

# PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTARO (BN)



COMMITTENTE



**R.E.C. S.r.l.**  
Via Uberti 37-20129 Milano

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

Mandataria :

**ETATEC** S.R.L.  
SOCIETA' DI INGEGNERIA

20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264  
fax (02) 26681553 - E-Mail: ETATEC@ETATEC.IT

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2008  
SINCERT SICIV - SC 06-647/EA 34



PROGETTISTA: Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Mandante :

**CeAS**

SISTEMA QUALITÀ  
UNI EN ISO 9001 : 2008  
CERTIFICATO K031 RILASCIATO DA

CENTRO DI ANALISI STRUTTURALE S.R.L.  
AZIENDA CON SISTEMA QUALITÀ

SERVIZI DI INGEGNERIA CIVILE  
CIVIL ENGINEERING SERVICES




PROGETTISTA: Dott. Ing. Giovanni Canetta

INDAGINI GEOFISICHE:



**GEOINVEST** s.r.l.  
Geologia-Geofisica

via della Conciliazione, 45/A - 29122 Piacenza Italia  
telefono 0523 593622 - fax 0523 593640  
www.geoinvest.it - geoinvest@geoinvest.it



TITOLO ELABORATO

*INDAGINI INTEGRATIVE DI 2° FASE*  
RILIEVI GEOFISICI – RAPPORTO TECNICO

Revisione	Data	Descrizione	Redazione	Verifica	Approvazione		
A							
B							
C							
CODICE COMMESSA		TIPOLOGIA COMMESSA	TIPOLOGIA ELABORATO	FASE PROGETTAZIONE	PARTE DI IMPIANTO	PROGRESSIVO ELABORATO	SCALA:

## 1. PREMESSA

Il presente Rapporto illustra i dettagli operativi e i risultati di un'indagine geofisica integrativa di 2° Fase eseguita nell'ambito della progettazione dell'Impianto Idroelettrico di Regolazione sul Bacino di Campolattaro (BN).

In particolare l'intervento è stato realizzato tramite l'applicazione di due metodologie geofisiche: **tomografia elettrica** e **magnetotellurica**, con lo scopo essenziale di fornire utili informazioni alla ricostruzione geologico-strutturale del sottosuolo dell'area d'interesse.

Costituiscono parte integrante del rapporto i seguenti elaborati:

- **All. 1**      **PLANIMETRIA DI RIFERIMENTO – scala 1:5000**
- **All. 2a**     **TOMOGRAFIA ELETTRICA – Sezioni**
- **All. 2b**     **TOMOGRAFIA ELETTRICA – Sezioni**
- **All. 3**      **SEZIONI E PROFILI MT**

La planimetria di **All. 1** riassume gli interventi di 1° Fase (prospezioni elettriche-MT-sismiche) ed evidenzia l'ubicazione dei profili tomografici elettrici e l'ubicazione delle stazioni MT di 2° Fase,

Sono inoltre allegate delle visualizzazioni in pseudo 3D dei profili tomografici elettrici nella porzione di Monte Alto.

## 2. TOMOGRAFIA ELETTRICA

Il rilievo di tomografia elettrica ha comportato l'esecuzione di n. 7 profili tomografici elettriche per uno sviluppo complessivo di ml 8300 la cui ubicazione è riportata nell'allegata Planimetria di Riferimento (All. 1).

### 2.1 NOTE TECNICHE

La metodologia generalmente definita "geoelettrica" rappresenta uno dei metodi geofisici storicamente più utilizzati per la caratterizzazione dei materiali costituenti il sottosuolo.

I recenti sviluppi dell'elettronica e delle procedure d'acquisizione datano gestite tramite software dedicati, hanno consentito di applicare questa metodica, un tempo lenta e laboriosa, ai più disparati settori dello studio del sottosuolo con tempistica e dettaglio un tempo impensabili.

Il parametro di base misurato è la resistività elettrica, proprietà fisica che esprime la "resistenza" che i materiali offrono al passaggio della corrente elettrica.

Le misure geoelettriche consentono quindi, studiando le deformazioni del flusso di corrente causate dalle diverse strutture geologiche, di caratterizzare le strutture stesse e ricostruirne la distribuzione spaziale. La resistività delle formazioni geolitologiche è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

- Porosità; forma, dimensione e continuità dei pori;
- Percentuale di contenuto d'acqua dei pori;
- Salinità del liquido di saturazione dei pori;
- Presenza di matrice a granulometria fine;
- Conducibilità intrinseca dei minerali di base;

### 2.2 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

Come accennato la misura del valore di resistività elettrica dei materiali si realizza creando un campo elettrico artificiale nel mezzo da indagare e studiandone la distribuzione nel sottosuolo.

Il dispositivo di misura classico è costituito quindi da due coppie di elettrodi metallici infissi nel terreno a distanze opportune (dispositivo quadripolare). Generalmente i dispositivi utilizzati sono simmetrici rispetto ad un punto centrale O al quale si riferisce il valore misurato.

$$A1 \text{ --- } A1 \text{ --- } M \text{ --- } O \text{ --- } N \text{ --- } B1 \text{ --- } B2$$

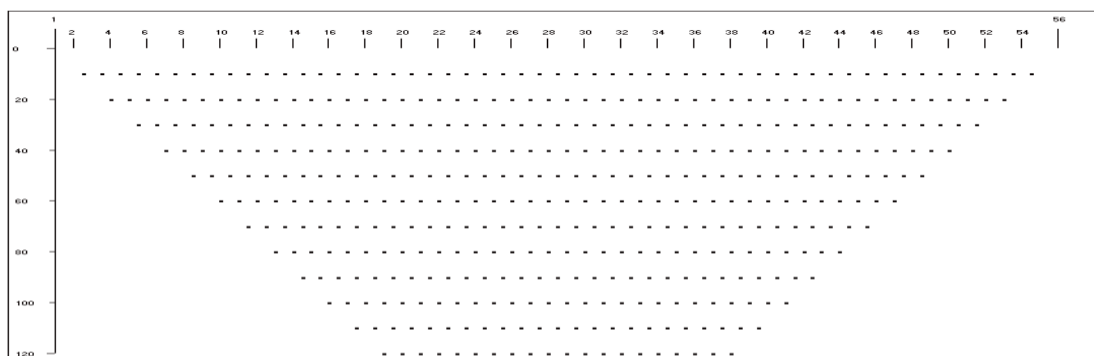
Dispositivo Schlumberger

$$A1 \text{ --- } M1 \text{ --- } O \text{ --- } N1 \text{ --- } B1 \Rightarrow A_n \text{ --- } M_n \text{ --- } O \text{ --- } N_n \text{ --- } B_n$$

Dispositivo Wenner

La coppia (A-B) costituisce il circuito con il quale s'immette corrente nel terreno, la coppia (M-N) è il circuito di misura della differenza di potenziale generata nel terreno stesso dal passaggio della corrente.

Si misurano così le variazioni del campo elettrico, indotte dalle eterogeneità litologiche presenti nel sottosuolo: queste variazioni sono più o meno marcate in funzione del contrasto di resistività elettrica esistente fra mezzi con caratteristiche differenti.



**Figura 1 – Tomografia elettrica – Schema misure**

La distribuzione della corrente in profondità e quindi la profondità dell'esplorazione è essenzialmente legata alla distanza tra i due elettrodi A e B e alle caratteristiche intrinseche del mezzo esplorato. La scelta del dispositivo più opportuno è legata alle condizioni dell'area da indagare, sia in termini strutturali sia di rapporto segnale-rumore (S/N). Dalla misura dell'intensità di corrente che fluisce tra gli elettrodi A-B e della differenza di potenziale tra gli elettrodi M-N è possibile quindi calcolare la resistività apparente e riferirla generalmente al centro del quadripolo ad una profondità che è funzione della distanza AB.

L'acquisizione tomografica consiste quindi nella misura dei valori di resistività in corrispondenza di un elevato numero di punti lungo la sezione d'indagine (Figura 1). La densità dei punti consente quindi di ricostruire con estremo dettaglio, anche tramite l'applicazione di algoritmi di calcolo bidimensionali, la sezione definendo in particolare gli effetti delle "variazioni laterali" e quindi restituendo una rappresentazione finale maggiormente corrispondente alla situazione reale.

### 2.2.1 Strumentazione utilizzata

I dati sono stati acquisiti con l'utilizzo della seguente strumentazione:

- Georesistivimetro digitale AGI - STING R1/IP (Figura 2);
- Dispositivo di gestione automatica degli elettrodi AGI – SWIFT;
- Elettrodi (smart electrodes) dotati di elettronica interna
- Picchetti in acciaio.



**Figura 2 – Resistivimetro “STING R1/IP”**

La principale innovazione introdotta dalla strumentazione utilizzata è rappresentata dalla gestione totalmente automatizzata delle misure, realizzata tramite un georesistivimetro multicanale di ultima generazione, con il quale è possibile l’acquisizione in tempi brevi di un elevato numero di punti, sfruttando la tecnologia dei cosiddetti “elettrodi intelligenti” (smart electrodes) che consente ad ogni elettrodo, dotato di un’elettronica interna, di essere utilizzato sia per l’invio della corrente sia per la misura del potenziale.



**Figura 3 – Particolare “Smart Electrode”**

Lo strumento è in grado, infatti, di gestire, tramite un’opportuna interfaccia, fino a 254 elettrodi contemporaneamente collegati. A loro volta gli elettrodi sono a contatto con il terreno tramite adeguati picchetti metallici.



**Figura 4 – Fase di “layout” dei profili di tomografia elettrica**

Il resistivimetro gestisce tramite software tutte le operazioni relative al controllo di qualità dei dati acquisiti attraverso le seguenti fasi:

- controllo del dispositivo di misura tramite verifica della resistenza di contatto degli elettrodi;
- azzeramento dei potenziali spontanei;
- iniezione di corrente in quantità, periodo e sequenza opportune;
- misura della differenza di potenziale e verifica della qualità del dato tramite il calcolo della “deviazione standard”;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all’acquisizione

L’acquisizione automatica dei dati garantisce, come accennato, un’elevata velocità di esecuzione. In tale situazione per la miglior qualità dei dati è di fondamentale importanza un “layout” ottimale della linea degli elettrodi.

In particolare è necessario verificare la “resistenza di contatto” tra gli elettrodi e il terreno, ed eventualmente adottare le adeguate procedure di riduzione di tale parametro prima dell’inizio del processo di acquisizione.

### 2.2.2 Procedure di acquisizione

Prima dell'avvio delle misure, tramite la stessa strumentazione, si procede quindi alla verifica dei valori di resistenza di contatto che sono registrati per il successivo controllo di qualità.

Ogni misura di resistività è effettuata con una ripetizione del ciclo “+--+” di cui è calcolato il valore della **deviazione standard**.

### 2.2.3 Procedure di elaborazione

L'elaborazione dei dati registrati ha seguito il seguente schema:

- editing per l'individuazione e rimozione dei valori caratterizzati da un errore elevato (deviazione standard non superiore a 2%);
- ricostruzione della sezione di pseudoresistività apparente misurata;
- definizione delle dimensioni della griglia da utilizzare per l'inversione 2D;
- inversione 2D e la ricostruzione della sezione di resistività tramite iterazioni successive condotte sulla base del confronto delle pseudosezioni di resistività misurata e calcolata;

## 2.3 ANALISI DEI DATI

In termini di qualità va osservato che le procedure di lavoro descritte hanno consentito di acquisire dati di un elevato livello qualitativo e pertanto il successivo processo di inversione per l'elaborazione delle sezioni finali, ha raggiunto livelli minimi di scostamento tra dati acquisiti e modello teorico.

Le sezioni allegate (**All. 2a-2b**) nelle quali, tramite le diverse gradazioni di colore, è stata rappresentata la distribuzione dei valori di resistività elettrica, mostrano il miglior modello bidimensionale possibile per ogni profilo e consentono di evidenziare la presenza di diverse **unità geofisiche**, per profondità mediamente attorno a 250/300m dal p.c.

Sulla base dei valori di resistività relativa elaborati è possibile distinguere tre macrounità geofisiche riassumibili in:

- **unità conduttiva** con resistività inferiori a 30 ohm.m riferibile ad elementi argillitici-marnosi (**colore azzurro**) sottostante alle unità calcaree nella porzione più profonda del rilievo;
- **unità intermedia** con resistività compresa fra 50-300 ohm.m riferibile ad elementi argilliti e calcarei fratturati in alternanza (**colore verde**);

**unità resistive** da medie ad elevate con valori superiori a 350 ohm.m (**colore giallo-rosso**) riferibile ad elementi arenaceo-calcarei e/o calcarei addensati nella porzione più resistiva.

La distribuzione, la geometria e la localizzazione stratigrafica delle unità, consentono di ricostruire in dettaglio il modello dell'area indagata evidenziate nelle singole sezioni e riassunto nella rappresentazione pseudo 3D.

In **All. 2a** si riscontra:

- **Sezione T3 - LB**  
Manifesta una diffusa presenza di elementi resistivi con parziali settori disomogenei alle progressive 220-270, 550-650 e marginalmente alla 750
- **Sezione T3 - LC**  
Le condizioni di disomogeneità si localizzano attorno alla progressiva 300 e nella fascia compresa fra 650-850 (tale disomogeneità potrebbe essere imputabile ad un disturbo strutturale)
- **Sezione T3 - L3**  
Descrive due distinte unità geofisiche, una più resistiva nella porzione meridionale (fino alla progressiva 500) ed una relativamente conduttiva nella porzione settentrionale.  
Il contatto fra le due unità è di probabile natura tettonica.
- **Sezione T0 - L1**  
Si sviluppa nella più parte nei materiali medio resistivi con intercalate strutture resistive delimitate da probabili strutture tettoniche, alle progressive 300-350, 600, 750 e nella porzione marginale attorno alla progressiva 1000.

In **All. 2b** sono riassunte le sezioni:

- **Sezione T0 - LH**  
Sviluppata lungo l'asse del Lago Ciancione evidenzia la continuità dei depositi conduttivi superficiali (20/25 m di potenza) sovrastanti un'unità resistiva (calcareo) assai continua.  
Alla base, oltre un centinaio di metri dal piano campagna, si riscontra l'unità medio resistiva argillitico-calcareo.
- **Sezione T2 - LA**  
Interessa un taglio trasversale l'area di studio dal bacino di Monte Alto; verso Est mostra la presenza di una potente unità calcarea nella porzione iniziale e di seguito sovrastante l'unità argillitica posta mediamente a 150m dal p.c.  
Si individuano, inoltre, delle possibili strutture di contatto tettonico alle progressive 500, 1000-1150, 1500.  
Nella porzione finale si evidenziano i depositi fini locali sovrastanti gli elementi calcarei.



- **Sezione T4 - LG**

Tracciata lungo una direttrice N-S mostra la copertura resistiva/calcareo potente un centinaio di metri nelle porzioni centrali (350-750) con ispessimento nella parte finale (1200-1600).

L'unità resistiva sovrasta un'unità media resistiva argillitica-calcareo.

Si individuano importanti disturbi strutturali alle progressive 900-1150-1200 mentre la porzione superficiale risulta particolarmente disturbata fra le progressive 350-750.

La rappresentazione pseudo 3D delle sezioni acquisite attorno a Spaccamontagna-Monte Alto, permettono di correlare in una visione d'insieme le unità sopra descritte e definiscono sia i rapporti fra le componenti litologiche che gli allineamenti strutturali.

### 3. RILIEVO MAGNETOTELLURICO IN ALTA FREQUENZA

#### 3.1 GENERALITA'

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** ( $\rho$ ). In particolare la MT è uno dei metodi definiti "elettromagnetici" dove la  $\rho$  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  $\rho$  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  $\rho$ , 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  $\rho$ , 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  $\rho$  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 (50m), come nel caso in esame, è possibile l'elaborazione di un modello bidimensionale, in termini di formazioni geofisiche, della sezione indagata.

### 3.2 ACQUISIZIONE DATI – DOTAZIONE STRUMENTALE

- 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



*Fig.5 - Unità di acquisizione MT e AMT*

### 3.3 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;

### 3.3.1 *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.

### 3.3.2 *Rilevamento planoaltimetrico*

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

### 3.3.3 *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.

### 3.3.4 *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 15-20 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.



Fig. 6 - Stazione MT

### 3.4 ELABORAZIONE DATI – DOTAZIONE STRUMENTALE

- SERVER PENTIUM 3/4 - HD 300gb - RAM 512Mb cad.
- WORK STATIONS ATLON. 1.8G HZ
- WORK STATIONS ATLON. 500 MHZ.
- LAPTOP Pentium II
- Plotter A0 Encad CADJET3D
- Stampante LASER COLOR XEROX PHASER 7700
- Stampante Epson A3 colori
- Scanner A0 e A4

### 3.5 ELABORAZIONE DATI – DOTAZIONE SOFTWARE

- Autodesk MAP 2000
- Cad Overlay 14.0
- MAP Info 4.1
- ARC View 3.1
- ARC Press 1.0
- EVS environmental Visualization System
- Grapher 4.0 - Golden software
- Surfer 8.0 - Golden software
- EMI MTR2000/ACQ24, 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

### 3.6 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 filtraggi 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.

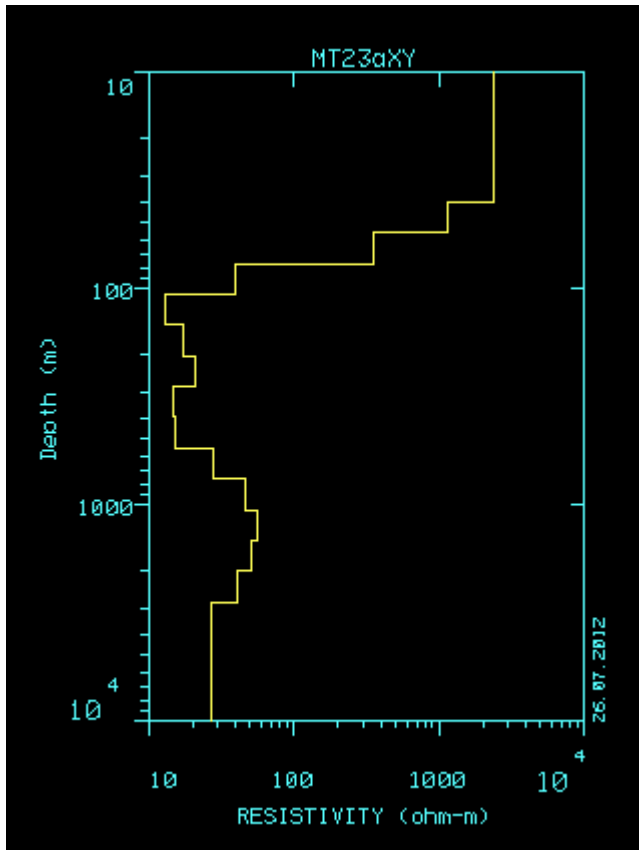


Fig. 7 - Modello MT

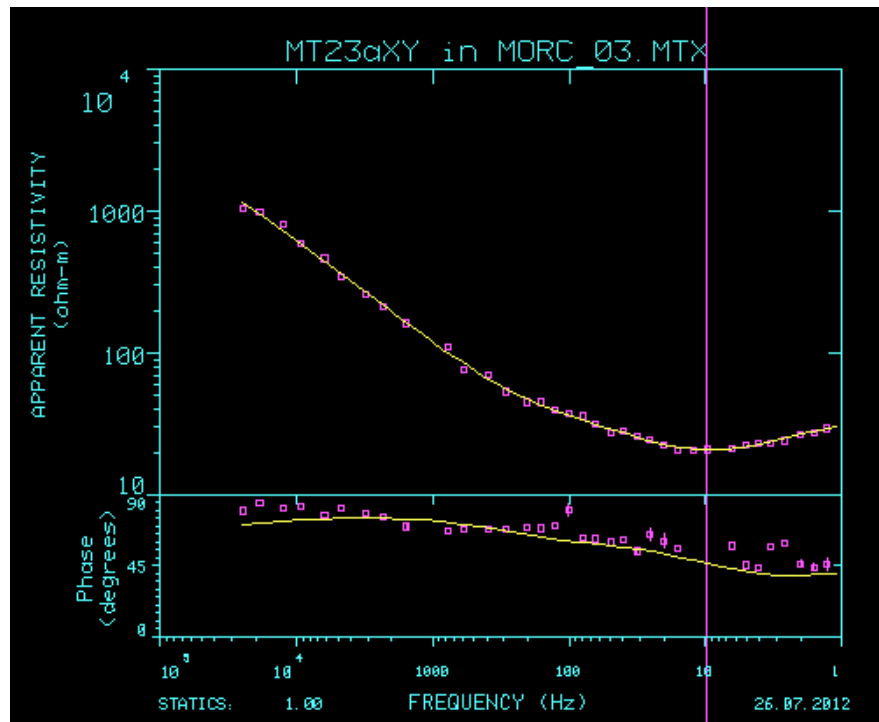


Fig. 8 - Curva resistività

### 3.7 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 50-61 ed MT 21-41 che si sono correlano alla precedente sezione MT01-20, inoltre vengono interpretate come singole stazioni i sondaggi MT62-80.

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 conduttiva** con resistività inferiori a 30 ohm.m riferibili ad elementi argillitico-marnosi (colore **azzurro**)
- **Unità intermedia** con resistività comprese tra 50-250 ohm.m riferibili ad elementi argillitico-calcarei fratturati in alternanza (colore **verde**)
- **Unità resistive da medie ad elevate** con valori superiori a 300 ohm.m (colore **giallo-rosso**) riferibili ad elementi arenacei-calcarei, calcari addensati

Lo schema geofisico-stratigrafico si può sintetizzare in:

- **sino a quota 500/600 m s.l.m.**, si registrano terreni più resistivi con elementi a valori più elevati nella porzione superficiale riferibili ad elementi calcarei
- **da quota 600 a quota 450m dal p.c.**, alternanza di elementi con resistività medio-bassa (calcari brecciati argilliti)
- **da quota 450m dal p.c.**, terreni relativamente conduttivi riferibili a litologie argillitico-marnose in alternanza

**La sezione T1-MT** evidenzia i rapporti fra le unità sopra descritte, lo schema generale è abbastanza regolare salvo evidenziare un possibile innalzamento del tetto dell'unità intermedia (**verde**) fra le stazioni MT19-MT30 e più limitatamente in corrispondenza delle stazioni MT61-MT01-MT02.

Per quanto riguarda le sezioni T2-LA, T3-LB, T3-LC, T3-LE, T3-LI esse sono state composte inserendo il dato della singola stazione MT sulle sezioni tomografiche elettriche.

Si conferma, in linea generale, lo schema sopra descritto evidenziando i rapporti fra le unità stesse fino a profondità dell'ordine di 700/800m dal p.c.; una correlazione tra i sondaggi stessi permette di sintetizzare i dati acquisiti.



## MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR- HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (IPOTESI DI NAKAMURA)

### CENNI METODOLOGICI

Il metodo dei rapporti spettrali di singola stazione (HVSR) e' largamente utilizzato in paesi con elevato rischio sismico quali il Giappone per la stima degli effetti di amplificazione di sito.

Il microtremore, un'impercettibile oscillazione naturale del suolo, è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde sismiche prodotte dal vento e dal moto ondoso marino negli strati superficiali della Terra. Anche le attività umane (industrie, traffico stradale ecc.) possono produrre localmente microtremore, ma in genere tale segnale viene attenuato piuttosto rapidamente a causa delle sue caratteristiche di alta frequenza.

E' interessante evidenziare come il microtremore agisca da oscillatore naturale e quindi permetta, tramite adeguata strumentazione, la misura diretta delle frequenze di vibrazione dei terreni e dei manufatti.

La tecnica utilizzata, proposta da Nakamura (Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Vol. 30, No.1, 25-33) per lo studio delle amplificazioni di sito assume che i microtremori consistano principalmente di onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato sofficie su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Tale tecnica permette di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento.

Le ipotesi su cui si basa la tecnica di Nakamura sono le seguenti:

- i microtremori sono generati da sorgenti locali, e non da sorgenti profonde i cui contributi sono trascurabili;
- le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base dello strato considerato;
- la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale;
- il picco visibile nei rapporti H/V (rapporto tra l'ampiezza spettrale della componente orizzontale e l'ampiezza spettrale della componente verticale) è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore ed è invece fortemente dipendente dalle condizioni stratigrafico-litologiche del terreno. Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

Le principali applicazioni delle prove H/V si possono così sintetizzare:

- Misura delle frequenze di risonanza dei suoli;
- Effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura);
- Stratigrafia sismica passiva;
- Vs30 da fit vincolato della curva H/V;
- Segnalazione dei possibili fenomeni di doppia risonanza suolo-struttura.

Di particolare importanza è la frequenza di vibrazione del sito, caratterizzata dal maggiore rapporto di ampiezze **H/V**, nell'intervallo di frequenze d'interesse ingegneristico (frequenze generalmente inferiori a 15 Hz), denominata frequenza fondamentale di vibrazione **f<sub>0</sub>**.

E' possibile poi determinare la profondità degli strati sismici mediante la misura diretta delle frequenze di vibrazione, associata alla misura delle velocità delle onde S tramite la relazione:

$$f_0 = V_s / 4H$$

dove **V<sub>s</sub>** è la velocità media delle onde di taglio, e **H** è la profondità dello strato sismico in corrispondenza di un netto aumento di velocità sismiche.

### STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E MODALITA' DI ACQUISIZIONE

Per la registrazione dei dati, è stato utilizzato lo stesso sismografo utilizzato per le prove simiche, interfacciato ad un geofono tridimensionale. I sensori del geofono tridimensionale, hanno una frequenza propria di 4.5 Hz. Le registrazioni hanno avuto una lunghezza di 20 minuti, con un campionamento a 125 Hz. Si ricorda inoltre che ruotando lo strumento sul piano orizzontale (quindi cambiando casualmente l'orientazione delle misure) i rapporti spettrale HVSR non cambiano perché indipendenti dalla direzione della misura.

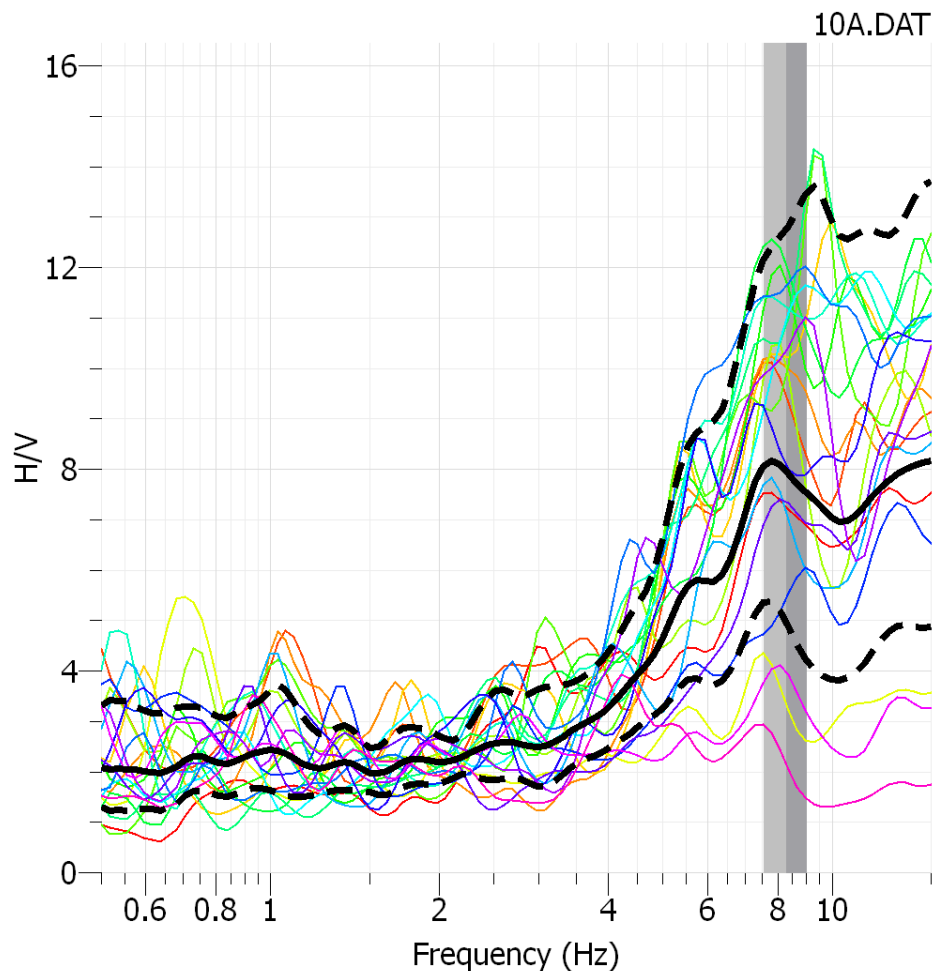


**Fig. 9 - Fasi esecutive della prova H/V**

## ELABORAZIONE ED ANALISI DEI DATI

Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software free "Geopsy".

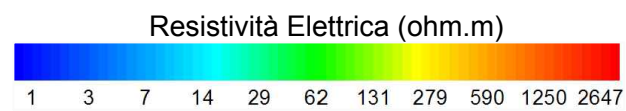
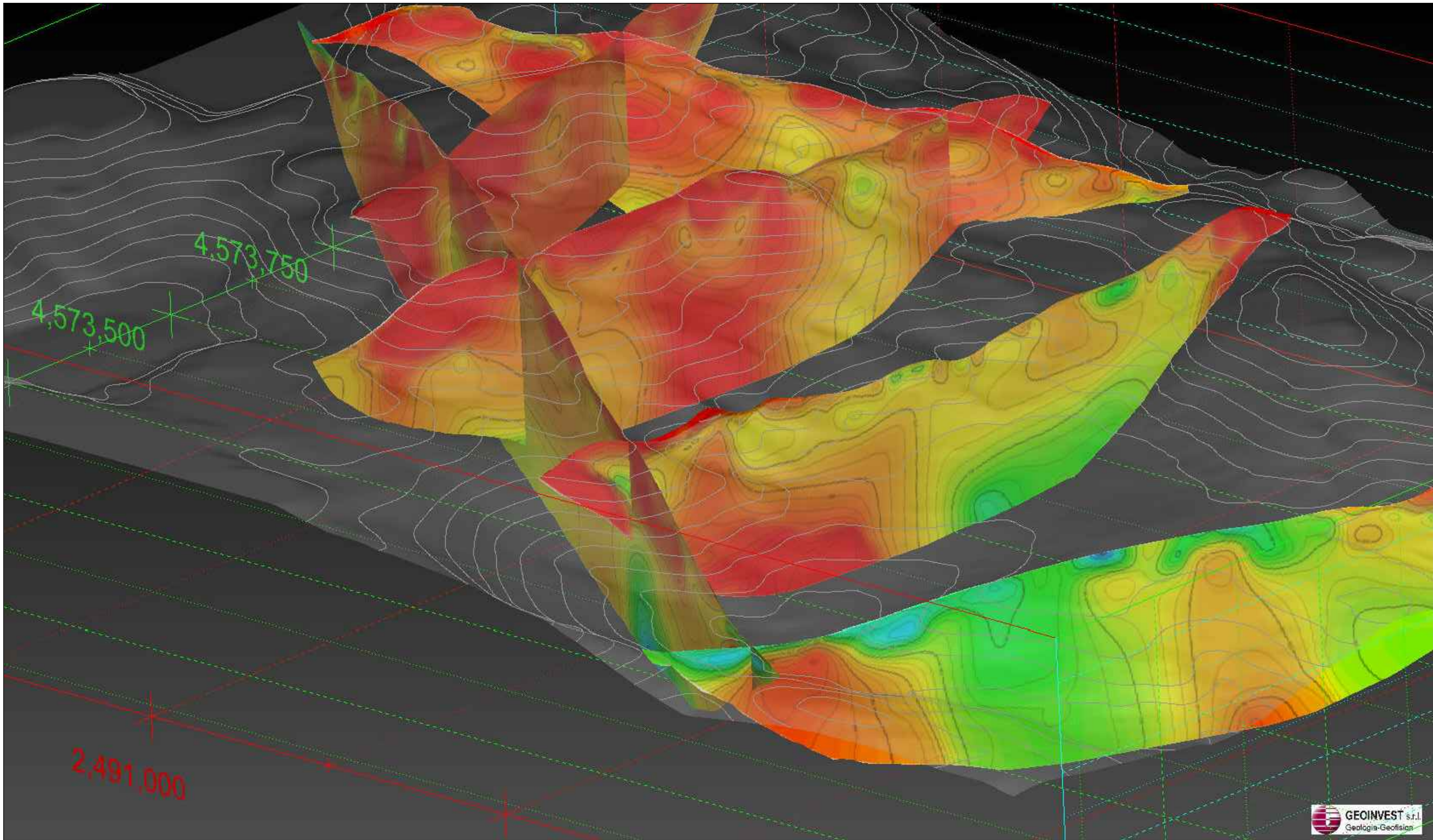
Il progetto "Geopsy" distribuisce tutti i software sviluppati nell'ambito di un pacchetto chiamato "Sesarray". Esso contiene diversi strumenti si occupano di tutti gli aspetti del trattamento di vibrazioni ambientali per la caratterizzazione del suolo. Le principali applicazioni contenute all'interno di "Sesarray" sono "Geopsy" e "Dinver".



Analizzando i risultati della prova emerge come la frequenza principale del terreno si collochi sui **8.5 Hz +/- 0.3 Hz**, dove **0.3 Hz** è il possibile "range" di oscillazione della stima della frequenza di vibrazione.

La frequenza determinata, piuttosto elevata, è chiaramente associabile ad un contrasto di impedenza sismica superficiale, legato probabilmente, al contatto fra roccia più fratturata e substrato più compatto.

PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTATO (BN)

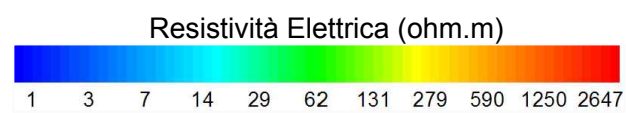
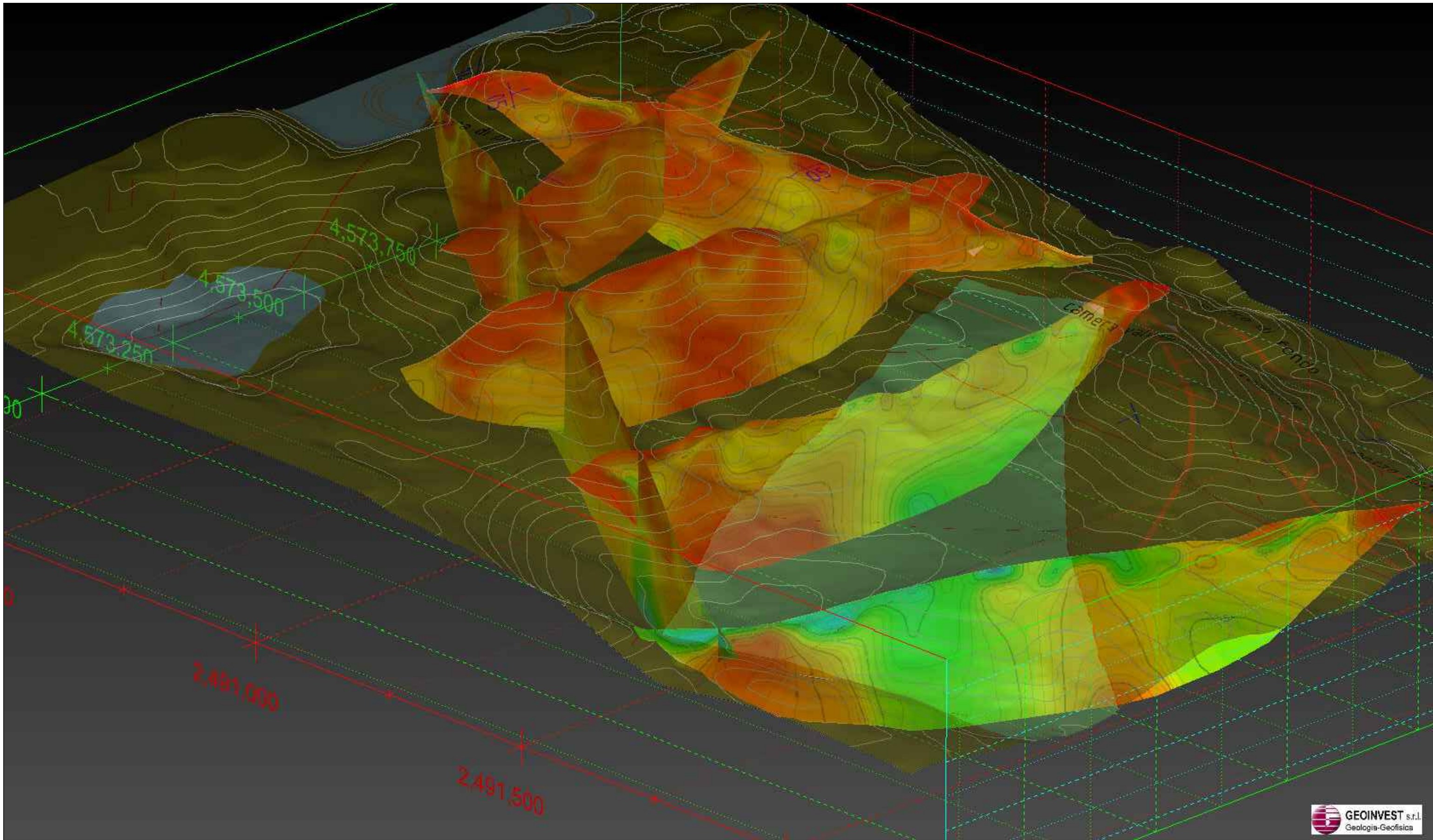


TOMOGRAFIA ELETTRICA

**Vista NORD**

App. 1.a

PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTATO (BN)

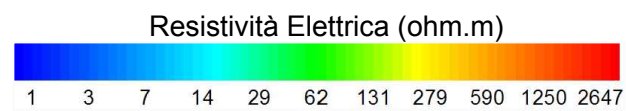
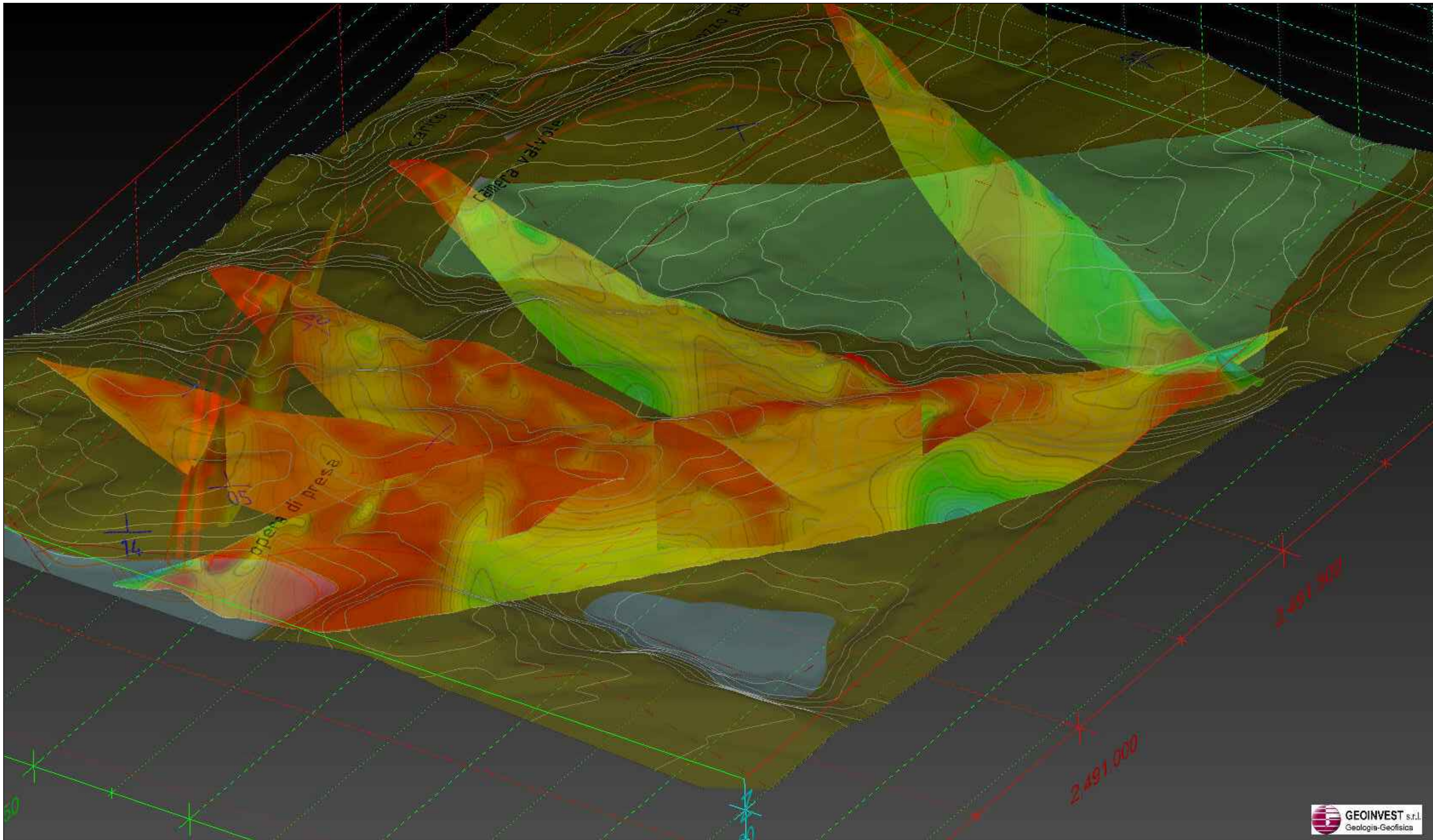


TOMOGRAFIA ELETTRICA e GEOLOGIA

**Vista *NORD***

App. 1.b

PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTATO (BN)

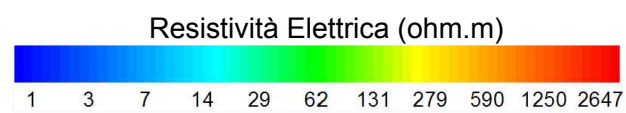
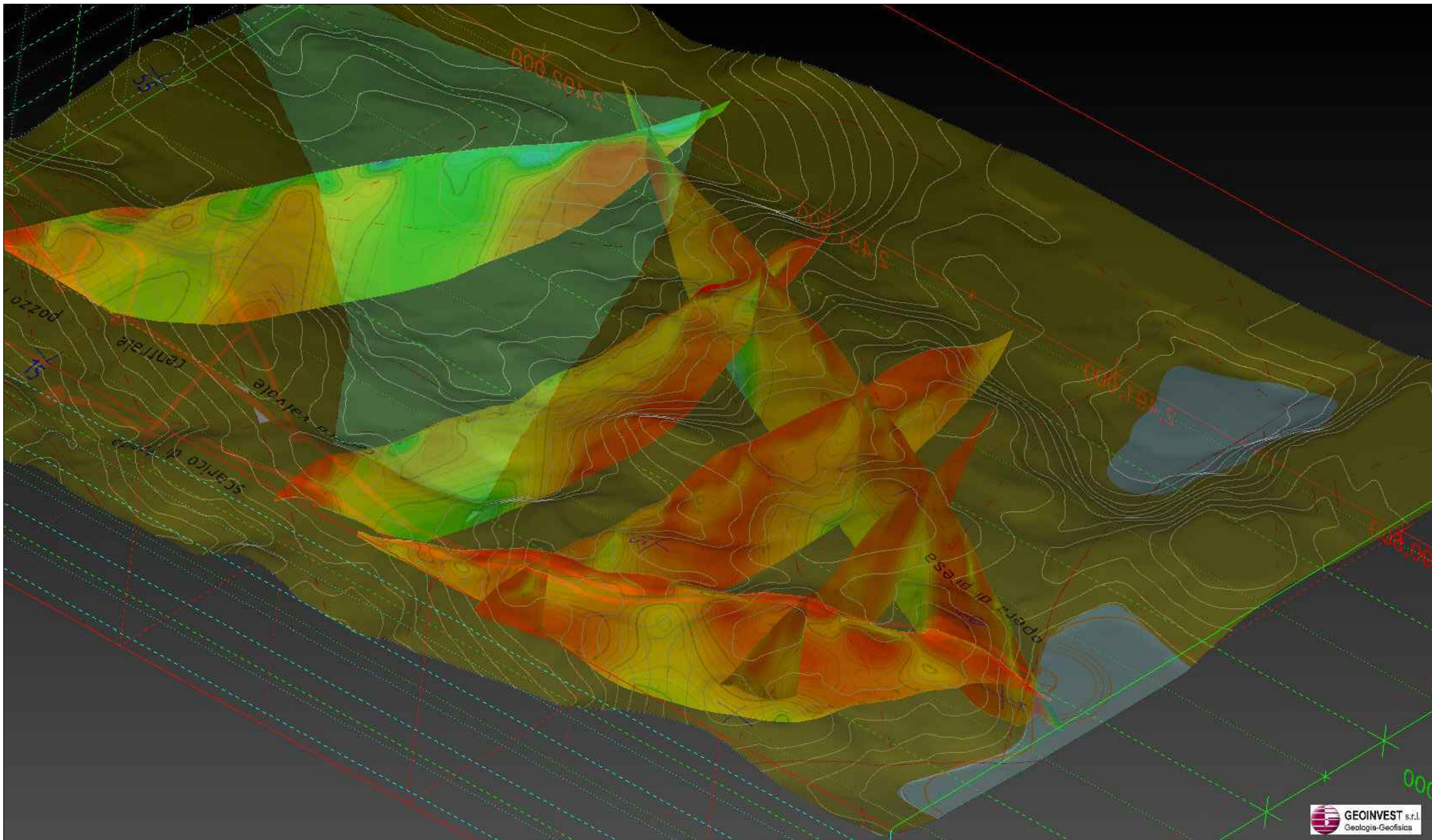


TOMOGRAFIA ELETTRICA e GEOLOGIA

**Vista EST**

App. 1.c

PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTATO (BN)

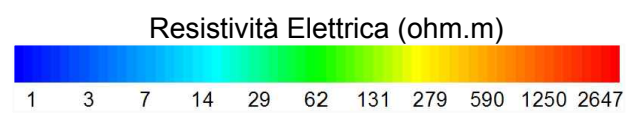
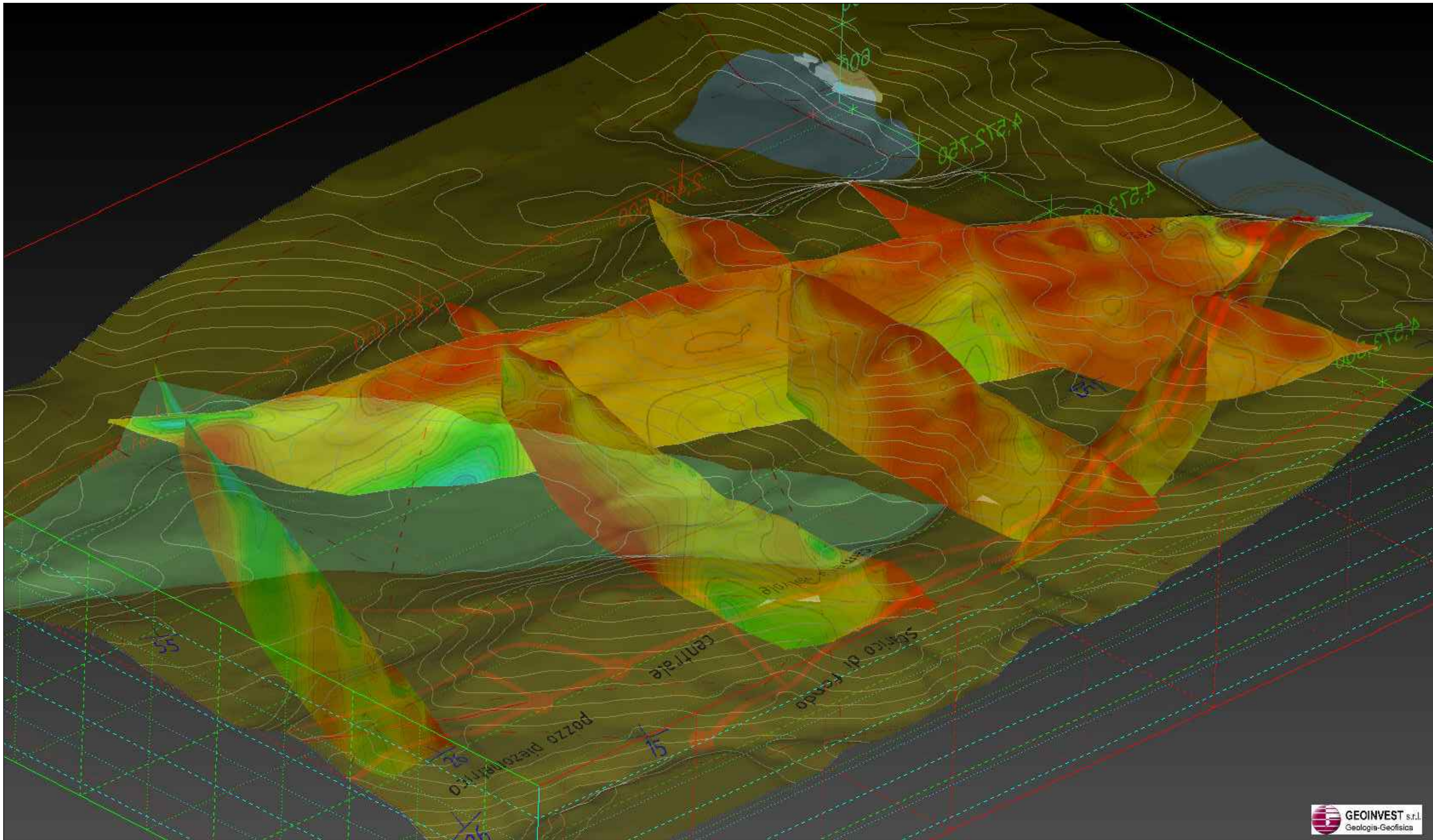


TOMOGRAFIA ELETTRICA e GEOLOGIA

**Vista SUD**

App. 1.d

PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTATO (BN)



TOMOGRAFIA ELETTRICA e GEOLOGIA

**Vista OVEST**

App. 1.e