



LIFE Project Number  
**<LIFE +10 ENV/IT/000394/WARBO>**

**Inception Report - ANNEX**  
**Covering the project activities from 01/01/2012 to 31/08/2012**

Reporting Date  
**<28/09/2012>**

LIFE+ PROJECT NAME or Acronym  
**<WATER RE-BORN - Artificial Recharge: Innovative  
Technologies for the Sustainable Management of Water  
Resources>**

Data Project

<b>Project location</b>	Regione Friuli Venezia Giulia&Regione Emilia Romagna - Italia
<b>Project start date:</b>	<01/01/2012>
<b>Project end date:</b>	<30/06/2014> <b>Extension date:</b> <dd/mm/yyyy >
<b>Total budget</b>	€ 1.849.280
<b>EC contribution:</b>	€ 860.887
<b>(%) of eligible costs</b>	€ 1.724.880

**< Annex 4 >**

**Progettazione del sistema TGRA ed acquisizione dei  
dati litostratigrafici necessari alla taratura del sistema**



WATER RE-BORN - Artificial Recharge  
Innovative Technologies for the Sustainable Management of Water Resources



WATER RE BORN – Ricarica Artificiale  
Tecnologie Innovative per la Gestione Sostenibile delle Risorse Idriche

**eurekos**  
SRL

***ACTION 8: TGRA (rilevamento termometrico integrato per la ricarica artificiale): sistema innovativo per il monitoraggio in continuo dell'efficienza dell'infiltrazione e qualità delle acque***

Inception report

*Portogruaro, 12 settembre 2012*

---

**Eurekos s.r.l.**

Via Leopardi 13, 30026 Portogruaro (VE) - Tel. 0421 72041 Fax 0421 72028

E-mail: [eurekos@tin.it](mailto:eurekos@tin.it) – Web site [www.eurekos.it](http://www.eurekos.it)

C.F. P.I. 03114380276 – Registro Imprese VE n. 03114380276 – R.E.A. VE n.283587

Capitale Sociale euro 10.400,00 i.v.



## *Sommario*

<i>Contenuti</i>	<i>pagine</i>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>6</b>
<b>1.1 SCOPI</b>	<b>6</b>
<b>1.2 METHODS EMPLOYED</b>	<b>7</b>
<b>1.3 CONSTRAINTS AND ASSUMPTIONS</b>	<b>8</b>
<b>1.4 INDICATORS OF PROGRESS</b>	<b>8</b>
<b>2. ATTIVITA'</b>	<b>9</b>
<b>2.1 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI DATI     MEDIANTE TERMO CAMERA AD INFRAROSSI FLIR T335 PER IL     RILEVAMENTO A DISTANZA DELLA TRACCIA TERMICA DEL     TERRENO</b>	<b>9</b>
<i>2.1.1 Introduzione</i>	<i>9</i>
<i>2.1.2 Strumentazione</i>	<i>9</i>
<i>2.1.3 Specifiche camera FIR T335</i>	<i>10</i>
<i>2.1.4 Applicazioni della termocamera</i>	<i>11</i>
<i>2.1.5 Acquisizione dei dati</i>	<i>13</i>
<b>2.2 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA TGRA DI DIALOGO FRA I DATI     TERMOMETRICI, CHIMICO FISICO E GEOFISICI PER IL     MONITORAGGIO DELLE OSCILLAZIONI DEL LIVELLO     PIEZOMETRICO DELLA FALDA SUPERFICIALE</b>	<b>14</b>



---

	3
<i>2.1.2 Sviluppo del sistema termometrico</i>	14
<i>2.1.3 Descrizione sintetica del prototipo di sistema</i>	16
<i>2.1.4 Accessori</i>	17
<i>2.1.5 Procedura di misurazione</i>	17
<b>2.3 PROGETTAZIONE DI MODELLI DEL SOTTOSUOLO MEDIANTE COLONNE (SOIL MODEL COLUMNS)</b>	<b>19</b>
<b>2.4 INDAGINI CON METODO GEOELETTICO TOMOGRAFICO PER LA DEFINIZIONE DEI PARAMETRI METODOLOGICI OTTIMALI PER IL MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI VERTICALE DELLE ACQUE NEL SOTTOSUOLO IN PREVISIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE PER LA RICARICA DELLE FALDE</b>	<b>21</b>
<i>2.4.1 Metodologia</i>	<i>23</i>
<i>2.4.1.1 Proprietà elettriche del suolo</i>	<i>23</i>
<i>2.4.2 Strumentazione</i>	<i>25</i>
<i>2.4.3 Esecuzione Profili Geoelettrici Tomografici</i>	<i>28</i>
<i>2.4.4 Elaborazione dei dati</i>	<i>29</i>
<i>2.4.5 Risultati</i>	<i>29</i>
<i>2.4.5.1 Risultati prima campagna di indagine, terreno secco (OSOPPO - MADRISIO)</i>	<i>30</i>
<i>2.4.5.2 Risultati seconda campagna di indagine, giugno, suolo umido e comparazione dati</i>	<i>35</i>
<i>2.4.6 Conclusioni</i>	<i>39</i>
<b>3. TAVOLA GANT</b>	<b>40</b>



## INDICE DELLE FIGURE E TABELLE

- Fig. 2.1.2.1* – *La termocamera FLIR T335*
- Fig. 2.1.4.1* – *Immagine termografica, in evidenza la diversa temperatura del terreno determinata dalla presenza di umidità nel terreno*
- Fig. 2.1.5.1* – *Schema posizionamento telecamera*
- Fig. 2.2.1.5* – *Schema sistema TRGA*
- Fig. 2.3.1* – *Schema costruttivo “Soil Model Columns”*
- Fig. 2.4.1* – *Corografia aree di indagine*
- Tab. 2.4.1.1* – *Valori di resistività dei terreni più comuni e in alcuni casi particolari di contaminazione*
- Fig. 2.4.2.1* – *Configurazione di campagna del sistema di acquisizione dei dati*
- Fig. 2.4.2.2* – *ActEle (Active Electrode). Vista della scheda elettronica di controllo*
- Fig. 2.4.2.3* – *Visualizzazione delle celle di misura durante la fase di acquisizione con il software **Geotest***
- Fig. 2.4.3.1* – *Profilo geoelettrico tomografico*
- Fig. 2.4.4.1* – *Disposizione dei blocchi e dei punti di misura con configurazione Wenner*
- Fig. 2.4.5.1.1* – *Alta Pianura Friulana - Osoppo. Esempio di profilo Dipolo-Dipolo registrato perpendicolarmente ad un alveo fluviale all'interno della piana di divagazione del f. Tagliamento*
- Fig. 2.4.5.1.2* – *Alta Pianura Friulana - Osoppo. Esempio di profilo WENNER lunghezza 300 m*
- Fig. 2.4.5.1.3* – *Bassa Pianura Friulana - Madrisio. Esempio di profilo WENNER lunghezza 300 m*
- Figg. 2.4.5.2.1a,b* – *Area di test Pozzuolo Del Friuli (Prov. di Udine) condizione secca. a) sezione di resistività e b) sezione di I.P.*
- Figg. 2.4.5.2.2a,b* – *Area di test Pozzuolo Del Friuli (Prov. di Udine) condizione umida. a) sezione di resistività e b) sezione di I.P.*



## ABSTRACT

### ***ACTION 8: TGRA (Integrated monitoring of Artificial Recharge by Thermography and Geoelectric)***

**Keywords:** thermography, Geoelectric, Artificial recharge, Thermal anomaly, electric resistivity

To optimize the infiltration of water during the Artificial Recharge of groundwater it is necessary to have a precise modeling of the infiltrated volumes, area of active infiltration, paths, advancement and geometry of the infiltrated waters inside the subsoil.

This volumetric and time-based modeling can be obtained by an integrated approach based on Thermal analysis and Geoelectric measurements. The analysis of thermal images of the surface can provide data about areas of water stagnation, efficient infiltration, progressive decrease of saturated surface for the effect of infiltration and termination of presence of water in the first meter of subsoil.

Geoelectric measurements, recorded at intervals sequence, can provide a vertical image of the advancement of infiltration waters, with evidence of low permeable layers, horizontal spreading caused by soil unconformities, and time of percolation to the target level.

To obtain the methodological integration, thermal images will be recorded from a platform and data transmitted in real time by Wi-Fi link to a visualization device.

At the same time Geoelectric measurement will be recorded and data will be immediately compared- as they are measured- with the transmitted thermal data.

For that comparison it will be necessary to have a reference Geoelectric section and a Thermal image at “time zero”. Geoelectric tests have been carried out to evaluate the possibility to distinguish the resistivity variations induced into the subsoil by the infiltration and for the selection of suitable sites.

For the proper reconstruction of the mosaic of thermal images, thermal markers will be set at the surface to facilitate positioning of images respect to Geoelectric sections.



## 1. INTRODUZIONE

I principali problemi connessi alla ricarica artificiale sono dovuti alle variazioni delle esigenze idriche del sottosuolo e alla sua progressiva saturazione con le conseguenti variazioni volumetriche e temporali che si ingenerano nel volume di sottosuolo interessato dalla percolazione.

Le variazioni volumetriche sono principalmente legate all'allargamento della sezione del flusso a causa della progressiva saturazione, con conseguente diminuzione di permeabilità, e della presenza di variazioni naturali di permeabilità (con la conseguente necessità del sistema di allargare la sezione per minimizzare le variazioni di flusso); le variazioni temporali di velocità sono legate agli eventi sopra citati e possono anche avere variazioni molto localizzate sia in aumento che in decremento della velocità di percolazione.

Per questo è necessaria una modellizzazione geometrica e temporale dei movimenti dell'infiltrazione nel sottosuolo allo scopo di ottimizzare i flussi ed evitare saturazioni indesiderate durante il moto verticale verso l'obiettivo della ricarica. L'approccio proposto da EUREKOS si basa sull'impiego di metodi termografici ed elettrici con lo scopo di ottenere una precisa modellizzazione nello spazio e nel tempo.

Il primo stadio di questo progetto è la messa a punto dei parametri ottimali di registrazione per poter seguire i movimenti dei flussi idrici.

E' stato quindi necessario valutare mediante una serie di tests le diverse configurazioni geoelettriche, spaziature elettrodeiche e setting strumentali per definire i migliori parametri da applicarsi durante il monitoraggio delle le ricariche artificiali.

Per questo motivo sono state eseguite due campagne di test geoelettrici di valutazione metodologica in un area alluvionale interessata da forti irrigazioni in grado di simulare una ricarica artificiale.

In parallelo è iniziata la progettazione e la discussione tecnica con il costruttore selezionato per la realizzazione delle colonne di modello del sottosuolo.

### 1.1 SCOPI

La combinazione delle due indagini, termica e geoelettrica, è finalizzata ad estendere la profondità massima di analisi che col metodo termico si limita alla prima porzione del sottosuolo entro il primo metro. L'indagine di dettaglio della superficie e del sottosuolo potrà essere ottenuta accoppiando un semplice sistema termografico basato sull'effetto dell'inerzia termica del suolo e primo sottosuolo con un sistema



geoelettrico di monitoraggio automatico 2D/3D dell'infiltrazione basata sulle misure dei parametri elettrici di resistività, polarizzazione e/o potenziale spontaneo determinati per riconoscere l'effetto della migrazione delle acque di ricarica. Questa investigazione consentirà di estendere le valutazioni fino a una profondità di 5/7 m o comunque fino alla superficie di falda. I modelli permetteranno il controllo della migrazione su base di intervalli di 15 minuti (compatibili coi tempi di acquisizione e numero di sensori). La sensibilità di misure elettriche dovrà essere di circa 0,1 mV per resistività e SP e 0,1 mRad per i valori IP.

## 1.2 METHODS EMPLOYED

- 1) *Si installeranno due o una termocamera ad infrarossi del tipo FLIR T335 (telecamera termografica a infrarossi ) per il rilevamento a distanza la traccia termica del terreno. Al sistema di rilevamento in continuo sarà abbinato un termometro a raggi infrarossi dotato di tecnologia wireless per fornire dati quantitativi di riferimento utili alla standardizzazione delle immagini rilevate.*
- 2) *Realizzazione di un sistema intelligente TGRA di dialogo fra i dati termometrici, chimico-fisici e geofisici per il monitoraggio delle oscillazioni del livello piezometrico della falda superficiale e restituzione delle oscillazioni 2D e 3D.*
- 3) *Nelle due aree test saranno realizzati i modelli del sottosuolo mediante colonne (Soil Model Columns) con un'altezza di 3-4 metri ed un diametro di circa 500 mm; essi avranno lo scopo di fornire il supporto alla modellizzazione e calibrazione dei metodi indiretti, fornendo il comportamento della percolazione/ infiltrazioni e le eventuali reazioni chimico-fisiche del sottosuolo. I modelli saranno realizzati mediante tubazioni cilindriche - se possibile equipaggiate da una finestratura lungo l'intera lunghezza per visualizzare l'infiltrazione e ogni altro fenomeno- e chiusi all'estremità inferiore da un tappo con drenaggio per i lavaggi controcorrente. I fori consentiranno campionamenti ad ogni metro e l'inserimento di additivi, traccianti ecc. Il materiale prelevato dal sottosuolo dopo le opportune analisi petrografiche condotte dal partner 2, sarà riposizionato in modo da ricostruire la sequenza stratigrafica mediante compattazione che sarà eseguita utilizzando prove SPT di riferimento nel suolo e nei modelli per ottenere analoghi valori e simili condizioni di permeabilità utili al nel modello rispetto al suolo.*
- 4) *Per estendere la profondità massima di analisi termica che con un semplice sistema termografico basato sull'effetto dell'inerzia termica del suolo e primo*



*sottosuolo consente profondità massime di 1,5 m, si applicherà un monitoraggio automatico 2D/3D dell'infiltrazione basata sulle misure dei parametri elettrici di resistività, polarizzazione e/o potenziale spontaneo determinati per riconoscere l'effetto della migrazione delle acque di ricarica. Questa investigazione consentirà di estendere le valutazioni fino a una profondità di 5/7 m o comunque fino alla superficie di falda. I modelli permetteranno il controllo della migrazione su base di intervalli di 15 minuti (compatibili coi tempi di acquisizione e numero di sensori). La sensibilità di misure elettriche sarà di circa 0,01 mV per resistività e SP e 0,01 mRad per i valori IP.*

*Simili strutture, di dimensioni minori sono già state realizzate a fini di ricerca dai nostri tecnici per un Progetto R&D dell'Unione Europea.*

### 1.3 CONSTRAINTS AND ASSUMPTIONS

Calibrazione del Monitoraggio Termico/Geoelettrico rispetto all'anomalia residua del sottosuolo determinate per descrivere il transito dell'acqua di infiltrazione e le oscillazioni dell'interfaccia saturo-insaturo. Minimizzazione delle problematiche del monitoraggio delle variazioni dei parametri elettrici e IP/SP mediante un adeguato numero di sensori. Valutazione, anche economica e di praticità operativa, di un approccio basato su SEV – sondaggi elettrici verticali –più semplici della tomografia per le misure automatiche delle fluttuazioni della falda o per il monitoraggio dei suoi movimenti con potenziali applicazioni al campo delle misure di inquinamento e intrusione salina.

### 1.4 INDICATORS OF PROGRESS

- n.1 Test di funzionalità nelle 2 aree test dei sistemi ad infrarossi (entro il 5 mese); ESEGUITO
- Costruzione del prototipo (dal 5 mese); ESEGUITO
- Progettazione del sistema TGRA (entro il 5 mese); ESEGUITO
- N.3 realizzazione delle Soil Model Columns (dal 8 mese in poi); IN FASE DI ESECUZIONE
- Calibrazione dei vari tipi di sensori (dal 10 mese); IN FASE DI ESECUZIONE
- Verifica e funzionamento dei sistemi (dal 10 mese in poi); IN FASE DI ESECUZIONE (ESEGUITO per le misure elettriche e IP)
- Realizzazione delle TSM: in fase di realizzazione



## 2. ATTIVITA'

### 2.1 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI DATI MEDIANTE TERMO CAMERA AD INFRAROSSI FLIR T335 PER IL RILEVAMENTO A DISTANZA DELLA TRACCIA TERMICA DEL TERRENO

#### 2.1.1 Introduzione

In data 31 luglio 2012 presso la ditta FLC s.a.s. di Udine è stato svolto un incontro per la definizione e la progettazione del miglior sistema di acquisizione dei dati termografici. Il presente rapporto illustra la progettazione del sistema di acquisizione dei dati termografici tramite telecamera a infrarossi FLIR T335.











#### 2.1.2 Strumentazione

Una telecamera termografica a infrarossi (o termocamera) è uno strumento che rileva a distanza l'energia infrarossa (o termica) e la converte in un segnale elettronico, che viene in seguito elaborato al fine di produrre immagini video e realizzare calcoli della temperatura. Il calore rilevato da una termocamera può essere quantificato con estrema precisione, permettendo all'utente di monitorare la performance termica e, allo stesso tempo, di identificare e valutare l'entità di problemi di natura termica. Le ultime innovazioni del settore, in particolare la tecnologia dei sensori, l'introduzione di immagini visive integrate, le nuove funzionalità automatiche e lo sviluppo di software, permettono di offrire soluzioni di analisi termiche sempre più efficienti ed economiche. La FLIR T335 (*Fig. 2.1.2.1*) è una robusta termocamera (IP 54) appositamente studiata per la Ricerca e Sviluppo, i test scientifici e le misure di temperatura senza contatto. Sia che venga utilizzata manualmente o montata su cavalletto, azionata direttamente o mediante controllo a distanza, la S45 può essere configurata per soddisfare le più svariate esigenze applicative scientifiche.



Fig. 2.1.2.1 – La termocamera FLIR T335

### 2.1.3 Specifiche camera FIR T335

	<b>Risoluzione massima di 320 x 240 pixels</b> La risoluzione delle immagini IR va da 240x180 pixels a 320x240 pixels.
	<b>Sensibilità della termocamera</b> La sensibilità termica delle termocamere FLIR Serie B va da 70 mK a < 50 mK.
	<b>Fotocamera digitale di alta qualità</b> Le termocamere FLIR Serie B sono dotate di fotocamera digitale integrata da 1,3 Megapixels che rende le ispezioni più semplici e veloci.
	<b>Funzione Panorama (FLIR B250/B425)</b> Permette di prendere immagini in sequenza e combinarle automaticamente in un'unica grande immagine utilizzando il software FLIR BuildIR. Le immagini possono essere scattate in orizzontale, in verticale o in una combinazione delle due direzioni.
	<b>Campo di misurazione</b> Intervallo di misurazione della temperatura da -20 °C a +350 °C (a seconda del modello di termocamera)
	<b>Lenti ad infrarossi intercambiabili</b> Le termocamere FLIR Serie B sono dotate di una lente standard da 25° e lenti opzionali da 6°, 15°, 45° e 90°.
	<b>Interfacce flessibili</b> Le termocamere FLIR Serie B sono dotate di un'uscita video standard, cavo USB e scheda di memoria SD removibile.
	<b>Wifi</b> Trasferimento immagini, tramite wireless, ad uno smart phone (iPhone) o tablet PC (iPad). Possibilità di collegamento diretto o tramite una rete locale.
	<b>Filmati video MPEG-4</b> Possibilità di creare filmati video MPEG-4 non radiometrici delle immagini ad infrarosso e visive.
	<b>Streaming di filmati IR radiometrici</b> I video IR radiometrici a 16 bit possono essere inviati ad un PC (tramite USB) dotato del software FLIR R&D

	<b>FLIR Thermal Fusion (FLIR B425)</b> Fonde le immagini visive e quelle ad infrarossi per consentire un'analisi migliore.
	<b>Allarmi sonori e visivi sulla temperatura</b> Ispezioni più facili e veloci.
	<b>FLIR Picture-in-Picture (PiP)</b> Consente di sovrapporre un'immagine ad infrarosso su quella nel visibile. Ridurla, spostarla ed ingrandirla, a seconda del modello.
	<b>Annotazioni di testo e commenti vocali</b> Le annotazioni di testo possono essere prese da un elenco predefinito o inserite tramite touch screen. Per i commenti vocali, è possibile collegare una cuffia.
	<b>Bozze di disegno</b> Possibilità di creare bozze di disegno direttamente su touch screen tramite penna a stilo.
	<b>Memorizzazione delle immagini</b> Immagini radiometriche in formato JPEG che consentono l'elaborazione e la reportistica mediante il software FLIR compatibile con Microsoft Word®.
	<b>Touch screen</b> Touch screen LCD da 3,5" con penna a stilo, per portare l'interattività e la comodità dell'utente a livelli completamente nuovi.
	<b>Modalità di misurazione</b> Puntatore, area con indicazione automatica dei punti caldi/freddi, isoterme, calcolo AT (a seconda del modello di termocamera).
	<b>MeterLink™</b> La tecnologia MeterLink di FLIR consente di trasferire, tramite Bluetooth®, i dati acquisiti da una pinza amperometrica o da un misuratore di umidità e psicrometro multifunzione Extech alla termocamera ad infrarossi. La tecnologia MeterLink consente di risparmiare tempo e di eliminare il rischio di risultati o annotazioni errate.
	<b>Copy-to-USB</b> È possibile trasferire le immagini o i report direttamente dalla termocamera ad una chiavetta USB.
	<b>Report immediati (FLIR B335/B425)</b> Creazione immediata di report direttamente nella termocamera, facilmente copiabili su USB.
	<b>Allarme umidità/Allarme isolamento</b> L'allarme umidità relativa segnala le aree in cui vi è il rischio di condensa. L'allarme isolamento mostra le condizioni di isolamento della struttura. Immettendo nella termocamera i valori pertinenti, le aree che non soddisfano i requisiti appaiono colorate.

### 2.1.4 Applicazioni della termocamera

La termografia é impiegata nel settore ambientale con le seguenti finalità:

- individuazione delle eventuali anomalie termiche delle acque o delle terre;
- verifica dell'integrità delle coperture in discarica e di eventuali fuoriuscite di sostanze inquinanti;
- verifica della presenza di sostanze solide / liquide anomale;

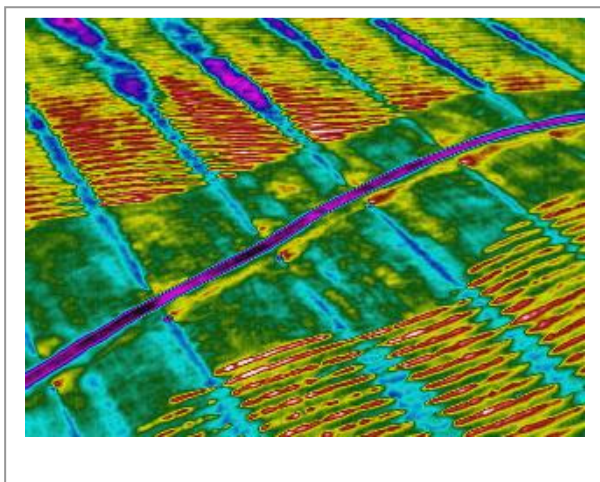
- monitoraggio dei contenitori per rifiuti per individuare eventuali falle con conseguente fuoriuscita di sostanze inquinanti;
- verifiche in campo agronomico dello stato d'umidità delle terre superficiali, oppure della qualità delle terre, oppure del monitoraggio degli impianti d'irrigazione, oppure della verifica dello stress idrico delle piante;
- rilevamento sul territorio di ogni variazione di temperatura tale da indurre il sospetto della presenza di focolai di incendi e monitoraggio delle aree sulle quali intervento anti-incendio è già avvenuto.

La termografia può essere impiegata nel settore geologico - idrogeologico con le seguenti finalità:

- verifica della presenza di sorgenti d'acqua;
- verifica della presenza di acque calde o termali;
- individuazione di zone umide o infiltrazioni d'acqua in aree potenzialmente instabili o in frana.

La termografia può essere impiegata nel settore dell'agricoltura con le seguenti finalità:

- Verifica stress idrico delle coltivazioni;
- Verifica stato fusti degli alberi;
- Verifica dell'umidità del terreno (*Fig. 2.1.4.1*);
- Verifica del corretto grado della temperatura delle piante.



*Fig. 2.1.4.1 - Immagine termografica, in evidenza la diversa temperatura del terreno determinata dalla presenza di umidità nel terreno.*

### 2.1.5 *Acquisizione dei dati*

La telecamera Sarà montata su una piattaforma a fisarmonica o su cestello e sarà quindi inclinata per coprire l'area con un apertura di circa 60°. La piattaforma si sposterà a una velocità tale da avere una sovrapposizione dei fotogrammi di circa 10% (Fig. 2.1.5.1).

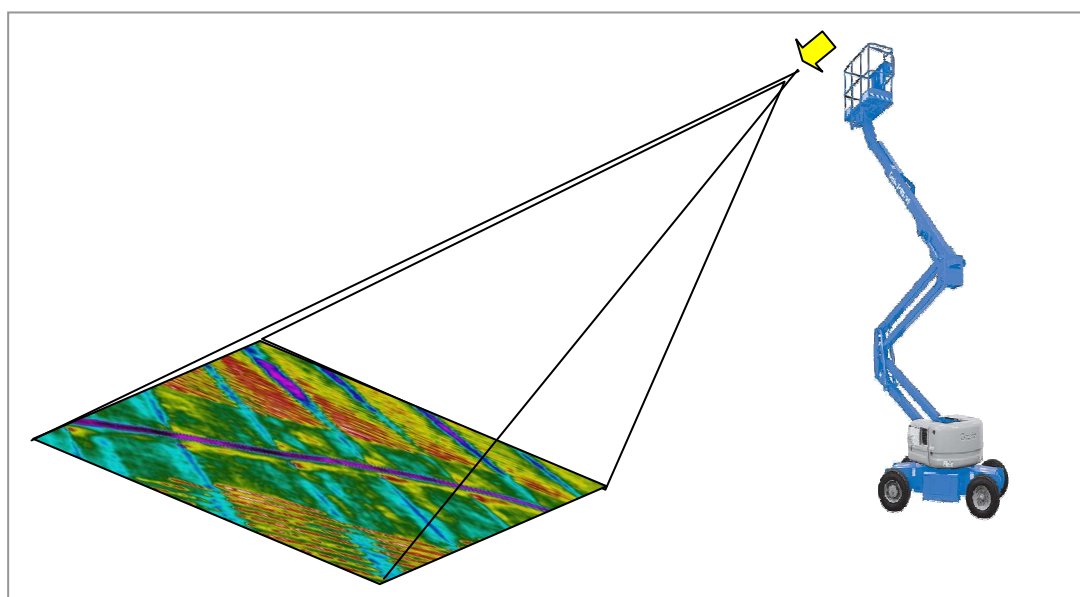


Fig. 2.1.5.1 – Schema posizionamento telecamera

Per la trasmissione dei dati verrà utilizzato il software FLIR Viewer Connettività Wi-Fi per dispositivi mobili. Il software FLIR Viewer è un intuitivo per iPad® - iPhone® - iPod Touch® app per l'importazione, l'analisi, la gestione e la condivisione di immagini termiche che consentono di collegare in modalità wireless le nuove telecamere. Con la connessione via Wi-Fi per una termocamera FLIR compatibile è possibile importare i dati memorizzati o vedere le immagini termiche dal dispositivo mobile all'istante. Quindi utilizzare FLIR Viewer per aggiungere punti di misurazione e altri dati, regolare il livello di calibrazione e, palette cambio, e creare e rapporti e-mail.



## **2.2 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA TGRA DI DIALOGO FRA I DATI TERMOMETRICI, CHIMICO FISICO E GEOFISICI PER IL MONITORAGGIO DELLE OSCILLAZIONI DEL LIVELLO PIEZOMETRICO DELLA FALDA SUPERFICIALE**

Il sistema, per quanto attiene a EUREKOS, è basato su indagini termometriche e indagini geoelettriche per poter correlare l'infiltrazione superficiale con i movimenti delle acque in profondità.

Questo prevede la visualizzazione termica della superficie del suolo e una serie di sezioni geoelettriche a diverse profondità o per time slices, per la visualizzazione dei moti dell'acqua nel sottosuolo attraverso lo studio delle variazioni dei parametri elettrici determinati dal passaggio delle acque.

### *2.1.2 Sviluppo del sistema termometrico*

Come già brevemente menzionato, l'accoppiata indagini Geoelettriche/indagini Termografiche ha lo scopo di mettere in evidenza le relazioni tra il terreno saturato superficialmente dalle opere di ricarica (spagliatura acqua con lama d'acqua in superficie, da canalette, con ovviamente l'esclusione dell'iniezione da pozzo) e le varie modalità di percolazione nel sottosuolo.

Immaginando il sottosuolo come una scatola piena di sabbia a diverse granulometrie, lievemente inclinata, senza coperchio, con pareti trasparenti e un livello d'acqua sul fondo a rappresentare la falda, viene più semplice comprendere l'effetto combinato delle due metodologie.

Cominciando a versare acqua dolcemente sulla superficie avremo una rapida infiltrazione nel terreno e successivamente questa rallenterà per saturazione del terreno alla superficie. Sarà facile riconoscere in superficie, dal colore della sabbia, le aree umide, sature o i ristagni d'acqua; Questo è quanto ci proponiamo di fare con la termografia nella condizione reale. Nel contempo l'acqua si muoverà verso il basso e dalla nostra finestra trasparente, potremo vedere come la stessa si muove verso il basso, quando raggiunge la falda, e come si sposti anche orizzontalmente nel caso di disomogeneità e variazioni di permeabilità. Questo è quanto ci proponiamo di fare con le indagini geoelettriche.

Le differenze, e quindi le problematiche, per passare dal modellino alla scala reale sono ovviamente date dalle dimensioni, dalla presenza di vegetazione e dalla



morfologia superficiale, dalle variazioni di porosità della superficie che in pratica si traducono in un disomogeneo assaggio delle acque dalla superficie al sottosuolo.

Una volta nel sottosuolo le disomogeneità di granulometria, la presenza di lenti, aggregati, aree umide, e la differente altezza della frangia capillare, si tradurranno in disomogenei comportamenti nel sottosuolo.

Ecco quindi che la termografia, fornendoci una immagine della superficie del suolo (una serie di immagini) basata sulle differenze di  $T^\circ$  (l'acqua solitamente ha  $T^\circ$  attorno ai  $10-12^\circ$  ed è quindi più fredda del suolo quasi tutto l'anno, per poi essere più calda in pieno inverno) ci permette di riconoscere le aree sature, umide, i ristagni e quelle secche. Con questa mappa sarà possibile ottimizzare le spagliature scegliendo aree più restie a cedere acqua al sottosuolo (rallentando quindi l'infiltrazione) o viceversa scegliendo aree ove le acque attraversano più facilmente il primo strato di terreno. Su questa base considerando le aree di ristagno dovrebbe essere possibile anche stimare, molto approssimativamente, i volumi entrati nel sottosuolo.

Per realizzare un "time-lapse" dell'infiltrazione sarà necessario ottenere una serie di immagini dell'intera area ad intervalli di pochi minuti, da correlare con misure geoelettriche. Per questo motivo sarà opportuno operare con piattaforma/piattaforme mobili con supporto fisso per la telecamera, piuttosto che da torri fisse. All'esecuzione del fotogramma di interesse la camera/le camere potranno agevolmente essere spostate per coprire ulteriori aree.

Per facilitare la fase di mosaicatura e sovrapposizione l'area sarà suddivisa mediante una serie di riferimenti "freddi" realizzati con coni ricoperti con fogli di alluminio. Questi saranno ubicati secondo una maglia cartografata  $10 \times 10$  o  $25 \times 25$  in modo da fornire i riferimenti per la mosaicatura. I riflettori potrebbero avere, se necessario, figure di riconoscimento - uno o più quadrati, cerchi, mezzelune ecc, realizzati anch'essi in foglio di alluminio o viceversa in metallo nero (traccia "calda"), per poterli meglio riconoscere nelle immagini termiche. La scelta dipenderà dagli orari delle misurazioni e dall'insolazione.

A questo punto entra in gioco l'indagine geoelettrica ed IP che ha lo scopo di farci comprendere cosa avviene durante la percolazione delle acque verso la falda.

Anche qui per ottenere il "time-lapse" della percolazione a profondità saranno necessarie una serie di misurazioni successive spaziate di pochi minuti.

I primi problemi sorgono a questo punto: poiché la registrazione, anche speditiva, di una sezione a 80 elettrodi richiede almeno un'ora è chiaro che questo tempo non è compatibile con la realizzazione di un accurato "time-lapse" a meno che l'infiltrazione non richieda diverse ore. Sarà quindi necessario ridurre il numero di elettrodi e utilizzare la catena da 80 o 120 elettrodi, per realizzare una serie di sezioni



geoelettriche parallele, esempio 4 sezioni da 20 elettrodi , per coprire un area maggiore o per ubicarle sulla base di eventuali anomalie termiche. Questa possibilità ed i suoi vantaggi rispetto alla ripetizione della stessa sezione devono però essere verificati, ma la possibilità di poter lavorare su diverse sezioni dovrebbe permetter di “attivare” solo certi quadripoli in modo da non dover ripetere misure dopo il “transito” delle acque. Ad esempio: dopo che le acque hanno passato quota -6 e la termografia ci segnala assenza di acque in superficie, non è significativo ripetere tutta la sequenza di quadripoli che coprono la sezione per la sua lunghezza e fino a quota -6. Questo si tradurrebbe in un grande risparmio di tempo e quindi nella possibilità di eseguire un maggior numero di sezioni per il “time-lapse”.

### *2.1.3 Descrizione sintetica del prototipo di sistema*

#### *Parte Termometrica*

- Termocamera FLIR T335 o equivalente;
- Adattamento con trasmissione dati Wi-Fi, trasmissione dati fino a circa 20-30 m su I-pad per visualizzazione real time dei dati;
- Registrazione in continuo dei dati su HD;
- Possibilità (in sviluppo) di invio comandi start stop per la registrazione;

Il sistema termometrico sarà montato su piattaforma mobile in modo da poter muoversi per garantire la copertura totale dell’area anche con l’uso di ottiche non grandangolari spinte.

#### *Parte geoelettrica*

Sistema geoelettrico tomografico adattato via SW per:

- Esecuzione di misure ad intervalli prefissati (in accordo con i dati termometrici o a intervalli stabiliti)
- Esecuzione di misure a partire da profondità selezionate ( inizio misure a partire da un determinato quadripolo con apertura corrispondente alla profondità richiesta)
- Possibilità di selezionare le frequenze di acquisizione per evitare interferenze durante la registrazione in contemporanea di profili molto vicini mediante l’uso di 2 unità di controllo ( eventualmente necessario se la velocità di percolazione



è superiore alla velocità di misura; una sezione registrerà i dati dalla superficie a quota  $-z$  e l'altra da  $-z$  fino alla profondità prevista.

#### ***2.1.4 Accessori***

Coni “markers” con copertura in fogli di alluminio ed eventuali simboli geometrici per riconoscimento dei punti di riferimento e/o nodi del reticolo.

#### ***2.1.5 Procedura di misurazione***

Lo schema di *figura 2.1.5.1* riassume la metodologia di misura del sistema TRGA, in seguito vengono elencate le fasi principali:

1. Verifica della possibilità di copertura dell'area con immagini termiche.(dalla piattaforma).
2. Definizione dei punti di misura mediante mosaicatura B/N con immagini nello spettro visibile, verifica visibilità marker e sovrapposizionabilità.
3. Identificazione dei migliori punti di stazionamento, marcatura sul terreno.
4. Verifica trasmissione dati WI-FI.
5. Stesa della linea/linee geoelettriche di cui una linea a 80 elettrodi per calibrazione.
6. Esecuzione delle misure di riferimento a 80 elettrodi.
7. Verifica dei tempi di misurazione.
8. Definizione del numero di elettrodi da impiegare per la misure per realizzare diverse misure durante l'infiltrazione.
9. Stesa di sezioni geoelettrich parallele usando le spaziature scelte.
10. Inizio misure termometriche ( max irraggiamento solare), inizio misure geoelettriche.
11. Spostamento piattaforme come/se necessario.
12. Misure geoelettriche in sequenza utilizzando una o più sezione con diversi quadripoli di inizio misura, secondo quanto descritto precedentemente.
13. Allo stabilizzarsi dei valori geoelettrici alla base della sezione più profonda (percolazione ha raggiunto il limite della sezione o la falda) esecuzione di altre misure nella parte superficiale per conferma del transito dell' acqua di ricarica.
14. Ripetizione misure nel giorno successivo, o in tempi tali da garantire il ritorno del sottosuolo nelle condizioni di partenza, in caso di risultati insoddisfacenti.

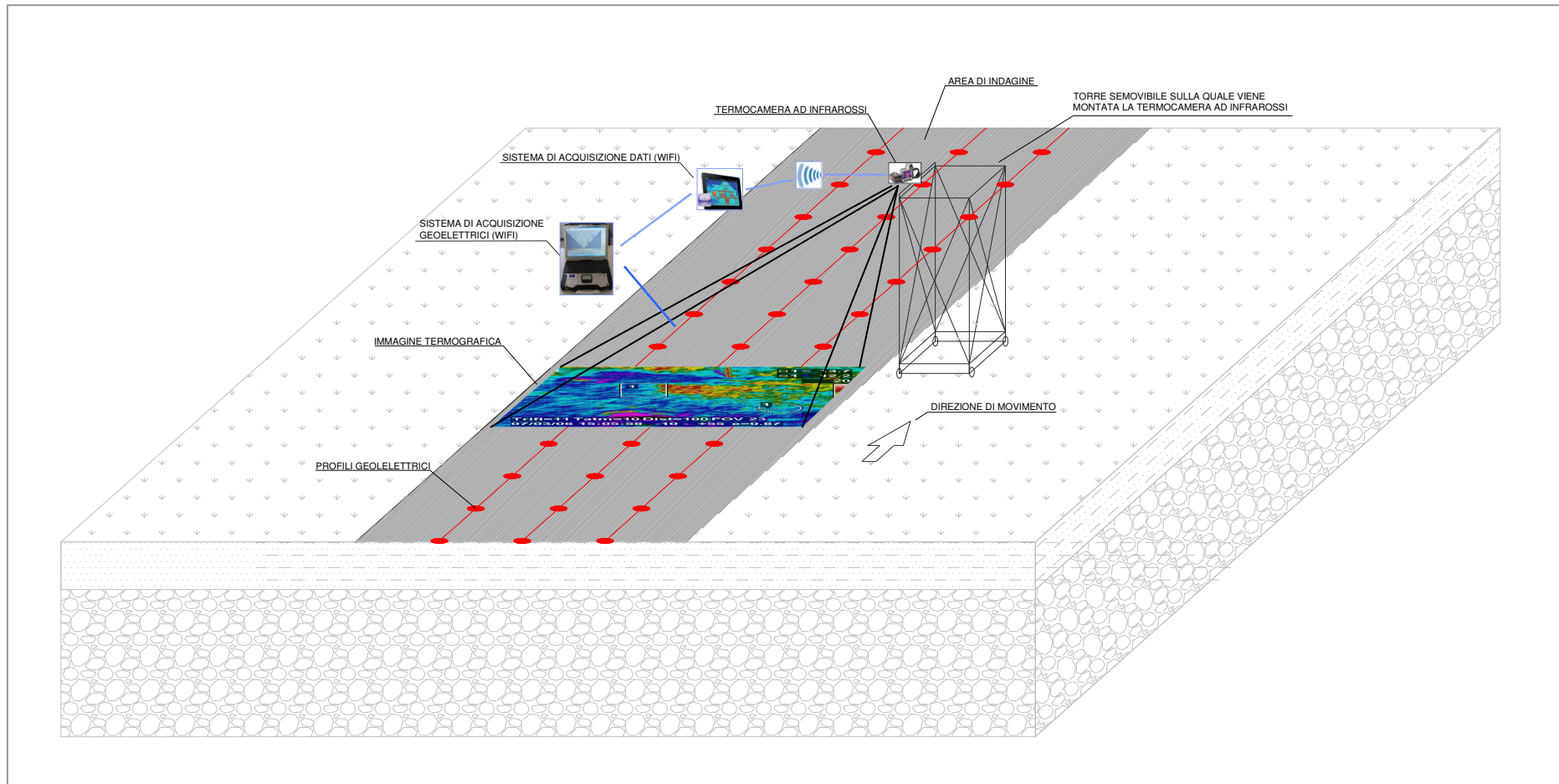


Fig. 2.2.1.5 – Schema sistema TRGA



## 2.3 PROGETTAZIONE DI MODELLI DEL SOTTOSUOLO MEDIANTE COLONNE (SOIL MODEL COLUMNS)

La progettazione delle colonne si è svolta in stretta collaborazione con un costruttore di prototipi in Acciaio Inox e policarbonati, essendo la ditta MILANESE s.a.s. di Bertiole (Udine) un produttore di modelli di macchine per acquacoltura che realizza ogni tipo di prototipo in policarbonato, VTR o inox. Ci siamo rivolti a questi per l'assoluta competenza mostrata nella realizzazione di un sistema estremamente complesso per il trattamento di acque inquinate da metalli pesanti. L'incontro è avvenuto il 25 giugno 2012.

Si è quindi lungamente discusso di pesi, pressioni radiali (dato il riempimento con acqua e sedimenti), stabilità, trasporto, assemblaggio e T°.

La lunga discussione ha portato allo sviluppo del progetto visibile in *Fig. 2.3.1*, che riassume in sé le soluzioni ai problemi finora previsti.

Questi si possono così riassumere:

- **Peso:** calcolando un diametro di 30 cm e una altezza di 3 m otteniamo circa 0,3 metri cubi di volume, che con un riempimento di peso specifico 1,6-2 (acqua + suolo) dà un peso di circa 480-600 kg.
- **Stabilità:** sulla base di quanto sopra e con un baricentro a circa 1,8 m da terra è chiaro che occorre prevedere una solida base di appoggio e adeguati fissaggi anti-ribaltamento sul una solida muratura
- **Trasporto:** si tratta di un problema risolvibile costruendo un colonna divisa in settori, ma questo pone il problema di una adeguata sigillatura delle giunzioni e della realizzazione di giunti a bicchiere.
- **Resistenza durante il riempimento:** essendo necessario garantire una corretta compattazione ai materiali, le pareti dovranno essere in grado di resistere sia alle erosioni, sia eventuali forature causate dal contatto con ciottoli.
- **Minima perturbazione dei flussi d'acqua:** la necessità di separare in 2 blocchi i sedimenti e irrobustire la struttura ha comportato l'uso dei dischi forato. Riteniamo che la loro interazione coi movimenti dell'acqua sia minima.

- Prezzo: il costo delle colonne è molto superiore al previsto; una colonna in policarbonato, per avere un minimo di trasparenza e poter controllare l'eventuale sviluppo di alghe, occlusioni o similari è ben al di sopra delle stime.

Si sta valutando una realizzazione in VTR e in acciaio Inox, eventualmente bisognerà ricondursi all'idea originale di utilizzare tubature in PVC di grande diametro rispettando comunque l'insieme del disegno progettuale.

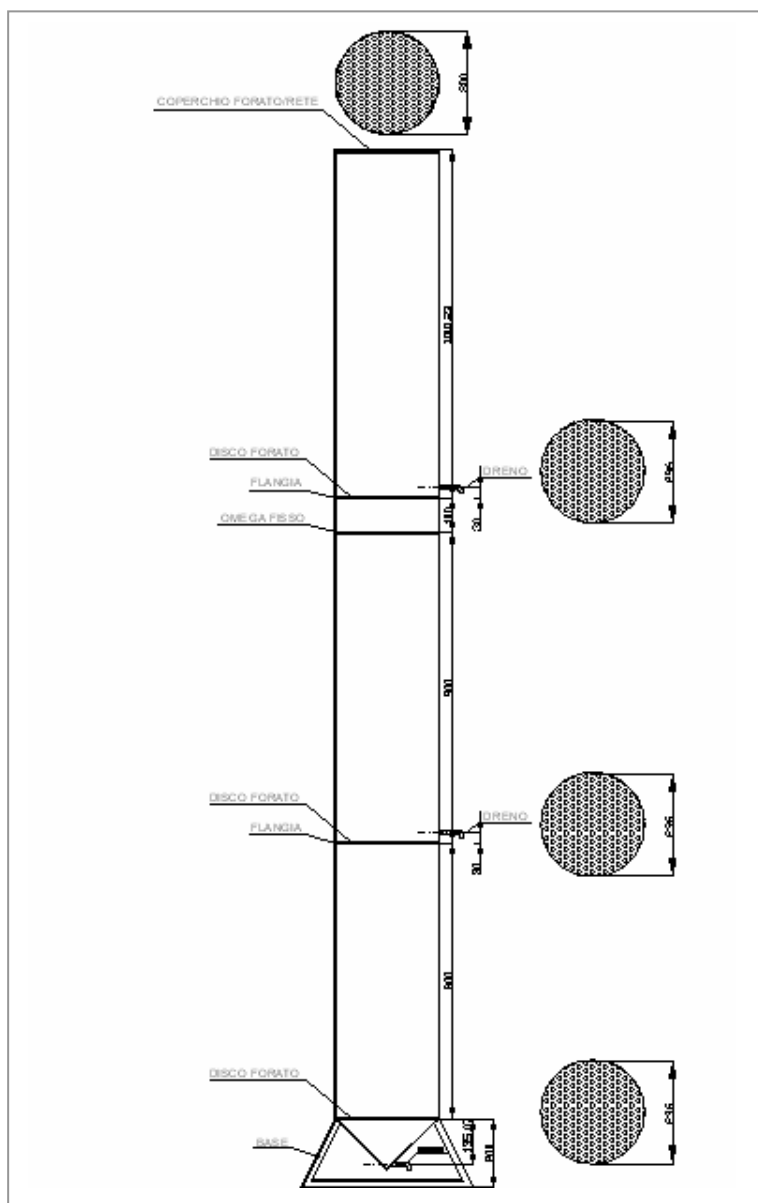


Fig. 2.3.1 – Schema costruttivo “Soil Model Columns”



## **2.4 INDAGINI CON METODO GEOELETTICO TOMOGRAFICO PER LA DEFINIZIONE DEI PARAMETRI METODOLOGICI OTTIMALI PER IL MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI VERTICALE DELLE ACQUE NEL SOTTOSUOLO IN PREVISIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE PER LA RICARICA DELLE FALDE**

EUREKOS è responsabile all'interno del progetto WARBO per la ACTION 8 che comprende l'impiego di metodi geoelettrici e termici per il controllo e il monitoraggio delle infiltrazioni.

In questi primi mesi di progetto si è provveduto a identificare le specifiche tecniche migliori per il monitoraggio delle infiltrazioni in modo da essere immediatamente operativi una volta resi disponibili i siti di test. In questa ottica sono state eseguite alcune campagne di indagine sfruttando l'irrigazione a scorrimento per simulare il ripascimento della falda. Nel caso in esame la falda si trovava a diverse decine di metri di profondità, ma le modificazioni indotte dalla percolazione delle acque è stata ben visibile negli intervalli di interesse per il progetto.

L'indagine è stata eseguita in un tratto di alta pianura caratterizzata da sedimenti fluvio glaciali con ferretto, la località è stata scelta in adiacenza ad una profonda cava di ghiaia in modo da avere una sezione esposta del sottosuolo.

Le indagini sono state effettuate in due fasi: la prima in corrispondenza di clima secco e limitate irrigazioni e la seconda successivamente ad alcuni eventi piovosi e a periodi di irrigazione a scorrimento. La realizzazione di profili di lunghezza superiore a 300 m ha permesso di raggiungere una profondità massima di indagine di oltre 25 m.

Sono state selezionate sulla base delle ricerche bibliografiche un'area nell'alta pianura friulana sulla quale testare le strumentazioni e determinare i parametri di acquisizione nell'attesa della disponibilità dei siti di ricarica artificiale: Osoppo (Provincia di Udine) ed una nella bassa pianura friulana, Madrisio (Provincia di Udine), in prossimità del fiume Tagliamento.

In seguito al sopralluogo avvenuto il 4 giugno 2012 è stata scelta come area di test un'ulteriore zona compresa fra Pozzuolo Del Friuli e Samardenchia (Provincia di Udine) sede di un impianto di ricarica artificiale (in seguito denominati con la sigla R.A.) del Consorzio di Bonifica Ledra Tagliamento.

La prima campagna è stata eseguita nella terza settimana del mese di aprile 2012 e più precisamente (Osoppo e Madrisio) il 19 e 20 aprile mentre la seconda campagna è stata effettuata per poter sfruttare le irrigazioni e le successive piogge nel mese di giugno nei giorni 14 e 15 (Pozzuolo del Friuli) (*Fig. 2.4.1*).

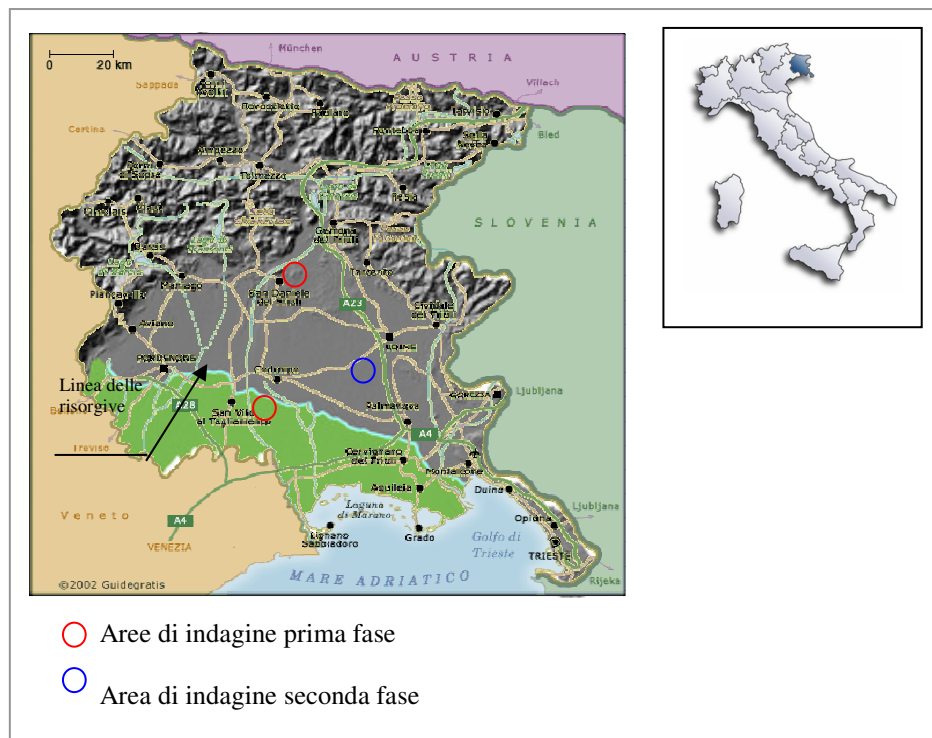


Fig. 2.4.1 - Corografia aree di indagine

### 2.4.1 Metodologia

L'indagine geoelettrica si basa sulla determinazione delle variazioni di resistività elettrica ( $r$ ) delle litologie presenti nel sottosuolo che nel caso in esame è costituita da sedimenti ghiaiosi abbastanza omogenei con limi ferrettizzati. La resistività è un parametro indipendente dalle caratteristiche geometriche dell'elemento studiato ed è definito come la resistenza elettrica per unità di volume (Tab. 2.4.1.1).

Ogni corpo geologico presenta un ampio campo di variabilità dei propri valori di resistività che dipendono dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e come nel caso dei terreni in esame, dalla granulometria e dalla presenza d'acqua.

Roccia/Materiale	Resistività ( $\Omega \cdot m$ )
Argille, marne grasse	3 - 30
Argille, marne magre	10 - 40
Argille sabbiose, silt	25 - 105
Sabbie con argille	50 - 300
Sabbia, ghiaia in falda	200 - 400
Sabbia, ghiaia asciutta	800 - 5000
Calcere, gesso	500 - 3500
Arenaria	300 - 3000
Granito	2000 - 10 000
Gneiss	400 - 6000
Rifiuti domestici	12 - 30
Fanghi industriali	40 - 200
Plume contaminato da rifiuti domestici	1 - 10
Olio esausto	150 - 700

Tab. 2.4.1.1 - Valori di resistività dei terreni più comuni e in alcuni casi particolari di contaminazione

#### 2.4.1.1 Proprietà elettriche del suolo

La resistività dei terreni è controllata principalmente dai seguenti fattori:

- grado di saturazione dei pori;



- presenza di argilla;
- porosità;
- salinità del fluido presente nei pori;
- temperatura;
- fratturazione;
- presenza di cavità.

che nel nostro caso si limitano ai primi tre parametri che vengono matematicamente espressi dalla relazione empirica proposta di Archie :

$$\rho_s = \rho_f a \Phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- $\rho_s$  : resistività ( $\Omega \cdot m$ ) del suolo parzialmente saturo di fluido;
- $\rho_f$  : resistività ( $\Omega \cdot m$ ) del fluido presente nei pori;
- $S$ : frazione del volume di pori occupata dal fluido;
- $m$ : coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2);
- $a$ : costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia: 0.62);
- $n$ : coefficiente adimensionale, (tipico per sabbia :2.15);
- $\Phi$ : porosità del suolo.

che trova buona applicazione nei suoli aventi scarsa componente argillosa, come quelli in esame costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie.

La resistività dell'acqua,  $\rho_f$  è inoltre calcolabile qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es.  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , ecc.) utilizzando la formula:

$$\rho_f = 0.0123 + 10^{(3.562 - 0.955 \log_{10} C)}$$

dove  $C$  è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascun ione) di tutti gli ioni presenti.

Nel particolare caso delle comuni acque di superficie o di falda, si possono applicare i seguenti valori:

H<sub>2</sub>O con :      100 mg/l di Cl<sup>-</sup> :  $\rho_f = 13 \Omega \cdot m$   
                         1000 mg/l di Cl<sup>-</sup> :  $\rho_f = 2.75 \Omega \cdot m$   
                         10000 mg/l di Cl<sup>-</sup> :  $\rho_f = 0.3 \Omega \cdot m$  .

### 2.4.2 Strumentazione

L'indagine è stata eseguita con strumentazione per geoelettrica tomografica 4point hp (Fig. 2.4.2.1) prodotta da L-Gm Lippmann Geophysikalische Messgeräte (Germany), caratterizzata da elevate prestazioni e possibilità di gestire diversi moduli di catene elettrodiche fino a oltre 500 elettrodi.

L'unità centrale è comandata da un laptop ed ha le seguenti caratteristiche:

- capacità di memoria per > 16.000 misurazioni;
- polarizzazione indotta spettrale;
- risoluzione di fase fino a 50mrad;
- possibilità di calibratura in base alla variazione di resistenza;
- interfaccia per catena elettrodi attivi;
- determinazione dell'errore di misura statistico;
- calcolo diretto della resistività apparente per misurazioni Wenner, Schlumberger, Schlumberger/2 polo-polo, dipolo-dipolo.

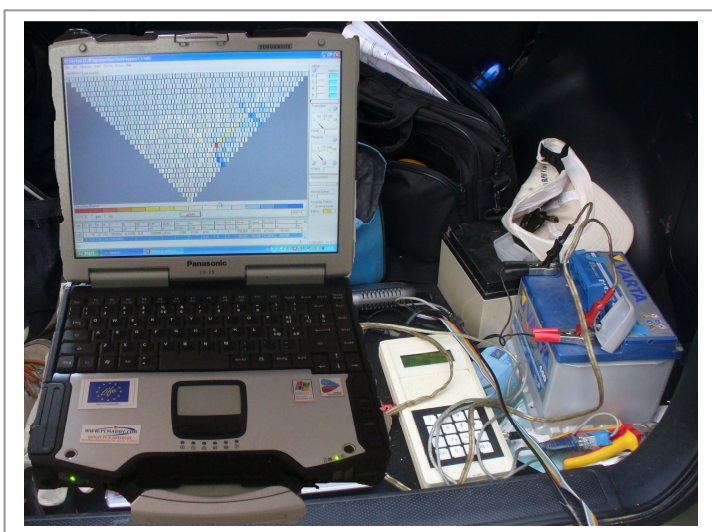


Fig. 2.4.2.1 – Configurazione di campagna del sistema di acquisizione dei dati, a sinistra l'unità centrale 4point light hp

Il segnale viene trasmesso, ricevuto e modificato attraverso delle centraline (ActEle) (Fig. 2.4.2.2) aventi le seguenti caratteristiche:

- interfaccia semplice RS232, possibilità di collegamento a sistemi geoelettrici esistenti;
- resistenza d'entrata ca. 1GOhm@1Hz.

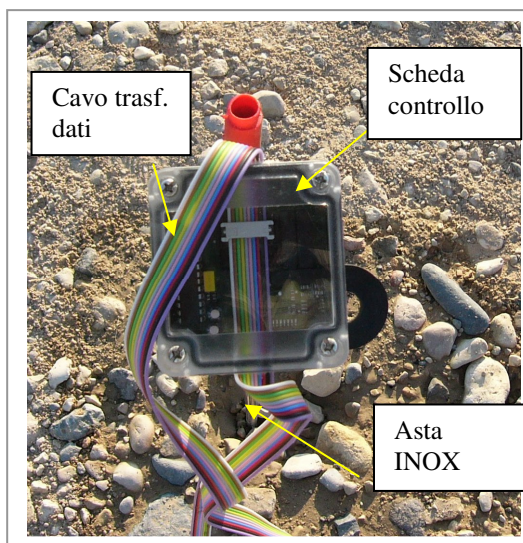


Fig. 2.4.2.2 – ActEle (Active Electrode). Vista della scheda elettronica di controllo di ognuno degli Elettrodi attivi

Il sistema viene gestito tramite laptop con il software Geotest (Fig. 2.2.3).

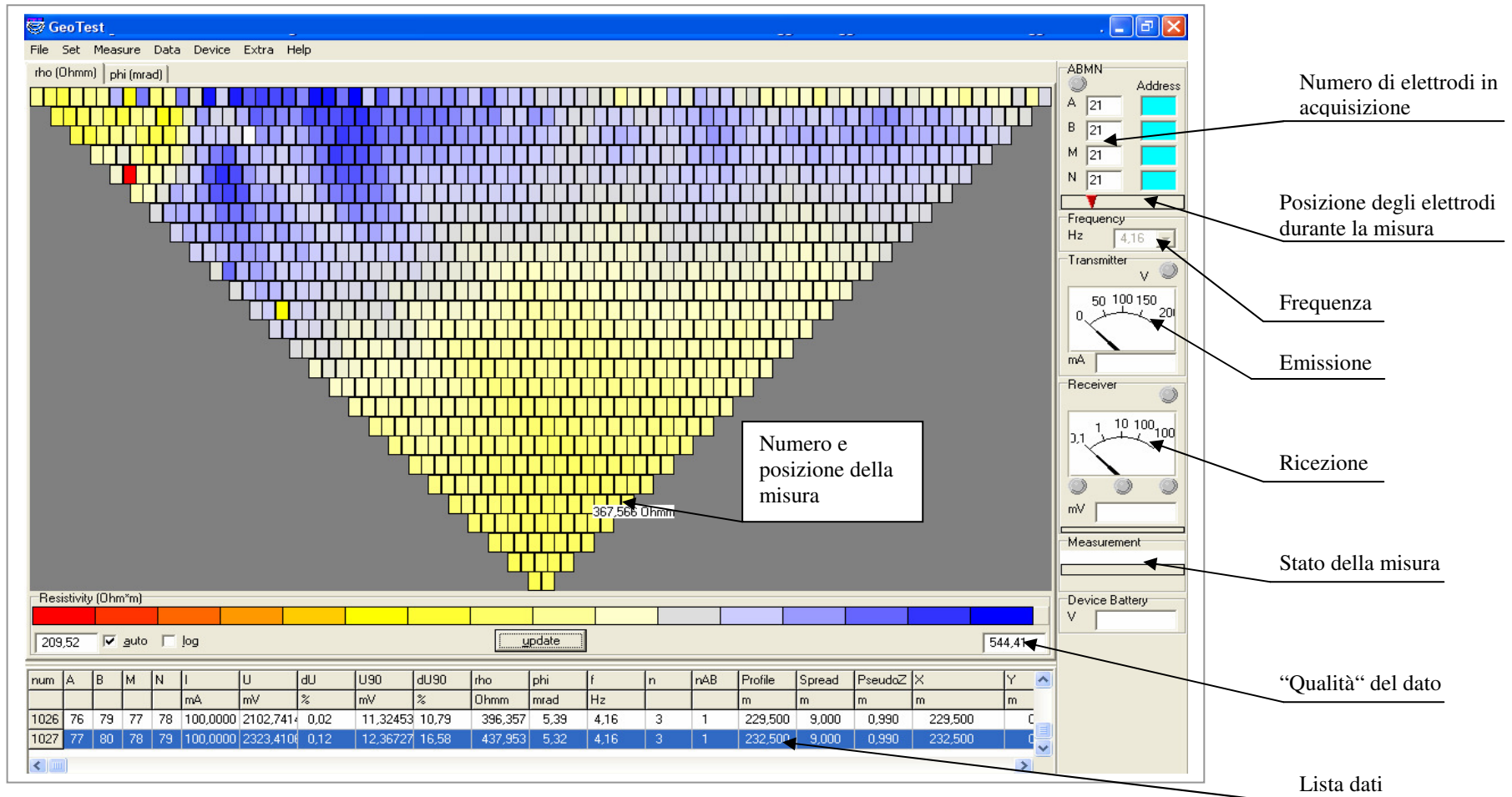


Fig. 2.4.2.3 – Visualizzazione delle celle di misura durante la fase di acquisizione con il software Geotest

### *2.4.3 Esecuzione Profili Geoelettrici Tomografici*

Sono state eseguite due campagne di misura in periodo secco ed umido, cioè precedentemente e successivamente alle irrigazioni e precipitazioni. Per ogni campagna sono stati eseguiti una serie profili geoelettrici tomografici con diverse configurazioni strumentali per poter meglio evidenziare le variazioni dei valori elettrici indotte nel sottosuolo dai movimenti delle acque meteoriche e di irrigazione.

I profili geoelettrici tomografici sono stati effettuati con configurazione Wenner e Dipolo-Dipolo con stendimento di base di 80 elettrodi spazati 2 o 3 m alcuni sono stati eseguiti con metodologia Roll-on mediante successive aggiunte di sezioni costituite da 20 elettrodi fino al raggiungimento delle lunghezze previste (*Fig. 2.4.3.1*). E' stata utilizzata una sorgente esterna di energia per poter raggiungere una intensità massima di 100.000 mA ed una buona trasmissione di energia fino a oltre 30 m di profondità.



*Fig. 2.4.3.1 – Profilo geoelettrico tomografico*

#### 2.4.4 Elaborazione dei dati

Per l'inversione tomografica del dato di resistività e di caricabilità, è stata utilizzato il software **RES2DINV**, che determina automaticamente un modello bidimensionale della resistività e della Polarizzazione Indotta. La modellizzazione bidimensionale usata dal programma d'inversione consiste nella suddivisione del sottosuolo in una matrice costituita da elevato numero di celle elementari (blocchi), oltre 1000 per uno stendimento di 300 m con 80 elettrodi a spaziatura 2m. La disposizione dei blocchi è legata strettamente alla distribuzione dei punti di misura nelle pseudosezioni

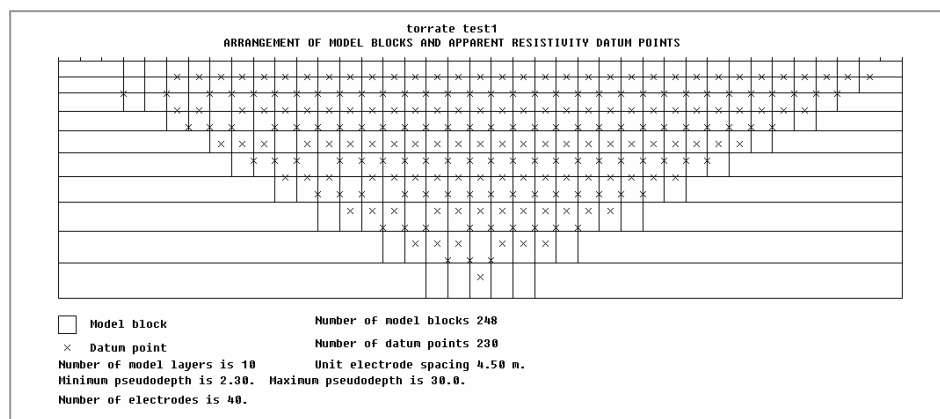


Fig. 2.4.4.1 - Disposizione dei blocchi e dei punti di misura con configurazione Wenner

La resistività è indicata in ohm/m sia sotto forma numerica che grafica a colori: le tonalità blu-verde indicano terreni a bassa resistività mentre le tonalità giallo-rosso-viola indicano terreni ad alta resistività.

#### 2.4.5 Risultati

Come accennato sono state svolte due campagne di indagine cercando di sfruttare sia l'irrigazione dei frutteti sia le precipitazioni per visualizzare la distribuzione e la variazione di umidità.

La prima campagna eseguita in clima secco ha permesso di trarre le seguenti considerazioni di carattere generale che saranno poi descritte nel dettaglio sezione per sezione; in particolare le sezioni esterne mostrano la seguente situazione.



Il sottosuolo, come logico vista la sua natura ghiaioso-sabbiosa, ha valori di resistività abbastanza elevati che sono particolarmente alti in prossimità della superficie con medie superiori a 500 ohm/m che diminuiscono generalmente in profondità con presenza anche di lenti sospese con valori variabili da 100 a 50 ohm/m.

#### 2.4.5.1 *Risultati prima campagna di indagine, terreno secco (OSOPPO - MADRISIO)*

##### **Area di test Osoppo (Prov. di Udine)**

L'area di Osoppo è caratterizzata da suoli estremamente permeabili nei quali le ricariche avvengono ad opera dei fiumi e la falda presenta rapide variazioni di quota sia temporali che orizzontali. Si hanno infatti rapidissime risalite della falda fino alla superficie, in occasioni di forti eventi piovosi nell'area ed anche a pochi km a monte e variazioni di profondità anche notevoli spostandosi perpendicolarmente agli alvei fluviali del fiume Tagliamento. Si possono trovare infatti falde sospese effimere in corrispondenza a particolare lenti meno permeabili e a poca distanza, su terreni più ghiaiosi, non si rinviene alcuna falda superficiale. Questo sito è stato scelto per la sua criticità e le difficoltà di tracciare precisamente questi rapide variazioni in suoli estremamente permeabili. I test sono stati estremamente positivi ed hanno fornito una elevata risoluzione sia verticale che orizzontale. I parametri di acquisizione sono stati memorizzati per l'utilizzo in condizioni simile durante i test di ricarica nei siti prescelti. Gli esempi sono riportati nelle *figg. 2.4.5.1.1 e 2.4.5.1.2.*

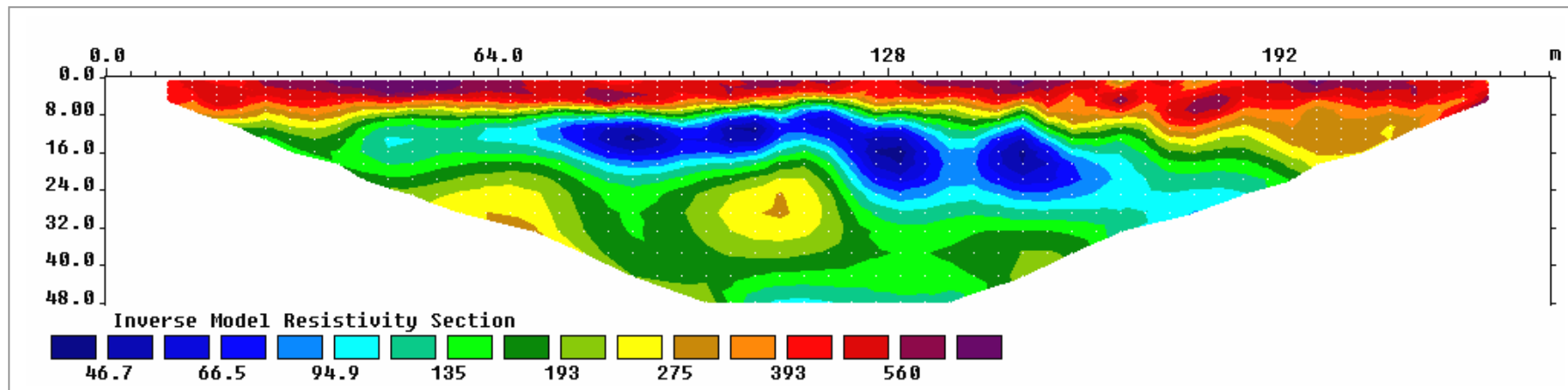


Fig.2.4.5.1.1 - Alta Pianura Friulana - Osoppo. Esempio di profilo Dipolo-Dipolo registrato perpendicolarmente ad un alveo fluviale all'interno della piana di divagazione del Tagliamento. Si nota chiaramente la presenza dei terreni permeabili saturati nei quali insiste la falda, in azzurro, che si abbassa verso la fine della sezione. I terreni secchi e ghiaiosi soprastanti sono ben evidenziati in rosso-bruno.

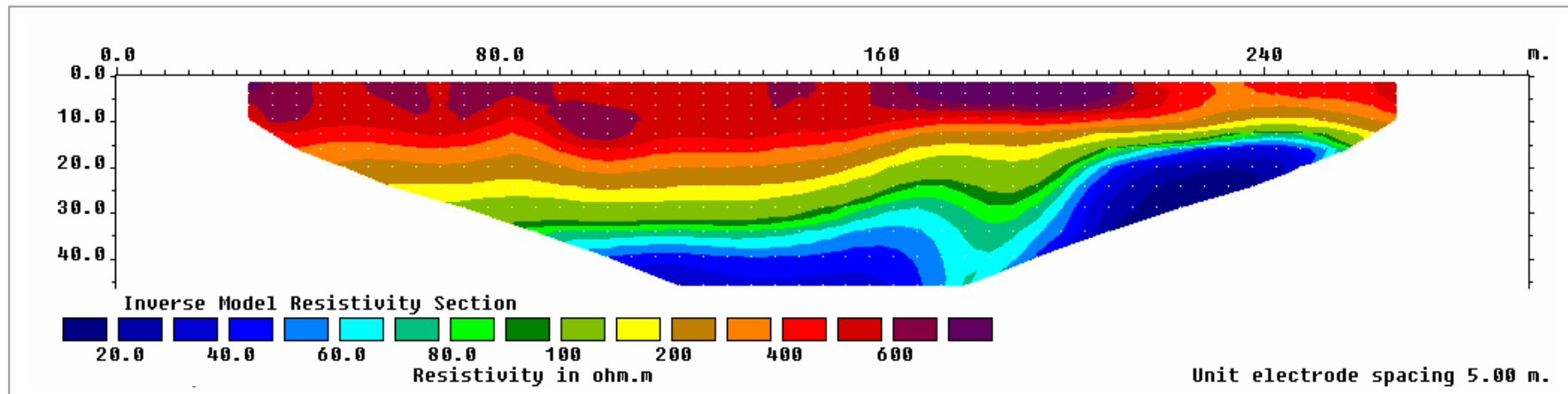


Fig. 2.4.5.1.2 - Alta Pianura Friulana - Osoppo. Esempio di profilo WENNER lunghezza 300 m. Perpendicolare, ma a distanza da ramo fluviale principale in area estremamente ghiaiosa con assenza di falda visibile.



La sezione di *figura 2.4.5.1.2* è stata eseguita con configurazione WENNER in un'area ad una certa distanza dal ramo fluviale principale in un greto ghiaioso con elementi di grande pezzatura e elevatissima permeabilità. La traccia della ricarica fluviale è ben visibile e si approfondisce dalla fine della sezione verso il suo inizio. L'estrema permeabilità, e quindi resistività elettrica, è testimoniata dagli elevati valori di resistività nei terreni immediatamente superiori alla falda. Queste condizioni sarebbero ideali per una ricarica artificiale.

### **Area di test Madrisio (Prov. di Udine)**

Si trova in un contesto fluviale ancora simile a quello di Osoppo, greto ghiaioso con scarsa o totale assenza di acqua nei periodi siccitosi e rapide piene in corrispondenza di eventi meteorici intensi e brevi, non troppo lontani, ma appartiene già alla bassa pianura Friulana.

Lo scopo dei test in quest'area era la ricerca dei migliori parametri per evidenziare falde sottosuperficiali e acquiferi più profondi, che potrebbero simulare la ricarica, con saturazione del suolo e il target finale da ricaricare.

La sezione di *figura 2.4.5.1.3* presenta una eccellente rappresentazione di un acquifero quasi affiorante, che simula il terreno saturato dalle ricariche artificiali, che si estende per quasi tutta la lunghezza della sezione e sovrasta un acquifero più profondo dal quale si innalza un lobo basso resistivo. Poiché i materiali soprastanti l'acquifero profondo sono alto resistivi, si deve assumere che si tratti di ghiaie o sabbie cementate che permettono un certo confinamento dell'acquifero. In particolare, per quanto attiene le R.A, questa sezione permette di verificare le capacità di discriminazione di acquiferi sovrapposti, elemento indispensabile per il monitoraggio delle R.A..

Gli elementi raccolti sono stati memorizzati per l'uso durante le future campagne di monitoraggio delle R.A. nei siti prescelti.

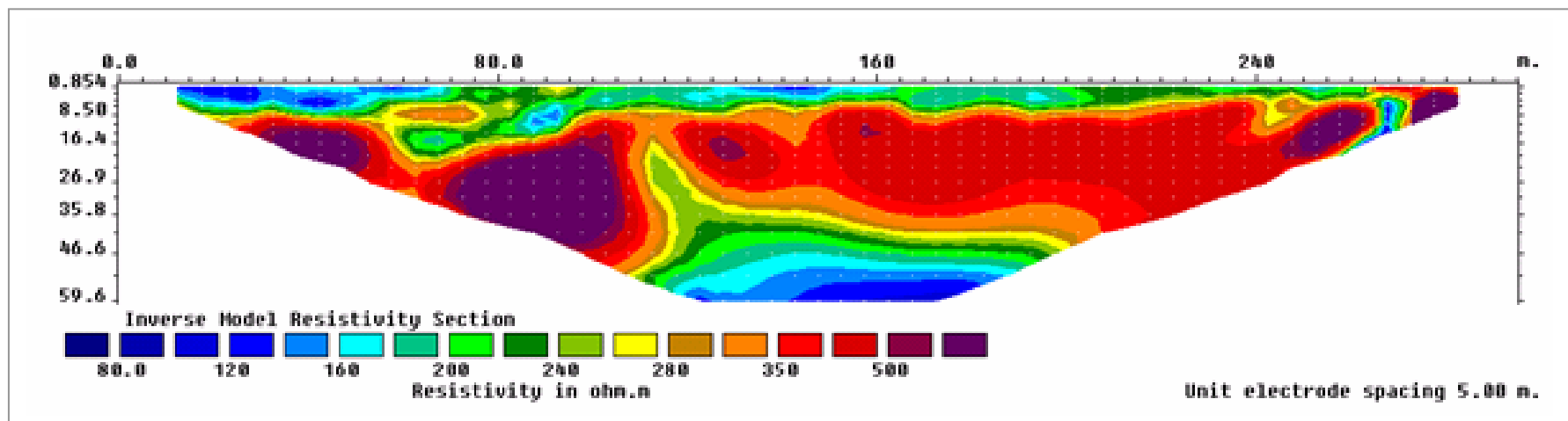


Fig. 2.4.5.1.3 - Bassa Pianura Friulana - Madrisio. Esempio di profilo WENNER lunghezza 300 m



#### 2.4.5.2 *Risultati seconda campagna di indagine, giugno, suolo umido e comparazione dati*

La seconda campagna di indagini è stata programmata a Pozzuolo del Friuli nei giorni 14 e 15 giugno 2012 confidando nelle previsioni meteo che annunciavano intense piogge purtroppo gli eventi si sono limitati a 9 mm di pioggia che sicuramente non è significativa per lo scopo delle indagini; fortunatamente l'irrigazione è stata attivata contribuendo così all'apporto di acqua nel sottosuolo.

Sono stati effettuati due profili, il primo eseguito in condizione di terreno secco mentre il secondo dopo diverse ore di irrigazione. Vengono di seguito descritti i risultati.

##### **Area di test Pozzuolo Del Friuli (Prov. di Udine) condizione secca**

Questa sezione si estende verso Ovest per 198 m ed ha fortemente contribuito alla comprensione del comportamento delle acque del sottosuolo e la relativa distribuzione di umidità (*Figg. 2.4.5.2.1a,b*).

Vengono qui confermate ed esasperate le situazioni viste in precedenza; al di sotto dello strato superficiale alto resistivo si nota un'importante area bassa resistiva con valori anche di 20-40 ohm/m che si estende in basso fino alla fine della sezione e longitudinalmente fino alla progressiva 116 dove subisce una brusca interruzione (ampiamente confermata nella sezione IP-Polarizzazione indotta) per lasciar spazio a un'area resistiva sopra la quale si nota una piccola lente conduttiva. Da qui alla fine della sezione si notano ancora valori di bassa conducibilità fino ad uscire dalla recinzione della discarica dove riprendono i valori alto resistivi.

Comparando i dati e le mappe viene confermato che gli accumuli di umidità e probabilmente anche di materiale fino (alti valori di IP) sono presenti anche come lenti isolate come confermato anche dalle variazioni di spessore dell'area limitrofa a bassa resistività evidenziata dalla sezione più a nord che però non mostra alti valori di IP suggerendo una scarsa presenza di materiali fini.

##### **Area di test Pozzuolo Del Friuli (Prov. di Udine) condizione umida**

Il profilo si estende verso Ovest per 207 ed è stata eseguita dopo diverse ore di irrigazione (*Figg. 2.4.5.2.2a,b*).

La sezione geoelettrica ha fornito le informazioni di base per sviluppare il modello della distribuzione dell'umidità e dei movimenti delle acque.



E' presente uno strato alto resistivo superiore a 500 ohm/m fino alla profondità di circa 10 m, dove appare un livello basso resistivo, con estensione dall'origine fino alla progressiva 170.

A quota -10 dal p.c. si osserva un interessante livello basso resistivo con valori limite di 60 ohm/m con spessore di oltre 15 m (quota-25-28 dal p.c.) fino alla progressiva 116 da dove, dopo una intumescenza verso il basso, si assottiglia notevolmente aumentando anche i valori di resistività. Dopo la progressiva 170 sparisce totalmente per quanto è dato da vedere nella sezione che però non raggiunge le profondità massime essendo alla fine dello stendimento.

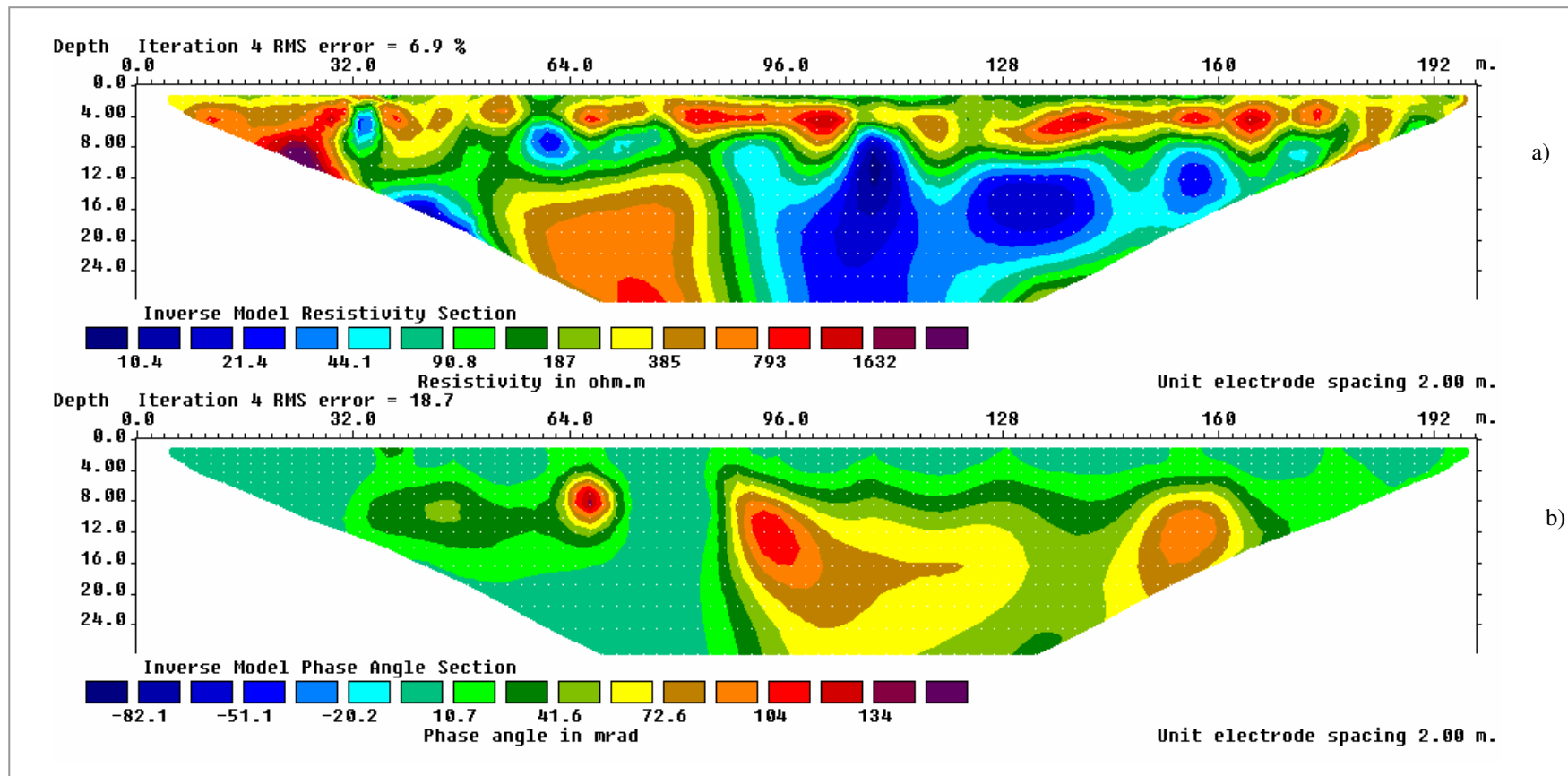


Fig. 2.4.5.2.1 - Area di test Pozzuolo Del Friuli (Prov. di Udine) condizione secca. a) sezione di resistività e b) sezione di I.P.

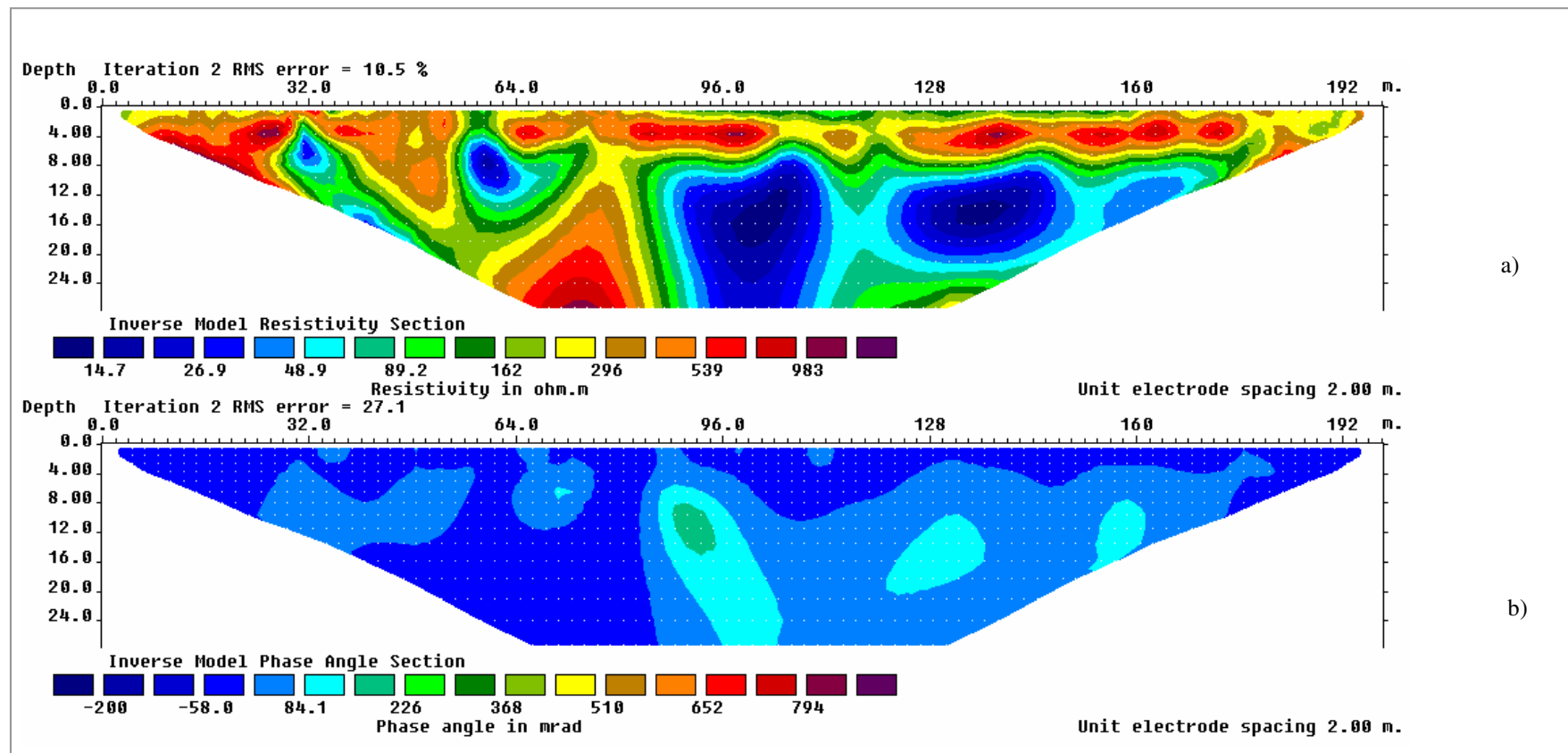


Fig. 2.4.5.2.2 - Area di test Pozzuolo Del Friuli (Prov. di Udine) condizione umida. a) sezione di resistività e b) sezione di I.P.



### ***2.4.6 Conclusioni***

Le campagne di test metodologici eseguite hanno permesso di definire precisamente le configurazioni strumentali da utilizzare, hanno permesso di calcolare i tempi di acquisizione in differenti configurazioni, importanti per la pianificazione dell'intervallo di monitoraggio durante le ricariche artificiali, e soprattutto hanno precisamente verificato la possibilità di tracciare i percorsi di infiltrazione, le zone di saturazione sottosuperficiali e quelle nel sottosuolo.

Questi parametri sono stati memorizzati e con minimi aggiustamenti saranno applicati nelle aree di ricarica artificiale.



### 3. TAVOLA GANT

ATTIVITA'/mesi	Diagramma delle attività 12 mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Caratterizzazione siti				Done								
Test rilevamento ricarica						Done						
TGRA prototipo Termografia						Design						
							Tested					
									Application			
TGRA prototipo Geoelettrica						Design						
							Tested					
									Application			
DISSEMINATION	Done									Expected		

Done	Eseguito e pronto alla fase successiva
Tested	Testato ma non ancora applicato
Application	Applicato in campo