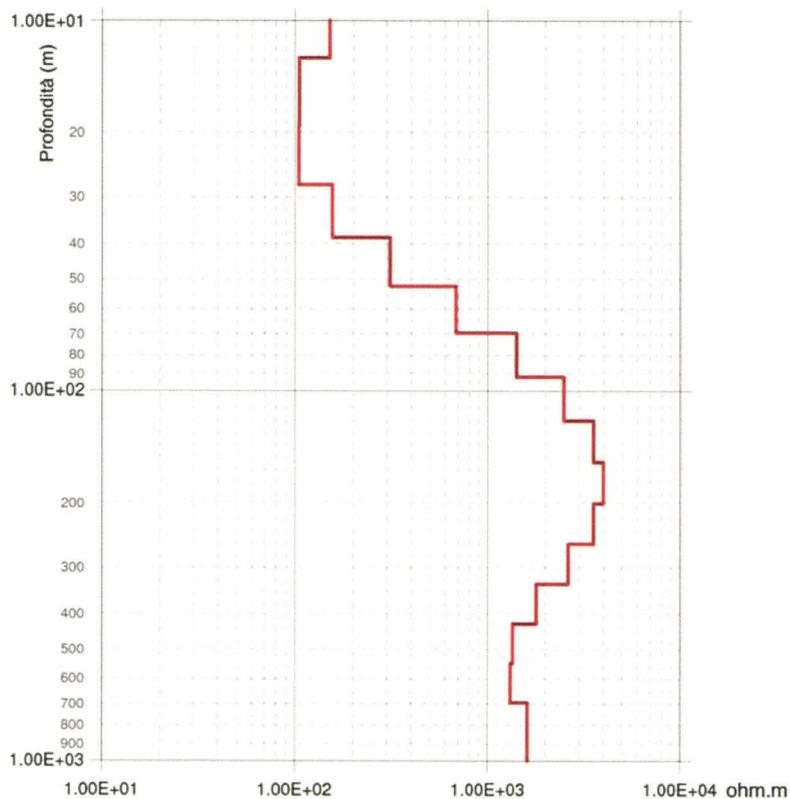
2.6 Elaborazione dati – Procedure operative

L'obiettivo dell'elaborazione dei dati è la trasformazione delle "serie temporali" registrate nelle grandezze fisiche (impedenza/resistività) utilizzate unitamente alle frequenze per la caratterizzazione delle diverse unità elettrostratigrafiche presenti nel sottosuolo. Dai dati registrati è inoltre prodotto il calcolo di numerosi parametri statistici atti a fornire un giudizio qualitativo delle stazioni e quindi a consentirne una selezione "pesata" per la successiva interpretazione del modello geologica.

L'elaborazione segue quindi due consolidati standard di lavoro: "time serie coherency" con l'utilizzo dei dati di una stazione di riferimento (remote reference) nel caso di bassa contaminazione del segnale registrato e "robust processing" nel caso in cui sia necessaria oltre che una selezione delle serie temporali anche una serie di filtri e di ricostruzione del segnale basate su diversi algoritmi statistici e di interpolazione.

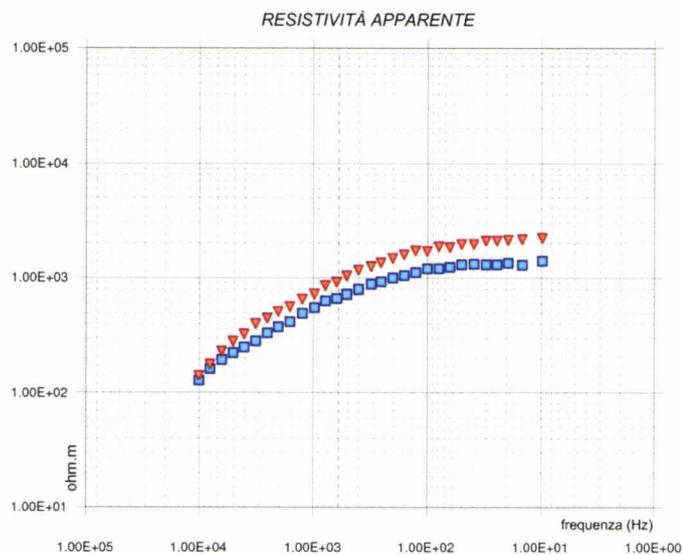
Per ogni stazione registrata è quindi prodotta una curva di resistività apparente rappresentata in funzione della frequenza.

La fase finale dell'elaborazione consiste nel processo di "inversione" di tali curve che si esplica con l'applicazione di algoritmi di calcolo 1D e 2D per la definizione di un modello elettrostratigrafico del sottosuolo e la ricostruzione bidimensionale dei profili indagati.



Modello MT

Curva di resistività



	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA					
	LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
INDAGINI MAGNETOTELLURICHE – LOCALITA' LAION	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 025	REV. A	FOGLIO 9 di 31

2.7 Analisi dei dati

Come accennato il prodotto finale dell'elaborazione del rilievo è rappresentato dalla Sezione 2D dei profili acquisiti lungo le tracce interessate dalle stazioni MT 01-MT12 precedentemente interpretate come singole stazioni.

L'osservazione preliminare di tali sezioni consente di cogliere alcuni dei principali risultati del lavoro svolto:

- La caratterizzazione in termini di resistività elettrica si dimostra molto efficace per la ricostruzione dello stile stratigrafico dell'area.
- Si evidenzia chiaramente la distinzione tra le formazioni geologiche caratterizzate da una componente più marnosa, con valori di resistività relativamente più bassi (unità conduttive – colore azzurro) e le formazioni più decisamente calcaree, definite da valori più elevati (unità resistive – colore giallo/arancione/rosso).
- Unità intermedie sono caratterizzate da differente incremento della componente calcarea e dallo stato di fratturazione (colore verde)
- Tale distinzione evidenzia inoltre i rapporti geometrici e spaziali tra le unità geofisiche definendo sia, in senso verticale, i principali contatti stratigrafici, sia in senso orizzontale ove, in genere, le variazioni laterali definiscono contatti di tipo tettonico.

Le unità geofisiche interpretate sono riferibili a:

- **Unità con media resistività** con valori dell'ordine di 1500/2000 ohm.m che interessano la porzione centrale e profonda della sezione indagata;
- **Unità resistive da medie ad elevate** con valori superiori a 2500 ohm.m, riferibili ad elementi più addensati ed omogenei posizionati ai margini della sezione.

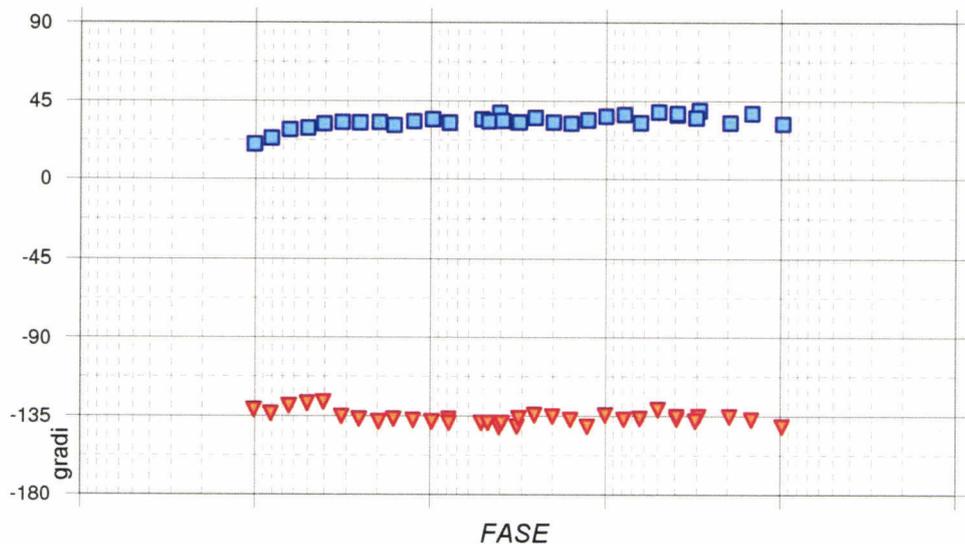
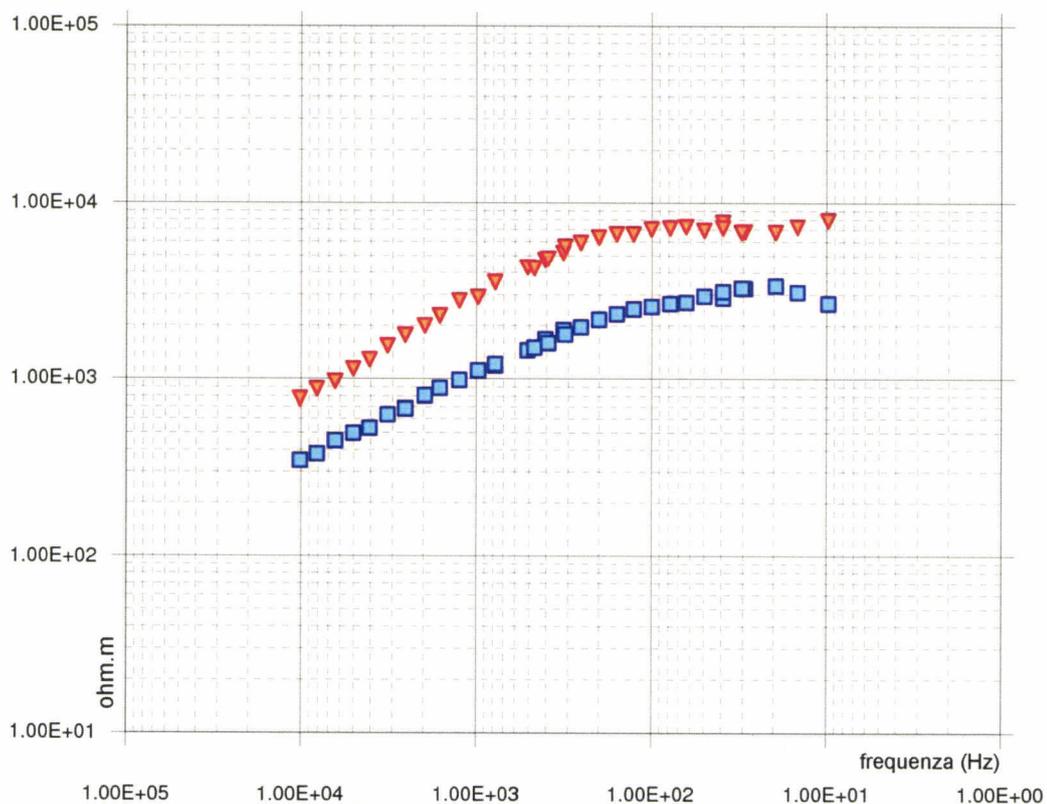
I contatti laterali fra le unità sopra descritte sono definiti da un brusco incremento dei valori di resistività e fanno supporre una natura tettonica (faglia??) dei limiti stessi.

Tali condizioni sono correlabili con i dati superficiali.

SONDAGGIO

MT01

RESISTIVITÀ APPARENTE



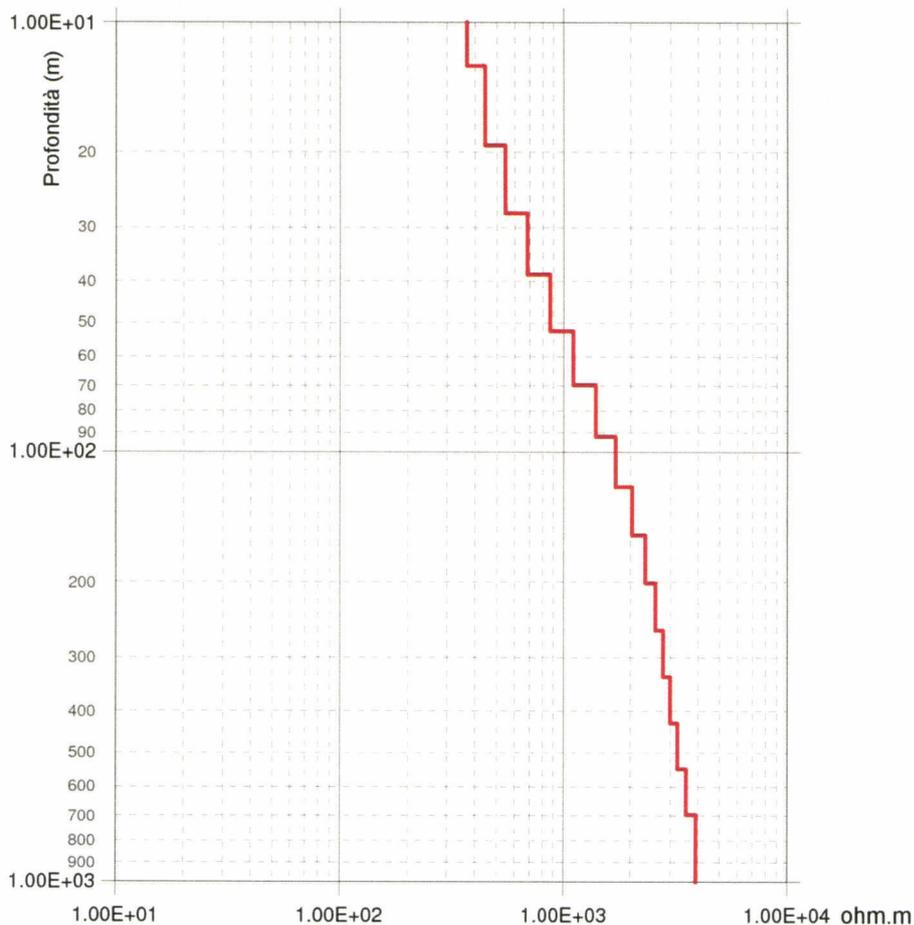
Curva XY



Curva YX

SONDAGGIO

MT01

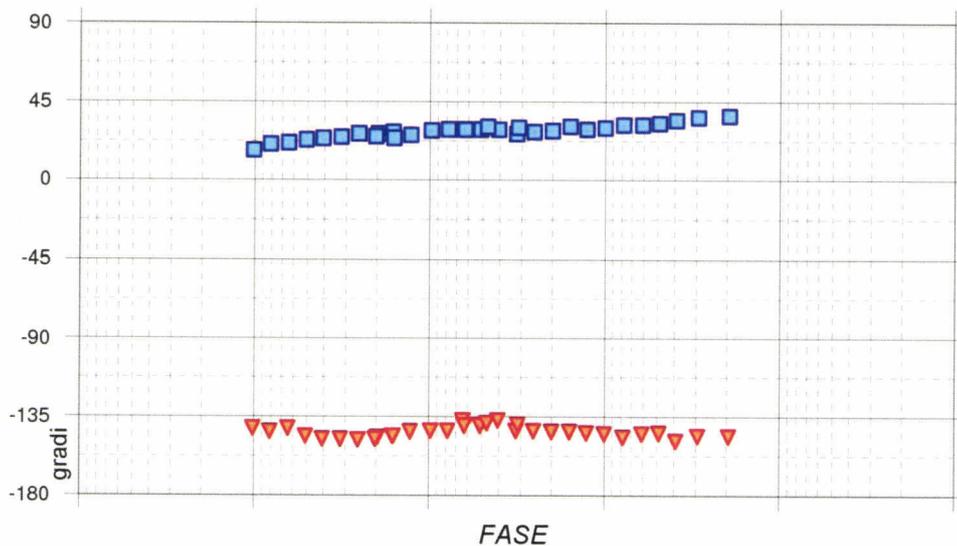
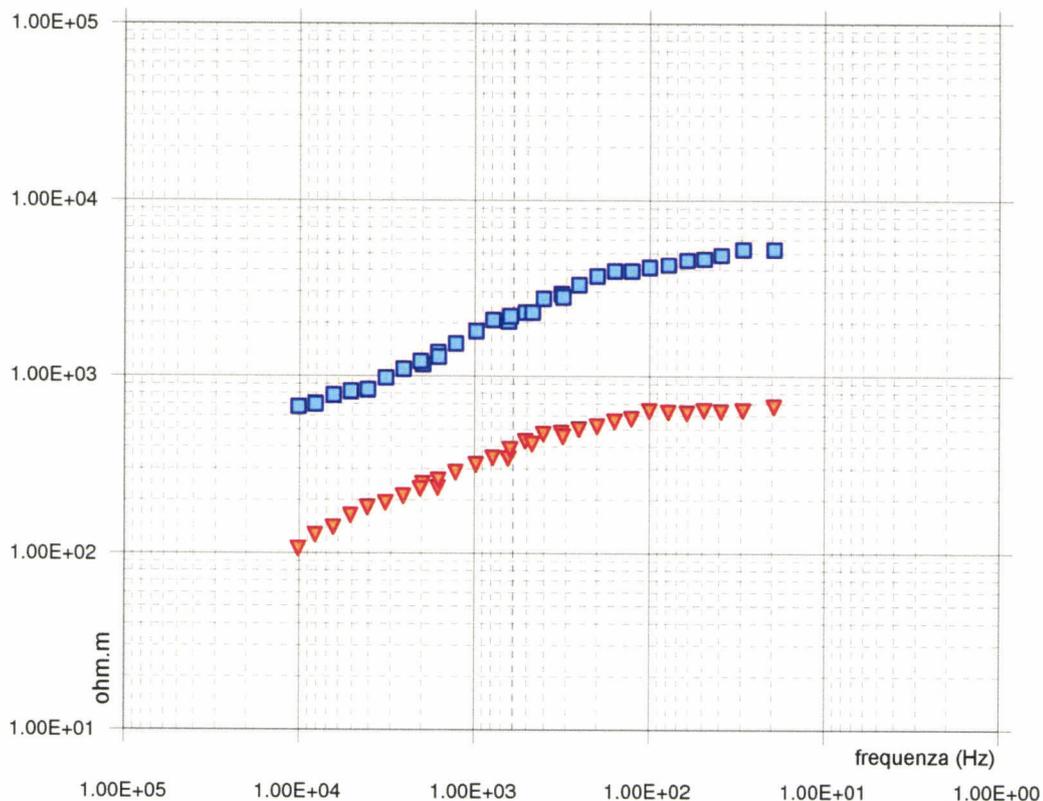


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	275	3.3	3.3
2	314	4.1	7.4
3	369	5.3	12.6
4	443	6.7	19.3
5	545	8.5	27.8
6	684	10.8	38.6
7	870	13.7	52.3
8	1106	17.4	69.8
9	1392	22.2	91.9
10	1709	28.2	120.1
11	2029	35.8	155.9
12	2324	45.5	201.4
13	2576	57.9	259.3
14	2793	73.5	332.8
15	3003	93.5	426.3
16	3241	118.8	545.1
17	3539	151.0	696.1
18	3911		

SONDAGGIO

MT02

RESISTIVITÀ APPARENTE



Curva XY

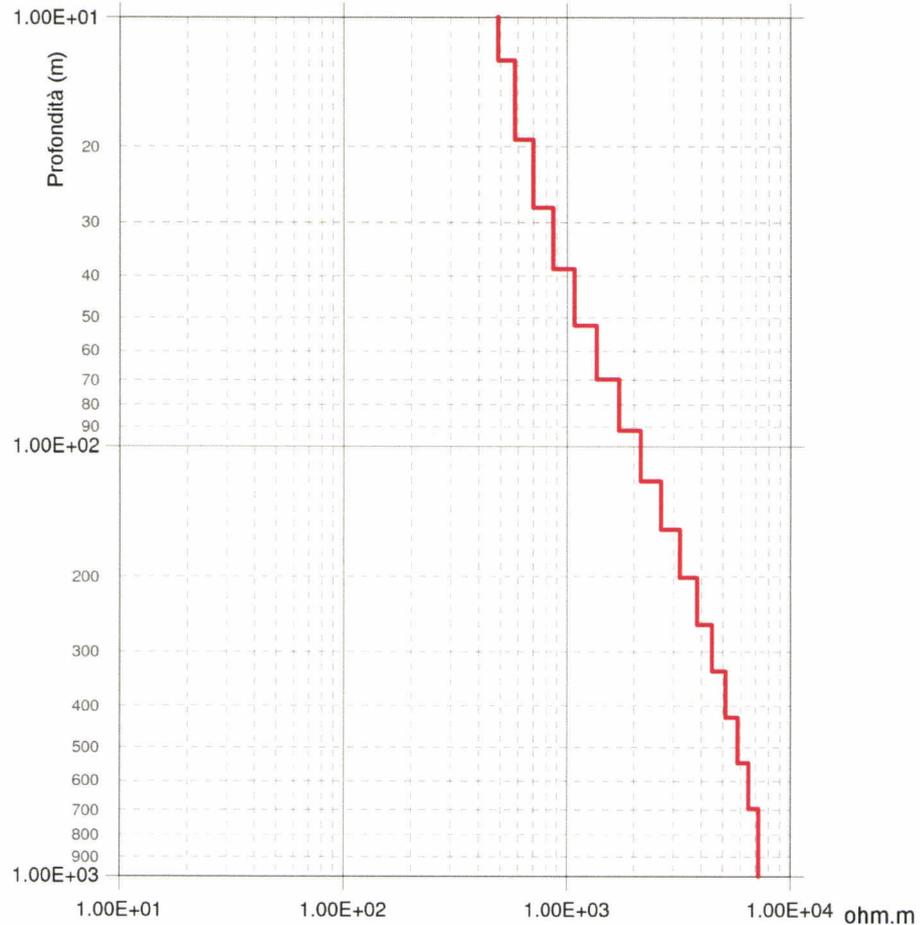


Curva YX

FASE

SONDAGGIO

MT02

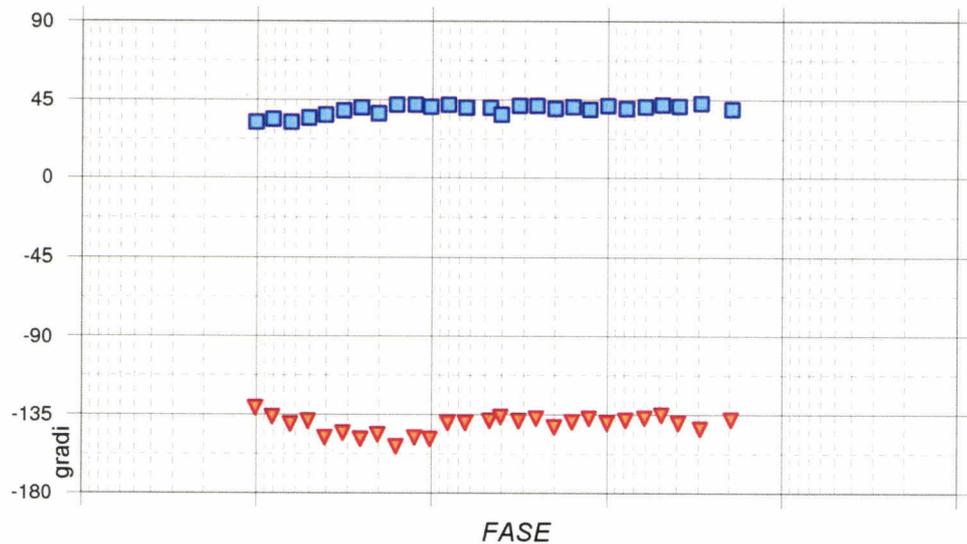
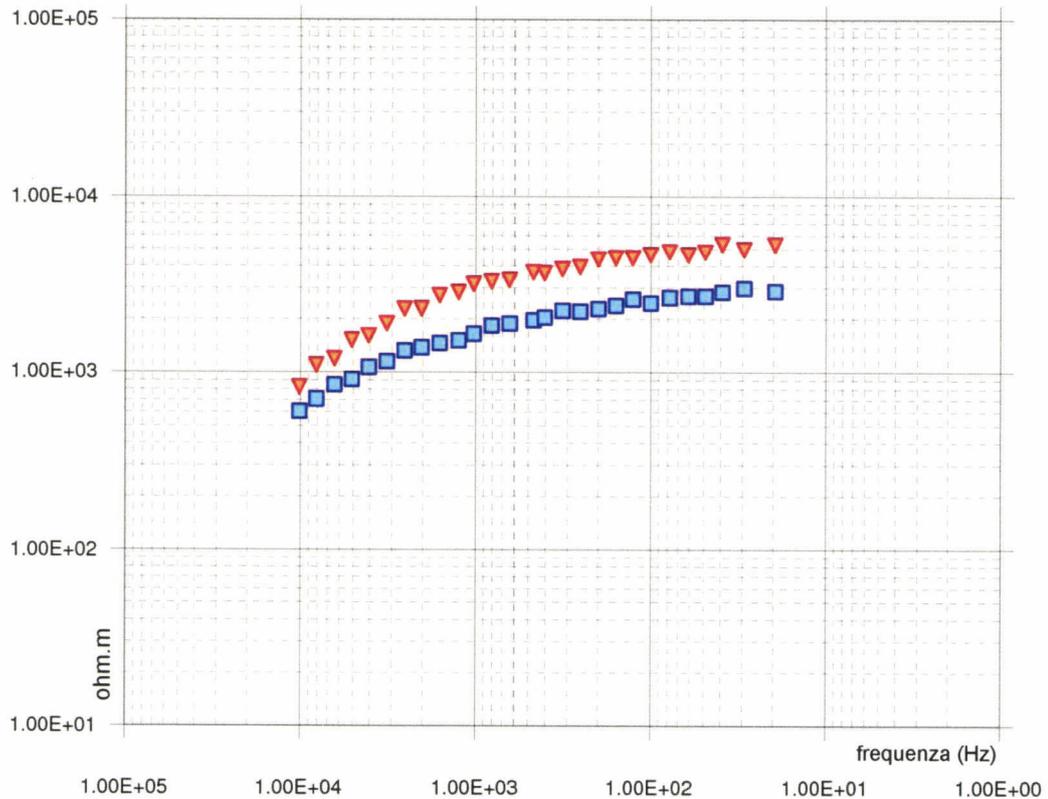


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	373	3.3	3.3
2	422	4.1	7.4
3	489	5.3	12.6
4	580	6.7	19.3
5	702	8.5	27.8
6	865	10.8	38.6
7	1080	13.7	52.3
8	1359	17.4	69.8
9	1710	22.2	91.9
10	2137	28.2	120.1
11	2638	35.8	155.9
12	3204	45.5	201.4
13	3821	57.9	259.3
14	4475	73.5	332.8
15	5149	93.5	426.3
16	5837	118.8	545.1
17	6534	151.0	696.1
18	7236		

SONDAGGIO

MT03

RESISTIVITÀ APPARENTE



Curva XY

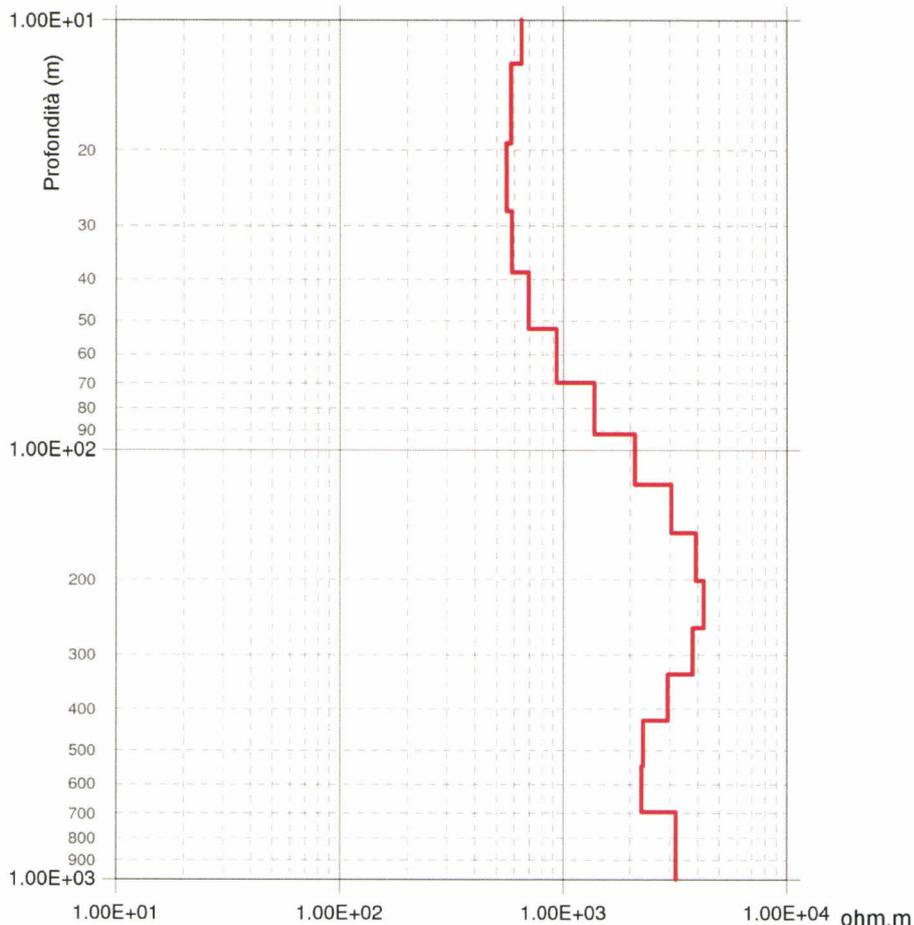


Curva YX

FASE

SONDAGGIO

MT03

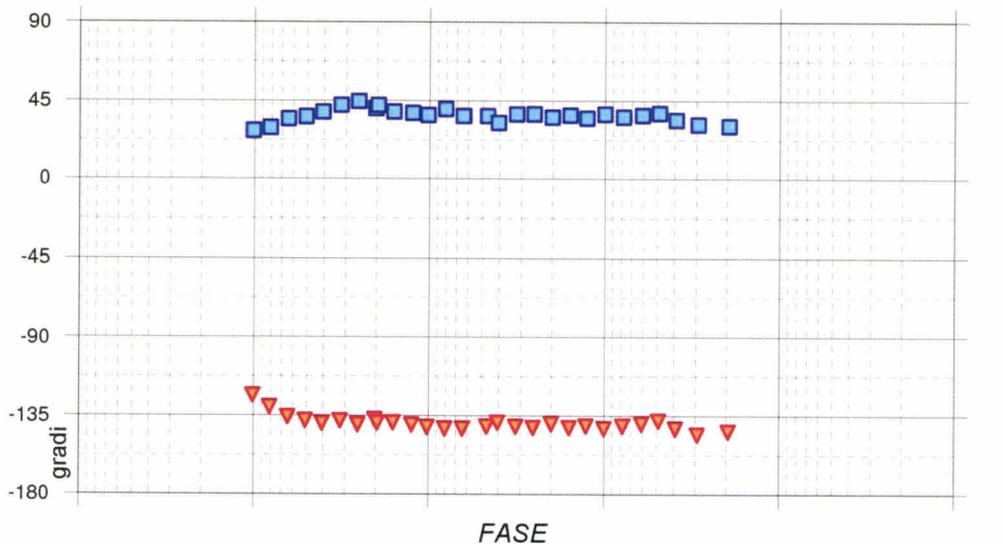
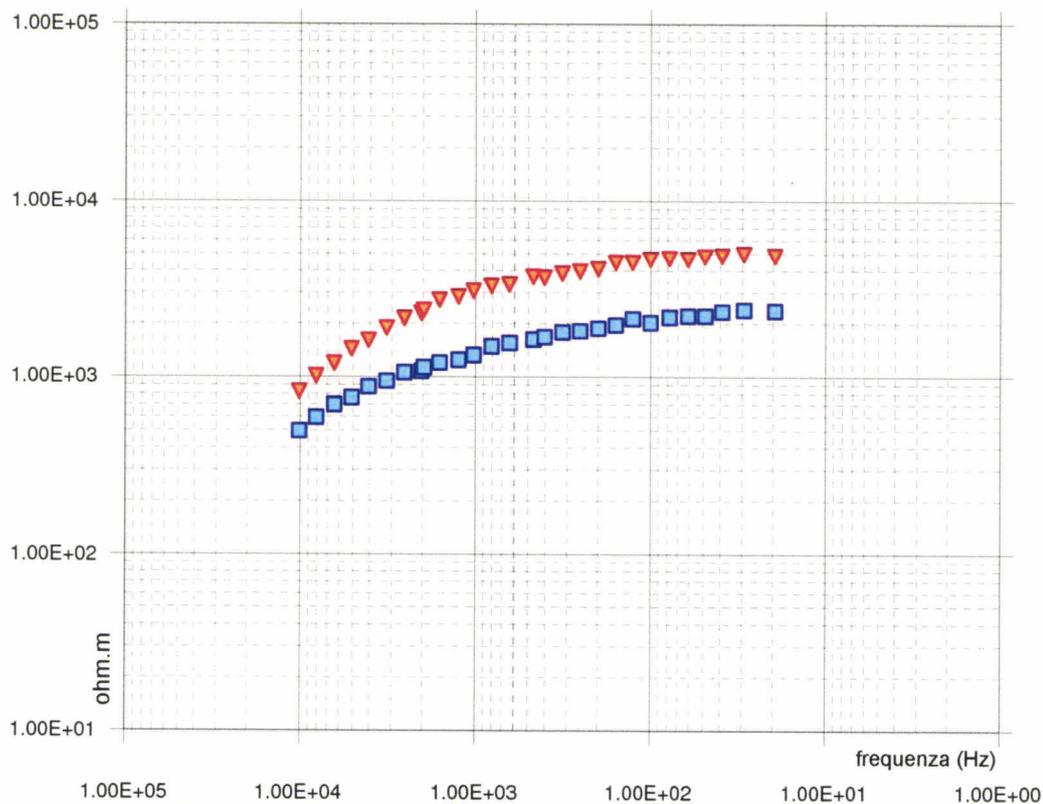


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	865	3.3	3.3
2	745	4.1	7.4
3	647	5.3	12.6
4	581	6.7	19.3
5	555	8.5	27.8
6	584	10.8	38.6
7	695	13.7	52.3
8	936	17.4	69.8
9	1380	22.2	91.9
10	2097	28.2	120.1
11	3043	35.8	155.9
12	3921	45.5	201.4
13	4247	57.9	259.3
14	3797	73.5	332.8
15	2937	93.5	426.3
16	2279	118.8	545.1
17	2244	151.0	696.1
18	3202		

SONDAGGIO

MT04

RESISTIVITÀ APPARENTE



Curva XY

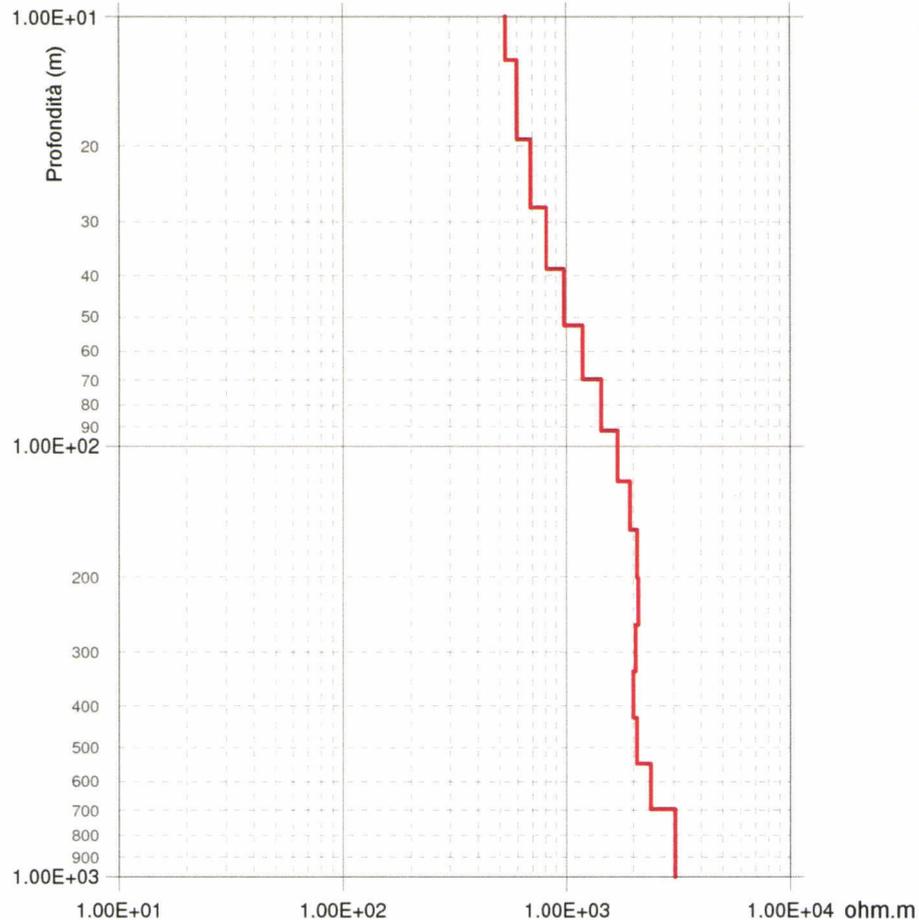


Curva YX

FASE

SONDAGGIO

MT04

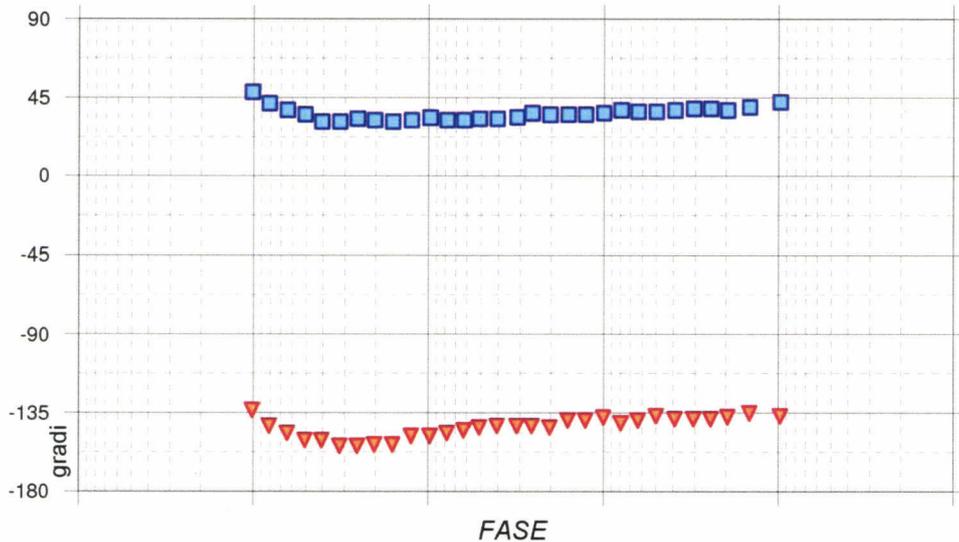
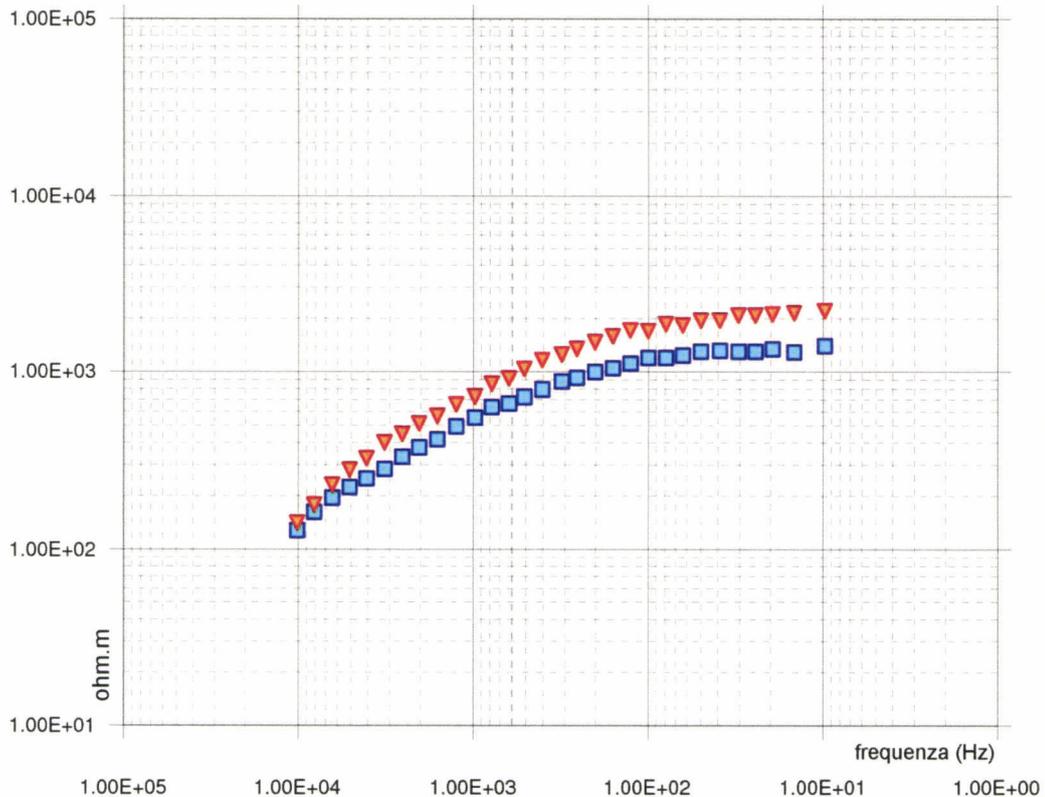


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	451	3.3	3.3
2	486	4.1	7.4
3	533	5.3	12.6
4	599	6.7	19.3
5	689	8.5	27.8
6	812	10.8	38.6
7	975	13.7	52.3
8	1184	17.4	69.8
9	1433	22.2	91.9
10	1696	28.2	120.1
11	1927	35.8	155.9
12	2070	45.5	201.4
13	2097	57.9	259.3
14	2039	73.5	332.8
15	1989	93.5	426.3
16	2066	118.8	545.1
17	2384	151.0	696.1
18	3057		

SONDAGGIO

MT05

RESISTIVITÀ APPARENTE



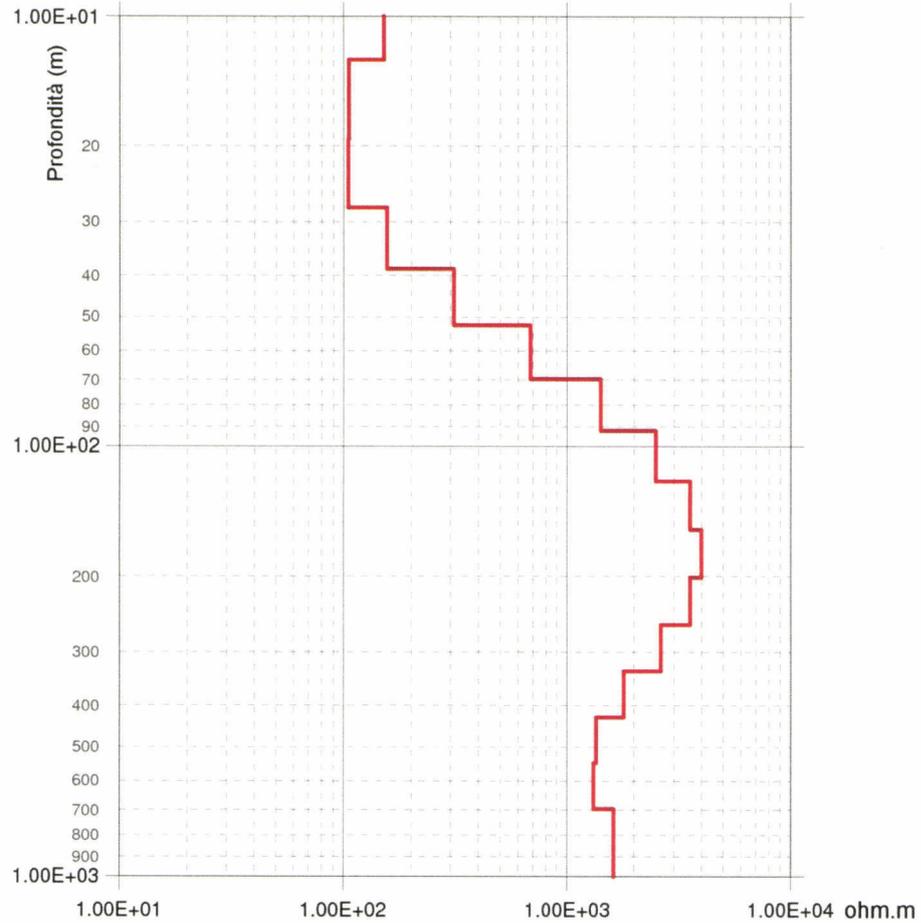
Curva XY



Curva YX

SONDAGGIO

MT05

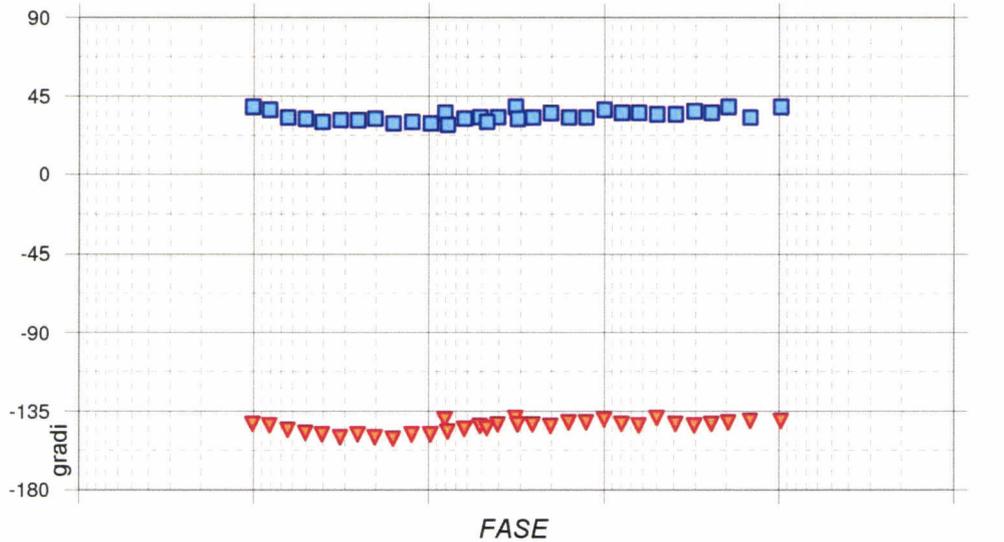
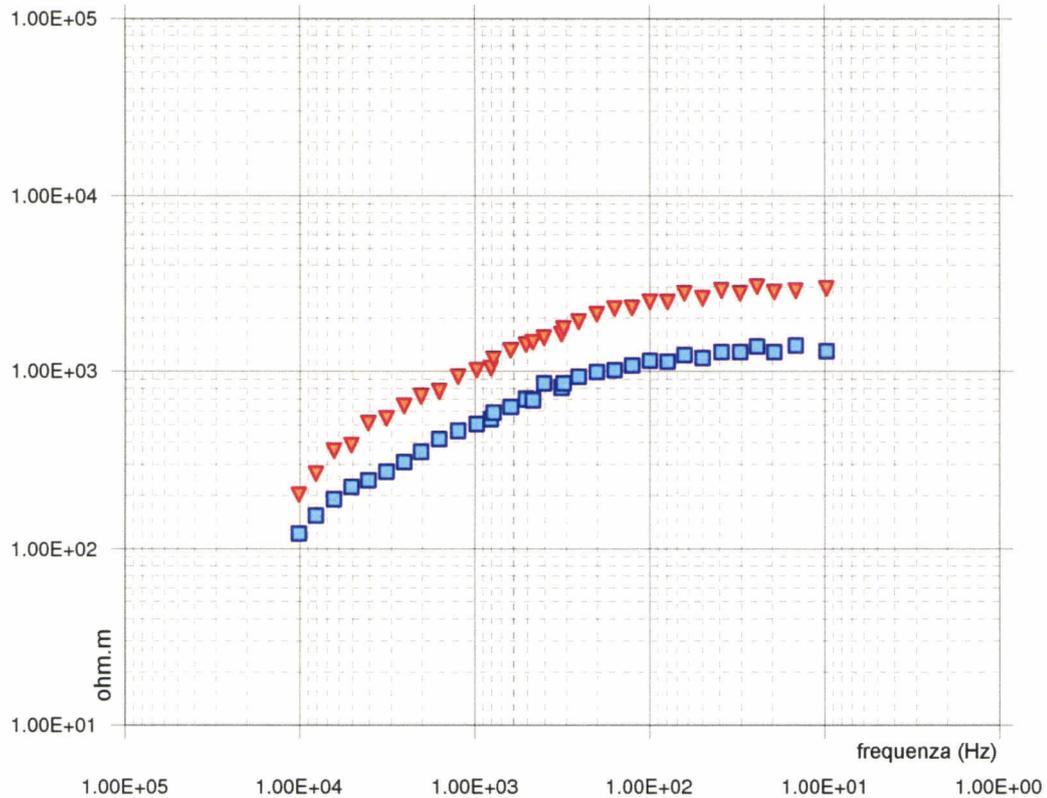


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	495	3.3	3.3
2	265	4.1	7.4
3	152	5.3	12.6
4	106	6.7	19.3
5	105	8.5	27.8
6	156	10.8	38.6
7	311	13.7	52.3
8	682	17.4	69.8
9	1413	22.2	91.9
10	2496	28.2	120.1
11	3553	35.8	155.9
12	3987	45.5	201.4
13	3553	57.9	259.3
14	2627	73.5	332.8
15	1794	93.5	426.3
16	1352	118.8	545.1
17	1316	151.0	696.1
18	1616		

SONDAGGIO

MT06

RESISTIVITÀ APPARENTE



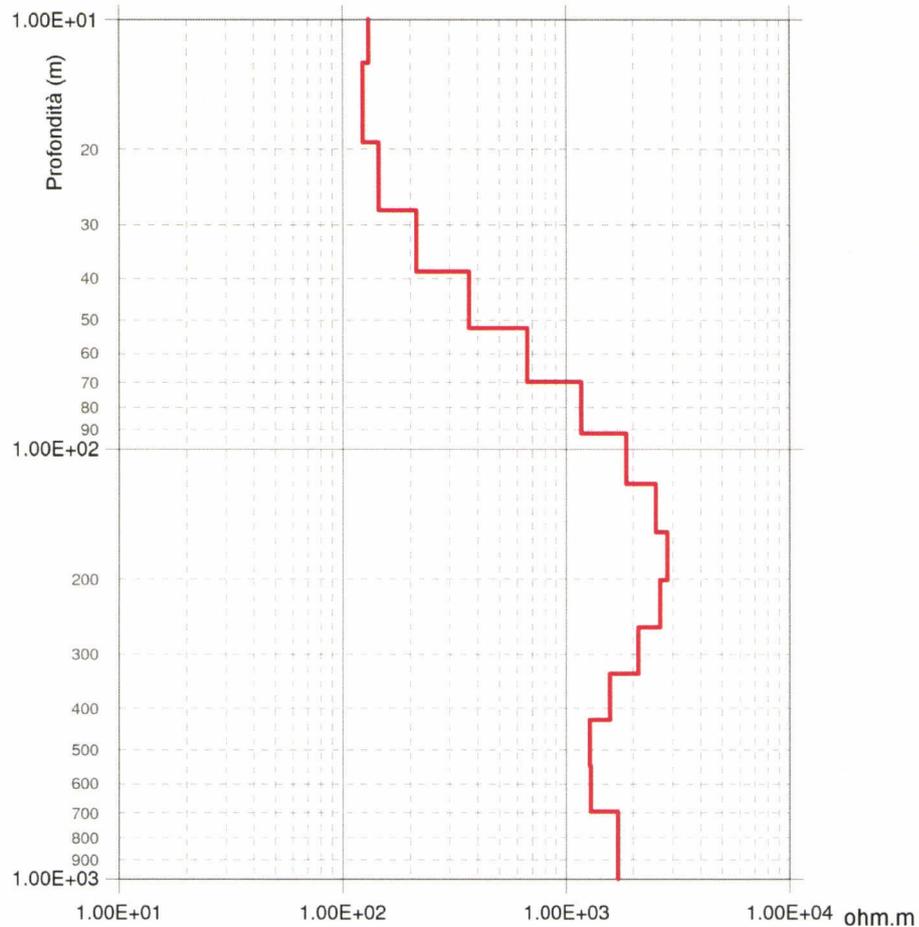
Curva XY



Curva YX

SONDAGGIO

MT06

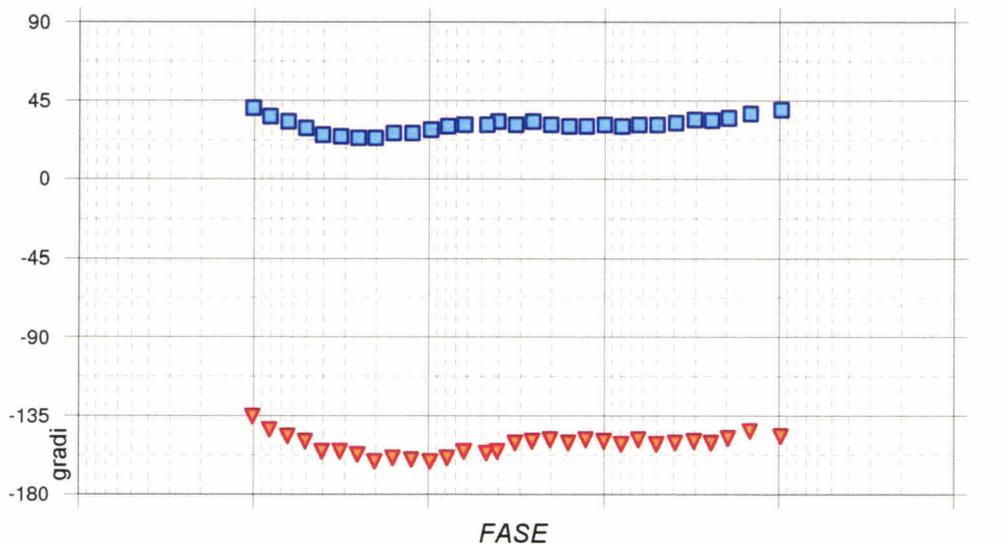
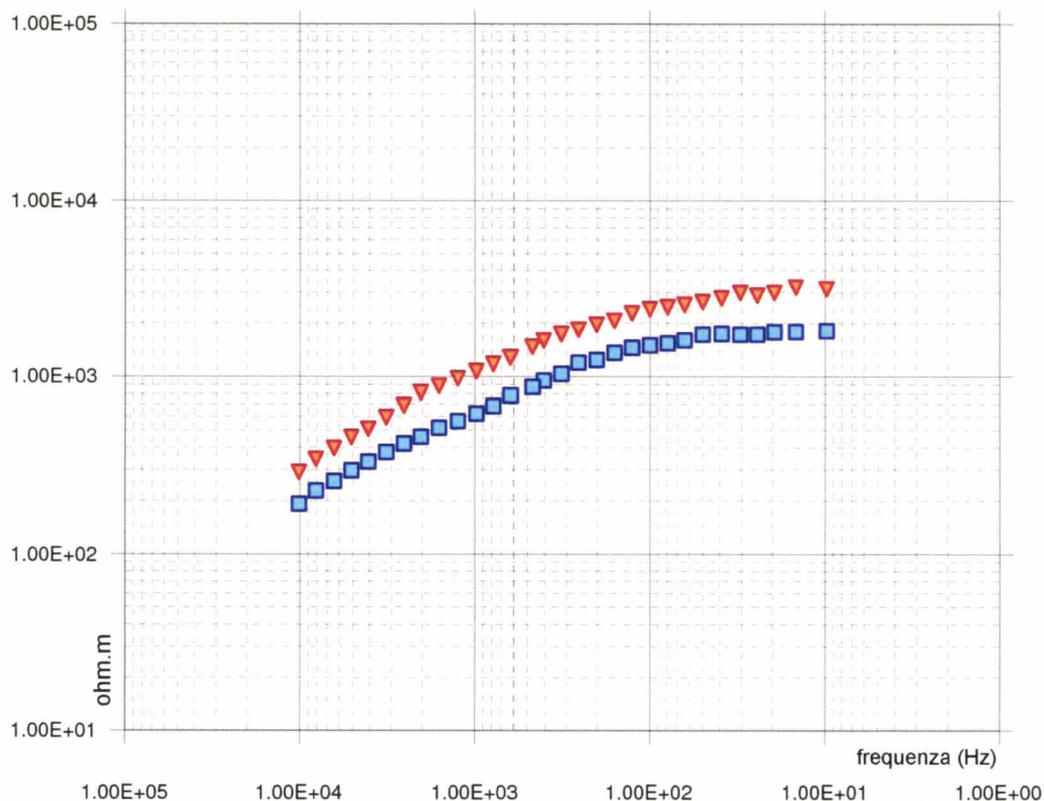


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	227	3.3	3.3
2	164	4.1	7.4
3	131	5.3	12.6
4	123	6.7	19.3
5	145	8.5	27.8
6	213	10.8	38.6
7	366	13.7	52.3
8	665	17.4	69.8
9	1170	22.2	91.9
10	1855	28.2	120.1
11	2517	35.8	155.9
12	2836	45.5	201.4
13	2639	57.9	259.3
14	2100	73.5	332.8
15	1570	93.5	426.3
16	1275	118.8	545.1
17	1288	151.0	696.1
18	1704		

SONDAGGIO

MT08

RESISTIVITÀ APPARENTE



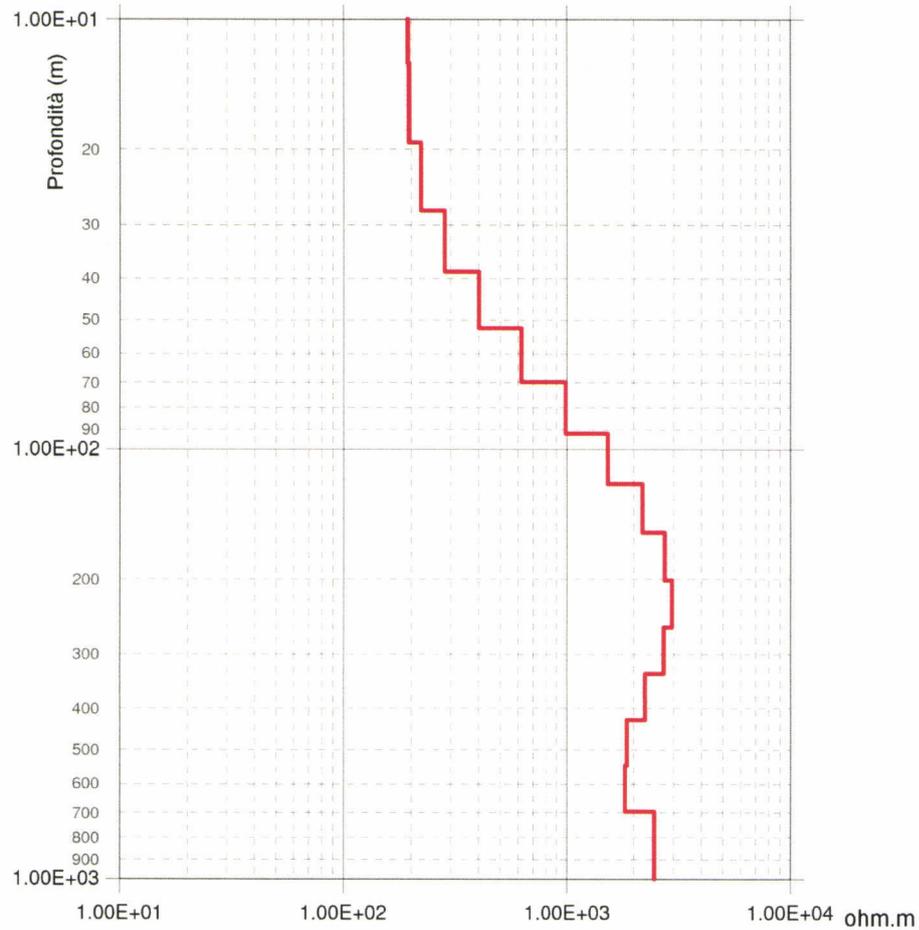
Curva XY



Curva YX

SONDAGGIO

MT08

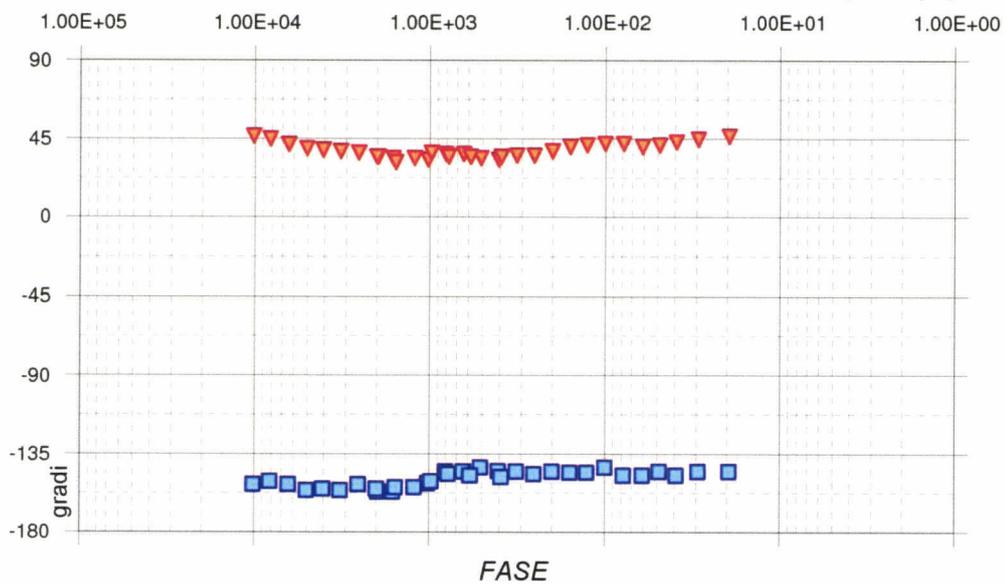
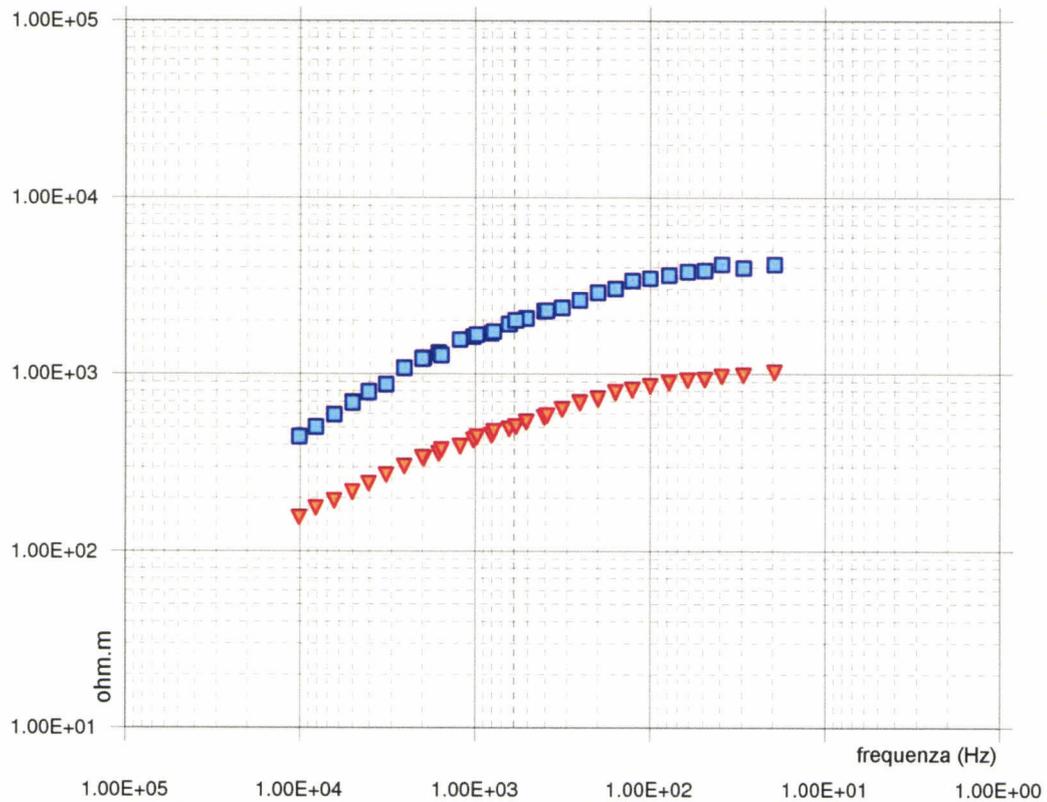


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	231	3.3	3.3
2	207	4.1	7.4
3	194	5.3	12.6
4	197	6.7	19.3
5	222	8.5	27.8
6	282	10.8	38.6
7	403	13.7	52.3
8	622	17.4	69.8
9	989	22.2	91.9
10	1529	28.2	120.1
11	2179	35.8	155.9
12	2739	45.5	201.4
13	2950	57.9	259.3
14	2718	73.5	332.8
15	2243	93.5	426.3
16	1856	118.8	545.1
17	1826	151.0	696.1
18	2466		

SONDAGGIO

MT09

RESISTIVITÀ APPARENTE



Curva XY

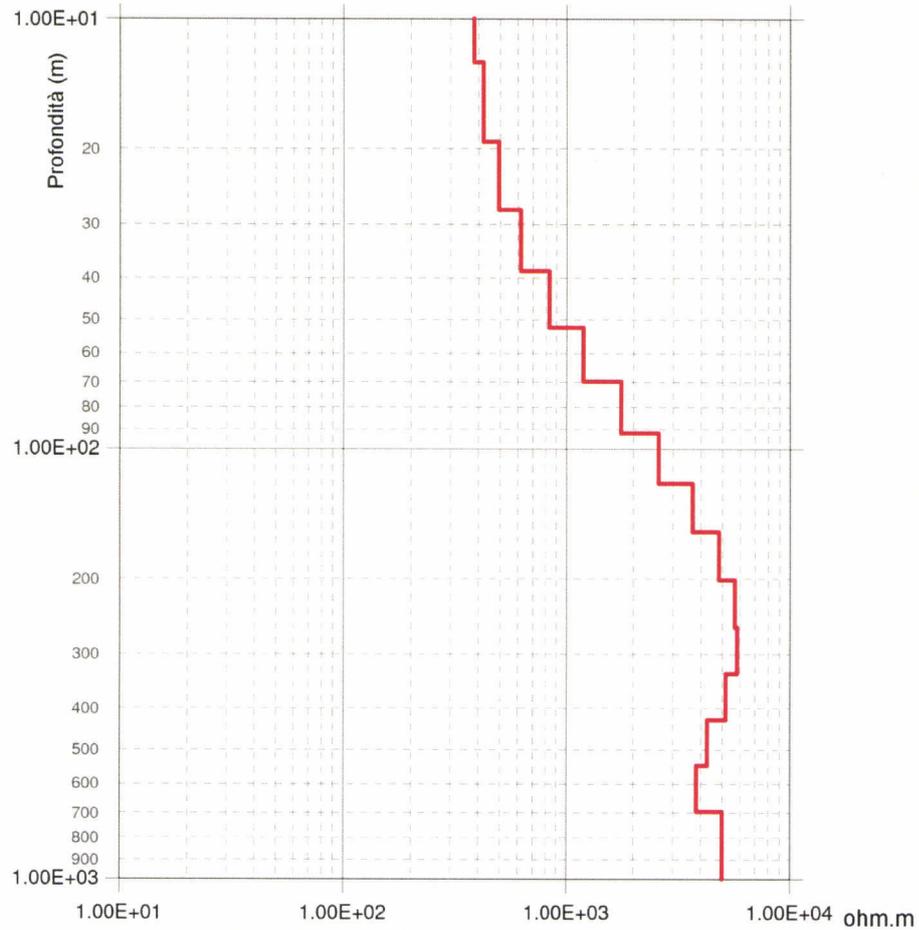


Curva YX

FASE

SONDAGGIO

MT09

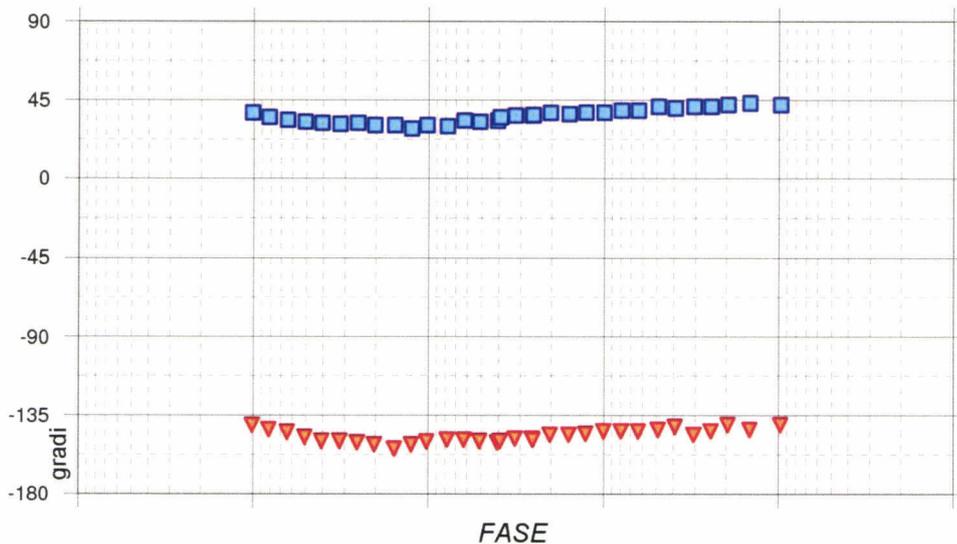
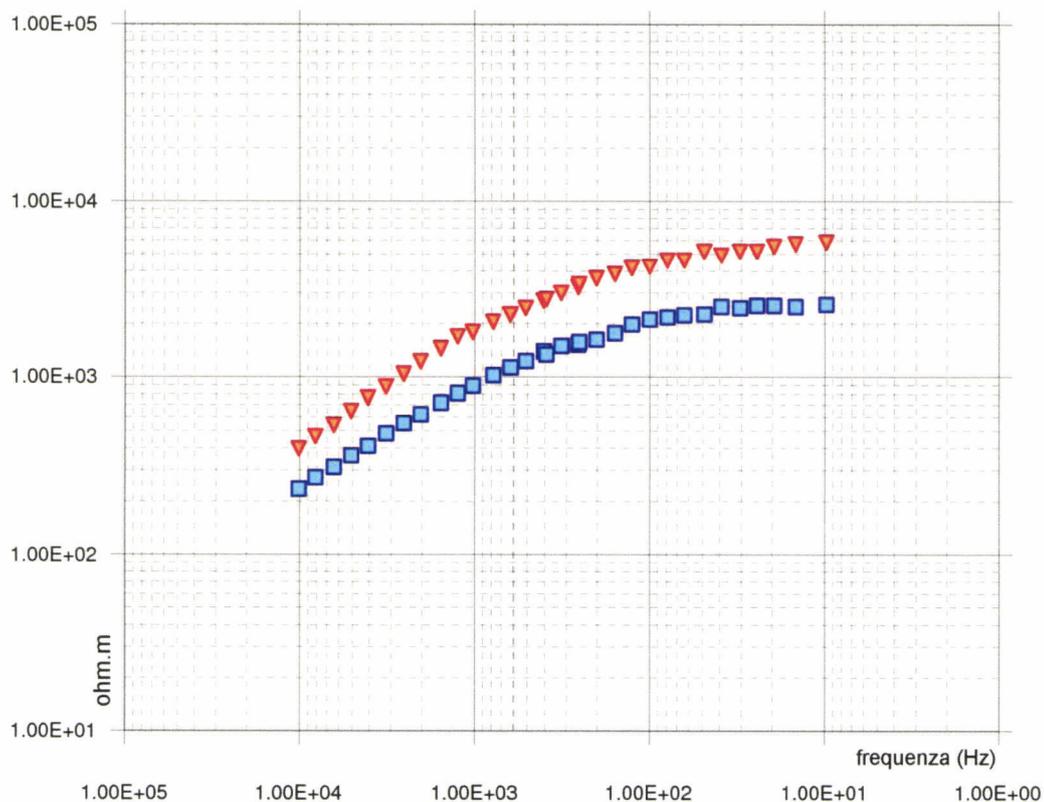


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	362	3.3	3.3
2	366	4.1	7.4
3	383	5.3	12.6
4	421	6.7	19.3
5	493	8.5	27.8
6	619	10.8	38.6
7	835	13.7	52.3
8	1192	17.4	69.8
9	1759	22.2	91.9
10	2593	28.2	120.1
11	3682	35.8	155.9
12	4844	45.5	201.4
13	5695	57.9	259.3
14	5831	73.5	332.8
15	5201	93.5	426.3
16	4280	118.8	545.1
17	3829	151.0	696.1
18	5008		

SONDAGGIO

MT10

RESISTIVITÀ APPARENTE



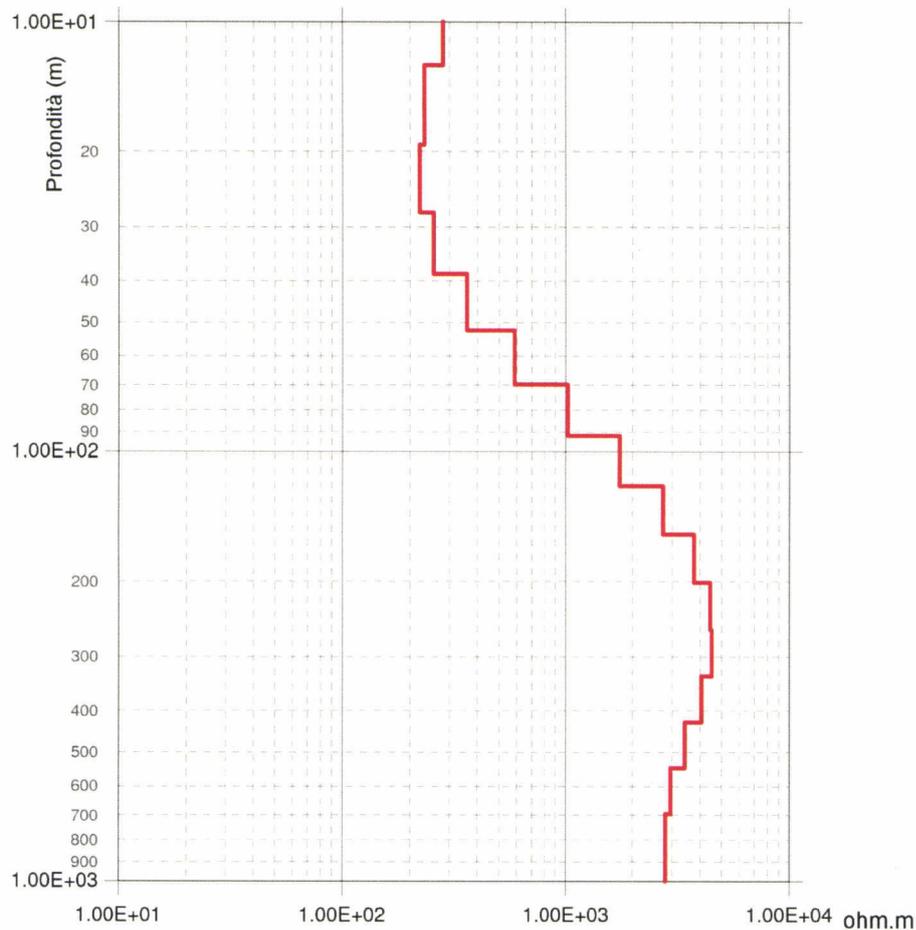
Curva XY



Curva YX

SONDAGGIO

MT10

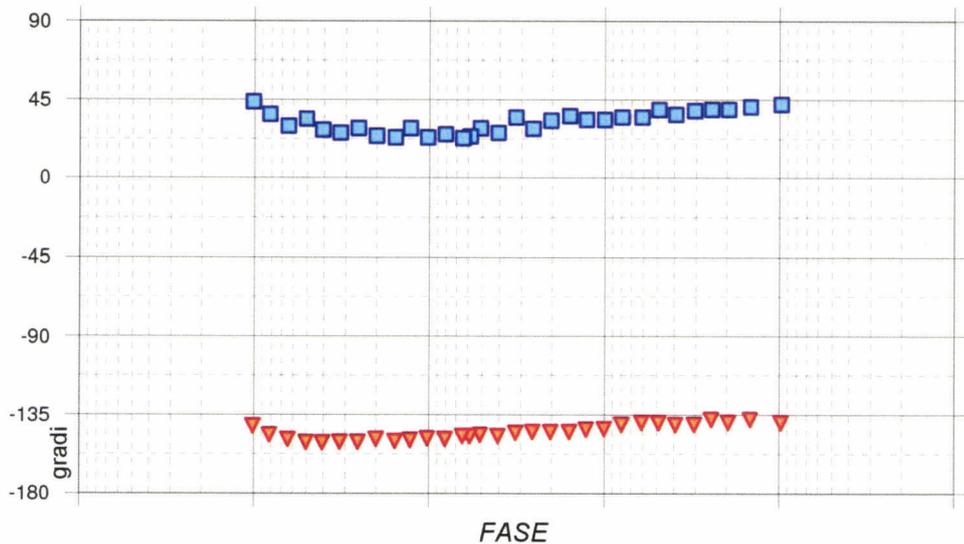
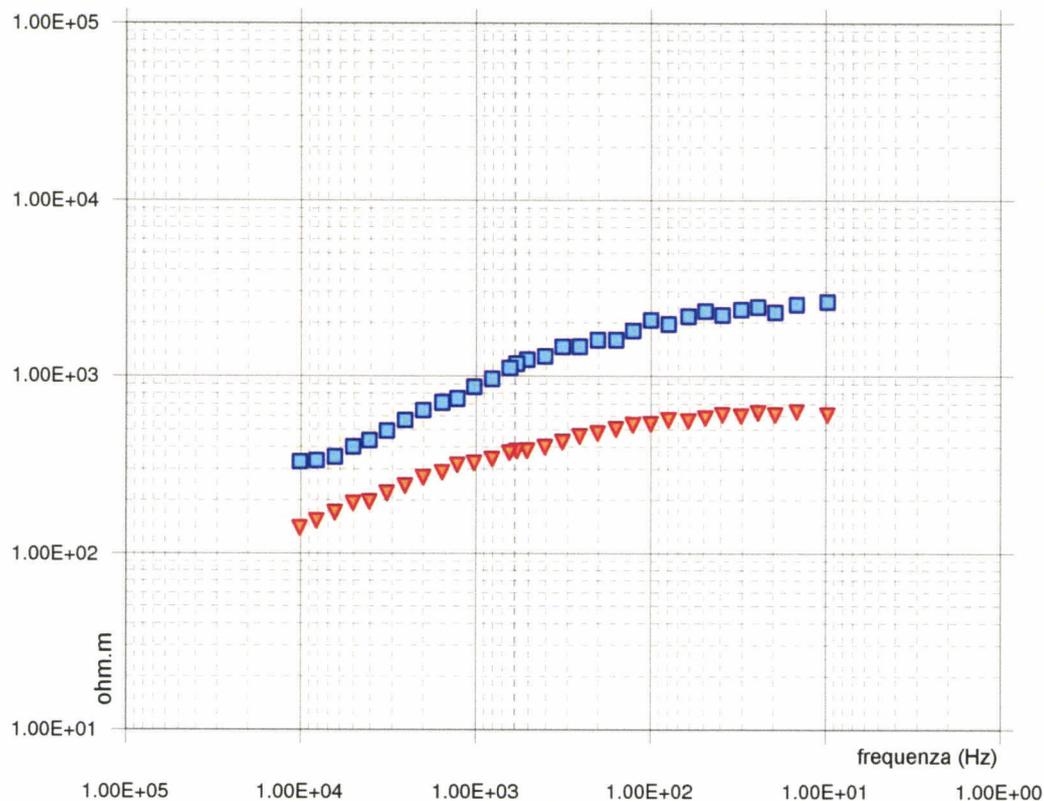


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	500	3.3	3.3
2	369	4.1	7.4
3	281	5.3	12.6
4	232	6.7	19.3
5	221	8.5	27.8
6	256	10.8	38.6
7	360	13.7	52.3
8	587	17.4	69.8
9	1024	22.2	91.9
10	1749	28.2	120.1
11	2734	35.8	155.9
12	3752	45.5	201.4
13	4429	57.9	259.3
14	4504	73.5	332.8
15	4050	93.5	426.3
16	3417	118.8	545.1
17	2948	151.0	696.1
18	2797		

SONDAGGIO

MT11

RESISTIVITÀ APPARENTE



Curva XY

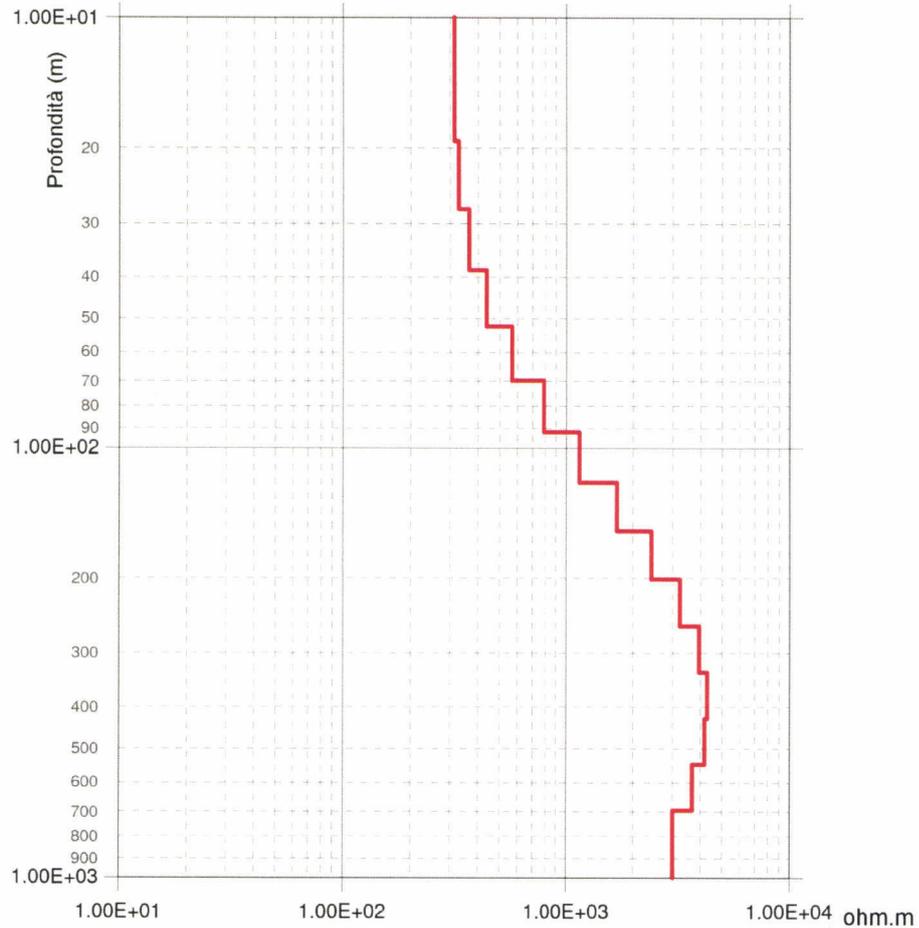


Curva YX

FASE

SONDAGGIO

MT11

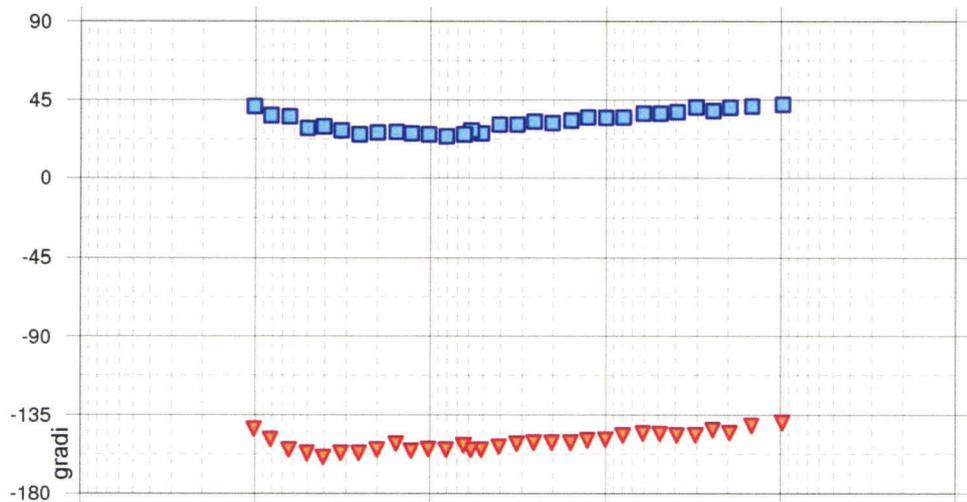
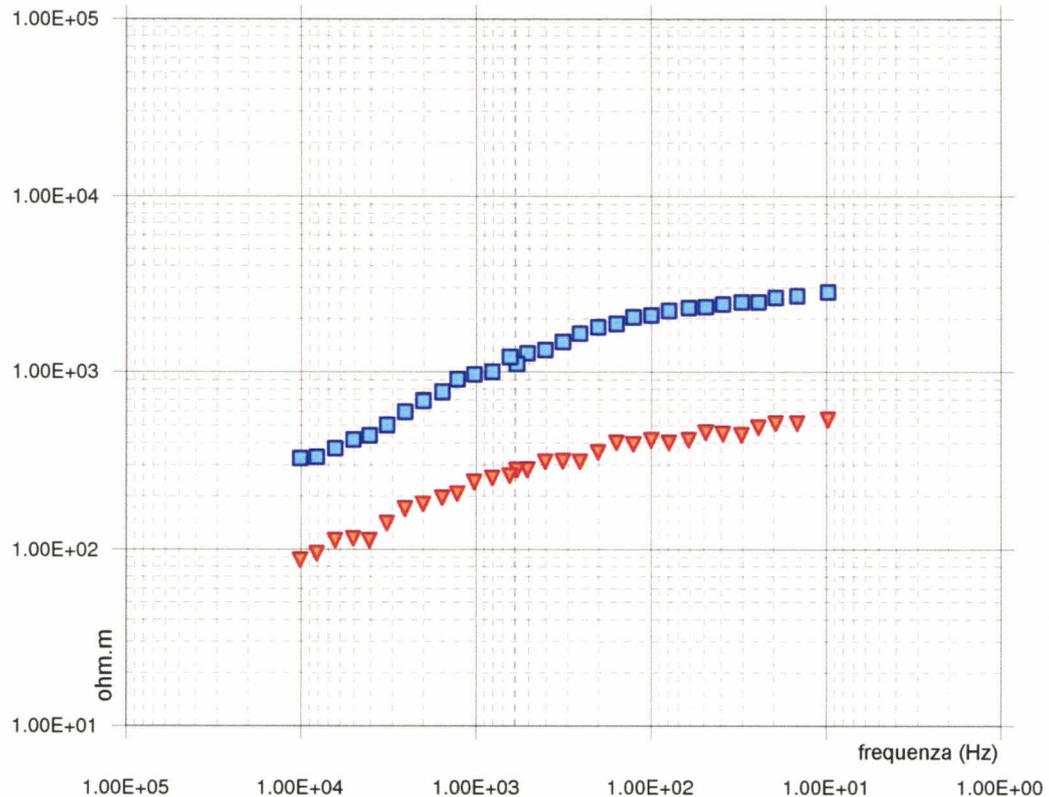


N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	334	3.3	3.3
2	322	4.1	7.4
3	314	5.3	12.6
4	314	6.7	19.3
5	329	8.5	27.8
6	365	10.8	38.6
7	437	13.7	52.3
8	567	17.4	69.8
9	789	22.2	91.9
10	1149	28.2	120.1
11	1690	35.8	155.9
12	2414	45.5	201.4
13	3233	57.9	259.3
14	3939	73.5	332.8
15	4292	93.5	426.3
16	4173	118.8	545.1
17	3673	151.0	696.1
18	3007		

SONDAGGIO

MT12

RESISTIVITÀ APPARENTE



FASE



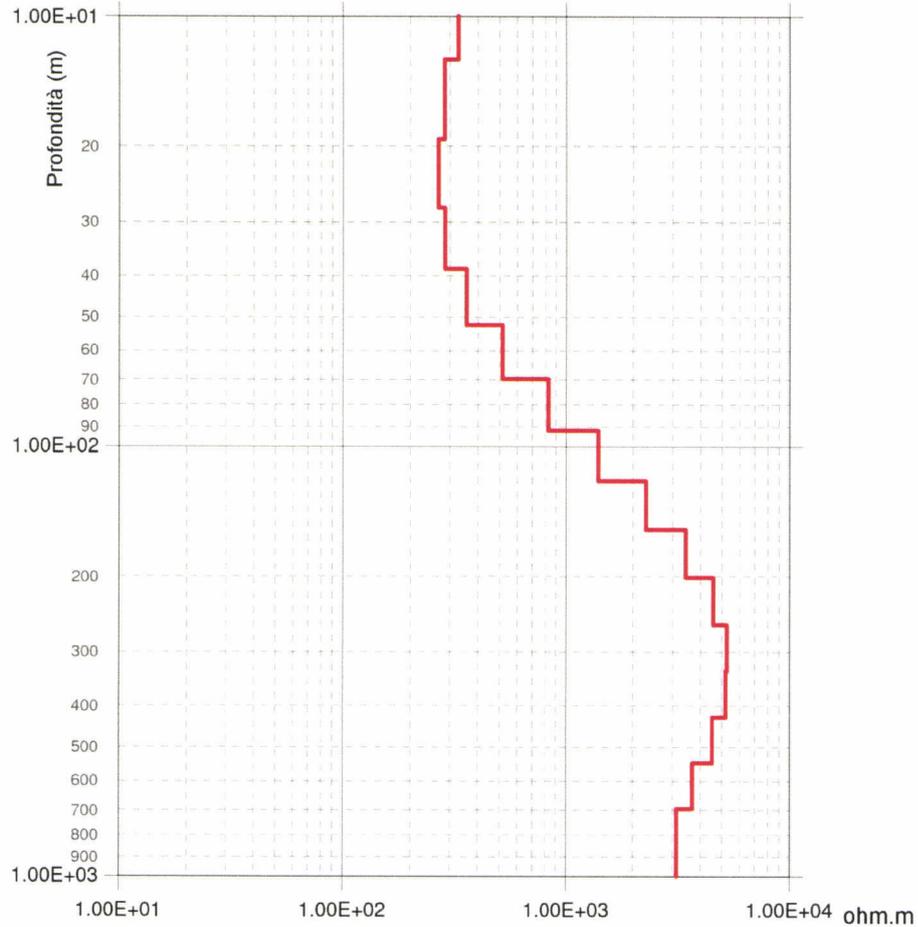
Curva XY



Curva YX

SONDAGGIO

MT12



N. Strato	RES (ohm.m)	Spess. (m)	Prof. (m)
1	482	3.3	3.3
2	396	4.1	7.4
3	329	5.3	12.6
4	284	6.7	19.3
5	267	8.5	27.8
6	285	10.8	38.6
7	356	13.7	52.3
8	517	17.4	69.8
9	833	22.2	91.9
10	1398	28.2	120.1
11	2284	35.8	155.9
12	3436	45.5	201.4
13	4576	57.9	259.3
14	5261	73.5	332.8
15	5195	93.5	426.3
16	4517	118.8	545.1
17	3687	151.0	696.1
18	3123		

