ZondGM2D

Programma per l’interpretazione 2D di dati magnetici e gravimetrici.
Manuale utente (edizione 2026)

Indice

FUNZIONALITÀ DEL PROGRAMMA
REQUISITI DI SISTEMA
INSTALLAZIONE E DISINSTALLAZIONE
DENSITÀ DELLE ROCCE
SUSCETTIVITÀ MAGNETICA DI ROCCE E MINERALI
DESCRIZIONE DELLE FUNZIONI DEL PROGRAMMA
- Barra degli strumenti della finestra principale
- Funzioni del menu principale
- Tasti rapidi
- Pannello di stato

SCHEMA GENERALE DI LAVORO
GUIDA AL LAVORO
- Preparazione e apertura del file dati
- Importazione ed esportazione dei dati
- Salvataggio dei risultati dell’interpretazione
- Primi passi con il programma
- Finestra dei parametri del programma
- Grafici di profilo (Profile)
- Editor del modello
- Scelta del modello del mezzo nell’inversione (mesh regolare di celle, modello poligonale e a strati arbitrari)

MODELLAZIONE
- Modalità di modellazione poligonale e a strati arbitrari
- Inversione del modello poligonale
- Inversione del modello a strati arbitrari: algoritmo

ELABORAZIONE E TRASFORMAZIONI DEL CAMPO
- Operazioni su profilo e area
- Smoothing dei dati (Smooth data)
- Strato equivalente, derivate e RTP

Deconvoluzione di Euler
OPZIONI AVANZATE DEL PROGRAMMA
Algoritmi di inversione
Prolungamento verso il basso
Finestra Cell summarization
Opzione «Buffer» del menu principale
Editor delle sezioni geologiche
Lavoro con dati areali e visualizzazione 3D
Informazioni a priori
CONFIGURAZIONE DELL’INTERFACCIA
Impostazione della tavolozza
Editor degli assi
Editor dei grafici
Finestra di anteprima di stampa
Formato dei file di dati
Formato del file di dati
Formato del file di log e litologia
VERIFICA E ACCELERAZIONE DEI MODULI (VERSIONE 2026)

FUNZIONALITÀ DEL PROGRAMMA

«ZondGM2D» è un programma per l'interpretazione 2D di dati di profilo e areali, su più livelli, ottenuti da rilievi magnetici e gravimetrici. L'interfaccia semplice e le ampie possibilità di presentazione dei dati permettono di risolvere i problemi geologici con la massima efficacia.

Il metodo tradizionale di esplorazione delle formazioni ferrifere è il rilievo magnetico. Esso studia i campi magnetici di oggetti che contengono minerali ferromagnetici. La relazione fisica tra i dati misurati in superficie e le proprietà magnetiche in profondità permette di ipotizzare la presenza di corpi magnetici.

Nel rilievo magnetico si misura il campo magnetico totale. Esso è composto dal campo normale terrestre, dai campi anomali prodotti da corpi magnetizzati e dalle variazioni del campo magnetico, legate soprattutto all'attività solare. La componente utile associata all'area di studio è il campo anomalo, che si separa tenendo conto del campo normale e misurando le variazioni magnetiche in prossimità dell'area del rilievo.

Il campo magnetico sulla superficie terrestre può essere rappresentato come somma vettoriale: $T = T_n + T_a + \delta T_v$, dove T_n e T_a sono i campi magnetici normale e anomalo e δT_v le variazioni del campo. Il campo normale T_n si divide in una componente dipolare (T_d) e una non dipolare (T_m), cioè $T_n = T_d + T_m$.

Il campo dipolare T_d, che in prima approssimazione è il campo magnetico della Terra, è il campo di una sfera magnetizzata omogenea. La differenza tra il campo dipolare (calcolato) e il campo normale (misurato da satellite) è la parte non dipolare T_m del campo normale, spesso chiamata campo residuo o campo delle anomalie continentali (le dimensioni di queste anomalie sono paragonabili a quelle dei continenti). I suoi massimi non superano il 30 % del campo dipolare.

I valori di T_n crescono gradualmente da 33 000 nT all'equatore a 68 000 nT vicino ai poli; la componente verticale del campo normale nella zona del polo nord raggiunge 60 000 nT, cambia segno all'equatore e diminuisce gradualmente da 0 all'equatore a −68 000 nT al polo sud. La componente orizzontale ha il massimo vicino all'equatore (33 000 nT) e diminuisce fino a 0 ai poli. Il gradiente del campo magnetico normale è di circa 5 nT per chilometro.

Le sorgenti del campo magnetico anomalo T_a sono oggetti magnetizzati situati vicino alla superficie terrestre. La profondità massima delle rocce magnetiche è di circa 50 km; più in profondità le proprietà magnetiche scompaiono a causa delle alte temperature.

Il valore del campo T_a è circa il 10 % di T_n, tranne nell'Anomalia Magnetica di Kursk, dove il campo T_a raggiunge decine di migliaia di nT. Le anomalie magnetiche prodotte dalle rocce si dividono in regionali e locali.

La parte variabile δT_v del campo magnetico terrestre è formata dalle variazioni magnetiche, il cui contributo al campo totale è inferiore all'1 %. Le variazioni più importanti si dividono in periodiche (solari diurne e di breve periodo) e aperiodiche (baie e tempeste magnetiche).

Tutte le variazioni sono dovute a sorgenti esterne alla Terra: interazione delle particelle cariche con la ionosfera, correnti elettriche in fasce ad alta latitudine a 100–150 km di quota,

ecc. In generale la correzione delle variazioni è importante nei rilievi magnetici, perché esse provocano distorsioni significative dei dati osservati.

Il programma «ZondGM2D» risolve i problemi diretto e inverso della magnetometria e della gravimetria (ricostruzione della suscettività magnetica anomala, della densità e della geometria degli oggetti).

Nel programma la suscettività magnetica è espressa nel sistema SI (n*10^{-5}), la densità in g/cm^3, i valori misurati in nanotesla o milligal.

Per risolvere il problema inverso (inversione) si usano varie versioni di metodi di deconvoluzione e il metodo di Newton con regolarizzazione focalizzata.

$$(A^T W^T \mathrm{WA} + \mu C^T \mathrm{RC})\Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T \mathrm{RCm}$$

dove A è la matrice delle derivate parziali dei dati rispetto ai parametri del modello (jacobiano), C l'operatore di smoothing, W la matrice degli errori relativi di misura, m il vettore dei parametri, μ il parametro di regolarizzazione, Δf il vettore dei residui tra valori osservati e calcolati, R l'operatore di focalizzazione.

Nello sviluppo del problema inverso si è prestata particolare attenzione all'uso dell'informazione a priori (pesi delle singole misure, intervalli dei parametri).

«ZondGM2D» usa un formato del file dati semplice e chiaro.

Il programma permette di importare e visualizzare dati di altri metodi, rendendo più integrato il processo di interpretazione.

«ZondGM2D» è uno strumento di facile uso per l'interpretazione automatica e interattiva di dati magnetici e gravimetrici su più livelli e funziona su PC compatibili con sistema operativo Windows.

REQUISITI DI SISTEMA

«ZondGM2D» può essere installato su un PC con Windows 98 o superiore. Configurazione consigliata: processore P IV 2 GHz, memoria 512 MB, risoluzione 1024 × 768, colori True color (si sconsiglia di cambiare la risoluzione durante il lavoro con i dati).

Poiché il programma usa intensamente il registro di sistema, su sistemi successivi a Windows XP si consiglia di avviarlo come amministratore (clic destro sul collegamento — esegui come amministratore).

INSTALLAZIONE E DISINSTALLAZIONE

Il programma «ZondGM2D» è distribuito via internet. Il presente manuale è incluso nel pacchetto. Gli ultimi aggiornamenti si scaricano da www.zond-geo.com.

Per installare il programma copiarlo nella cartella desiderata (per esempio Zond). Per installare un aggiornamento sostituire la versione precedente con quella nuova.

Prima di avviare il programma deve essere installato il driver della chiave di protezione SenseLock. Aprire la cartella SenseLock (il driver si può scaricare dal sito) ed eseguire InstWiz3.exe. Dopo l'installazione del driver inserire la chiave. Se tutto è corretto, nel pannello inferiore del sistema appare un messaggio che la chiave è stata rilevata.

Per disinstallare il programma eliminare la sua cartella di lavoro.

DENSITÀ DELLE ROCCE

Per eseguire rilievi gravimetrici e soprattutto per interpretarne i risultati è indispensabile conoscere la densità delle rocce σ, l'unico parametro fisico su cui si basa la gravimetria.

La densità di una roccia (o peso di volume) è la sua massa per unità di volume. L'unità di misura è g/cm^3. Di solito si misura su campioni prelevati da affioramenti, sondaggi o miniere. Il modo più semplice è pesare il campione in aria e in acqua e calcolare σ. Il densimetro, lo strumento più diffuso, si basa su questo principio e misura la densità con una precisione di 0,01 g/cm^3

Hmelevskoj, 1997

.

Per ottenere dati affidabili e rappresentativi occorre misurare molti campioni (fino a 50). Dalle numerose misure su campioni della stessa sequenza litologica si costruisce la curva di variazione, cioè il grafico di σ in funzione del numero di campioni con quella densità. Il massimo della curva corrisponde al valore più probabile della densità della roccia. Esistono anche metodi gravimetrici e altri metodi geofisici di stima della densità in campagna e in pozzo.

La densità di rocce e minerali dipende dalla composizione chimico-mineralogica, cioè dalla densità delle particelle solide, dalla porosità e dal fluido nei pori (acqua, soluzioni, petrolio, gas). La densità delle rocce vulcaniche e metamorfiche è determinata soprattutto dalla composizione mineralogica e cresce passando dalle rocce acide alle basiche e ultrabasiche. Quella delle rocce sedimentarie dipende soprattutto da porosità e saturazione in acqua, meno dalla composizione mineralogica; dipende molto dalla consolidazione, dall'età e dalla profondità di seppellimento (il loro aumento fa crescere la densità). Di seguito alcuni esempi

Hmelevskoj, 1997

.

- **Roccia** — **Densità (g/cm^3)**
- **Petrolio** — 0,8 -1,0
- **Carbone** — 1,0
- **Acqua** — 1,1 – 2
- **Suolo** — 1,13 - 2,0
- **Sabbia** — 1,4 – 2
- **Argilla** — 2 - 2,2
- **Arenaria** — 1,8 - 2,8
- **Calcare** — 2,3 - 3,0
- **Sale** — 2,1 - 2,4
- **Granito** — 2,4 - 2,9
- **Gneiss** — 2,6 - 2,9
- **Gabbro** — 2,8 - 3,1
- **Basalto** — 2,7 - 3,3
- **Peridotite** — 2,8 - 3,4

- **Calcopirite** — 4,1 - 4,3
- **Magnetite, ematite** — 4,9 - 5,2
- **Densità media della crosta superiore** — 2,67

SUSCETTIVITÀ MAGNETICA DI ROCCE E MINERALI

La suscettività magnetica χ è la principale proprietà magnetica delle rocce; caratterizza il grado di magnetizzazione di materiali e rocce.

Nel sistema SI è un numero adimensionale, ma in pratica si misura in unità 10^{-5} SI. Per le varie rocce va da 0 a 10 unità. Minerali e rocce si dividono per suscettività in tre gruppi: diamagnetici, paramagnetici e ferromagnetici. Le rocce diamagnetiche hanno suscettività molto bassa (meno di 10^{-5} SI) e negativa (la magnetizzazione è opposta al campo magnetizzante). Molti minerali e rocce, come quarzo, salgemma, marmo, petrolio, ghiaccio, grafite, oro, argento, piombo e rame, sono diamagnetici

Hmelevskoj, 1997

.

Le rocce paramagnetiche hanno suscettività positiva e bassa. La maggior parte dei minerali e delle rocce sedimentarie, metamorfiche e vulcaniche è paramagnetica.

I minerali ferromagnetici (per esempio magnetite, titanomagnetite, ilmenite, pirrotite) hanno valori di χ molto alti (fino a diversi milioni di unità 10^{-5} SI).

La suscettività della maggior parte delle rocce dipende soprattutto dalla presenza e dalla percentuale di minerali ferromagnetici.

La tabella seguente riporta i valori di χ di alcuni minerali e rocce. I minerali ferromagnetici sono fortemente magnetici. Tra le rocce vulcaniche quelle ultrabasiche e basiche hanno la suscettività più alta, quelle acide sono magnetiche o debolmente magnetiche. La suscettività delle rocce metamorfiche è inferiore a quella delle vulcaniche. Le rocce sedimentarie, salvo alcune arenarie e argille, sono praticamente non magnetiche.

- **Minerale, roccia** — $\chi 10^{-5}$ **(unità SI)**
- **intervallo** — **media**
- **Quarzo** — -

  10
- **Calcite** — 7 – 12

  -
- **Gesso** — -

  12
- **Carbone** — -

  25
- **Sfalerite** — -

  750
- **Ematite** — 500 - 50000

  6000

- **Pirrotite** — 10^3-10^7

  150000
- **Ilmenite** — $5*10^5$ -$5*10^6$

  10^6
- **Magnetite** — 10^6-10^7

  $5*10^6$
- **Calcare** — 25 - 3500

  300
- **Arenaria** — 0 - 20000

  400
- **Gneiss** — 100 - 20000

  -
- **Granito** — 0 - 40000

  2000
- **Diabase** — 1000 - 15000

  5000
- **Gabbro** — 1000 - 100000

  60000
- **Basalto** — 30 - 150000

  60000
- **Peridotite** — 90000 - 200000

  150000
- **Sedimentarie (media)** — 0 - 5000

  1000
- **Metamorfiche (media)** — 0 - 75000

  50000
- **Vulcaniche acide (media)** — 50 - 80000

  8000
- **Vulcaniche basiche (media)** — 60 - 120000

  30000

Per convertire χ nel sistema CGS, usato nel programma, la suscettività SI si divide per 4π.

La suscettività delle rocce para- e ferromagnetiche diminuisce con la temperatura e quasi scompare alla temperatura di Curie, che per i vari minerali va da +400 a +700 °C. La profondità massima di indagine magnetica è di circa 25–50 km; più in profondità la temperatura supera il punto di Curie e tutte le rocce diventano praticamente non magnetiche.

Le strutture geologiche e i minerali ricercati, con suscettività κ, sono circondati da rocce con suscettività χ. Per questo, come in gravimetria, interessa la suscettività in eccesso o efficace $\Delta\chi$, che può essere positiva o negativa. Le anomalie magnetiche compaiono quando $\Delta\chi$ è diversa da zero

Hmelevskoj, 1997

.

DESCRIZIONE DELLE FUNZIONI DEL PROGRAMMA

Barra degli strumenti della finestra principale

La barra degli strumenti dà accesso rapido alle funzioni più usate. Contiene i pulsanti seguenti (da sinistra a destra):

-  — Apri file dati.
-  — Finestra di salvataggio dati.
-  — Modalità modello.
-  — Modalità di modellazione a strati arbitrari.
-  — Modalità di modellazione poligonale.
-  — Finestra dei parametri di inversione.
-  — Editor dei dati.
-  — Lavora con misure magnetiche.
-  — Lavora con misure gravimetriche.
-  — Risolvi il problema diretto.
-  — Avvia (un clic) o annulla (secondo clic) l’inversione.
-  — Deconvoluzione di Euler.
-  — Trasformazione rapida del campo e costruzione di una pseudosezione in profondità.
-  — Annulla l’ultima modifica del modello.
-  — Selezione del profilo.

Funzioni del menu principale

Di seguito le voci del menu e le loro funzioni:

- **File/Create synthetic survey** — Finestra di creazione di un rilievo sintetico (vedi «Modellazione»).
- **File/Open file** — Apri file dati.
- **File/ Add to project** — Aggiungi dati al progetto aperto.
- **File/Save file** — Finestra di salvataggio.
- **File/Print Preview** — Finestra di stampa della finestra principale.
- **File/Edit file** — Apri il file dati corrente nel Blocco note.

- **File/Recent** — File usati di recente.
- **File/ Русский** — Interfaccia in russo.
- **File/English** — Interfaccia in inglese.
- **File/Reg file** — Crea il file di registrazione.
- **File/Exit** — Esci dal programma.
- **Options/Mesh constructor** — Finestra di impostazione del modello iniziale.
- **Options/Project information** — Informazioni sul progetto (esecutore, committente, nome dell'area, strumentazione, ecc.).
- **Options/Line's observation settings** — Finestra dei parametri di misura (vedi «Primi passi con il programma»).
- **Options/Set survey lines** — Finestra di impostazione dei profili (vedi «Lavoro con dati areali e visualizzazione 3D»).
- **Options/Program setup** — Finestra dei parametri di inversione.
- **Options/Data editor** — Editor dei dati.
- **Options/ Modules/Downward continuation** — Prolungamento del campo verso il basso:

  Standard – prolungamento del campo originale;

  Normed – prolungamento della derivata verticale.
- **Options/Modules/3D sections plot** — Visualizzatore 3D del modello. Funziona con dati areali.
- **Options/Modules/Graphics map** — Pianta dei grafici.
- **Options/Modules/Geological editor** — Editor delle sezioni geologiche.
- **Options/Inversion/Set boundaries** — Finestra dei limiti geologici.
- **Options/Inversion/Resolution** — Aumentando la sensibilità cresce l'influenza delle celle profonde del modello.
- **Options/Inversion/reference model** — Livello rispetto al quale si determina la regolarità del modello calcolato. Valori:

  Median — dalla media dei dati;

  "0" — dal livello zero;

  Start model — dal modello iniziale (utile con informazione a priori);

  Previous — dall'iterazione precedente.
- **Options/Inversion/Focused filter** — Parametri del filtro di focalizzazione:

  Own — filtro proprio, risultato dell'inversione;

  Load — carica un modello da un altro programma di inversione; le celle a basso contrasto vengono smussate;

  Other — usato nell'inversione congiunta gravimetrica e magnetica: filtro calcolato dall'inversione dell'altro metodo.
- **Options/Model/Block section** — Modello a blocchi.
- **Options/Model/Smooth section** — Modello con tavolozza a interpolazione smussata.

- **Options/Model/Contour section** — Modello a isolinee.
- **Options/Model/Infinite borders** — Se attivo, il programma estende automaticamente gli oggetti oltre l'area di vista; altrimenti la loro dimensione è limitata all'area di vista.
- **Options/Model/X=Z scale** — Rende uguali le scale verticale e orizzontale.
- **Options/Model/Extend bottom** — In presenza di rilievo estende le celle inferiori fino alla profondità massima.
- **Options/Model/Show modeler tools** — Barra degli strumenti di modellazione (vedi «Modellazione»).
- **Options/Topography/Topo coefficient 1** — Fattore di attenuazione del rilievo con la profondità (0–5):

  0 — il rilievo di ogni strato è uguale a quello del precedente;

  1 — il rilievo si appiattisce con la profondità, l'ultimo strato è piano.
- **Options/Topography/Import topography** — Importa la topografia.
- **Options/Topography/Remove topography** — Rimuovi la topografia (tutti i dati avranno quota zero).
- **Options/Topography/Restore topography** — Ripristina la topografia caricata in precedenza.
- **Options/Topography/Edit topography** — Modifica i dati topografici.
- **Options/Topography/Denoise topography** — Rimuovi picchi isolati dalla topografia.
- **Options/Topography/Smooth topography** — Smussa la topografia.
- **Options/Topography/Import 3D topography** — Importa un file di topografia per tutte le sezioni del progetto (con coordinate e quota dei punti di osservazione).
- **Options/Topography/Spline intermediate** — Interpolazione spline dei punti intermedi.
- **Options/Topography/Absolute coordinates** — Modalità a quote assolute (se disattiva, la profondità si conta dal punto più alto del modello).
- **Options/Topography/Extended nodes** — Aggiungi celle a sinistra e a destra.
- **Options/Boreholes/Load borehole data** — Apri e visualizza un file di log di pozzo e colonne stratigrafiche.
- **Options/Boreholes/ Create/Edit borehole data** — Crea o modifica i dati di pozzo.
- **Options/Boreholes/ Remove borehole data** — Rimuovi i dati di pozzo.
- **Options/Boreholes/Set column's width** — Larghezza delle colonne di pozzo.
- **Options/Import/Export/Import data text/excel** — Importa dati in formato testo o Microsoft Excel.
- **Options/Import/Export /Import model/graph** — Importa dati o un modello arbitrari.
- **Options/Import/Export /Remove data** — Rimuovi dal progetto il grafico dei dati importati.
- **Options/Import/Export /Save selection** — Salva le celle selezionate nell'editor del modello.

- **Options/Import/Export /Load selection** — Apri un file di celle selezionate e incollalo nella posizione del cursore.
- **Options/Import/Export /Extract 1d log** — Salva un profilo verticale di suscettività o densità alla coordinata orizzontale indicata.
- **Options/Import/Export /Load 1d log** — Incolla nel modello un profilo verticale di suscettività o densità (o dei loro limiti) alla coordinata indicata.
- **Options/Import/Export /Save MOD2D file** — Salva un file di modello 2D per altri programmi Zond.
- **Options/Import/Export /Load MOD2D file** — Carica un file di modello 2D ottenuto, per esempio, in altri programmi Zond.
- **Options/Import/Export /Save MOD1D file** — Salva un file di modello 1D per altri programmi Zond.
- **Options/Import/Export /Load MOD1D file** — Carica un file di modello 1D.
- **Options/Import/Export/Load background image** — Importa un file *.sec o un'immagine arbitraria come sfondo.
- **Options/Import/Export/Remove background image** — Rimuovi l'immagine di sfondo.
- **Options/Import/Export/Show background image** — Mostra l'immagine di sfondo.
- **Options/Import/Export/Resize background image** — Ridimensiona l'immagine di sfondo.
- **Options/Import/Export/Export to Excel** — Salva il modello in formato Excel.
- **Options/Import/Export/Export model to DXF** — Salva il modello in formato AutoCAD (*.DXF).
- **Options/Import/Export/Draw model in Surfer** — Esporta il modello in Surfer.
- **Buffer** — Salva il modello corrente nel buffer per confrontarlo con nuovi modelli.
- **Operations/Line operations** — Operazioni su un singolo profilo.
- **Operations/Subtract total field** — Sottrai il campo totale.
- **Operations/Subtract median value** — Sottrai la mediana.
- **Operations/Subtract user value** — Sottrai un valore indicato dall'utente.
- **Operations/ Subtract med in window** — Sottrai il valore medio in una finestra mobile (utile su profili regionali).
- **Operations/ Subtract field from height** — Riduci il campo misurato a quote diverse a un livello comune.
- **Operations/Reduce to pole** — Riduzione al polo. Si usa in magnetometria e porta l'anomalia sopra il centro dell'oggetto.
- **Operations/Reduce to plane** — Riduzione a un unico livello di quota. Utile per dati aerei; evita false anomalie dovute al rilievo e alle variazioni di quota.
- **Operations/Denoise data** — Rimuovi dati rumorosi (picchi isolati).
- **Operations/Return to original** — Torna ai dati originali annullando tutte le trasformazioni.

- **Operations/Areal operations** — Operazioni su dati areali.
- **Help/About** — Informazioni sul programma.
- **Help/Context** — Apri il manuale.
- **Help/Check for updates** — Cerca aggiornamenti.
- **Help/ERROR!!! Set default values** — Ripristina i valori predefiniti e riavvia il programma.

^ Il file dei dati importati deve avere due colonne: coordinata della misura e valore misurato. L'asse verticale dei dati importati è l'asse destro della pianta dei grafici del profilo. Il modello importato deve essere salvato in un file di progetto Zond 2D. Al caricamento compare una nuova finestra con il modello; muovendo il cursore nella finestra di modellazione, la posizione della cella attiva viene mostrata sul modello importato.

Voci di menu aggiuntive

Le voci seguenti non erano descritte nella precedente edizione del manuale. Sono elencate nell'ordine in cui compaiono nel programma.

- **File/Reg file**, **File/Register** — gestione del file di registrazione e registrazione della copia del programma.
- **Options/Line's observation settings** — apre la finestra **Observation settings** del profilo corrente (parametri del campo normale, quote del sensore, tipo di dati, spostamento DC). Vedi «Primi passi con il programma».
- **Options/Data editor** — editor tabellare delle osservazioni del profilo corrente. Permette di modificare valori del campo, coordinate, quote e pesi dei singoli punti.
- **Options/Modules/Elements toolbox** — pannello di elementi grafici (etichette, frecce, marcatori) posizionati sopra la finestra attiva: sezione del modello, sezione a isolinee o modello poligonale. Gli elementi si salvano con il progetto.
- **Options/Inversion/View iterations** — finestra con i modelli di ogni iterazione dell'inversione. Permette di tornare a qualsiasi modello intermedio.
- **Options/Inversion/Display process** — se attivo, modello e grafici vengono ridisegnati dopo ogni valore di prova del parametro di smoothing. È illustrativo ma rallenta l'inversione; per modelli grandi conviene disattivarlo.
- **Options/Inversion/Optimization/Lcurve** — scelta del parametro di smoothing con la curva L (punto di massima curvatura della curva «norma del modello — scarto dei dati»). Se disattivo, si usa il valore con lo scarto minimo. Vedi «Algoritmi di inversione».
- **Options/Inversion/Optimization/Layered term** — finestra di correlazione orizzontale: termine aggiuntivo che attira i parametri verso una distribuzione a strati orizzontali. Si impostano **Use**, l'intensità dell'accoppiamento, il numero di strati vicini e la dimensione della finestra di media.
- **Options/Inversion/Smoothness/Focused filter** — origine del filtro di focalizzazione: proprio (**Own**), da un altro metodo (**Other**) o caricato da file (**Load**).
- **Options/Inversion/Smoothness/"0"** — il modello di riferimento è zero (nessuna sorgente).
- **Options/Inversion/Smoothness/Type/L0, L1, L2** — norma dello stabilizzatore. **L2** — smoothing classico (quadrato del gradiente del modello), **L1** — smoothing del modulo del gradiente (mantiene i limiti netti), **L0** — supporto minimo (corpi compatti).

- **Options/Inversion/Smoothness/Robust** — norma robusta dello scarto: i punti con forti valori anomali ricevono un peso minore all'iterazione successiva.
- **Options/Inversion/Smoothness/Stabilizer** — valore dello stabilizzatore (0,01–1); con esso si aggiunge un termine diagonale all'operatore di smoothing (vedi «Algoritmi di inversione»).
- **Options/Inversion/Smoothness/Adaptive** — smoothing adattivo: i pesi dell'operatore si ricalcolano a ogni iterazione dal modello corrente. Agisce solo nei tipi di inversione con smoothing e si disattiva per IGI.
- **Options/Inversion/Smoothness/IGI forced** — applicazione forzata del modello interpretativo IGI (clustering su più metodi) a ogni iterazione.
- **Options/Inversion/Resolution/Native, x1, x2, x4, x8** — risoluzione della parametrizzazione. Native — un parametro per cella; x1…x8 — le celle sono raggruppate in blocchi, il che riduce le incognite e accelera l'inversione.
- **Options/Inversion/Joint inversion** — inversione congiunta di dati gravimetrici e magnetici (e di SEV, TEM, MT, MASW e sismica se caricati). **Magnetic data**/**Gravity data** è disponibile se il profilo contiene entrambi i campi.
- **Options/Inversion/Joint inversion/Criteria** — criterio di accoppiamento strutturale: **Common correlation** (correlazione comune), **Global-local correlation** (combinazione di correlazione globale e locale), **Variation information** (informazione mutua delle distribuzioni), **Gramian** (minimizzazione del determinante di Gram dei gradienti, analogo al gradiente incrociato).
- **Options/Inversion/Joint inversion/From initial model** — il secondo modello è preso dal modello iniziale e non viene ricalcolato.
- **Options/Inversion/Joint inversion/Start resistivity** — resistività iniziale per i dati elettrici (30 Ohm·m per default).
- **Options/Inversion/Joint inversion/Draw isolines** — mostra le isolinee del secondo modello sopra la sezione.
- **Options/Inversion/Joint inversion/MASW data**, **IGI settings**, **Clusterization** — dati MASW, impostazioni IGI e modalità di clustering (con il clustering attivo gli altri tipi di inversione congiunta si disattivano).
- **Options/Model/Synchronized zoom** — zoom sincronizzato di grafici e sezione.
- **Options/Model/Set 1D model** — modello a strati orizzontali tramite il costruttore di strati (limiti −10…10 g/cm³ per la densità e −10000…10000 per la suscettività).
- **Options/Topography/Set by mouse** — disegna il rilievo con il mouse sulla sezione.
- **Options/Topography/WWW topography** — scarica il rilievo da internet in base alle coordinate geografiche dei punti.
- **Options/Topography/Absolute coordinates** — asse verticale in quote assolute.
- **Options/Boreholes/Set column's width** — larghezza delle colonne di pozzo sulla sezione.
- **Options/Import/Export/Save MOD1D/2D file**, **Load MOD1D/2D file** — scambio di modelli con altri programmi Zond.
- **Options/Extra/GravityMagnetic sections** — sezione congiunta di densità e magnetizzazione (se il profilo ha entrambi i campi).
- **Options/Extra/Blocky contours** — visualizzazione a blocchi (senza interpolazione) del modello a celle.

- **Options/Extra/Gradients multiplier** — moltiplicatore con cui si disegnano gradienti e derivate (1–10000).
- **Options/Extra/Model histogram** — istogramma dei parametri del modello.
- **Options/Extra/Set user isolines** — livelli delle isolinee impostati a mano.
- **Options/TDEM data/TDEM cone**, **VES data/VES cone**, **MT data/MT cone**, **MASW data/MASW cone** — mostra sulla sezione il «cono» di sensibilità dei sondaggi elettrici e sismici.
- **Options/MASW data/Load MASW data**, **Show MASW plot**, **Invert MASW data**, **Set weight of MASW**, **PRRho** — carica, visualizza, include nell'inversione e pesa i dati MASW; **PRRho** imposta il coefficiente di Poisson (0,01–0,45) e la densità (0,3–4 g/cm³) per la conversione delle velocità.
- **Modeling/Set default size**, **Copy polygons**, **Paste polygons**, **Export to CAD**, **Auto recalc** — dimensione predefinita dei nuovi poligoni, copia e incolla dei poligoni, esportazione in DXF e ricalcolo automatico del problema diretto dopo ogni modifica di un poligono.
- **Layered/Layers2pols** — converte il modello a strati arbitrari in poligonale (ogni strato diventa un poligono con densità e suscettività medie).
- **Buffer/Model 1…5** — salva il modello in una delle cinque celle del buffer.
- **Operations/…** — operazioni su dati di profilo e areali, descritte in «Elaborazione e trasformazioni del campo».
- **Help/Map type (Sat1, Sat2, Sat3, Streets, Topo)** — tipo di mappa di sfondo per le mappe e la finestra Graphics map.
- **Help/License info** — informazioni sulla licenza.

Il menu contestuale dei grafici contiene **Remove point** (elimina la misura), **Bad point** (peso 0: il punto resta nel file ma non partecipa all'inversione) e **Good point** (ripristina il peso). Il menu contestuale del modello poligonale contiene le modalità di inversione dei poligoni (**Par inversion**, **Z nodes inversion**, **X nodes inversion**, **ZX nodes inversion**, **PZ inversion**, **PZX inversion**), descritte in «Inversione del modello poligonale». Il menu contestuale del pulsante di trasformazione rapida contiene **Probability inversion**, **Compact probability inversion**, **Downwarding** e **Windowed** (calcolo in finestra mobile).

Tasti rapidi

- **Tasti cursore / cursore nell'editor del modello** — Cambia la cella attiva del modello.
- **Delete / cursore nell'editor del modello** — Cancella la cella attiva.
- **Insert / cursore nell'editor del modello** — Inserisci il valore corrente nella cella attiva.
- **F / cursore nell'editor del modello** — Fissa il valore della cella attiva.
- **X / cursore nell'editor del modello** — Strumento «bacchetta magica» per selezionare un'area.
- **V / cursore nell'editor del modello** — Elimina la selezione.
- **Su/giù / cursore nella scala dei colori** — Cambia il valore corrente.
- **Spazio** — Calcola il problema diretto.

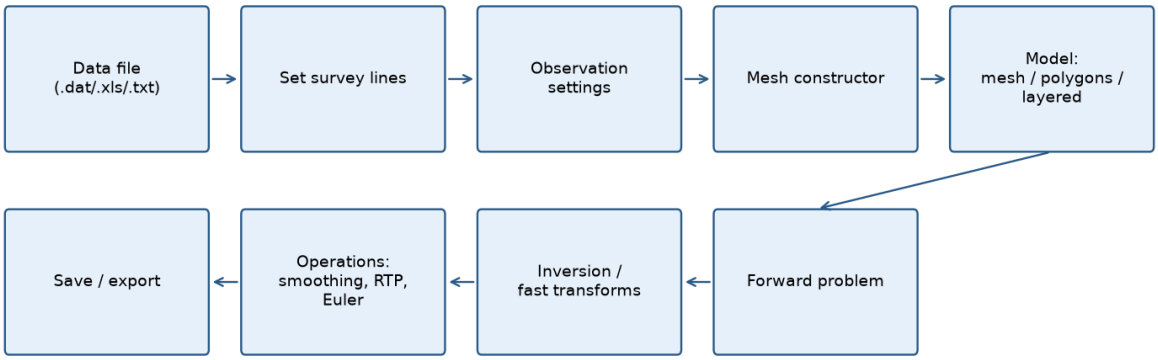
- **Invio** — Passa alla modalità Euler o Oggetti e ritorno.

Pannello di stato

Il pannello di stato è diviso in alcune sezioni con informazioni diverse:

- coordinate del cursore e della cella attiva;
- parametri della cella attiva;
- informazioni aggiuntive.

SCHEMA GENERALE DI LAVORO



Sequenza di lavoro: dal file dati al salvataggio dei risultati

Sequenza tipica: aprire o importare il file dati, scegliere i profili (**Set survey lines**), impostare i parametri del campo normale e le quote del sensore (**Observation settings**), costruire la mesh (**Mesh constructor**), scegliere il tipo di modello (a celle, poligonale, a strati arbitrari), risolvere il problema diretto e l'inversione. La preelaborazione (rimozione del fondo, smoothing, riduzione al polo) si esegue di solito prima dell'inversione; la deconvoluzione di Euler serve come stima indipendente della posizione delle sorgenti.

GUIDA AL LAVORO

Preparazione e apertura del file dati

Per lavorare con «ZONDGM2D» serve un file dati in un formato specifico, con le posizioni di misura e i valori misurati.

Di solito un file contiene i dati di un profilo. I file di testo nel formato «ZONDGM2D» hanno estensione «*.GM». Vedi la sezione **Formato del file dati**.

Per il corretto funzionamento del programma il file non deve contenere:

- separatori non convenzionali (usare solo TAB e SPAZIO);
- valori non validi dei dati misurati;
- è preferibile non avere più di 5000 valori osservati in un solo file.

È possibile importare file di testo o Excel. Nel menu principale scegliere **Options/Import/Export** e **Import data text/excel**. Dopo la scelta del file compare una finestra (Fig. 1) in cui si indicano tipo di dati e unità di ogni colonna; il file importato può quindi avere le colonne in qualsiasi ordine.

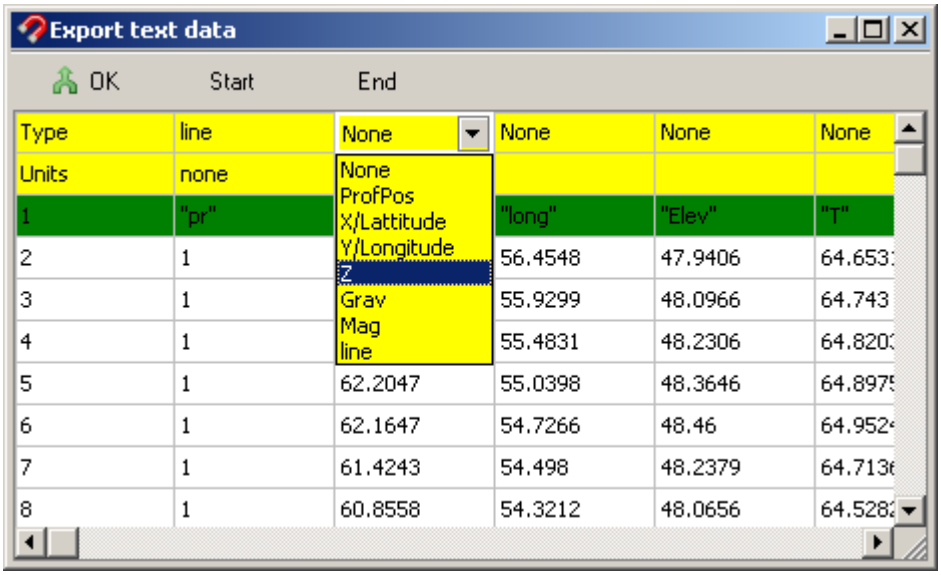


Fig. 1 Finestra **Import from text/excel**.

Le prime due righe, in giallo, indicano il tipo di dati della colonna (**Type**) e le unità (**Units**). Il tipo di dati può essere:

ProfPos — numero del punto di misura

X/Latitude — coordinata orizzontale/latitudine

Y/Longitude — coordinata verticale/longitudine

Z — quota

Grav — valori misurati del campo gravimetrico

Mag — valori misurati del campo magnetico

line — numero del profilo

La prima riga del file aperto è mostrata nella terza riga, in verde.

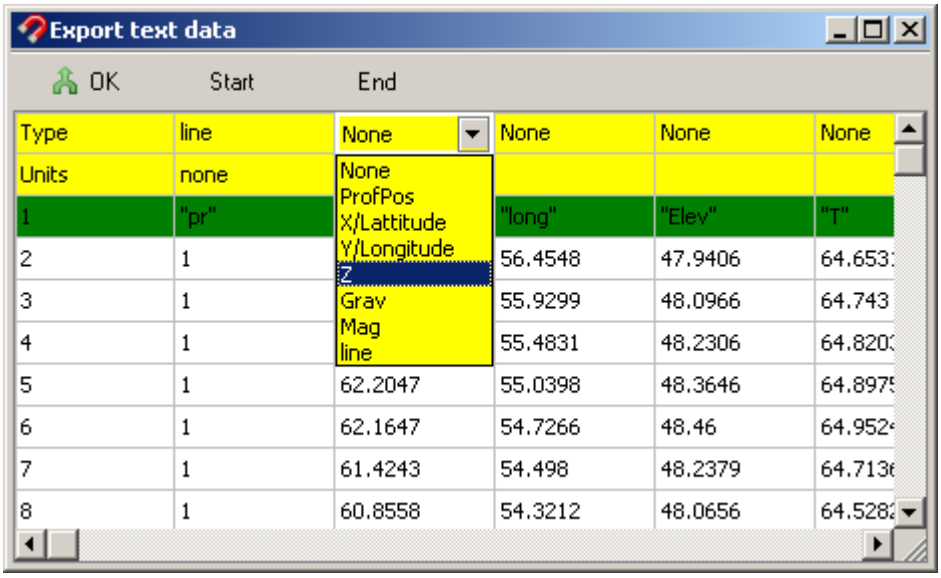
I campi **Start** e **End** definiscono la prima e l'ultima riga importate. Impostati tutti i parametri, premere **OK**.

È anche possibile aggiungere dati al progetto, utile con dati areali.

Importazione ed esportazione dei dati

La scheda **Options/Import/Export** del menu principale contiene opzioni per importare dati di vario tipo (dati grezzi, dati di altri metodi come immagine di sfondo, ecc.) ed esportarli in altri programmi. Permettono di confrontare dati di metodi diversi, caricare dati gravimetrici e magnetici in qualsiasi formato e visualizzare rapidamente risultati ottenuti con altri programmi.

Si possono importare file di testo o Excel con **Import data from text/excel**. Dopo la scelta del file compare una finestra (Fig. 2) in cui si indicano tipo di dati e unità di ogni colonna; il file può avere le colonne in qualsiasi ordine.



Type	line	None	None	None	None
Units	none				
1	"pr"		"long"	"Elev"	"T"
2	1		56.4548	47.9406	64.653
3	1		55.9299	48.0966	64.743
4	1		55.4831	48.2306	64.820
5	1	62.2047	55.0398	48.3646	64.897
6	1	62.1647	54.7266	48.46	64.952
7	1	61.4243	54.498	48.2379	64.713
8	1	60.8558	54.3212	48.0656	64.528

Fig. 2 Finestra **Import from text/excel**.

Le prime due righe, in giallo, indicano il tipo di dati (**Type**) e le unità (**Units**). Il tipo di dati può essere:

ProfPos — numero del punto di misura

X/Latitude — coordinata orizzontale/latitudine

Y/Longitude — coordinata verticale/longitudine

Z — quota

Grav — valori misurati del campo gravimetrico

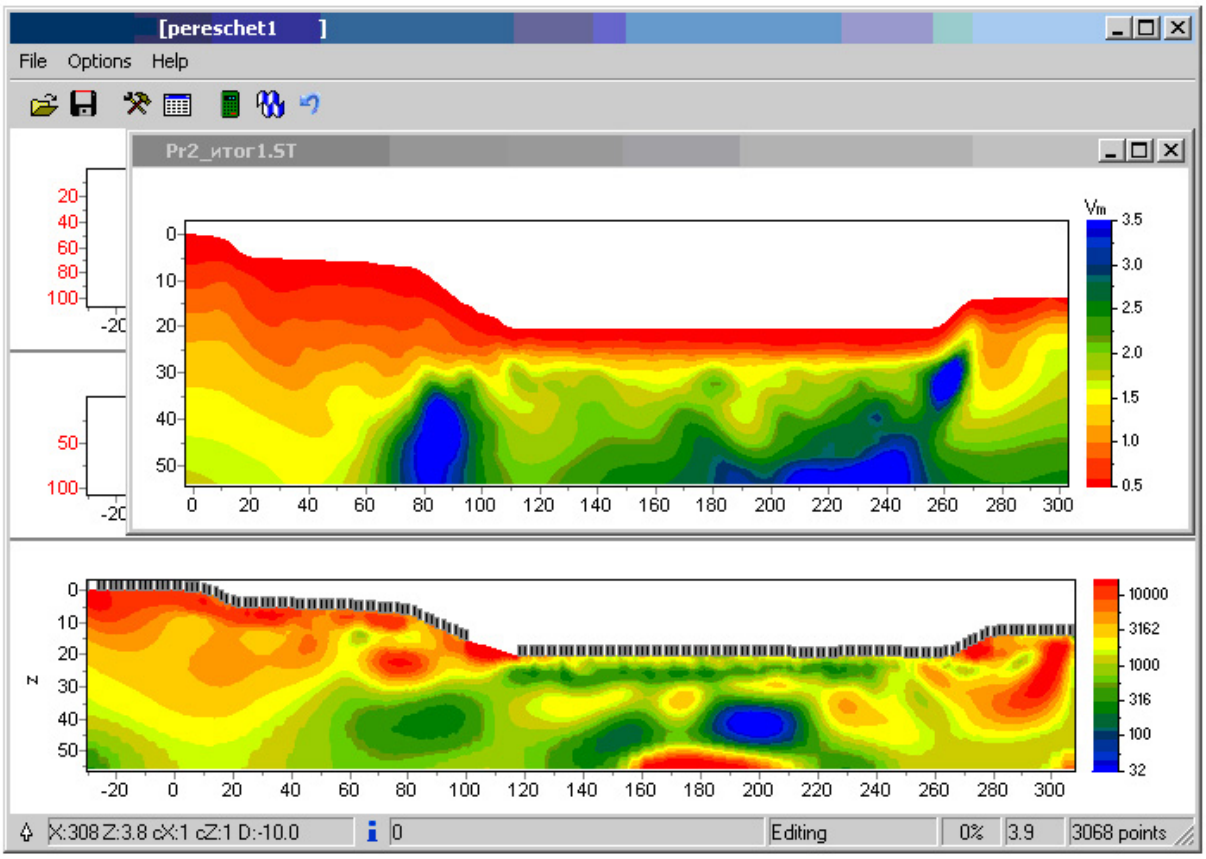
Mag — valori misurati del campo magnetico

line — numero del profilo

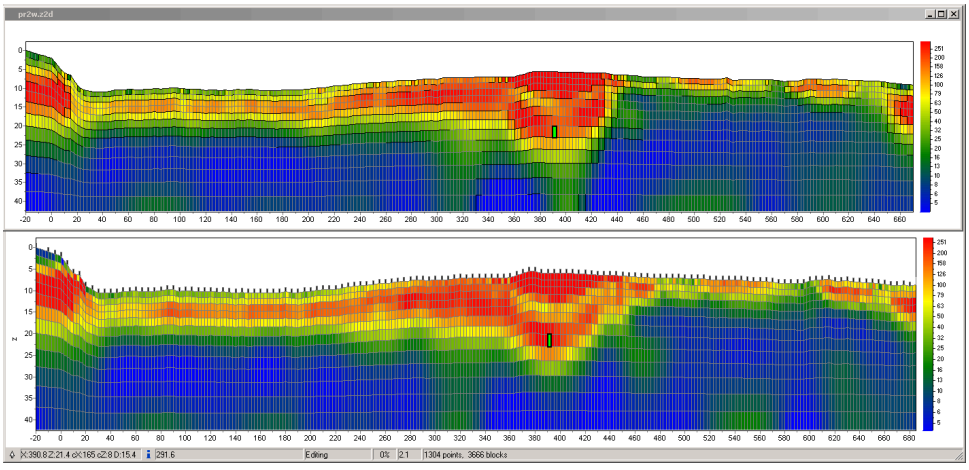
La prima riga del file è mostrata nella terza riga, in verde.

I campi **Start** e **End** definiscono la prima e l'ultima riga importate. Impostati i parametri, premere **OK**.

Import/Export/Import model/graph permette di caricare in finestre separate un modello da progetti dei programmi ZOND (*.mod). Permette anche di mostrare nell'area dei dati il grafico di qualsiasi parametro; i dati devono essere in un file *.dat in cui la prima colonna corrisponde all'asse orizzontale e la seconda a quello verticale. È utile per confrontare risultati su profili adiacenti o nell'interpretazione integrata di più metodi.



Muovendo il cursore nell'editor del modello, il cursore viene mostrato in tutte le altre sezioni secondo la dimensione della cella corrente.



Con **Save/Load selection** si salva o si carica un frammento del modello. Per salvarlo attivare la visualizzazione a blocchi (Blocks section), selezionare il frammento con lo strumento Selection e premere Save selection.

Per caricare un frammento selezionare una piccola area del modello corrente: il suo angolo superiore sinistro sarà il punto di inserimento. Chiamare **Load selection** e scegliere il file. Se non c'è selezione, il frammento viene incollato dall'angolo superiore sinistro del modello.

Per salvare o caricare un profilo verticale dei parametri a una coordinata orizzontale usare **Extract 1d log/Load 1d log**. Al salvataggio si indica la coordinata X, al caricamento l'intervallo dell'asse X. Serve, per esempio, per inserire log di pozzo o controllare le intersezioni dei profili.

Se c'è informazione a priori, l'opzione **Import/export/Background image** permette di usarla come immagine di sfondo dell'editor del modello: per esempio una sezione geologica, elettrica o sismica o la sezione di un profilo adiacente.

L'immagine si può caricare in scala da un file *.sec.

Il file *.sec ha la struttura seguente:

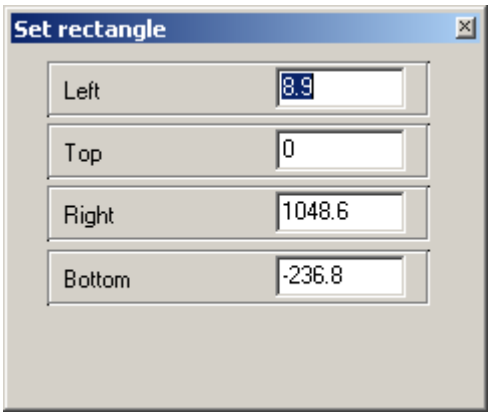
1ª riga — nome del file immagine;

2ª riga — quattro coordinate X1 Y1 X2 Y2 degli angoli superiore sinistro e inferiore destro dell'immagine, separate da spazi.

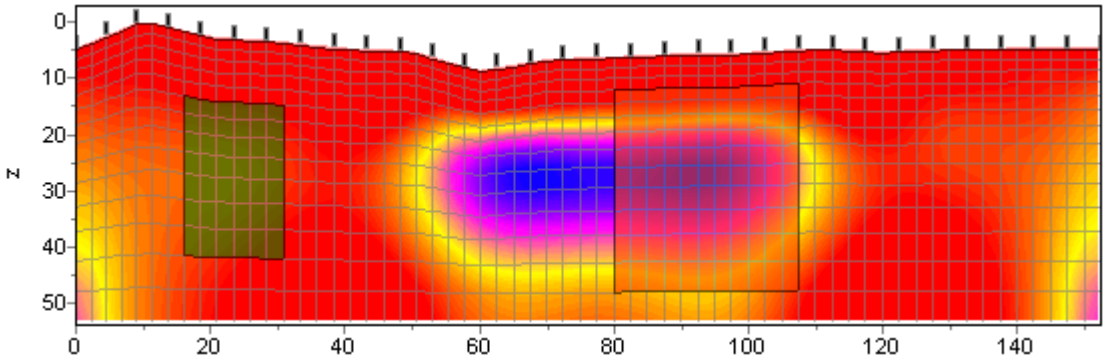
sect.emf

0 0 152.4 53.3

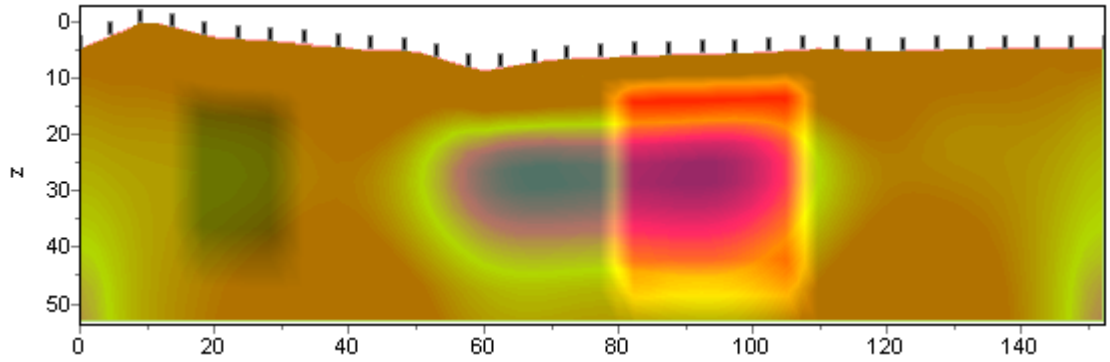
È possibile caricare anche un qualsiasi file immagine. In tal caso compare la finestra **Set rectangle**, in cui si impostano i limiti dell'immagine importata.



Nella modalità Blocks section si mostrano le celle con valori diversi dal mezzo di fondo. Così si possono modellare oggetti anomali sopra un'immagine di sfondo.

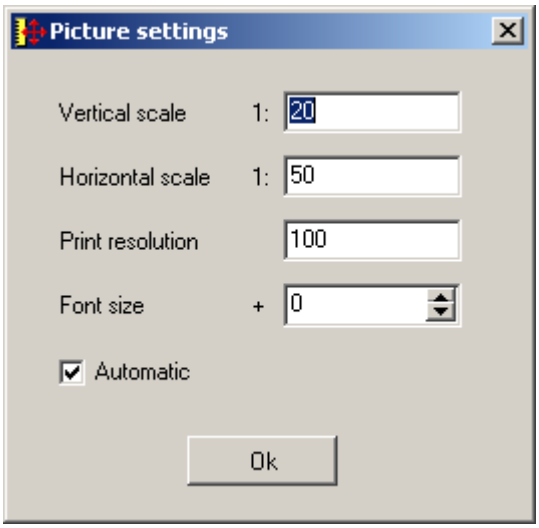


Nella modalità Smooth section i colori dell'immagine di sfondo e del modello si mescolano e si vedono insieme i caratteri di entrambe le sezioni.



Per rimuovere l'immagine di sfondo scegliere **Remove Background**.

La finestra **Output settings** permette di impostare la scala verticale e orizzontale (in metri per centimetro), la risoluzione dell'immagine di uscita (in DPI) e la dimensione del carattere.



Queste impostazioni si applicano al modello salvato in BMP se l'opzione Automatic è attiva. Altrimenti si salva la stessa immagine visualizzata sullo schermo.

Export to Excel salva i parametri del modello corrente in un file Microsoft Excel. I dati sono organizzati per righe: le prime due sono distanza e quota in metri, le altre contengono i parametri delle celle.

Export model to DXF esporta il modello in un formato compatibile con AutoCAD.

Salvataggio dei risultati dell'interpretazione

Il risultato dell'interpretazione di un profilo si salva nel formato «ZONDGM2D» (estensione *.GMP). Il file contiene i dati di campagna, i pesi relativi delle misure, il modello corrente e i parametri del campo magnetico normale. Serve per il caricamento successivo e la creazione del modello del mezzo.

Per salvare il risultato premere il pulsante della barra degli strumenti o la voce di menu corrispondente. Nella finestra si può scegliere anche il formato per salvare i campi calcolati del modello corrente e le immagini (Model, WorkSheet) in *.BMP.

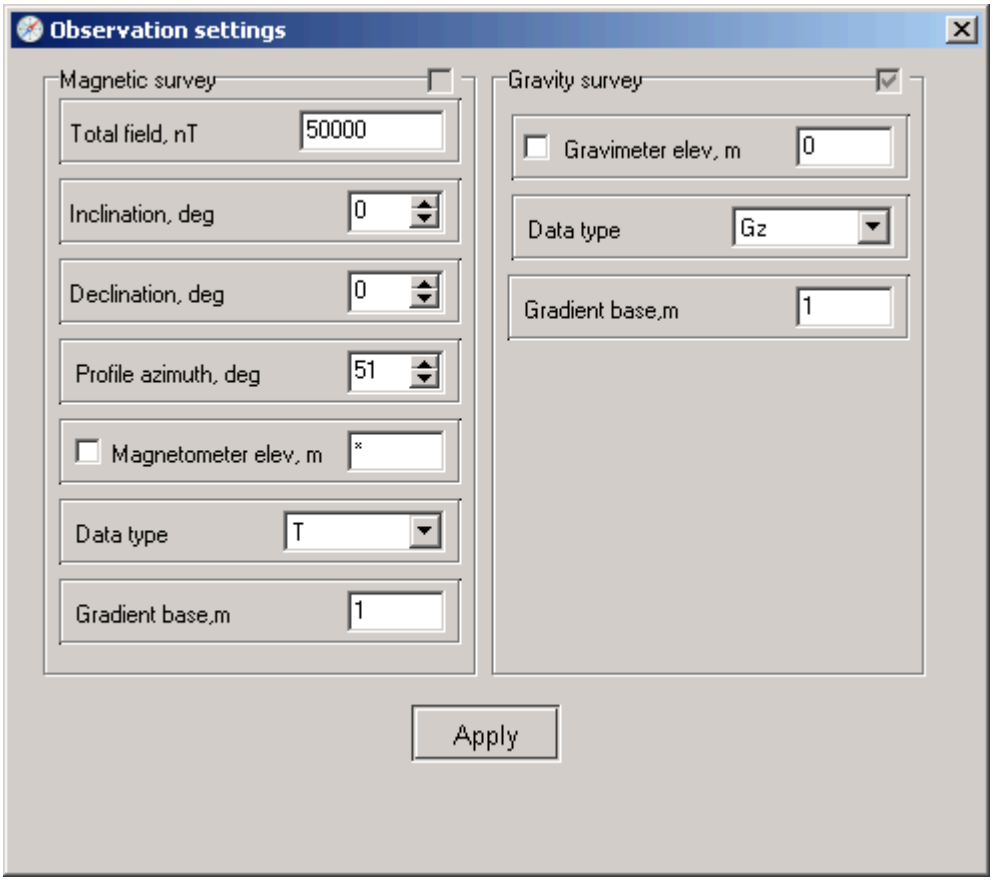
- **Zond project data** — Salva i valori misurati e il modello corrente.
- **Zond project with calculated data** — Salva i valori calcolati e il modello corrente.
- **Worksheet** — Salva le tre parti grafiche della finestra in BMP.

- **Model** — Salva la parte grafica inferiore della finestra in BMP.
- **Grid file** — Salva il modello corrente come file grid.
- **Section file** — Salva il modello corrente in formato *.sec.
- **Save data as text** — Salva dati misurati, calcolati e informazioni aggiuntive in formato testo.

La casella **zipped** della finestra di salvataggio scrive il progetto compresso (file *.zgmp); è disponibile per i formati di progetto.

Primi passi con il programma

Creato il file dati «*.GM», caricarlo con il pulsante  o con la voce di menu corrispondente. Se il caricamento riesce, compaiono la finestra dei parametri di misura e la finestra di impostazione del modello iniziale, in cui si impostano i parametri del rilievo. La finestra è disponibile anche nel menu Options. La finestra dei parametri di misura è divisa in due parti, **Magnetic survey** e **Gravity survey**, con le impostazioni dei campi magnetico e gravimetrico.



Parte **Magnetic survey**:

Total field, nT — modulo del vettore del campo magnetico normale (T0), in nT.

Inclination, deg — inclinazione del campo normale, in gradi (I0), contata verso il basso dall'orizzontale.

Declination, deg — declinazione del campo normale, in gradi (D0), contata in senso orario dal nord.

Profile azimuth, deg — azimut del profilo, in gradi, contato in senso orario dal nord. **Magnetometer elev, m** — quota del sensore magnetico rispetto al rilievo, in metri.

Data type — tipo di dato misurato: T — campo magnetico, GrZ — gradiente del campo magnetico.

Gradient base, m — quota del sensore sopra la superficie terrestre.

Parte **Gravity survey**:

Gravimeter elev, m — quota delle osservazioni gravimetriche rispetto al rilievo, in metri.

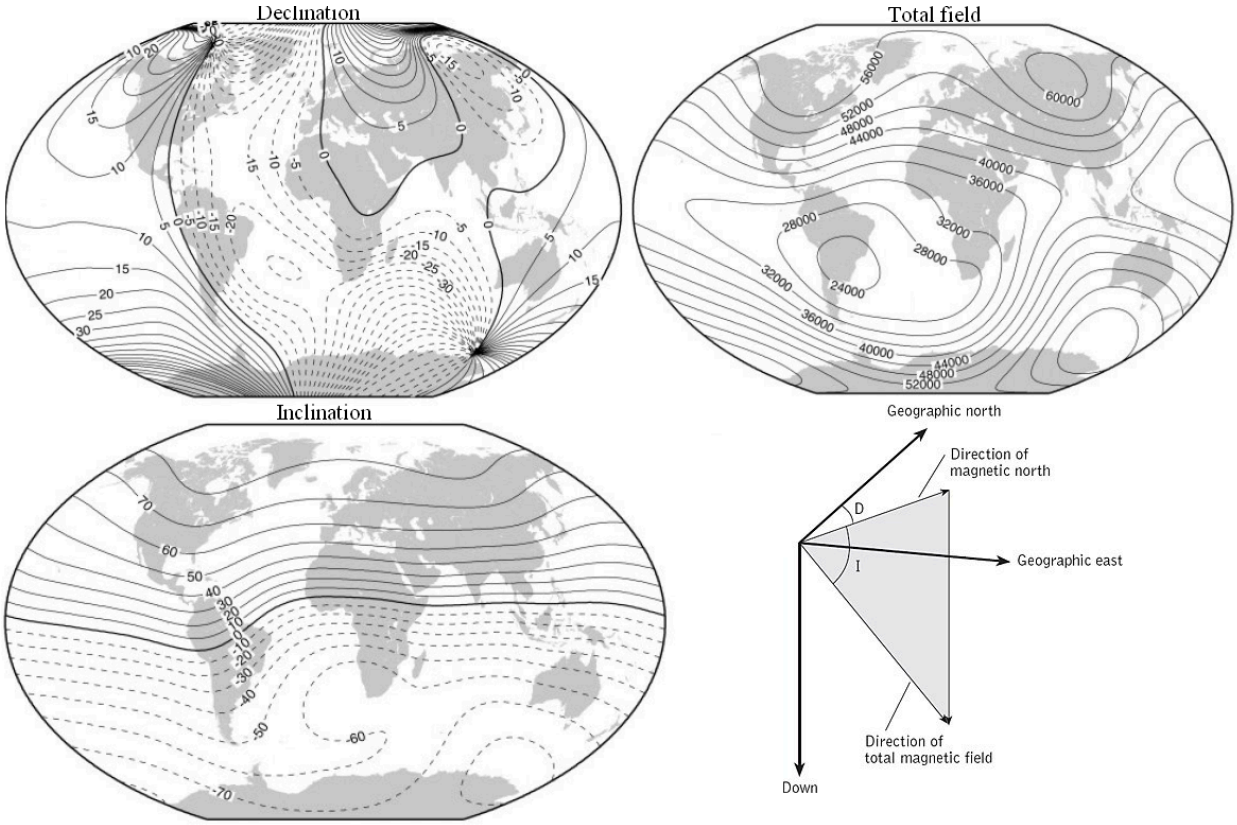
Data type — tipo di dato misurato: Gz — componente verticale della gravità, Grz — gradiente di Gz.

Gradient base, m — quota del sensore sopra la superficie terrestre.

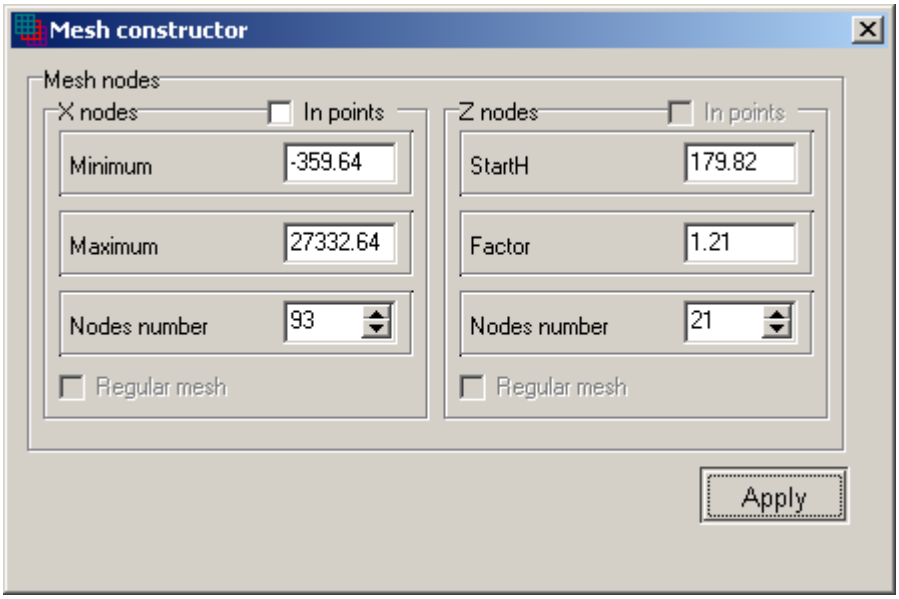
Il campo magnetico anomalo e i coseni direttori del campo normale (Cx, Cz) si calcolano con le formule:

$$\Delta T \approx H_x C_x + H_z C_z,$$
$$C_x = \cos I_0 \cos(A - D_0) \quad \text{and} \quad C_z = \sin I_0$$

Di seguito le carte a isolinee di declinazione, inclinazione e campo totale per l'anno 2005. I valori attuali per una data latitudine e longitudine si trovano su siti specializzati o con programmi GIS.



La finestra di impostazione del modello iniziale **Mesh constructor** contiene le opzioni seguenti.



L’area **X nodes** contiene i parametri della mesh orizzontale del modello.

Minimum — coordinata minima dell’area di modellazione.

Maximum — coordinata massima dell’area di modellazione.

Nodes number — se l’opzione **In points** è disattiva, imposta il numero di nodi equidistanti della mesh orizzontale; altrimenti i nodi si trovano nei punti di misura.

Regular mesh — suddivisione uniforme della mesh tra i punti di misura (con **In points** attiva).

L’area **Z nodes** contiene i parametri della mesh verticale (attiva per le misure in pozzo).

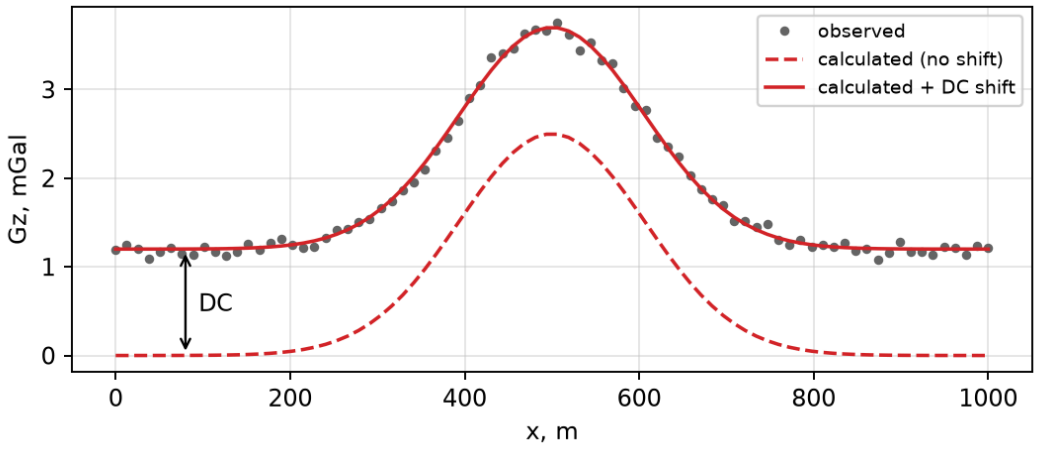
StartH — spessore del primo strato. Deve corrispondere alla risoluzione richiesta.

Factor — rapporto tra gli spessori di strati adiacenti, di solito tra 1 e 2.

Nodes number — numero di strati.

Spostamento DC automatico

Il campo **DC shift, mG** imposta una costante sommata al campo gravimetrico calcolato. L’anomalia di gravità è definita a meno di una costante, quindi senza adattarla lo scarto può essere grande anche per un modello corretto.



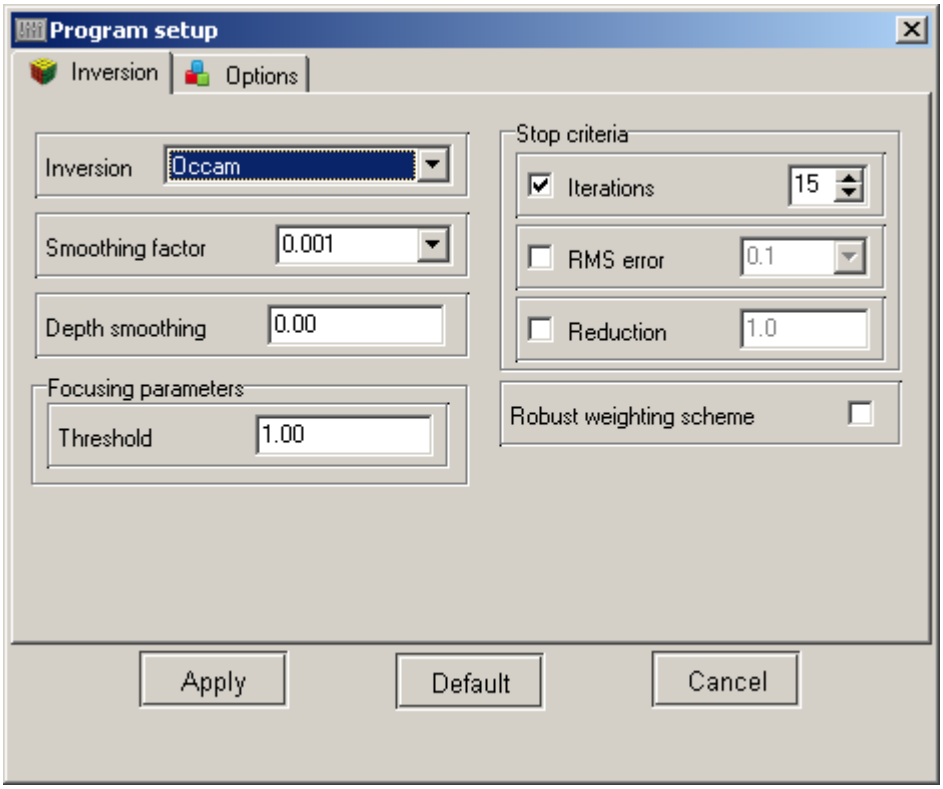
Spostamento DC: il campo calcolato più una costante viene adattato a quello osservato

Un clic destro sul campo avvia l'adattamento automatico. Il programma calcola il campo delle rocce con la densità media (da **Min density** e **Max density** in **Program setup**) e prende la mediana della differenza «osservato − calcolato» sulle stazioni in cui è definita la gravità (tipo Gz). Da questa versione la mediana si calcola esattamente sulle stesse stazioni della matrice di calcolo; prima, con tipi di dati misti (Gz e gradienti), si usavano stazioni di un altro tipo.

Durante l'inversione lo spostamento DC può essere adattato insieme al modello (il parametro DC si aggiunge alle incognite). L'adattamento avviene solo se è abilitato per il profilo; prima una delle modalità del secondo blocco di dati usava un indice non inizializzato; è stato corretto.

Finestra dei parametri del programma

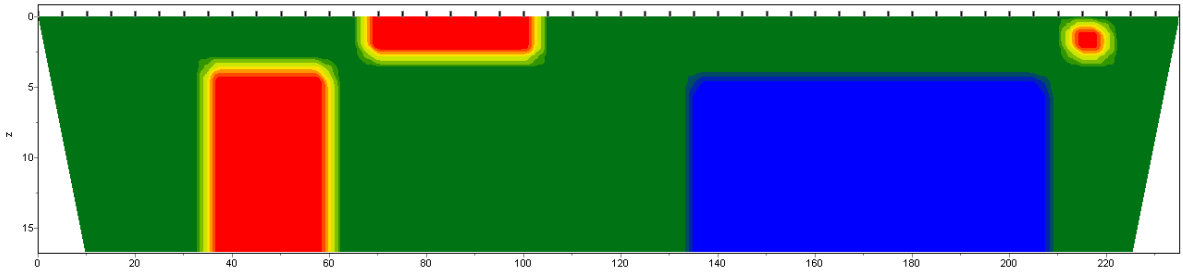
La finestra si apre dal menu Options/Program setup o con il pulsante del pannello principale e serve a impostare i parametri dei problemi diretto e inverso.



La prima scheda, «**Inversion**», imposta i parametri dell'inversione.

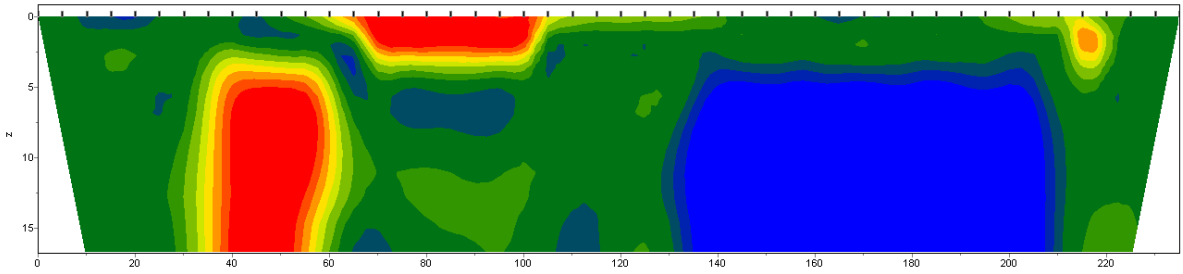
L'opzione **Inversion** definisce l'algoritmo con cui si risolve il problema inverso.

Esaminiamo gli algoritmi con l'esempio di un modello composto da alcuni blocchi.



Per provare gli algoritmi si calcola la risposta teorica del modello e si aggiunge un rumore gaussiano del 5 %.

Smoothness constrained — inversione ai minimi quadrati con operatore di smoothing. Dà una distribuzione dei parametri regolare (senza limiti netti) e stabile.



L'equazione matriciale di questo algoritmo è:

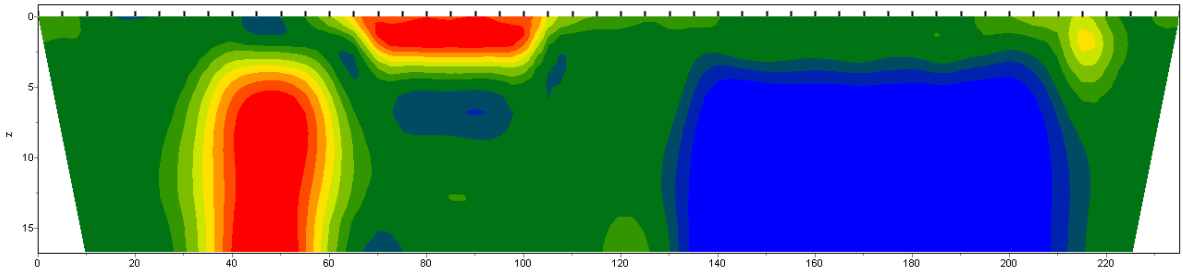
$$(A^T W^T \mathrm{WA} + \mu C^T C)\Delta m = A^T W^T \Delta f$$

Come si vede, il contrasto del modello non viene minimizzato. L'algoritmo permette di raggiungere scarti minimi ed è consigliato nella maggior parte dei casi per l'interpretazione iniziale.

Occam — inversione ai minimi quadrati con operatore di smoothing e minimizzazione aggiuntiva del contrasto

Constable, 1987

. Dà una distribuzione ancora più regolare.



L'equazione matriciale è:

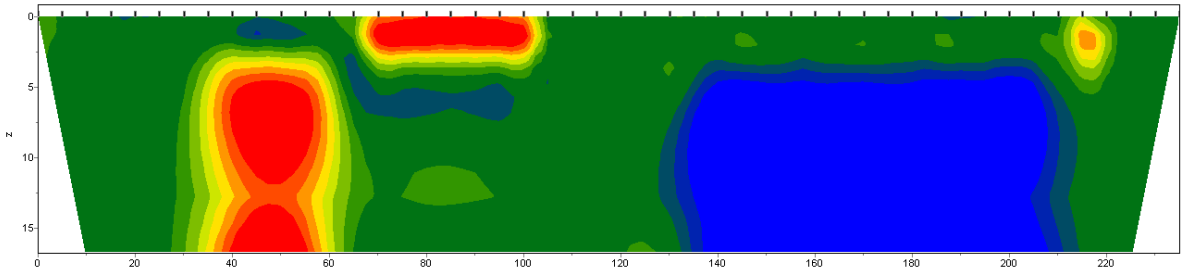
$$(A^T W^T \mathrm{WA} + \mu C^T C)\Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T \mathrm{Cm}$$

Il grado di regolarità del modello è direttamente proporzionale allo ***Smoothness factor***. Un valore troppo grande può aumentare lo scarto.

Marquardt — algoritmo classico ai minimi quadrati con regolarizzazione per smorzamento (**Ridge regression**)

Marquardt, 1963

. Con pochi parametri incogniti permette di ottenere un modello focalizzato.



L'equazione matriciale è:

$$(A^T W^T \mathrm{WA} + \mu l)\Delta m = A^T W^T \Delta f$$

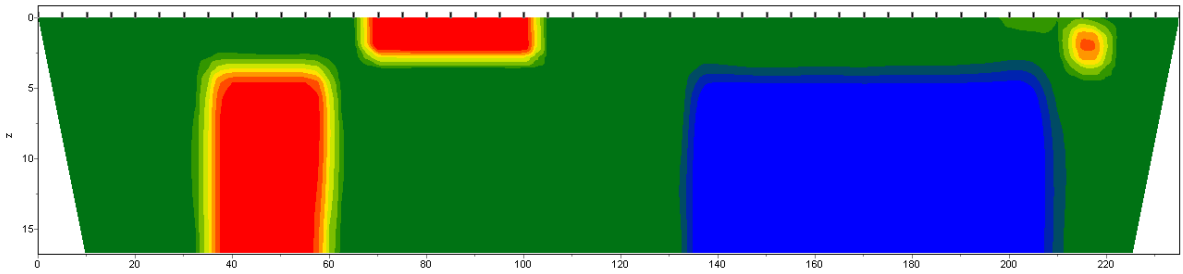
Un uso poco accurato di questa variante può dare risultati instabili o aumentare l'errore quadratico medio, cioè la divergenza dell'algoritmo.

È meglio usare ***Marquardt*** come raffinamento (per ridurre lo scarto) dopo un'inversione con ***Smoothness constrained*** o ***Occam***.

Focused — inversione ai minimi quadrati con operatore di smoothing e focalizzazione aggiuntiva del contrasto

Portniaguine, 2000

. Dà una distribuzione regolare a tratti, cioè un modello a blocchi con parametro costante.



L'equazione matriciale è:

$$(A^T W^T \mathrm{WA} + \mu C^T \mathrm{RC})\Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T \mathrm{RCm}$$

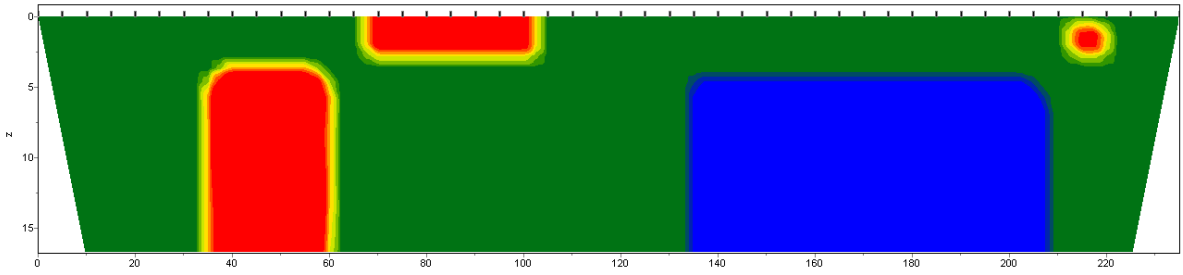
Questa variante richiede una scelta accurata del parametro ***Threshhold***, che definisce il contrasto di soglia tra celle adiacenti. Raggiunta la soglia, i parametri delle celle non vengono mediati tra loro (si considera che esista un limite). Il grado (peso) di media Ri di due celle vicine dipende dalla soglia e e dal contrasto r_i tra di esse:

$R_i = \frac{e^2}{e^2 + r_i^2}$.

Blocks — adattamento dei parametri di aree separate che differiscono per valore del parametro. Le aree con lo stesso valore sono trattate come blocchi uniti.

L'equazione matriciale è identica a quella di ***Marquardt***:

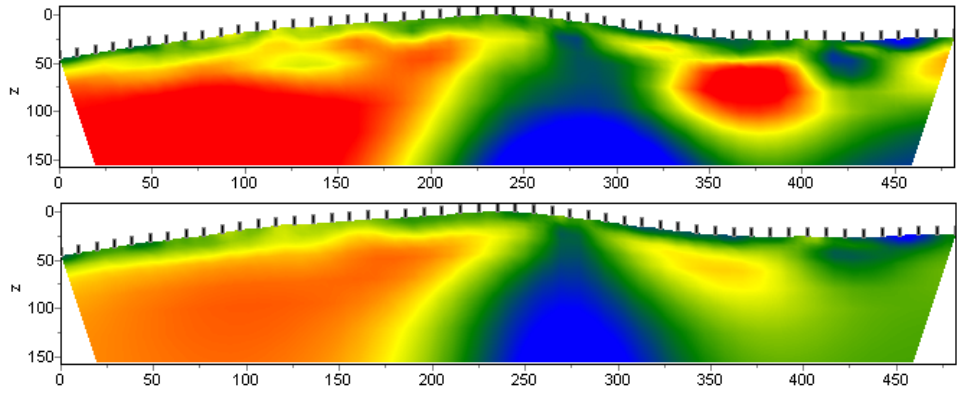
$$(A^T W^T \mathrm{WA} + \mu l)\Delta m = A^T W^T \Delta f$$



Conviene usare l'algoritmo dopo aver ottenuto risultati con i metodi precedenti (si consiglia ***Focused***). Le celle devono essere prima raggruppate con l'opzione Cell summarization. Per scegliere blocchi a mano usare l'editor del modello e selezionare aree con parametri diversi. Alcuni blocchi verranno contornati durante il lavoro con questa finestra.

Smoothing factor — imposta il rapporto tra la minimizzazione dello scarto dei dati e quella del modello (per esempio la regolarità). Per dati molto rumorosi o per distribuzioni più regolari e stabili si scelgono valori relativamente grandi (0,5–2); per dati di buona qualità 0,005–0,01. Di regola valori grandi del parametro danno scarti grandi. Si usa negli algoritmi **Occam** e **Focused**.

Le figure seguenti mostrano risultati con **smoothing factor** 0,01 e 1. Lo scarto è del 4,5 % per il primo modello e del 6 % per il secondo.



L’area **Stop criteria** contiene i criteri di arresto dell’inversione.

Iterations — se attivo, l’inversione si ferma al numero di iterazioni indicato.

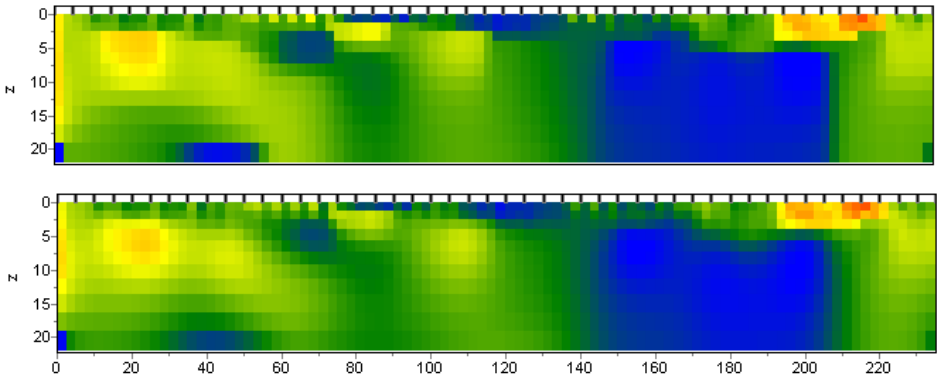
RMS error — se attivo, l’inversione si ferma al valore RMS indicato.

Reduction — se attivo, l’inversione si ferma quando il residuo aumenta (della percentuale indicata) per due iterazioni consecutive.

Area **Focusing parameters**:

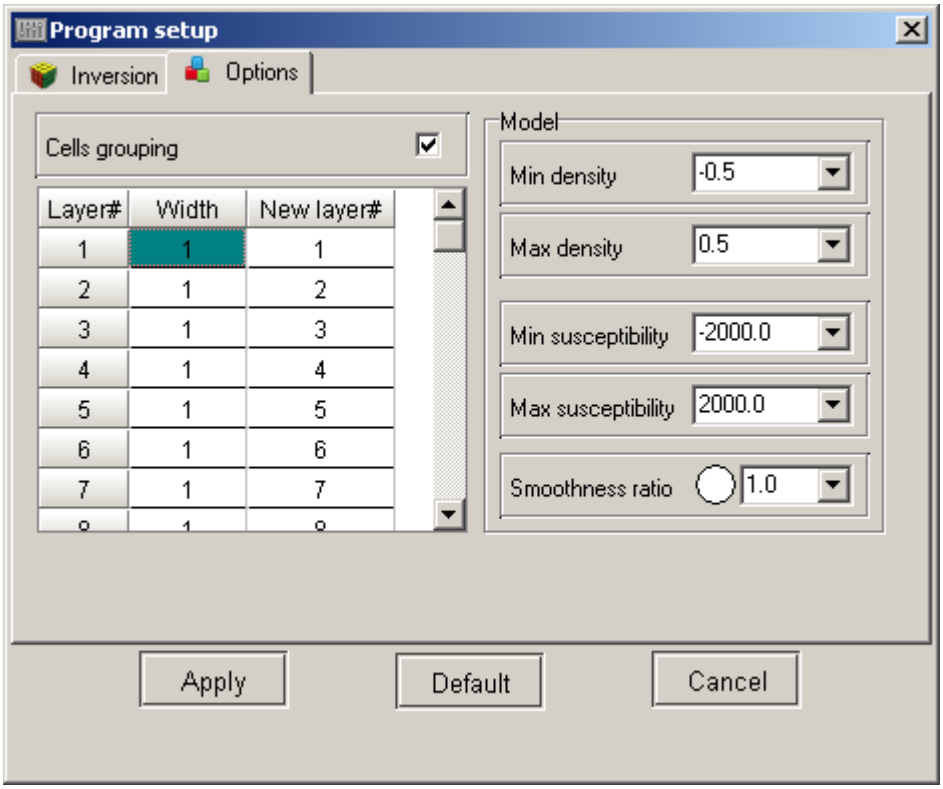
Threshold — contrasto di soglia tra celle adiacenti. Raggiunta la soglia, i parametri delle celle non vengono mediati (si considera che esista un limite). Si sceglie empiricamente (0,1–10). Un valore troppo piccolo può far divergere l’algoritmo (allora va aumentato); valori troppo grandi danno distribuzioni regolari.

Le figure seguenti mostrano risultati dell’inversione focalizzata con **Threshold** 0,1 e 10.



Robust weighting scheme — attivarla se i dati contengono picchi dovuti a errori sistematici di misura. Se i dati errati sono paragonabili per numero a quelli validi, l’algoritmo può non dare risultati accettabili.

La seconda scheda, **Options**, imposta parametri aggiuntivi dell’inversione.



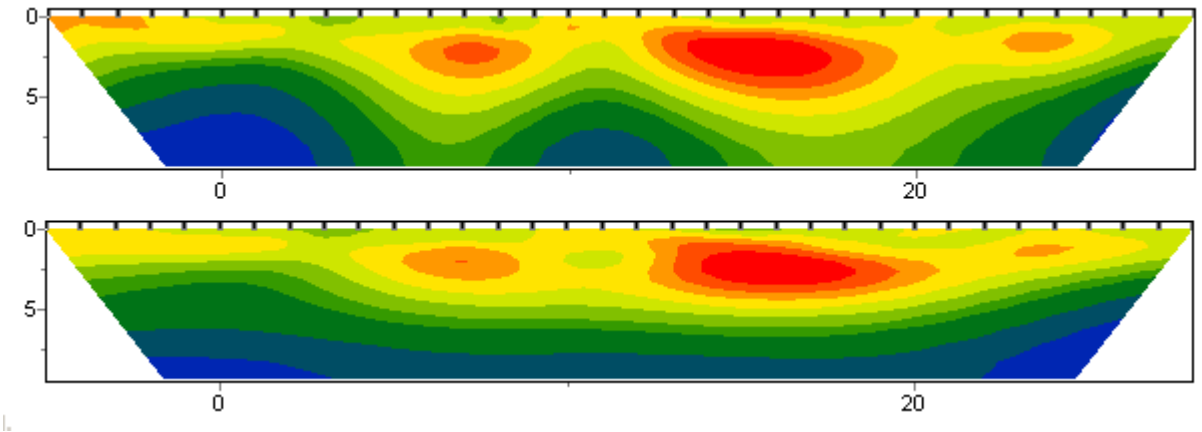
Area **Model**:

Min susceptibility, Max susceptibility — limiti di variazione dei parametri nell'inversione. La suscettività si indica nel sistema CGS ($n*10^{-5}$).

Min density, Max density — limiti di variazione della densità nell'inversione, in g/cm3.

Smoothness ratio — rapporto tra smoothing orizzontale e verticale. Per strutture a strati orizzontali usare valori <1, per strutture verticali >1. Di solito tra 0,2 e 1.

Le figure mostrano i risultati con **Smoothness ratio** 1 e 0,3.



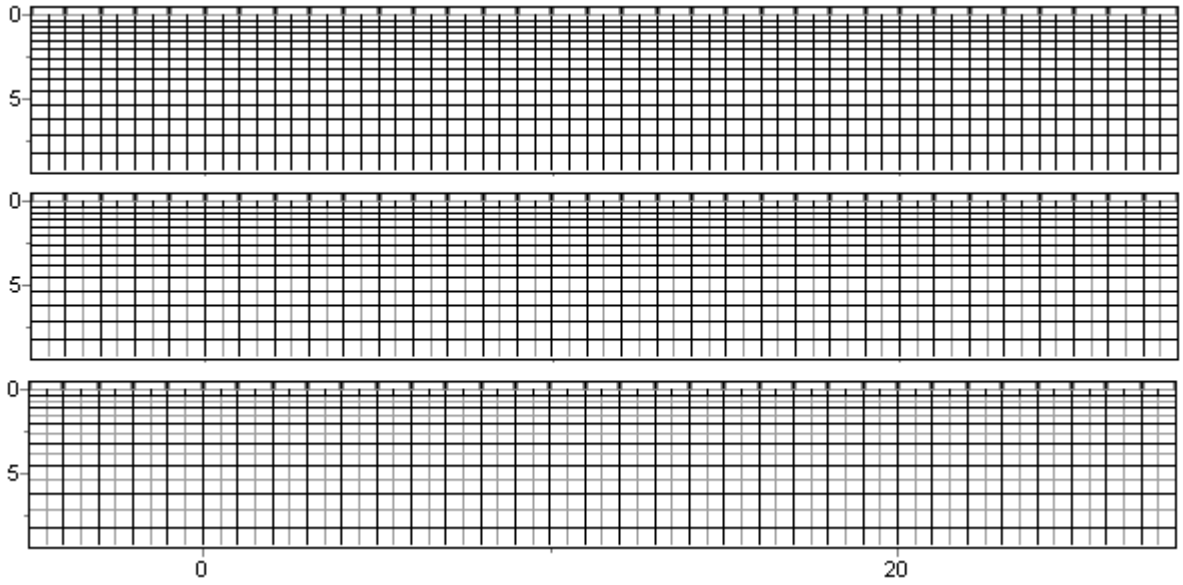
Cell grouping — per modelli grandi. Apre una tabella che permette di unire celle adiacenti e ridurre il numero di parametri incogniti. Il numero di celle del problema diretto non cambia, si riduce quello dell'inversione. Idealmente il numero di incognite dovrebbe essere vicino al numero di misure.

La tabella ha tre colonne: nella prima (Layer) il numero di strato del modello iniziale; nella terza (ID) il numero di strato della mesh di inversione; nella seconda (Width) il numero di celle orizzontali contenute in ogni cella della mesh di inversione per quello strato. La mesh di inversione è mostrata nell'editor del modello durante l'impostazione. Un doppio clic sinistro

su una cella della colonna Width unisce le celle in orizzontale per lo strato corrente; il tasto destro fa lo stesso per lo strato corrente e tutti quelli più profondi.

Un doppio clic sinistro nella colonna ID unisce le celle in verticale; il tasto destro, per lo strato corrente e tutti quelli più profondi.

Sotto si vedono tre mesh di inversione: nella prima la mesh coincide con il modello; nella seconda, dal secondo strato, le celle sono raggruppate a due a due; nella terza, dal secondo strato, a quattro a quattro.



Grafici di profilo (Profile)

Questo oggetto rappresenta i parametri teorici e sperimentali.

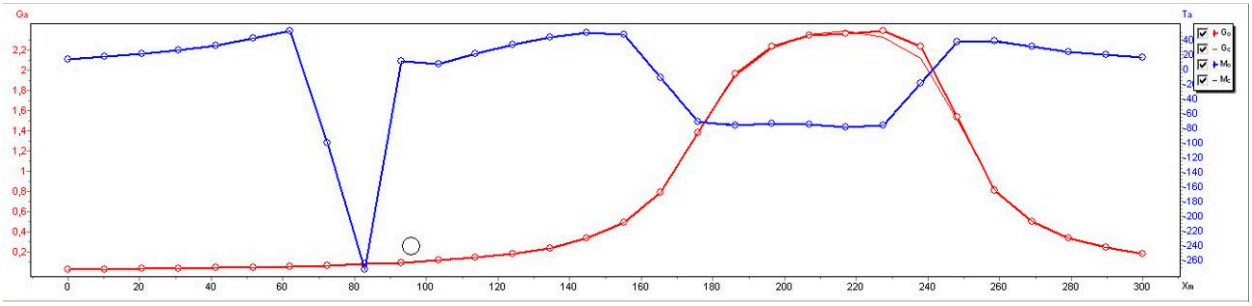


Fig. 3 Finestra dei grafici di profilo

Per default le curve teoriche sono a linea continua, quelle sperimentali a linea continua con cerchi nei punti di misura. Il blu è usato per i grafici magnetici, il rosso per quelli gravimetrici. Il colore si cambia nella finestra di impostazione dell'oggetto.

I parametri dei grafici osservati e calcolati si impostano nella finestra di configurazione dei grafici (vedi «Editor dei grafici»). I parametri degli assi si impostano nell'editor degli assi (clic destro + SHIFT sull'asse).

Per eliminare punti usare la rotella del mouse tenendo premuto ALT. La dimensione della zona eliminata si regola con la rotella.

ZondGM2D permette anche di lavorare con dati di pozzo. In tal caso la finestra appare così:

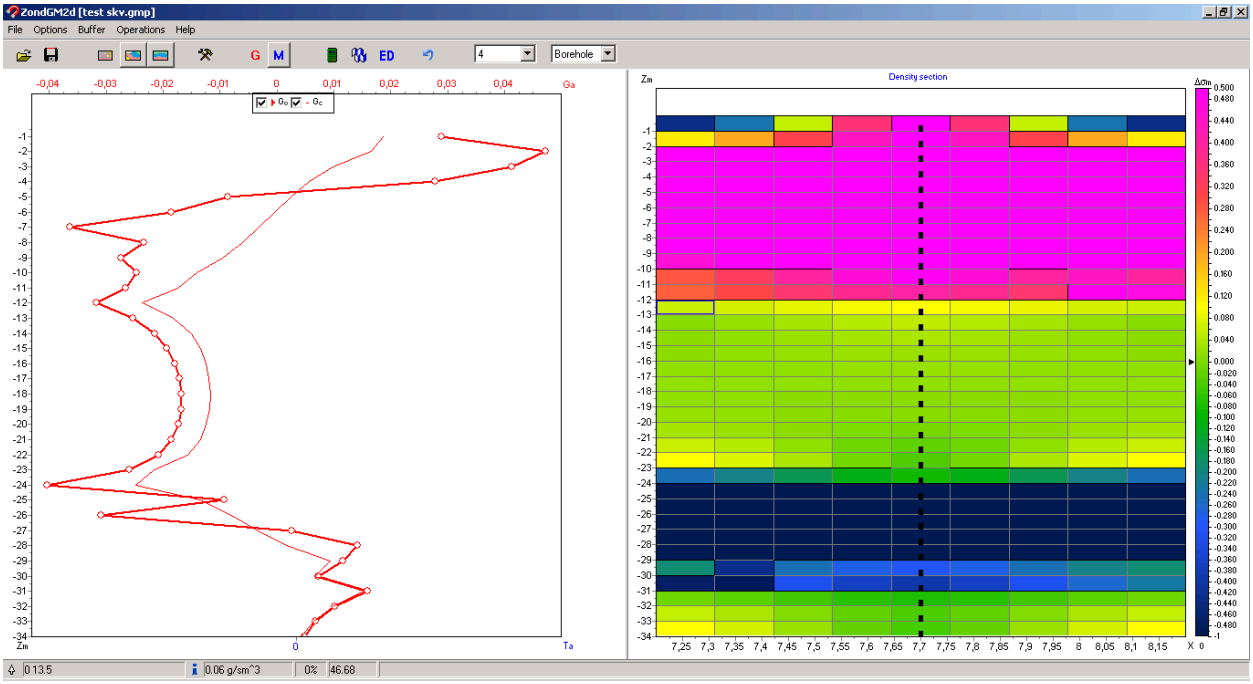


Fig. 4 Finestra principale in modalità dati di pozzo.

In questa modalità sono disponibili tutte le opzioni di modifica.

Editor del modello

L'editor del modello permette di cambiare con il mouse i parametri delle celle. A destra dell'area di modifica c'è una scala dei colori che collega il colore al valore del parametro. Per scegliere il valore corrente fare clic destro sulla scala; il valore viene mostrato sotto la scala.

Dimensione e posizione della scala si cambiano trascinando il cursore con il tasto sinistro o destro premuto.

Il lavoro con le celle è simile alla modifica dei pixel in un editor di immagini. Muovendo il cursore sul modello, nel pannello di stato inferiore si mostrano coordinate e parametri della cella attiva, evidenziata da un rettangolo.

Le celle selezionate o fissate sono marcate con un punto al centro.

Il modello si può mostrare a celle, Options/Model/Block-section (Fig. 5A), con tavolozza interpolata, Options/Model/Smooth-section (Fig. 5B), e a isolinee, Options/Model/Contour-section (Fig. 5C).

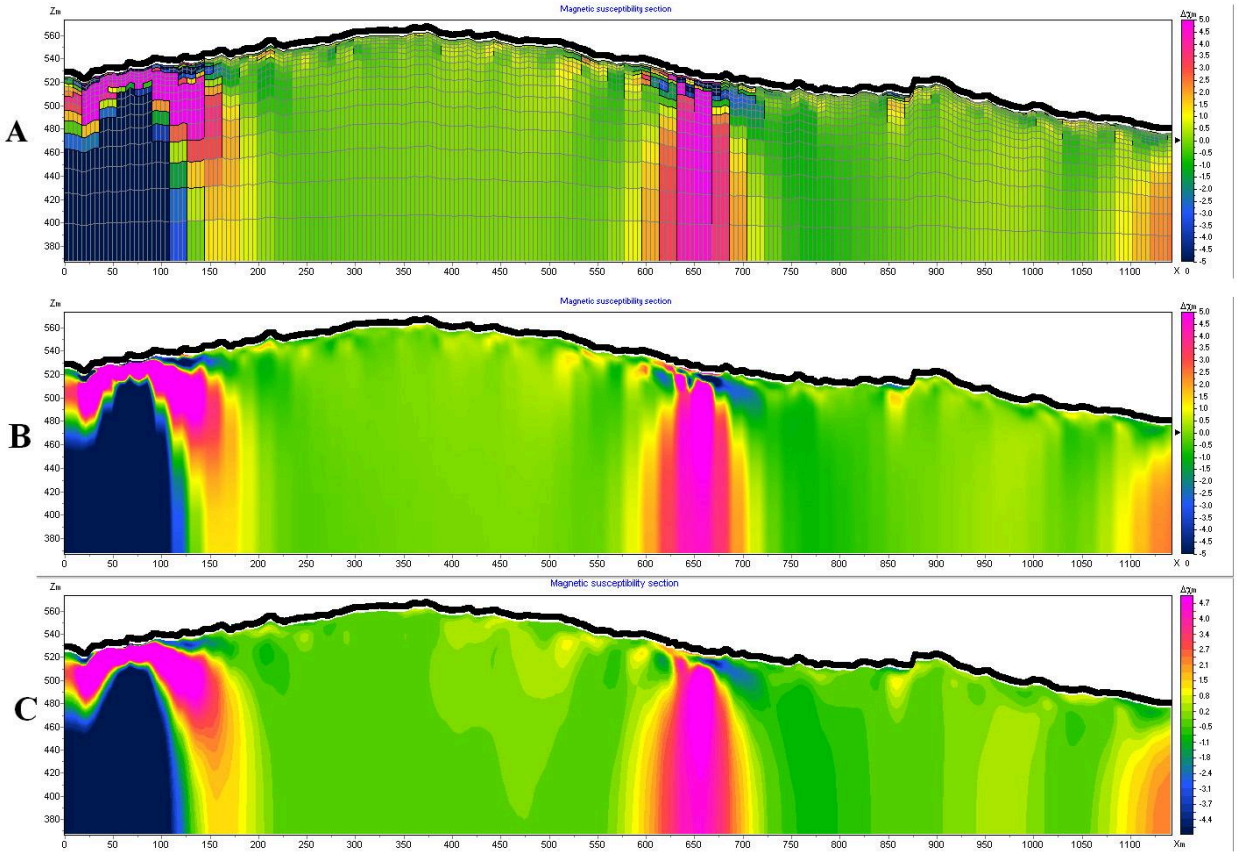


Fig. 5 Varianti di visualizzazione del modello:

Block-section (A), **Smooth-section** (B), **Contour-section** (C).

Un doppio clic nell'editor del modello apre un menu contestuale con le opzioni:

- **The top area** — Display model mesh: mostra o nasconde la mesh del modello.
- **Display objects border** — Mostra o nasconde i bordi degli oggetti.
- **Display color bar** — Mostra o nasconde la scala dei colori.
- **Setup** — Finestra di impostazione del modello (vedi «Finestra di impostazione del modello»).
- **Zoom&Scroll** — Modalità zoom e scorrimento.
- **Print preview** — Stampa il modello.
- **Color bar** — Setup: finestra di impostazione della scala dei colori.
- **Set minimum** — Valore minimo della scala.
- **Set maximum** — Valore massimo della scala.
- **Set incremental factor** — Minimo e massimo della scala relativi al valore del mezzo di fondo.
- **Automatic** — Minimo e massimo della scala automatici.
- **Log scale** — Scala logaritmica.
- **Set cursor value** — Imposta il valore corrente del parametro.
- **Colors as histogram** — Scala dei colori come istogramma.
- **Vertical axis** — Set maximum: profondità dello strato inferiore.

- **Redivide** — Stesso spessore per tutti gli strati del modello (nella scala corrente).
- **Thick mesh** — Rimuovi un nodo su due della mesh verticale.
- **Thin mesh** — Aggiungi nodi intermedi nella mesh verticale.
- **Horizontal axis** — Redivide: stessa larghezza per le celle tra posizioni uniche di misura.
- **Thick mesh** — Rimuovi un nodo su due della mesh orizzontale (se non coincide con una posizione di misura).
- **Thin mesh** — Aggiungi nodi intermedi nella mesh orizzontale.

Un clic destro nell'area di modifica apre un menu contestuale con le opzioni:

- **Display cell setup** — Finestra dei parametri della cella.
- **Cell to cursor value** — Usa il parametro della cella attiva come valore corrente.
- **Edit mode** — Modalità di modifica.
- **Selection\Free form selection** — Seleziona con il mouse un insieme di celle entro un contorno libero.
- **Selection\Rectangular selection** — Selezione rettangolare.
- **Selection\Elliptical selection** — Selezione ellittica.
- **Selection\Magic wand** — Seleziona la cella attiva e quelle adiacenti con parametri vicini. La vicinanza si imposta nella finestra di impostazione del modello.
- **Selection\Remove selection** — Elimina la selezione.
- **Mesh options\add column /row** — Aggiungi un limite verticale o orizzontale; fare clic nel punto in cui crearlo.
- **Mesh options\remove column /row** — Elimina il limite verticale o orizzontale selezionato.
- **Mesh options\resize column /row** — Cambia con il mouse lo spessore di una riga o colonna.
- **Clear model** — Cancella il modello corrente.

Si può usare anche **Show modeler tools** del menu **Options/Model**. Compare la barra di modifica:

-  — Modalità di modifica del modello.
-  — Modalità di scala del modello.
-  — Selezione rettangolare di celle.
-  — Aggiungi un limite verticale o orizzontale nel punto del clic.
-  — Selezione ellittica di celle.
-  — Cambia con il mouse lo spessore di una riga o colonna.

-  — Selezione di celle a contorno libero.
-  — Elimina il limite verticale o orizzontale selezionato.
-  — Bacchetta magica: cella attiva e adiacenti con parametri vicini.
-  — Elimina la selezione.

Lavoro con il modello

Il modello si modifica con il mouse:

un clic sinistro su una cella cambia il suo parametro al valore corrente.

Zoom e scorrimento si fanno in modalità **Zoom&Scroll** con il tasto premuto. Per ingrandire un frammento muovere il cursore verso il basso e a destra con il tasto sinistro premuto; per tornare alla scala iniziale, verso l'alto e a sinistra.

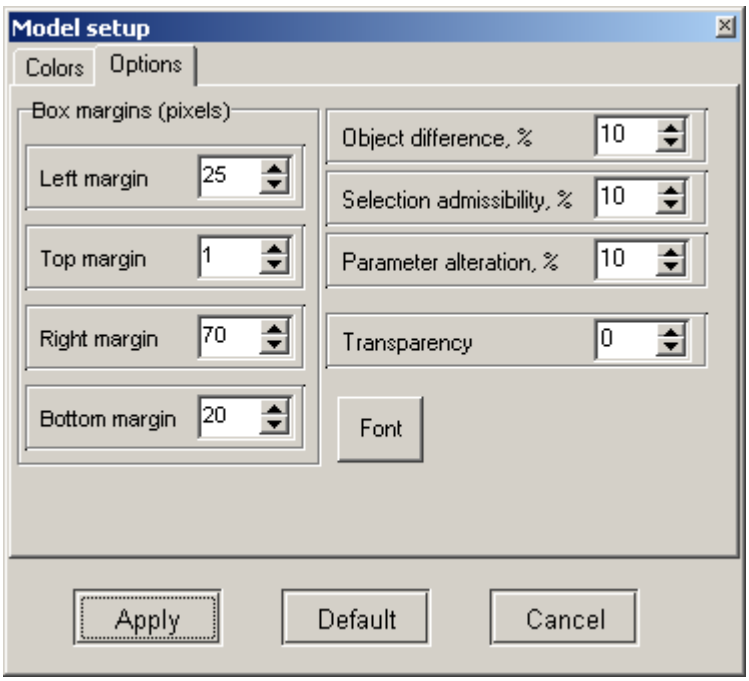
Un clic sinistro con SHIFT aumenta il parametro della cella, un clic destro con SHIFT lo diminuisce. La percentuale di variazione si imposta nella finestra di impostazione del modello. Se la cella attiva fa parte della selezione, le modifiche si applicano a tutta la selezione.

Un clic con CTRL permette di trascinare la selezione con il mouse. Con il tasto sinistro il contenuto delle celle viene copiato nella nuova posizione, con il destro viene spostato.

Finestra di impostazione del modello

Si apre con clic destro sul modello, voce **Setup** del menu.

Scheda **Options**



Area **Box margins (pixels)**:

Left margin — margine sinistro della figura, in pixel.

Right margin — margine destro, in pixel.

Top margin — margine superiore, in pixel.

Bottom margin — margine inferiore, in pixel.

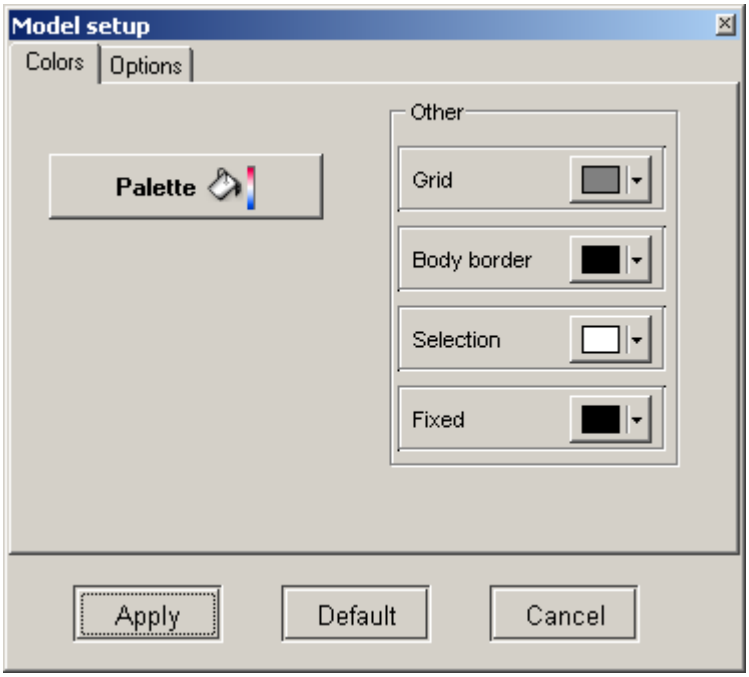
Object difference — rapporto massimo dei parametri di celle adiacenti oltre il quale si disegna un bordo tra di esse.

Selection admissibility — differenza ammessa dei parametri tra celle adiacenti per considerarle un unico oggetto e selezionarle insieme (modalità Magic Wand).

Parameter alteration — incremento dei parametri delle celle selezionate (in % del valore) in modalità Edit con SHIFT premuto.

Il pulsante **Font** apre la finestra dei caratteri.

Scheda **Colors**



Area **Color bar**: il pulsante Palette apre la finestra di riempimento.

Area **Others**:

Body border — colore del bordo tra celle adiacenti quando la loro differenza supera il valore impostato.

Grid — colore della mesh.

Selection — colore del segno della cella selezionata.

Fixed — colore del segno della cella fissata.

Finestra dei parametri della cella

Si apre con clic destro su una cella, voce **Display cell Setup** del menu.

Serve a impostare i parametri della cella.

Value — valore del parametro della cella.

Fixed — fissa o libera il parametro.

Min value, **Max value** — limiti di variazione del parametro.

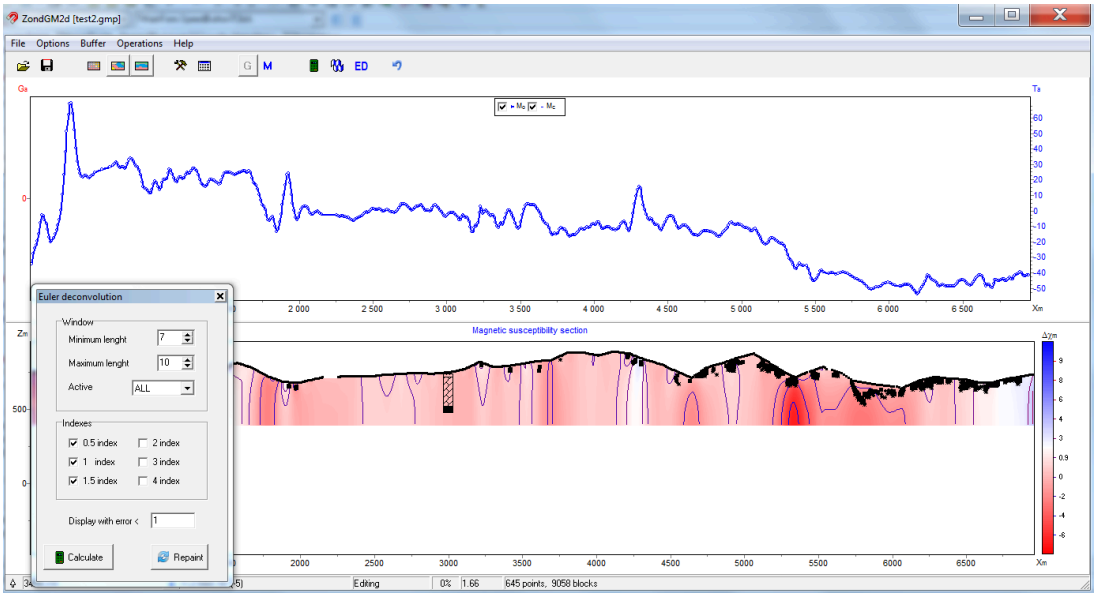
Apply to selected — se attiva, applica le impostazioni a tutte le celle selezionate.

Scelta del modello del mezzo nell'inversione (mesh regolare di celle, modello poligonale e a strati arbitrari)

A differenza dei predecessori, **ZondGM2D** ha tre tipi di descrizione del mezzo:

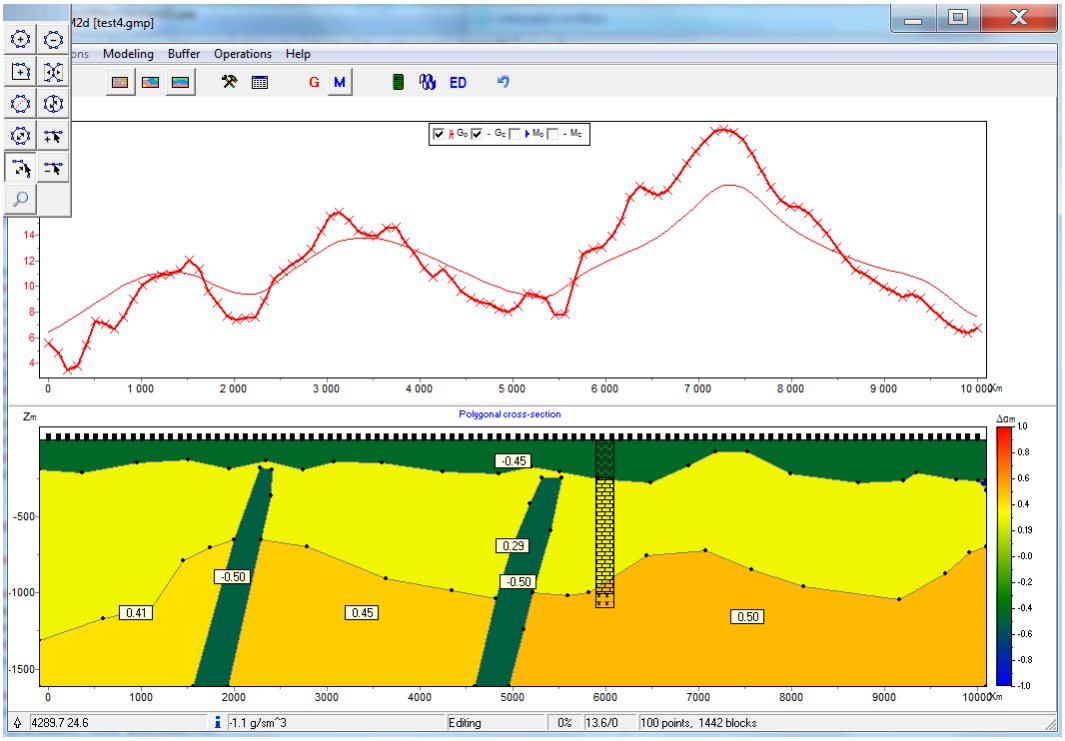
Il mezzo è diviso in una mesh regolare di celle

La modalità è disponibile con il pulsante  della barra degli strumenti premuto. È l'opzione più utile per il problema inverso (ricostruzione automatica di sezioni di densità o suscettività). Il risultato dell'inversione è un buon punto di partenza per l'interpretazione geologico-geofisica successiva. Le opzioni di questa modalità sono descritte nelle sezioni precedenti.



Il mezzo è rappresentato da un insieme di corpi a sezione poligonale

La modalità è disponibile con il pulsante  della barra degli strumenti premuto.



La descrizione poligonale del mezzo favorisce un approccio più strutturale all'interpretazione. La sezione bidimensionale di ogni corpo è descritta da un poligono chiuso. Il modello si costruisce come insieme di poligoni di geometria arbitraria con parametri magnetici e di densità assegnati. È l'opzione più comoda per la fase finale dell'interpretazione. **ZondGM2D** dispone di molti strumenti per creare rapidamente modelli di qualsiasi complessità, descritti nel capitolo «Modellazione».

Nel modello poligonale risolvere il problema inverso significa correggere automaticamente la posizione dei nodi dei poligoni e i loro parametri petrofisici. Premendo il pulsante di inversione compare un menu con le opzioni:

Par inversion — adattamento dei parametri (suscettività e densità) dei poligoni senza spostare i nodi

Z nodes inversion — adattamento della posizione verticale dei nodi

X nodes inversion — adattamento della posizione orizzontale dei nodi

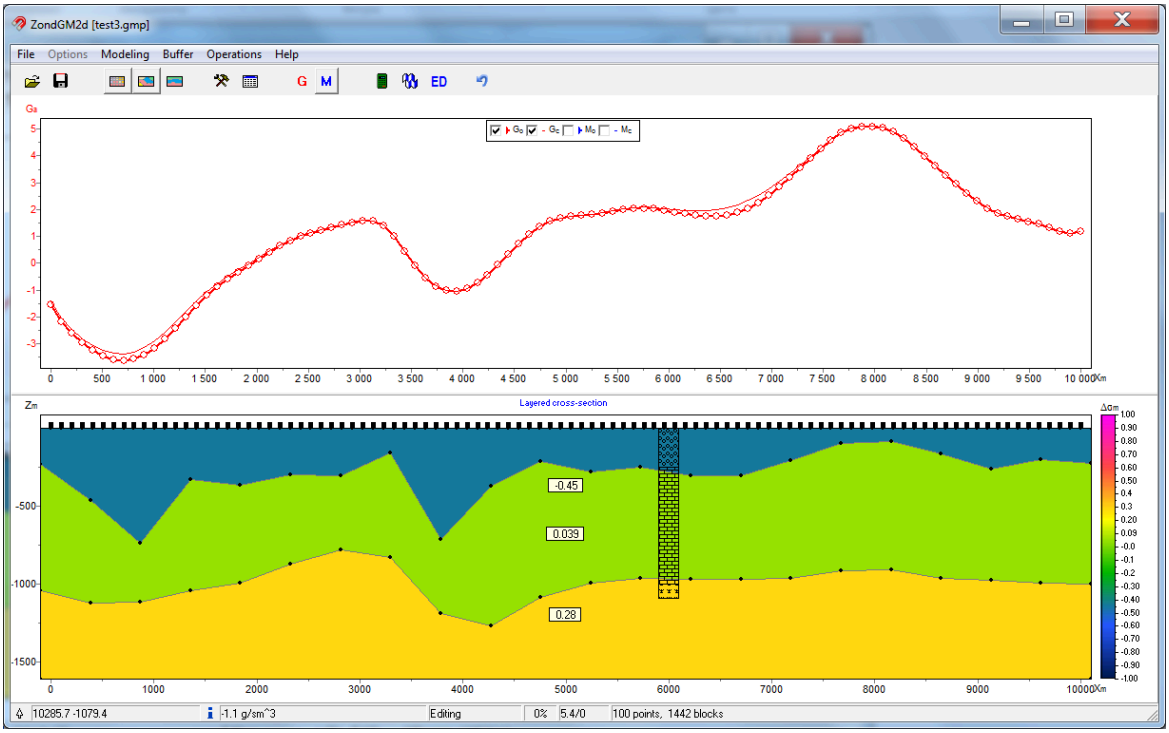
ZX nodes inversion — adattamento della geometria dei poligoni

PZX inversion — adattamento di parametri e geometria

Per questo tipo di modello è disponibile l'adattamento congiunto di dati gravimetrici e magnetici.

Mezzo a strati arbitrari

La modalità è disponibile con il pulsante della barra degli strumenti premuto.



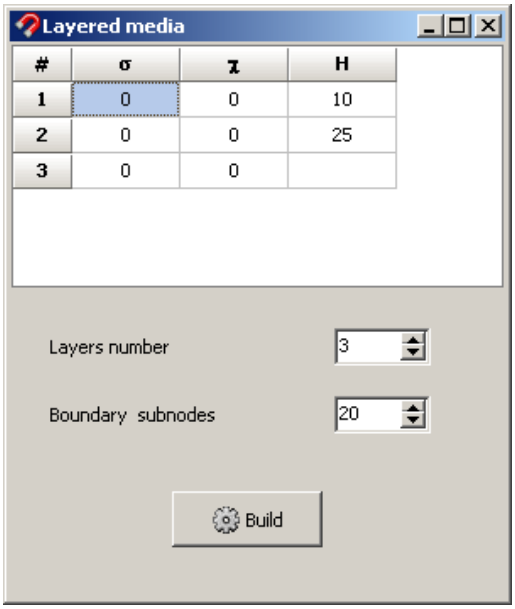
Questo tipo di modello è utile in regioni con stratificazione quasi a strati. Le opzioni sono descritte nel capitolo «Modellazione». Prima di iniziare occorre impostare i parametri del modello iniziale in **Modeling/Layered media setup**, che offre:

Layered numbers — numero di strati

Boundary subnodes — numero di nodi su ogni limite

Build — crea il modello indicato.

I parametri (densità, suscettività e spessore) di ogni strato si impostano nella tabella.



Il programma risolve i problemi diretto e inverso per il mezzo a strati arbitrari e permette di ottenere densità, suscettività e geometria dei limiti. Premendo  compare un menu simile a quello della modalità poligonale.

Per questo tipo di modello è disponibile l'adattamento congiunto di dati gravimetrici e magnetici.

MODELLAZIONE

La modellazione è uno strumento importante prima del lavoro di campagna. Permette di scegliere i parametri ottimali del sistema di misura per risolvere il problema geologico. Con le informazioni iniziali sull'obiettivo l'interprete può modellare diverse situazioni geologiche durante la pianificazione dei lavori geofisici.

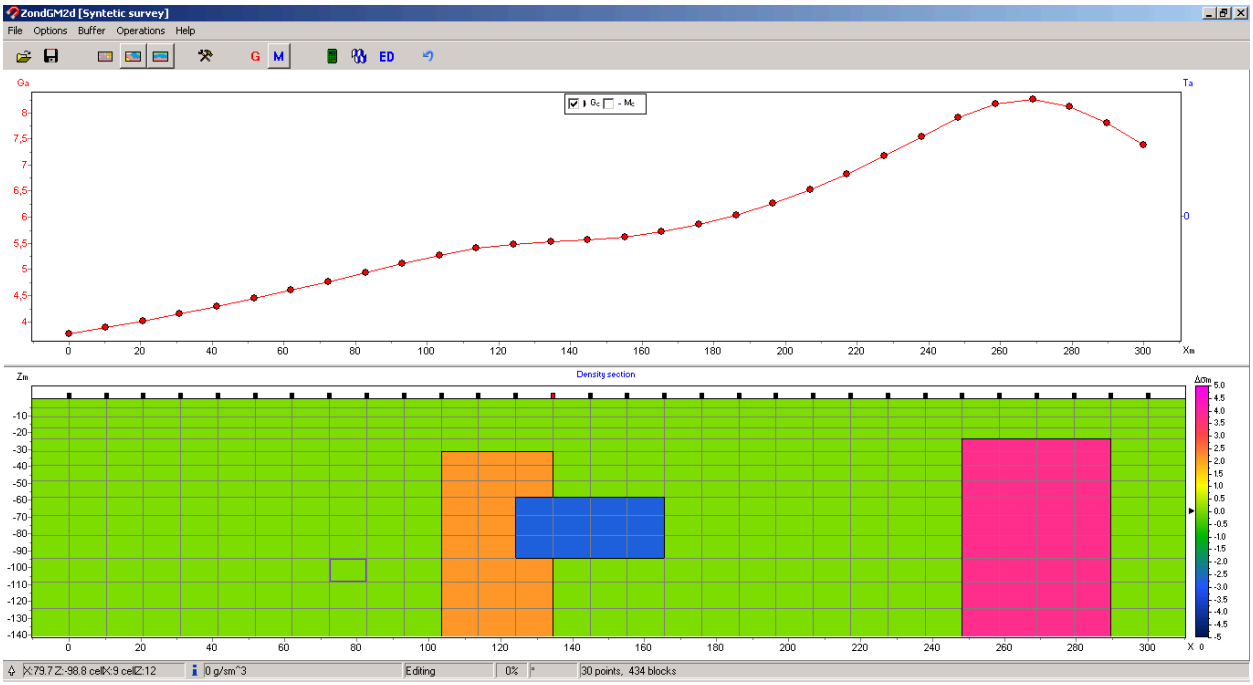
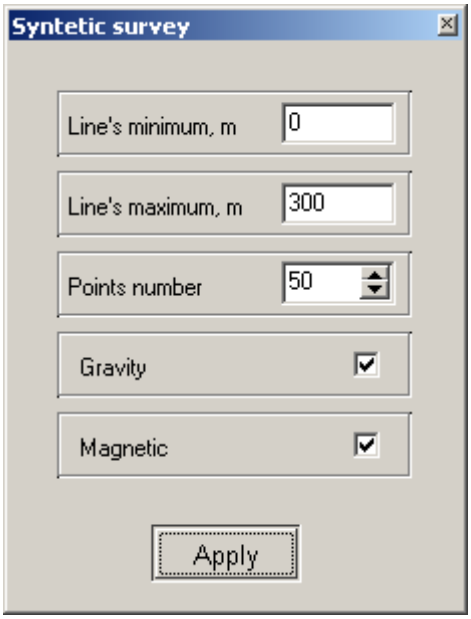


Fig. 6 Finestra del programma in modalità di modellazione

Nella prima fase si scelgono i parametri del sistema di misura tenendo conto delle caratteristiche e della profondità dell'obiettivo, delle condizioni di lavoro (rilievo, ecc.) e delle possibilità della strumentazione. Usare **File/Create synthetic survey** per aprire la finestra dei parametri del sistema di misura:



Line's minimum, m — posizione del primo punto di misura del profilo

Line's maximum, m — posizione dell’ultimo punto di misura

Points number — numero di punti del profilo

Le opzioni **Gravity** e **Magnetic** attivano o disattivano il calcolo dei campi gravimetrico o magnetico.

Il modello del mezzo si crea nell’editor del modello (parte grafica inferiore della finestra) in modalità block-section. Vedi «Editor del modello».

Gli scopi principali della modellazione matematica sono stimare il livello del segnale e la risoluzione del sistema di misura scelto. Per calcolare la risposta del modello (problema diretto) premere il pulsante  della barra degli strumenti.

Per ricostruire il modello, cioè risolvere il problema inverso con i dati calcolati, salvare i segnali teorici con il filtro **Zond project with calculated data** e aprirli come osservati. Per confrontare il modello ricostruito con quello iniziale usare **Import model/data** (vedi «Importazione ed esportazione dei dati»), dopo aver salvato il modello iniziale come **Zond model with calculated**.

Modalità di modellazione poligonale e a strati arbitrari

La modalità poligonale si attiva con il pulsante  della barra degli strumenti. Gli oggetti anomali sono sostituiti da un insieme di poliedri a estensione infinita nella direzione perpendicolare al profilo. Ogni poliedro ha geometria, suscettività e densità proprie, per cui si risolve il problema diretto. La modalità poligonale si usa nella seconda fase dell’interpretazione: ottenuto un modello con uno degli algoritmi di inversione, si consiglia di passare alla modalità poligonale, definire i poligoni in base al modello ottenuto e alla geologia nota e ripetere l’inversione.

La modalità a mezzo poligonale stratificato si attiva con il pulsante . È consigliata in regioni con stratificazione concordante. Prima di iniziare occorre impostare i parametri del modello iniziale in Modeling / Layered medium setup.

Per l’inversione in modalità poligonale o a strati usare il pulsante . Si offrono le opzioni:

Parameters inversion — adattamento dei parametri (suscettività e/o densità) dei poligoni

Z nodes inversion — adattamento della posizione verticale dei nodi

X nodes inversion — adattamento della posizione orizzontale dei nodi

ZX nodes inversion — adattamento della posizione dei nodi

PZX inversion — adattamento dei parametri e della posizione dei nodi.

Scegliendo la modalità poligonale o a strati compare nel menu principale la scheda **Modeling** (Fig. 7) con le opzioni:

- **Layered media setup** — Imposta il mezzo stratificato per la modalità a strati arbitrari.
- **Set model size** — Imposta i limiti del modello.
- **Show background** — Mostra il modello corrente del progetto come immagine di sfondo.
- **Remove background** — Nascondi il modello corrente.

- **Get value from background** — Assegna al poligono il valore medio del modello corrente.
- **Remove polygons** — Elimina tutti i poligoni.
- **Save polygons** — Salva i poligoni.
- **Load polygons** — Carica un file di poligoni.
- **Export to CAD** — Esporta i poligoni in AutoCAD.
- **Display ColorScale** — Mostra la scala dei colori.
- **Colors from ColorScale** — Colora i poligoni secondo la scala dei colori.

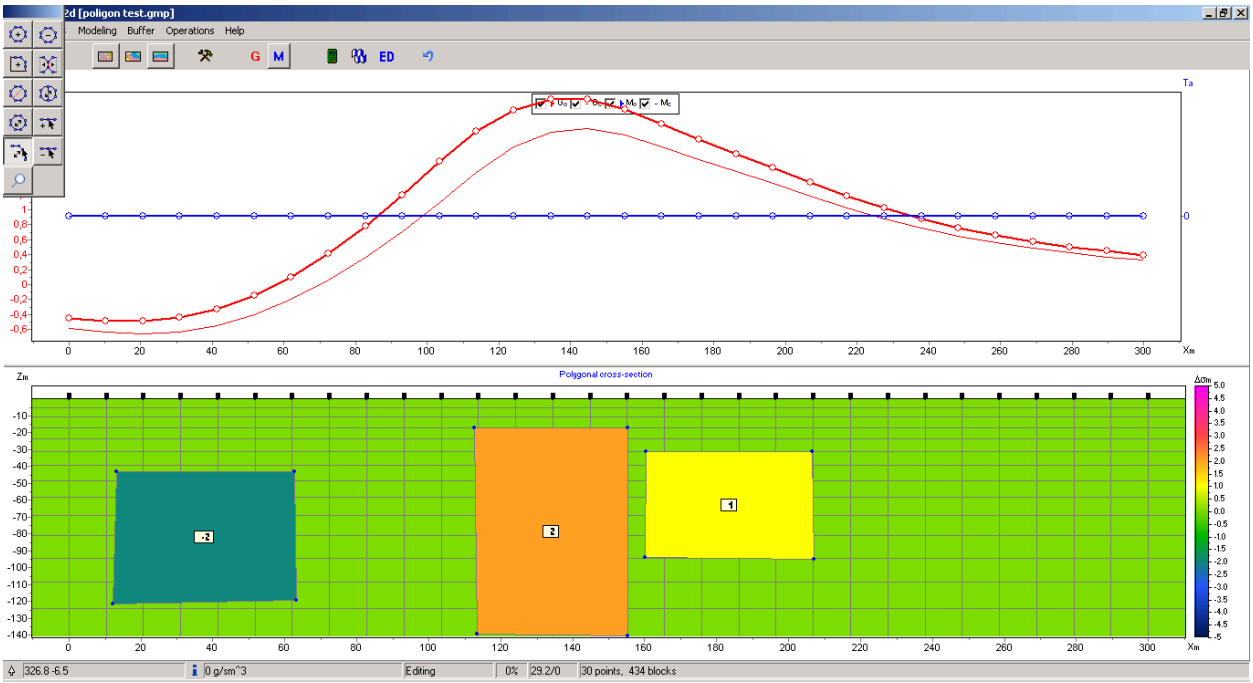


Fig. 7 Finestra principale in modalità di modellazione poligonale

I poligoni si creano e modificano con il pannello di controllo che compare premendo .

La modalità **Add polygon** si attiva con il pulsante . Serve a creare un poligono isolato. Clic sinistro per aggiungere un punto; clic destro per chiudere il poligono (collegare l'ultimo punto al primo). Se il poligono non si può creare (le facce si intersecano o c'è un altro oggetto all'interno), il programma non permette di chiuderlo. Evitare punti troppo vicini.

La modalità **Delete polygon** si attiva con il pulsante . Serve a eliminare un poligono: clic destro su di esso. Il contorno diventa rosso quando il cursore è all'interno.

La modalità **Create a joined polygon** si attiva con il pulsante . Serve a creare un poligono (o una parte aggiuntiva) unito a poligoni esistenti, ai bordi del modello o al rilievo, cioè a un'area accoppiata (insieme di poligoni e bordi del modello con facce comuni). Clic sinistro per aggiungere un punto; clic destro per chiudere il poligono attraverso il bordo dell'area accoppiata. Il primo e l'ultimo punto devono stare sul bordo esterno dell'area accoppiata (che diventa rosso avvicinando il cursore). Se il poligono non si può creare, il programma non permette di chiuderlo ed elimina i punti creati. I poligoni uniti ai bordi sinistro, destro e inferiore del modello si estendono all'infinito in quelle direzioni.

La modalità **Disconnect polygon** si attiva con il pulsante . Serve a staccare un poligono dai poligoni adiacenti o dai bordi del modello. Staccato dai bordi, il poligono perde l'estensione infinita (resta limitato dal modello). Clic destro sul poligono per staccarlo; il contorno diventa rosso quando il cursore è all'interno. Poi con Move polygon si può spostare la parte staccata.

La modalità **Split polygon** si attiva con il pulsante . Divide il poligono in due poligoni collegati. Il limite si definisce con due punti sui bordi o sui nodi del poligono: clic sinistro per il primo, clic destro per il secondo e la divisione. Se l'operazione non è possibile (le facce si intersecano o il limite esce dal poligono), il programma non la esegue ed elimina il limite. Bordi e punti diventano rossi avvicinando il cursore.

La modalità **Move polygon** si attiva con il pulsante . Sposta i punti non collegati di un poligono; se il poligono non ha punti comuni con altri poligoni o con i bordi, si sposta interamente. Clic sinistro per scegliere il poligono, che segue il cursore; clic destro per fissare la nuova posizione. Se l'operazione non è possibile, il poligono torna alla posizione originale. Il contorno diventa rosso quando il cursore è all'interno.

La modalità **Move connected polygons** si attiva con il pulsante . Sposta un poligono e tutti quelli collegati. Clic sinistro per scegliere, clic destro per fissare. Se l'operazione non è possibile, i poligoni tornano alla posizione originale.

La modalità **Add point** si attiva con il pulsante . Aggiunge un punto sul bordo di un poligono: clic destro sul bordo. I bordi diventano rossi avvicinando il cursore.

La modalità **Remove point** si attiva con il pulsante . Elimina un punto del poligono: clic destro su di esso. Non è possibile se le facce si intersecano, se un poligono finisce dentro un altro o se resterebbero meno di tre punti. I punti diventano rossi avvicinando il cursore.

La modalità **Merge points** si attiva con il pulsante . Unisce due punti in uno, collegando punti al bordo di un altro poligono o ai bordi del modello. Prima si sceglie il punto da unire.

Finestra dei parametri del poligono

Serve a impostare i parametri del poligono. Si apre con un doppio clic sul poligono.

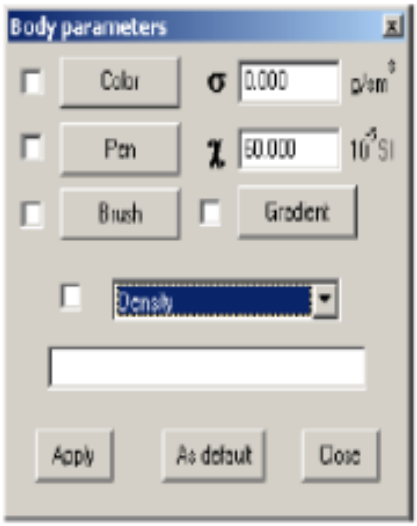


Fig. 8 Finestra dei parametri del poligono

Color — colore di riempimento. Se la casella è attiva, il colore si applica a tutti i poligoni del modello.

Pen — parametri del bordo. Se attiva, si applicano a tutti i poligoni.

Brush — parametri del riempimento. Se attiva, si applicano a tutti i poligoni.

Gradient — riempimento sfumato. Se attiva, si applica a tutti i poligoni.

σ — densità del poligono.

χ — suscettività magnetica del poligono.

L'opzione seguente definisce il tipo di etichetta del poligono. Se attiva, si applica a tutti i poligoni del modello.

None — nessuna etichetta.

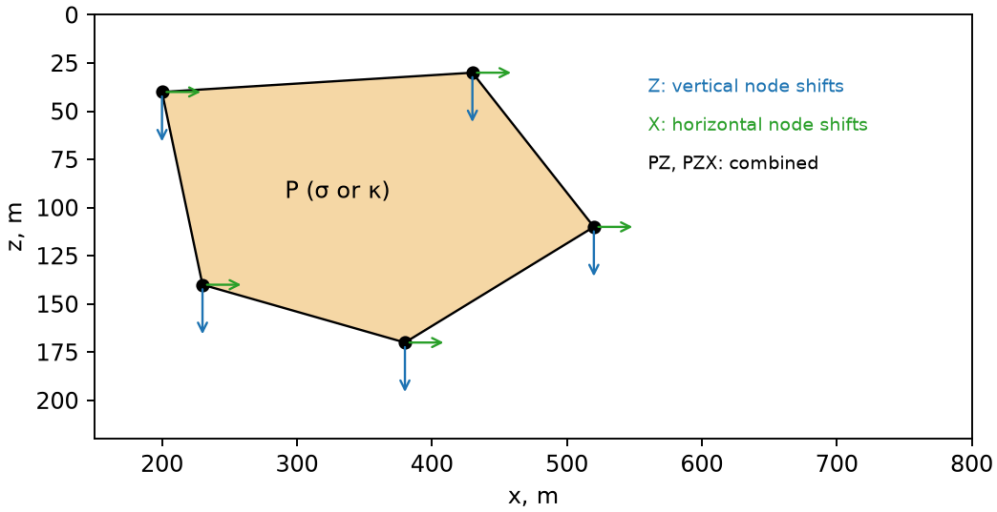
Density — si mostra la densità.

Susceptibility — si mostra la suscettività.

Density & Susceptibility — si mostrano densità e suscettività.

User text — si mostra il testo del campo seguente.

Inversione del modello poligonale



Parametri dell’inversione poligonale: proprietà del poligono P e spostamenti dei nodi in Z e X

La modalità di inversione si sceglie nel menu contestuale del modello poligonale:

- **Par inversion** — si adattano solo le proprietà dei poligoni (densità o suscettività); la geometria è fissa;
- **Z nodes inversion** — si adattano le coordinate verticali dei nodi;
- **X nodes inversion** — si adattano le coordinate orizzontali dei nodi;
- **ZX nodes inversion** — entrambe le coordinate dei nodi;
- **PZ inversion**, **PZX inversion** — proprietà e coordinate dei nodi insieme.

I nodi condivisi da poligoni vicini si spostano insieme, quindi il modello resta senza vuoti né sovrapposizioni. Il campo del poligono si calcola analiticamente tramite integrali sui lati. Le derivate rispetto alle coordinate dei nodi usano le stesse formule del campo.

Correzioni nei moduli Polygons e PolygonChart:

- il test di intersezione dei poligoni usava un indice di nodo errato;
- il test «punto nel poligono» non crea più un array temporaneo;
- la suddivisione di un poligono non connesso in parti avviene con ricerca in ampiezza invece di un’enumerazione di ordine n^4 (il risultato coincide sull’insieme di prova);
- la lettura di un poligono da stringa controlla il numero di campi.

Nel campo magnetico del poligono sono stati corretti la scelta del nodo e le funzioni del tipo di campo. Le funzioni trigonometriche inverse sono state sostituite da arctan2, stabile per angoli piccoli.

Inversione del modello a strati arbitrari: algoritmo

Il modello a strati arbitrari è descritto dai limiti degli strati e dalla distribuzione delle proprietà lungo ogni strato. Le incognite sono le profondità dei nodi dei limiti e le proprietà dello strato nei nodi. Il campo dello strato si calcola integrando sul poligono dello strato. Per gli elementi vicini si usa la quadratura di Gauss–Legendre a 8 nodi; per quelli lontani (quadrato della distanza maggiore di 16 volte il quadrato della dimensione dell’elemento)

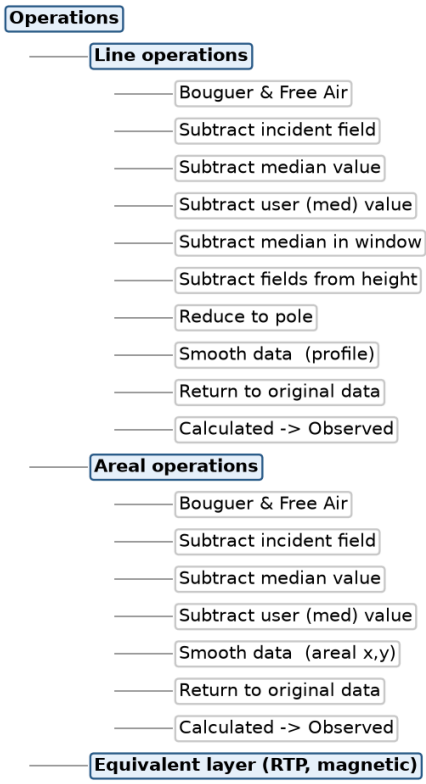
una formula di campo lontano. Così il calcolo del campo del modello a strati è 24 volte più veloce (314 → 13 ms) con la stessa precisione.

Correzioni nel modulo kmpvsetun:

- nella matrice di smoothing lo stabilizzatore si aggiunge come $L^T L + c_p I$;
- il sistema di inversione è scritto in forma simmetrica nello spazio dei parametri normalizzati; prima il termine di smoothing era moltiplicato per il peso solo da un lato e la matrice perdeva la simmetria;
- nel jacobiano sono stati corretti gli indici dei parametri dei limiti ed eliminata l’assegnazione ripetuta della derivata per i dati SEV e MT;
- per i dati MASW le derivate tengono conto dei limiti dei parametri con **Lim based inv** attivo;
- la normalizzazione dei pesi dei dati MT usa il parametro corretto.

ELABORAZIONE E TRASFORMAZIONI DEL CAMPO

Il menu **Operations** contiene operazioni sui dati osservati. Quelle di **Line operations** si applicano al profilo corrente, quelle di **Areal operations** a tutti i profili dell'area insieme. Tutte modificano il campo usato nell'inversione; i dati originali si ripristinano con **Return to original data**.



Struttura del menu Operations

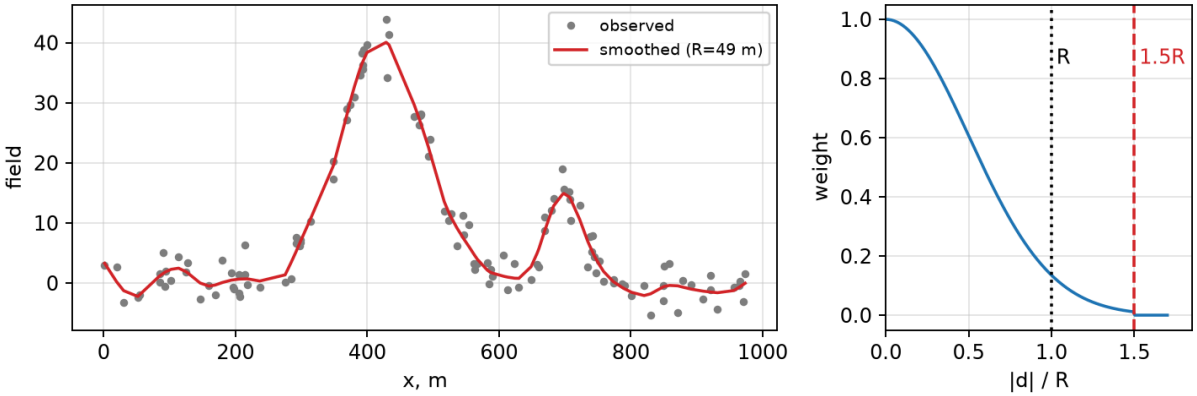
Operazioni su profilo e area

- **Bouguer & Free Air** — correzioni di aria libera e di Bouguer: $G_a = G_m + 0.3086\,h - 0.04193\,\rho\,h$ (mGal; h è la quota assoluta del punto del gravimetro in metri, ρ in g/cm³). La densità dello strato intermedio si inserisce nella finestra; un valore maggiore di 50 è considerato in kg/m³ (2500 per default) e convertito in g/cm³. La correzione si applica solo ai punti di tipo Gz. Prima il coefficiente di Bouguer era 0,049·ρ con ρ in kg/m³, cioè la correzione era circa mille volte troppo grande; è stato corretto.
- **Subtract incident field** — sottrai il modulo del campo normale T_0 (da **Observation settings**) dai dati magnetici.
- **Subtract median value** — sottrai la mediana della componente attiva (Gz o T). La mediana è robusta rispetto a valori anomali isolati e ad anomalie intense.
- **Subtract user (med) value** — sottrai un valore dato; per default si propone la mediana.

- **Subtract median in window** — sottrai il fondo in una finestra mobile (separazione della componente locale). Si chiede la semiampiezza della finestra in punti (da 3 a un terzo del numero di punti, 10 per default). Il fondo nella finestra è la media tra mediana e media aritmetica.
- **Subtract fields from height** — riduci il campo misurato a quote diverse a un livello comune tramite sorgenti equivalenti lungo il profilo. Il profilo viene prolungato su ogni lato con sette punti a passo raddoppiato per ridurre l'effetto di bordo.
- **Reduce to pole** — riduzione al polo tramite lo strato equivalente (vedi sotto). Dopo l'operazione l'inclinazione diventa 90°, declinazione e azimut 0.
- **Smooth data** — smoothing delle osservazioni con approssimazione quadratica locale (vedi sotto). In **Line operations** lo smoothing è lungo il profilo, in **Areal operations** sull'area in coordinate x, y.
- **Return to original data** — ripristina i dati originali.
- **Calculated -> Observed** — sostituisci il campo osservato con quello calcolato (per esempio per usare il campo del modello come dati sintetici).
- **Equivalent layer** — costruisci lo strato equivalente e calcola la RTP del campo magnetico.

Smoothing dei dati (Smooth data)

Lo smoothing si esegue come in ZondGM3D. In ogni punto si costruisce un'approssimazione quadratica locale del campo sui punti vicini con pesi gaussiani. Il valore dell'approssimazione nel punto stesso è il valore smussato.



A sinistra — dati osservati e smussati del profilo; a destra — funzione peso dello smoothing

Parametri dell'algoritmo:

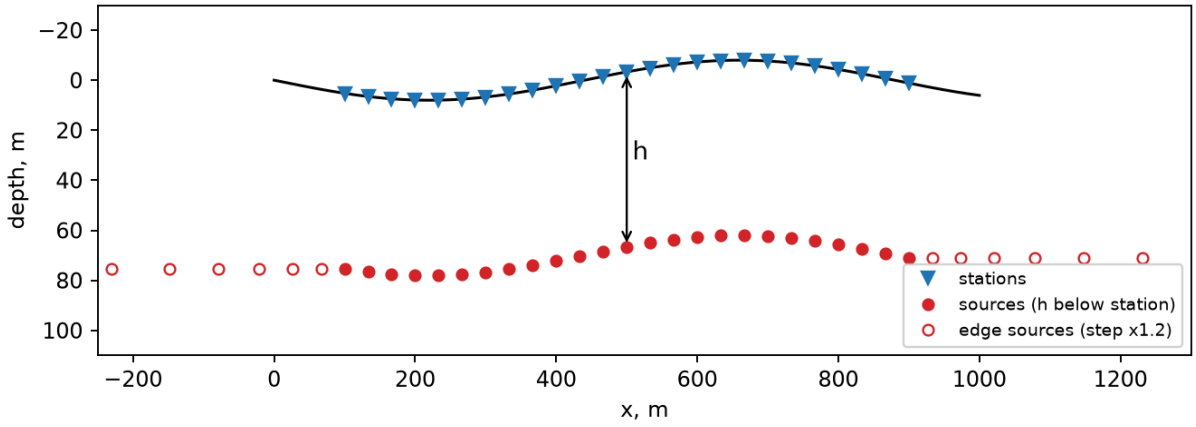
- il raggio di smoothing R si indica in metri; per default si propone il doppio del passo medio tra i punti;
- il peso di un vicino a distanza d è $w = \exp(-d^2/(2\sigma^2))$, $\sigma = R/2$;
- si usano i vicini a distanza non superiore a 1,5R;
- in modalità profilo si adatta il polinomio $a + b\,d + c\,d^2$ nella coordinata lungo il profilo (linecoord); in modalità areale un polinomio quadratico completo in x e y;
- se i vicini sono troppo pochi per l'adattamento quadratico, si usa un adattamento lineare o la media pesata.

Procedura. Scelta la voce, compare una finestra per il raggio. Il risultato si mostra come curva calcolata, i dati osservati non cambiano. Poi compare una domanda: **Yes** — accetta (il campo osservato è sostituito da quello smussato), **No** — inserisci un altro raggio (ogni nuovo raggio si applica ai dati originali, non a quelli già smussati), **Cancel** — annulla. Si smussano solo i punti della componente attiva (Gz o T secondo la modalità). La curva calcolata si ripristina dopo l'accettazione o l'annullamento.

Lo smoothing areale usa un indice spaziale dei punti ed è eseguito in parallelo (modulo gmfast), quindi il tempo cresce linearmente con il numero di punti. Per una rete irregolare il raggio non deve essere inferiore alla distanza tra profili vicini, altrimenti lo smoothing areale diventa di fatto uno smoothing di profilo.

Strato equivalente, derivate e RTP

Lo strato equivalente è un insieme di sorgenti puntiformi il cui campo coincide con quello osservato. Dalle sorgenti si calcolano trasformazioni del campo: la derivata orizzontale e la riduzione al polo (RTP).



Strato equivalente su un profilo: sorgenti a profondità h sotto ogni stazione e sorgenti di bordo

Algoritmo:

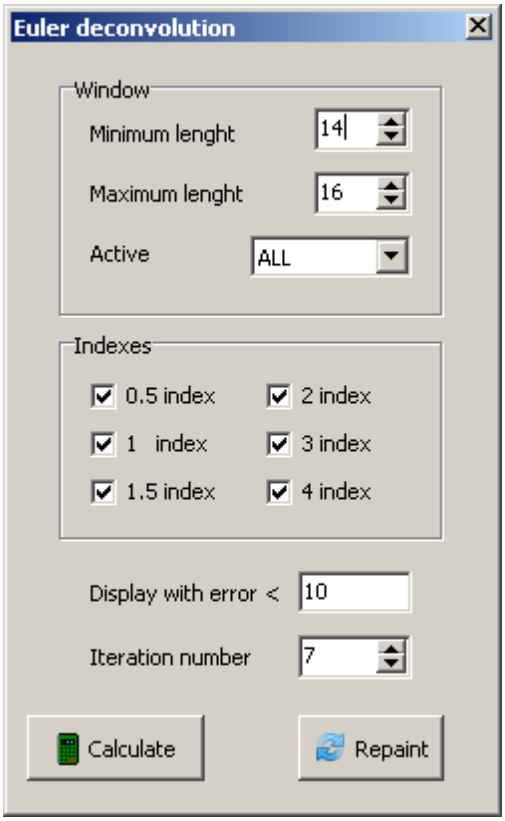
1. La derivata orizzontale del campo si calcola lungo il profilo con un metodo integrale (calcderiv11): il campo viene prolungato oltre le estremità del profilo con 20 livelli e il sistema si risolve con i gradienti coniugati. La derivata si usa anche nella deconvoluzione di Euler.
2. Si chiede la profondità dello strato h (per default tre passi tra i punti). Le sorgenti si pongono a profondità h sotto ogni stazione tenendo conto del rilievo e della quota del sensore.
3. Si risolve il sistema «sorgenti → osservazioni». Il programma riporta lo scarto approssimato della derivata calcolata dallo strato rispetto a quella del punto 1 e chiede se provare un'altra profondità. Più piccolo è lo scarto, migliore è la profondità.
4. Scelta la profondità, si costruisce lo strato finale: alle sorgenti delle stazioni si aggiungono 20 sorgenti per lato del profilo con passo che cresce di 1,2 volte. Il sistema comprende il campo e la sua derivata orizzontale.
5. La RTP si calcola come campo dello stesso strato con magnetizzazione verticale (I = 90°, D = 0).

L’operazione funziona solo in modalità magnetica. In modalità gravimetrica la voce non cambia nulla: prima in questa modalità si applicava il nucleo gravimetrico ai valori magnetici; è stato corretto. L’operazione non è disponibile per i profili in pozzo.

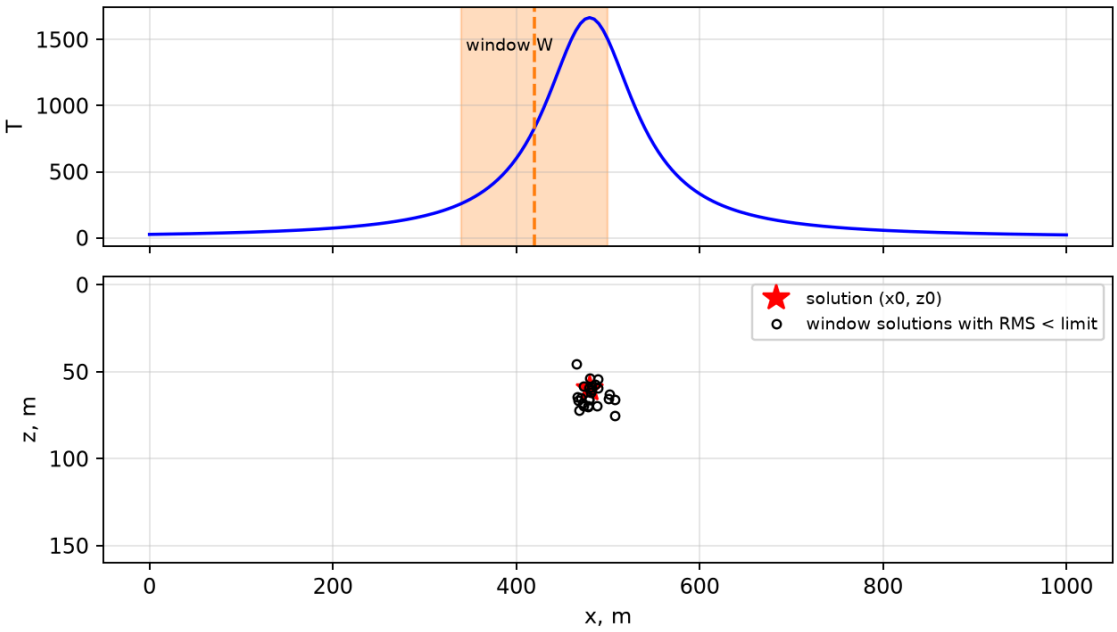
Raccomandazioni: scegliere una profondità dello strato di 1–3 passi tra i punti; con passo molto irregolare diradare o smussare prima i dati; a basse inclinazioni (vicino all’equatore) la RTP è instabile.

Deconvoluzione di Euler

La deconvoluzione di Euler stima la posizione dei punti singolari delle sorgenti (spigoli, contatti, centri dei corpi) dal campo e dalle sue derivate, senza un modello. La finestra si apre con il pulsante **ED** della barra degli strumenti. All’apertura si calcolano e si disegnano le derivate orizzontale e verticale del campo.



Finestra Euler deconvolution



Finestra di Euler su un profilo: campo, finestra mobile di larghezza W e soluzioni

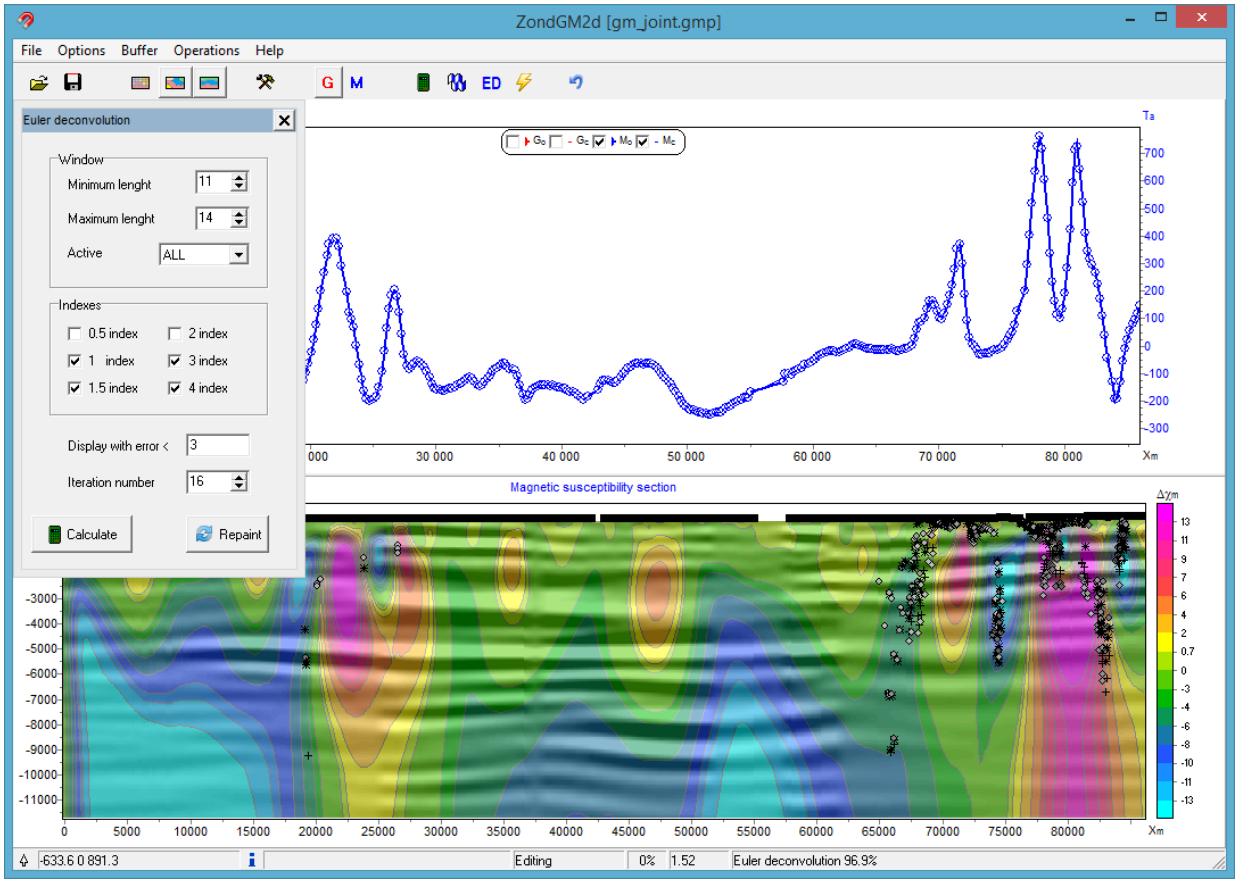
Per ogni punto del profilo si prende una finestra di larghezza W e si risolve l'equazione di Euler

$$(x - x_0)\frac{\partial T}{\partial x} + (z - z_0)\frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T),$$

dove (x_0, z_0) è la posizione della sorgente, N l'indice strutturale, B il fondo regionale. Le incognite x_0, z_0, B (e N in modalità automatica) si trovano ai minimi quadrati con alcune iterazioni di raffinamento.

Controlli della finestra:

- **Window / Size, m** — larghezza della finestra W. Per default 10 passi tra i punti.
- **Window / Auto** — larghezza automatica. A partire dalla dimensione data, la finestra si allarga a passi del 10 %. Si cerca una soluzione per ogni dimensione finché il numero di punti supera quattro volte quello iniziale (o si provano 20 dimensioni). Si sceglie la soluzione con errore minimo.
- **Structure index / Value** — indice strutturale: 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 o **Auto**. In modalità **Auto** l'indice si adatta in ogni finestra insieme alla posizione della sorgente con ricerca globale (200 passi di temperatura da 20 prove) nell'intervallo 0,49–3,1. Per il campo magnetico: N = 0 — contatto, N ≈ 0,5 — gradino, N = 1 — dicco o sill, N = 2 — cilindro orizzontale, N = 3 — dipolo (sfera). Per la gravità i valori sono inferiori di uno.
- **Iteration number** — numero di iterazioni del problema locale nella finestra.
- **Display with error <** — mostra le soluzioni con errore relativo nella finestra inferiore al valore dato, %.
- **Calculate** — esegui la deconvoluzione; **Repaint** — ridisegna le soluzioni con una nuova soglia di errore senza ricalcolo.



Esempio di deconvoluzione di Euler per dati di profilo

Correzioni di questa versione: nel raffinamento locale con indice adattato la limitazione dell'indice dava sempre 5 (min e max erano scambiati); ora l'indice è limitato all'intervallo 0–5. La larghezza della finestra si legge una volta prima del ciclo sui punti, non a ogni punto. Se sul profilo non ci sono punti con entrambe le derivate, il calcolo non parte. Il contorno del modello si costruisce una volta e gli array della finestra si allocano subito della dimensione necessaria. Questo accelera i profili lunghi senza cambiare il risultato.

OPZIONI AVANZATE DEL PROGRAMMA

Algoritmi di inversione

Funzionale e smoothing

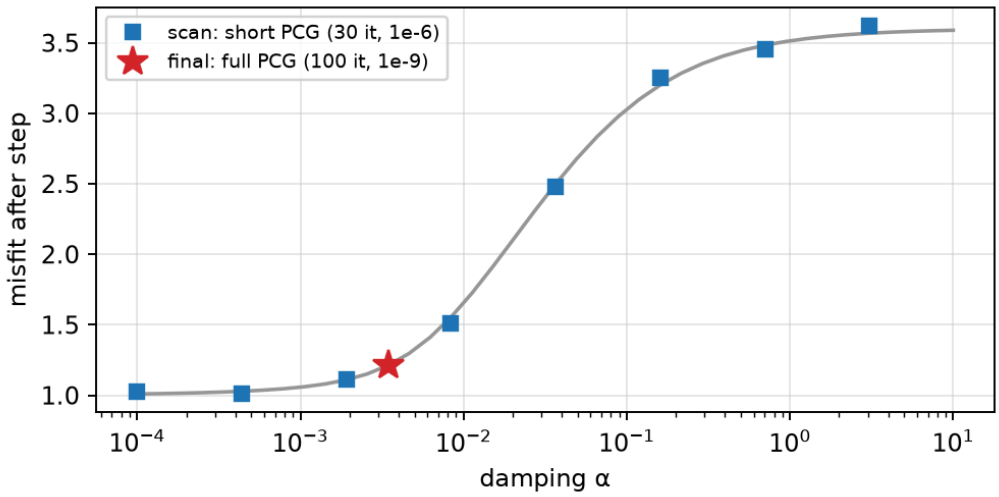
A ogni iterazione si risolve il problema linearizzato

$$(J^T W J + \alpha (C^T C + c_p I))\,\Delta m = J^T W\,\Delta d - \alpha (C^T C + c_p I)(m - m_0),$$

dove J è la matrice di sensibilità (jacobiano), W i pesi dei dati, C l'operatore di smoothing (differenze dei parametri di celle vicine pesate da **Smoothness ratio** e **Depth smoothing**), c_p il valore dello stabilizzatore (**Options/Inversion/Smoothness/Stabilizer**), m_0 il modello di riferimento (Median, «0», Start model, Previous).

In questa versione lo stabilizzatore si aggiunge a $C^T C$ come termine diagonale $C^T C + c_p I$. Prima era dentro l'operatore, $(C + c_p)^T (C + c_p)$, il che produceva termini incrociati aggiuntivi dipendenti dal numero di vicini. Nelle norme L1 e L0 lo stabilizzatore si aggiunge allo stesso modo all'operatore pesato.

Scelta del parametro di smoothing (smorzamento)



Scelta dello smorzamento: scansione rapida e soluzione esatta per il valore scelto

Il parametro α si sceglie a ogni iterazione scandendo valori in scala logaritmica. Per ogni valore di prova si risolve il sistema e si stima lo scarto. Con **Lcurve** attivo si sceglie il punto di massima curvatura della curva L, altrimenti il valore con scarto minimo.

Durante la scansione il sistema si risolve in modo approssimato: al massimo 30 iterazioni dei gradienti coniugati con tolleranza 10^{-6}. Per il valore scelto si esegue una soluzione esatta: fino a 100 iterazioni con tolleranza 10^{-9}. Ciò riduce di alcune volte il tempo della scansione, mentre il risultato dell'iterazione è determinato dalla soluzione esatta.

Il prodotto matrice-vettore dei gradienti coniugati è fuso in un solo passaggio sulla matrice senza array temporanei: 196 → 118 ms sul modello di prova. Nell'inversione congiunta la stessa fusione ha ridotto il tempo da 405 a 234 ms.

Norme dello stabilizzatore e robustezza

- **L2** — minimizzazione del quadrato del gradiente del modello, distribuzioni regolari.
- **L1** — i pesi dell'operatore si ricalcolano dalle differenze correnti dei parametri (minimi quadrati ripesati iterativamente); i limiti restano netti.
- **L0** — supporto minimo: il modello si concentra in corpi compatti.
- **Robust** — i pesi dei dati con scarti grandi vengono ridotti.
- **Lim based inv** — i parametri sono trasformati per restare entro i limiti; le derivate si ricalcolano con la stessa trasformazione.

Inversione congiunta

Nell'inversione congiunta di dati gravimetrici e magnetici entrambi i modelli sono incogniti (il numero di parametri raddoppia). L'accoppiamento è definito dal criterio (**Common correlation**, **Global-local correlation**, **Variation information**, **Gramian**). Ogni criterio usa limiti propri del secondo modello. Se l'utente non imposta i limiti del secondo campo, si usano valori predefiniti.

Correzioni: nell'inversione congiunta gravimetrica-magnetica senza **Lim based inv** l'indice del secondo campo non era definito e i limiti del secondo modello venivano presi da una cella casuale; nell'inversione congiunta con dati elettrici i limiti di resistività non definiti erano sostituiti dal codice di errore. Ora in entrambi i casi si usano gli indici corretti e i valori predefiniti.

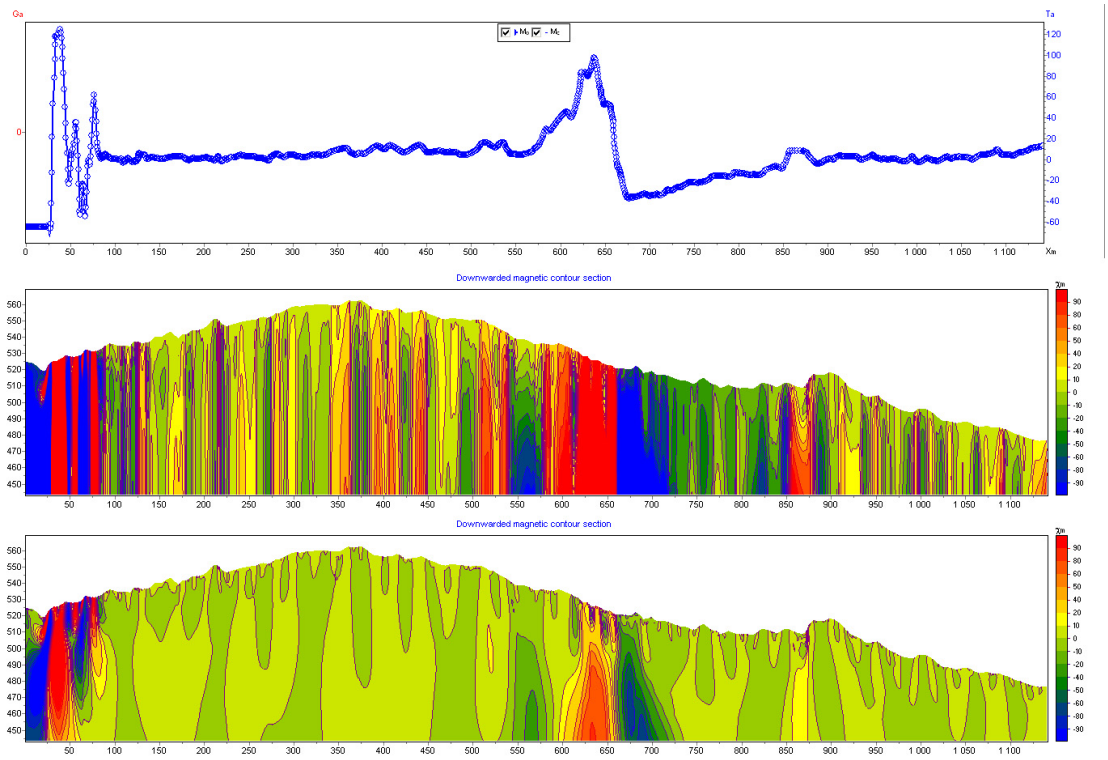
Inversione probabilistica

Probability inversion e **Compact probability inversion** (pulsante di trasformazione rapida) sono un'ottimizzazione globale con very fast simulated annealing (VFSA). A ogni passo il modello è perturbato casualmente con una «temperatura» che decresce come $T_0 \exp(-k^{1/n})$, poi smussato sulle celle vicine. Si calcola $p = \exp(-\Delta E/T)$; il modello è accettato se p > 0,1 (sempre se lo scarto diminuisce e, se aumenta, quando l'aumento è inferiore a $T\ln 10$). È una soglia deterministica al posto del numero casuale dell'annealing classico; è mantenuta invariata.

In questa versione le celle senza vicini non provocano più una divisione 0/0. Dopo la media il parametro è limitato ai limiti della cella. Lo scarto medio non viene diviso per zero se non ci sono punti attivi. La copia di array nel ciclo è sostituita dalla copia in array preallocati. Il problema diretto nel ciclo usa la matrice di sensibilità in cache: il ciclo esterno scorre le celle e la riga della stazione si legge in modo contiguo.

Prolungamento verso il basso

Il prolungamento del campo verso il basso è una trasformazione per separare le componenti ad alta e bassa frequenza. Il programma offre il prolungamento del campo misurato, Downward continuation/Standard, e della derivata verticale, Downward continuation/Normed. Prolungando il campo misurato domina la componente a bassa frequenza, prolungando la derivata quella ad alta frequenza (Fig. 9).



A)

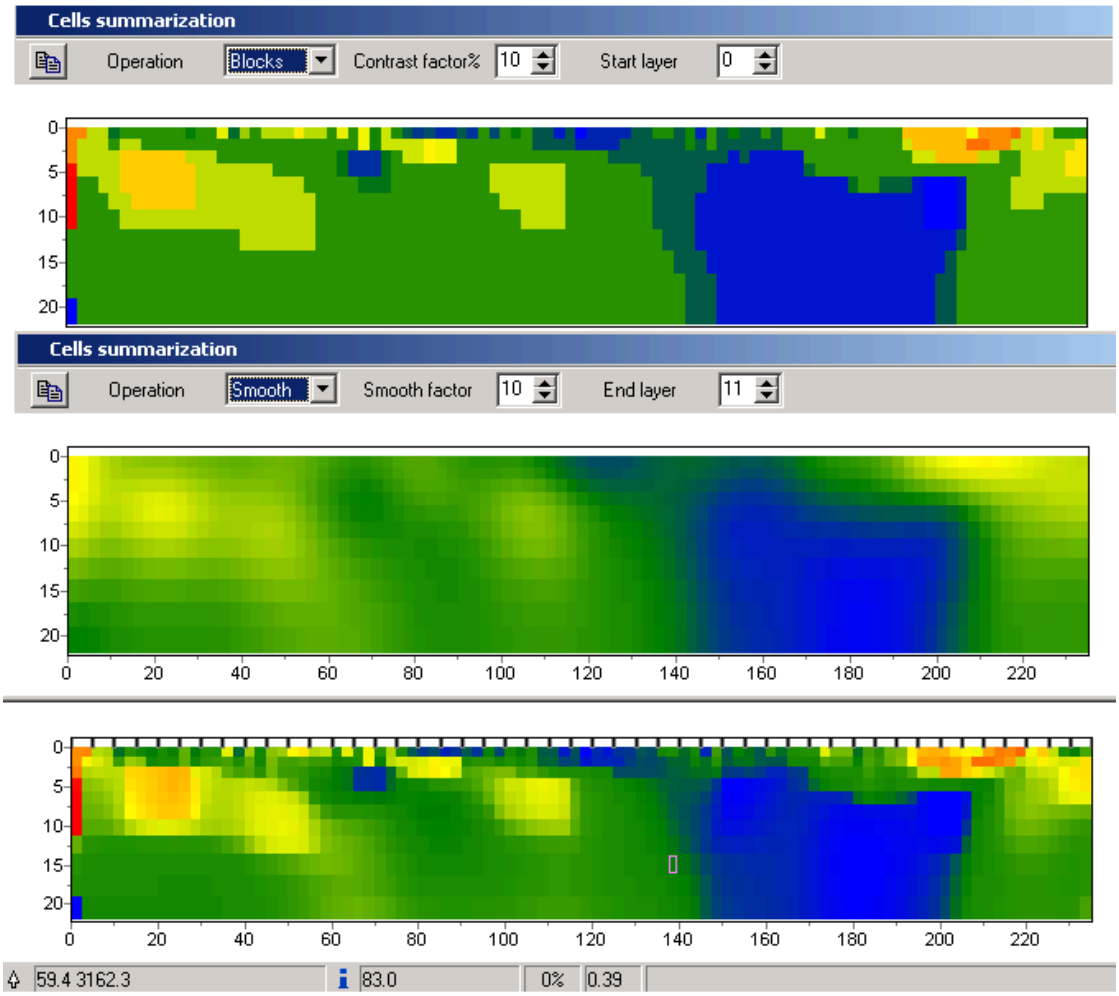
B)

C)

Fig. 9 a) Grafico di Δg; b) prolungamento verso il basso del campo misurato; c) prolungamento verso il basso della derivata verticale.

Finestra Cell summarization

L'opzione Cell summarization permette di smussare o rendere più grossolano (dividere in blocchi) il modello corrente. Il modello a blocchi si può usare nell'inversione di tipo Blocks, in cui si adattano i parametri di ogni blocco. Prima della divisione in blocchi conviene eseguire un'inversione focalizzata.



Nella modalità Blocks, in base al parametro di contrasto (Contrast factor), le celle con parametri simili si aggregano in aree a valore costante. L'opzione Start layers indica lo strato da cui si applica l'operazione.

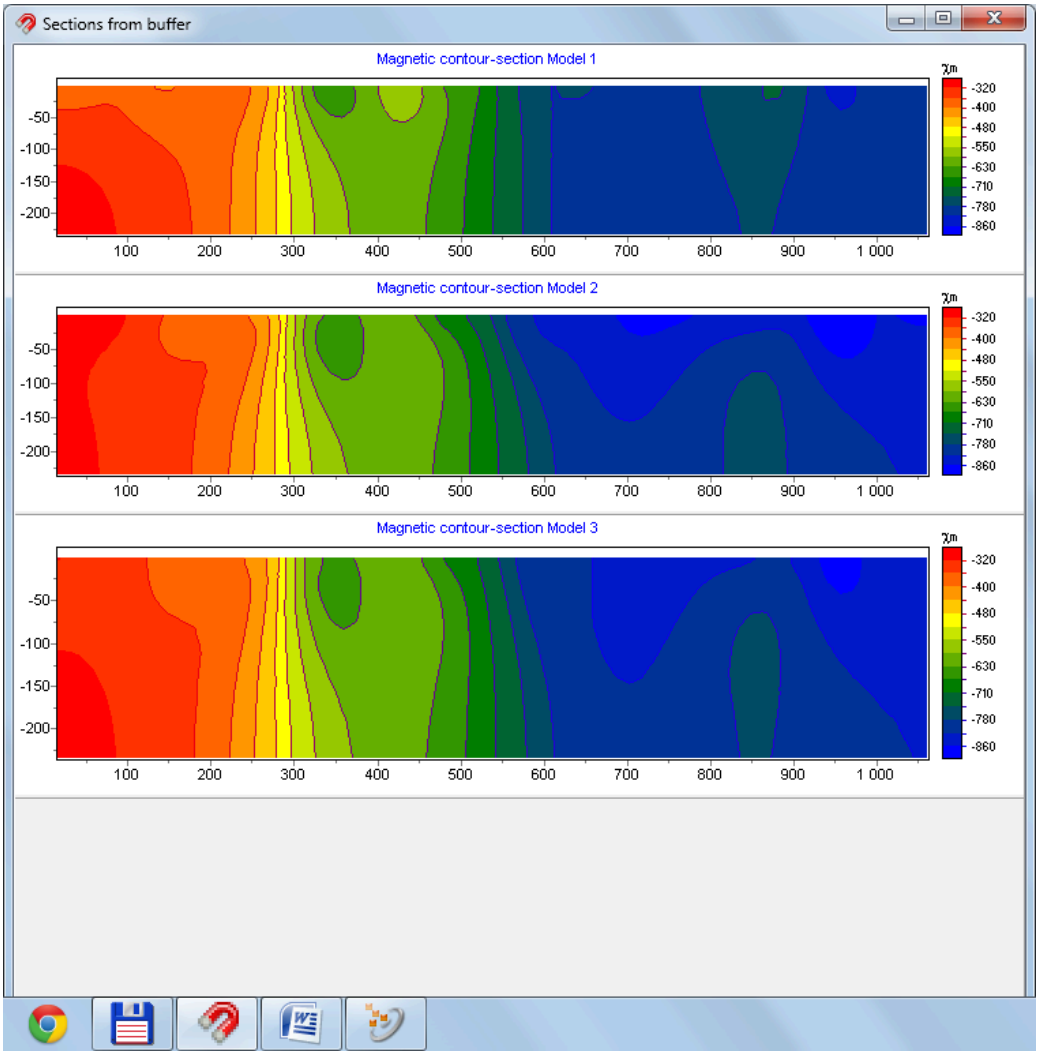
Nella modalità Smooth, in base al fattore di smoothing (Smooth factor), i parametri delle celle vengono mediati. L'opzione End layers indica lo strato fino al quale si applica l'operazione.

Il pulsante  copia il modello ottenuto nell'editor del modello.

Opzione «Buffer» del menu principale

L'opzione Buffer permette di confrontare modelli ottenuti con diversi parametri di inversione e impostazioni (con dati geologici aggiuntivi, filtri, ecc.). Tutti i modelli si mostrano con la stessa tavolozza e le stesse scale.

Ottenuto un modello, aprire la scheda Buffer del menu principale e scegliere Model 1. Il programma chiede un nome per il modello corrente, che può contenere i parametri usati. Il modello viene salvato e si può eseguire una nuova inversione con altre impostazioni e salvarla come Model 2. Si possono salvare fino a cinque modelli. Per aprire la finestra dei modelli salvati scegliere Buffer/Open.



Editor delle sezioni geologiche

Il modulo **Geological editor** permette di costruire rapidamente una sezione geologica dai risultati dell'interpretazione del profilo.

I risultati dell'interpretazione geofisica servono da immagine di sfondo su cui si costruisce il modello geologico. Durante la creazione si definiscono oggetti locali e strati, su cui si disegna la tessitura geologica scelta dall'interprete. Il modulo mostra anche i dati di pozzo, il che facilita la costruzione del modello.

Lo scopo principale del modulo è costruire rapidamente sezioni geologiche dai risultati geofisici ed esportarle in sistemi CAD.

Prima di iniziare occorre scegliere con cura il tipo di sezione e le sue impostazioni grafiche. La variante migliore è mostrare la sezione a isolinee.

Poi si apre **Geological editor** e inizia il lavoro con la sezione. Corpi e strati si definiscono come poligoni chiusi e aperti, con colore e tessitura.

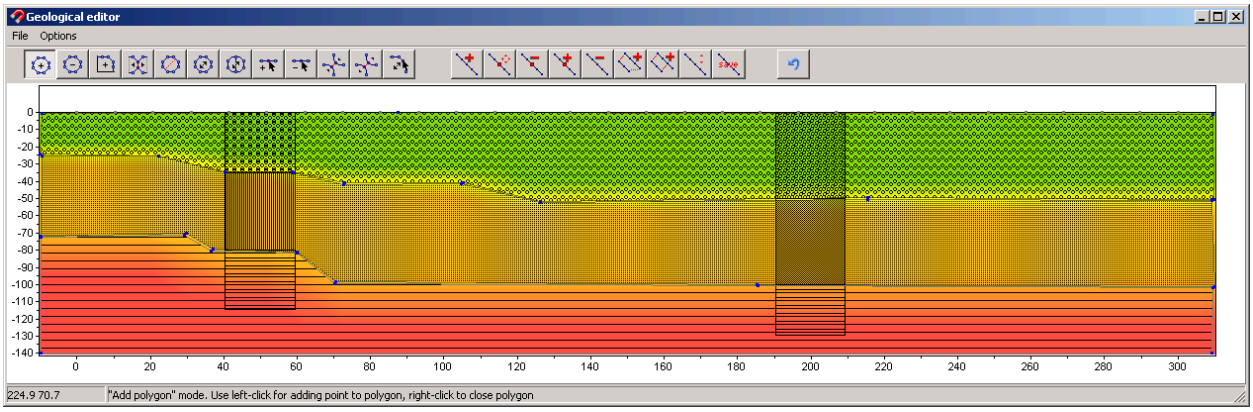


Fig. 10 Finestra **Geological Editor**

I pulsanti di modifica di poligoni e linee si trovano nella barra degli strumenti di **Geological editor**.

La modalità **Add polygon** si attiva con il pulsante . Crea un poligono isolato: clic sinistro per aggiungere punti, clic destro per chiuderlo. Se il poligono non è valido (facce che si intersecano o altro oggetto all'interno), non si può chiudere. Evitare punti troppo vicini.

La modalità **Delete polygon** si attiva con il pulsante . Elimina un poligono con clic destro; il contorno diventa rosso quando il cursore è all'interno.

La modalità **Create a joined polygon** si attiva con il pulsante . Crea un poligono unito a poligoni esistenti, ai bordi del modello o al rilievo. Clic sinistro per aggiungere punti, clic destro per chiudere attraverso il bordo dell'area accoppiata. Il primo e l'ultimo punto devono stare sul bordo esterno dell'area accoppiata (che diventa rosso avvicinando il cursore). Se non è possibile, il programma non chiude il poligono ed elimina i punti. I poligoni uniti ai bordi sinistro, destro e inferiore si estendono all'infinito in quelle direzioni.

La modalità **Disconnect polygon** si attiva con il pulsante . Stacca un poligono da quelli adiacenti o dai bordi del modello (perde l'estensione infinita). Clic destro sul poligono; poi lo si può spostare con **Move polygon**.

La modalità **Split polygon** si attiva con il pulsante . Divide un poligono in due poligoni collegati tramite due punti sui bordi o sui nodi: clic sinistro per il primo, clic destro per il secondo. Se non è possibile, il limite viene eliminato.

La modalità **Move polygon** si attiva con il pulsante . Sposta i punti non collegati di un poligono (o l'intero poligono se non ha punti comuni). Clic sinistro per scegliere, clic destro per fissare. Se non è possibile, il poligono torna alla posizione originale.

La modalità **Move connected polygons** si attiva con il pulsante . Sposta un poligono e tutti quelli collegati. Clic sinistro per scegliere, clic destro per fissare.

La modalità **Add point** si attiva con il pulsante . Aggiunge un punto sul bordo di un poligono con clic destro.

La modalità **Remove point** si attiva con il pulsante . Elimina un punto con clic destro. Non è possibile se le facce si intersecano, se un poligono finisce dentro un altro o se resterebbero meno di tre punti.

La modalità **Merge points** si attiva con il pulsante . Unisce due punti in uno, collegandoli al bordo di un altro poligono o ai bordi del modello.

La modalità **Disconnect points** si attiva con il pulsante . Separa punti uniti in precedenza: clic destro sul punto. Al posto di un punto comune compare un insieme di punti separati, ognuno del proprio poligono.

La modalità **Move point** si attiva con il pulsante . Sposta un punto del poligono: clic sinistro per sceglierlo, clic destro per fissare la nuova posizione. Se le facce si intersecano, il punto torna alla posizione originale. I punti sui bordi del modello si spostano solo lungo quei bordi.

Finestra dei parametri del poligono

Si apre con un doppio clic sul poligono.

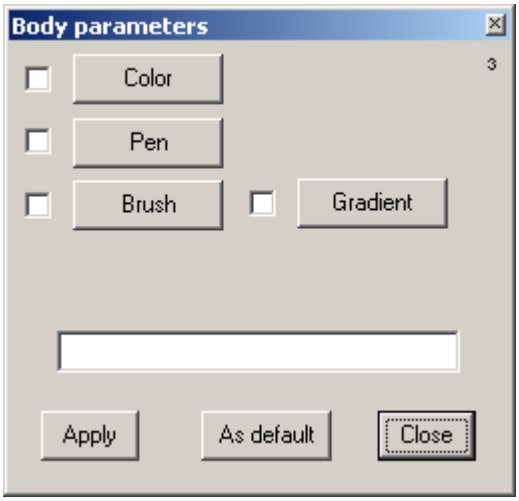


Fig. 11 Finestra dei parametri del poligono

Color — colore di riempimento; se la casella è attiva, si applica a tutti i poligoni.

Pen — parametri del bordo; se attiva, si applicano a tutti i poligoni.

Brush — parametri del riempimento; se attiva, si applicano a tutti i poligoni.

Gradient — riempimento sfumato.

Il testo del campo inferiore viene mostrato sul poligono.

Pulsanti di creazione e modifica delle linee:

- — Aggiungi linea
- — Sposta nodo
- — Elimina nodo

-  — Aggiungi nodo
-  — Elimina linea
-  — Crea un poligono da due linee
-  — Crea un poligono da due linee
-  — Sposta linea
-  — Salva linea

Il menu **Options** di **Geological editor** contiene:

Automatic scaling — scala automatica

Model setup — finestra di impostazione dell'area del modello

Load borehole data — carica i dati litologici

Remove borehole data — rimuovi i dati litologici

Output settings — parametri dell'immagine esportata

Export to DXF — esporta il modello in DXF.

Lavoro con dati areali e visualizzazione 3D

Per definire le linee di profilo scegliere nel menu principale **Options/Set lines survey**. Compare la finestra **Line settings** (Fig. 12) con le posizioni di misura dell'area.

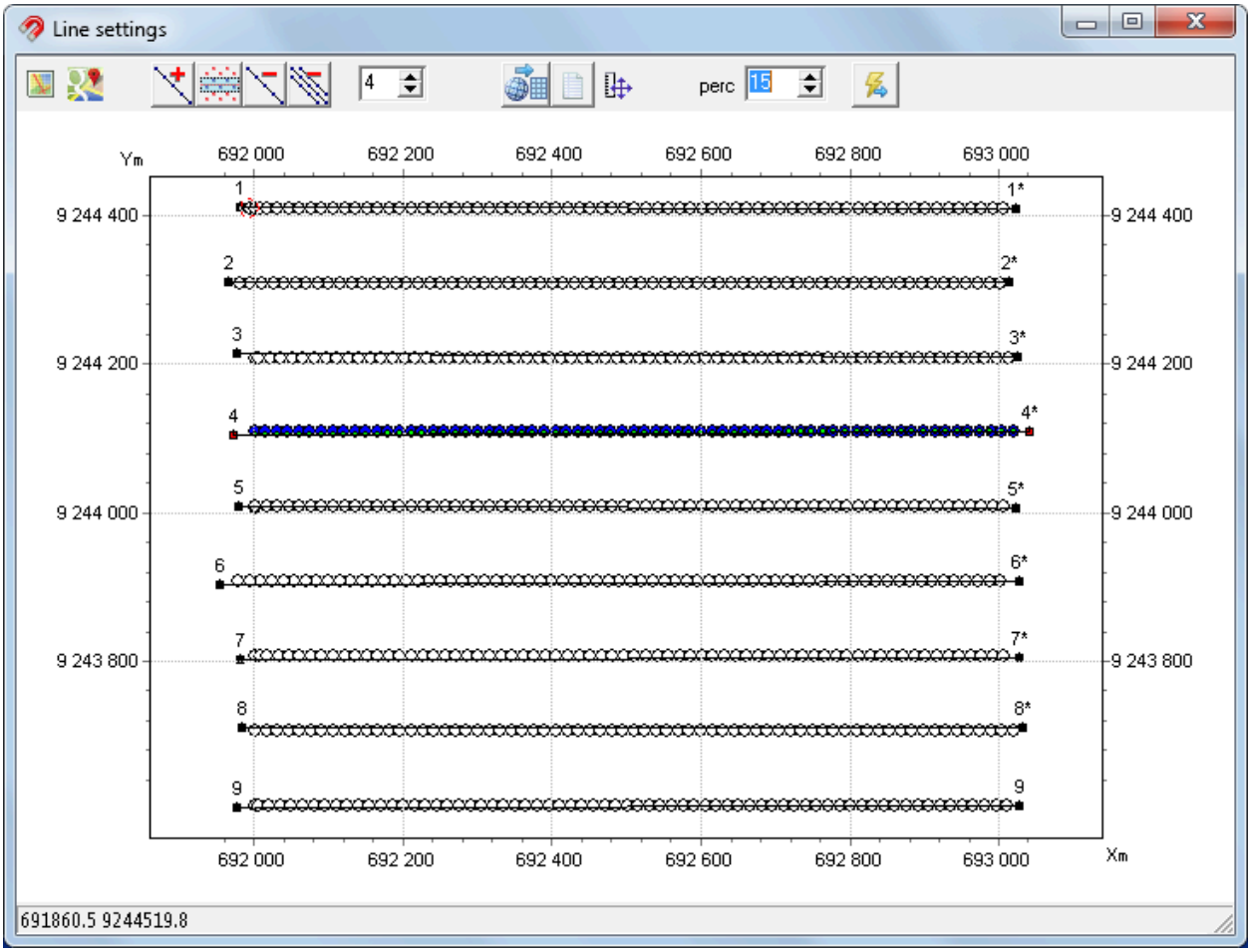


Fig. 12 Finestra Line settings per il lavoro con dati areali

Il pannello principale contiene le seguenti funzioni:

- — **Map -** carica e mostra una mappa raster

  Topography - mostra le isolinee del rilievo

  Gravity - mostra le isolinee del campo gravimetrico misurato

  Magnetic - mostra le isolinee del campo magnetico misurato
- — Carica mappa Google
- — Aggiungi linea di profilo. Clic sinistro per i punti della linea, clic destro per l'ultimo punto
- — Elimina tutti i profili.
- — Includi automaticamente i punti di misura nel profilo: i punti in un'area rettangolare attorno alla linea.
- — Elimina il profilo corrente
- — Converti coordinate geografiche in rettangolari. Se il file contiene coordinate geografiche (latitudine e longitudine), vanno convertite con questo pulsante.
- — Imposta coordinate in tabella

-  — Scala uguale sugli assi o massimo riempimento della finestra.
- **perc** — Dimensione dell'area di selezione automatica dei punti del profilo
-  — Passa alla modalità di inversione per il sistema di profili selezionato

Il programma permette di definire più profili contemporaneamente. Dopo aver definito un profilo e selezionato i punti, i punti inclusi sono mostrati in blu. Un punto si esclude o include con clic sinistro. Se la linea non passa per i punti, la proiezione del punto sul profilo è mostrata in verde.

Per vedere e modificare le coordinate di un punto, fare clic destro su di esso; compare una finestra con le coordinate modificabili.

Dopo aver definito i profili premere il pulsante della modalità di interpretazione; compare la finestra principale. Per cambiare profilo usare la finestra **Active line index**  sulla barra degli strumenti principale.

L'opzione **Graphics map** (Fig. 13) mostra in pianta i grafici del parametro scelto (campo magnetico o gravimetrico) per tutti i profili. Per cambiare scala fare clic sinistro nell'area dei grafici e usare la rotellina. Nella legenda a destra si attiva o disattiva ogni profilo. Shift + clic sinistro sulla legenda lascia visibile un solo grafico; la rotellina passa agli altri. Per impostare gli assi fare clic destro tenendo premuto Shift (vedi Editor degli assi).

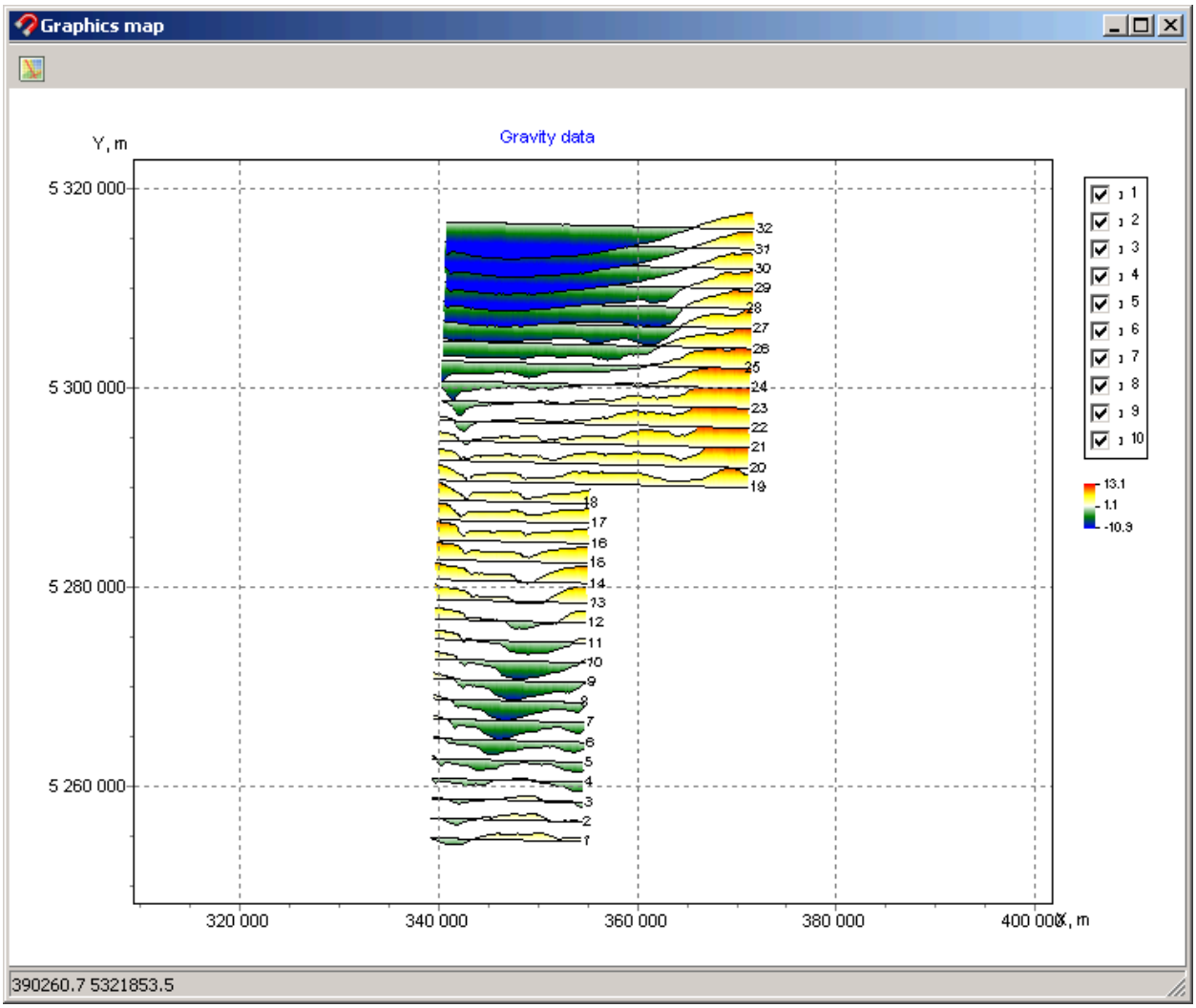


Fig. 13 Finestra **Graphics map**

Opzione **3D sections plot (Options/Modules/3D sections plot)**

Serve per la visualizzazione 3D dei risultati dell'interpretazione dei profili. Compare la finestra **3D sections viewer**, la cui barra degli strumenti contiene:

-  — Mostra come modello a blocchi
-  — Mostra come modello a strati orizzontali
-  — Mostra nella modalità di modellazione poligonale
-  — Anteprima di stampa
-  — Finestra dei parametri del modello 3D
-  — Impostazione degli assi (vedi Editor degli assi)
-  — Ruota il modello 3D
-  — Mostra un piano orizzontale. La profondità del piano sotto la superficie si indica in chilometri nella finestra a destra .
-  — Stessa scala su tutti gli assi. La finestra che compare permette di impostare il rapporto di scala di ogni asse.
-  — Tipo di dati visualizzati.

La finestra **3D section viewer** ha tre schede:

La scheda **Lines** (Fig. 14) permette di modificare le coordinate di inizio e fine dei profili e scegliere quelli mostrati nel modello 3D. A sinistra c'è una tabella con nomi e coordinate degli estremi; per mostrare un profilo spuntare l'ultima colonna (V - visible). A destra è mostrata la pianta dei profili; il profilo attivo è in rosso. Le proprietà degli assi si modificano con clic destro e Shift o con il pulsante  (vedi Editor degli assi).

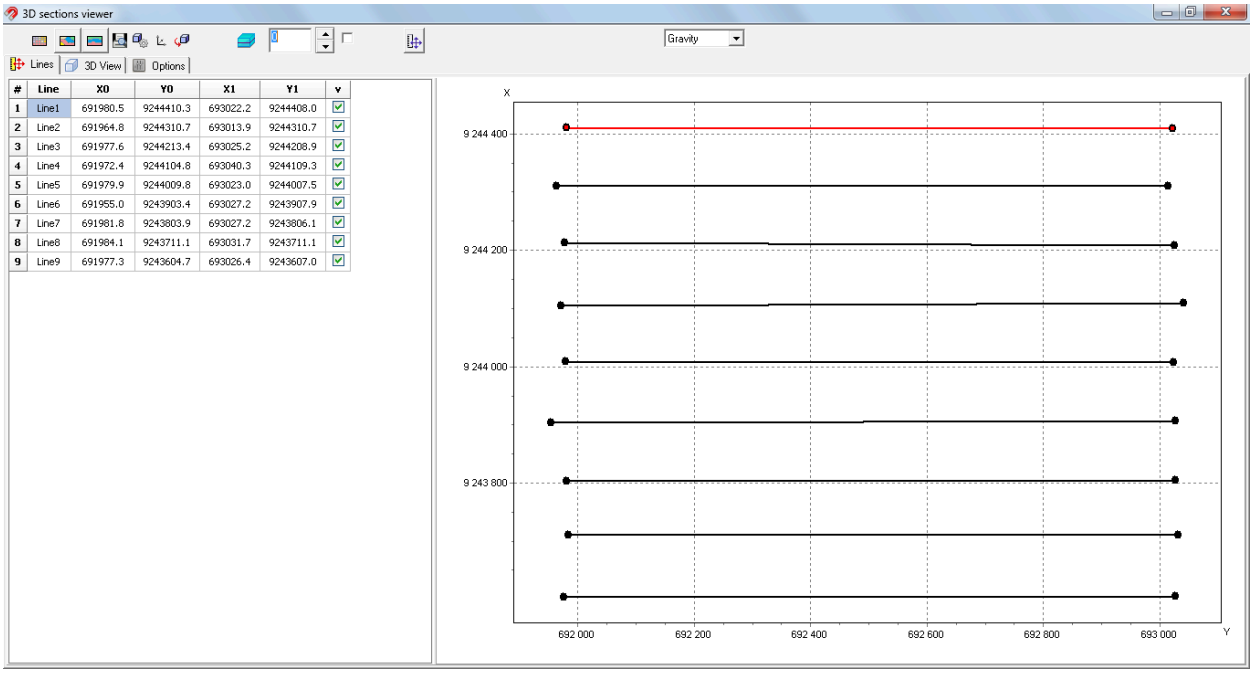


Fig. 14 Finestra **3D section viewer**, scheda **Lines**.

La scheda **3D view** (Fig. 15) serve per vedere i modelli 3D.

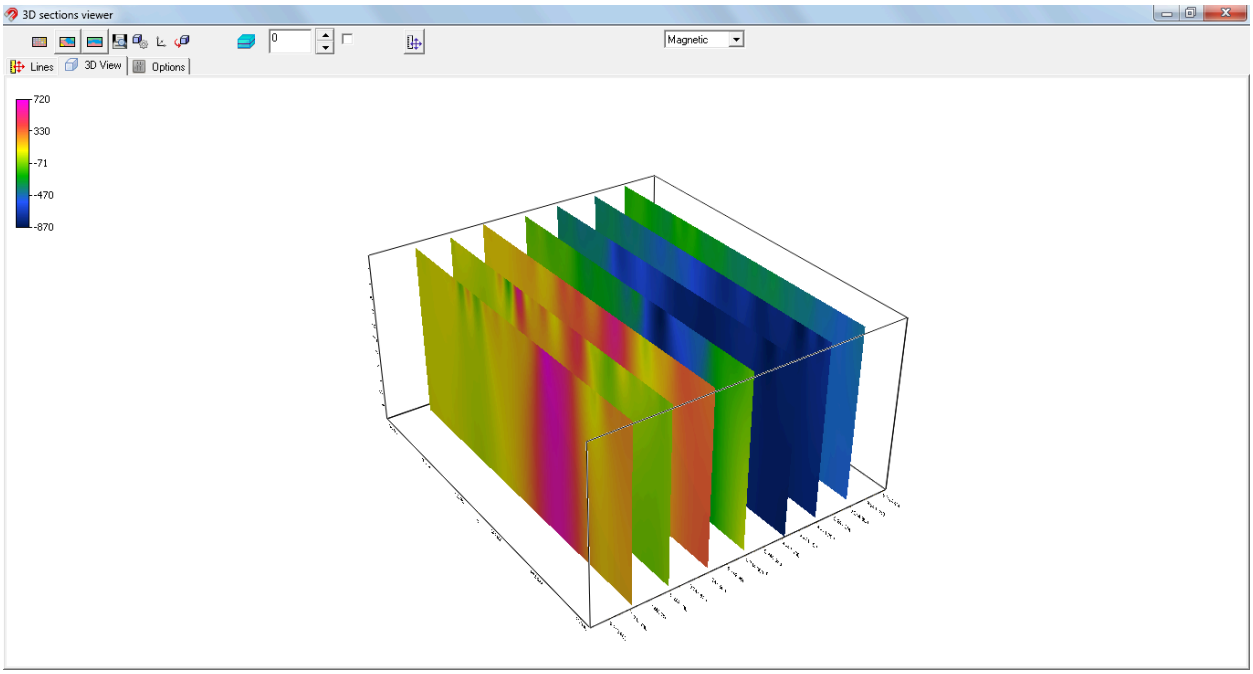


Fig. 15 Finestra **3D section viewer**, scheda **3D view**

La scheda **Options** (Fig. 16) regola l'immagine.

L'area *Color scale* definisce il riempimento; il pulsante **Palette** apre la finestra di riempimento. L'area *Color scale limits* permette di impostare manualmente minimo e massimo della scala dei colori o di scegliere la modalità automatica con la casella corrispondente.

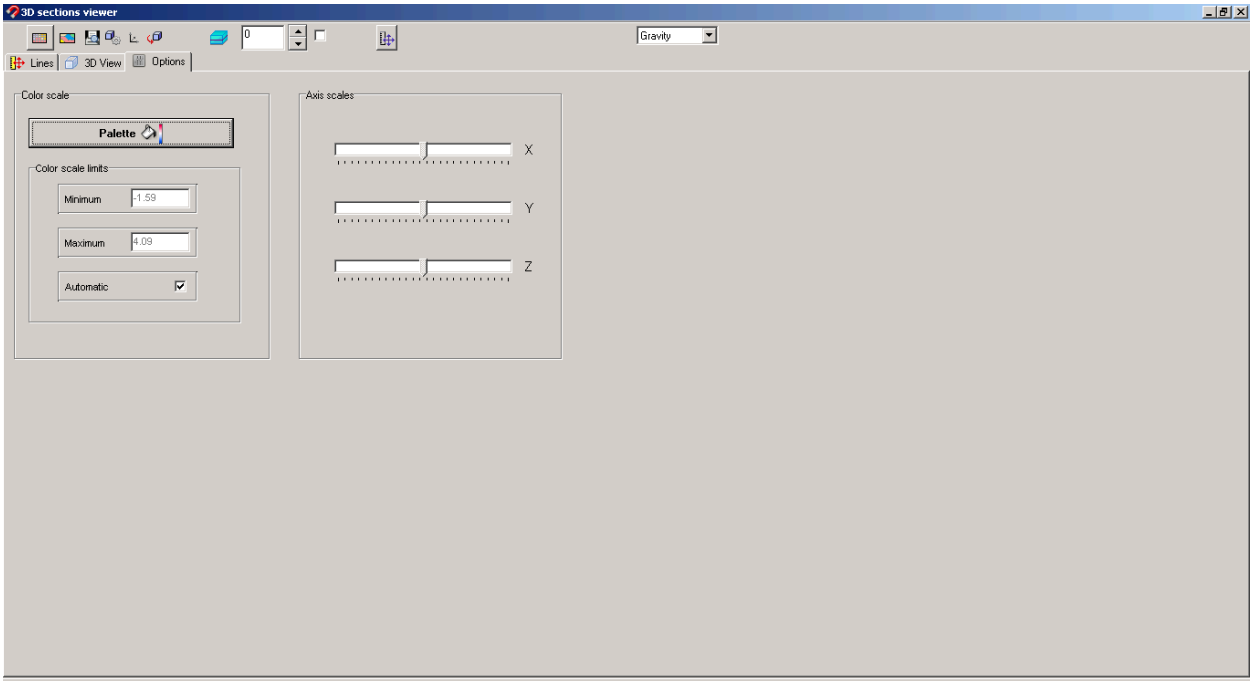


Fig. 16 Finestra **3D section viewer**, scheda **Options**

L'area *Axis scales* imposta la scala degli assi; si applica solo mentre è premuto il pulsante .

Informazioni a priori

Le informazioni a priori (dati di pozzo) permettono risultati di inversione più affidabili. ZONDGM2D ha un modulo integrato che mostra graficamente i dati a priori sulle sezioni.

Creazione e caricamento del file litologico

Per creare un file stratigrafico scegliere **Options/Boreholes/Edit borehole data**. Compare la finestra **Add borehole data** (Fig. 17).

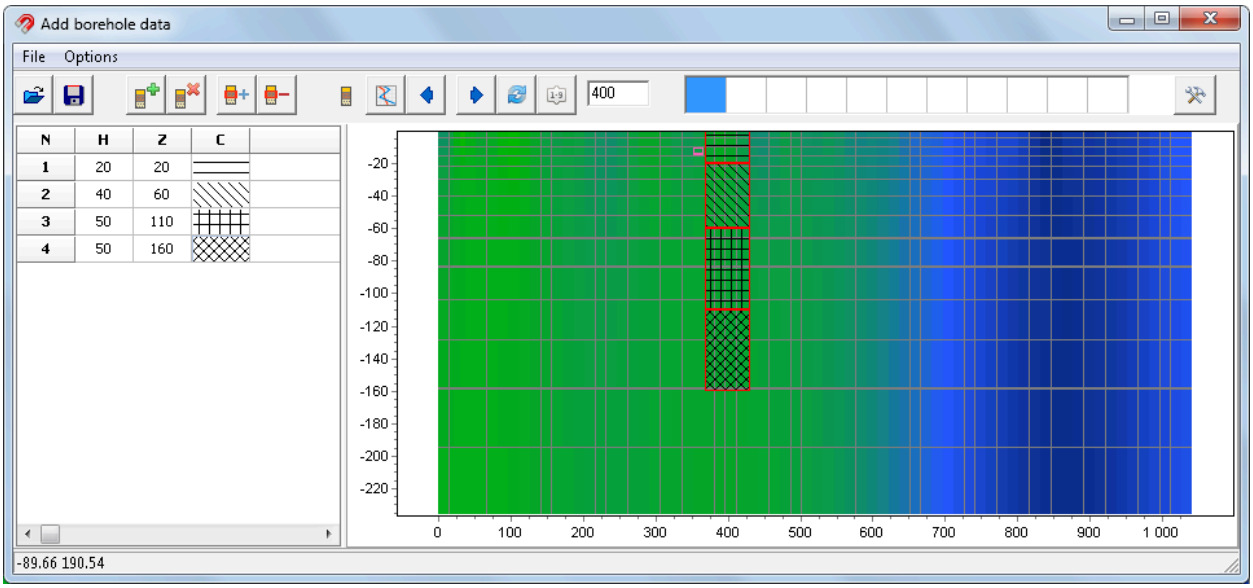


Fig. 17 Finestra di creazione del file litologico **Add borehole data**.

La barra degli strumenti contiene:

-  — Apri file litologico
-  — Salva file litologico
-  — Crea un nuovo pozzo
-  — Elimina pozzo
-  — Aggiungi strato al pozzo
-  — Elimina strato dal pozzo
-  — Modalità colonna litologica
-  — Modalità dati di log
-  — Pozzo precedente
-  — Pozzo successivo
-  — Aggiorna la finestra dei dati
-  — Ordina i pozzi per coordinata
-  — Colore di sfondo della finestra dei pozzi (rosso nell’esempio).
-  — Opzioni aggiuntive

Sul pannello principale si trovano le finestre della coordinata orizzontale (distanza dall’inizio del profilo), **horizontal position**, e della quota, **Position from surface**, in metri. I quadrati vuoti servono a creare un insieme di riempimenti.

Il modulo ha due finestre principali. A sinistra **Data window**, con una tabella a colonne: N - numero dello strato, H - spessore in metri, Z - profondità della base in metri, C - tipo di riempimento. A destra i dati del pozzo sono mostrati graficamente.

Per iniziare premere ; compare una nuova tabella in **Data Window**. Per aggiungere strati premere . Poi modificare la tabella: spessore o profondità della base di ogni strato e tipo di riempimento secondo la litologia. L’editor dei riempimenti Pattern Color Editor si apre con doppio clic nella colonna C (Fig. 18). Il programma offre un’ampia varietà di riempimenti litologici; l’opzione Color sceglie il colore.

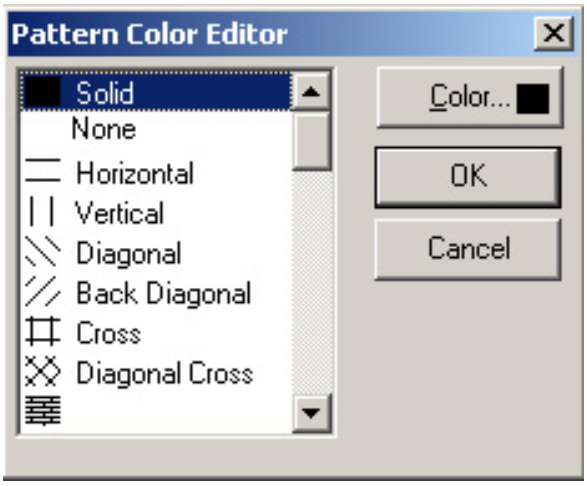


Fig. 18 Finestra dell'editor dei riempimenti

Al termine premere  e il pozzo compare nella finestra grafica. Poi indicare le coordinate orizzontale e verticale sulla barra degli strumenti; il pozzo viene disegnato di conseguenza. Il pozzo attivo è mostrato in rosso.

Per lavorare con molti pozzi si può creare una tavolozza: scegliere un riempimento nella colonna dei riempimenti di **Data window** e fare clic destro nell'area dei riempimenti del pannello principale. L'insieme si salva con  - **Save default palette** e si usa nei nuovi file di litologia e log ( - **Load default palette**).

L'opzione **Set percent** (pulsante ) cambia la scala dei dati di pozzo nel grafico.

Al salvataggio si creano diversi file ausiliari: ***.crt** - progetto del modulo caricabile in ZONDGM2D, e un ***.txt** per ogni pozzo, con nome secondo le coordinate orizzontale e verticale. Il formato è descritto nella sezione del file litologico.

Per caricare i dati di pozzo usare **Options/Borehole/Load borehole data**. I dati si mostrano sulla sezione del modello e nell'editor del modello (Fig. 19).

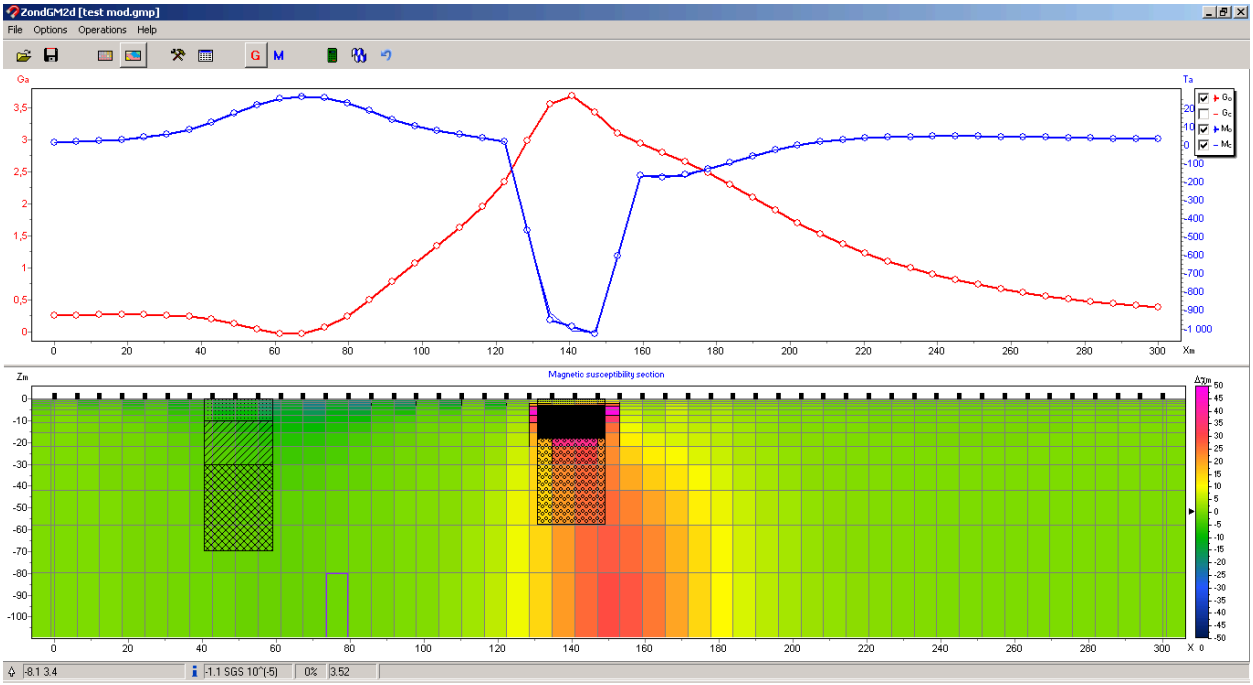


Fig. 19 Dati litologici sulla sezione dell'editor.

Per caricare i log di pozzo preparare un file nel formato descritto in «Formato del file di log e litologia» e caricarlo con il pulsante .

Limiti geologici (finestra Set boundaries)

La finestra **Set boundaries** si trova nel menu **Options/Advancied** e permette di considerare informazioni geologiche a priori nell'inversione. Contiene i pulsanti:

-  — Attiva/disattiva la modalità di modifica dei limiti
-  — Aggiungi un nuovo limite
-  — Elimina tutti i limiti
-  — Salva i limiti su file
-  — Carica i limiti da file

Includere limiti geologici a priori nell'inversione è uno dei metodi più importanti per migliorare l'interpretazione: aumenta la stabilità, riduce l'ambiguità e dà strutture più plausibili. Nelle zone del modello con sensibilità molto bassa è praticamente l'unico modo per ottenere un risultato accettabile.

Con i limiti è preferibile l'algoritmo Occam. Di solito si usano 1-2 limiti; i limiti geologici non coincidono sempre con quelli petrofisici.

I limiti sulla sezione di densità o di suscettività magnetica vanno tracciati secondo i dati di pozzo o le informazioni a priori sulla struttura. Con la modalità di modifica attiva, il clic sinistro aggiunge nodi e il clic destro chiude il limite. Usare pochi nodi; è opportuno che i limiti siano regolari e passino vicino ai nodi della griglia di inversione.

Dopo aver creato i limiti ripetere l'inversione, che verrà calcolata con essi (Fig. 20 B).

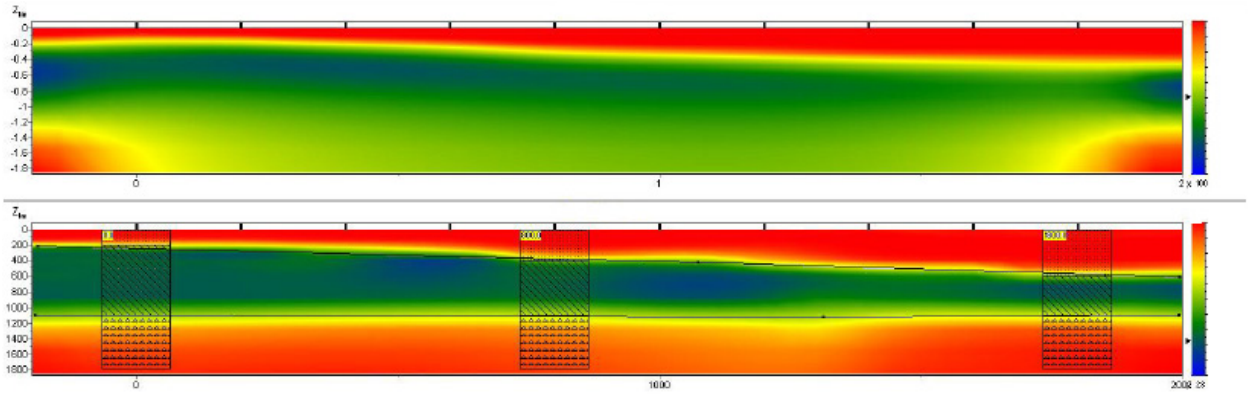


Fig. 20 Esempio di sezione di inversione senza (A) e con (B) limiti geologici.

CONFIGURAZIONE DELL'INTERFACCIA

Impostazione della tavolozza

La finestra definisce la tavolozza degli oggetti del programma e si apre con il pulsante **Palette** (Fig. 21). Permette di scegliere una delle tavolozze predefinite (arcobaleno diretto e inverso, scala di grigi, ecc.) o di creare una scala propria. Per aggiungere un cursore sulla scala fare clic destro tenendo premuto Ctrl; per eliminarlo premere Delete. La tavolozza personalizzata si salva con il pulsante  e si carica con .

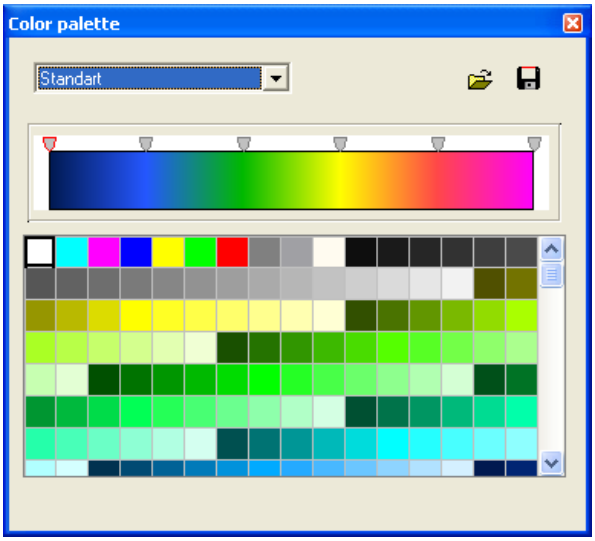


Fig. 21 Finestra di impostazione della tavolozza.

Editor degli assi

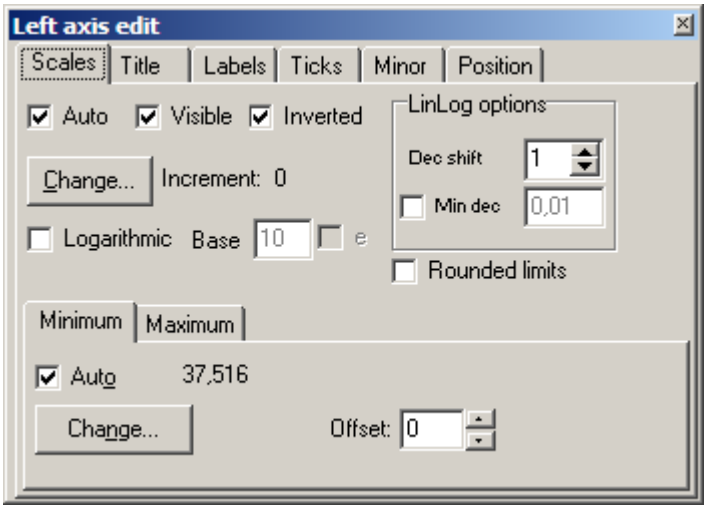


Fig. 22 Finestra dell'editor degli assi

L'editor regola i parametri grafici e di scala degli assi. Si apre con clic destro sull'asse tenendo premuto SHIFT. Compare un menu con due voci (**Options** e **Default**): la prima apre la finestra, la seconda ripristina i valori predefiniti.

La prima scheda della finestra, **Scales**, contiene i parametri di scala dell'asse.

L’opzione **Auto** definisce come si scelgono minimo e massimo dell’asse. Se attiva, i limiti si impostano automaticamente; altrimenti si usano i valori Minimum e Maximum dell’utente.

L’opzione **Visible** mostra o nasconde l’asse.

L’opzione **Inverted** definisce l’orientamento dell’asse.

Il pulsante **Increment change** apre la finestra del passo delle etichette.

L’opzione **Logarithmic** sceglie la scala logaritmica o lineare. Per dati che cambiano segno usare anche le opzioni del campo **LinLog options**.

L’opzione **Base** imposta la base del logaritmo dell’asse logaritmico.

Il campo **LinLog options** contiene le impostazioni dell’asse lineare-logaritmico, che permette di rappresentare in scala logaritmica dati che cambiano segno o contengono zeri.

L’opzione **Dec Shift** imposta lo scostamento (in decadi logaritmiche) rispetto al limite massimo dell’asse in modulo verso zero. La decade minima (prima dello zero) ha scala lineare, le altre logaritmica.

L’opzione **Min dec** fissa il valore della decade minima (prima dello zero) se attiva.

L’opzione **Rounded limits** definisce se arrotondare minimo e massimo dell’asse.

I campi **Minimum** e **Maximum** regolano i limiti dell’asse.

L’opzione **Auto** definisce se il limite si sceglie automaticamente o con il pulsante **Change**.

L’opzione **Offset** imposta lo spostamento del limite in percentuale del valore attuale.

La scheda **Title** regola il titolo dell’asse.

Scheda **Style**:

L’opzione **Title** imposta il testo del titolo.

L’opzione **Angle** imposta l’angolo di rotazione del titolo.

L’opzione **Size** imposta la distanza del titolo; con 0 si sceglie automaticamente.

L’opzione **Visible** mostra o nasconde il titolo.

Scheda **Text**:

Il pulsante **Font** apre la finestra del carattere del titolo.

Il pulsante **Outline** apre la finestra del contorno delle lettere.

L’opzione **Inter-char spacing** imposta la spaziatura tra le lettere.

Il pulsante **Gradient** apre la finestra del riempimento sfumato del testo.

L’opzione **Outline gradient** indica se la sfumatura si applica al contorno o all’interno delle lettere.

Il pulsante **Shadow** apre la finestra dell’ombra del titolo.

La scheda **Labels** regola le etichette dell’asse.

Scheda **Style**:

L’opzione **Visible** mostra o nasconde le etichette.

L’opzione **Multiline** permette etichette su più righe.

L’opzione **Round first** arrotonda la prima etichetta.

L’opzione **Label on axis** nasconde le etichette che escono dall’asse.

L’opzione **Alternate** dispone le etichette su due righe.

L’opzione **Size** imposta la distanza delle etichette; con 0 si sceglie automaticamente.

L’opzione **Angle** imposta l’angolo di rotazione delle etichette.

L’opzione **Min separation %** imposta la distanza minima tra le etichette in percentuale.

Scheda **Text**:

Il pulsante **Font** apre la finestra del carattere delle etichette.

Il pulsante **Outline** apre la finestra del contorno delle lettere.

L’opzione **Inter-char spacing** imposta la spaziatura tra le lettere.

Il pulsante **Gradient** apre la finestra del riempimento sfumato delle etichette.

L’opzione **Outline gradient** indica se la sfumatura si applica al contorno o all’interno delle lettere.

Il pulsante **Shadow** apre la finestra dell’ombra delle etichette.

La scheda **Ticks** regola le tacche principali dell’asse.

Il pulsante **Axis** apre la finestra della linea dell’asse.

Il pulsante **Grid** apre la finestra della griglia delle tacche principali.

Il pulsante **Ticks** apre la finestra delle tacche principali esterne; l’opzione **Len** ne imposta la lunghezza.

Il pulsante **Inner** apre la finestra delle tacche principali interne; l’opzione **Len** ne imposta la lunghezza.

L’opzione **Centered** centra la griglia delle tacche.

L’opzione **At labels only** mostra le tacche principali solo dove ci sono etichette.

La scheda **Minor** regola le tacche intermedie.

Il pulsante **Grid** apre la finestra della griglia delle tacche intermedie.

Il pulsante **Ticks** apre la finestra delle tacche intermedie esterne; l’opzione **Length** ne imposta la lunghezza.

Il pulsante **Minor** apre la finestra delle tacche intermedie interne; l’opzione **Len** ne imposta la lunghezza.

L’opzione **Count** imposta il numero di tacche intermedie tra quelle principali.

La scheda **Position** definisce dimensione e posizione dell’asse.

L’opzione **Position %** imposta lo spostamento dell’asse rispetto alla posizione standard (in percentuale della dimensione del grafico o in unità di schermo secondo l’opzione Units).

L’opzione **Start %** imposta lo spostamento dell’inizio dell’asse (in percentuale della dimensione del grafico).

L’opzione **End %** imposta lo spostamento della fine dell’asse (in percentuale della dimensione del grafico).

Editor dei grafici

L’editor dei grafici ne regola l’aspetto. Si apre con clic destro sul grafico tenendo premuto SHIFT. Compare un menu con due voci (**Options** e **Default**): la prima apre la finestra, la

seconda ripristina i valori predefiniti.

La scheda **Format** contiene le impostazioni della linea di collegamento.

Il pulsante **Border** apre la finestra dei parametri della linea.

Il pulsante **Color** apre la finestra del colore.

Il pulsante **Pattern** apre la finestra del motivo.

Il pulsante **Outline** apre la finestra della linea di collegamento del grafico.

Il pulsante **Shadow** apre la finestra delle ombre.

La scheda **Point** contiene le impostazioni dei punti.

L'opzione **Visible** mostra o nasconde i punti.

L'opzione **Style** imposta la forma del punto.

L'opzione **Width** imposta la larghezza del punto in unità di schermo.

L'opzione **Height** imposta l'altezza del punto in unità di schermo.

L'opzione **Inflate margins** definisce se la dimensione dell'immagine si ingrandisce secondo la dimensione dei punti.

Il pulsante **Pattern** apre la finestra del riempimento del punto.

Il pulsante **Border** apre la finestra del contorno del punto.

Il pulsante **Gradient** apre la finestra del riempimento sfumato del punto.

La scheda **Marks** contiene le impostazioni delle etichette dei punti.

Scheda **Style**.

L'opzione **Visible** mostra o nasconde le etichette.

L'opzione **Draw every** disegna un'etichetta ogni due, tre, ecc. secondo il valore scelto.

L'opzione **Angle** imposta l'angolo di rotazione delle etichette.

L'opzione **Clipped** definisce se disegnare un'etichetta che si trova fuori dai bordi del grafico.

La scheda **Arrows** regola la freccia dall'etichetta al punto.

Il pulsante **Border** apre la finestra della linea della freccia.

Il pulsante **Pointer** apre la finestra della forma della punta (opzioni della scheda Point).

L'opzione **Length** imposta la lunghezza della freccia.

L'opzione **Distance** imposta la distanza tra la punta e il punto.

L'opzione **Arrow head** imposta il tipo di punta: **None** — quella definita con **Pointer**; **Line** — punta classica sottile; **Solid** — punta classica spessa.

L'opzione **Size** imposta la dimensione della punta classica.

La scheda **Format** contiene le impostazioni della cornice dell'etichetta.

Il pulsante **Color** apre la finestra del colore di sfondo della cornice.

Il pulsante **Frame** apre la finestra della linea della cornice.

Il pulsante **Pattern** apre la finestra dello sfondo.

L'opzione **Bevel** imposta il tipo di cornice: normale, in rilievo o incassata.

L'opzione **Size** imposta il grado di rilievo o incasso.

L’opzione **Size** permette di arrotondare gli angoli della cornice.

Le opzioni **Transparent** e **Transparency** impostano il grado di trasparenza della cornice.

Scheda **Text**:

Il pulsante **Font** apre la finestra del carattere delle etichette.

Il pulsante **Outline** apre la finestra del contorno delle lettere.

L’opzione **Inter-char spacing** imposta la spaziatura tra le lettere.

Il pulsante **Gradient** apre la finestra del riempimento sfumato del testo.

L’opzione **Outline gradient** indica se la sfumatura si applica al contorno o all’interno delle lettere.

Il pulsante **Shadow** apre la finestra dell’ombra del testo.

Finestra di anteprima di stampa

La finestra si apre dal menu principale Options/Print preview o con doppio clic su qualsiasi oggetto del programma.

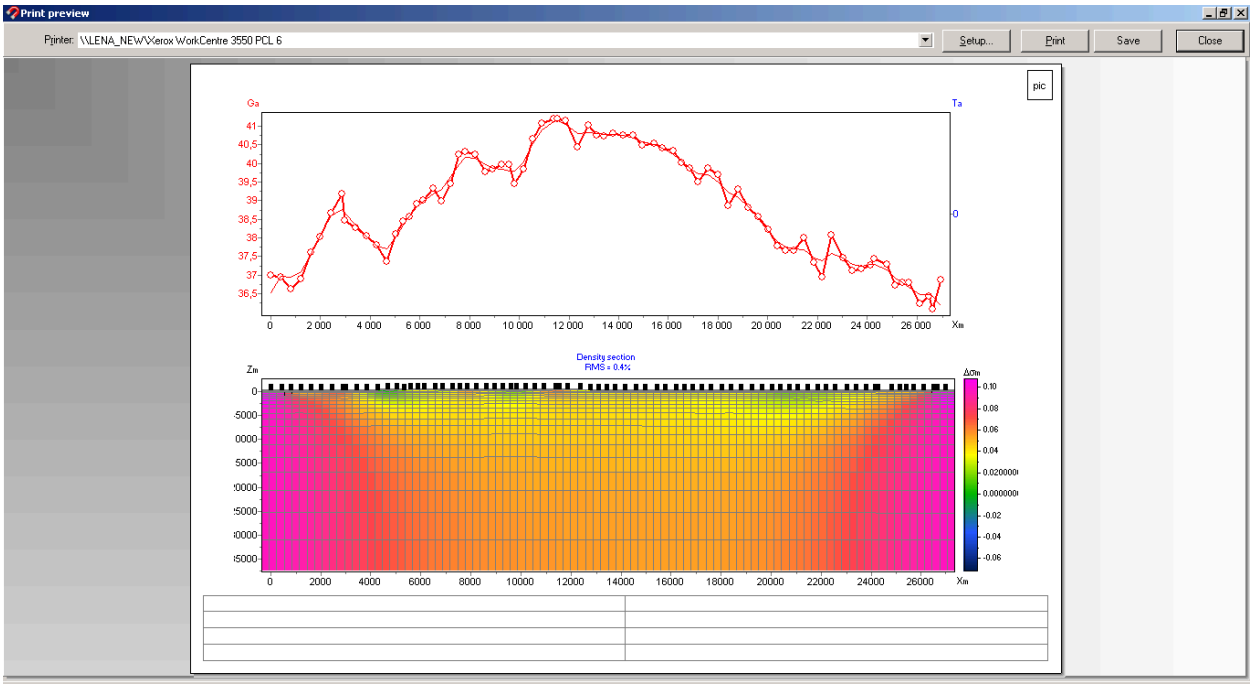


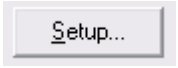
Fig. 23 Finestra **Print preview**

Per spostare un oggetto sul foglio usare il pulsante sinistro del mouse.

Il menu principale della finestra **Print Preview** contiene i pulsanti:



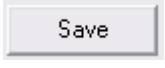
- Scelta della stampante tra quelle configurate.



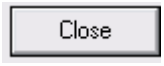
- Impostazioni di stampa: formato e orientamento del foglio, proprietà di stampa, pagine per foglio e altri parametri.



- Invia la figura in stampa.



- Salva in file bitmap.



- Chiude la finestra Print preview.

I quadrati in alto sul foglio servono per timbri, sigilli o loghi aziendali. Fare clic destro sul quadrato e scegliere l’immagine raster da inserire. La dimensione si cambia con il mouse.

In basso sul foglio c’è una tabella modificabile. Per aggiungere testo fare clic destro nella tabella e scrivere il testo nella finestra. I commenti si salvano su file con il pulsante  e si caricano con .

Formato dei file di dati

Formato del file di dati

Il programma usa un formato universale con coordinate e quote dei punti di misura. Tutte le grandezze geometriche sono in metri.

Formato dei dati del programma ZondGM.

Il file di testo contiene le colonne:

prpos - posizione del punto di misura sul profilo

LATITUDE - latitudine

LONGITUDE - longitudine

z - quota

GRAV - valore misurato del campo gravimetrico (in mGal)

MAG - valore misurato del campo magnetico (in nT)

Esempio di file di dati:

prpos LATITUDE LONGITUDE z GRAV

479 -3.49.38.31598 -40.49.47.04385 156.645 977996.7625

478 -3.50.14.23385 -40.49.34.86847 176.749 977993.118

477 -3.50.41.81796 -40.49.12.96376 158.598 977996.16

476 -3.50.56.86075 -40.48.43.78614 153.596 977995.8746

475 -3.51.29.57703 -40.48.33.59533 163.494 977992.9616

474 -3.51.34.51079 -40.47.58.78146 150.784 977994.8251

473 -3.51.57.72425 -40.47.37.80829 173.923 977989.1426

472 -3.52.13.61573 -40.47.09.33508 151.016 977993.4726

471 -3.52.13.05078 -40.46.50.40375 164.658 977990.0839

470 -3.52.27.34988 -40.46.39.50728 170.948 977988.923

469 -3.52.44.12399 -40.46.27.26992 154.136 977992.3446

468 -3.52.54.85479 -40.46.09.14952 161.646 977990.9782

467 -3.53.10.34938 -40.45.59.98908 162.519 977990.9039

466 -3.53.27.27992 -40.46.01.57194 168.091 977990.0246

465 -3.53.45.00000 -40.46.02.08070 172.989 977989.2686

464 -3.53.50.90568 -40.45.46.82738 175.239 977988.88

Formato del file di log e litologia

Per creare un file litologico si consiglia il modulo integrato di ZONDGM2D. I log e la colonna litologica si salvano in file di formato specifico. Il primo tipo ha estensione txt e contiene log

o litologia. Struttura del file di log:

La prima colonna è la profondità del punto (dalla superficie), la seconda il valore del log. La terza e la quarta si riempiono con zeri.

Esempio di file di log:

0.5 118.3035394 0 0

1 126.9002384 0 0

1.5 123.4170888 0 0

2 116.1519574 0 0

2.5 117.240884 0 0

3 111.9424174 0 0

3.5 142.0405875 0 0

4 125.3686538 0 0

4.5 521.0730567 0 0

5 735.5232592 0 0

5.5 707.7315998 0 0

6 706.3561614 0 0

6.5 725.9945623 0 0

7 722.433627 0 0

7.5 717.0991126 0 0

8 716.9836552 0 0

8.5 725.5024012 0 0

9 722.3551713 0 0

9.5 731.5717173 0 0

10 723.5097884 0 0

10.5 726.8844987 0 0

11 725.962034 0 0

11.5 743.2485878 0 0

12 726.4061156 0 0

12.5 734.399887 0 0

13 727.9166309 0 0

13.5 116.1921851 0 0

14 517.9613065 0 0

14.5 125.3706264 0 0

15 111.2952478 0 0

15.5 131.911879 0 0

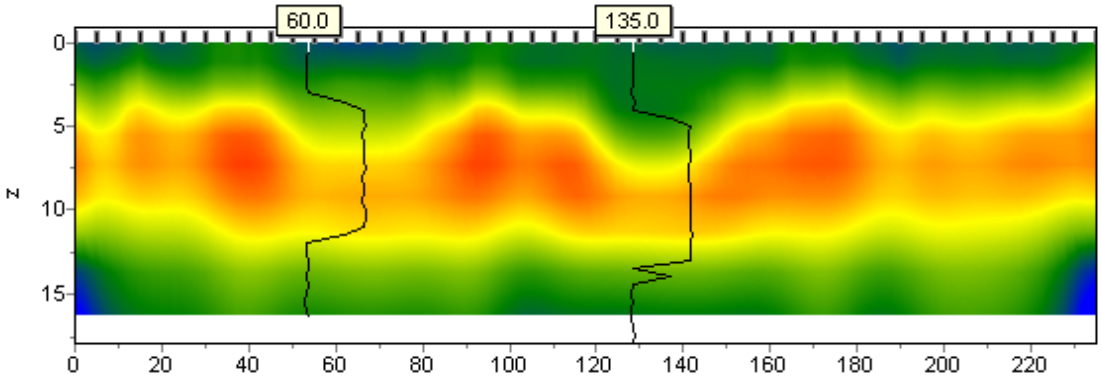
16 107.9217309 0 0

16.5 114.9327361 0 0

17 134.0939196 0 0

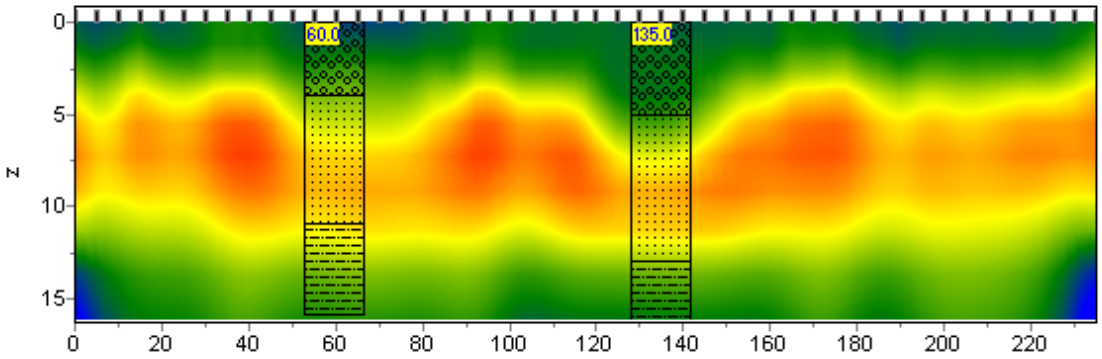
17.5 138.4457143 0 0

18 129.1165104 0 0

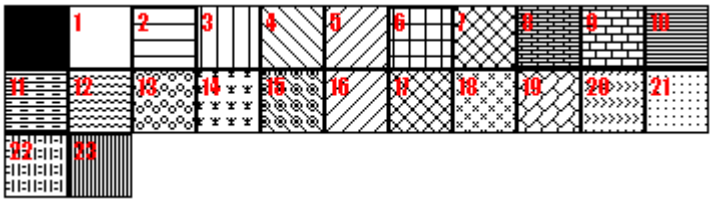


Struttura del file litologico:

La prima colonna è la profondità (dalla superficie) dell'orizzonte litologico. La seconda si riempie con zeri. La terza è il colore dello strato nella scala litologica, la quarta il tipo di motivo.



I primi 23 motivi per la colonna litologica:



Esempio di file litologico:

0 1 0 13 Tetto dello strato 1

4 1 0 13 Base dello strato 1

4 1 0 19 Tetto dello strato 2

11 1 0 19 Base dello strato 2

11 1 0 27 Tetto dello strato 3

16 1 0 27 Base dello strato 3

Il secondo tipo ha estensione *.crt: sono file di controllo che indicano il tipo di dati e il modo di visualizzazione. Di seguito la struttura del CRT per visualizzare litologia e log di un numero

qualsiasi di pozzi.

2280.txt Prima riga — nome del file di log o litologia

brhl2280 Seconda riga — nome del pozzo (mostrato sul pozzo)

18 2 2 1 0 1 0 0 Terza riga — parametri di controllo:

18 — coordinata del pozzo sul profilo.

2 — larghezza dell’immagine (in percentuale della lunghezza del profilo, di solito 1 - 20).

2 — tipo di visualizzazione 0 - 3.

0 - log (come grafico);

1 - log (colonna di colore interpolata), con la scala dei colori della sezione;

2 - colonna litologica;

3 - log (colonna di colore), i colori corrispondono alla scala dei colori del modello;

1 — parametro di normalizzazione dei log 0 - 2.

0,1 — stesso minimo e massimo per tutti i dati;

1,2 - si sottrae il valore medio da ogni log;

0 - indice del metodo di log (se si mostrano più metodi, vanno indicati gli indici di tutti)

0 — n-1, dove n è il numero di metodi.

1 — colore del grafico.

0 — scala dei dati logaritmica 0 o lineare 1.

0 — spostamento verticale del pozzo rispetto alla superficie.

3246.txt Descrizione del pozzo successivo sul profilo

brhl3246

102 2 2 1 0 1 0 0

VERIFICA E ACCELERAZIONE DEI MODULI (VERSIONE 2026)

Sono stati verificati tutti i moduli del progetto, escluse le librerie standard. Le accelerazioni sono state fatte dove semplici e senza cambiare l'algoritmo. Di seguito le modifiche che riguardano l'utente.

Sezione	Modifica	Effetto
Prodotto matrice-vettore nell'inversione (RES2dFEM)	Passaggio fuso senza array temporanei	196 → 118 ms
Inversione congiunta	Lo stesso per due modelli	405 → 234 ms
Scelta dello smorzamento	Soluzioni approssimate nella scansione, esatta per il valore scelto	Scansione alcune volte più rapida
Problema diretto con matrice in cache	Ciclo esterno sulle celle, lettura contigua delle righe	Meno cache miss
Campo magnetico del modello a griglia (magmcore)	Normali degli spigoli per cella, arctan2, lista dei punti costruita una volta	1,27 volte più veloce
Campo di un modello stratificato arbitrario	Gauss–Legendre a 8 punti e campo lontano	314 → 13 ms (24×)
Smoothing dei dati	Approssimazione quadratica locale come in ZondGM3D	Tempo lineare, parallelo
Deconvoluzione di Euler	Contorno del modello e array delle finestre costruiti una volta	Più rapida su profili lunghi
Derivate del campo	Si calcolano solo le righe usate del sistema	Meno lavoro per chiamata
Ordinamento	Bubble sort sostituito da quicksort	O(n log n) invece di $O(n^2)$
Poligoni	Divisione in parti con ricerca in ampiezza	$O(n^2)$ invece di $O(n^4)$

Principali errori corretti:

- lo strato equivalente in modalità gravimetrica applicava il nucleo gravimetrico ai valori magnetici;
- nel calcolo delle derivate, le stazioni gravimetriche di altri tipi causavano un accesso fuori dall'array;
- nella deconvoluzione di Euler l'indice automatico era sempre 5;
- nello strato equivalente RTP lo scarto veniva scritto nella stazione sbagliata e il controllo dei pozzi usava il numero di linea come numero di stazione;

- lo stabilizzatore dello smoothing entrava nell’operatore come $(C + c_p)^T (C + c_p)$ invece di $C^T C + c_p I$;
- l’inversione congiunta usava indici non inizializzati e codici di errore come limiti;
- l’adattamento del livello DC usava stazioni del tipo sbagliato e un blocco di adattamento funzionava con un indice non inizializzato;
- la matrice del sistema dell’inversione stratificata non era simmetrica;
- le operazioni sui poligoni usavano indici di nodi errati e non si controllavano le righe senza il numero richiesto di campi;
- il coefficiente della correzione di Bouguer era circa mille volte troppo grande.