

| | | | | |
|--------------------|--------------------------------|-----------------|---------|------|
| Mus. civ. Rovereto | Atti del Workshop in geofisica | 9 dicembre 2005 | 147-162 | 2006 |
|--------------------|--------------------------------|-----------------|---------|------|

FRANCO FINOTTI (*), VITTORIO ILCETO (**), FABIANA ZANDONAI (*)

TOMOGRAFIA ELETTRICA DI DETTAGLIO PER LO STUDIO DEGLI HUMUS FORESTALI IN AMBIENTE DI PECCETA ALPINA: COMPARAZIONE E PRIME CONSIDERAZIONI SULLA CARATTERIZZAZIONE DEI SUOLI TRAMITE INDAGINI IN TOMOGRAFIA ELETTRICA

Abstract - FRANCO FINOTTI, VITTORIO ILCETO, FABIANA ZANDONAI - Application of electrical resistivity tomography for the study of the alpine spruce forest humus. Comparisons and first remarks on soil characterisation through analysis with electrical tomography.

In the framework of Dinamus Project – born in 2002 with the «general aim of studying the different humus of alpine spruce forests, underlining their relationships with the environmental parameters and with the dynamics of the forests where they develop» – the role played by the Town Museum of Rovereto was that of verifying the worth of the geophysical prospecting methods based on electrical resistivity tomography as instruments for the three-dimensional reconstruction of subsoil's first meter, with a high enough resolution to point out homogeneous areas in the dynamics of forest humus, in order to be able to follow its temporal development. Beside this main role, the Town Museum carries out – just in the first year of the research – samples of humus embedded in resin, in order to preserve and study under the microscope the collected materials. The Museum is also ready to carry out analysis in infra-red spectroscopy (FTIR200 Jasco) on excrements of Collembola and other organic compounds interesting for the development and characterization of spruce forest humus.

Key words: Geoelectrical Tomography, Humus, Alpine spruce forest.

(*) Museo Civico di Rovereto.

(**) Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università degli Studi di Padova.

Riassunto - FRANCO FINOTTI, VITTORIO ILCETO, FABIANA ZANDONAI - Tomografia elettrica di dettaglio per lo studio degli humus forestali in ambiente di pecceta alpina: Comparazione e prime considerazioni sulla caratterizzazione dei suoli tramite indagini in tomografia elettrica.

Nell'ambito del Progetto Dinamus - nato nel 2002 con «l'obiettivo generale di studiare le forme di humus di pecceta alpina, evidenziando i rapporti che tali forme hanno sia con i parametri dell'ambiente, sia con la dinamica del bosco in cui si sono sviluppate» - il Museo Civico di Rovereto ha avuto modo di verificare se i metodi di prospezione geofisica, basati principalmente sulla tomografia elettrica di dettaglio, possono essere un valido strumento per la ricostruzione tridimensionale del primo metro di sottosuolo con la risoluzione necessaria ad individuare aree omogenee nelle dinamiche degli humus forestali e poterne così seguire gli sviluppi temporali. A tale compito primario si è affiancata la realizzazione (solo per il primo anno di ricerca) di inglobati di campioni di humus per la conservazione e lo studio microscopico dei materiali stessi, dando anche la disponibilità di condurre analisi in spettroscopia infrarossa (Micro FTIR200 Jasco) su escrementi di Colemboli e altri composti organici ritenuti interessanti per l'evoluzione e la caratterizzazione degli humus forestali di pecceta.

Parole chiave: Tomografia elettrica, Humus, Pecceta alpina

PREMESSA

La scelta di ricorrere all'indagine geoelettrica per caratterizzare il sottosuolo e in particolar modo il primo spessore di suolo è scaturita dalla constatazione che la resistività elettrica è molto sensibile a variazioni anche minime di quei parametri come umidità, granulometria del sedimento, presenza di acidi humici, profondità del substrato roccioso che sono anche elementi chiave nello sviluppo dell'humus.

La tomografia elettrica 2D e 3D presenta quindi tutti i presupposti teorici per ricostruire tridimensionalmente il volume di suolo indagato e per individuarne un trend evolutivo. Inoltre la natura accidentata dei terreni da indagare e la loro localizzazione in aree di alta montagna hanno di per sé eliminato la possibilità di optare per altre metodologie geofisiche. Le caratteristiche di flessibilità, affidabilità e grande risoluzione della strumentazione multielettrodo ERS (Electrical Resistivity System) progettata e costruita dal Museo Civico di Rovereto, ben si adattavano alle problematiche da indagare.

Per ogni area di indagine individuata dai ricercatori del progetto Dinamus (che ha visto la sinergia di geologi, pedologi, forestali, agronomi, botanici, chimici e biologi) si sono limitati tre settori – accomunati dall'esposizione Sud – che rappresentassero ciascuno le condizioni rispettivamente dell'Area Acida, Basica e Intermedia. Durante i primi due anni di progetto si sono realizzate tre campagne di misura per il ricoprimento delle aree di interesse, ciò ha consentito di ricostruirne i tratti geologici e geomorfologici peculiari e di ricavare la stratigrafia di dettaglio del primo sottosuolo individuando aree più o meno idonee allo sviluppo di suolo secondo i caratteri idrologici locali, la topografia del sub-

strato roccioso e la natura granulometrica del materiale sciolto di copertura. Inoltre si sono messe a disposizione dei pedologi indicazioni utili sulla miglior localizzazione – in termini di significabilità e rappresentatività – di transetti e sondaggi. Durante il terzo anno si è ripetuta l'indagine su una delle tre aree, ricoprendo i medesimi profili di misura, per verificare le potenzialità di un rilievo geoelettrico multitemporale nell'evidenziazione di un trend evolutivo della coltre di ricoprimento.

«Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del Progetto 'DINAMUS', finanziato dal Fondo per i Progetti di Ricerca della Provincia Autonoma di Trento con delibera n. 437 dd. 08/03/2002».

STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA

Il metodo geoelettrico applicato con la strumentazione E.R.S. (Electrical Resistivity System) si basa sulla formazione nel terreno di campi elettrici, in corrente continua, prodotti mediante dispositivi elettrodici di varia natura geometrica.

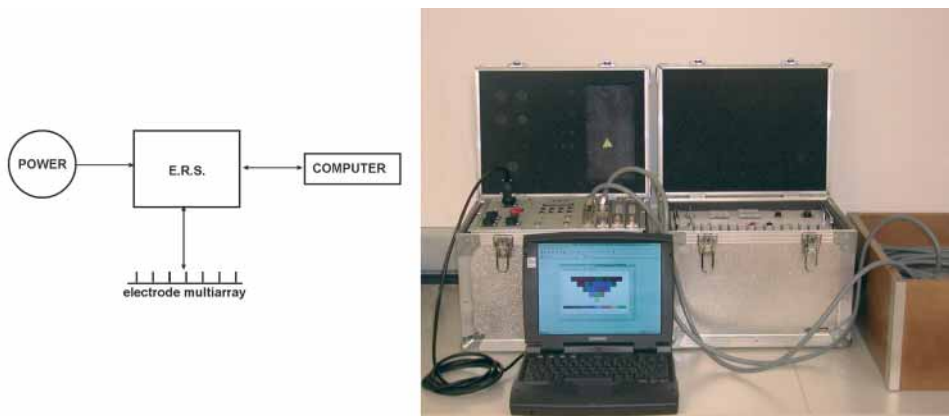


Fig. 1a - Schema dell'apparecchiatura ERS Fig. 1b - Apparecchiatura ERS.

L'unità base di misura è rappresentata dal quadripolo, nel caso del dispositivo Wenner (quattro elettrodi equidistanti) esso consiste di due elettrodi esterni di energizzazione e due elettrodi interni di misura della corrente. Il calcolo della resistività del terreno è reso possibile grazie all'applicazione della legge di Ohm:

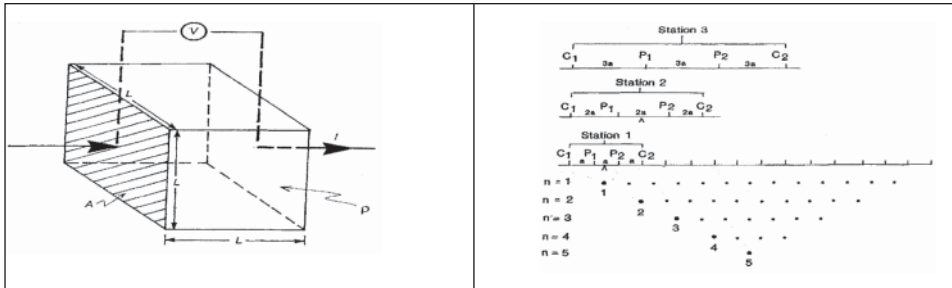
$$\rho = K (dV/I),$$

dove: ρ è la resistività espressa in Ohm m

K è il coefficiente geometrico

dV è la differenza di potenziale (Volt)

I l'intensità di corrente (Ampere)



Attività di campagna

Nell'ambito del Progetto Dinamus si sono individuate tre tipologie di aree a diverso substrato (acido, basico, intermedio) ad esposizione sia Nord che Sud, per un totale di sei particelle di studio. L'indagine tomografica, che qui viene esposta, ha riguardato le sole aree ad esposizione Sud verificando così preliminarmente la possibilità di discriminare tipologie differenti di humus.

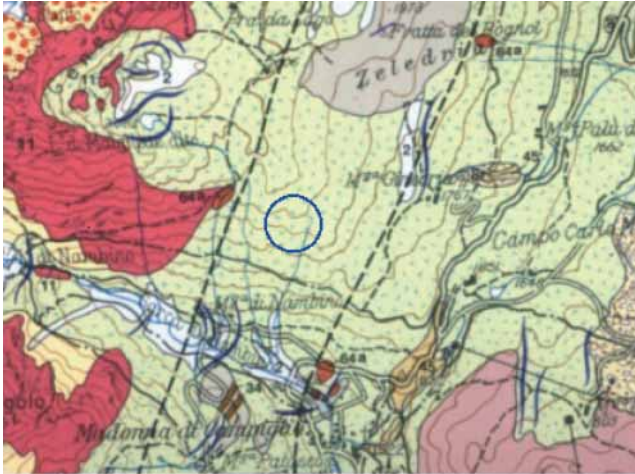
Nel settembre 2002 si è realizzata la prospezione geoelettrica sull'Area Acida Sud (a monte di Malga Nambino), mentre durante le prime settimane del mese di settembre 2003 si sono svolte due campagne di misura, rispettivamente per la copertura con tomografia elettrica di porzioni delle particelle Intermedia Sud (in località Paneveggio) e Basica Sud (in località Fondo). Infine nel settembre 2004 si è tornati a Fondo per ripetere l'indagine lungo le medesime direttrici interessate nel 2003.

Per ogni particella di indagine si è programmata a tavolino – grazie al sopralluogo in situ e ai rilievi topografici di dettaglio realizzati da altri ricercatori del Progetto e organizzati in GIS – un'opportuna distribuzione di stendimenti elettrodi, si sono così interessati volumi comparabili di sottosuolo sottesi da superfici di area media pari a $(15 \times 15) \text{ m}^2$.

Di seguito si riporta la descrizione eseguita per ciascuna particella indagata e l'elaborazione del rilievo di campagna in termini di:

- inquadramento topografico e geologico;
- rilievo della particella indagata;
- documentazione fotografica.

Area Acida Sud - Si tratta della prima area indagata e per questo ha funto da AREA TEST; localizzata in prossimità del Lago di Nambino (Madonna di Cam-

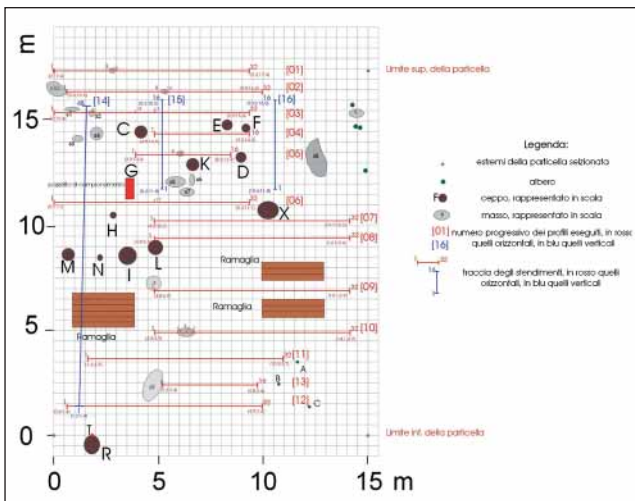


Area Acida Sud

Estratto dalla Carta Geologica d'Italia Foglio Adamello (scala 1: 100.000).

Con il cerchio blu è indicata l'area in esame che ricade sulla coltre sciolta quaternaria di origine glaciale che ricopre il substrato tonalitico.

Distribuzione dei profili geoelettrici all'interno della particella selezionata (pic 3), posta tra quota 1750 e 1800 m, sopra Malga Hambino (Madonna di Campiglio)



Mappa della particella indagata: si riportano la distribuzione dei profili geoelettrici e la morfologia del sito con l'evidenziazione di ostacoli naturali.

Volume totale indagato:
140.00 m³

Numero totale dati raccolti:
1.312



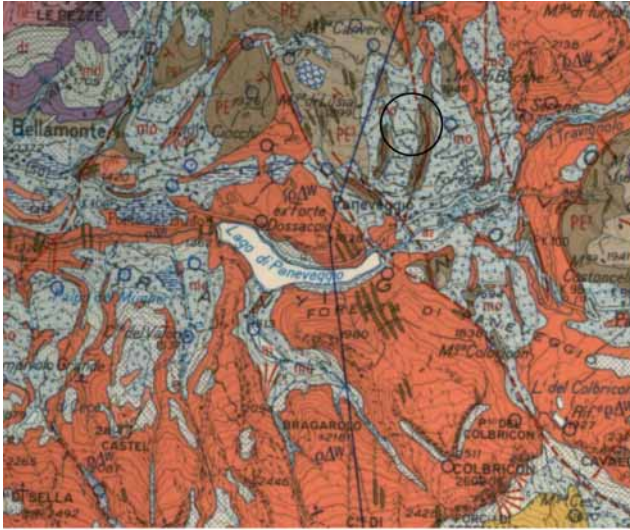
Disposizione stendimenti



Andamento versante e presenza di ostacoli e impedimenti naturali



Veduta dall'alto del pendio

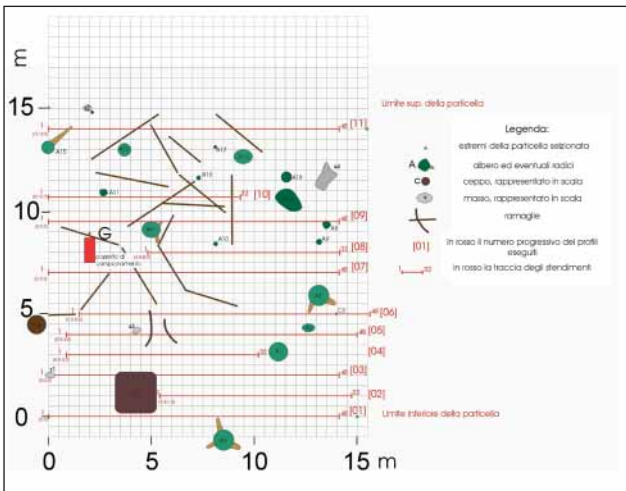


Area Intermedia Sud

Estratto dalla Carta Geologica d'Italia Foglio Feltre (scala 1: 100.000).

Con il cerchio nero è indicata l'area in esame che ricade sulla potente coltre sciolta quaternaria di origine glaciale.

Distribuzione dei profili geoelettrici all'interno della particella INTERMEDIA SUD, posta fra quota 1770 e 1800 m, sul versante sinistro di Val dei Buoi (Paneveggio)



Mappa della particella indagata con riportate la distribuzione dei profili geoelettrici e la morfologia del sito con l'evidenziazione di ostacoli naturali.

Volume totale indagato:

139.00 m³

Numero totale dati raccolti:

1.526



Particolare dell'area esaminata.



Sondaggio pedologico.



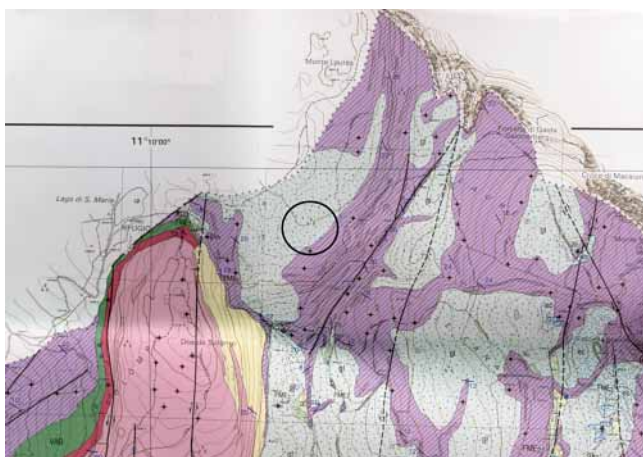
Prolunghe per la connessione degli elettrodi con ERS.

piglio) ad una quota media fra i 1750÷1800 slm, rappresenta la tipologia di pecceta subalpina su substrato acido (tonaliti).

Area Intermedia Sud - Localizzata sul versante sinistro della Val dei Buoi, affacciata sulla forra del Diaol (a NE del Lago di Paneveggio), fra le quote 1770÷1800 slm, avrebbe dovuto rappresentare la tipologia di pecceta subalpina su substrato intermedio, in realtà gli affioramenti e i depositi di copertura ivi rinvenuti hanno prevalente carattere acido.

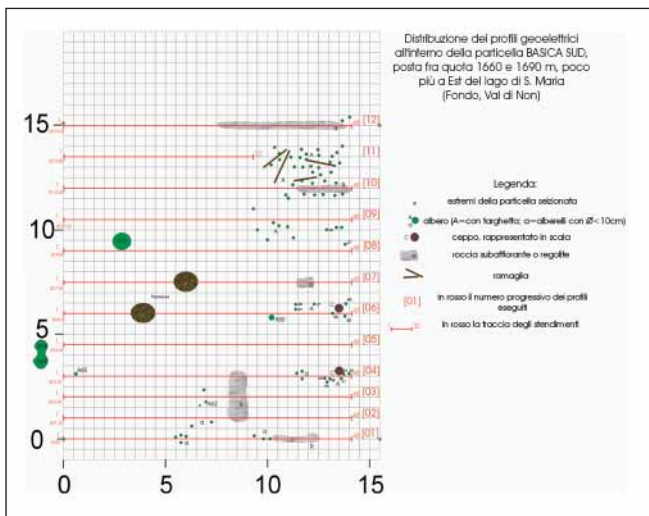
Area Basica Sud - Posta fra le quote 1660÷1690 slm, a Est del lago di S. Maria (Comune di Fondo, Val di Non), questa particella rappresenta la tipologia di pecceta subalpina su substrato basico. Il substrato roccioso – che è risultato subaffiorante su gran parte della superficie indagata – è infatti rappresentato dalla Formazione della Mendola costituita da dolomie rosate stratificate (ambiente peritidale).

Quest'area, per le sue favorevoli condizioni di accessibilità e poiché presenta buoni volumi a granulometria fine, è stata scelta per la ripetizione dell'indagine geoelettrica a distanza di un anno ovvero per la realizzazione di un rilievo multitemporale – che potesse documentare – attraverso la variazione del parametro geofisico, l'evoluzione dello stato della copertura sciolta e in particolar modo dello sviluppo dell'humus.



Area Basica Sud

Estratto dalla Carta Geologica della PAT, Tavola Fondo (scala 1: 25.000). Con il cerchio blu è indicata l'area in esame che ricade sulla coltre sciolta quaternaria di origine glaciale che ricopre il substrato roccioso dolomitico.



Prima campagna di misura, settembre 2003

Mappa della particella indagata con riportate la distribuzione dei profili geoelettrici e la morfologia del sito con l'evidenziazione di ostacoli naturali.

Volume totale indagato:
149.00 m³
Numero totale dati raccolti:
1.880



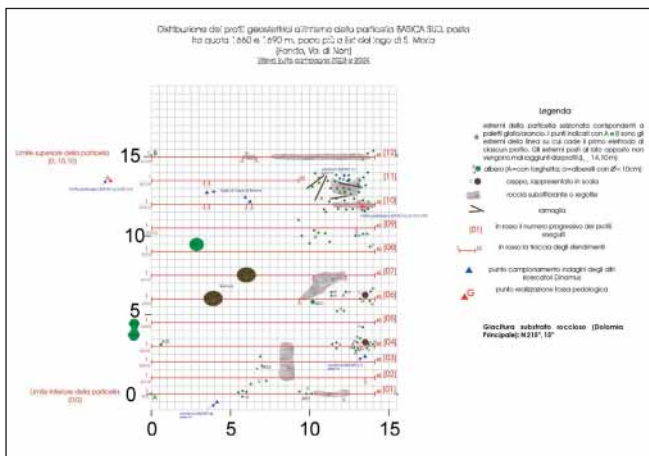
Panorama della zona di indagine



Disposizione degli stendimenti



Particolare delle condizioni di misura



Seconda campagna di misura, settembre 2004

Durante la campagna 2004 si è innanzitutto aggiornato il rilievo integrandolo con nuovi elementi interessanti legati alle indagini svolte dagli altri gruppi di ricerca:

- sondaggi e transetti pedologici;
- test per i lombrichi.



Caposaldo usato nel 2003 e 2004 per ripetere le misure lungo le medesime direzioni.



Particolare dell'allestimento di indagine: due stendimenti multi-elettrodo paralleli, il primo predisposto per la misura.



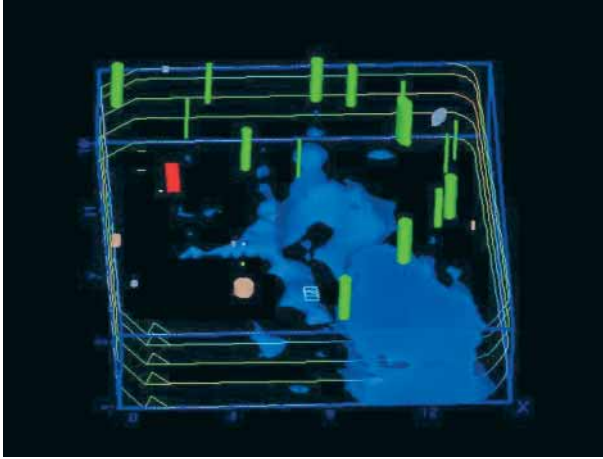
Particolare delle condizioni di misura 2004 lungo la stessa porzione di versante indagata nella campagna 2003.

RISULTATI

Il trattamento dei dati geoelettrici di campagna si è articolato in fasi successive con ricorso in cascata a programmi dalla diversa finalità:

1. processazione dei dati di campagna (sezioni bidimensionali) col programma di inversione Res2d per passare dai valori di resistività apparente a quelli di resistività reale correttamente riferita alla profondità, con la ricostruzione dello spessore degli elettrostrati individuati;
2. le sezioni in resistività reale e spessore così ottenute, correttamente allocate nello spazio (grazie al rilievo topografico di campagna), sono state riunite in un unico dataset tridimensionale. Il passaggio da un'indagine bidimensionale ad una pseudotridimensionale è supportato dalla compatibilità fra l'equispaziatura impostata fra profili successivi e l'interdistanza elettroica. Fatta tale assunzione ci si è avvalsi del programma di imaging di dati ambientali EVS, Environmental Visualization System (C Tech), per la visualizzazione e modellizzazione del dataset. EVS consente sia di creare modelli, bi- e tridimensionali, di distribuzione di parametri ambientali grazie al ricorso a operatori statistici (quali il kriging), sia di rappresentare spazialmente il campo di dati secondo la formula ritenuta più efficace. In tal caso è stata condotta un'interpolazione, accompagnata da smoothing, dei dati forniti dall'interpretazione geofisica iniziale che ha prodotto una rappresentazione 3d della distribuzione della resistività vera nel volume indagato.

In linea generale si è verificato che valori di resistività inferiori a 250 Ohm m indicano terreni a granulometria fine e con elevato contenuto in acqua, mentre valori dell'ordine dei 1000 Ohm m rappresentano il cappellaccio d'alterazione del substrato roccioso. La risposta del substrato roccioso e del cappellaccio di alterazione – indipendentemente dalle condizioni ambientali – si stacca nettamente da quella delle risposte dovute alle sacche di humus.



Modello 3D (con gli assi x; y; z orientati secondo il sistema cartesiano classico) relativo all'Area Intermedia Sud, si è scelto di rappresentare solo i valori < 250 Ohm m. Il livello superiore riporta gli oggetti mappati durante il rilievo topografico (in verde i tronchi degli alberi; in marrone le ceppaie; in rosso la fossa pedologica; in grigio i massi).

Come riferimento per i range di resistività si è preso quanto pubblicato sul testo di Geofisica applicata, «An introduction to Applied and Environmental Geophysics» (J. M. Reynolds), da cui si è tratta la seguente tabella riassuntiva:

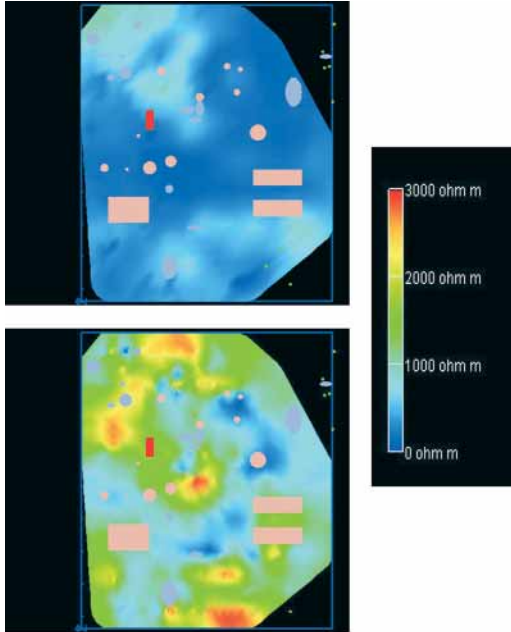
| Materiale | Resistività (Ohm m) |
|-------------------------|---------------------|
| Sand clay – clayey sand | 30 -215 |
| Soil | < 100 |

Si propongono di seguito le immagini (del tipo slice) desunte dal modello finale, costruito per ciascuna area di studio, scomposto in quattro livelli che intersecano l'asse z della profondità da 0 a-1.20 m dal piano campagna. Si sono potuti così evidenziare in modo particolare le parti caratterizzate da bassi valori di resistività che, con molta probabilità, coincidono con i settori esibenti un suolo maggiormente evoluto o comunque una copertura sciolta di composizione granulometrica fine.

| Sezione | Vol.tot | V(m ³) <500 | % | V(m ³) <250 | % di 500 |
|------------|---------|-------------------------|------|-------------------------|----------|
| Acida | 140.86 | 11.61 | 8.2 | 0.91 | 7.8 |
| Intermedia | 139.40 | 26.49 | 19.0 | 12.40 | 46.8 |
| Basica | 149.12 | 40.49 | 27.1 | 6.83 | 16.9 |

In conclusione, come sintetizzato nella tabella precedente, si è calcolato che l'area Intermedia Sud esibisce il maggior volume a resistività inferiore ai 250

Area Acida Sud

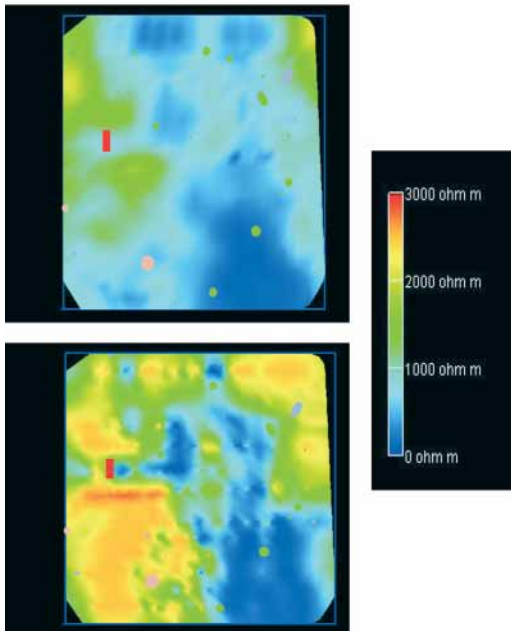


Visione azimuthale rappresentante la distribuzione in superficie – definendolo per comodità livello zero – della resistività elettrica:

- in verde valori elevati di resistività corrispondenti a zone in cui il bedrock è superficiale oppure a massi presenti all'interno della copertura sciolta;
- in blu scuro valori bassi attribuibili a settori caratterizzati da tessiture fini e/o buon contenuto in umidità.

Visione azimuthale della distribuzione della resistività alla massima profondità di indagine (livello 4). Si può notare come la distribuzione dei materiali fini si riduca quasi a zero e si intercetti il cappellaccio di alterazione della roccia.

Area Intermedia Sud

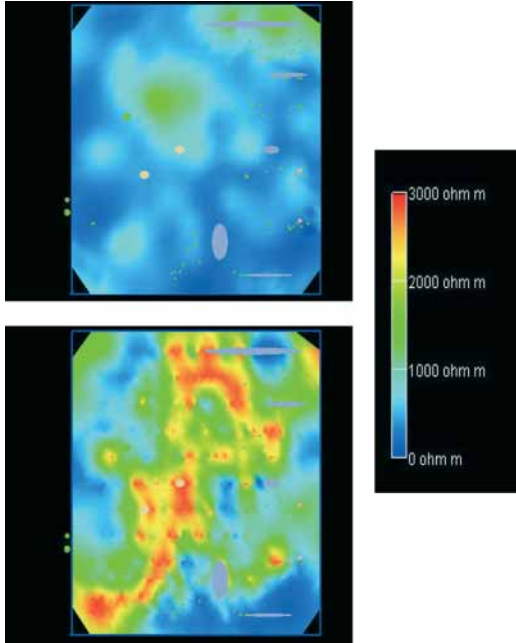


Visione azimuthale rappresentante la distribuzione in superficie – definendolo per comodità livello zero – della resistività elettrica:

- in verde valori elevati corrispondenti a zone in cui il bedrock è superficiale o la coltre sciolta è grossolana o con massi;
- in blu scuro valori bassi attribuibili a settori in cui la coltre mostra abbondante matrice fine oltre che buon tasso di umidità (ciò dipende dalla conformazione del pendio che determina la concentrazione delle acque superficiali lungo linee di flusso definite).

Visione azimuthale della distribuzione della resistività alla massima profondità di indagine (livello 4). Si può notare come venga confermato il trend individuato in superficie evidenziando un'area a bassa resistività localizzata nel margine inferiore destro, mentre altrove i colori arancio indicano la presenza della roccia.

Area Basica Sud

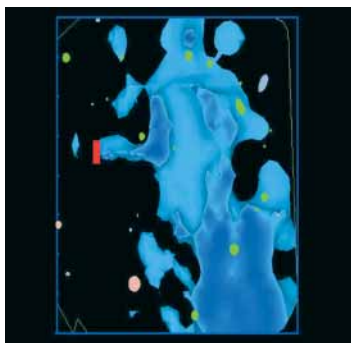


Visione azimuthale rappresentante la distribuzione in superficie – definendolo per comodità livello zero – della resistività elettrica:

- in verde valori elevati corrispondenti a zone in cui il substrato roccioso è coperto da una coltre grossolana a tratti ciottolosa;
- in blu scuro valori bassi attribuibili a settori in cui la coltre mostra abbondante matrice fine oltre che buon tasso di umidità.

Visione azimuthale della distribuzione della resistività alla massima profondità di indagine (livello 4). Si può notare come le aree caratterizzate da bassi valori di resistività (colore blu scuro) siano scarse e localizzate nei bordi dell'area indagata, con la chiara presenza della roccia al centro.

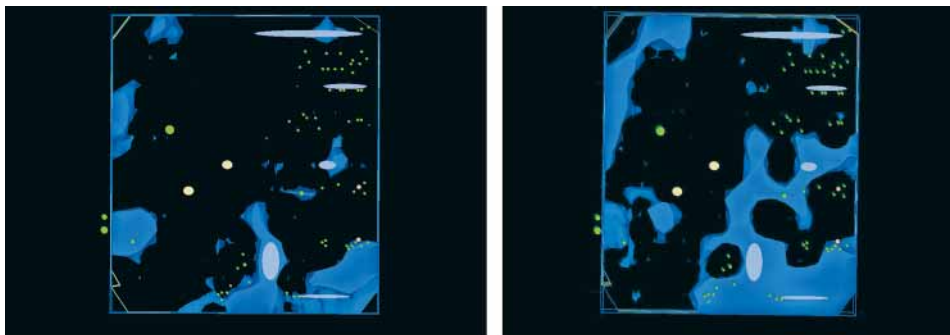
ohm m. Si tratta di un materiale fine sabbioso, con limo e argilla, che normalmente presenta resistività media superiore a quella suddetta. Non a caso, il volume caratterizzato da buona conducibilità non interessa omogeneamente tutta la particella ma si localizza nel quadrante inferiore destro dove è presente una maggiore copertura arborea associata a inflessioni del terreno che favoriscono il perdurare di buone condizioni di umidità oltre che determinare il locale richiamo dell'acqua di scorrimento e l'accumulo di particelle fini.



Area Intermedia Sud

Vista azimuthale della resistività evidenziando – per l'intero modello (tutti e quattro i livelli assieme) – il volume caratterizzato da una resistività inferiore ai 500 Ohm m. Come atteso il volume limitato è considerevole a riprova sia della presenza di una matrice fine in grado di trattenere l'umidità, sia di un'adeguata alimentazione idrica.

Confronto e analisi dei risultati delle campagne di misura 2003 e 2004 nell'Area Basica Sud.



Confronto tra volume a resistività inferiore ai 250 Ohm m individuato nella sessione 2003 (a sinistra) e quello ottenuto nella sessione 2004 (a destra). L'analisi multitemporale evidenzia la perfetta congruità e continuità nello sviluppo e nella crescita della componente fine dei suoli.

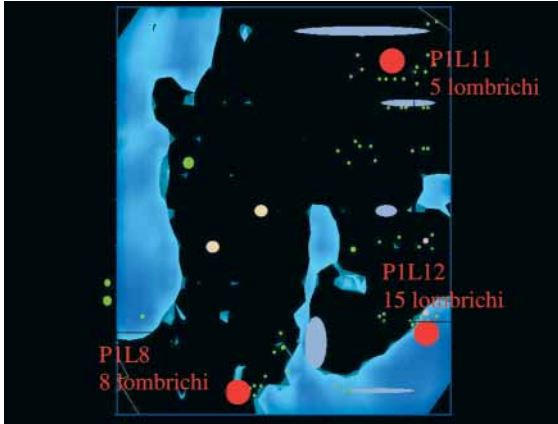
Come mostra la tabella seguente e come si evince dalle immagini precedenti, la percentuale del materiale rappresentato da resistività inferiore a 250 Ohm m – dalla campagna del '03 a quella del '04 – è aumentata di circa l'8%.

| Sezione | Vol.tot | V(m ³) <500 | % | V(m ³) <250 | % di 500 |
|------------|---------|-------------------------|------|-------------------------|----------|
| BASICA '03 | 149.00 | 40.49 | 27.1 | 6.83 | 16.9 |
| BASICA '04 | 149.00 | 57.70 | 38.7 | 14.20 | 24.6 |

Durante la sessione di misura del 2004 è stato possibile aggiornare il rilievo di campagna con i nuovi test eseguiti per lo studio dei lombrichi, ciò ha dato modo di verificare nuove e interessanti correlazioni anche con il mondo biologico.

Infatti, ulteriore prova della capacità risolutiva della strumentazione ERS nei confronti della ricerca e mappatura dell'humus è data dal buon accordo fra la distribuzione del numero di lombrichi contati nei sondaggi e le risultanze geoelettriche. Dove l'indagine geofisica indica buon spessore di materiale fine il numero di lombrichi è elevato, mentre in P1L11, dove secondo la tomografia elettrica il fine è scarso, anche il numero dei lombrichi trovato è il minimo per il sito indagato.

I dati di resistività così ottenuti sono stati quindi sufficienti a descrivere matematicamente un modello 3D completo delle tre aree, quantificando i volumi dei sedimenti a diverse resistività. Si sono individuati quindi elettrostrati a resistività minore di 250 Ohm m compatibili, in prima approssimazione, con



Correlazione tra i risultati ottenuti nei test sui lombrichi condotto dal CEA e la distribuzione del volume a resistività inferiore ai 250 Ohm m.

volumi di sottosuolo a granulometria fine e con un discreto contenuto naturale d'acqua, la cui natura e volumetria può essere controllata nel tempo come confermato dall'analisi multitemporale. Da un punto di vista metodologico si può confermare che la tomografia elettrica utilizzata come indagine preliminare e preventiva è uno strumento efficace per orientare la ricerca e la fase di campionatura nel settore podologico e biologico.

CONCLUSIONI

Il ricorso alla tomografia elettrica, per la risoluzione dei suoli a bassa profondità, ha evidenziato che ERS è in grado di risolvere bene le tre aree prese in esame.

Dopo aver individuato una metodica appropriata (metodo, geometria e elaborazione dei dati) si è potuto verificare come l'uso della tomografia elettrica permetta non solo di cogliere leggere differenze di struttura, tessitura e contenuto naturale d'acqua del sottosuolo che caratterizza le tre aree indagate (Acida, Intermedia, Basica), ma anche di effettuare una buona comparazione tra le aree stesse che presentano un range di valori perfettamente compatibile. La sperimentazione ha anche messo in evidenza che uno studio tomografico multi-temporale è in grado di evidenziare le dinamiche di sviluppo e di distribuzione degli humus forestali consentendo una buona correlazione con i dati di natura biologica e chimica.

RINGRAZIAMENTI

«Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del Progetto 'DINAMUS', finanziato dal Fondo per i Progetti di Ricerca della Provincia Autonoma di Trento con delibera n. 437 dd. 08/03/2002».

Le Parti coinvolte nel Progetto Dinamus oltre al Museo Civico di Rovereto – MCR - sono state: Centro di Ecologia Alpina - CEA; Museum National d'Histoire Naturelle - Laboratoire d'Ecologie Générale - MNHN; Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria - Dipartimento Territorio e sistemi agroforestali - TeSAF; Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria - Dipartimento Biotecnologie Agrarie - BIOTAGR; Università degli Studi di Milano - Bicocca, Facoltà di Scienze MM.FF.NN. - Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio - DISAT; Université de Savoie - Chambéry - Laboratoire Dynamique des Ecosystèmes d'Altitude - LDEA; Provincia Autonoma di Trento, Servizio Foreste - Ufficio Assestamento forestale - SerFo; Istituto Trentino di Cultura - Centro per la ricerca scientifica e tecnologica - ITC-irst; EyePro System S.r.l.; École Nationale du Genie Rural des Eaux et de Forêts (Engref); Laboratoire d'Étude des Ressources Scientifique Forestier (LRSF); Écosystème Forestier et Paysage Dynamique (EFPD) - ENGREF.

BIBLIOGRAFIA

- BARKER R.D., 1981 - *The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable*. Geophysical Prospecting, vol. 9, n. 2, pp. 128-143.
- BARKER R.D., 1989 - *Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays*. Geophysics, n. 54, pp. 1031-1037.
- BERTRAND Y., 1967 - *La prospection électrique appliquée aux problèmes de ponts et chaussées*. Bulletin de Liaison des Laboratoires Routiers, vol. 58, pp. 10-12.
- BIELLA G., TABACCO I., 1981 - *The influence of grain size on the relations between resistivity, porosity and permeability in unconsolidate formations*. Boll. di Geofisica Teorica ed Applicata, vol. 23, n. 89, pp.455-469.
- DARCY H., 1856 - *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Victor Dalmont Ed.-Paris
- EDMUNDSON H. N., 1988 - *Archie's Law: electrical conduction in clean, water-bearing rock*. Technical Review, vol. 36, n. 3, pp. 1-13.
- GRIFFITHS D. H., TURNBULL J. E OLAYINKA A. I., 1990 - *Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array*. First Break, vol. 8, n. 4, 5 pp.
- GRIFFITHS D. H. & TURNBULL J., 1985 - *A multielectrode array for resistivity surveying*. First Break, vol. 3, n. 7, 3 pp.

- FINOTTI F., ILCETO V. & SALAZZARI L., 2002 - *Capacità risolutive di differenti dispositivi elettrodi in ambito del sistema ERS (Electrical resistivity System), sperimentazione su sistemi ridotti*. Annali Mus. Civico Rovereto, vol. 16, pp. 353 – 369.
- FINOTTI F., ILCETO V., MANFREDI M. 2002 - *Monitoraggio in continuo di fenomeni di saturazione idraulica del terreno mediante l'impiego di ERS*. Workshop di Geofisica, Geofluid, Piacenza 4 ottobre 2000.
- ILCETO V., 1971 - *On the electrical behaviour of a sample of soil in function of its water content and temperature*. Boll. di Geofis. Teorica ed Applicata, vol. 13, n. 50, pp. 155-167.
- ILCETO V., FINOTTI F., MANFREDI M. & VALENTE U., 1995 - *A new approach to the instrumentation of the multielectrode array for the study of electric resistivity in subsoil*. First Meeting Environmental and Engineering Geophysics, Torino, 25-27 Settembre, p. 484.
- ILCETO V., BONCI L., CESI C., EULILLI V., PULSINELLI C., GRESPLAN A. E SCHIAVON S., 1998 - *Definizione di forme naturali (paleoalvei) ed antropiche (discariche) nel primo sottosuolo mediante tecniche di «Geolectrical and I.P. Imaging»*. Geologia Tecnica ed Ambientale, n. 4, pp. 29-33.
- KALINSKI R. J., KELLY W. E., BOGARDI I. E PESTI G., 1993 - *Electrical resistivity measurements to estimate travel times through unsaturated ground water protective layers*. Journal of Applied Geophysics, n. 30, pp. 161-173.
- LOVAS L., 1963 - *The effect of Clay minerals on the permeability of Sand soils*. I.A.S.H. Berkeley Assembly. Publ., 64 pp 274-289.
- Mosetti F. & Maranzana F., 1961 - *Sulla legge di variazione della conducibilità elettrica di un corpo poroso in funzione del contenuto in acqua*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, vol. 3, n. 11, pp. 209-214.
- WORTHINGTON P.F., 1993 - *The uses and abuses of the Archie equations, 1: the formation factor-porosity relationship*. Journal of Applied Geophysics, n. 30, pp. 215-228.
- CD-ROM Museo Civico di Rovereto, 2002 - *La Geofisica strumento di monitoraggio ambientale*, Rovereto.