

DIPARTIMENTO DISPUTER

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO CHIETI-PESCARA

Sede: via dei Vestini, 31 – 66100 Chieti

**REGIONE ABRUZZO****COMUNE DI
CIVITELLA DEL TRONTO (TE)**

DATA DI EMISSIONE

NOVEMBRE '23

RELAZIONE TECNICA*Accordo di Collaborazione tra:***Presidenza del Consiglio dei Ministri
Commissario Straordinario del Governo***Dipartimento di Scienze Psicologiche della Salute e del Territorio
dell'Università di Chieti-Pescara,**Amministrazione Comunale di Civitella del Tronto e**Ufficio Speciale per la Ricostruzione della Regione Abruzzo****“Definizione degli Studi di Approfondimento e Progetto di Fattibilità
Tecnico-Economica delle Opere di Mitigazione nella Frazione
Borrano di Civitella Del Tronto (TE)*****IL COMMITTENTE****UFFICIO SPECIALE PER LA RICOSTRUZIONE
COMMISSARIO STRAORDINARIO DEL GOVERNO****RELAZIONE A CURA DI:**

PROF. NICOLA SCIARRA
ORDINARIO DI GEOLOGIA APPLICATA
UNIVERSITÀ “G. D'ANNUNZIO” CHIETI-PESCARA
e-mail: nicola.sciarra@unich.it

GEOL. MASSIMO MANGIFESTA
PHD RESEARCH FELLOW
UNIVERSITÀ “G. D'ANNUNZIO” CHIETI-PESCARA
e-mail: mmangifesta@unich.it

GRUPPO DI LAVORO

DOTT. GEOL. GIANNI SCALELLA
GEOM. ALESSANDRO FORMICA
(UFFICIO COMMISSARIO STRAORDINARIO)

DOTT. ANTONIO IOVINO
ING. BERARDO DI GIACOMANTONIO
(UFFICIO SPECIALE RICOSTRUZIONE ABRUZZO)

GEOM. FABRIZIO VERTICELLI
(COMUNE DI CIVITELLA DEL TRONTO)

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	7
5. ASPETTI MORFOMETRICI.....	8
6. PAI - ABRUZZO	11
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	15
8. INDAGINI GEOFISICHE	20
9. ANALISI NUMERICA 2D E 3D	30
10. INTERFEROMETRIA SATELLITARE	44
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	52

IL PRESENTE DOCUMENTO È COMPOSTO DA 62 PAGINE, 54 FIGURE E 7 ALLEGATI

1. INTRODUZIONE

La presente relazione raccoglie i risultati relativi all'approfondimento degli studi sul movimento franoso di Borrano in Comune di Civitella del Tronto oggetto di particolare attenzione da parte dell'Ufficio Speciale per la Ricostruzione. Allo scopo è stato siglato un Accordo di Collaborazione tra la Presidenza del Consiglio dei Ministri – **Commissario Straordinario del Governo** per la riparazione, la ricostruzione, l'assistenza alla popolazione e la ripresa economica dei territori delle regioni Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria, il Dipartimento di Scienze Psicologiche della Salute e del Territorio dell'Università di Chieti-Pescara, l'Amministrazione Comunale di Civitella del Tronto e L'Ufficio Speciale per la Ricostruzione della Regione Abruzzo avente come scopo la **“La Definizione degli Studi di Approfondimento e Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica delle Opere di Mitigazione nella Frazione Borrano di Civitella Del Tronto (TE)”**

Nello specifico l'area di interesse (fig. 1) è ubicata alle Coordinate WGS84 - Latitudine 42.78222702569062, Longitudine 13.70010936736181.



Figura 1 – Area di studio. Comune di Civitella del Tronto (TE) località Borrano.

Lo studio è stato eseguito tramite un accurato rilevamento di superficie e da un approfondita campagna di indagini geognostiche e geofisiche al fine di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche delle aree coinvolte. Lo stato attuale dei luoghi è tale da evidenziare una condizione altamente pericolosa; infatti, molte delle strutture abitative presenti nell'area mostrano evidenti segni di lesioni. In sintesi, la presente relazione ha lo scopo di riassumere le conoscenze note sui fenomeni in atto nell'area, di cercare di interpretarne l'evoluzione sulla base di nuovi rilevamenti di campagna e di fornire un quadro più dettagliato possibile delle aree in frana con l'aiuto dell'interpretazione geofisica e delle analisi numeriche 2D e 3D.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'abitato di Borrano (fig. 2) nel comune di Civitella del Tronto è situato a circa 2 km ad est del capoluogo comunale e si eleva tra le quote di 305 - 430 m s.l.m. all'interno del bacino idrografico del Fiume Salinello, che scorre poco più a nord.

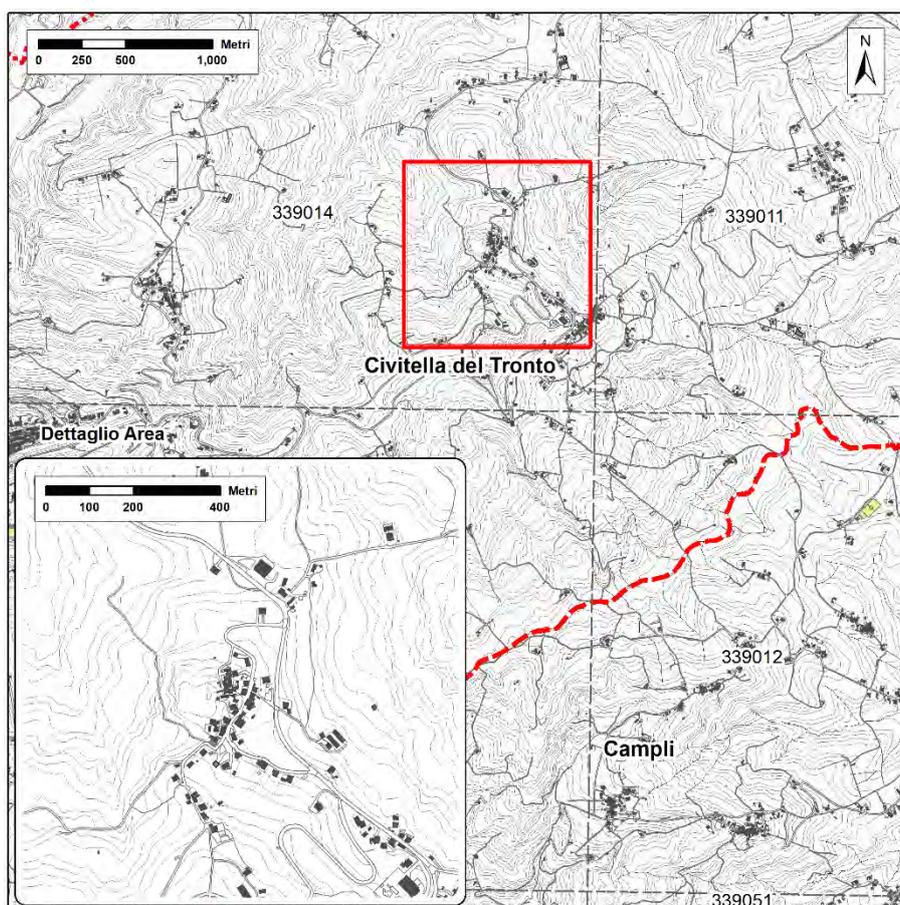


Figura 2 – Inquadramento generale e particolare dell'area in esame. In rosso il limite amministrativo tra il Comune di Civitella del Tronto ed il Comune di Campi.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio si colloca nella parte orientale della fascia di affioramento dei depositi terrigeni silico-clastici del Miocene superiore appartenenti alla "Formazione della Laga" (fig. 3).

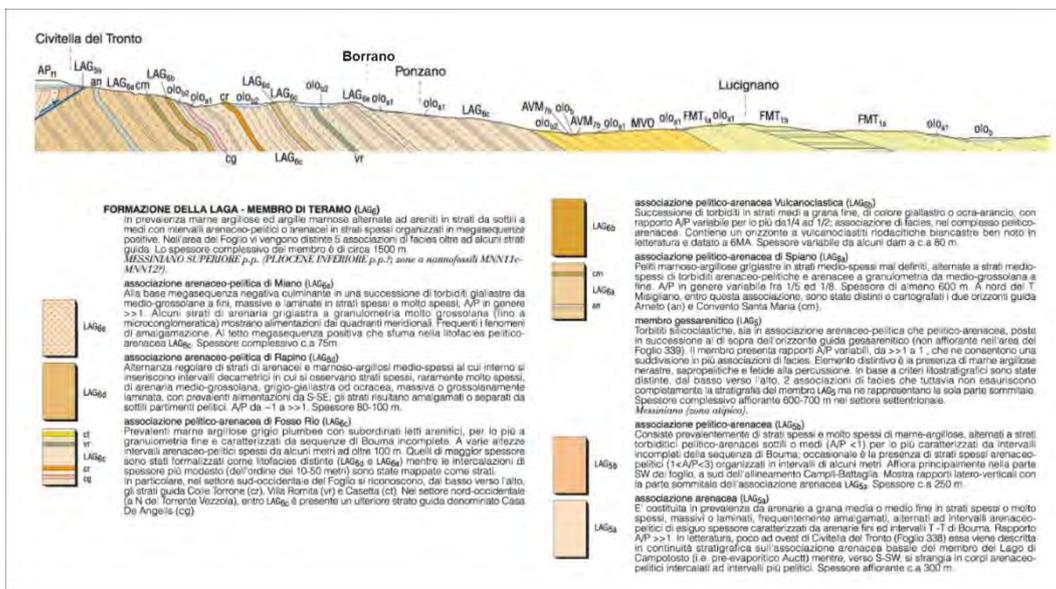


Figura 3 – Estratto dalla Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Foglio 339 – Teramo.

Tali depositi, che caratterizzano il paesaggio geologico di un ampio territorio a cavallo di Marche ed Abruzzo, sono disposti secondo fasce allungate in direzione Nord-Sud, ad Est dei principali fronti di accavallamento carbonatici della catena centro-appenninica. La "Formazione della Laga", di origine torbiditica, è costituita litologicamente da alternanze ripetute di strati arenacei ed argilloso-marnosi; in funzione della localizzazione geografica e dell'età, si osserva una prevalente componente arenacea o argilloso-marnosa. Più in particolare, nell'area oggetto del presente studio affiorano i termini più recenti della Formazione della Laga, appartenenti al "Membro post-evaporitico", collocato stratigraficamente al di sopra del corpo ad elevata componente gessosa del Messiniano medio. Dalla lettura della Carta Geologica dell'Abruzzo il membro suddetto, ricompreso all'interno del "Flysch di Teramo", di età Messiniano superiore-Pliocene inferiore, è delimitato ad Est e ad Ovest da due fronti di scorrimento a vergenza appenninica (nella fattispecie verso est). Il lineamento tettonico occidentale, passante in prossimità del Convento di S. Maria dei Lumi (periferia orientale del Capoluogo comunale), accavalla il "Flysch della Laga" sul "Flysch di Teramo", mentre quello orientale, lungo l'allineamento S. Eurosia-Molviano, mette a contatto quest'ultimo con la più recente "Formazione di Cellino". Nella zona di Borrano, la Formazione

del “Flysch di Teramo” presenta nell’insieme un assetto monoclinale, con pendenze di circa 45° verso Nord-Est. Il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, eseguito, integrato dai dati di studi precedenti, ha consentito di individuare e differenziare, all’interno del Flysch di Teramo, le due unità litostratigrafiche di seguito descritte.

Flysch di Teramo in facies prevalentemente arenacea

La Formazione del “Flysch di Teramo” si presenta in facies prevalentemente argilloso-marnosa; all’interno di essa si rinvencono diversi corpi prevalentemente arenacei, dello spessore di diverse decine di metri. Nell’insieme tali livelli arenacei definiscono un’unica fascia orientata in direzione NNW-SSE, estesa dalla parte occidentale di Borrano fino a C.da Forlioni (SW di Ponzano); la larghezza dipende sia da fattori stratigrafici che tettonici. Le caratteristiche di maggior resistenza all’erosione di questi corpi rispetto ai termini prevalentemente pelitici, fa sì che essi delimitino il substrato geolitologico di alti morfologici, rappresentati da creste collinari perpendicolari alla direzione del reticolo idrografico principale. In affioramento tali depositi sono caratterizzati da strati arenacei di spessore variabile da alcuni decimetri a circa un metro, talora con sottili (pochi cm) intercalazioni marnoso-argillose. L’assetto strutturale è costituito da una grossa monoclinale orientata in direzione NNW-SSE, con pendenze variabili da 38° a 60° verso E-NE. Localmente si osservano blandi piegamenti con giaciture sub-verticali. La continuità longitudinale di tali corpi risulta, di frequente, interrotta dalla presenza di elementi tettonici, presumibilmente trascorrenti, orientati WSW-ENE. Tali lineamenti sono orientati perpendicolarmente ai principali fronti di accavallamento; pertanto, costituivano svincoli trasversali che accomodavano le deformazioni compressive che hanno maggiormente interessato questo settore di catena durante l’intervallo Messiniano p.p. - Pliocene medio.

Flysch di Teramo in facies prevalentemente argillosa

Il Flysch di Teramo in facies prevalentemente argillosa risulta maggiormente diffuso nell’area analizzata, sia per estensione che per spessori, rispetto alle facies arenacee precedentemente descritte. Tuttavia, gli affioramenti utili dal punto di vista stratigrafico-strutturale, risultano molto sporadici ed estremamente localizzati per via della presenza di sottili spessori di alterazione superficiale. La presenza di questo litotipo è stata riscontrata prevalentemente sulla base sia degli affioramenti presenti e sia dei dati stratigrafici evinti dai numerosi sondaggi geognostici eseguiti in zona. Alla scala dell’affioramento, l’associazione argillosa del Flysch di Teramo si presenta costituita litologicamente da argille marnose in strati sottili e/o medi (dell’ordine del cm o del dm), talora con intercalazioni di sottili livelli arenacei e marnosi. In generale, l’assetto strutturale segue quello dell’intervallo

prevalentemente arenaceo, con direzione degli strati circa N-S, ma con immersione degli strati estremamente variabile. In particolare, lungo il tratto di strada che da Borrano conduce in zona “La Crocetta”, è stato possibile osservare come la pendenza degli strati, in un breve tratto, vari da sub-orizzontale a molto inclinata, verso Est. In alcuni casi l'intervallo argilloso si rinviene in giacitura rovescia evidenziando la presenza di strutture plicative associate alle deformazioni compressive. Le pieghe osservate presentano una lunghezza d'onda variabile da pochi metri a diverse decine di metri e, dove la deformazione risulta più spinta, si osservano pieghe isoclinaliche. L'intenso grado di deformazione riscontrato in tali depositi, rispetto ai blandi piegamenti osservati nell'ambito dei livelli arenacei, evidenzia la presenza di un disaccoppiamento della deformazione che si manifesta con lo sviluppo di piani di scollamento interstrato. Lo schema geo-evolutivo delle deformazioni riconosciute nell'area analizzata è illustrato nella figura 4 ed è riassumibile nel seguente modo: si parte da un multi-layer indeformato (a); ad una prima fase di deformazione di taglio con leggero scorrimento flessurale tra gli strati (b), segue un seconda fase caratterizzata dallo sviluppo di pieghe che, a causa del contrasto di competenza, risultano blande nei litotipi arenacei e strizzate in quelli argillosi (c); le diverse entità di spostamento in senso trasversale vengono accomodate dallo sviluppo di faglie di strappo (d) mentre, col proseguire della deformazione, si assiste al piegamento dell'intera sequenza che assume la disposizione attualmente osservata sul terreno (e).

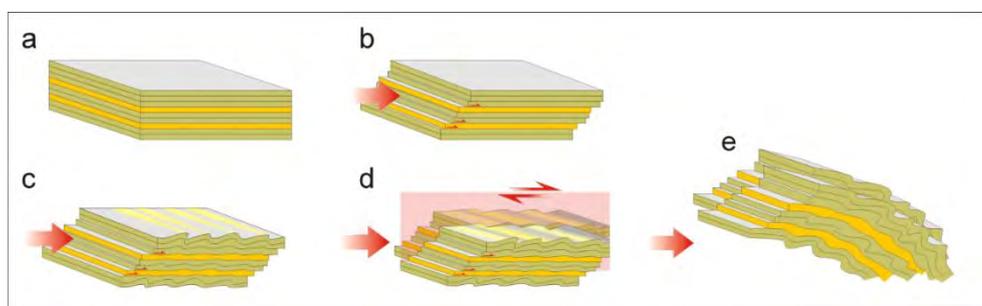


Figura 4 – Schema geo-evolutivo delle deformazioni: a) multi-layer in deformato; b) fase di deformazione di taglio con leggero scorrimento flessurale tra gli strati; c) sviluppo di pieghe che risultano blande nei litotipi arenacei competenti e strizzate in quelli argillosi; d) sviluppo di faglie di strappo; e) piegamento dell'intera sequenza.

4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Il territorio indagato presenta svariati fenomeni di carattere geomorfologico, già evidenziati da precedenti studi, quali ad esempio: la “Carta Geomorfologica e del dissesto dei bacini idrografici di rilievo regionale”. Nell'area, sono ben evidenti fenomeni gravitativi particolarmente estesi, quasi sempre attivi, che traggono talora origine da forme strutturali. Di minore importanza sono i fenomeni erosivi, concentrati negli alvei dei principali fossi e,

pertanto, marginali rispetto ai centri abitati. Il rilevamento geomorfologico ha confermato questo quadro generale, permettendo di definire con maggior dettaglio i fenomeni attivi presenti nella zona in esame. Le frane individuate presentano estensioni variabili e consistono, principalmente, in movimenti lenti di tipo roto-traslativo. Le zone di cresta, contraddistinte da vecchi movimenti gravitativi di grosse dimensioni, sono spesso caratterizzate da un ringiovanimento dell'attività ad opera di frane minori. In particolare, si osserva una forte concentrazione di movimenti gravitativi sul versante orientale del rilievo morfologico che collega Borrano a C.da Forlingoni. Questo tratto di versante è lungo circa 2 Km e presenta dislivelli di circa 300 m, con pendenze inizialmente elevate e più dolci verso la base, inciso da vari impluvi e caratterizzato nella parte superiore, dall'alternarsi di creste e vallecole a direzione est-ovest. La concentrazione e la localizzazione dei movimenti gravitativi sul versante in oggetto sono da imputare, prevalentemente, all'assetto strutturale del substrato a "franapoggio", nonché alla intensa deformazione all'interno dell'associazione argillosa.

5. ASPETTI MORFOMETRICI

La finalità dell'analisi morfometrica è quella di sovrapporre alla descrizione delle forme una valutazione quantitativa delle loro caratteristiche. Attraverso la morfometria è, quindi, possibile elaborare modelli matematici che contribuiscono efficacemente a delineare l'evoluzione delle forme. La base di calcolo utilizzato per la ricostruzione tridimensionale DEM, riportato nella successiva figura 5, è il rilievo vettoriale messo a disposizione dalla regione Abruzzo (<http://opendata.regione.abruzzo.it/>). Si precisa che i dati cartografici utilizzati per l'estrapolazione e il processing delle informazioni plano-altimetriche sono state estratte dalla C.T.R.N. Regione Abruzzo scala 1:5000 (Edizione 2001-05). Questa fornisce una rappresentazione generale della morfologia, riportando tutto ciò che può essere utile anche come riferimento topografico e che può essere rappresentato, in relazione ad una giusta densità della trama cartografica. I dati territoriali utilizzati sono riferiti sia a curve di livello con equidistanza di 5 metri sia a punti quotati isolati. I dati sono stati trattati, filtrati ed interpolati al fine di ricostruire con buona approssimazione l'intero territorio da indagare. Per una maggior precisione, nelle analisi è stata eseguita una ulteriore rimodulazione della distribuzione areale dei dati puntuali, utilizzando un passo di calcolo pari a 5x5m secondo un algoritmo di interpolazione numerica (Triangulation with Linear Interpolation) al fine di ottenere un risultato spazialmente omogeneo riducendo al minimo l'errore di misurazione (rimozione dei pits/sinks). L'algoritmo risulta essere un interpolatore esatto quindi in grado di riprodurre con buona precisione lo stato di fatto dei luoghi utilizzando la triangolazione di

Delaunay. Il risultato è la creazione di una serie di connessioni omogenee tra i dati puntuali (senza sovrapposizione) con un mosaico di facce triangolari tridimensionali sull'intera estensione del modello.

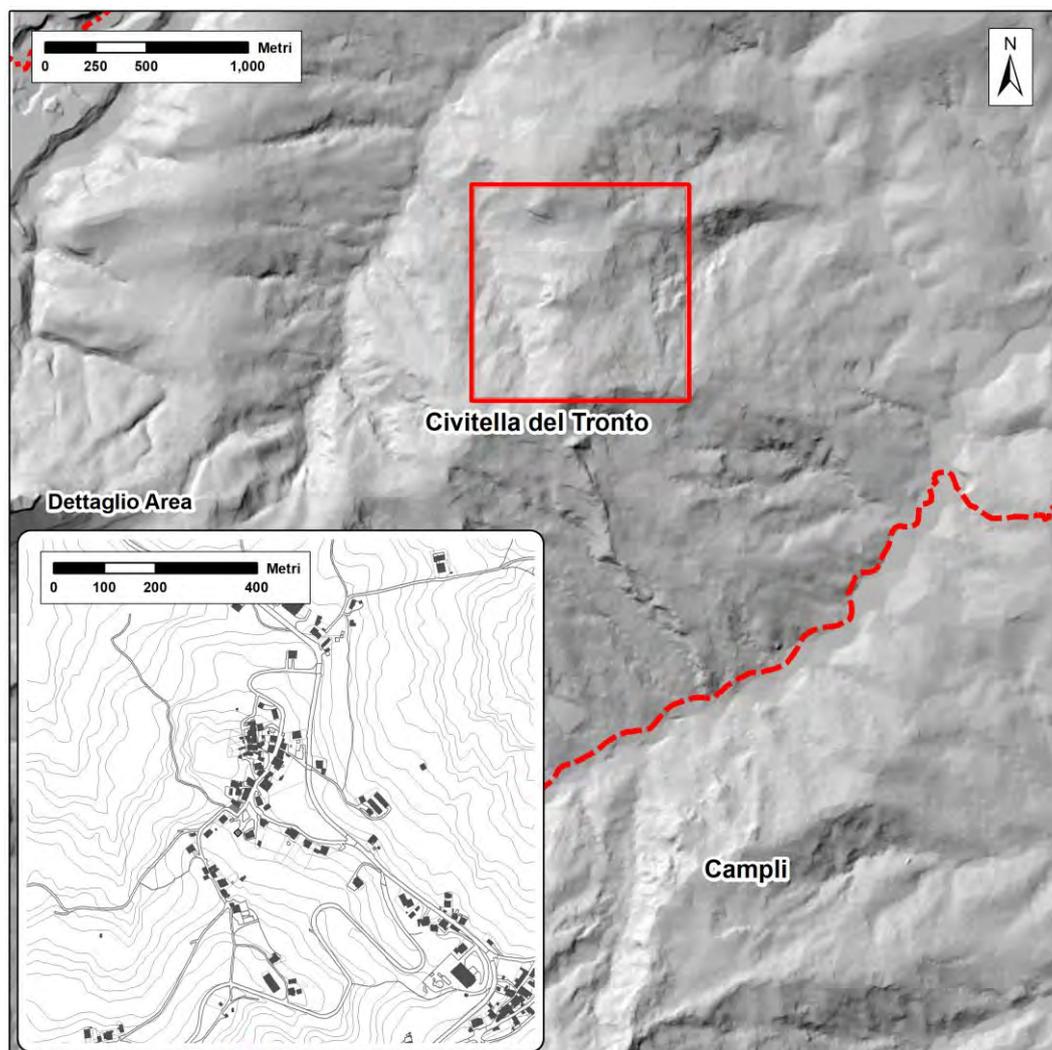


Figura 5 – Ricostruzione tridimensionale del territorio a larga scala

Dalla ricostruzione tridimensionale a larga scala è evidente come il sistema morfometrico si presenta di ben più vaste proporzioni. Successivamente sono state analizzate le informazioni clivometriche. La pendenza rappresenta sicuramente un fattore predisponente di notevole importanza per la stabilità dei versanti, in quanto è direttamente connesso all'inclinazione dei possibili piani o orizzonti di rottura e quindi correlabile alla distribuzione dei fenomeni franosi. Utilizzando il modello digitale del terreno (DEM) è stata eseguita un'analisi dell'acclività e dell'energia del rilievo calcolando il gradiente del piano tangente alla superficie nella direzione di massima pendenza. Questo equivale alla derivata

prima della funzione che esprime la variazione di quota lungo la stessa direzione ottenuta per ogni cella o pixel, in base al valore delle celle all'interno di una finestra spaziale di nove elementi che viene fatta scorrere sul modello digitale. Il risultato è quello che corrisponde alla massima pendenza del tratto di superficie 3D analizzata e quindi considerata come gradiente del valore massimo.

$$Pendenza = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$$

L'elaborazione ha permesso di evidenziare (fig. 6) come, nell'area in studio, siano dominanti le forme con pendenza comprese tra 10° e 30° o poco più.

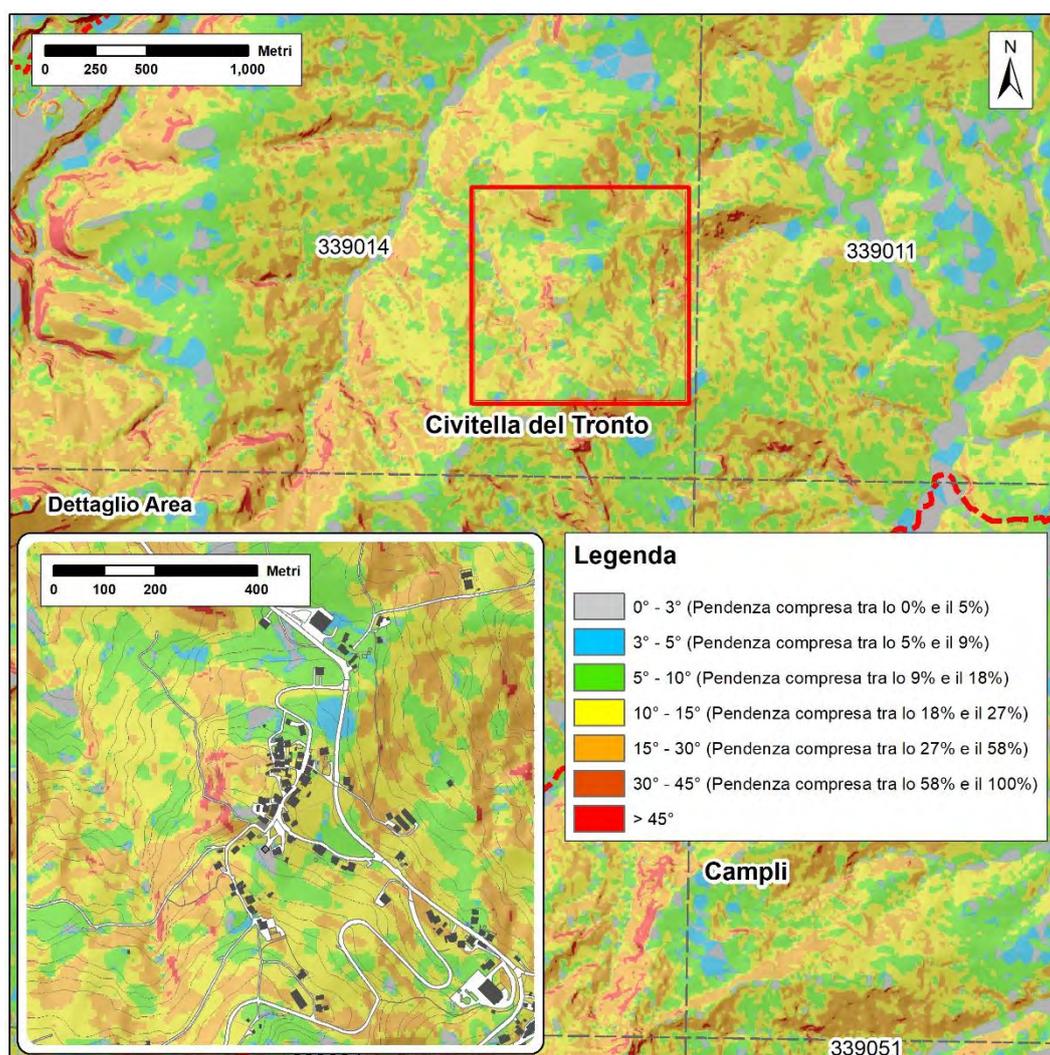


Figura 6 – Ricostruzione delle pendenze di versante.

6. PAI - ABRUZZO

Il Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico "**Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi**" è stato redatto secondo il quadro normativo: L. 183/1989 e del D.L. 180/1998.

La Legge definisce il Piano di Bacino come "*piano territoriale di settore e strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e la corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato*".

La finalità del Piano è il raggiungimento di un quadro conoscitivo completo (organizzato e continuamente aggiornato), al fine di determinare la naturale dinamica idrogeologica e geomorfologica del territorio in funzione alle aspettative di utilizzo del suolo, nel rispetto e nella tutela ambientale di sicurezza degli insediamenti e delle infrastrutture.

Gran parte del territorio comunale di Civitella del Tronto è da sempre oggetto di fenomeni d'instabilità gravitativi con tipologie di movimento non tutte facilmente identificabili. I versanti mostrano diverse tipologie di movimenti franosi, principalmente attivatisi in concomitanza e successivamente ad eventi piovosi estremi e, come nel caso specifico analizzato, accelerati da eventi sismici rilevanti. I lineamenti caratteristici come superfici di scorrimento, volumi mobilizzati e geometrie di movimento sono molto variabili, poiché variabili sono le cause che innescano ed hanno innescato le frane stesse. In termini del tutto generali si può affermare che le fenomenologie franose sono riconducibili a tre tipologie principali (*Progetto IFFI 2018-2021, Varnes, D. J. 1978*): frane da scivolamento rotazionale traslativo, frane da colamento e frane complesse.

La continua evoluzione morfologica dei volumi mobilitati, crea una progressiva condizione di rischio elevato e un reale pericolo per la pubblica incolumità, rappresentato dal tangibile coinvolgimento nel dissesto di strutture abitative e opere viarie. In definitiva, il meccanismo generale si presenta come una combinazione di movimenti roto-traslativi, con scorrimenti locali diffusi nella parte superiore, dove è ben evidente, in quanto affiora, la superficie di scorrimento.

Di seguito si mostra uno stralcio delle principali forme morfologiche (fig. 7) estrapolate dalla cartografia PAI - Autorità di Bacino Regione Abruzzo (Aggiornamento ShapeFile 13 luglio 2021).

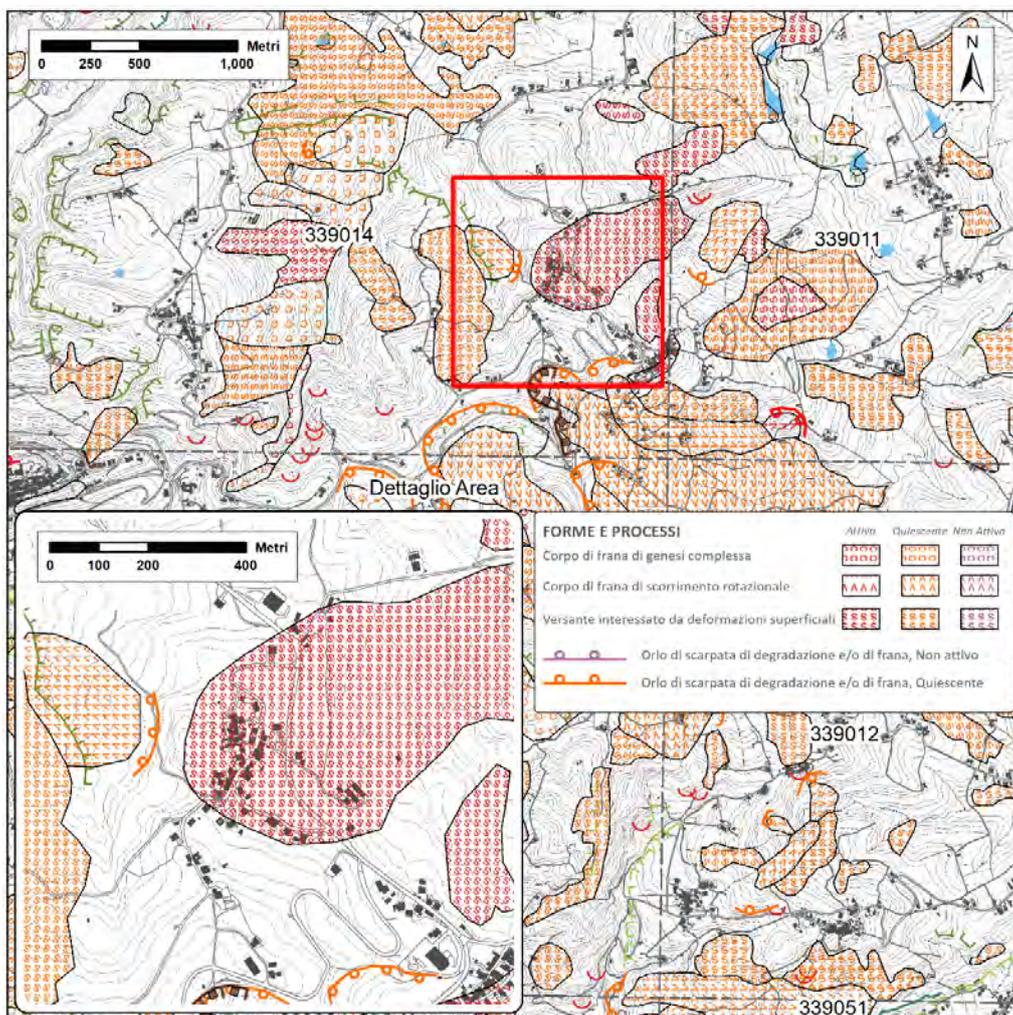


Figura 7 – Geomorfologia dell’area (fonte PAI - Autorità di Bacino Regione Abruzzo); cerchiata in rosso la zona di ubicazione dell’abitazione di interesse.

Nel piano stralcio per l’assetto idrogeologico, il Rischio da frana è considerato come il prodotto tra la Pericolosità (P) di accadimento dell’evento franoso, il valore degli elementi a rischio (W) e la Vulnerabilità (V).

Si considerano elementi a rischio: incolumità delle persone; agglomerati urbani, comprese le zone di espansione urbanistica; aree produttive, sedi di impianti industriali o tecnologici; infrastrutture a rete e le vie di comunicazione di importanza strategica, anche a livello locale; beni ambientali e culturali di interesse rilevante; aree sede di servizi pubblici e privati, impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive e infrastrutture primarie.

La mappa sottostante (fig. 8) evidenzia la distribuzione areale delle aree esposte a diverso grado di rischio (fonte PAI - Autorità di Bacino Regione Abruzzo).

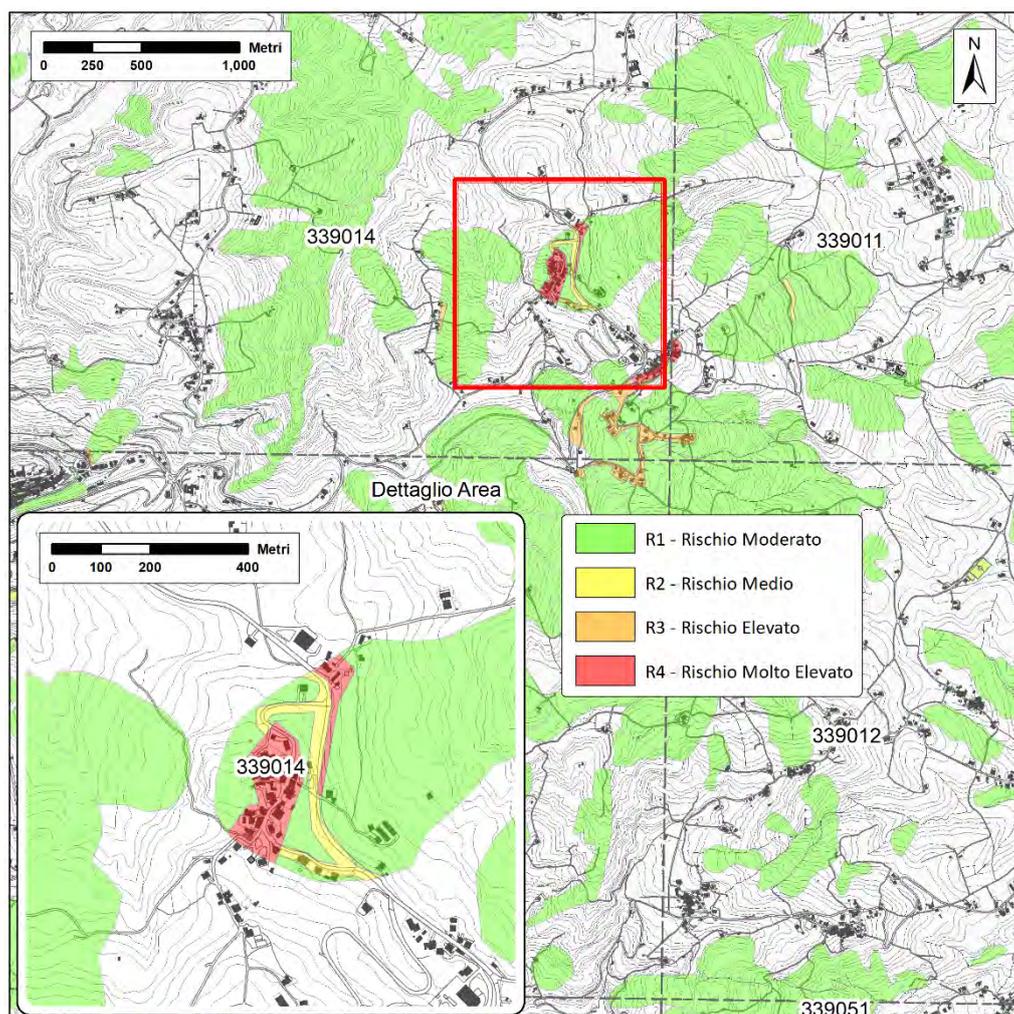


Figura 8 – Stralcio della carta del Rischio da frana (fonte PAI - Autorità di Bacino Regione Abruzzo); cerchiata in rosso la zona di ubicazione dell'abitazione di interesse.

La Pericolosità è stata definita come la “**probabilità che un fenomeno di dissesto si verifichi in una determinata area**”, quindi nel PAI-Abruzzo sarebbe più idoneo parlare di Suscettività da frana e non di Pericolosità.

In base alla pendenza e alla litologia del territorio il P.A.I. individua, per le aree sottese a processi gravitativi, 3 classi di pericolosità da frana P1 - Moderata, P2 - Elevata, P3 - Molto Elevata e 1 da scarpata.

La mappa in figura 9 evidenzia la mappa della pericolosità da frana attualmente in vigore (fonte PAI - Autorità di Bacino Regione Abruzzo. Aggiornamento ShapeFile 13 luglio 2021).

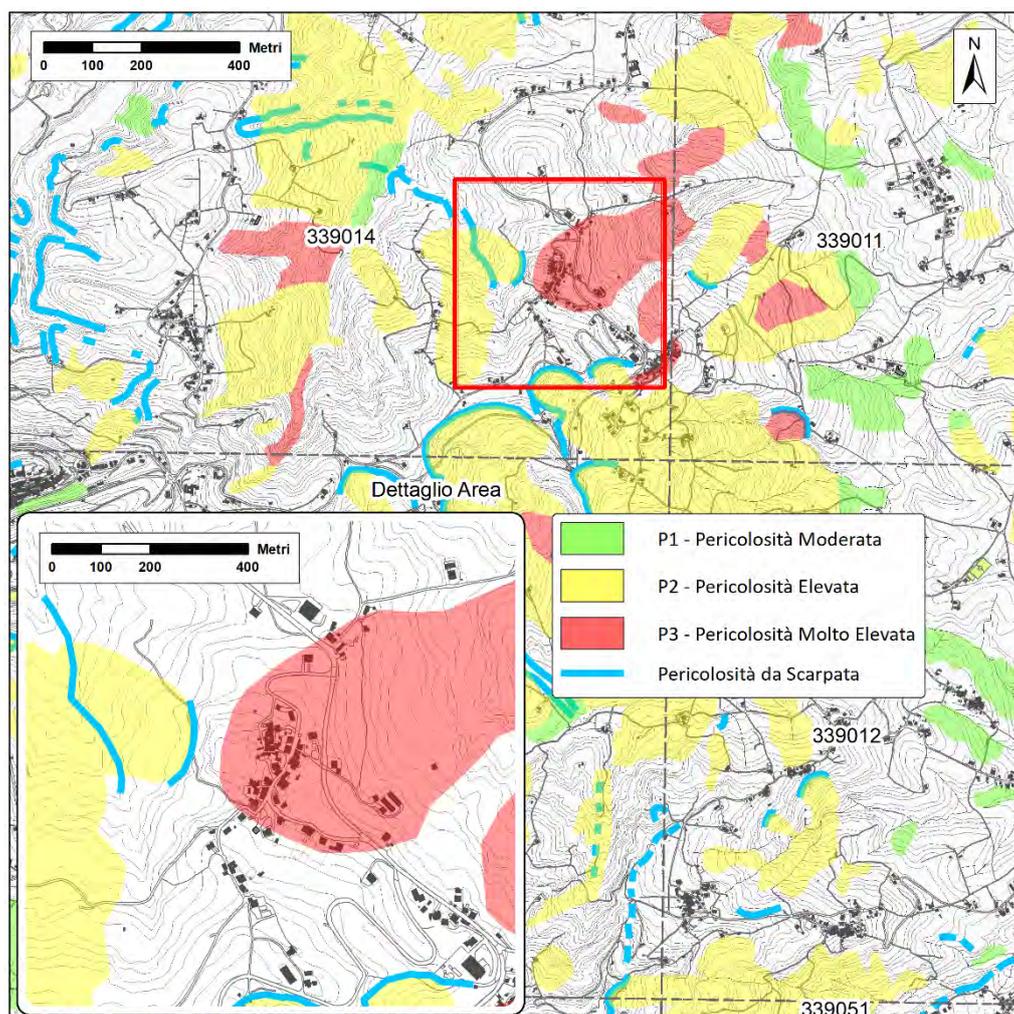


Figura 9 – Stralcio della carta della Pericolosità da frana (fonte PAI - Autorità di Bacino Regione Abruzzo); cerchiata in rosso la zona di ubicazione dell'abitazione di interesse.

Dalla cartografia P.A.I., nell'area oggetto di studio si individuano zone di:

- **Rischio molto elevato (R4)**. Per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi agli edifici e alle infrastrutture, la distruzione di attività socioeconomiche.
- **Pericolosità molto elevata (P3)**. Aree caratterizzate dalla presenza delle seguenti categorie di Dissesto allo stato attivo: versanti vistosamente interessati da deformazione profonda, versanti interessati da deformazioni superficiali lente attive, corpi di frana per crollo e ribaltamento attivi, corpi di frana di genesi complessa attivi, corpi di frana di colamento attivi, corpi di frana di scorrimento traslativo attivi, corpi di frana di scorrimento rotazionale attivi e le superfici a calanchi e forme similari.

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'area di Borrano è stata oggetto di una prima campagna d'indagine geognostica nel 2018, successivamente agli eventi sismici del 2016/2017, quando l'entità delle lesioni riscontrate su alcune abitazioni suggerì, all'allora COR-Abruzzo della Protezione Civile Regionale, di allestire un sistema di monitoraggio (in superficie ed in profondità) atto ad allertare la popolazione in caso di accelerazione del fenomeno franoso. Tale indagine è consistita nella esecuzione di n.3 sondaggi a carotaggio continuo attrezzati con tubazioni inclinometriche di profondità e piezometri, di cui in seguito si riportano le varie caratteristiche (Allegato 1):

Postazione S1 (42.78191039410931, 13.700099666873243):

- Perforazione a carotaggio continuo 80.0 m;
- Posa in opera di tubo inclinometrico 76.0 m;
- Installazione di 3 sonde inclinometriche fisse;
- Perforazione a distruzione di nucleo 69.0 m;
- Posa in opera di tubo piezometrico Norton lunghezza 69 m(automatizzato).

Postazione S2 (42.782820547670134, 13.699733573974296)

- Perforazione a carotaggio continuo 81.3 m;
- Posa in opera di tubo inclinometrico 80.0 m;
- Installazione di 3 sonde inclinometriche fisse;
- Perforazione a distruzione di nucleo 81.4 m;
- Posa in opera tubo piezometrico Norton lunghezza m 81.0 (automatizzato)

Postazione S3 (42.783537436261454, 13.700367175860082)

- Perforazione a carotaggio continuo 81.3 m;
- Posa in opera tubo inclinometrico lunghezza 80.8 m;
- Installazione di 3 sonde inclinometriche fisse;
- Perforazione a distruzione di nucleo per lunghezza 80.8;
- Posa in opera di tubo piezometrico Norton lunghezza m 80,8 (automatizzato).

Al fine di migliorare le conoscenze sull'assetto stratigrafico dell'area oggetto di indagine è stata predisposta, per la stesura della presente relazione, una seconda campagna d'indagine, che ha visto la esecuzione di ulteriori 3 sondaggi a carotaggio continuo (Allegato 2), di cui in seguito si riportano le varie caratteristiche, e di una campagna geofisica (Allegati

3 e 4):

Sondaggio S4 (42.779860124829945, 13.700030825302):

- Perforazione a carotaggio continuo 30.0 m;

Sondaggio S5 (42.7819054078253, 13.701332906734718)

- Perforazione a carotaggio continuo 30.0 m;

Sondaggio S6 (42.785221473492115, 13.702204442793589)

- Perforazione a carotaggio continuo 60.0 m;

Nella successiva figura 10 è mostrata una planimetria completa di tutte le indagini geognostiche eseguite sull'area oggetto del presente studio.

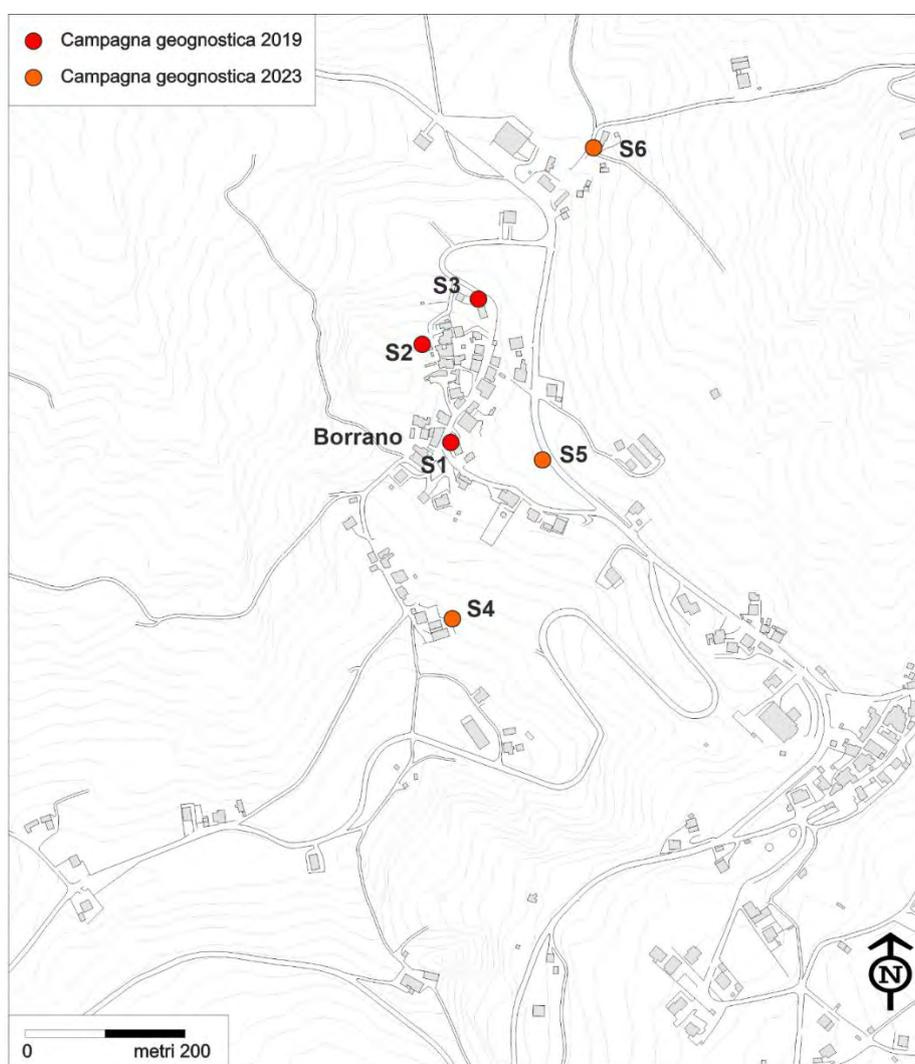


Figura 10 – Ubicazione planimetrica delle indagini geognostiche eseguite nell'area di studio.

Di seguito si riportano le osservazioni di deformazione inclinometrica ottenuta dalla misurazione sui tubi inclinometrici (Fig. 11, 12 e 13). Nello specifico i grafici di: Movimento per punti, Movimento per sommatoria, Risultante e direzione di movimento.

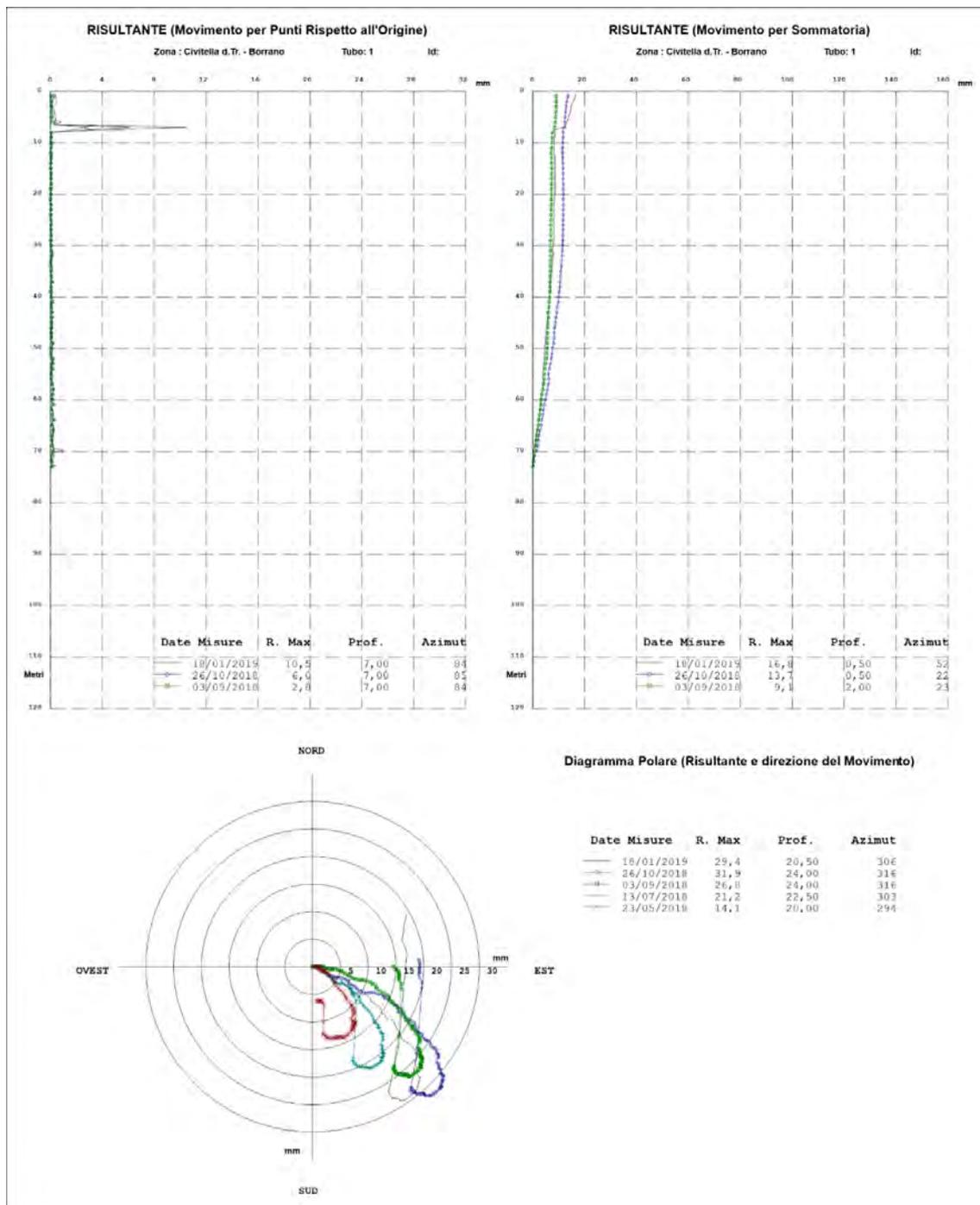


Figura 11 – Grafici delle letture eseguite sull'inclinometro installato nel sondaggio S1 (2018).

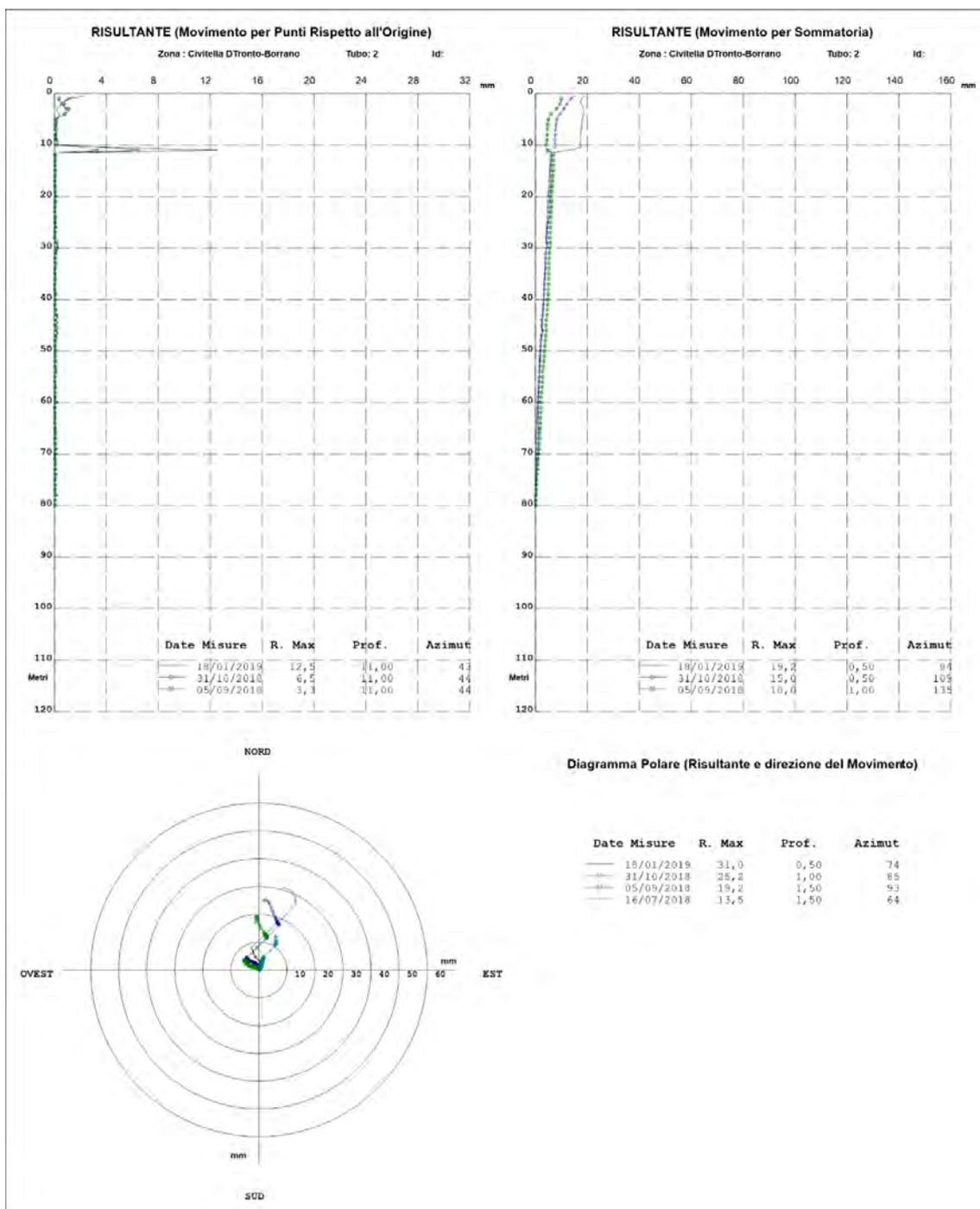


Figura 12 – Grafici delle letture eseguite sull'inclinometro installato nel sondaggio S2 (2018).

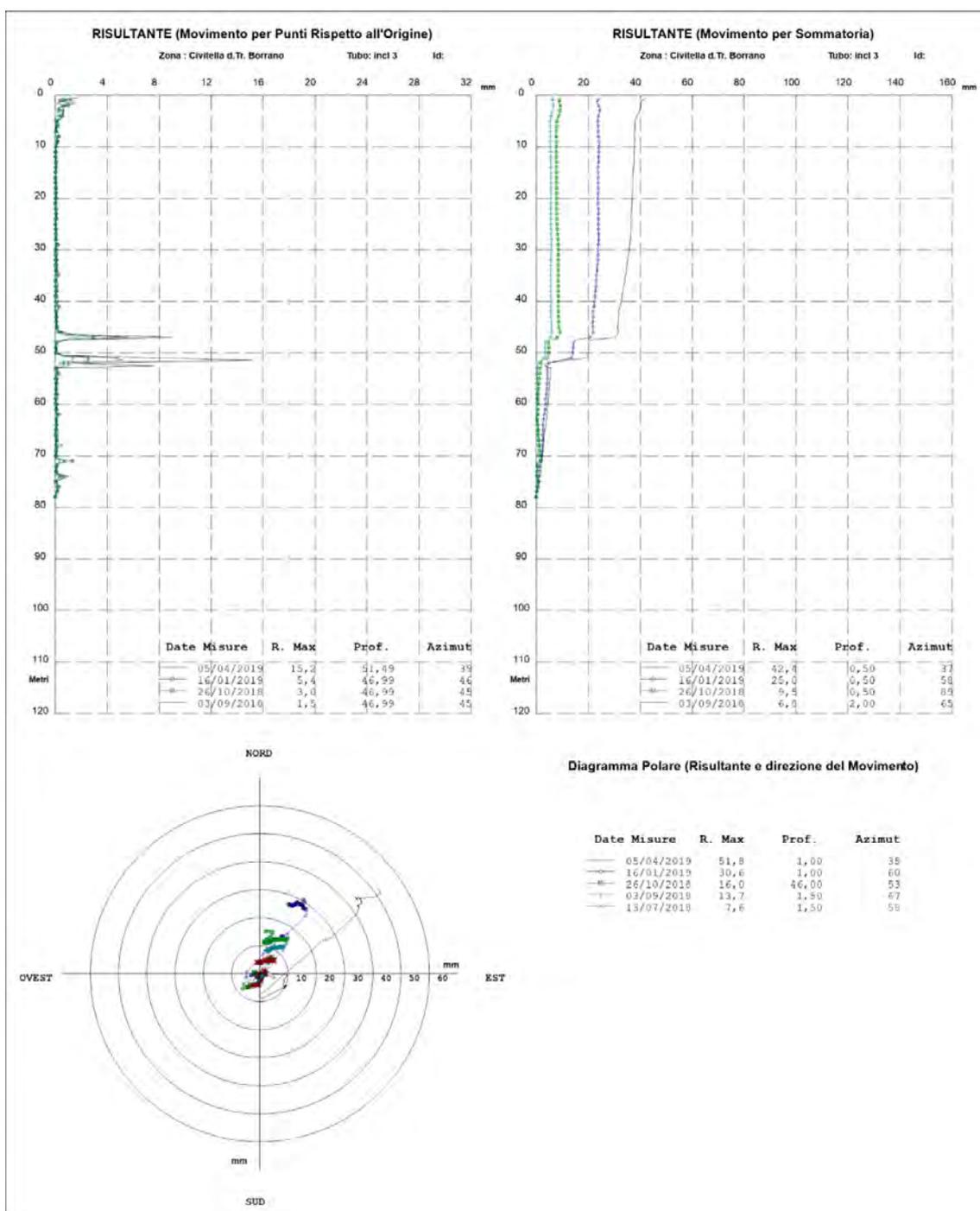


Figura 13 – Grafici delle letture eseguite sull'inclinometro installato nel sondaggio S3 (2018).

8. INDAGINI GEOFISICHE

La campagna d'indagine è stata integrata con esplorazioni geofisiche di superficie. Nello specifico sono state eseguite due successive esplorazioni, una propedeutica all'altra:

1. Prima fase (maggio 2023): indagine esplorativa e di taratura;
2. Seconda fase (giugno 2023): indagine integrativa.

Prima campagna geofisica. Nella prima fase (fig. 14), sono state eseguite due sezioni di tomografia elettrica (A-A' e B-B'), poste in continuità tra loro, in modo da caratterizzare i terreni in funzione dei valori di resistività. Inoltre, nell'area, è stata effettuata anche una prospezione di sismica a rifrazione, in modo da caratterizzare le litologie presenti in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche di compressione P.

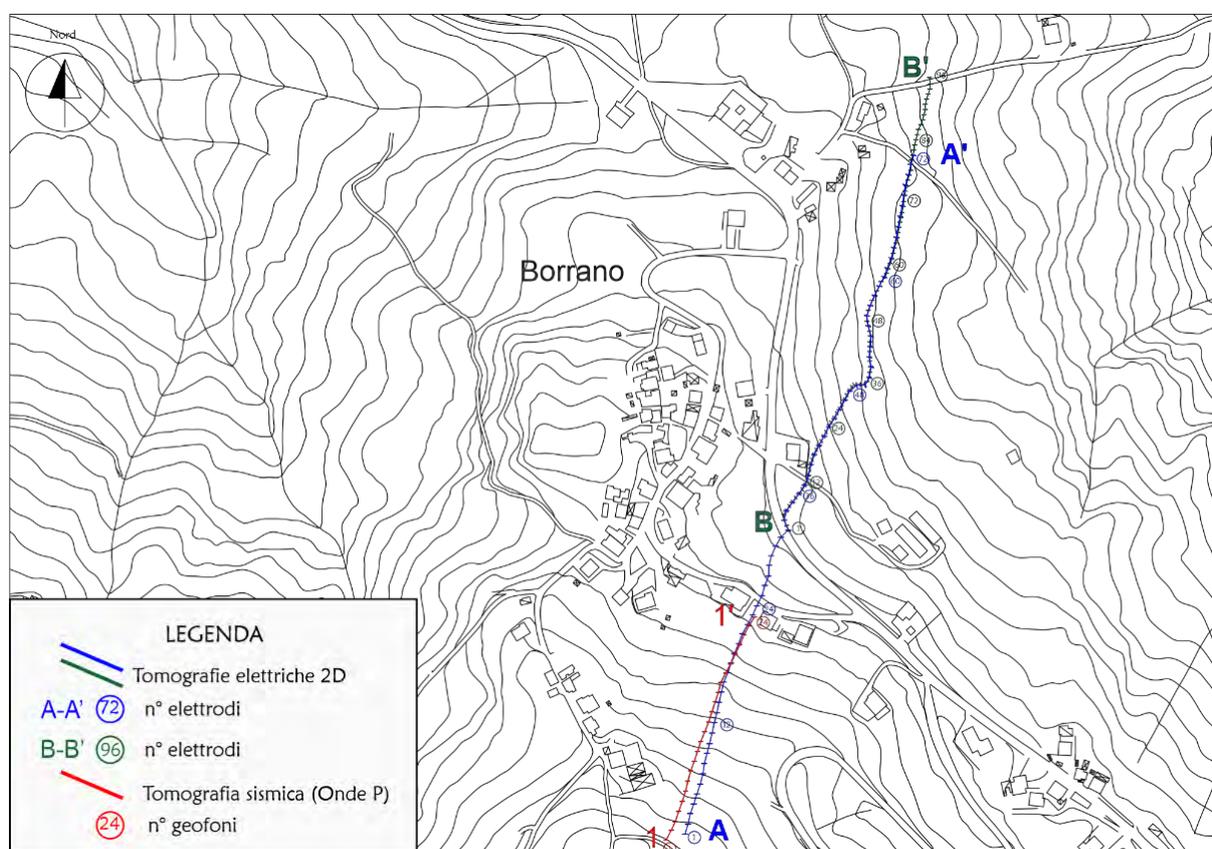


Figura 14 – Ubicazione stendimenti geofisici nella prima fase delle indagini geofisiche.

La sezione A-A' da 710 m è costituita da 72 elettrodi con spaziatura 10 m, mentre la sezione B-B' da 475 m è costituita da 96 elettrodi con spaziatura 5 m. L'acquisizione è stata effettuata tramite tre differenti tipi di array che hanno fornito ottimi risultati sia in senso orizzontale che in quello verticale: Dipolo-Dipolo, Wenner-Schlumberger e Polo-Dipolo.

La sismica a rifrazione è stata schematizzata con 24 geofoni verticali P, con spaziatura 10 m, acquisendo complessivamente 230 m di rilievo (si rimanda agli allegati la descrizione delle tecniche utilizzate).

I risultati ottenuti dall'indagine geoelettrica A-A' (fig. 15) indicano, in linea generale, la presenza di tre principali litologie; tra le progressive 70-310 m e le progressive 400-580 m, sono evidenti dei materiali superficiali con spessore massimo di circa 10 m, caratterizzati da valori mediamente resistivi $> 30 \Omega \text{ m}$ i quali potrebbero essere correlati alla presenza del corpo di frana (materiali più areati rispetto ai circostanti e sottostanti).

Al di sotto, è ben distinguibile il passaggio a materiali conduttivi con valori $< 30 \Omega \text{ m}$, probabilmente ascrivibili alla Facies argillosa del Flysch di Teramo.

Più in profondità, a circa 50-60 m dal piano campagna, i materiali assumono nuovamente caratteristiche mediamente resistive, legate presumibilmente alla Facies più arenacea del Flysch di Teramo; quest'ultimo livello, inoltre, sembrerebbe lateralmente discontinuo tra le progressive 220-300 m circa (porzione conduttiva con valori $< 30 \Omega \text{ m}$), il che potrebbe giustificare la presenza di una possibile discontinuità tettonica (faglia).

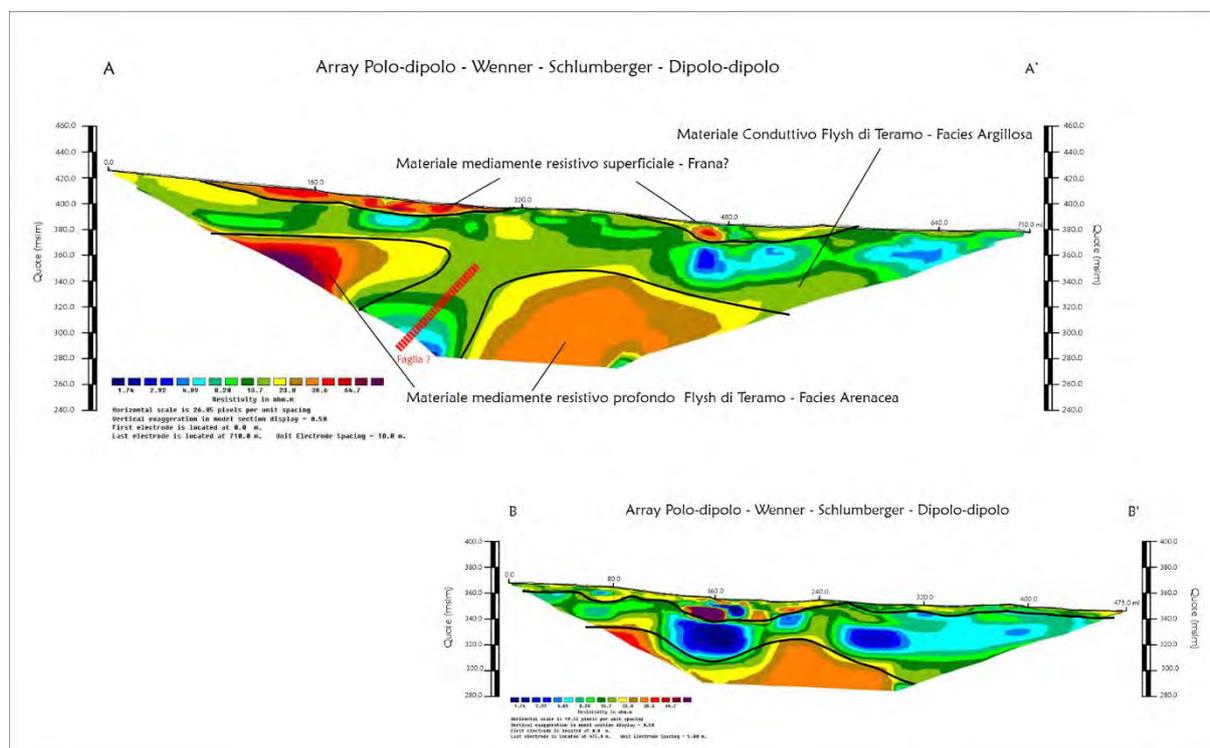


Figura 15 – Tomografia Elettrica sezione A-A' e B-B'.

I risultati ottenuti dall'indagine geoelettrica B-B' (fig. 15), posta in continuità alla stessa A-A' partendo dalla progressiva 310 m, mostrano caratteristiche analoghe alla precedente. È

evidente, infatti, lungo tutta la sezione, la presenza di materiali superficiali caratterizzati (da valori mediamente resistivi $> 30 \Omega \text{ m}$ i quali potrebbero essere correlati alla presenza del corpo di frana (spessori maggiori tra le progressive 100-200 m circa 10 m). Al di sotto si distinguono i materiali conduttivi e resistivi (delimitati dalla linea nera nella sezione interpretativa) ascrivibili alla presenza della Facies argillose e arenacee del Flysch di Teramo.

La prospezione di sismica a rifrazione in onde P (fig. 16) è stata ubicata a monte dell'intera area di indagine (in corrispondenza dell'inizio della sezione geoelettrica A-A'). Sono stati evidenziati terreni superficiali a bassa velocità lungo tutto il versante entro i primi 10 m dal piano campagna; tali materiali, analogamente ai risultati della tomografia geoelettrica AA', potrebbero essere collegati a materiali in frana.

Al di sotto, è evidente il raffittimento delle curve di isovelocità, indice del passaggio a materiali più competenti, in questo caso riconducibili probabilmente alla Facies argillosa del Flysch di Teramo; in profondità, contrariamente alla tomografia geoelettrica A-A', non si riesce ad apprezzare il passaggio ai materiali più arenacei, motivo per cui l'indagine geoelettrica, in tal contesto, risulta la più idonea ai materiali.

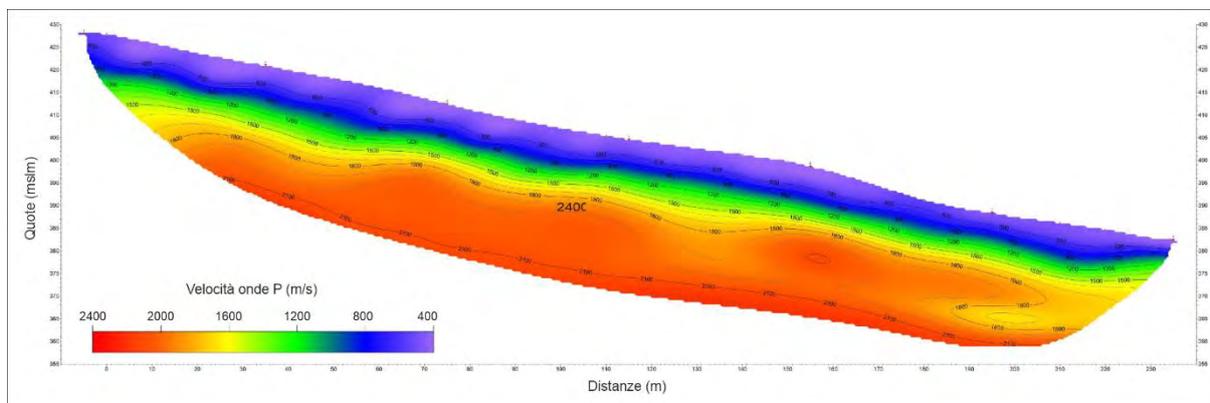


Figura 16 – Elaborazione tomografia Sismica in onde P sezione 1-1'.

Per un quadro più esaustivo, lungo l'allineamento 1-1' è stata effettuata anche un'elaborazione tramite metodologia MASW (fig. 17). Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio orizzontali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. La parte superiore del profilo mostra velocità delle onde S mediamente pari a circa 300 m/s, per avere un notevole repentino incremento a circa 45 metri di profondità passando a 700 m/s. Di seguito si mostrano le interpretazioni delle elaborazioni.

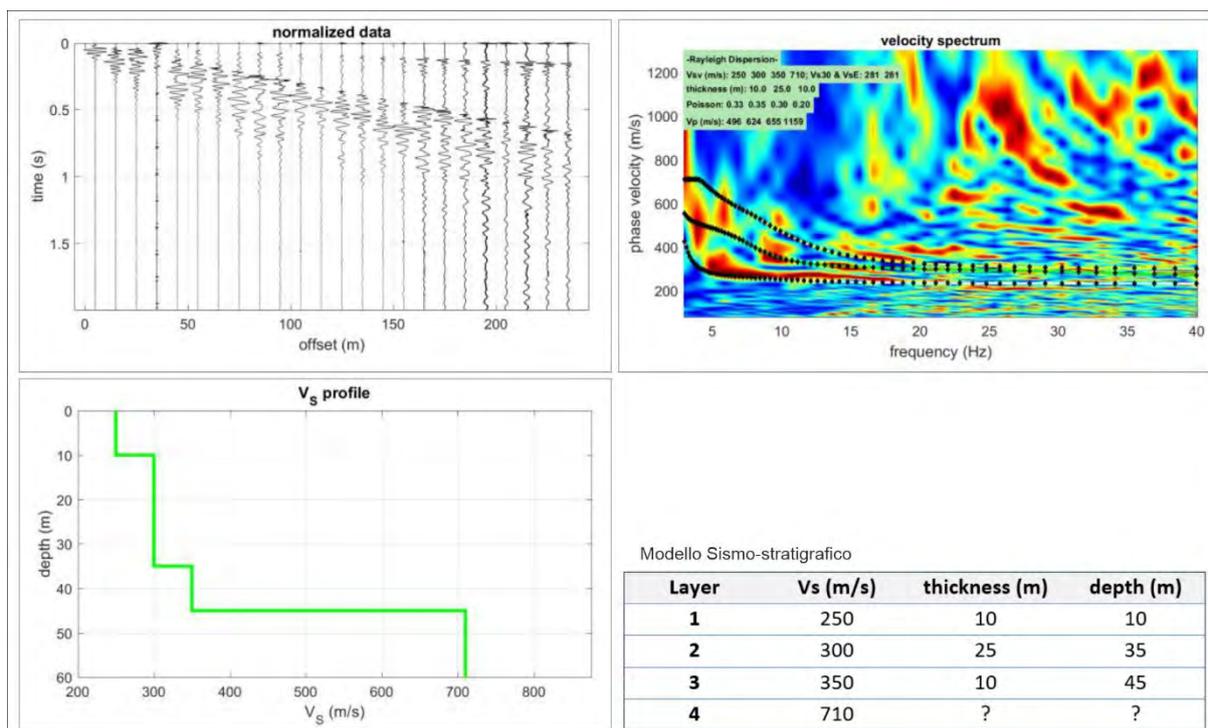


Figura 17 – Elaborazione profilo sismico MASW a 24 canali.

Seconda campagna geofisica. Nella seconda fase, sono stati eseguiti 4 stendimenti (fig. 18): le sezioni 1-1', 2-2', 3-3' e 4-4' rispettivamente da 590 m (sez. 1-2-3) e 550 m (sez. 4), con spaziatura interelettrodo pari a 10 m. L'acquisizione è stata effettuata tramite tre differenti tipi di array che hanno fornito ottimi risultati sia in senso orizzontale che in quello verticale: Dipolo-Dipolo, Wenner-Schlumberger e Polo-dipolo; solo per la sezione 3-3' non è stato eseguito l'array Polo-Dipolo poiché logisticamente non era possibile ubicare il polo ad una distanza utile.

In tutte le sezioni analizzate, si evidenzia una copertura di variabile da 4.0 a 10.0 m, caratterizzata da valori mediamente resistivi $> 30 \Omega \text{ m}$, quindi materiali più arenati rispetto a quelli circostanti (probabilmente riconducibile a corpi di frana superficiali). Al di sotto, è ben distinto il passaggio a materiali conduttivi con valori $< 30 \Omega \text{ m}$, probabilmente appartenenti alla Facies argillosa del Flysch di Teramo. Più in profondità, (con valori che tendono ad aumentare lungo le sezioni) i materiali assumono nuovamente caratteristiche mediamente resistive, legate presumibilmente alla Facies più arenacea del Flysch di Teramo. Di seguito si mostrano i quattro profili di tomografia elettrica e la loro interpretazione stratigrafica in funzione anche dei sondaggi eseguiti.

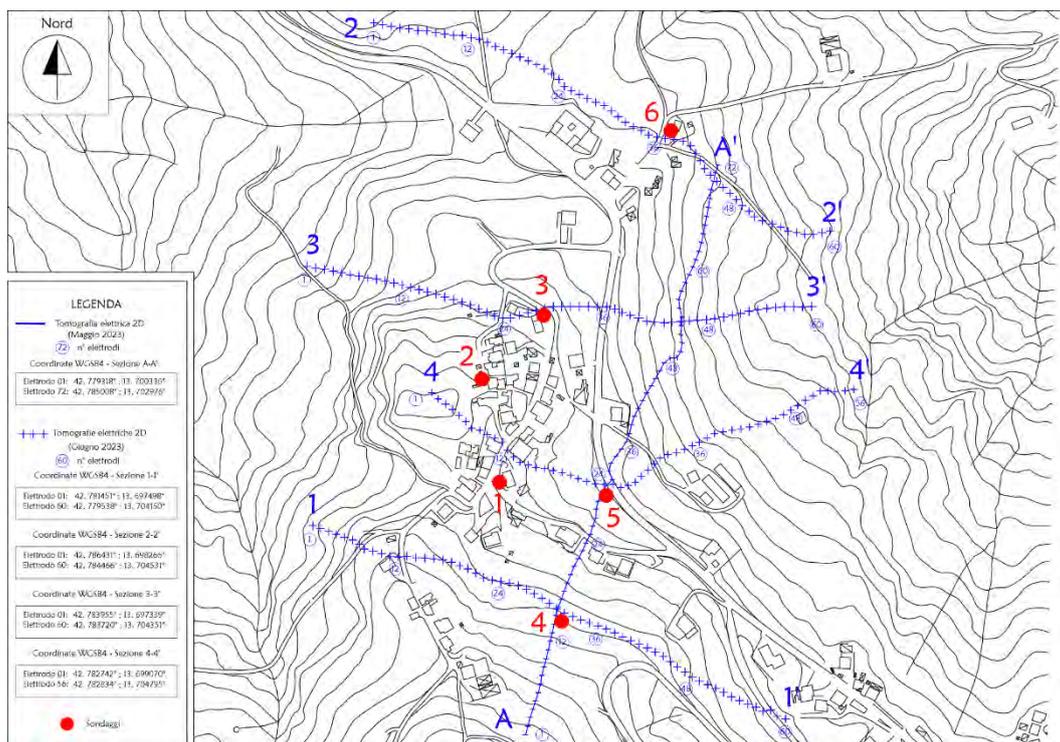


Figura 18 – Ubicazione stendimenti geofisici nella seconda fase delle indagini geofisiche (nella mappa è riportato anche lo stendimento A-A' eseguito nella prima fase di indagine).

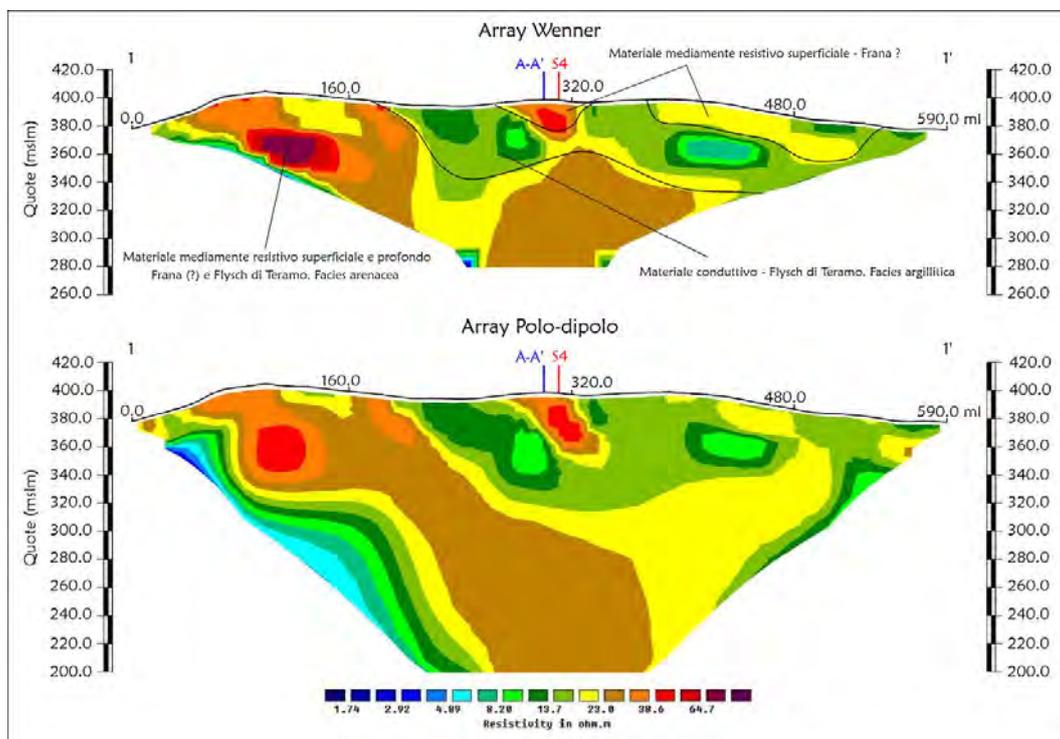


Figura 19 – Tomografia Elettrica sezione 1-1'.

La sezione 1-1' (fig. 19) acquisita con Array Wenner e Polo Dipolo (quest'ultima

configurazione permette di indagare maggiori profondità), mostra la facies arenacea che tende a risalire all'inizio dello stendimento e approfondirsi verso la fine. Nella porzione più superficiale rimane difficile distinguere i materiali di copertura.

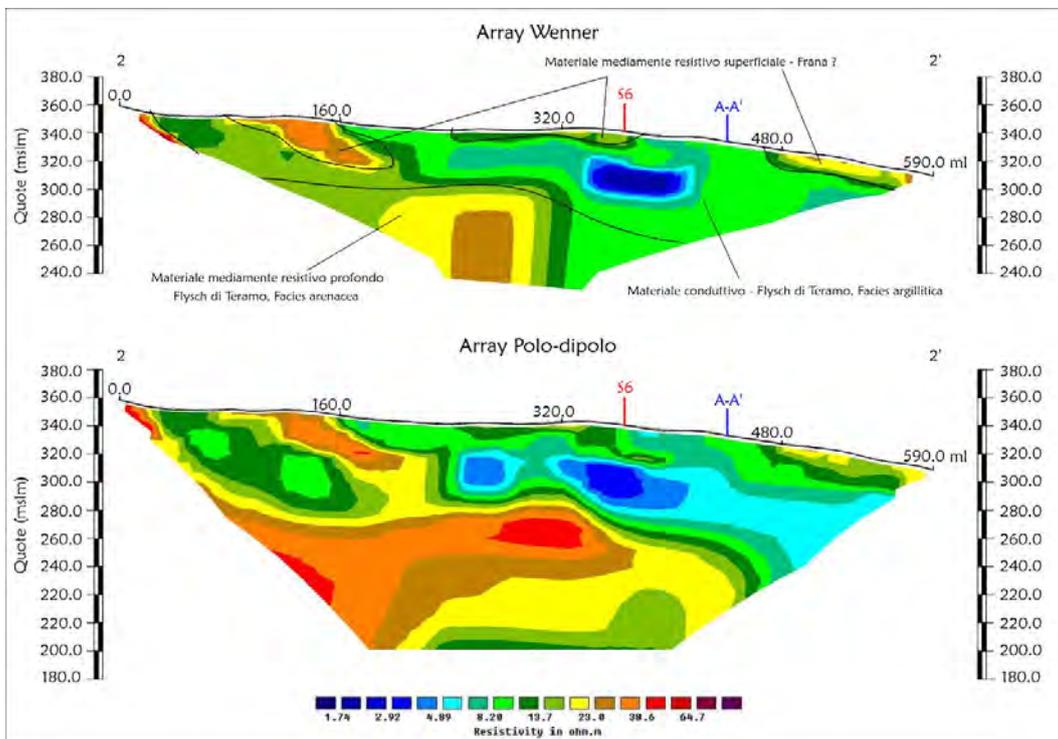


Figura 20 – Tomografia Elettrica sezione 2-2'.

La sezione 2-2' (fig. 20), sia in array Wenner che Polo dipolo, presenta risultati simili alla sezione 1-1' in particolare la facies arenacea si approfondisce molto sulla fine della sezione. Anche il sondaggio S6 mostra il passaggio alle Arenarie a circa 55-60 metri da p.c. in accordo con i risultati.

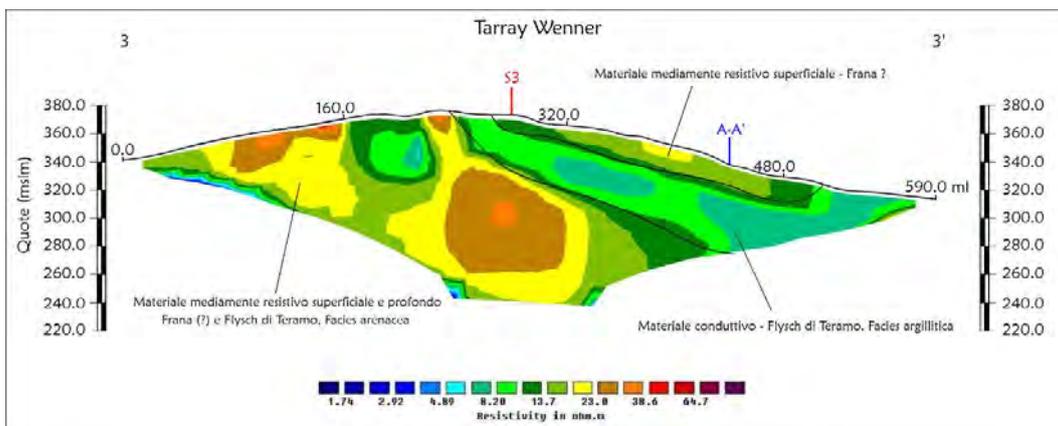


Figura 21 – Tomografia Elettrica sezione 3-3'.

Anche la sezione 3-3' (fig. 21) mostra lo stesso andamento giaciturale e stratigrafico. Inoltre, come evidenziato dal sondaggio S3 dopo un primo strato di copertura di circa 8 m (probabilmente in frana) si entra nell'argilla marnosa per poi passare alla facies arenacea a circa 20 m da p.c. La giacitura degli strati presenta un ruolo sfavorevole sulla stabilità gravitativa.

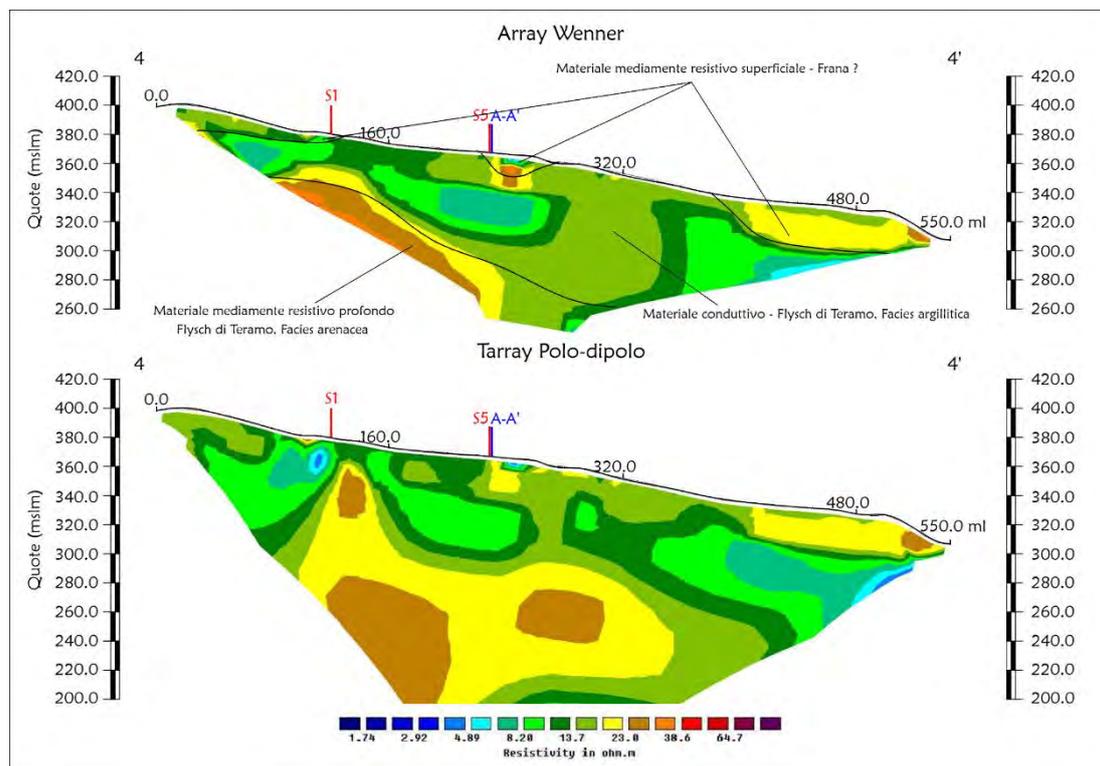


Figura 22 – Tomografia Elettrica sezione 4-4'.

L'ultima sezione, la 4-4' (fig. 22), per motivi logistici e di spazi, non presenta un andamento lineare su tutto il tracciato. Anche in questo caso i risultati sono in accordo con i sondaggi (S1 e S5) e con le altre sezioni. Si evidenzia bene la porzione superficiale dall'orizzonte intermedio (argilloso) dalla facies arenacea in profondità. Inoltre, la giacitura degli strati fa sì che, alla fine della sezione, lo spessore della copertura sulle Arenarie aumenta considerevolmente.

Interpretazione elettrica 3D. Partendo dalle geometrie bidimensionali dei profili si è creato, per interpolazione, una griglia 3D di interpretazione (fig. 23). In linea generale, i risultati ottenuti dalle 5 tomografie geoelettriche elaborate con metodologia 3D sono in accordo con i risultati dell'elaborazioni 2D. Di seguito si mostra il volume 3D di valori di resistività.

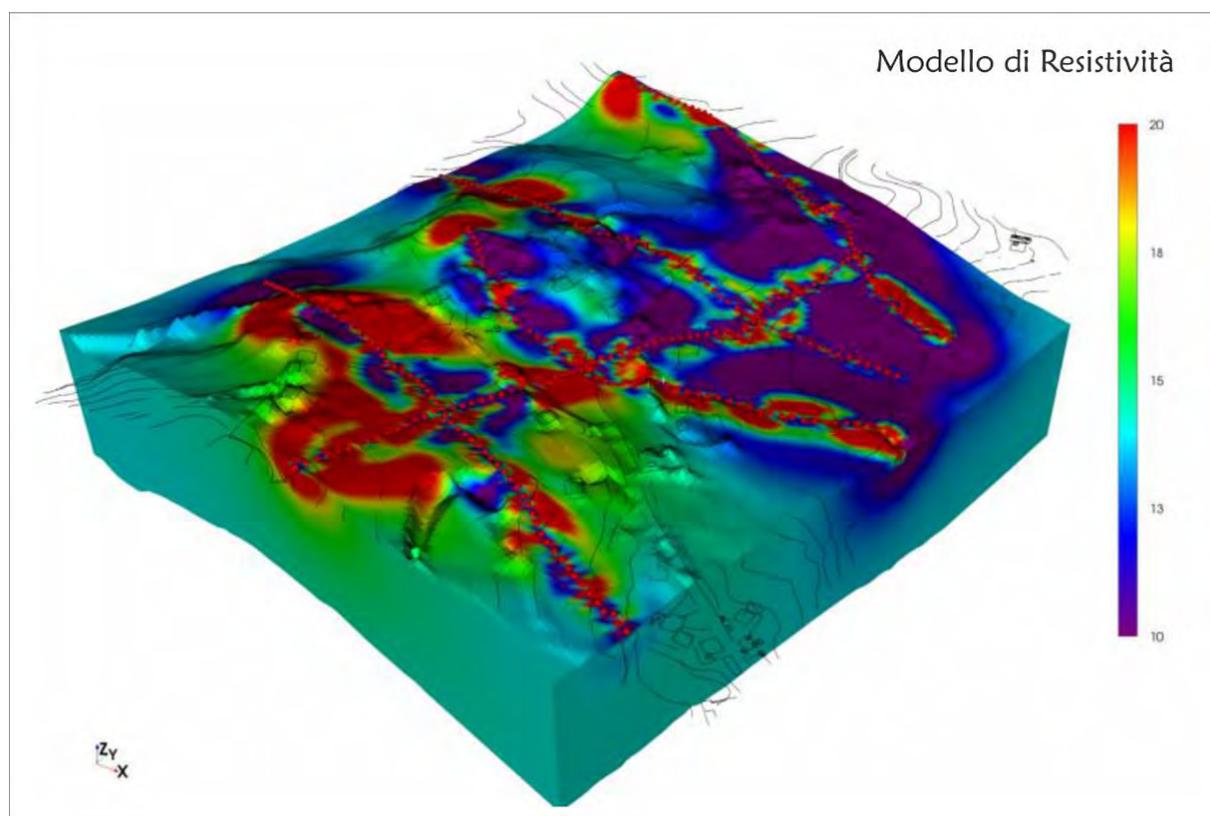


Figura 23 – Modello 3D del volume di resistività.

Poiché la distanza tra le sezioni è comunque considerevole, la maggior attendibilità è presente nell'intorno delle sezioni 2D o comunque dove esse si incrociano. Per una interpretazione più attendibile, sono state quindi realizzate, dal modello volumetrico 3D, delle mappe piane 2D andando ad eseguire sezioni orizzontali a differenti quote altimetriche (fig. 24).

Tali mappe permettono di evidenziare come nella porzione Est dell'area, alla stessa quota, siano presenti materiali più conduttivi riconducibili alla facies Argillosa, mentre nella porzione Ovest siano presenti materiali più resistivi, (Facies Arenacea).

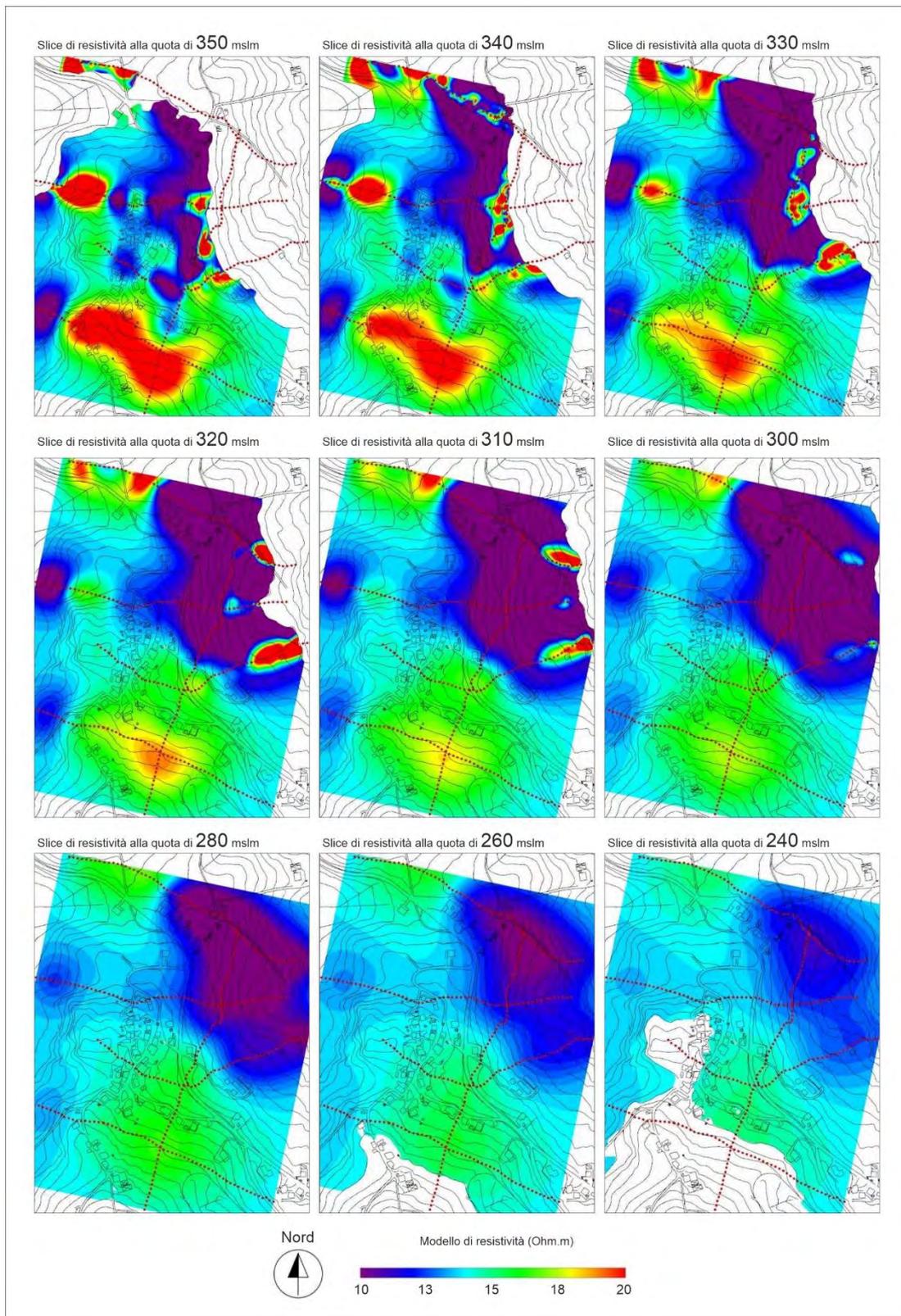


Figura 24 – Mappe di resistività 2D a differenti quote altimetriche.

Successivamente (figg. 25 e 26) si riportano delle visioni prospettiche con le sezioni più rappresentative che mostrano come la facies arenacea in considerazione anche dell'assetto giaciturale tenda ad approfondirsi da Ovest a Est e da Sud a Nord. Infine, sono stati messi in evidenza i volumi conduttivi legati alla facies argillosa.

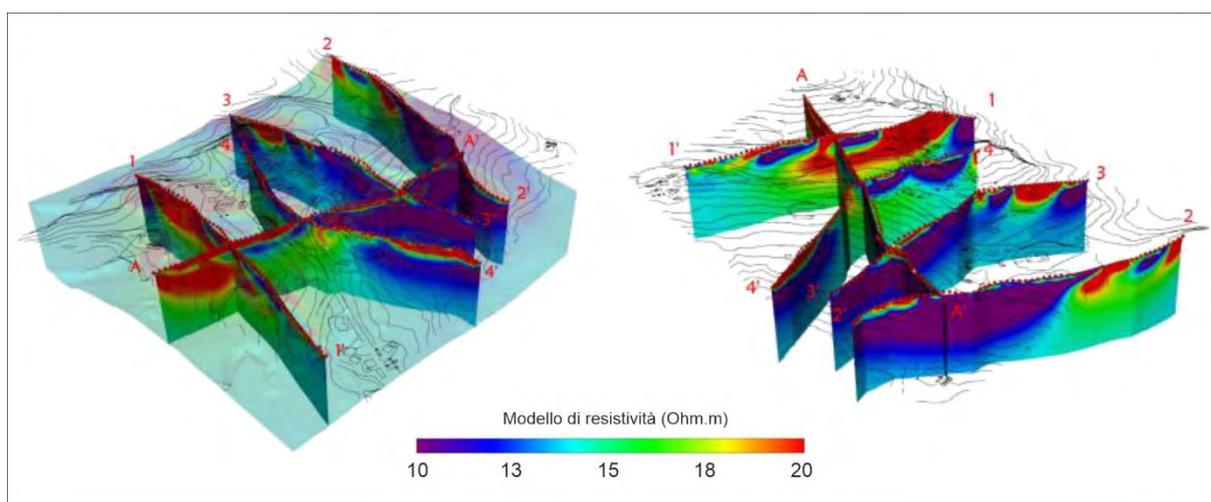


Figura 25 – Visione prospettica delle sezioni 2D ottenute dal volume 3D.

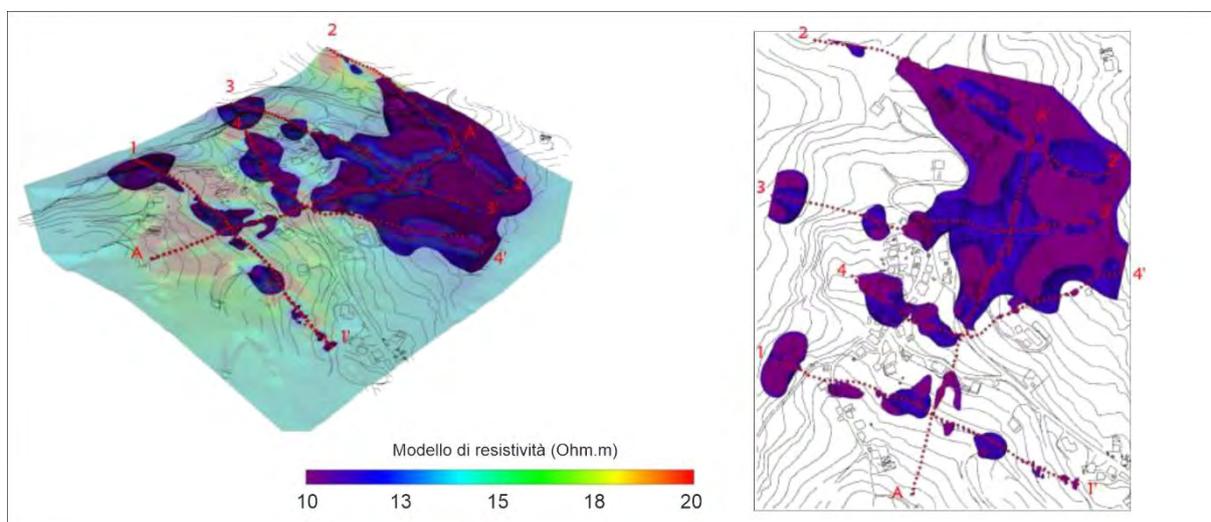


Figura 26 – Visione dei volumi conduttivi $< 11 \text{ Ohm.m}$ (planimetria fuori scala).

Si rimanda al report delle indagini geofisiche, in allegato, per i dettagli.

9. ANALISI NUMERICA 2D E 3D

Il codice di calcolo utilizzato è il FLAC (www.itascacg.com), un programma esplicito alle differenze finite per calcoli di meccanica del continuo. Il codice simula il comportamento di sistemi di terreni, rocce o altri materiali che subiscono un flusso plastico quando sono raggiunti i limiti di snervamento dei materiali. I litotipi sono rappresentati da zone all'interno di una griglia di discretizzazione che è preparata ad hoc per modellare le forme geometriche da analizzare. Ciascuna zona si comporta in accordo con una prescritta legge sforzo-deformazione in risposta alle forze applicate o alle condizioni di vincolo. Il metodo può confrontarsi con quello più comune agli elementi finiti in quanto entrambi trasformano un set di equazioni differenziali in equazioni matriciali per ogni zona, relativamente alle forze nodali ed agli spostamenti.

La meccanica del mezzo deriva dai principi generali (definizione di deformazione, leggi del moto ecc...), e dall'uso di equazioni costitutive che rappresentano il materiale idealizzato. L'espressione matematica risultante è un set di equazioni differenziali-parziali relative alle variabili meccaniche (sforzi) e cinematiche (velocità di deformazione) che devono essere risolte per particolari geometrie, proprietà e condizioni di bordo ed iniziali. Un importante aspetto del modello è l'inclusione delle equazioni del moto. Le leggi del moto per un continuo sono, per mezzo di questi approcci, trasformate in forme discrete della legge di Newton sui nodi. Il sistema risultante di equazioni differenziali ordinarie è quindi risolto numericamente usando nel tempo un approccio esplicito alle differenze finite. Le derivate spaziali coinvolte nella derivazione del mezzo equivalente sono quelle che appaiono nella definizione delle velocità di deformazione. Esistono numerosi modelli costitutivi utilizzabili nel codice adottato che condividono lo stesso algoritmo numerico incrementale.

Dato lo stress iniziale al tempo t e l'incremento di deformazione totale per un time-step, dt , il proposito è quello di determinare il corrispondente incremento di stress e il nuovo stato di stress al tempo $t+dt$. Quando le deformazioni plastiche sono coinvolte, solo la parte elastica dell'incremento di deformazione contribuirà all'incremento dello stress. In questo caso, una correzione deve essere apportata all'incremento di deformazione elastica come calcolato dall'incremento totale di deformazione al fine di ottenere il vero stato di sforzo per il nuovo time-step. Tutti i modelli operano in regime di tensioni efficaci; le pressioni neutre sono utilizzate per convertire le tensioni totali in tensioni efficaci prima dell'applicazione di qualsiasi modello. Per questo lavoro si è scelto, in funzione dei materiali da analizzare, di utilizzare le seguenti relazioni costitutive:

- **Mohr-Coulomb.** È un modello plastico d'involuppo a rottura. La tensione tangenziale di rottura in un generico punto sulla superficie di scorrimento interna al terreno è data dalla somma di due termini: Coesione efficace c' che è indipendente dalla tensione efficace σ' agente in direzione normale alla superficie; Angolo di resistenza al taglio ϕ' che è proporzionale a σ' .
- **Ubiquitous-Joint.** È un modello plastico che include piani deboli orientati secondo una precisa direzione e immersione incorporati all'interno di un modello Mohr-Coulomb. Oltre alle caratteristiche elasto-plastiche tipiche, sono introdotte anche le caratteristiche attrittive e coesive dei piani di debolezza.

Vista la complessità del sistema reale si è analizzato un modello tridimensionale per la determinazione dello stato deformativo ad ampia scala, ed un modello bidimensionale per la definizione legate alle instabilità locali.

ANALISI A LARGA SCALA. Per la ricostruzione del modello geometrico, sono stati utilizzati i dati vettoriali scaricabili direttamente dal portale della regione Abruzzo. Di questi, una volta estrapolate le curve di livello e i principali punti quotati, si è provveduto alla realizzazione di un'adeguata superficie topografica e successivamente un volume geometrico discretizzato con elementi tetragonali (fig. 27).

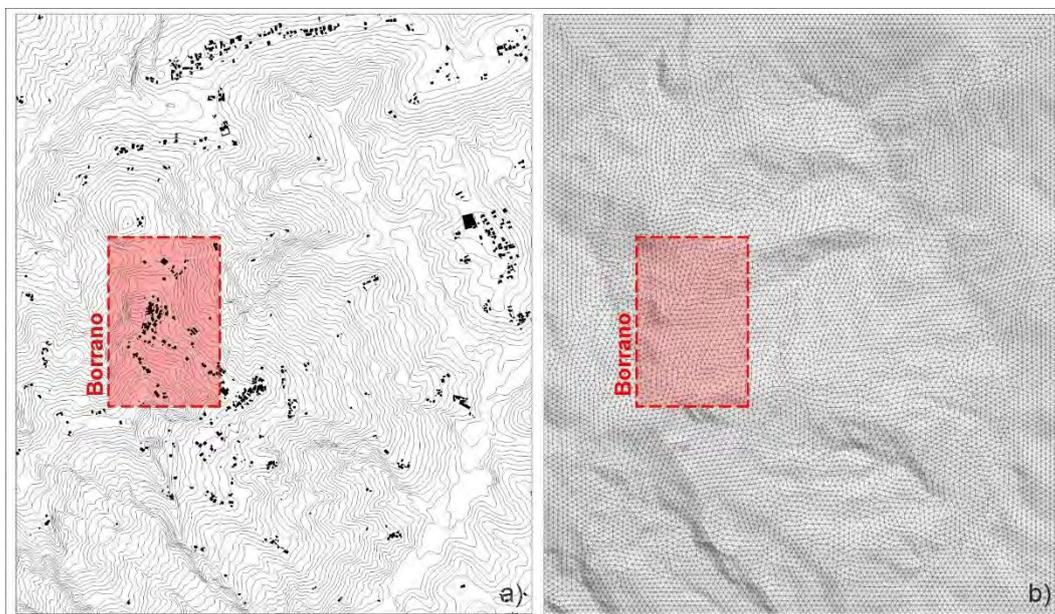


Figura 27 – Ricostruzione numerica del modello di calcolo. a) Modello digitale del terreno – fonte Open-Data della regione Abruzzo. b) Ricostruzione numerica del modello di calcolo 3D.

Sempre per la complessità del sistema, si è reso necessario dimensionare il calcolo in modo adeguato, al fine di evitare interferenze numeriche con i bordi del modello. Per tale

motivo si è scelto di analizzare un'area di 2900x3400 metri di estensione che corrisponde ad una superficie piana di 9.86 km² cercando di posizionare la zona di interesse nella parte centrale.

Per ottenere risultati coerenti, è stata scelta una griglia con mesh di dimensioni variabili tra 10 e 30 m andando a generare 1.195.360 zone tetragonali con vertici coincidenti in 216.042 nodi. Si precisa che nel modello, la parte più superficiale è stata schematizzata con uno spessore costante di 10 metri (colore grigio), al fine di simulare il comportamento della coltre di alterazione superficiale riscontrato in tutti i sondaggi eseguiti (fig. 28).

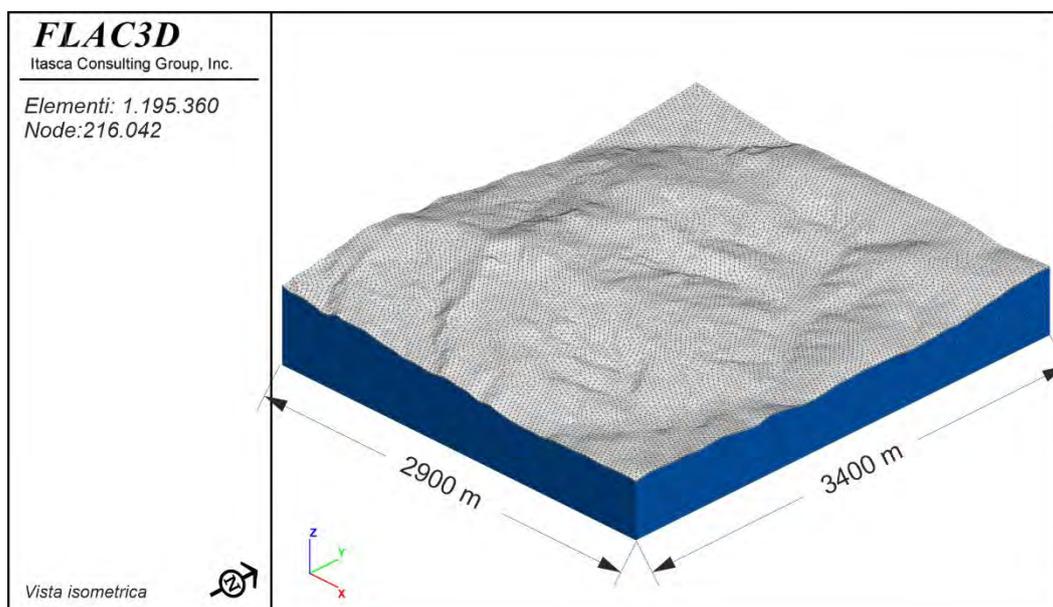


Figura 28 – Modello numerico FLAC 3D utilizzato nelle analisi.

La coltre di alterazione superficiale è stata modellata applicando un legame sforzo-deformazione secondo le equazioni di Mohr-Coulomb. Il criterio definisce che la resistenza di un materiale aumenta linearmente con la tensione normale efficace e che il materiale giunge a rottura quando il cerchio di Mohr degli sforzi tocca la retta di involuppo espressa da:

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \cdot \tan\varphi'$$

Dove φ' è l'angolo di attrito interno; c' è la coesione efficace; σ'_n è la tensione normale efficace definita come differenza tra la tensione totale e la pressione neutra.

Nel caso specifico si è utilizzata una coesione efficace pari a 10 kPa e un angolo di attrito interno pari a 22°.

Il substrato, nel caso specifico rappresentato dal Flysch di Teramo, vista la particolare conformazione caratterizzata (a grande scala) da fasce allungate costituite litologicamente

da alternanze ripetute di strati arenacei ed argilloso-marnosi, si è modellato applicando un approccio sforzo-deformazione secondo il criterio Ubiquitous-Joint Plasticity. Il modello simula il comportamento di piani di debolezza, di cui sono note direzione e immersione (nelle analisi N-E 45°), all'interno di un legame sforzo-deformazione alla Mohr-Coulomb. Il modello numerico dapprima calcola le deformazioni generali dell'ammasso (a cui vengono applicate le relative correzioni plastiche) e successivamente applica le nuove sollecitazioni ai piani di debolezza per analizzarne le deformazioni.

Nel caso specifico per l'ammasso si è utilizzata una coesione efficace pari a 100kPa e un angolo di attrito interno pari a 24°, mentre per i piani di debolezza, si è utilizzata una coesione efficace nulla e un angolo di attrito interno pari a 12°.

Per quanto riguarda ai moduli di deformazione elastica (Young) si precisa che durante le fasi di perforazione sono stati prelevati campioni direttamente in cassetta sui quali sono state eseguite prove espansione laterale libera (ELL) calcolando moduli variabili da 1E8 a 1E9 Pa, mentre i pesi di volume sono stati stimati variabili da 19.00 kN/m³ a 20.00 kN/m³.

L'analisi 3D è stata eseguita su larga scala al fine di valutare lo stato deformativo generale e la possibile evoluzione del sistema. La prima fase ha visto il calcolo degli stati tensionali iniziali come base di partenza per la simulazione di deformazione. Di seguito si mostra, per semplicità, solo lo stato tensionale verticale totale (fig. 29).

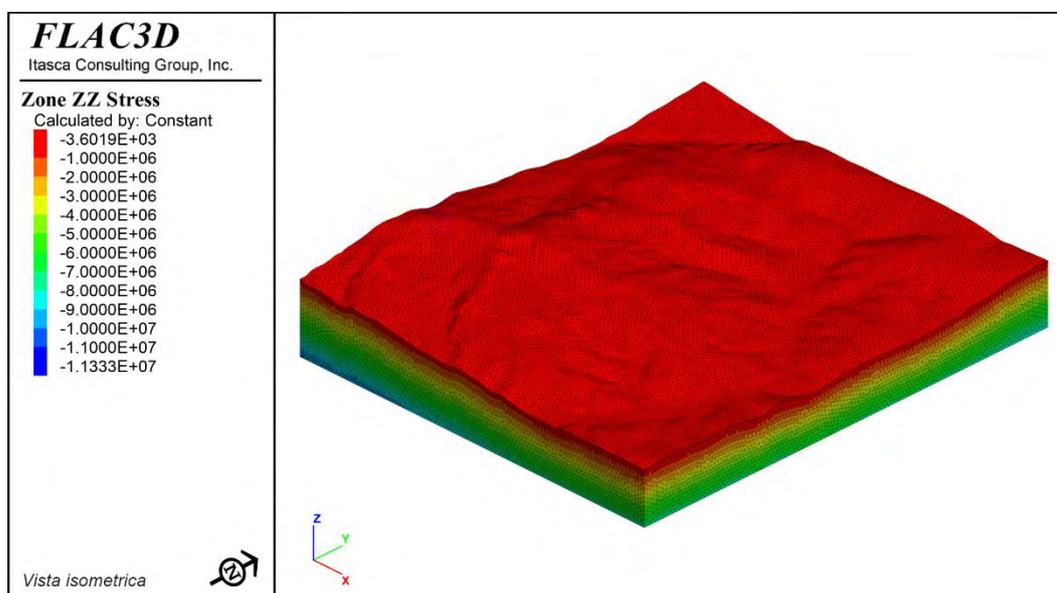


Figura 29 – Stato di stress verticale iniziale del modello di calcolo (valori espressi in Pa).

Successivamente sono stati analizzati gli stati deformativi. Di seguito si riportano i principali grafici sia in condizione piana che isometrica andando ad evidenziare l'area

dell'abitato di Borrano.

La figura 30 mostra la risultante delle tre componenti di spostamento. I valori massimi (colore rosso) si concentrano principalmente nella porzione Nord Nord-Est dell'abitato con valori di poco inferiori al metro.

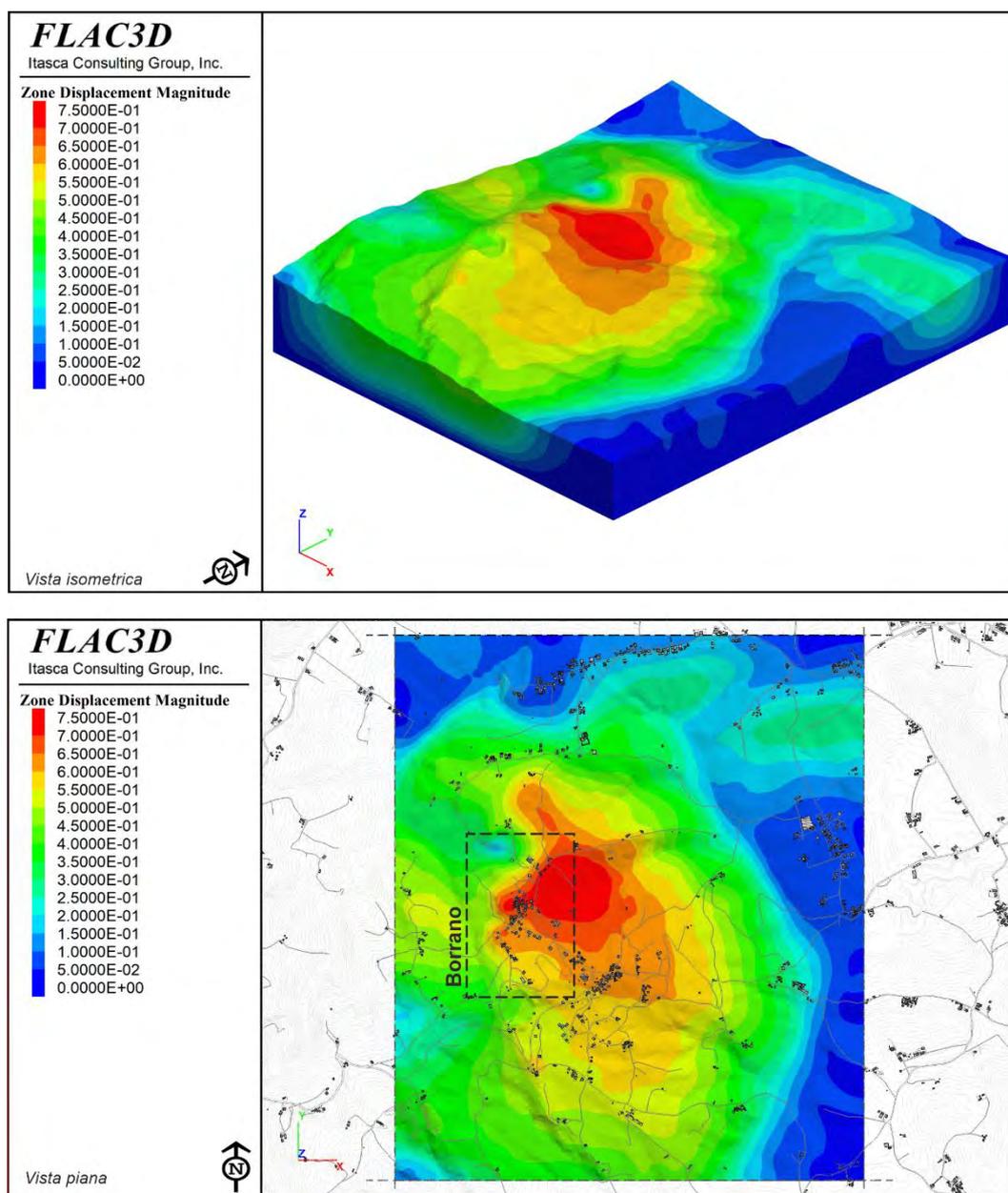


Figura 30 – Risultante dei massimi spostamenti (valori espressi in Metri).

La figura 31 mostra l'andamento dello spostamento in componente XX, quindi positivo in direzione Est. I valori massimi (colore rosso) si concentrano principalmente nella porzione più orientale dell'abitato, ma si manifestano (con segno opposto) anche spostamenti nella zona Ovest (colore blu).

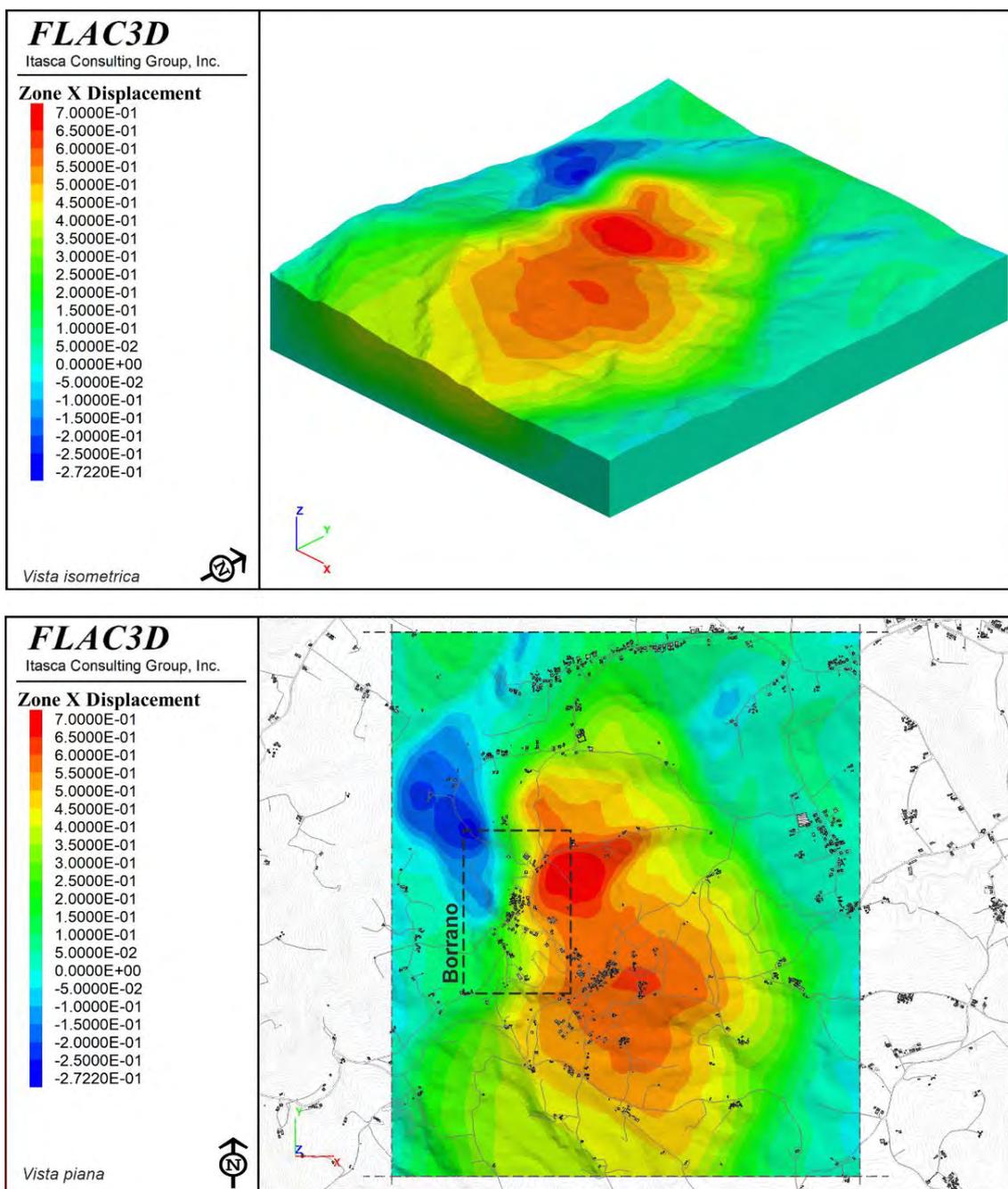


Figura 31 – Spostamenti orizzontali massimi in componente XX (valori espressi in Metri).

La figura 32 rappresenta l'andamento dello spostamento in componente YY, quindi positivo in direzione Nord. I valori massimi (colore rosso) risultano diffusi sull'intera area di Borrano con i massimi concentrati proprio nella parte più abitata.

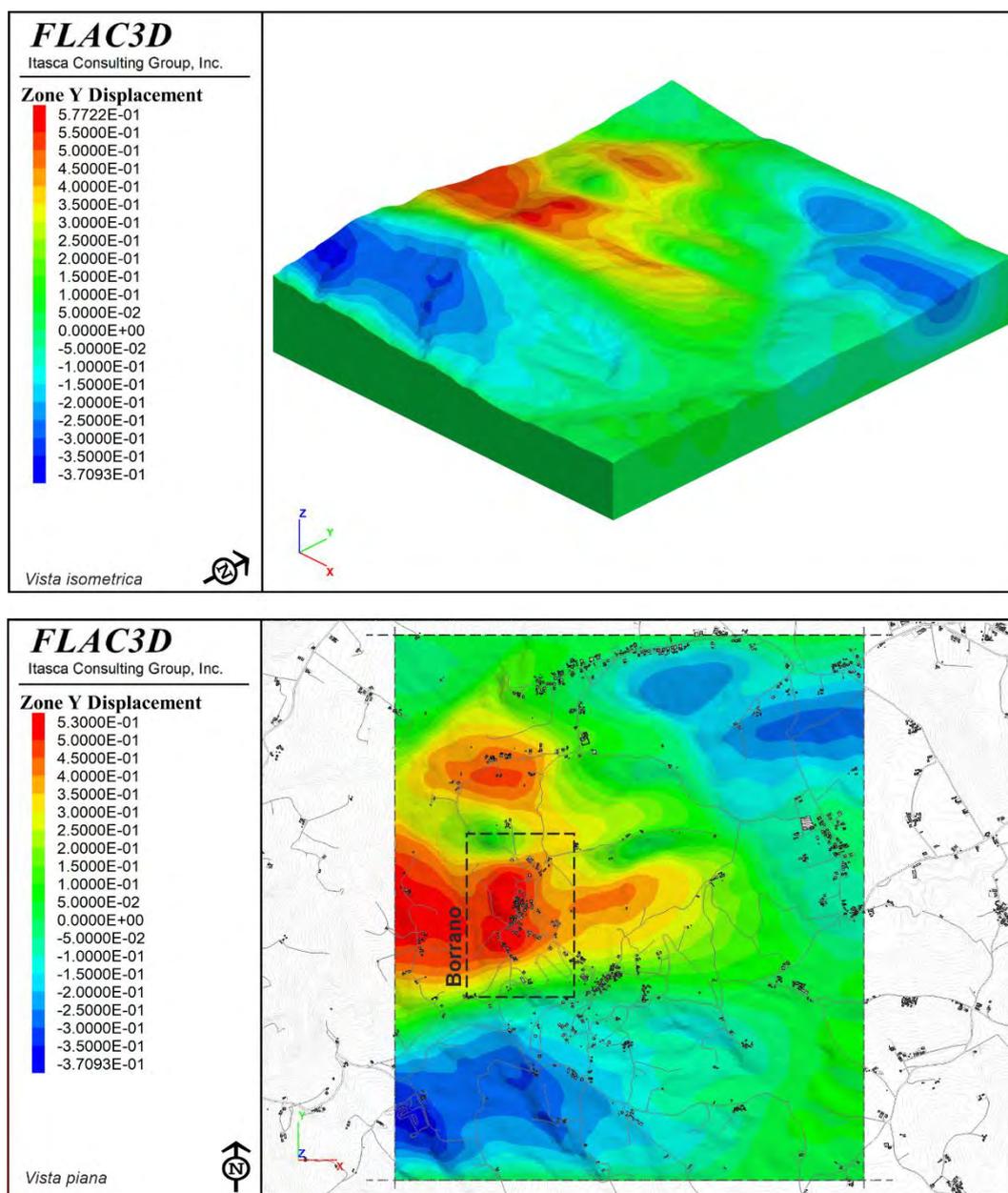


Figura 32 – Spostamenti orizzontali massimi in componente YY (valori espressi in Metri).

La figura 33 mostra l'andamento dello spostamento in componente ZZ, quindi positivo verso l'alto. I valori di spostamento massimo verso il basso (colore rosso) si concentrano in una piccola porzione sul lato ovest dell'abitato.

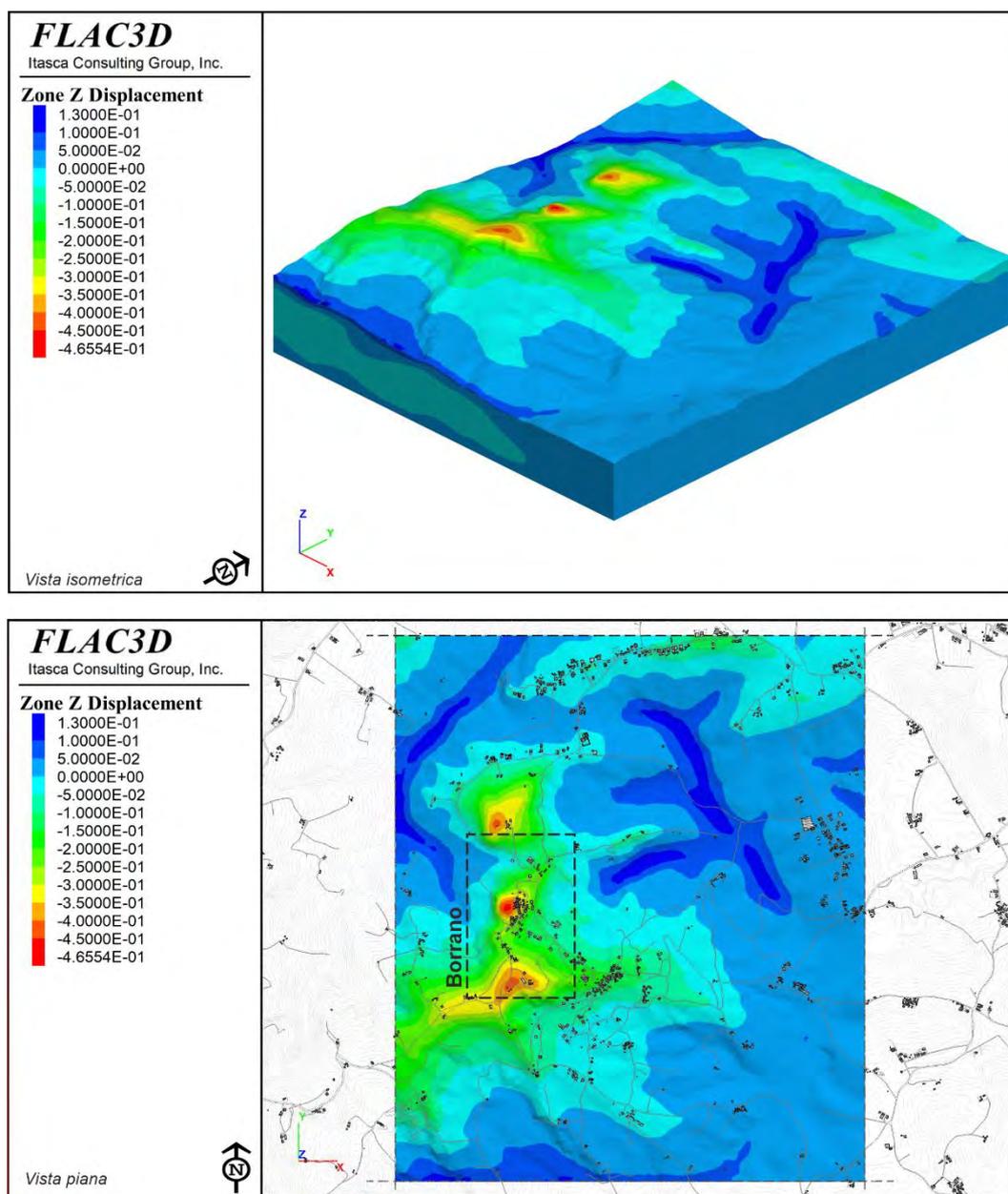


Figura 33 – Spostamenti orizzontali massimi in componente ZZ (valori espressi in Metri).

La figura 34 mostra l'andamento dei vettori spostamento in valore assoluto. L'andamento rappresenta il percorso deformativo dei singoli nodi e identifica la porzione di massimo spostamento con la relativa direzione.

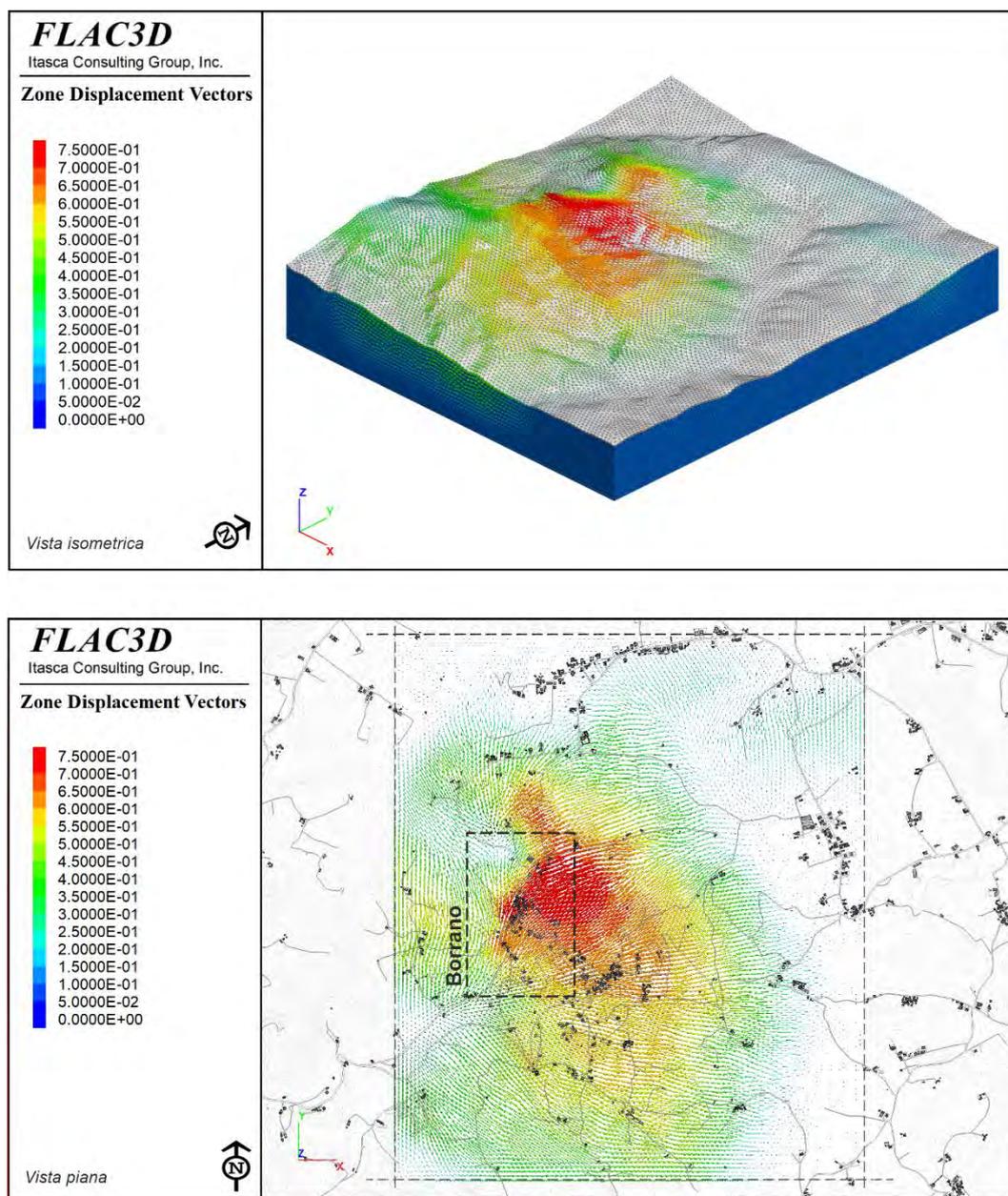


Figura 34 – Risultante dei vettori spostamento (valori espressi in Metri).

La figura 35 rappresenta l'andamento delle massime deformazioni al taglio calcolata su ogni singola zona. Questo rappresenta un grafico molto significativo in quanto identifica le aree maggiormente sollecitate dalle deformazioni. Nel caso specifico gran parte dell'abito risulta coinvolto (colore rosso).

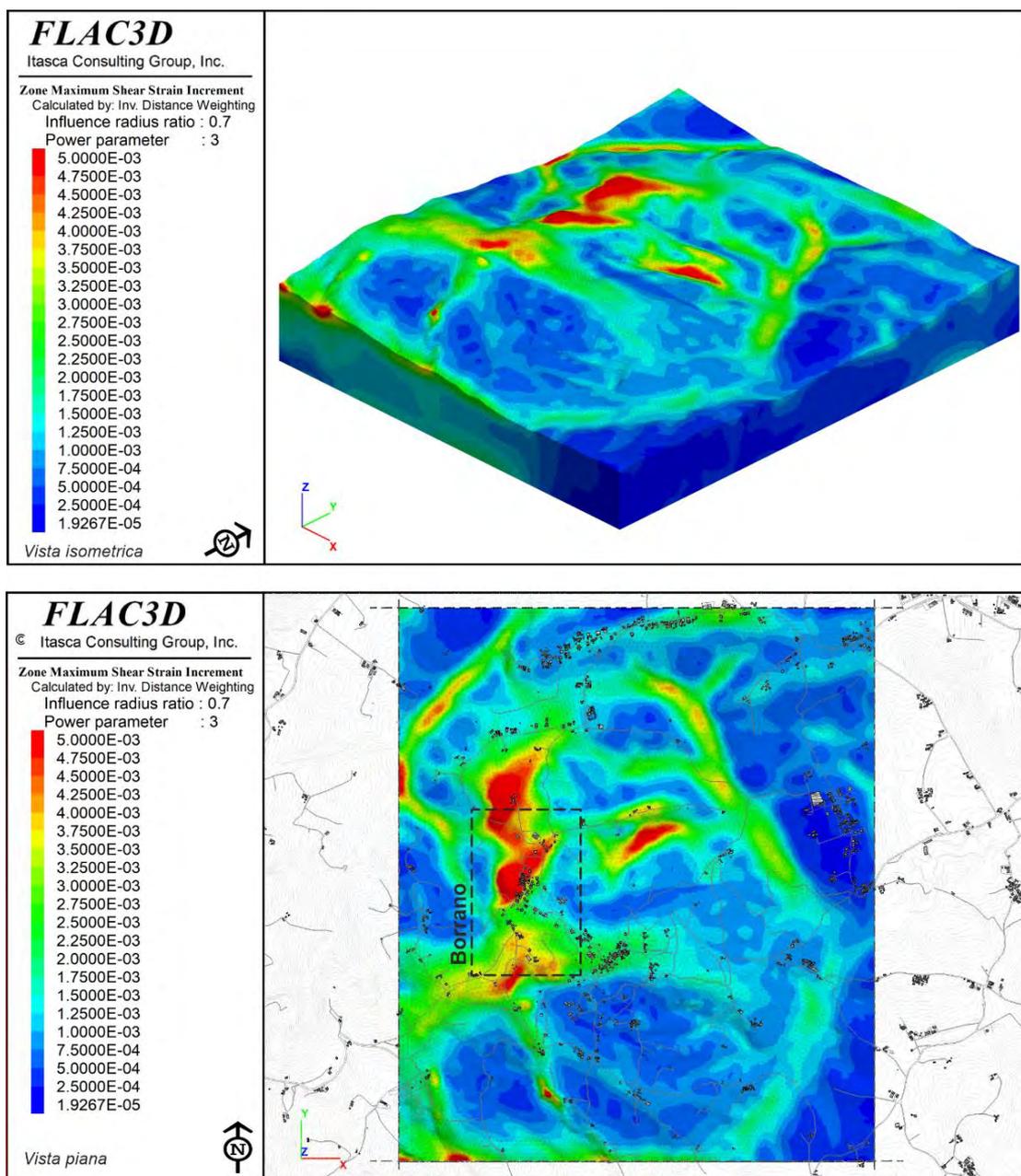


Figura 35 – Andamento delle massime deformazioni al taglio.

ANALISI A SCALA LOCALE. Dalle indagini eseguite (geognostica e geofisica) e dal monitoraggio inclinometrico, si riscontra che la parte più a sud dell'abitato risente molto meno delle deformazioni profonde, ed il suo stato deformativo è regolato principalmente dallo spessore della coltre superficiale e dal suo grado di saturazione. Per tale motivo, sono state analizzate due sezioni bidimensionali (figura 36) andando a costruire il modello numerico secondo le linee di massima pendenza del versante. Si precisa che, dai rilievi di campagna l'area presenta evidenti indizi di movimento (deformazioni superficiali e lesioni su strutture).

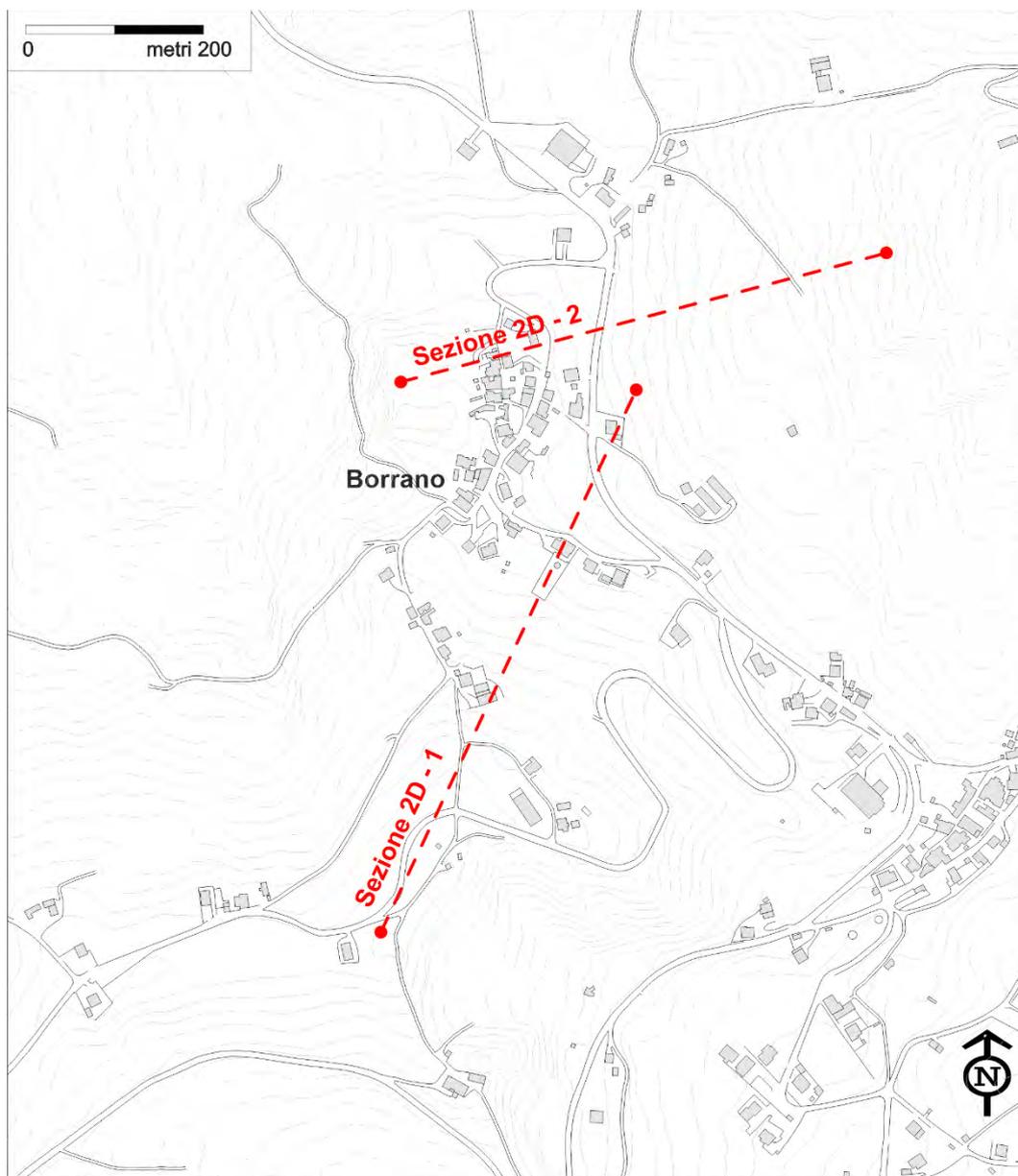


Figura 36 – Ubicazione planimetrica della sezione 2D analizzata.

Sovrapponendo le informazioni del rilievo di superficie, le stratigrafie di sondaggio e le

risultanze delle indagini elettriche e sismiche si è costruita la sezione geo-litologica n.1 più rappresentativa dell'area in esame (fig. 37).

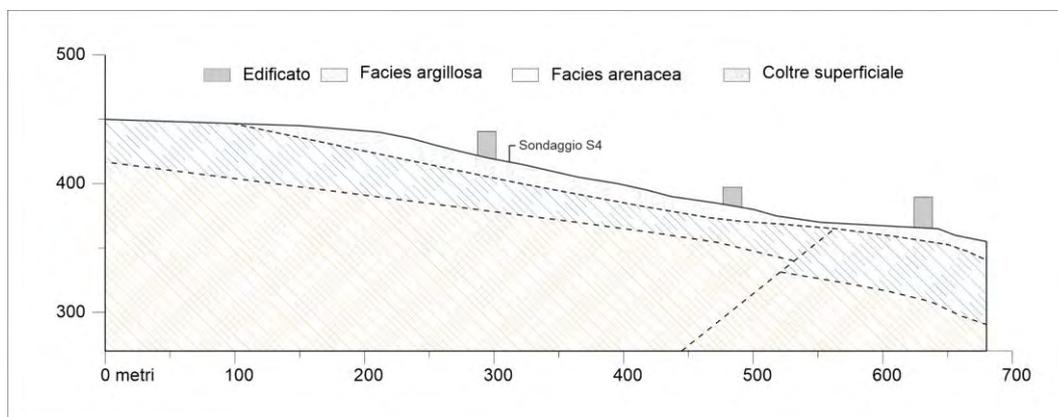


Figura 37 – Sezione-1 geo-litologica 2D dell'area sud dell'abitato.

Il modello numerico 2D è stato ricostruito sulla base della sezione precedente andando a schematizzare il sistema con elementi piani quadrangolari di dimensione generica 2.0x2.0 metri. Di seguito si mostra il modello numerico utilizzato nell'analisi (fig. 38).

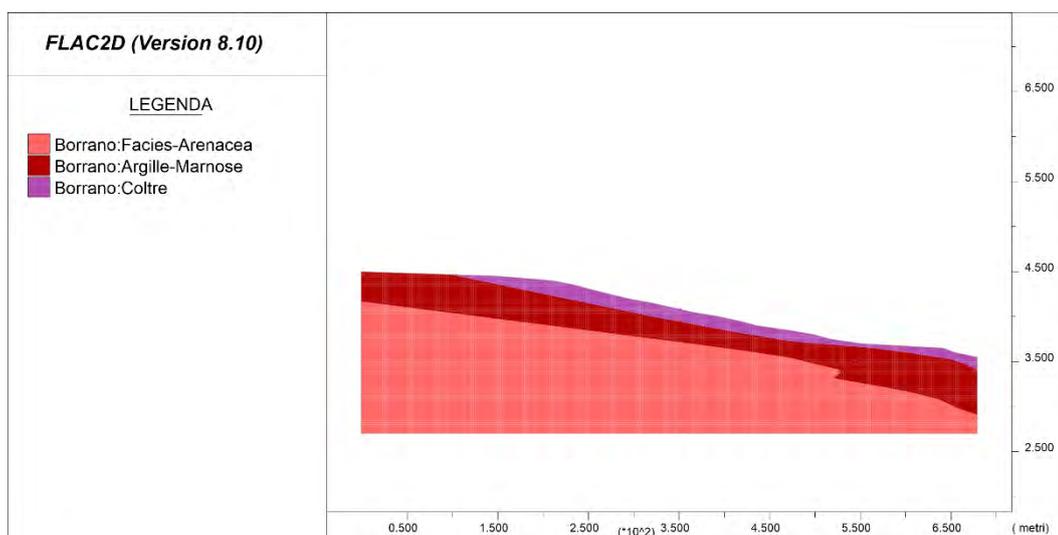


Figura 38 – Modello numerico 2D utilizzato nelle analisi della sezione 1.

I parametri meccanici utilizzati sono gli stessi impiegati per il modello 3D precedentemente descritto. Il modello è stato analizzato ipotizzando un livello piezometrico pari a -2.50 metri dal piano campagna simulando una falda statica e costante lungo l'intero sviluppo della sezione.

Anche in questo caso, dapprima si è provveduto al riequilibrio dello stato tensionale iniziale e successivamente all'analisi dello stato deformativo del sistema. Di seguito si

mostrano i grafici più rappresentativi dell'analisi.

Il modello di calcolo non raggiunge la convergenza, e per tale motivo il sistema è definito instabile. Di seguito si mostrano i valori massimi di spostamento orizzontale (Fig. 39), mentre l'immagine di figura 40 mostra le massime deformazioni al taglio. Queste ultime sono rappresentative dell'ipotetica superficie di scorrimento.

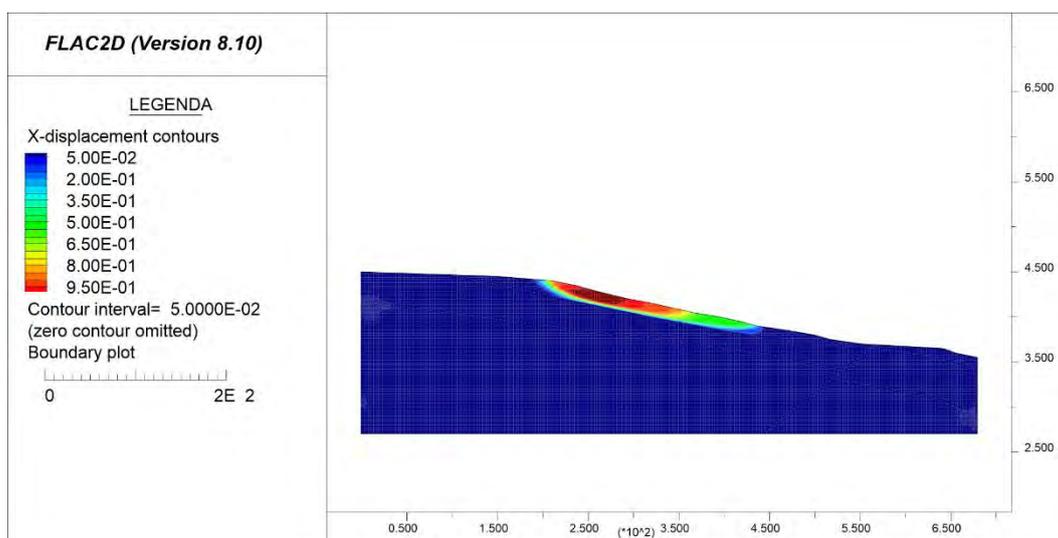


Figura 39 – Massimi spostamenti orizzontali sezione 1.

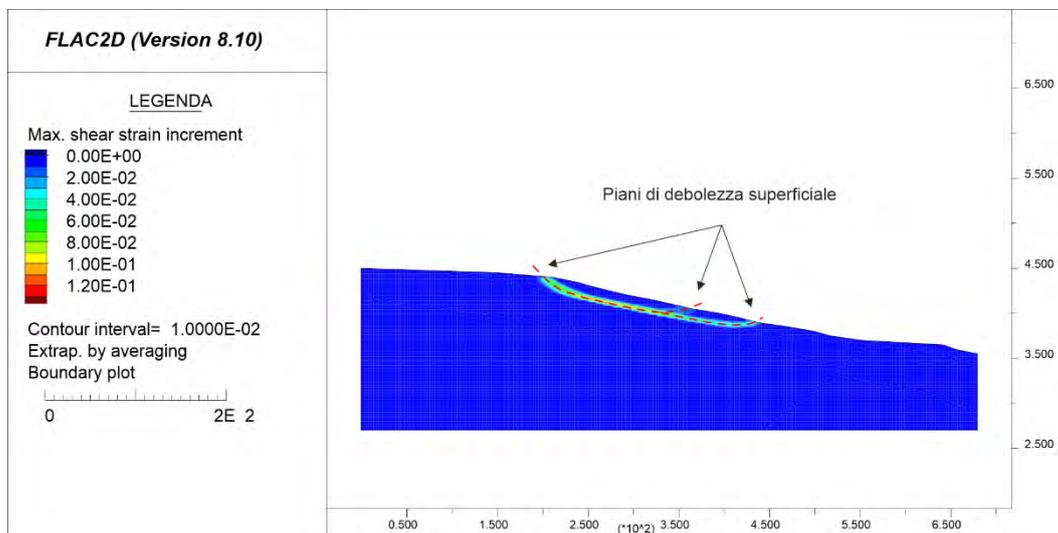


Figura 40 – assime deformazioni al taglio sezione 1.

Nella figura 41 è mostrato lo stato plastico del modello. Nel grafico è possibile evidenziare il sistema a rottura per taglio (o deformazione volumetrica) nella parte più alta del modello, a differenza della porzione sottostante (caratterizzata da una stratificazione a 45°) dove si genera solo una piccola porzione a rottura (Ubiquitous Joints Fail). Tale sistema

conferma la presenza solo di una zona deformata nella porzione più superficiale e non nella porzione profonda.

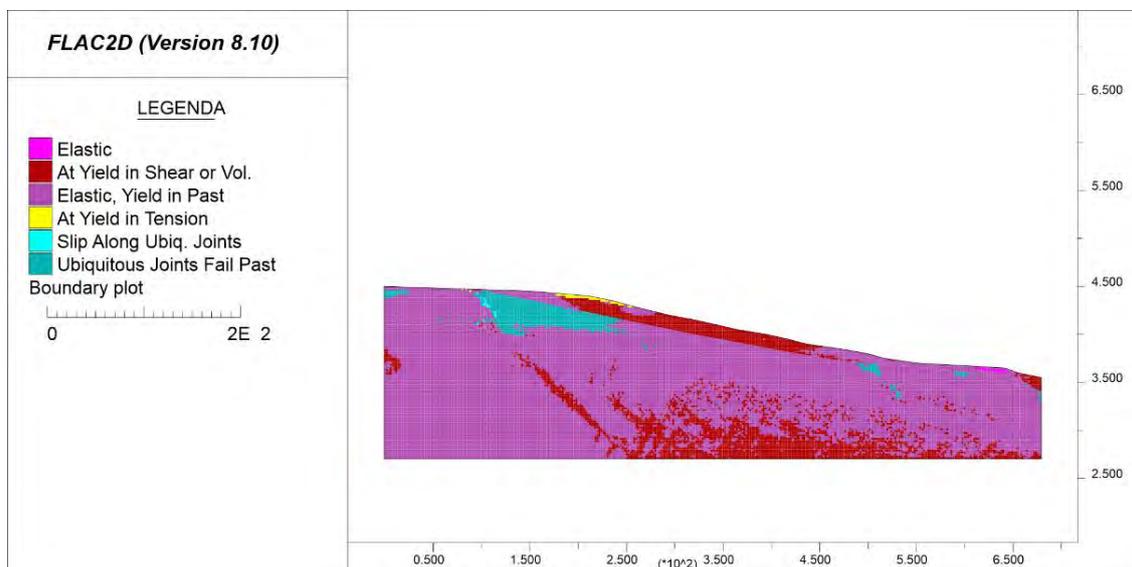


Figura 41 – Stato di plasticizzazione sezione 1.

Per la sezione n.2 si è seguito lo stesso criterio andando a sovrapporre il rilievo di superficie, le stratigrafie di sondaggio e principalmente le risultanze delle indagini elettriche e sismiche. Di seguito (fig.42) si mostra una schematizzazione geo-litologica.

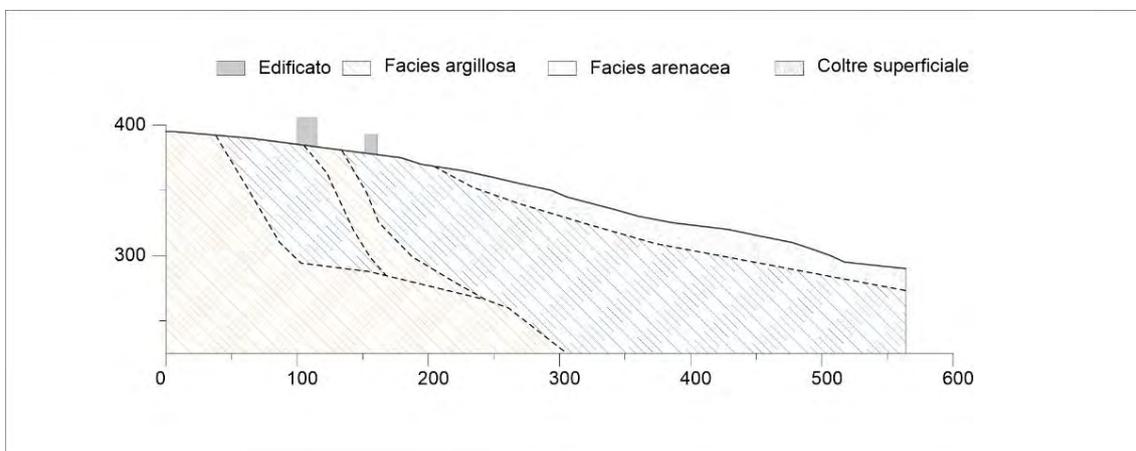


Figura 42 – Sezione-1 geo-litologica 2D dell'area sud dell'abitato.

Anche in questo caso le analisi non hanno raggiunto la convergenza, e quindi è possibile definire il sistema instabile. Per semplicità espositiva, di seguito si mostrano i valori delle massime deformazioni al taglio (fig. 43) e il grafico dello stato plastico del modello (fig. 44).

Su entrambi si sono evidenziate le zone di massima debolezza che rappresentano le aree di possibile rottura. In particolare, si nota la generazione di allineamenti inclinati di circa

45° dalla superficie fino in profondità, dove si manifestano scivolamenti lungo i piani.

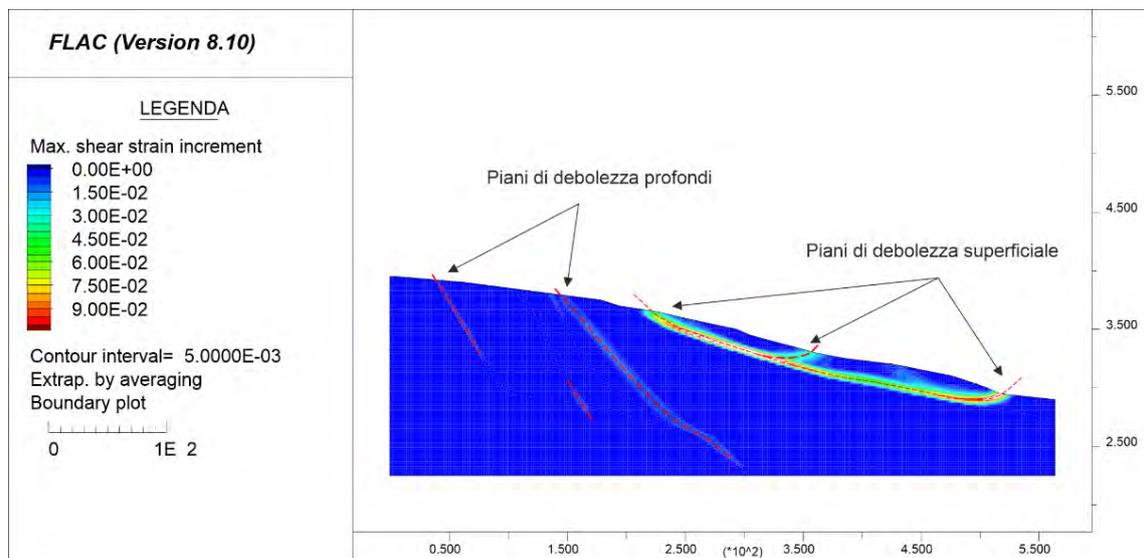


Figura 43 – Massime deformazioni al taglio sezione 2.

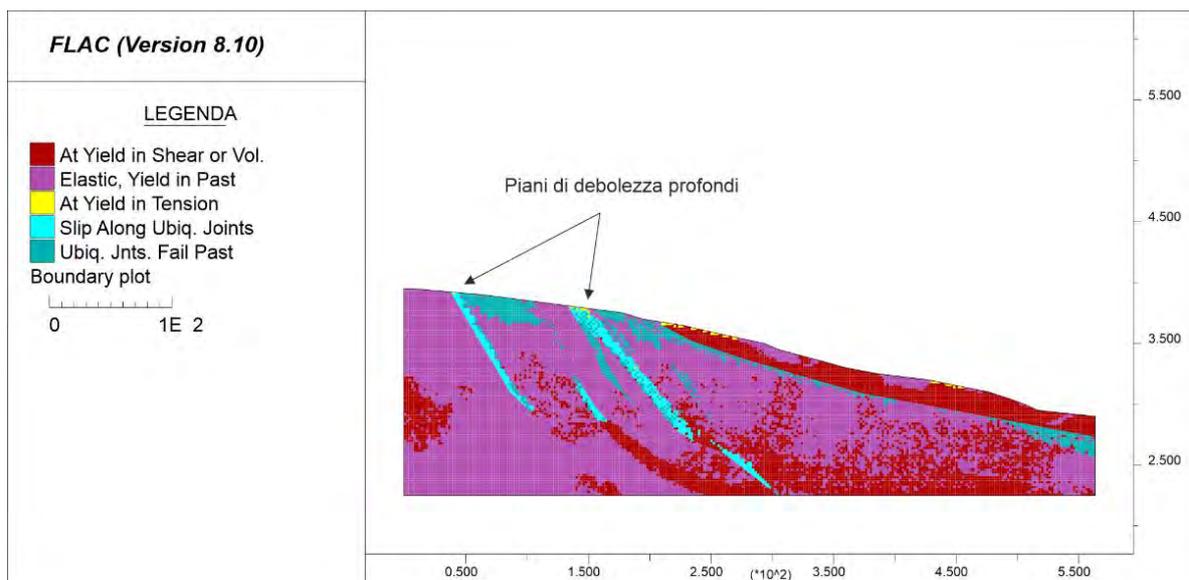


Figura 44 – Stato di plasticizzazione sezione 2.

10. INTERFEROMETRIA SATELLITARE

Sull'area in esame è stata eseguita un'analisi interferometrica satellitare InSAR al fine di perimetrare le aree che presentano maggiori deformazioni. Il principio di funzionamento consiste in un trasmettitore, che illumina lo spazio circostante con un'onda elettromagnetica, questa incide su eventuali oggetti al suolo subendo un fenomeno di riflessione disordinata

(diffusione, scattering). Una parte del campo diffuso torna verso la stazione trasmittente, equipaggiata anche per la ricezione, dove vengono misurate le sue caratteristiche. Misurando il ritardo temporale tra l'istante di trasmissione e quello di ricezione si è in grado di individuare con sufficiente precisione la posizione del bersaglio a terra.

L'osservazione della superficie terrestre avviene combinando due movimenti orbitali del satellite con la rotazione della terra generando scansioni in fase Ascendente (passaggi da Sud verso Nord) e scansioni in fase Discendente (passaggi da Nord verso Sud). I dati sono resi disponibili dalla commissione europea (CE) e dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) che hanno istituito il programma Copernicus in grado di fornire dati in modo continuativo dal 2014. L'elevata risoluzione spaziale (5x20) e le orbite sempre più precise, rendono la costellazione Sentinel-1 di largo utilizzo in quanto in grado di indagare su di una varietà di fenomeni, tra cui lo spostamento superficiale utilizzando la tecnica "Interferometric Synthetic Aperture Radar" (InSAR).

Dopo l'acquisizione, le scansioni radar sono state elaborate in SNAP (Sentinel Applications Platform) un toolbox open source messo a disposizione dall'ESA (European Space Agency) in grado di gestire, analizzare e processare i dati ottici con una serie di plugin in funzione del fenomeno osservato. Lo scopo del lavoro è stato quello di individuare e analizzare la distribuzione dei Persistent Scatterers rintracciabili (PS: pixel che durante le diverse acquisizioni mantengono una risposta stabile e possono essere per questo utilizzati come riferimento per valutare l'evoluzione dinamica della superficie terrestre). Per quest'ultima fase si è scelto di utilizzare il metodo StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers), relativo ad un pacchetto software per estrarre gli spostamenti del suolo da serie temporali di acquisizioni radar ad apertura sintetica SAR (*Hooper A, Bekaert D, Spaans K & Arikan M (2012): Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation, Tectonophysics*).

Grazie all'utilizzo di bersagli radar, costituiti da diffusori permanenti (Persistent Scatterers-PS) che mantengono una fase stabile in tutte le scansioni temporali delle aree, è possibile misurare gli spostamenti del terreno sfruttando la variazione di fase (determinata dalla distanza sensore-bersaglio) e l'ampiezza del segnale riflesso dal bersaglio.

Dal portale search.asf.alaska.edu/ (Geophysical Institute of Alaska Fairbanks University) sono state acquisite tutte le scansioni radar dal 01/01/2021 al 31/12/2022 con un passo temporale di circa 12gg e una perpendicolarità ± 100 . La ricerca è stata eseguita sia per la fase orbitale Ascendente sia per quella Discendente, e i dati sono stati elaborati al fine di definire l'andamento delle velocità di deformazione verticale del territorio.

Per ogni interferogramma, è stata estrapolata solo la porzione dell'area d'interesse, e per essa sono stati individuati solo i bersagli (Persistent Scatterers-PS) che restituiscono una fase stabile su tutte le scansioni utilizzate. Le immagini successive (fig. 45) mostrano lo spostamento dei Persistent Scatterers sia per la fase orbitale ascendente che per quella discendente. Per chiarezza di lettura sono stati rappresentati con la stessa scala solo i valori negativi che identificano un allontanamento dal sensore.

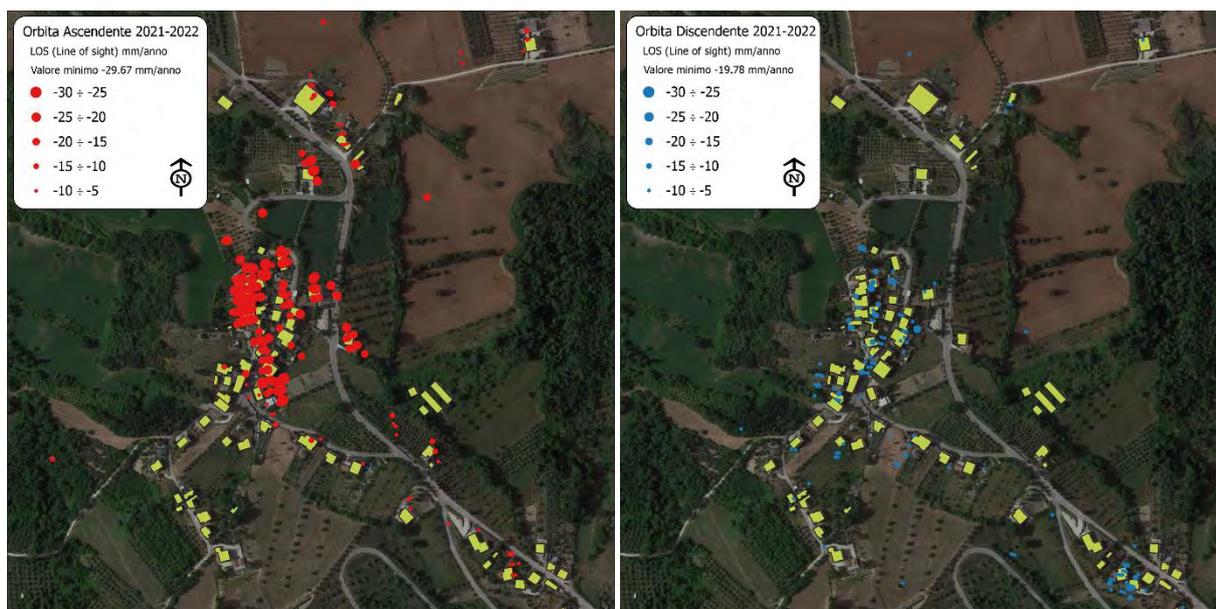


Figura 45 – LOS (Line of light) sia per la fase ascendente che discendente.

Successivamente, i dati registrati dalle due orbite (ascendente e discendente) sono stati omogeneizzati su di una griglia comune a spaziatura regolare con un passo geometrico pari a 20x20 metri e combinati fra di loro, utilizzando l'angolo d'incidenza proprio per ogni bersaglio.

Combinando le due fasi e scomponendo i singoli vettori in funzione delle rispettive mappe d'incidenza del fascio di scansione si è estrapolato per ogni vertice la componente verticale dello spostamento Up-Down. Le immagini successive rappresentano le velocità effettiva di spostamento suddivisi per gli anni 2021 e 2022 (fig. 46).

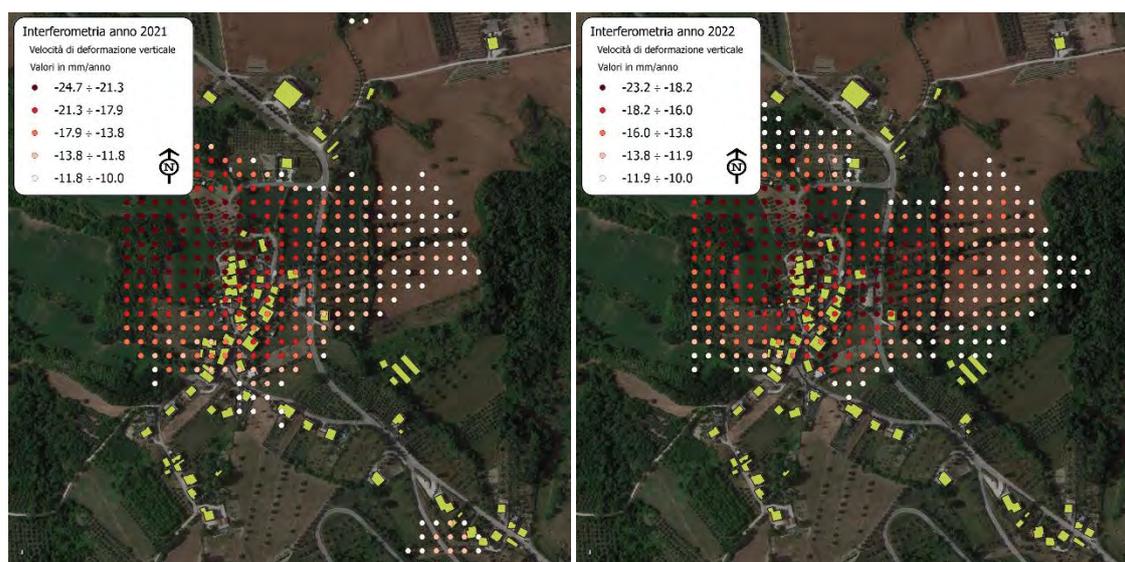


Figura 46 – Velocità di deformazioni verticali periodo 2021 e 2022.

11. ANALISI MULTITEMPORALE

L'aero-fotointerpretazione rappresenta l'operazione mediante la quale si effettua la lettura degli aspetti ambientali ed antropici del territorio attraverso la visione stereoscopica di fotografie aeree zenitali. Lo studio di una coppia di fotografie aeree, osservate in stereoscopia, consta di due fasi o momenti: la lettura e l'interpretazione. La lettura (prima fase) consiste nel riconoscere gli oggetti e/o i fenomeni che appaiono nelle fotografie, l'interpretazione cerca invece di trovare una spiegazione per la loro presenza, risalendo alle possibili cause e cercando di determinare le probabili influenze sul territorio.

I parametri principali della fotointerpretazione sono: il Tono fotografico, la Tessitura, i Lineamenti, la Morfologia, l'Idrografia.

Tono fotografico. Le variazioni del colore nelle foto a colori, le diverse tonalità di grigio in quelle in b/n possono aiutare al riconoscimento delle immagini fotografiche; ogni variazione del colore o del tono, indica invece un cambiamento di una condizione naturale.

Tessitura fotografica. Questo parametro definisce delle variazioni del tono a livello quasi microscopico. Ad esempio, le alternanze di bande chiaro-scure possono indicare l'affioramento di strati rocciosi oppure terrazzamenti eseguiti dall'uomo per la sistemazione dei versanti.

Allineamenti. Con questo termine si definisce tutto ciò che si sviluppa secondo una direzione ben precisa. Gli esempi che si possono fare in geologia sono le fratture e le faglie

dei corpi rocciosi. Questi allineamenti sono sempre contraddistinti da un tono fotografico diverso da quelli delle aree circostanti.

Morfologia. Le forme del terreno essendosi modellate su tutto quello che esisteva in loco, devono necessariamente riflettere le caratteristiche geologiche dell'area e quindi fornire preziose indicazioni sulla litologia e sull'esistenza di particolari strutture dei corpi rocciosi. Ad esempio, forme morfologiche aspre denotano in genere litologie resistenti all'erosione, forme dolci ed arrotondate litologie meno resistenti o molto vecchie e quindi da lungo tempo esposte all'erosione.

Idrografia. La rete idrografica può fornire utili informazioni ai fini della fotointerpretazione. Nelle zone montane e collinari i vari corsi d'acqua di uno stesso bacino confluendo gli uni negli altri danno origine, nella visione dall'alto, a dei pattern che possono rivelare la litologia e le strutture presenti nei corpi rocciosi. Per esempio, nel caso di rocce compatte, avremo un pattern caratterizzato da angoli di confluenza fra i vari corsi d'acqua, di tipo acuto o prossimo all'angolo retto, dovuta al fatto che i corsi si sono impostati sui vari sistemi di fratture tipici di queste rocce (pattern angolato). Nel caso invece di rocce argillose o comunque facilmente erodibili, si formerà un pattern dendritico.

L'analisi delle foto aeree è stata usata sia come supporto al rilevamento geologico e geomorfologico, sia per il riconoscimento delle forme geomorfologiche dell'area e dei vari allineamenti; in particolare, data la natura e lo scopo del presente studio, l'analisi fotogeologica è stata indirizzata e spinta soprattutto verso il riconoscimento e l'analisi dell'evoluzione delle forme gravitative presenti nell'area di studio.

In particolare, sono state analizzate le seguenti foto aeree:

Volo	Strisciata	Fotogrammi	Scala
Volo Regione Abruzzo 1982/84 - 1985/87	3B	3961-3962-3963	1:35.000
Volo Regione Abruzzo 2001/2002	105	280-281-282-283-284	1:13.000
	106	190-191-192-193-194	
Volo Regione Abruzzo 2010 digitale a colori	09	09_0980-09_0981- 09_0982-09_0983	1:5.000
	10	10_1070-10_1071 10_1072-10_1073 10_1074-10_1075	
	11	11_1216-11_1217 11_1218-11_1219	

Analisi Volo Regione Abruzzo 1981 – 1987

L'analisi delle foto aeree appartenenti alla serie di voli 1981-87 (scala 1:35.000) mostra una situazione dal punto di vista geomorfologico ben delineata.

L'idrografia è dominata da corsi d'acqua principali che scorrono in direzione circa SSW-NNE e SW-NE e altri secondari che scorrono in direzione circa NNW-SSE; il pattern appare di tipo dendritico, il che mette in evidenza la natura prettamente argillosa dei litotipi affioranti.

Dal punto di vista fotogeologico, appaiono ben evidenti degli elementi caratteristici (soprattutto creste e crinali), allineate in direzione da NNW-SSE a WSW-ENE, con pendii abbastanza ripidi e dove spesso sorgono nuclei abitativi; inoltre, appaiono evidenti alcuni lineamenti con diversi trend (NNW-SSE, WNW-ESE, WSW-ENE e SW-NE) lungo i quali spesso risultano impostati i corsi fluviali.

Analizzando i movimenti franosi, l'area appare dominata da due gruppi importanti di frane. Il primo gruppo è posizionato nell'area meridionale della località Borrano dove si notano due grandi movimenti franosi che si estendono in direzione circa NW-SE fino al corso del sottostante Fosso Goscio; data anche la piccola scala dei fotogrammi, sono ben delimitabili i movimenti gravitativi, ma sono di difficile attribuzione sia la tipologia di movimento che lo stato di attività. Il secondo gruppo di movimenti franosi si rivengono sui versanti del centro abitato di Borrano, sia quello esposto verso SW che quello esposto verso NE; l'andamento di queste frane rispetta quello del versante e, un movimento gravitativo in particolare risulta interessare quasi interamente il centro abitato di Borrano, specialmente lungo la porzione più orientale; anche in questo caso, risultano ben delimitabili i movimenti gravitativi, ma sono di difficile attribuzione sia la tipologia di movimento che lo stato di attività.

Analisi Volo Regione Abruzzo 2001-02

L'analisi delle foto aeree appartenenti alla serie di voli 2001-02 (scala 1:13.000) appare congruente con la situazione messa in evidenza dall'analisi della serie precedente.

Le aste fluviali che dominano l'area e che risultano evidenti dall'analisi delle foto aeree sono essenzialmente gli stessi che si evincono dall'analisi dei fotogrammi 1981-87. Risulta evidente un aumento delle aste fluviali, soprattutto di quelle secondarie, dovute essenzialmente all'aumento della scala dei fotogrammi analizzati; questo rende ancora più evidente il pattern dendritico.

Dal punto di vista fotogeologico, appaiono ancora evidenti gli elementi caratteristici

(soprattutto creste e crinali) allineati in direzione da NNW-SSE a WSW-ENE, con pendii abbastanza ripidi e dove spesso sorgono nuclei abitativi; inoltre, appaiono evidenti alcuni lineamenti con diversi trend (NNW-SSE, WNW-ESE, WSW-ENE e SW-NE) lungo i quali spesso risultano impostati i corsi fluviali. Iniziano ad osservarsi alcune contropendenze soprattutto nei movimenti gravitativi che si osservano nel versante orientale di Borrano.

Analizzando i movimenti franosi, risultano evidenti gli stessi fenomeni che caratterizzano l'area, in particolare nella porzione orientale dell'abitato di Borrano; le frane appaiono ampliate e con diverse scarpate e contropendenze, a testimonianza dell'attività dei movimenti intercorsi dall'analisi precedente. In particolare, osservando la frana che coinvolge l'abitato di Borrano si nota un'estensione molto maggiore dell'area in frana, soprattutto verso monte con l'abitato che ora appare interamente coinvolto dal movimento. Le frane sul versante NW di Borrano risultano stabili.

Analisi Volo Regione Abruzzo 2010

Nell'analisi delle foto aeree appartenenti alla serie di voli 2010 (scala 1:5.000), se da un lato appare stabile la struttura dal punto di vista dell'idrografia, e dei lineamenti, dall'altro viene mostrato un evidente aumento delle frane nel versante orientale dell'abitato di Borrano.

Le aste fluviali che dominano l'area e che risultano evidenti dall'analisi delle foto aeree sono coerenti e congruenti con le analisi precedenti ed anche in questo caso il maggior numero di aste presenti può essere imputato all'aumento della scala; il pattern si conferma dendritico.

Dal punto di vista fotogeologico, appaiono ancora evidenti gli elementi caratteristici (soprattutto creste e crinali) allineati in direzione da NNW-SSE a WSW-ENE, con pendii abbastanza ripidi e dove spesso sorgono nuclei abitativi; inoltre, appaiono ancora più evidenti alcuni i lineamenti (trend NNW-SSE, WNW-ESE, WSW-ENE e SW-NE) lungo i quali spesso risultano impostati i corsi fluviali. Risultano ancora più evidenti le contropendenze soprattutto nei movimenti gravitativi che si osservano nel versante orientale di Borrano.

Analizzando i movimenti franosi, se sul versante occidentale risulta una situazione abbastanza stabile, sul versante opposto le frane appaiono sempre più numerose ed evidenti. Le frane nella porzione più meridionale appaiono ampie e differenziate in 4 movimenti separati con però evidenze di attività poco marcate ed evidenti e quindi lo stato di attività potrebbe definirsi come quiescente. Nella porzione nord-orientale, invece, i movimenti gravitativi appaiono ben più evidenti sia numericamente che come estensione; per questi motivi, questo gruppo di frane può definirsi come attivo.

Analizzando in particolare la frana che coinvolge l'abitato di Borrano, essa appare sempre più ampia (in questo caso l'ampliamento è soprattutto verso valle) e si mettono in evidenza anche delle contropendenze, a testimonianza dell'attività della frana. Per quanto riguarda la tipologia della stessa, si mostra come mancano quelle caratteristiche tipiche dei movimenti di scorrimento traslazionale o rotazionale (ampie scarpate verticali o sub-verticali, rigonfiamenti, ecc.) e quindi si può supporre come il movimento possa essere una deformazione lenta di versante.

Analisi franosità da Lidar

L'analisi di Modelli Digitali del Terreno ad alta risoluzione (LIDAR forniti dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) ha permesso di affinare l'analisi della franosità dell'area di studio. Questo importante strumento permette di dare un grande sostegno all'analisi delle foto aeree in quanto risulta molto più preciso e dettagliato (risoluzione spaziale di 1 metro); a livello temporale, invece, l'analisi lidar ci permette di dare conferma all'analisi delle foto aeree del 2010 in quanto l'acquisizione di questi dati è avvenuta tra il 2008 e 2010.

I dati lidar confermano in toto l'analisi precedente, al netto di piccole variazioni a livello di estensione areale (la maggior definizione permette una migliore analisi dei limiti delle aree in frana) e si riesce a determinare e analizzare meglio qualche ulteriore contropendenza significativa all'interno dei corpi di frana.

A conferma dell'attività del movimento deformativo lento che coinvolge l'abitato di Borrano, anche l'analisi lidar mette in evidenza ulteriori forme tipiche di un movimento attivo, come contropendenze e scarpate longitudinali al versante.

Confronto e considerazioni di sintesi

Per analizzare la franosità dell'area di studio e per dare un'evidenza multitemporale dell'analisi, tutte le varie elaborazioni sono state sovrapposte e confrontate. Se dal punto di vista dei principali lineamenti e componenti fotogeologiche (come le creste) non si notano sostanziali differenze, se non una migliore definizione degli stessi riconducibili soprattutto a una migliore definizione spaziale dei fotogrammi analizzati, dal punto di vista dell'idrografia e della franosità si mette in evidenza un'importante evoluzione nell'area che è riconducibile solo secondariamente alla maggiore risoluzione delle foto studiate.

In particolare, nella parte meridionale dell'area di studio si mostra una dimensione dei movimenti gravitativi pressoché uguale con modeste evidenze di movimenti attivi (come nuove scarpate o contropendenze), che può testimoniare e confermare la natura quiescente

del movimento; si mette in evidenza, però, un graduale spostamento del corso fluviale verso SE il che può suggerire il fatto che, ad intervalli più o meno regolari, la frana abbia un movimento di natura roto-traslativo verso valle.

Il versante orientale dell'abitato di Borrano, invece, è quello che mostra una maggiore dinamicità nell'arco del tempo. Infatti, dai pochi movimenti gravitativi messi in evidenza nei fotogrammi dell'arco temporale '81-'87, si passa ai numerosi fenomeni riscontrati nei fotogrammi del 2010 e nel lidar; inoltre, le aree in frana presenti nei fotogrammi più antichi, risultano sensibilmente ampliate negli ultimi. Infine, anche in questo caso, il corso fluviale risulta spostatosi gradualmente verso valle. Tutti questi indizi portano ad evidenziare la tendenza all'evoluzione del versante in frana.

Concentrandosi specificatamente sulla frana che coinvolge l'abitato di Borrano, l'area coinvolta aumenta sensibilmente nel corso dei circa 30 anni analizzati passando dai circa 230.000 m² iniziali ai circa 296.000 m² nel 2010; inoltre, se inizialmente l'abitato risultava solo limitatamente coinvolto, specialmente nella porzione più orientale, già dall'inizio degli anni 2000 si può notare come tutto l'abitato sia interamente interessato dal movimento di versante. Questi risultati evidenziano come al movimento gravitativo che coinvolge l'abitato di Borrano possa attribuirsi uno stato di attività attivo, con un rischio associato molto elevato per la popolazione.

L'analisi multi-temporale esposta è ben documentata negli elaborati dell'Allegato 7.

12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione ha cercato di stabilire il grado di pericolosità da frana della frazione di Borrano, il cui territorio è severamente danneggiato a causa di un fenomeno gravitativo complesso (Allegato 5) e le cui caratteristiche, dopo la presente indagine, sono risultate più chiare e tali da poterne determinare i presupposti evolutivi. L'indagine si è basata oltre che sul reperimento dei dati geognostici e di monitoraggio eseguite nell'area, anche sulla esecuzione di nuove indagini e prospezioni geofisiche, che hanno permesso un ulteriore approfondimento sulla definizione della pericolosità reale che interessa l'abitato di Borrano.

La cartografia geologica ufficiale definisce l'area caratterizzata dalla presenza di depositi terrigeni silico-clastici del Miocene superiore appartenenti alla Formazione della Laga. Tali depositi hanno geometrie allungate in direzione Nord-Sud, ad Est dei principali fronti di accavallamento carbonatici della catena centro-appenninica.

La Formazione della Laga è costituita litologicamente da alternanze ripetute di strati arenacei ed argilloso-marnosi; in funzione della localizzazione geografica e dell'età, si osserva una prevalente componente arenacea o argilloso-marnosa. I log stratigrafici evidenziano chiaramente la presenza di materiali argilloso sabbiosi con stratificazione caotica nella parte alta fino alla formazione di base caratterizzata dalla presenza di argille e argille marnose. Le condizioni idrogeologiche sono anch'esse controllate dall'assetto strutturale dell'area che le rende oltremodo complesse e di difficile interpretazione. La circolazione idraulica sotterranea è alimentata principalmente dalle precipitazioni meteoriche e non sembrano esserci connessioni con acquiferi esterni. La formazione del Flysch della Laga, in alcuni tratti disarticolata e fratturata, inoltre, non permette di capire la consistenza e la natura di una probabile falda freatica. L'area in esame è stata oggetto di diverse campagne d'indagine ed è stata ulteriormente implementata con una importante studio geofisico e di modellazione numerica. Vista la presenza di facies prevalentemente argillose alternate a facies prevalentemente arenacee, si è ritenuto necessario eseguire indagini geoelettriche di superficie con varie tecniche di acquisizione al fine di esaltare i principali contrasti di resistività in profondità. Dallo studio è emerso come, la porzione più ad est della zona indagata è caratterizzata da materiali più conduttivi riconducibili alla prevalente componente argillosa (fig. 47). Inoltre, in tutte le sezioni interpretate è possibile individuare una stratificazione ben precisa, spesso inclinata e disposta a frana-poggio nei confronti del profilo topografico. Questa ipotesi trova ampio riscontro anche dalle perforazioni eseguite nella parte di territorio a Nord Nord-Est. In queste, a quote profonde, si rinvennero alternanze di strutture argilloso-marnose con porzioni più sabbiose interessate da frequenti piani di discontinuità con inclinazione alle volte anche superiore ai 45° (fig. 48). Le carote estratte si presentano molto consistenti alle misure di pocket, spesso a fondo scala, ma allo stesso tempo molto deboli se sollecitate in corrispondenza dei piani di discontinuità.

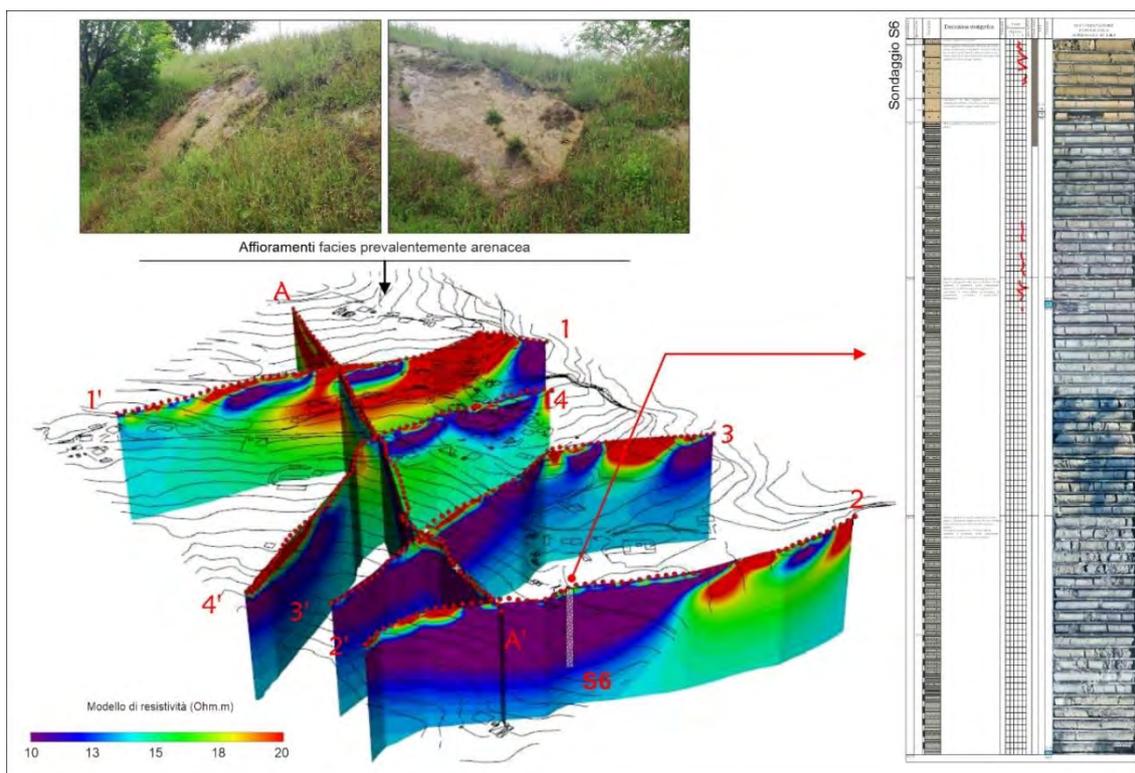


Figura 47 – Riscontro grafico della geoelettrica 3D con il sondaggio S6 e gli affioramenti arenacei.



Figura 48 – Foto estratte dal report stratigrafico del sondaggio S6.

Dalle risultanze delle indagini e dai rilievi di campagna eseguiti, è stato ricostruito un modello numerico di dettaglio andando ad analizzare il comportamento tenso-deformativo dell'intero sistema.

Per meglio analizzare il fenomeno si è reso necessario studiare sia le deformazioni ad

ampia scala con un modello tridimensionale, e sia le deformazioni locali con modelli bidimensionali. Questi ultimi sono stati elaborati solo su quelle aree che presentano chiari indizi morfologici di deformazioni superficiali. In entrambe le configurazioni sono state modellate sia le coltri, presenti in tutti i sondaggi analizzati, sia il substrato profondo, andando ad utilizzare equazioni costitutive in grado di simulare il comportamento elasto-plastico dei materiali.

Particolare attenzione è stata posta al substrato profondo simulato con un legame costitutivo ad hoc in grado di modellare sia l'ammasso generale sia i piani di debolezza interni. Questi, nel caso specifico, sono stati schematizzati con un'inclinazione pari a 45° e una direzione Nord Nord-Est.

Dalle analisi tridimensionali, gran parte dell'abitato è interessato da deformazioni plastiche diffuse. In particolare, se osserviamo in planimetria la mappa degli Shear Strain Increment, le aree di massima deformazione si presentano ampie e allungane in direzione Nord Nord-Est (fig. 49).

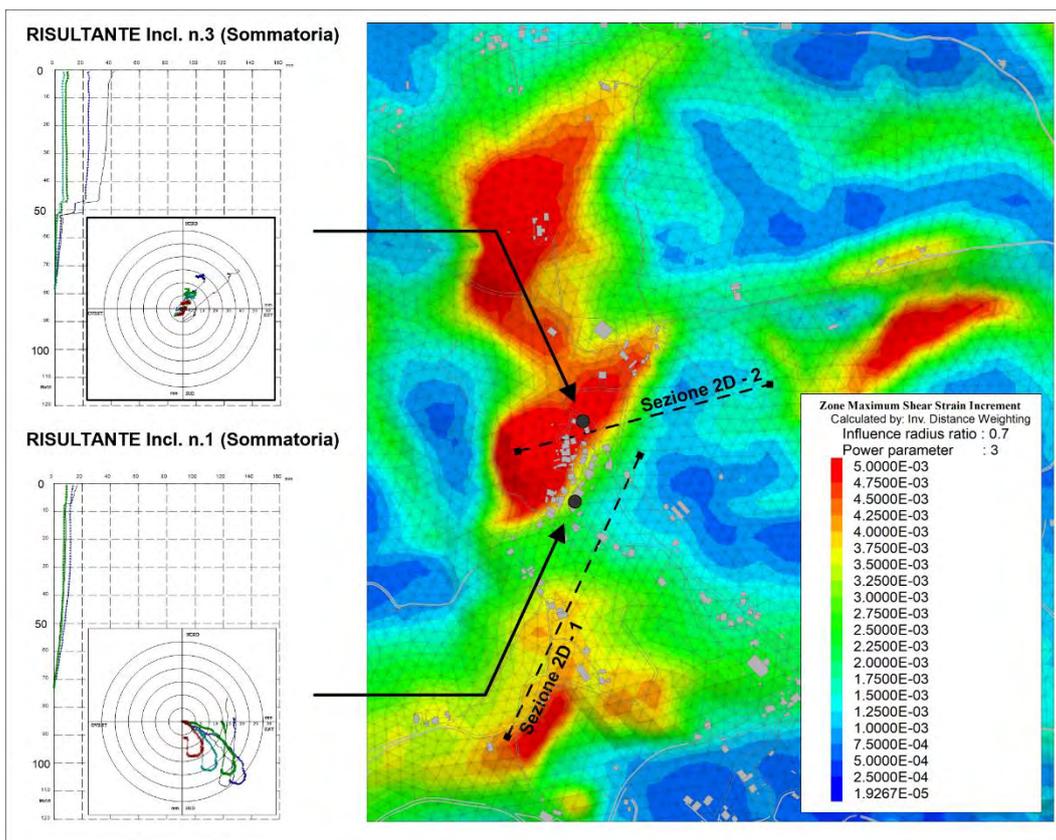


Figura 49 – Sovrapposizione delle massime deformazioni con i risultati inclinometrici.

C'è un buon riscontro con le misure inclinometriche eseguite, sia per le deformazioni profonde (inclinometro S3) sia per deformazioni superficiali (inclinometro S1). Probabilmente

è possibile affermare che queste, rappresentano le aree maggiormente sollecitate da piani di debolezza profondi che, per particolari condizioni di circolazione idrica, tendono a deformarsi lungo piani di discordanza inclinati, date dal contatto tra facies a comportamento argilloso/marnoso con quelle a comportamento arenaceo.

La stessa tendenza evolutiva è stata riscontrata anche nelle analisi 2D, eseguite su 2 allineamenti di lunghezza pari a 700 e 570 metri. La Sezione-1 è stata posizionata nella porzione più a sud su cui si sono manifestati evidenti movimenti superficiali, mentre la Sezione-2 è posizionata più a nord ed interessa parte dell'abitato e parte del versante esposto verso Est con chiari segni di ondulazioni e contropendenze (fig. 50). Particolare interessante è che, se nella Sezione-1 si generano deformazioni e plasticizzazioni solo nella porzione più superficiale, nella Sezione-2, invece, si rinvencono anche deformazioni nelle porzioni più profonde (fig. 51). Quest'ultimo elemento risulta in accordo con le ipotesi del modello 3D.



Figura 50 – Foto del versante orientale dell'abitato con chiari segni di deformazione.

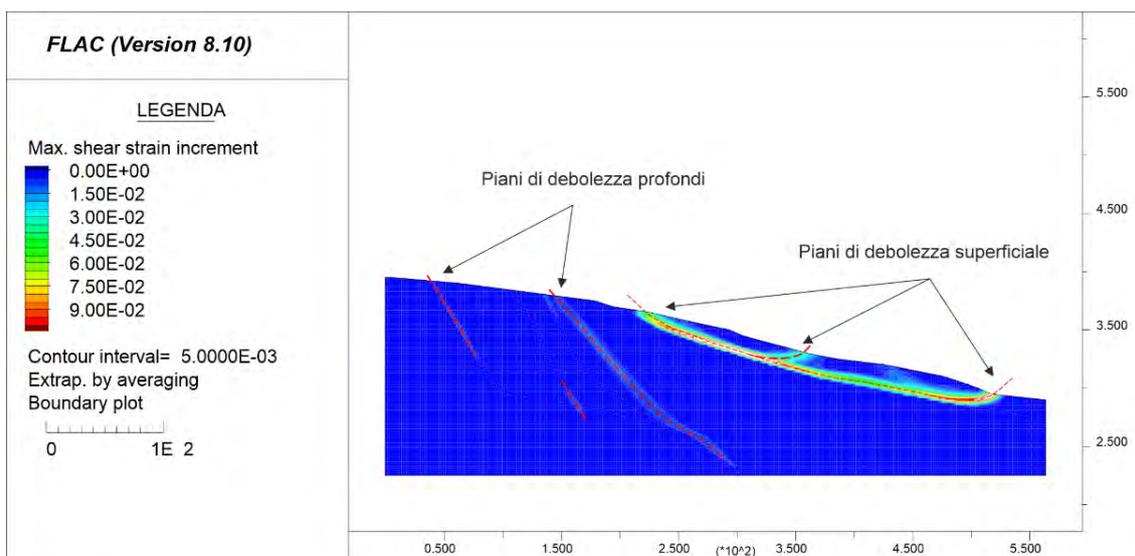


Figura 51 – Shear Strain Increment relativi all'analisi della Sezione 2.

L'attuale cartografia PAI identifica nell'area di Borrano una perimetrazione di pericolosità P3 (ID 15539) definita "Molto Elevata". Questa è definita da un "Versante interessato da deformazioni superficiali lente", che si estende per circa 282.000 m², e ingloba solo parte dell'abitato di forma allungata in direzione Nord Nord-Est (fig. 7).

Dalle indagini eseguite e dai risultati delle simulazioni numeriche 2D locali e 3D su vasta scala, sull'abitato di Borrano si può individuare una zona caratterizzata da un indebolimento dei piani di contatto stratigrafico tra facies argillose e facies arenacee (fig. 52). Il substrato si presenta stratificato secondo inclinazioni ad alto angolo (> 45°) spesso disposte a franapoggio rispetto alla topografica, generando fenomeni molto profondi probabilmente anche questi legati all'azione disgregante delle acque di circolazione. Essi sono responsabili delle deformazioni e delle lesioni su alcune delle strutture anche se queste presentano fondazioni profonde.

Nel caso specifico, si precisa che viste le importanti profondità coinvolte (vedi anche risultanze dell'inclinometro n.3), non è possibile intervenire con opere di mitigazione e/o consolidamento della zona sottesa a movimenti profondi. Nella zona di studio sono state rintracciate anche frane minori ma comunque a pericolosità elevata meglio definite in fig. 53 come "Corpi di frana secondaria".

In relazione al progetto di fattibilità tecnica ed economica, questo individua una o più soluzioni che presentino il migliore rapporto costi benefici per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e prestazioni da fornire. Il progetto di fattibilità deve comprendere tutte le indagini e gli studi necessari per la definizione degli aspetti caratteristici del fenomeno in atto, nonché schemi grafici per l'individuazione delle caratteristiche dimensionali, volumetriche, tipologiche, funzionali e tecnologiche dei lavori da realizzare e le relative stime economiche.

Nel caso specifico, dopo la serie necessaria di indagini geologiche e geognostiche, di studi approfonditi sui fenomeni franosi in atto si è giunti alla conclusione che il Centro abitato di Borrano è connesso ad un fenomeno gravitativo lento ed inesorabile, la cui natura e profondità non ne consentono la mitigazione. La tipologia è assimilabile ad una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV) ben nota nella letteratura specialistica. Per cui nell'area indicata come soggetta a movimenti profondi (figg. 52 e 53) l'unica indicazione plausibile con lo stato di fatto è la futura delocalizzazione dell'area. Deve essere sottolineato che l'apparente condizione di stabilità di alcuni fabbricati non deve essere considerata reale in quanto la maggior parte dei fabbricati ha subito uno spostamento rigido compatibile con la profondità del movimento senza presentare lesioni o fratture negli elementi costruttivi dei manufatti stessi.

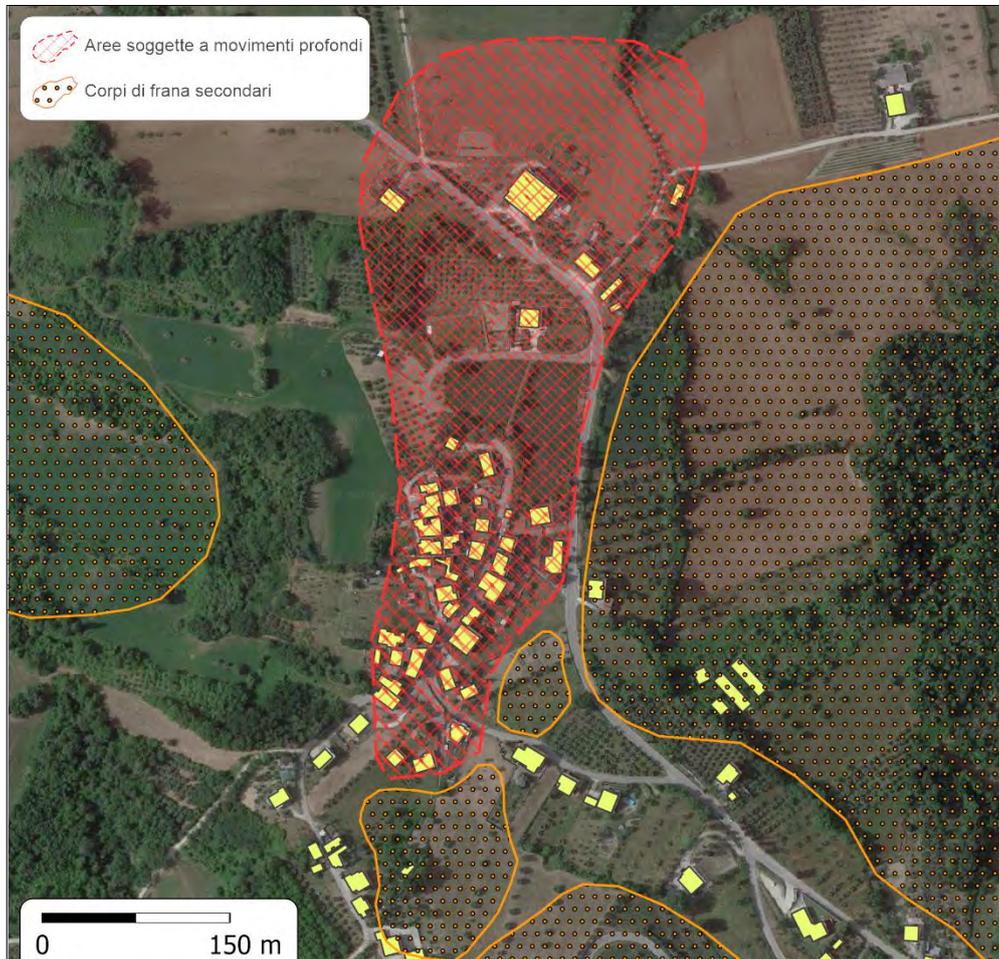


Figura 52 - Perimetrazione aree coinvolte da movimenti di versante.

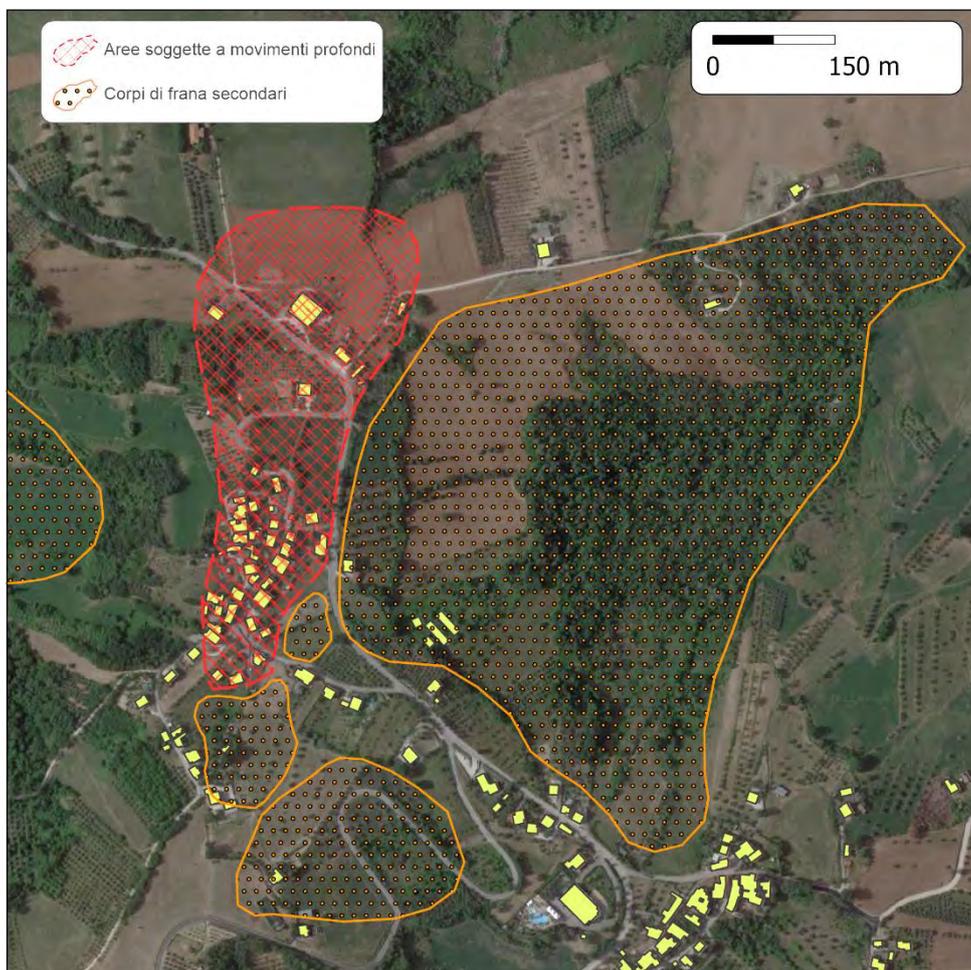


Figura 53: Visione più ampia delle aree in dissesto

A ragione, va osservata la successiva figura 54 nella quale sono riassunti i risultati dell'indagine interferometrica relativa ai soli anni 2021-2022 associando i dati acquisiti dal satellite sia nelle fasi ascendenti (puntini rossi) sia discendenti (puntini blu). È ben visibile come molteplici fabbricati presenti nell'area soggetta a movimenti profondi abbiano subito anch'essi uno spostamento rigido di circa 3 cm (per le letture della fase ascendente) e di circa 1.5 cm (per le letture della fase discendente).



Figura 54: Distribuzione dei riflettori acquisiti da indagini satellitari; in rosso le letture con orbita ascendente, in blu discendente

Ciò comprova che negli ultimi due anni la zona ha subito alcuni centimetri di abbassamento andando a lesionare esclusivamente i manufatti che si trovano sul bordo

dell'area in movimento, mentre per i fabbricati all'interno della zona in dislocazione, lo spostamento non è avvertibile e, quindi, i manufatti risultano integri pur avendo subito notevoli spostamenti nel tempo. Anche l'analisi multi-temporale ha confermato la presenza di una condizione di pericolosità molto elevata concentrata nelle aree individuate dall'analisi interferometrica.

La quantificazione del costo della delocalizzazione è funzione del numero e qualità dei manufatti presenti, in termini di unità abitative, e del numero di abitanti e/o nuclei famigliari interessati. Da una stima accurata è possibile individuare, all'interno della perimetrazione proposta in fig. 52, la seguente situazione ben dettagliata nell' Allegato 6. Si riportano i dati finali del suddetto Allegato sintetizzati nelle successive tabelle 1 e 2.

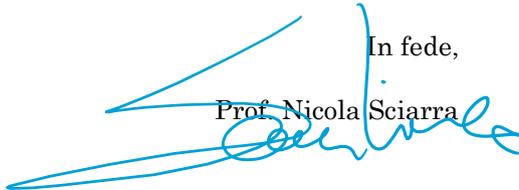
Tab. 1: Sintesi delle unità immobiliari presenti nell'area da delocalizzare

EDIFICI	57			
ABITAZIONI	59			
NEGOZI / LOCALI COMMERCIALI	2			
LOCALI DEPOSITO / MAGAZZINI / CANTINE	9			
RIMESSE / GARAGE	14			
FABBRICATI PRODUTTIVI	2	di cui una cabina elettrica ENEL		
CHIESE	1			
UNITA' NON ABITABILI (collabenti, in corso costruzione)	9			
INAGIBILI SISMA 2016	19	A-F	1	
		B	2	
		C	1	
		E	11	
		ENU	2	
		INAGIBILE	2	

Tab. 2: Costo del patrimonio immobiliare da delocalizzare

COSTO DI DEMOLIZIONE E SMALTIMENTO MACERIE DEGLI IMMOBILI ESISTENTI							
A	Superficie totale immobili	mq	14,262.00				
B	Volume totale immobili (H convenzionale 3,5 m)	mc	49,917.00				
C	Peso macerie (peso convenzionale 600 kg/mc vuoto x pieno)	kg	29,950,200.00	958,406.40	19.20		
D	Costo unitario demolizione e smaltimento	€/mc	100.00	Demolizione 31,55 €/mc	Smaltimento 0,032 €/kg 19,20 €/mc	Trasporto 48,86 €/mc	99.56
E	Costo totale demolizione e smaltimento	€	4,991,700.00				
F	Costo bonifica area 2% di E	€	99,834.00				
G	Totale costi E+F	€	5,091,534.00				
H	Imprevisti 2% di G	€	101,830.68				
I	Spese Tecniche 2% di G	€	101,830.68				
	TOTALE COSTI ARROTONDATI DEMOLIZIONE E SMALTIMENTI G+H+I	€	5,300,000.00				
COSTO RICOSTRUZIONE IMMOBILI							
L	Acquisto nuove aree	€	2,000,000.00				
M	Opere di urbanizzazione	€	5,000,000.00				
N	Costo ricostruzione edifici (costo convenzionale 1200 €/mq)	€	17,114,400.00				
O	Imprevisti 2% di N	€	342,288.00				
P	Spese tecniche 5% di N	€	855,720.00				
	TOTALE COSTO RICOSTRUZIONE ARROTONDATO L+M+N+O+P	€	25,300,000.00				
			30,600,000.00				

Chieti, novembre 2023

In fede,

 Prof. Nicola Sciarra

ALLEGATO - 1

Rapporto tecnico sulle perforazioni eseguite.

Campagna geognostiche 2018

**Sistema di monitoraggio in tempo reale della frana di Borrano di
Civitella del Tronto(TE).**

D.Lgs. n. 50/2016, Art. 163.

(Procedure in caso di somma urgenza e di Protezione Civile)

**ESECUZIONE DI PERFORAZIONI A DISTRUZIONE DI NUCLEO ED A CAROTAGGIO
CONTINUO PER LA POSA IN OPERA DI PIEZOMETRI E INCLINOMETRI**

COMMESSA: CIG: 72288679C1

COMMITTENTE: CAE S.P.A. Via Colunga 20 – S. Lazzaro di S. (BO)

RAPPORTO TECNICO SULLE PERFORAZIONI ESEGUITE

Per l'Impresa Esecutrice
Dr. Geol. Francesco Mascarella
Ordine Geologi – Abruzzo n. 119

Impresa esecutrice	Committente	Validazione	DATA
			15 Maggio 2018

OGGETTO DELLA FORNITURA

Esecuzione di sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo e perforazioni a distruzione di nucleo per la posa in opera di tubi inclinometrici e piezometri norton in località Borrano, frazione di Civitella del Tronto (TE)

Contratto di subappalto del 4 Novembre 2017

ASPETTI GENERALI

SONDAGGIO STRATIGRAFICO E PERFORAZIONE A DISTRUZIONE DI NUCLEO

Perforazioni a carotaggio (Racc. AGI 1977)

In considerazione dei tipi di terreno da perforare, della profondità da raggiungere e della località è stata utilizzata una trivella cingolata CMV 600 le cui caratteristiche sono:

Casa costruttrice: CMV S.P.A. Venafro (IS)

Modello: MK 600

Anno di fabbricazione: 1990

Anno di acquisto: 2006

N.B. Macchina provvista di sistemi di sicurezza di arresto rapido motore

Rilievo vibrazioni: aggiornato al Ottobre 2011 – Non sono state effettuate successive variazioni tecniche

Rilevo fonometrico: aggiornato Ottobre 2011 – Non sono state effettuate successive variazioni tecniche

Caratteristiche principali:

- Rotary con traslazione laterale e cambio a 4 marce WURTH.
- Torre altezza m 6,7 estendibile a m 9,7
- Motore VM tipo SUN 4105T potenza HP 112 a 2300 g/1'
- Accoppiatore Brevini tipo BZ 683
- Pompe principali Casappa tipo CPH 46 SX+ CPL 33SX
- Pompa di servizio Casappa tipo CPH 33+20sx
- Pompa di servizio Casappa tipo CPL 20+5.7sx
- Pompa fanghi BELLIN da 120 l/1' a 40 Bar
- Argano Brevini da 1200 Kg

PROGRAMMA DELLE INDAGINI:

Il programma delle indagini ha previsto:

- esecuzione di n. 3 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo sino alla profondità di m. 80 dal p.c. con posa in opera di tubo inclinometrico o piezometrico
- esecuzione di n. 3 perfori a distruzione di nucleo con posa in opera di tubo inclinometrico o piezometrico

Nel dettaglio sono state ubicate tre coppie di punti; su ogni punto è stata eseguita una perforazione a distruzione di nucleo o un sondaggio a carotaggio continuo per la posa in opera della strumentazione geotecnica sopraccitata.

MODALITA' OPERATIVE

I punti di perforazione sono stati definiti sulla scorta di sopralluoghi congiunti con la Committenza e la Direzione Scientifica

Perforazione a carotaggio continuo

Le modalità esecutive del sondaggio sono state tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati consentendo il prelievo continuo di materiale rappresentativo; i campioni estratti sono stati quindi oggetto di riconoscimento litologico al fine di ricostruire una stratigrafia di dettaglio del terreno.

La tecnica di perforazione è stata adattata alla tipologia e alla natura del terreno, mediante la scelta appropriata dell'apparecchiatura, del tubo carotiere, della corona, della velocità di avanzamento, della portata e della pressione dell'eventuale fluido di circolazione.

Nel caso specifico, in virtù della litologia prevalente costituita da marna e arenaria, la perforazione è stata eseguita prevalentemente con uso di fluido di perforazione; il fluido di perforazione è stato pompato attraverso un sistema chiuso, ovvero con recupero del liquido attraverso una vasca a stramazzo posizionata a boccaforo.

La perforazione è stata eseguita impiegando un tubo carotiere semplice, tipo T1, da 101 mm di diametro, della lunghezza di 3 m.

Tranne che in qualche caso particolare, la percentuale di carotaggio è sempre stata prossima al 100%; il disturbo sulla carota è stato minimo.

La tecnica di perforazione impiegata, ha permesso un prelievo della carota con un minimo grado di disturbo, permettendo il riconoscimento delle inclinazione dei singoli strati, il loro spessore, la natura litologica definita in modo speditivo.



Carotaggio eseguito con carotiere T1, corona al widia duro Kal, con circolazione di fluido.

La perforazione è stata eseguita con "discesa controllata" riducendo la pressione di spinta con l'aumentare della lunghezza della batteria di perforazione; il disturbo è risultato minimo.

Nella foto si osserva il recupero di carota costituita da marna argillosa in strati sottili con intercalazioni di livelli sottili di calcare e calcare marnoso; si riconosce la giacitura prevalente e la presenza di fratture diversamente orientate.

La presenza di numerosi livelli di arenaria dura di vario spessore, anche di diversi decimetri, ha ostacolato la velocità di perforazione e ha drasticamente compromesso la durata delle corone di perforazione; il consumo è stato di una corona da 101 mm per 50 m di carotaggio e di una punta trilama al widia per 60 m di perforazione a distruzione di nucleo.

Rivestimenti metallici provvisori (Racc. AGI 1977)

A causa della instabilità del perforo a più livelli di profondità, è stato necessario impiegare un tubo di rivestimento provvisorio da 127 mm di diametro; pertanto sia i tubi piezometrici che i tubi inclinometrici sono stati messi in opera all'interno del tubo di rivestimento.

La perforazione del gruppo IM1 apparentemente non aveva dato problemi di instabilità del perforo; in realtà al momento della posa in opera dell'inclinometro, lo stesso si è fermato alla profondità di 76 m proprio a causa dello spostamento dei livelli di arenaria che hanno parzialmente occluso il foro impedendo il posizionamento del tubo inclinometrico per tutta la sua lunghezza.

Al fine di evitare danni e nella correttezza delle specifiche per il posizionamento dei tubi inclinometrici, il tubo non è stato forzato; è stata quindi eseguita l'iniezione di boiaccia.

Un problema analogo si è riscontrato su IN3, il secondo perforo in ordine cronologico; in questo caso il tubo si è fermato ad una quota troppo superficiale, per cui è stato tentato lo sfilaggio. Tuttavia a causa degli attriti, non è stata possibile l'estrazione, per cui il tubo è andato perso ed è stato necessario spostare la macchina e procedere ad un nuovo perforo.

Per evitare ulteriori problemi, è stato deciso di rivestire il foro per tutta la sua lunghezza; ciò è stato fatto per IN3 e quindi IN2.

Una volta posizionato lo strumento, il tubo di rivestimento è stato sfilato senza rotazione; la potenza della macchina, intesa come coppia e tiro, è stata più che sufficiente sia per la posa in opera del tubo di rivestimento che al suo sfilaggio senza rotazione.



Tubi di rivestimento da 127 mm di diametro, impiegati per la stabilizzazione del foro.

La colonna di rivestimento provvisorio è stata impiegata per tutti i perfori attrezzati sia a piezometri che inclinometri.

Nel caso di IN2 ed IN3, i perfori sono stati rivestiti per l'intera lunghezza; si tratta di 54 elementi da 1.5 m di lunghezza per un totale di m. 81.30, compresa la lunghezza della scarpa tagliante di m. 0.30

I tubi di rivestimento sono stati sfilati senza rotazione, in modo da non produrre eventuali danni al tubo piezometrico o inclinometrico posato all'interno.

Nella foto il deposito di tubi di rivestimento presso IN3

Tubi inclinometrici

Sono stati impiegati tubi in alluminio a quattro guide; le caratteristiche sono le seguenti:

Diametro esterno, mm 80
Diametro interno mm 76
Spessore mm 2
Peso kg m⁻¹ 1.5
Esterno guide mm 87
Interno guide mm 83
Lunghezza barra m 3.0

Le singole barre sono state giuntate mediante manicotti esterni, fissate con 8 rivetti. Lo spazio è stato sigillato con silicone adatto alla posa in opera e con presa garantita anche in immersione.

La procedura della posa in opera è stata la seguente:

Preparazione delle barre su cavalletti, con il fissaggio dei manicotti, in modo da avere singole barre da 3.0 di lunghezza con una predisposizione di tipo Maschio/Femmina.

Posa in opera in foro con l'unione delle singole barre.

Le barre sono state sospese al verricello di servizio della trivella per mezzo di una cravatta a 4 griffe zigrinate, in modo da poter reggere il peso della batteria senza deformare il tubo; il tubo inferiore è stato bloccato sulle morse della trivella attraverso una seconda cravatta anch'essa dotata di 4 griffe zigrinate, in modo da bloccare la batteria inferiore, già in foro, senza deformare i tubi stessi.

Essendo presente acqua di falda in foro, per contrastare il galleggiamento del tubo, lo stesso è stato riempito man mano con acqua pulita.

In fase di posizionamento del tubo inclinometrico, è stato fissato un tubo esterno in pvc flessibile, dal diametro di 25 mm, al fine di permettere l'iniezione della boiaccia cementizia dal basso.



Particolare dell'iniezione di boiaccia nel tubo IN3

Si osserva la fuoriuscita della boiaccia iniettata attraverso la canna di iniezione, presente per tutta la lunghezza del perforo



Sistema di iniezione della boiaccia

L'iniezione della boiaccia è stata effettuata per mezzo di una pompa a vite oleodinamica collegata alla presa di forza della trivella. La pompa di iniezione è dotata di regolazione della portata.



Particolare del posizionamento del tubo inclinometrico IN3

Si osserva la cravatta a 4 griffe che blocca la colonna, appoggiandola sulle morse superiori, semiaperte, della trivella. Si osserva il giunto con manicotto, sigillato e rivettato, con il silicone protetto da nastro adesivo in PVC; si osserva infine la canna di iniezione fissata all'esterno del tubo inclinometrico.

**Lavaggio tubo inclinometrico.**

Ad iniezione ultimata, dopo aver eseguito i rabocchi ed atteso un tempo sufficiente per la decantazione dell'eventuale boiaccia o sporco passata nel tubo, si è provveduto al lavaggio dello stesso dal basso mediante un tubo da 30 mm di diametro, collegato alla pompa fanghi della trivella. Il lavaggio è stato concluso non appena accertata la fuoriuscita di acqua pulita.

Nella foto il tubo IN2

Cassette catalogatrici

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate cassette catalogatrici in PVC, munite di scomparti divisorii e coperchio apribile.

Sui bordi di ciascuna cassetta sono state riportate le quote delle carote rispetto al piano campagna; le foto delle singole cassette sono allegate al presente rapporto

Considerazioni tecniche

La perforazione a carotaggio continuo eseguita "a secco" è stata caratterizzata da una velocità di avanzamento rapida, a scapito di un disturbo della carota eccessivo; i livelli marnosi e calcareo marnosi subivano un grado di disturbo talmente elevato da non poter più definire le caratteristiche stratigrafiche e di giacitura.

A favore, la conservazione integrale dei livelli di sabbia sciolta o poco cementata che subordinatamente hanno caratterizzato le successioni litologiche.

Per tale motivo, rinunciando alla facilità della perforazione, è stato deciso di perforare con circolazione di fluido, a velocità di "discesa controllata", con diminuzione progressiva della spinta con l'aumentare della lunghezza della batteria di aste di trivellazione; non è stata riscontrata una particolare differenza di qualità sul disturbo prodotto dall'uso del doppio carotiere T6 e un carotiere semplice T1, come accertato nel corso della perforazione di IN1.

Per tale motivo, le trivellazioni sono state eseguite con carotiere T1, con molla estrattrice sul portacorona, e corona al Widia tipo Kal; la tecnica si è rivelata quella maggiormente idonea per la qualità della perforazione e per il basso disturbo prodotto sulla carota.

Per contro si è dovuto accettare una minore percentuale di carotaggio laddove si sono intercettati livelli sabbiosi sciolti o poco cementati talvolta presenti come intercalazioni tra le arenarie.

La pressione dell'acqua di perforazione è sempre stata bassa; anche nei tratti più profondi è

sempre stata compresa tra 5 < bar < 15; occasionalmente si sono raggiunte pressioni più alte, talvolta di 20 – 25 Bar.

Tutto ciò conferma la predominanza di terreni lapidei tipo marna, marna argillosa e arenarie.

La giacitura degli strati, laddove riconosciuta, è stata sempre concorde, ovvero un unico verso di pendenza e di direzione dei piani di strato; quando accertata una differenza di questo assetto, la cosa è stata indicata nel log stratigrafico.

Se talvolta all'interno delle cassette si osservano diverse orientazioni tra le varie carote, è solo dovuto ad un modo di catalogazione, anche se in genere si è cercato di conservare le carote mantenendo tutte con la stessa orientazione, a meno di non aver accertato una effettiva variazione delle diverse giaciture.

In tutte le perforazioni è stata intercettata la falda freatica; la permeabilità del terreno occasionalmente è stata elevata, avendo riscontrato la totale perdita del fluido di circolazione, per tratti di lunghezza anche notevoli.

Il fenomeno della perdita di circolazione è stato particolarmente evidente sul gruppo IM3; la progressiva discesa del tubo di rivestimento ha avviato al problema.

RIEPILOGO ATTIVITA' CANTIERE BORRANO

Gruppo IM1:

IN1:

Perforazione a carotaggio continuo m. 80,0; diametro 101 mm.

Rivestimento 127 mm per m. 21,7

Posa in opera di tubo inclinometrico m 76.0

Pz1:

Perforazione a distruzione di nucleo m. 69,0 diametro mm 120

Posa in opera di tubo piezometrico Norton diametro mm 60, per lunghezza 69

Gruppo IM2

IN2:

Perforazione a carotaggio continuo m. 81,3 diametro mm 101

Rivestimento mm 127 per lunghezza 81.4

Tubo inclinometrico m 80,0

PZ2:

Perforazione a distruzione di nucleo mm 120 per lunghezza 81.4

Rivestimento tubo 127 mm diametro per lunghezza m. 63,2

Posa in opera tubo piezometrico Norton lunghezza m 81,0

Gruppo IM3

IN3

Perforazione a distruzione di nucleo mm 120 per lunghezza 80,8

Rivestimento tubo 127 mm diametro per lunghezza m. 80,8

Posa in opera tubo inclinometrico lunghezza 80,8

PZ3

Perforazione a carotaggio continuo m. 81,3 diametro mm 101

Rivestimento mm 127 per lunghezza m 9,2

Posa in opera di tubo piezometrico Norton diametro 60 mm lunghezza m 80,8

LOG STRATIGRAFICI E FOTOGRAFICI DELLE PERFORAZIONI E DEL MATERIALE RECUPERATO

ALLEGATO 1: GRUPPO IM1

ALLEGATO 2: GRUPPO IM2

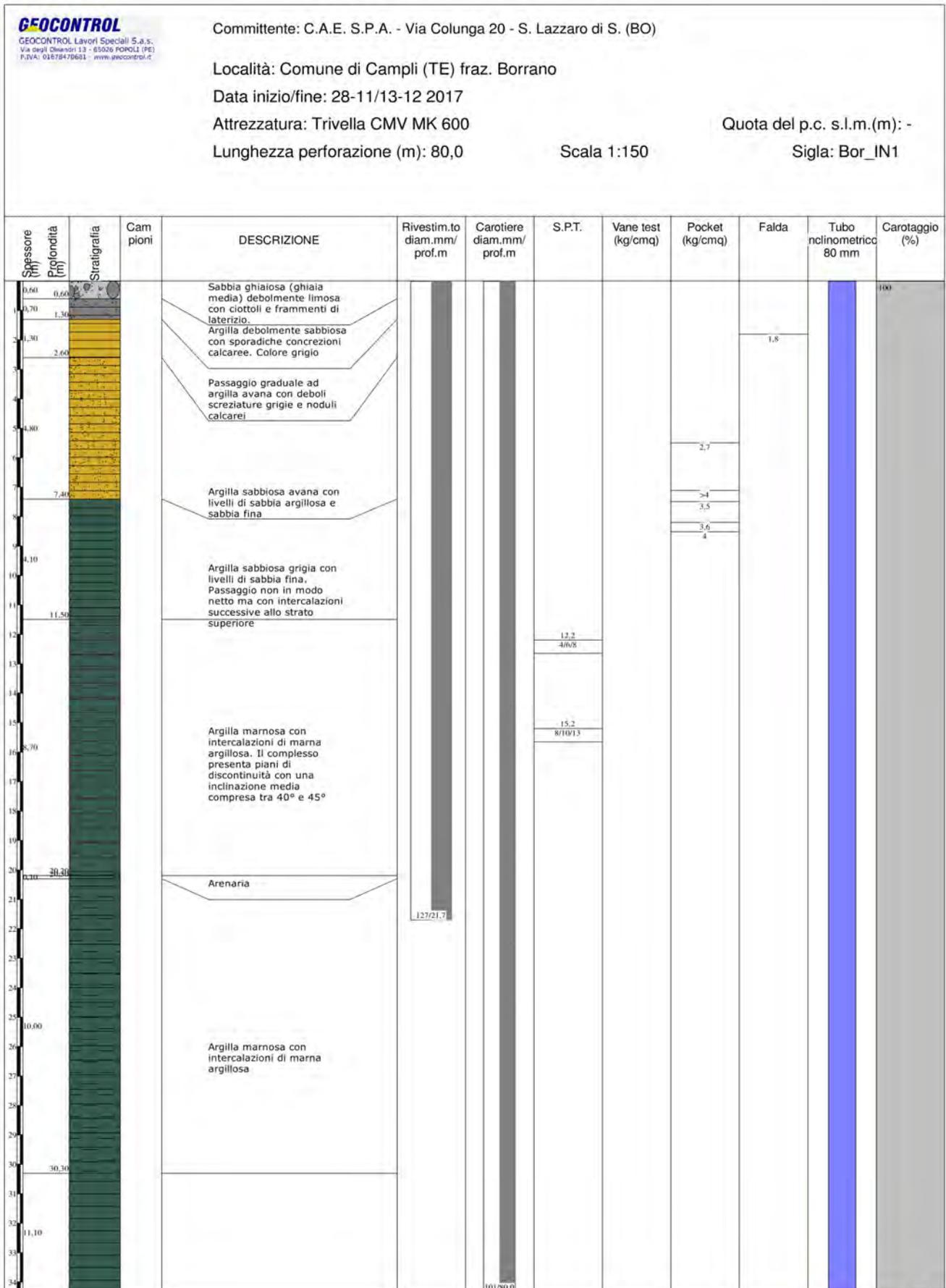
ALLEGATO 3: GRUPPO IM3



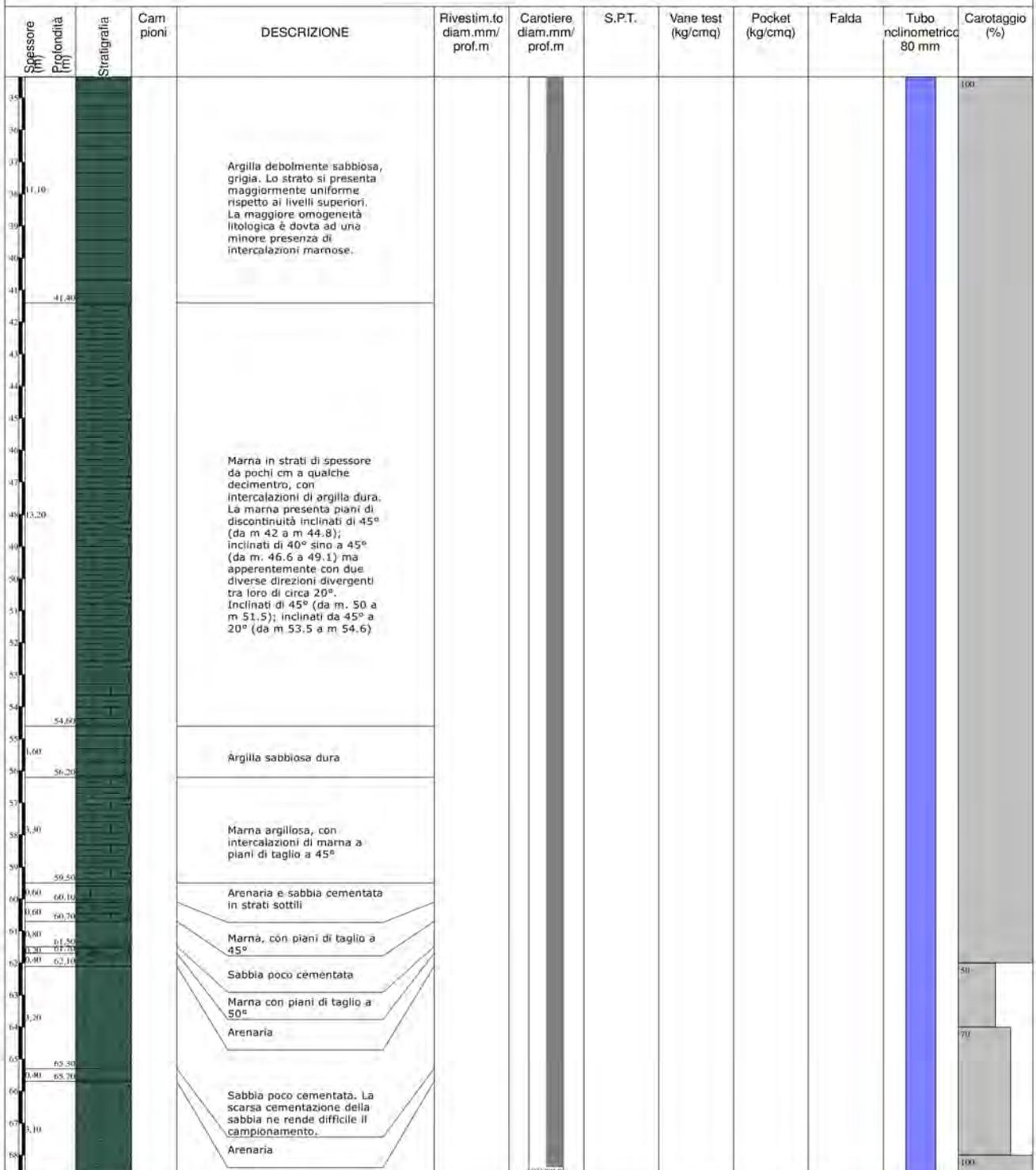
GRUPPO: IM1 (In1 - Pz1)



Posizionamento della trivella in corrispondenza di PZ1



 <p>GEOCONTROL Lavori Speciali S.a.s. Via degli Oleandri 13 - 65026 POPOLI (PE) P.IVA: 01673470681 - www.geocontrol.it</p>	Committente: C.A.E. S.P.A. - Via Colunga 20 - S. Lazzaro di S. (BO)	
	Località: Comune di Campi (TE) fraz. Borrano	
	Data inizio/fine: 28-11/13-12 2017	
	Attrezzatura: Trivella CMV MK 600	
	Lunghezza perforazione (m): 80,0	Scala 1:150



 <small>GEOCONTROL Lavori Speciali S.a.s. Via degli Oleandri 13 - 65026 POPOLI (PE) T.V.A. 01574770631 - www.geocontrol.it</small>		Committente: C.A.E. S.P.A. - Via Colunga 20 - S. Lazzaro di S. (BO)		Località: Comune di Campi (TE) fraz. Borrano		Data inizio/fine: 28-11/13-12 2017		Attrezzatura: Trivella CMV MK 600		Quota del p.c. s.l.m.(m): -				
Lunghezza perforazione (m): 80,0		Scala 1:150		Sigla: Bor_IN1										
Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Campioni	DESCRIZIONE	Rivestim.to diam.mm/ prof.m	Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.	Vane test (kg/cmq)	Pocket (kg/cmq)	Falda	Tubo inclinometrico 80 mm	Carotaggio (%)		
60	69,10			Sabbia poco cementata								100		
70	70,20		Arenaria											
71	71,30				Argilla marnosa con intercalazioni di sabbia argillosa									
71,30	71,65				Arenaria									
71,65	71,90				Argilla marnosa									
71,90	72,80				Marna argillosa con piani di taglio a 45°									
72,80	74,00				Argilla marnosa									
74,00	74,50				Marna argillosa con piani di taglio a 45°									
74,50	75,40				Argilla marnosa									
75,40	75,80				Marna debolmente argillosa									
75,80	76,20				Arenaria									
76,20	76,70				Argilla con intercalazioni di argilla marnosa									
76,70	77,10				Arenaria									
77,10	77,80				Argilla marnosa con intercalazioni sabbiose									
77,80	79,80				Arenaria tenera									
79,80	80,00				Arenaria									

E/E

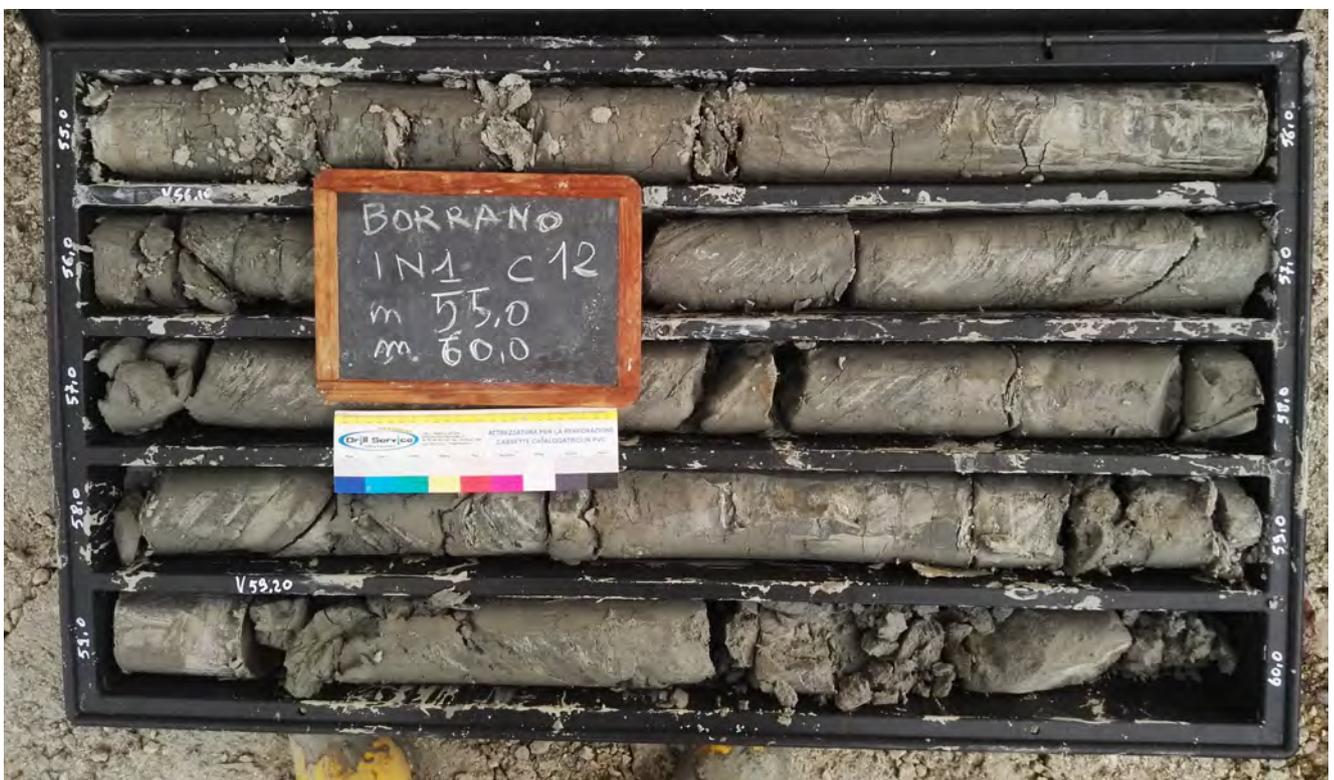








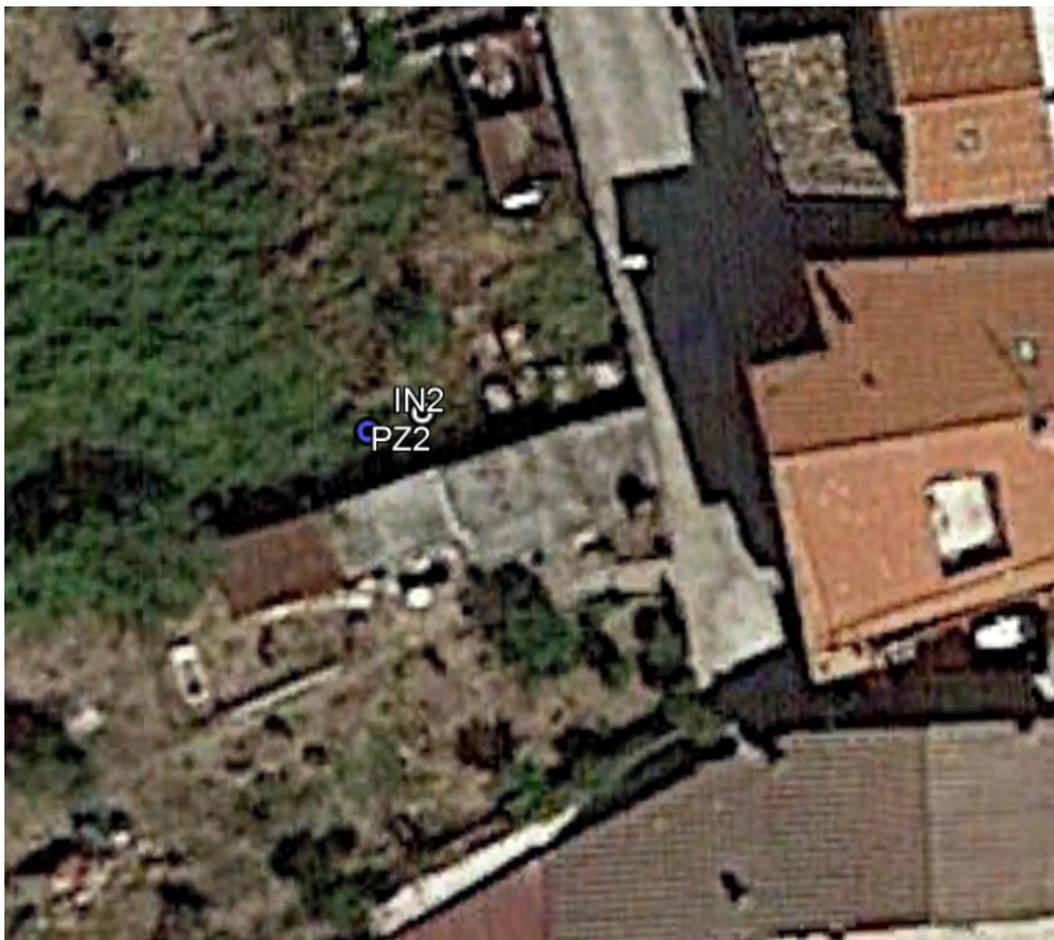






in1_c14





GRUPPO: IM1 (In1 - Pz1)



Posizionamento della trivella all'interno dell'area IM2, al termine delle perforazioni.

In primo piano si osservano i pozzetti di protezione a boccaforo di IN2 (avanti) e PZ2 (indietro)



Committente: C.A.E. S.P.A. - Via Colunga 20. S. LAZZARO DI S. (BO)

Località: Comune di Civitella del T. (TE) fraz. Borrano.

Data inizio/fine: 22-03/06-04

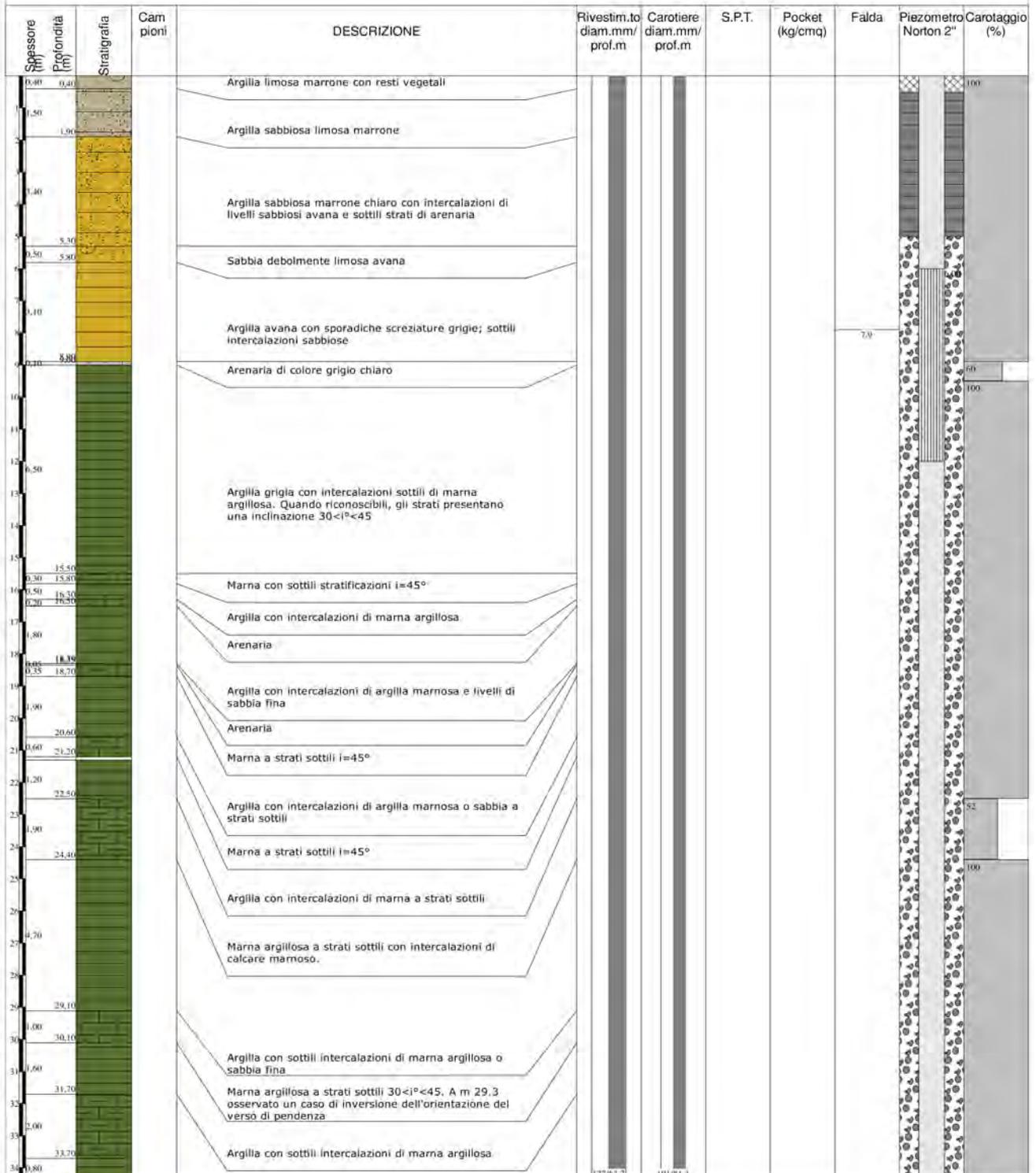
Attrezzatura: Trivella CMV MK 600

Lunghezza perforazione (m): 81,4

Quota del p.c. s.l.m.(m): -

Scala 1:150

Sigla: IM2pz_bor





Committente: C.A.E. S.P.A. - Via Colunga 20. S. LAZZARO DI S. (BO)

Località: Comune di Civitella del T. (TE) fraz. Borrano.

Data inizio/fine: 22-03/06-04

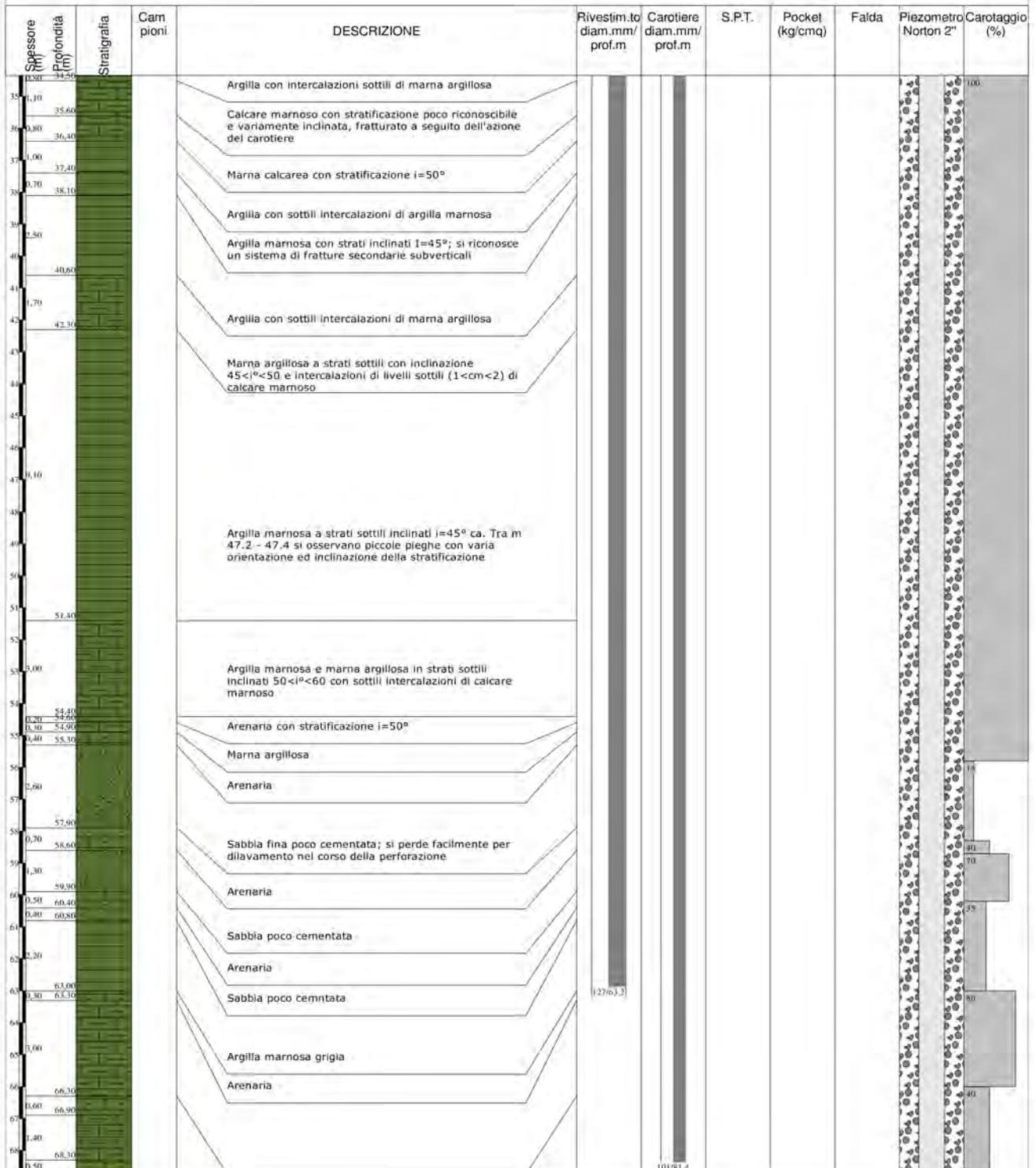
Attrezzatura: Trivella CMV MK 600

Lunghezza perforazione (m): 81,4

Quota del p.c. s.l.m.(m): -

Scala 1:150

Sigla: IM2pz_bor



GEOCONTROL
 GEOCONTROL Lavori Speciali S.a.s.
 Via degli Oleandri 13 - 65026 POPOLI (PE)
 P.IVA. 01978170861 - www.geocontrol.it

Committente: C.A.E. S.P.A. - Via Colunga 20. S. LAZZARO DI S. (BO)

Località: Comune di Civitella del T. (TE) fraz. Borrano.

Data inizio/fine: 22-03/06-04

Attrezzatura: Trivella CMV MK 600

Lunghezza perforazione (m): 81,4

Quota del p.c. s.l.m.(m): -

Scala 1:150

Sigla: IM2pz_bor

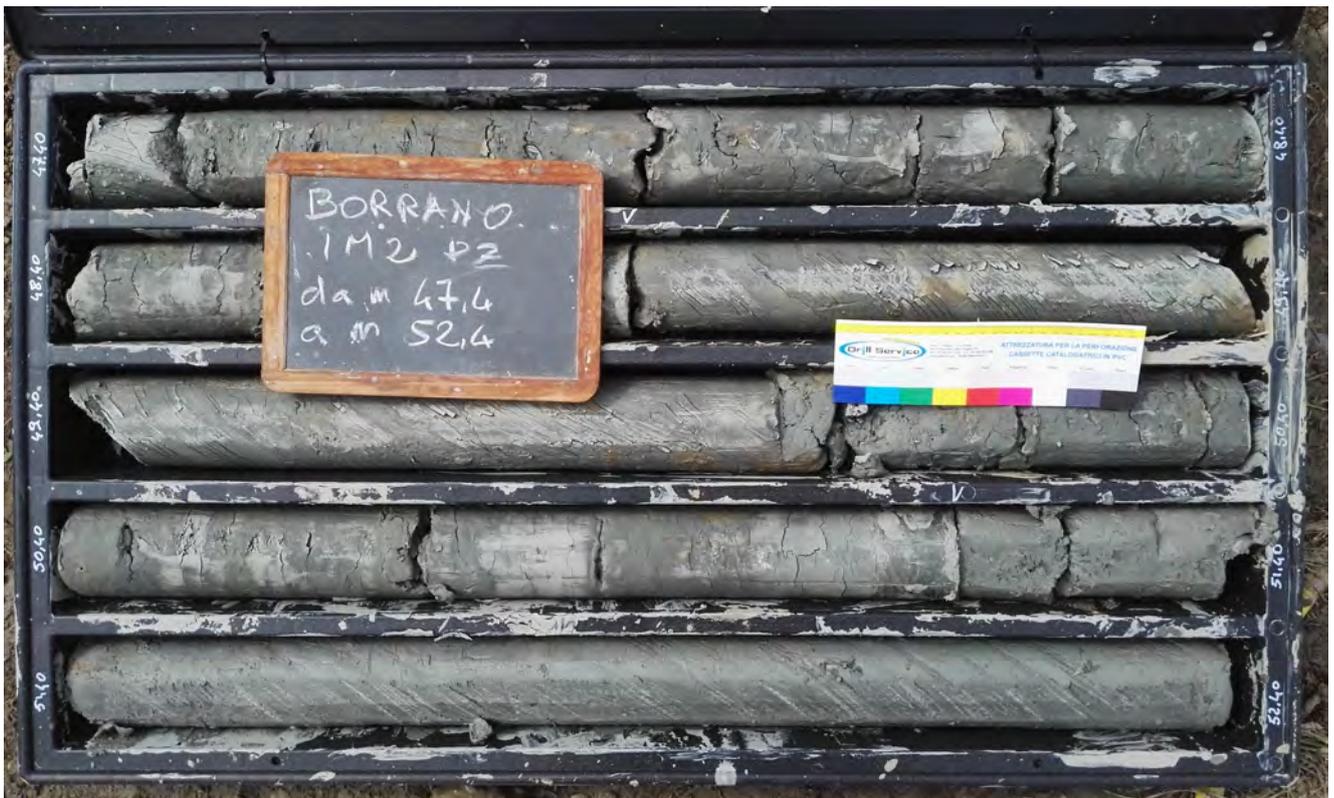
Spessore (m) Profondità (m)	Stratigrafia	Cam pioni	DESCRIZIONE	Rivestim.to diam.mm/ prof.m	Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.	Pocket (kg/cmq)	Falda	Piezometro Norton 2"	Carotaggio (%)
0,00			Arenaria							
0,10			Marna argillosa a strati sottili i=45°							
0,60			Sabbia fina mediamente cementata							
0,30			Marna argillosa con intercalazioni di sabbia fina mediamente cementata							
0,20			Marna argillosa							
0,20			Arenaria							
0,70			Marna argillosa a strati sottili i=45° con intercalazioni di sabbia cementata.							
0,60			Sabbia fina mediamente cementata							
0,70			Marna argillosa a strati sottili i=45°; i giunti di strato, quando separati, si presentano lucidi e levigati							
0,81,4										
			RILIEVO FALDA							
			5.32 dal p.c. il 24/03 ore 7.30. Foro m.21.5							
			4.95 dal p.c. il 25/03 ore 7.3. Foro m. 35,0							
			4.80 dal p.c. il 26/03 ore 7.30. Foro m. 41.0							
			8.35 da testa pozzetto, a piezometro ultimato, il 27 Aprile ore 13.00							

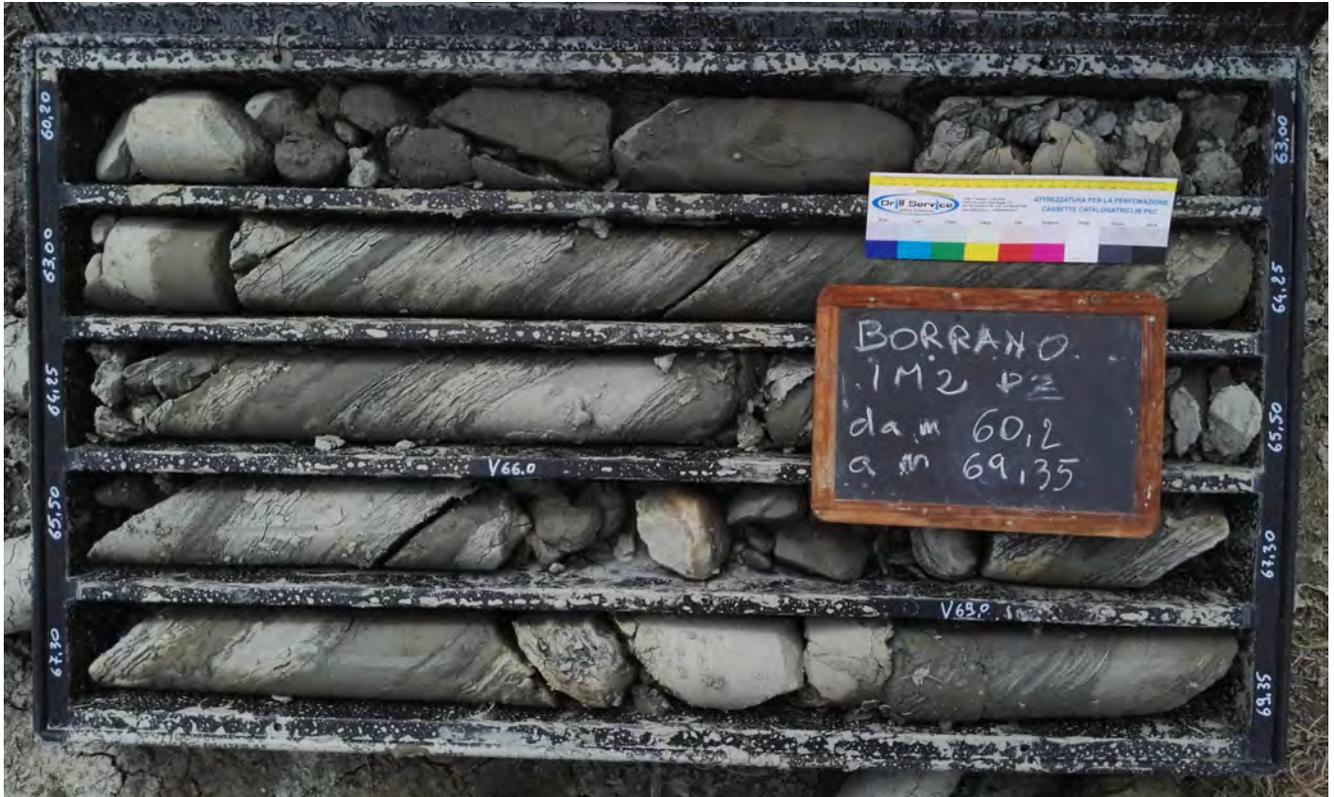




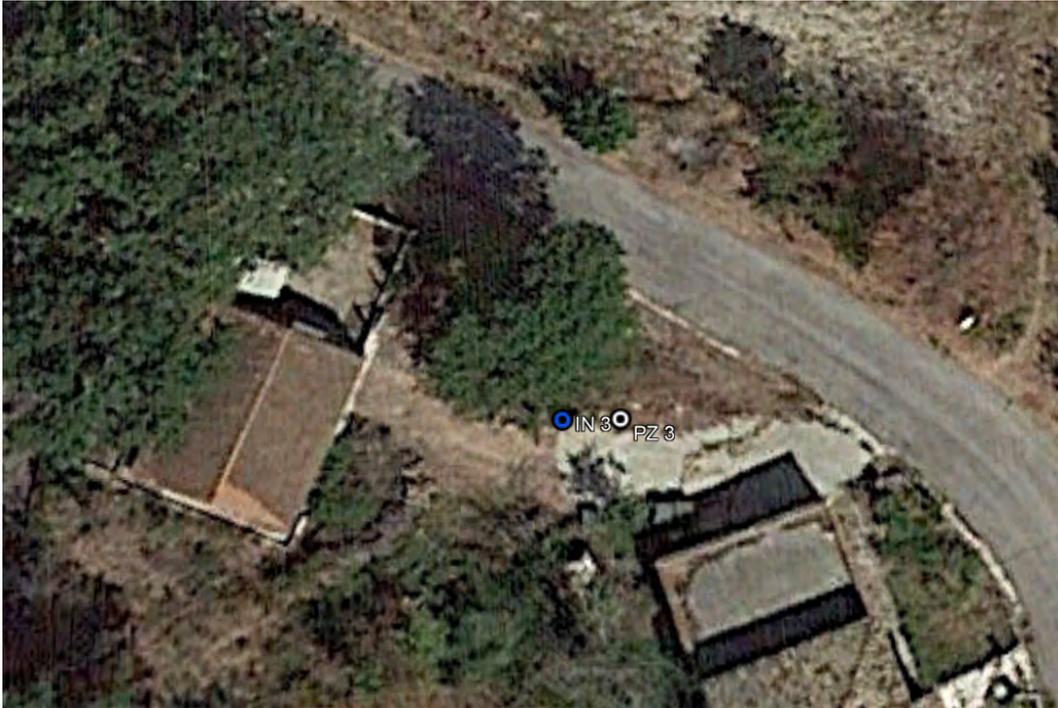








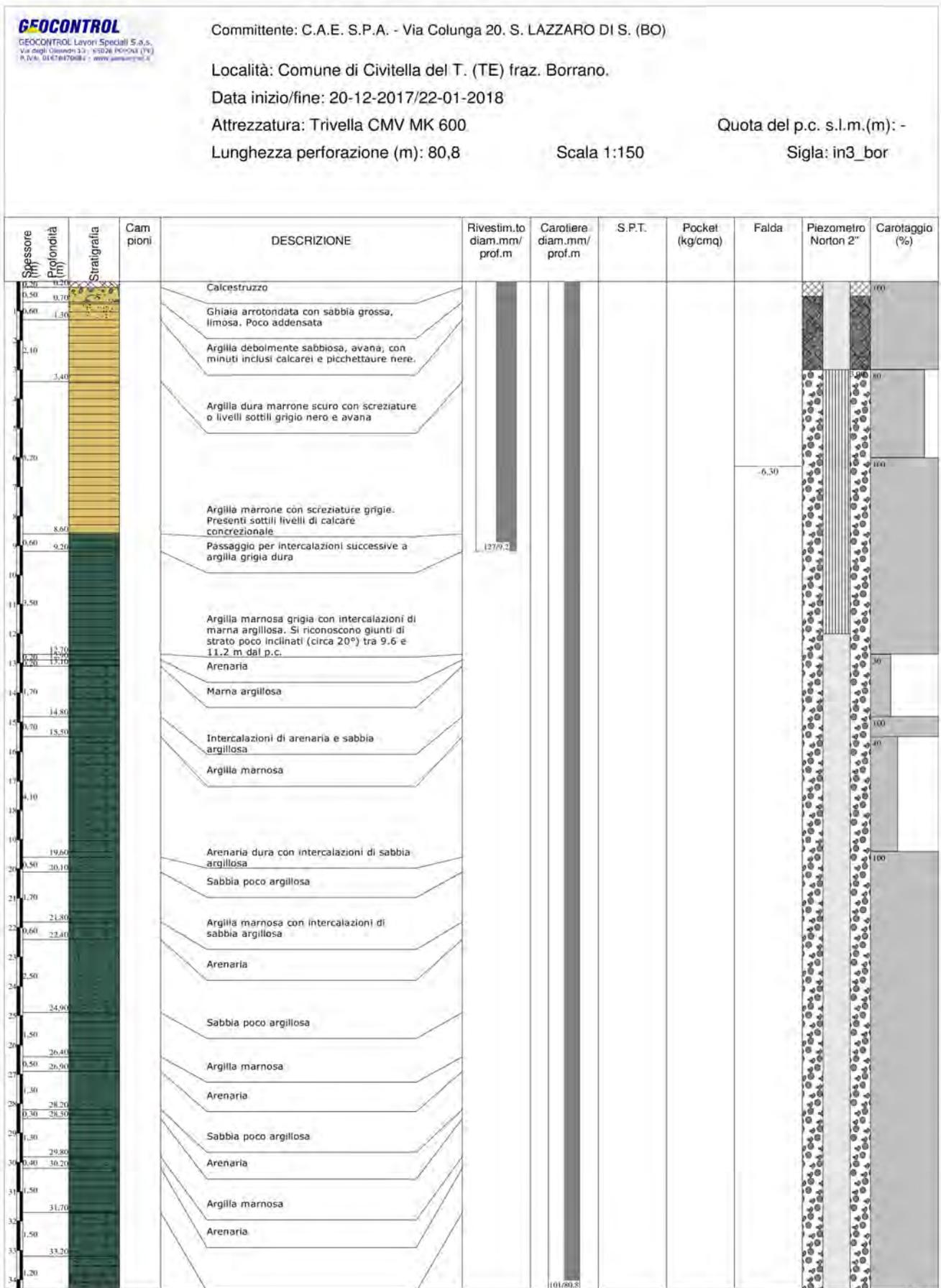




GRUPPO: IM3 (In3 - Pz3)



Posizionamento della trivella all'interno dell'area IM3, in corrispondenza di PZ3





Committente: C.A.E. S.P.A. - Via Colunga 20. S. LAZZARO DI S. (BO)

Località: Comune di Civitella del T. (TE) fraz. Borrano.

Data inizio/fine: 20-12-2017/22-01-2018

Attrezzatura: Trivella CMV MK 600

Lunghezza perforazione (m): 80,8

Quota del p.c. s.l.m.(m): -

Scala 1:150

Sigla: in3_bor

Spessore (m) Profondità (m)	Stratigrafia	Cam pioni	DESCRIZIONE	Rivestim.to diam.mm/ prof.m	Caroliere diam.mm/ prof.m	S.P.T.	Pocket (kg/cmq)	Falda	Piezometro Norton 2"	Carotaggio (%)
0,30 - 38,10			Argilla marnosa con intercalazioni sabbiose							86
0,50 - 38,90			Marna argillosa in strati sottili inclinati di circa 45°							90
0,30 - 39,00			Marna argillosa in strati sottili inclinati di 20° ca.							
0,30 - 39,00			Arenaria							
0,60 - 42,90			Argilla marnosa con intercalazioni sabbiose							
0,30 - 42,10			Marna argillosa con stratificazione inclinata di circa 40°							100
0,30 - 42,10			Arenaria							
0,20 - 46,90			Argilla marnosa con intercalazioni sabbiose							
0,20 - 46,90			Arenaria							
0,20 - 48,90			Argilla marnosa con intercalazioni sabbiose. La stratificazione, quando riconoscibile, presenta inclinazione di 40° ca.							
0,20 - 48,90			Arenaria con livelli di ossidazione colore marrone chiaro							
0,20 - 51,90			Argilla marnosa con intercalazioni sabbiose							
0,20 - 51,90			Arenaria							
0,20 - 54,30			Argilla sabbiosa con intercalazioni di argilla marnosa o sabbia. La stratificazione è poco riconoscibile							
0,20 - 54,30			Arenaria							
0,20 - 60,3			Argilla sabbiosa con intercalazioni di marna argillosa o sabbia. La stratificazione, quando riconoscibile, presenta inclinazione di circa 45° per poi diminuire a circa 20° alla profondità di m. 60,3							



Committente: C.A.E. S.P.A. - Via Colunga 20. S. LAZZARO DI S. (BO)

Località: Comune di Civitella del T. (TE) fraz. Borrano.

Data inizio/fine: 20-12-2017/22-01-2018

Attrezzatura: Trivella CMV MK 600

Lunghezza perforazione (m): 80,8

Quota del p.c. s.l.m.(m): -

Scala 1:150

Sigla: in3_bor

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Cam pioni	DESCRIZIONE	Rivestim.to diam.mm/ prof.m	Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.	Pocket (kg/cmq)	Falda	Piezometro Norton 2"	Carotaggio (%)
64,30	64,30	Stratigrafia		Argilla sabbiosa con intercalazioni di marna argillosa o sabbia. La stratificazione, quando riconoscibile, presenta inclinazione di circa 45° per poi diminuire a circa 20° alla profondità di m. 60,3		101/80,8				100	
0,50	70,30			Marna argillosa con stratificazione sottile inclinata di 30° ca.							
0,20	71,80			Argilla con sottili intercalazioni di marna argillosa							
0,00	71,50			Calcere marnoso con piani di strato inclinati di circa 50°							
0,10	76,60			Marna argillosa con piani di strato di inclinazione 20° < i° < 45° con aumento dell'inclinazione tra 74,8 e 75,6 m dal p.c.							
0,00	77,60			Marna calcarea in strati sottili fortemente inclinati. Circa 70°							
0,20	80,80			Argilla marnosa							
				<p>RILEVAMENTO DELLA PROFONDITA' LIVELLO FALDA</p> <p>Ore 7,30 del 17 gennaio. Foro l(m) =45,3. Livello - 7,9</p> <p>Ore 7,30 del 19 gennaio. Foro l(m)=71,0. Livello - 8,7</p> <p>Ore 8,00 del 23 gennaio, Foro 80,0 m. Livello - 8,7</p> <p>Ore 12,50 del 23 Gennaio. Foro 80,8 m. Livello - 6,30. Misura eseguita attraverso il piezometro</p>							



















ALLEGATO - 2

Rapporto tecnico sulle perforazioni eseguite.

Campagna geognostiche 2023



COMMITTENTE: **DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA**

LOCALITA': **CIVITELLA DEL TRONTO LOC. BORRANO**

OPERA: **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

UNITA': **CMV MK 420 D**

METODO DI PERFORAZIONE: **ROTAZIONE**

GEOLOGO: **G. GERMANI**

CAMPIONATORE TIPO:

OPERATORI: **PATELLA M.**

SONDAGGIO N° **S4**

DIAMETRO DEL FORO: **Iniziale 127 mm - Finale 101 mm**

INIZIO PROVA: **08/06/2023**

SCALA: **1:100**

QUOTA s.l.m.:

FINE PROVA: **09/06/2023**

TAVOLA N°: **1 di 2**

CAROTIERE	PROFONDITA' DAL P.C.	POTENZA DELLA FORMAZIONE	SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	POCKET PENETROMETER (kg/cm ²)			VANE TEST (kg/cm ²)		FALDA (mt)	PROVE S.P.T.		CAMPIONI INDISTURBATI	PROVE LEFRANC	DOWN-HOLE	TUBI RIVESTIMENTO
					2	4	6	0.5	1		PROF. (mt)	COLPI (n°)				
Carotiere semplice	0,4	0,4		Riporto antropico.												
		13,1		Limo argilloso di colore nocciola, consistente, con sottili velature sabbiose, tracce di ossidazione, calcificazione e resti puntiformi carboniosi. A luoghi si rinvencono livelli centimetrici di sabbia fine di colore giallastro. Tra i 5,00 e i 10,00 m la formazione assume una colorazione grigio chiara, mentre, la colorazione è avana tra i 10,00 e i 13,50 m.						7.5						
		13,5		Argilla grigio - azzurra molto consistente, dura con sottili velature sabbiose del medesimo colore. Fino ai 17,50 m all'interno della formazione si rinvenno livelli centimetrici limo argillosi di colore avana.												
		16,5														

NOTE:



COMMITTENTE: **DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra
UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA**

LOCALITA': **CIVITELLA DEL TRONTO
LOC. BORRANO**

OPERA: **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

UNITA': **CMV MK 420 D**

METODO DI PERFORAZIONE: **ROTAZIONE**

GEOLOGO: **G. GERMANI**

CAMPIONATORE TIPO:

OPERATORI: **PATELLA M.**

DIAMETRO DEL FORO: **Iniziale 127 mm - Finale 101 mm**

INIZIO PROVA: **08/06/2023**

FINE PROVA: **09/06/2023**

SONDAGGIO N° **S4**

SCALA: **1:100**

QUOTA s.l.m.:

TAVOLA N°: **2 di 2**

CAROTIERE	PROFONDITA' DAL P.C. (mt)	POTENZA DELLA FORMAZIONE (mt)	SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	POCKET PENETROMETER (kg/cm ^q)			VANE TEST (kg/cm ^q)		FALDA (mt)	PROVE S.P.T.		CAMPIONI INDISTURBATI	PROVE LEFRANC	DOWN-HOLE	TUBI RIVESTIMENTO			
					2	4	6	0.5	1		PROF. (mt)	COLPI (n°)							
Carotiere semplice		16,5		Argilla grigio - azzurra molto consistente, dura con sottili velature sabbiose del medesimo colore. Fino ai 17,50 m all'interno della formazione si rinvenno livelli centimetrici limo argillosi di colore avana.															
		30,0																	

NOTE:

	COMMITTENTE: DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA		
	CANTIERE: INDAGINI GEOGNOSTICHE		
PERFORAZIONE N. S4	DATA: 08/06/2023 - 09/06/2023	PAG. 1 DI 4	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
GEOL. GIUSEPPE GERMANI	DITTA: PM sondaggi	SONDA: CMV MK 400 D	
da m. 0,00	a m. 10,00	profondità finale m. 30,00	



CASSA 1 DA 0,00 A 5,00



CASSA 2 DA 5,00 A 10,00

	COMMITTENTE: DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA		
	CANTIERE: INDAGINI GEOGNOSTICHE		
PERFORAZIONE N. S4	DATA: 08/06/2023 - 09/06/2023	PAG. 2 DI 4	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
GEOL. GIUSEPPE GERMANI	DITTA: PM sondaggi	SONDA: CMV MK 400 D	
da m. 10,00	a m. 20,00	profondità finale m. 30,00	



CASSA 3 DA 10,00 A 15,00



CASSA 4 DA 15,00 A 20,00

	COMMITTENTE: DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA		
	CANTIERE: INDAGINI GEOGNOSTICHE		
PERFORAZIONE N. S4	DATA: 08/06/2023 - 09/06/2023	PAG. 3 DI 4	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
GEOL. GIUSEPPE GERMANI	DITTA: PM sondaggi	SONDA: CMV MK 400 D	
da m. 20,00	a m. 30,00	profondità finale m. 30,00	



CASSA 5 DA 20,00 A 25,00



CASSA 6 DA 25,00 A 30,00

	COMMITTENTE: DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA		
	CANTIERE: INDAGINI GEOGNOSTICHE		
PERFORAZIONE N. S4	DATA: 08/06/2023 - 09/06/2023	PAG. 4 DI 4	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
GEOL. GIUSEPPE GERMANI	DITTA: PM sondaggi	SONDA: CMV MK 400 D	



POSTAZIONE DI SONDAGGIO S4



COMMITTENTE: **DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA**

LOCALITA': **CIVITELLA DEL TRONTO LOC. BORRANO**

OPERA: **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

UNITA': **CMV MK 420 D**

METODO DI PERFORAZIONE: **ROTAZIONE**

GEOLOGO: **G. GERMANI**

CAMPIONATORE TIPO:

OPERATORI: **PATELLA M.**

INIZIO PROVA: **07/06/2023**

FINE PROVA: **07/06/2023**

TAVOLA N°: **1 di 2**

SONDAGGIO N° **S5**

DIAMETRO DEL FORO: **Iniziale 127 mm - Finale 101 mm**

SCALA: **1:100**

QUOTA s.l.m.:

CAROTIERE	PROFONDITA' DAL P.C. (mt)	POTENZA DELLA FORMAZIONE (mt)	SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	POCKET PENETROMETER (kg/cm ²)			VANE TEST (kg/cm ²)		FALDA (mt)	PROVE S.P.T.		CAMPIONI INDISTURBATI	PROVE LEFRANC	DOWN-HOLE	TUBI RIVESTIMENTO
					2	4	6	0.5	1		PROF. (mt)	COLPI (n°)				
Carotiere semplice		3,2		Riporto antropico costituito da limo argilloso a luoghi sabbioso di colore marrone con resti vegetali e sfridi di laterizi.												
	3,2	2,0		Limo argilloso di colore avana chiaro con sfumature grigie, a luoghi marrone, consistente, con sottili velature sabbiose, tracce di ossidazione, calcificazione e resti puntiformi carboniosi. A varie altezze si rinengono livelli centimetrici di sabbia fine di colore giallastro.												
	5,2	24,8		Argilla grigio - azzurra molto consistente, dura con sottili velature sabbiose del medesimo colore.												

φ 127

9,0

NOTE:



COMMITTENTE: **DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra
UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA**

LOCALITA': **CIVITELLA DEL TRONTO
LOC. BORRANO**

OPERA: **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

UNITA': **CMV MK 420 D**

METODO DI PERFORAZIONE: **ROTAZIONE**

GEOLOGO: **G. GERMANI**

CAMPIONATORE TIPO:

OPERATORI: **PATELLA M.**

INIZIO PROVA: **07/06/2023**

SONDAGGIO N° **S5**

DIAMETRO DEL FORO: **Iniziale 127 mm - Finale 101 mm**

FINE PROVA: **07/06/2023**

SCALA: **1:100**

QUOTA s.l.m.:

TAVOLA N°: **2 di 2**

CAROTIERE	PROFONDITA' DAL P.C. (mt)	POTENZA DELLA FORMAZIONE (mt)	SEZIONE STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI ATTRAVERSATE	POCKET PENETROMETER (kg/cm ^q)			VANE TEST (kg/cm ^q)		FALDA (mt)	PROVE S.P.T.		CAMPIONI INDISTURBATI	PROVE LEFRANC	DOWN-HOLE	TUBI RIVESTIMENTO
					2	4	6	0.5	1		PROF. (mt)	COLPI (n°)				
Carotiere semplice		24,8		Argilla grigio - azzurra molto consistente, dura con sottili velature sabbiose del medesimo colore.												
		30,0														

NOTE:

	COMMITTENTE: DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA		
	CANTIERE: INDAGINI GEOGNOSTICHE		
PERFORAZIONE N. S5	DATA: 07/06/2023	PAG. 1 DI 4	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
GEOL. GIUSEPPE GERMANI	DITTA: PM sondaggi	SONDA: CMV MK 400 D	
da m. 0,00	a m. 10,00	profondità finale m. 30,00	



CASSA 1 DA 0,00 A 5,00



CASSA 2 DA 5,00 A 10,00

	COMMITTENTE: DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA		
	CANTIERE: INDAGINI GEOGNOSTICHE		
PERFORAZIONE N. S5	DATA: 07/06/2023	PAG. 2 DI 4	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
GEOLOGO: GIUSEPPE GERMANI	DITTA: PM sondaggi	SONDA: CMV MK 400 D	
da m. 10,00	a m. 20,00	profondità finale m. 30,00	



CASSA 3 DA 10,00 A 15,00



CASSA 4 DA 15,00 A 20,00

	COMMITTENTE: DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA		
	CANTIERE: INDAGINI GEOGNOSTICHE		
PERFORAZIONE N. S5	DATA: 07/06/2023	PAG. 3 DI 4	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
GEOL. GIUSEPPE GERMANI	DITTA: PM sondaggi	SONDA: CMV MK 400 D	
da m. 20,00	a m. 30,00	profondità finale m. 30,00	



CASSA 5 DA 20,00 A 25,00



CASSA 6 DA 25,00 A 30,00

	COMMITTENTE: DIPARTIMENTO DISPUTER Prof. Nicola Sciarra UNIVERSITA' G. D'ANNUNZIO PESCARA		
	CANTIERE: INDAGINI GEOGNOSTICHE		
PERFORAZIONE N. S5	DATA: 07/06/2023	PAG. 4 DI 4	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
GEOLOGO: GIUSEPPE GERMANI	DITTA: PM sondaggi	SONDA: CMV MK 400 D	



POSTAZIONE DI SONDAGGIO S5

	<p>REGIONE ABRUZZO</p>
	<p>PROVINCIA DI TERAMO</p>
	<p>COMUNE CIVITELLA DEL TRONTO</p>
<p>COMMITTENTE:</p> <p>UNIVERSITÀ DI CHIETI - PESCARA DIPARTIMENTO DISPUTER</p> <p>INDAGINI GEOGNOSTICHE IN LOCALITÀ BORRANO NEL COMUNE DI CIVITELLA DEL TRONTO (TE)</p>	

REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE

PESCARA, GIUGNO 2023

TERRA DRILLING TECHNOLOGY S.R.L.

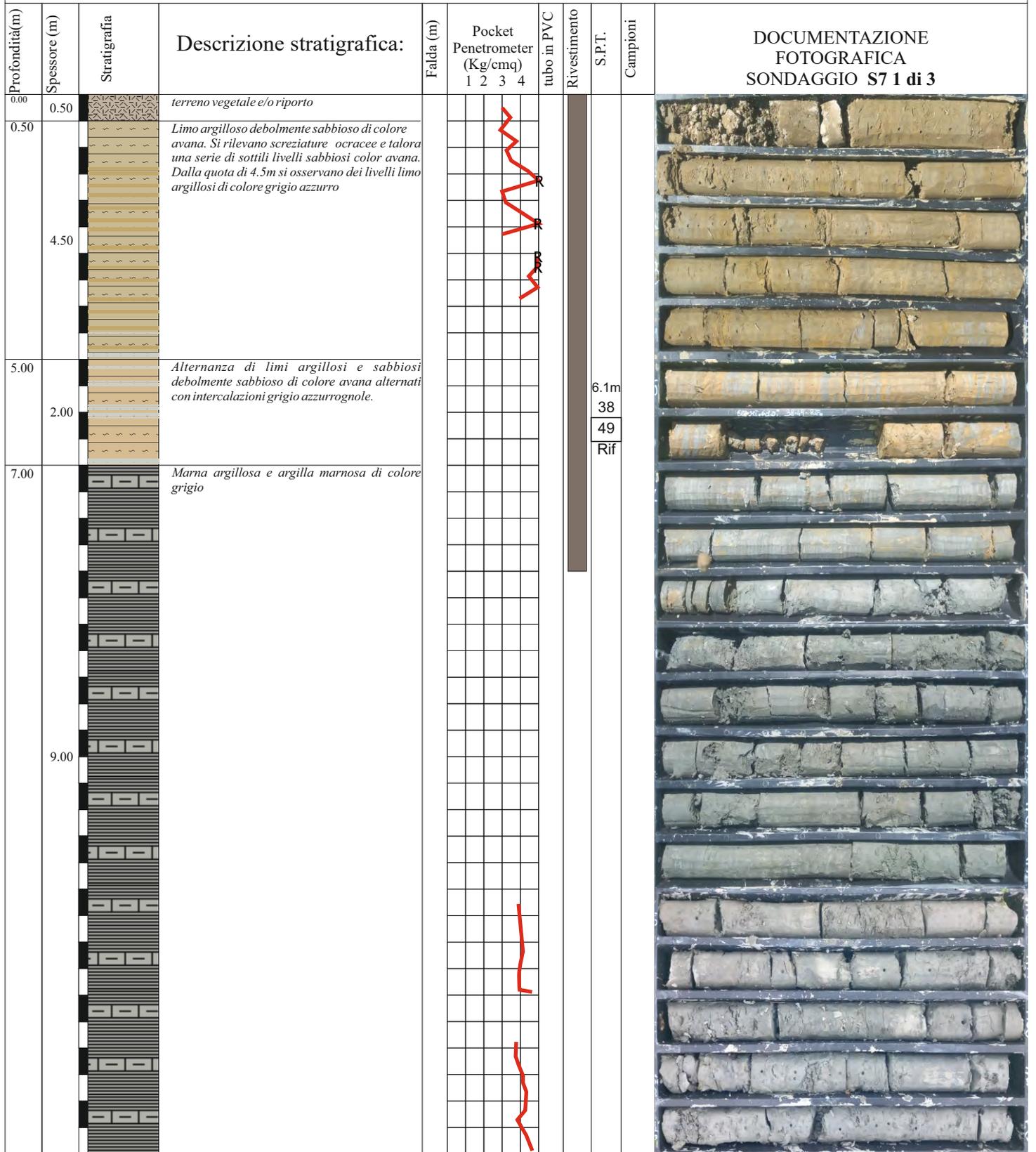
TERRA DRILLING TECHNOLOGY SRL
 Via Genova, 45 - 65122 PESCARA
 P.IVA 01643890692

IL REPORT CONTIENE:
 STRATIGRAFIA SCALA 1:100 (N°1)
 ALLEGATO FOTOGRAFICO (N°1)
 UBICAZIONE INDAGINE - SU BASE CTR 5000 (2005) REGIONE ABRUZZO (SCALA 1:750)

Terra Drilling Technology srl - via Genova 45, 65122 PESCARA
 cell.335.725.8128 - tel/fax. 085.240.1187em@il: terra.drilling@gmail.com



Committente: Università Chieti - Pescara DISPUTER	Geologo: A. Di Ninni	Perforazione: Rotazione	S6
Opera: Sondaggio geognostico	Operatore: C. De Angelis	Rivestimento: 127 mm	Scala: 1:100
Località: Cda Borrano - Civitella del Tronto (TE)	Unità: CMV 900	Coordinate:	Data inizio: 07/06/23
Campionatore:	Sh=Shelby; Mz=Mazier; Os=Osterberg; Dn=Denison; T2; T6; T6S	Quota s.l.m.:	Data fine: 09/06/23



Terra Drilling Technology s.r.l.
via Genova 45, 65122 PESCARA
tel./fax 085.2401187 - cell. 335.7258128
em@il: terra.drilling@gmail.com

Committente: Università Chieti - Pescara DISPUTER	Geologo: A. Di Ninni	Perforazione: Rotazione	S6
Opera: Sondaggio geognostico	Operatore: C. De Angelis	Rivestimento: 127 mm	Scala: 1:100
Località: Cda Borrano - Civitella del Tronto (TE)	Unità: CMV 900	Coordinate:	Data inizio: 07/06/23
Campionatore:	Sh=Shelby; Mz=Mazier; Os=Osterberg; Dn=Denison; T2; T6; T6S	Quota s.l.m.:	Data fine: 09/06/23

Profondità(m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica:	Falda (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cmq) 1 2 3 4	tubo in PVC	Rivestimento	S.P.T.	Campioni	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SONDAGGIO S7 2 di 3
20.00			Marna argillosa e argilla marnosa di colore grigio. Alla quota compresa tra 25.0 m e 33.0m, aumenta il contenuto nella componente arenacea a tratti con aspetto scaglioso. Si osservano, a varie quote, la presenza di puntinature carboniose e ossidazioni ferruginose.							
40.00										

 Prelievo campione rimaneggiato



Terra Drilling Technology s.r.l.
via Genova 45, 65122 PESCARA
tel./fax 085.2401187 – cell. 335.7258128
em@il: terra.drilling@gmail.com

A L L E G A T O F O T O G R A F I C O

Sondaggio S6



Cassetta C1 0 – 5m



Cassetta C2 5 – 10m



Cassetta C3 10 – 15m



Cassetta C4 15 – 20m



Cassetta C5 20 – 25m



Cassetta C6 25 – 30m



Cassetta C7 30 – 35m



Cassetta C8 35 – 40m



Cassetta C9 40 – 45m



Cassetta C10 45 – 50m



Cassetta C11 50 – 55m



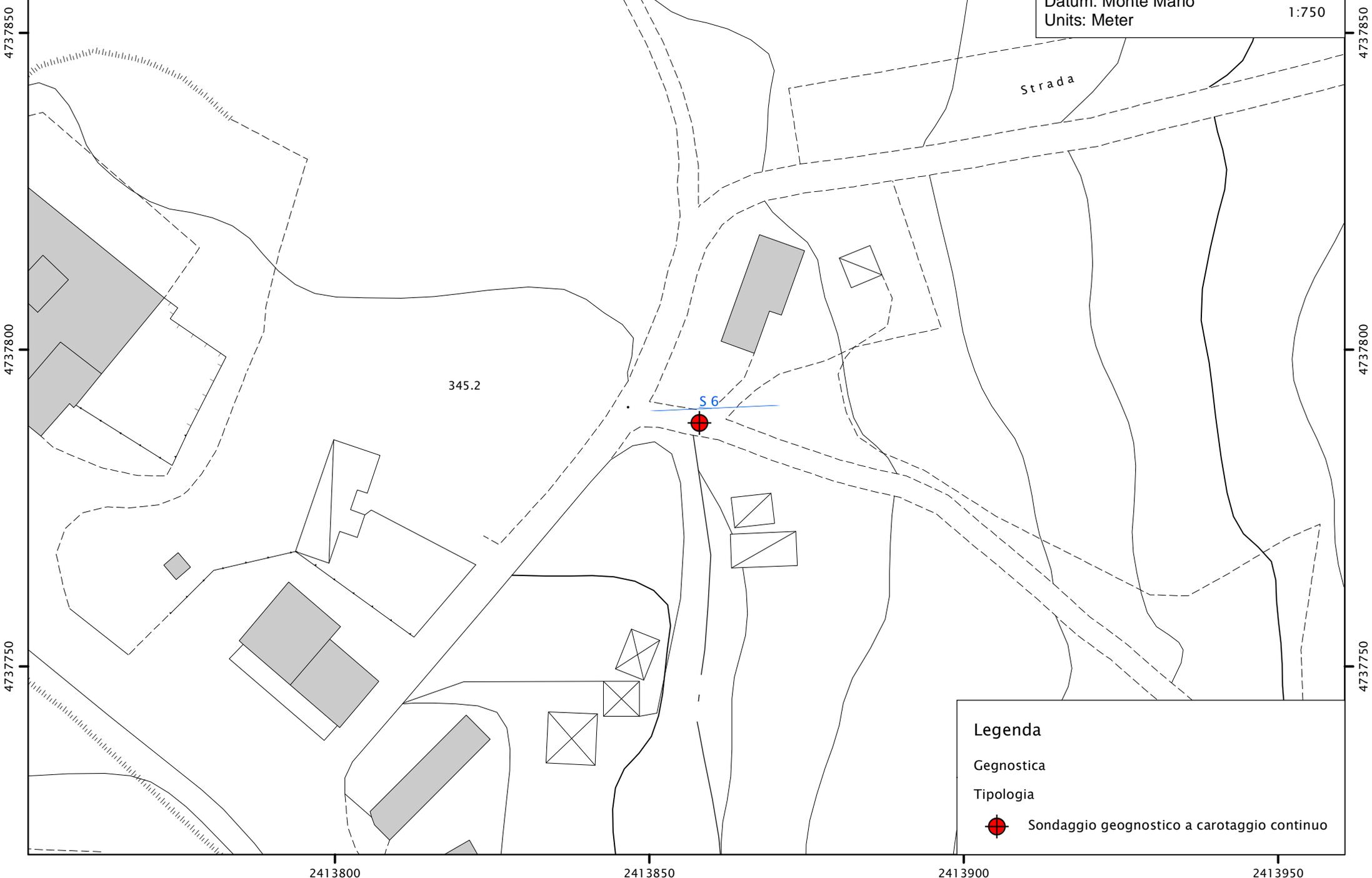
Cassetta C12 55 – 60m



Postazione S6

Ubicazione indagini geognostiche e geofisiche

Coordinate System: Monte Mario Italy 2
Projection: Transverse Mercator
Datum: Monte Mario
Units: Meter
1:750



Legenda

Gegnostica

Tipologia



Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

ALLEGATO - 3

Rapporto tecnico sulle indagini geofisiche.

Campagna d'indagini maggio 2023

COMUNE DI CIVITELLA DEL TRONTO

26 - MAGGIO - 2023

RELAZIONE TECNICA

“INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE MEDIANTE TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D PROFONDA (ERT) E TOMOGRAFIA SISMICA IN ONDE P CON RILIEVO GPS”

**CODICE CUP D73C23000520005
CODICE CIG Z4D3ABB218**

LOCALITÀ BORRANO – CIVITELLA DEL TRONTO (TE)

COMMITTENTE:



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
G. D'ANNUNZIO CHIETI PESCARA

GEOL. LEONARDO MARIA GIANNINI



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE



WWW.TRIGEO.IT



INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI	4
<i>TOMOGRAFIA ELETTRICA</i>	5
2.0 METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
3.0 ARRAY DI TIPO “WENNER-SCHLUMBERGER”	8
4.0 ARRAY DI TIPO “POLO-DIPOLO”	9
5.0 ARRAY DI TIPO “DIPOLO-DIPOLO”	10
6.0 “PROCESSING” DEI DATI TRAMITE RES2DINV	11
7.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ED ANALISI DEI RISULTATI – TOMOGRAFIE ELETTRICHE 2D	13
<i>TOMOGRAFIA SISMICA</i>	18
8.0 METODOLOGIA D’INDAGINE E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	18
9.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ED ANALISI DEI RISULTATI – TOMOGRAFIA SISMICA	20
10.0 ELABORAZIONE MASW	22
ALLEGATI	27

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite nel mese di **Maggio 2023** all'interno di un'area ubicata in **Località Borrano nel Comune di Civitella del Tronto (TE)**(Fig.1).



Figura 1: Aree d'intervento: Località Borrano – Civitella del Tronto (TE).

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una campagna di prospezioni geofisiche convenute con il tecnico incaricato (**Prof. Sciarra**) ed eseguite nell'area indicata dalla committenza, in modo da valutare le caratteristiche litologiche dei terreni.

Sono state quindi eseguite due sezioni di tomografia elettrica 2D, poste in continuità tra loro, in modo da caratterizzare i terreni in funzione dei valori di resistività.

Nell'area, è stata effettuata inoltre una prospezione di sismica a rifrazione, in modo da caratterizzare le litologie presenti nell'area d'indagine in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P.

1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Per l'indagine di tomografia elettrica sono state eseguite due linee: la sezione A-A' da **710 ml**, costituita da **72 elettrodi** con spaziatura **10 m** e la sezione B-B' da **475 ml**, costituita da **96 elettrodi** con spaziatura **5 m**.

L'acquisizione è stata effettuata tramite tre differenti tipi di array che hanno fornito ottimi risultati sia in senso orizzontale che in quello verticale: **Dipolo-Dipolo, Wenner-Schlumberger** e **Polo-dipolo**; la sezione A-A' è stata in seguito elaborata anche tramite due differenti Software, fornendo risultati concordanti tra loro.

La sezione di sismica a rifrazione ha previsto il posizionamento di 24 geofoni verticali P, con spaziatura **10 m**, acquisendo complessivamente **230 ml** di rilievo.

Nella **Tavola 01**, viene riportata l'ubicazione delle due tomografie elettriche e della tomografia sismica in scala 1:5.000, con le relative coordinate WGS84.

Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento generale in scala 1: 3.000 con l'ubicazione degli elettrodi e dei geofoni.

Nella **Tavola 03**, viene riportato un inquadramento di dettaglio in scala 1: 3.000 con l'ubicazione degli elettrodi e dei geofoni, riportati su Carta Geologica.

Nella **Tavola 04** allegata in scala 1:3.000 vengono riportate le due sezioni di tomografia elettrica (A-A' e B-B') eseguite con array di tipo Wenner-Schlumberger, polo-dipolo e dipolo-dipolo.

Nella **Tavola 05** allegata in scala 1:3.000 vengono riportate in *continuità* le due sezioni di tomografia elettrica (A-A' e B-B') eseguite con array di tipo Wenner-Schlumberger, polo-dipolo e dipolo-dipolo.

Nella **Tavola 06** in scala 1:1.000 vengono riportate le Dromocrone, grafici delle letture dei singoli *shot*, della sezione di tomografia sismica (1-1');

Nella **Tavola 07** in scala 1:1.000 viene riportata la sezione di tomografia sismica 1-1';

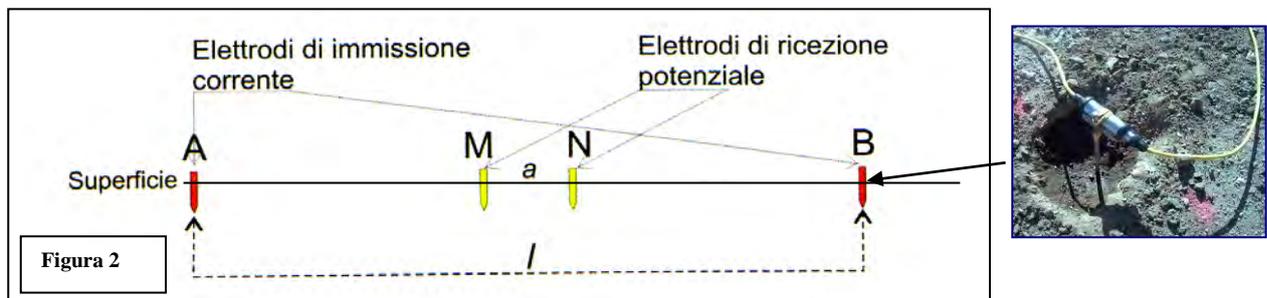
Di seguito vengono descritte le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

TOMOGRAFIA ELETTRICA

2.0 METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

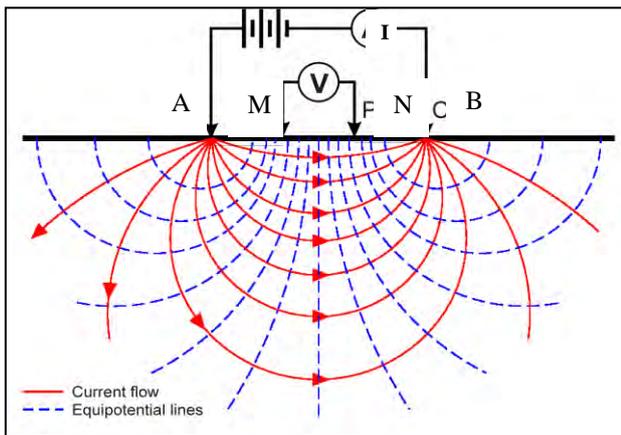
Il metodo geoelettrico nelle indagini geofisiche sfrutta le proprietà di rocce, sedimenti (terre) di condurre in modo diverso la corrente elettrica. Il parametro che viene misurato è la resistività elettrica che dipende dalla porosità, dalla permeabilità e dal contenuto ionico dei fluidi di ritenzione.

La tomografia elettrica rappresenta un'evoluzione recente dei sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), ed è funzionale grazie ai notevoli progressi dell'elettronica digitale e della modellistica geofisica. A seconda della distanza reciproca tra gli elettrodi che immettono la corrente e gli altri che la misurano, si possono investigare profondità sempre maggiori di terreno. Vengono usati *array* diversi a seconda della problematica da indagare, in generale i più utilizzati sono: *Schlumberger*, *Wenner*, *dipolo-dipolo* e *polo-dipolo*. L'esecuzione di un profilo tomografico prevede l'installazione di una serie di picchetti metallici (elettrodi), che vengono utilizzati tanto come elettrodi di corrente che di potenziale (**Figura 2**).

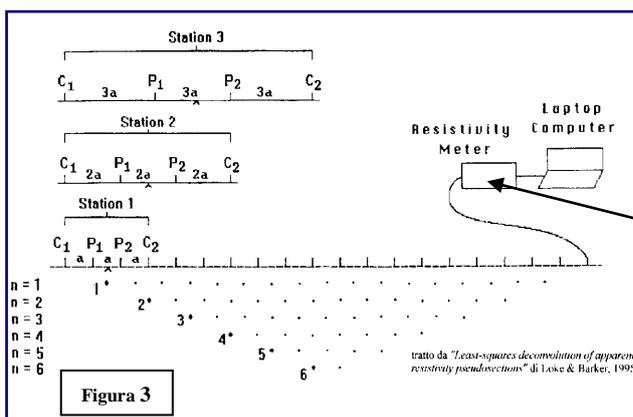


Tramite gli elettrodi **A - B** si immette nel terreno una corrente continua I_c , mentre tramite gli elettrodi **M-N** viene rilevata la differenza di potenziale V che si instaura. Conoscendo I_c e misurando V si calcola la resistività elettrica relativa alla configurazione elettrodica utilizzata, usando la formula:

$$\rho_a = \frac{\pi(l_{(A,B)} / 2)^2 - (a_{(M,N)} / 2)^2}{a_{(M,N)}} \cdot \frac{V}{I_c}$$



Spostando lateralmente il dispositivo elettronico (M-N) si rilevano le variazioni orizzontali della resistività e con il progressivo incremento della distanza che intercorre tra le due coppie di elettrodi (A-B) si esplorano strati via via più profondi, il risultato è una sezione bidimensionale in profondità (Fig. 3).



Dato che il caso di un sottosuolo omogeneo può ritenersi solo teorico, i valori di resistività rilevati sono valori di resistività “apparente” (ρ_a), influenzati e mediati sull'intero spessore indagato. La resistività apparente si misura in $\Omega \cdot m$ (Ohm per metro lineare) ed esprime il valore della resistività calcolato con una certa configurazione geometrica ed è dipendente dai valori di resistività dei singoli strati interessati dalla corrente immessa.

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata, nel caso specifico si è trattato di un georesistivimetro SYSCAL Pro con 96 elettrodi e 10 canali le cui caratteristiche tecniche vengono qui riportate (Fig. 4).



SYSCAL Pro SPECIFICATIONS		
<p>TRANSMITTER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Max voltage: 800V in switch mode - Max voltage: 1 000V in manual mode - Max current: 2.5A, typ. accuracy 0.2% - Max power : 250W with internal DC/DC converter and 12V external battery; 1200W with external AC/DC and Motor Gene. - Option 25mA max for readings on samples - Pulse duration: 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 4s, 8s - Internal 12V, 7Ah battery, plug for ext. batt. 	<p>RECEIVER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automatic ranging, 10 input channels - Input impedance: 100 Mohm - Max voltage channel 1: 15V - Max voltage sum of channel 2 to 10: 15V - Protection up to 1 000V - Typ accuracy: 0.2%, resolution: 1 microV - Digital rejection better than 120 db at power lines 50 and 60 Hz - Stacking process, SP linear drift correction - Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable), 	<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memory: 40 000 readings - USB & SD card link - GPS input for coordinates - Fiber glass casing, weather proof - Temperature range: -20 to +70°C - SYSCAL Pro Switch 48: 31x23x36cm, - Weight: 13kg, Cable w/ 24 take-out: 23kg

Figura 4: Syscal Pro– 96 Elettrodi 10 Canali.

3.0 ARRAY DI TIPO “WENNER-SCHLUMBERGER”

L'array di tipo “Wenner-Schlumberger” prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ad una distanza fissa (a) sempre nel centro dello stendimento elettrodo.

Nella prima misura gli altri due elettrodi di corrente A e B vengono allineati rispettivamente alla stessa distanza a , agli estremi opposti.

Via via che l'indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza degli elettrodi di corrente per multipli di a fino ad un valore compatibile con il numero degli elettrodi a disposizione (**Fig. 5**). In questo caso si introduce il fattore n , ovvero il rapporto tra A-M (o N-B) e M-N.

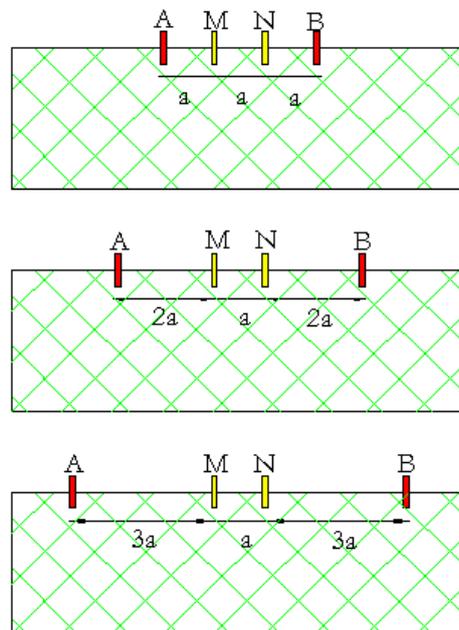


Fig. 5 – Geometria del metodo “Wenner-Schlumberger”.

4.0 ARRAY DI TIPO “POLO-DIPOLO”

Il dispositivo polo-dipolo presenta una migliore copertura orizzontale e raggiunge una profondità di investigazione maggiore rispetto al dispositivo Wenner-Schlumberger; Questo tipo di stendimento a differenza di quello esaminato sopra, non è simmetrico (**Fig. 6**).

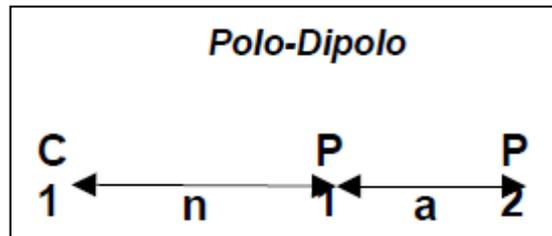


Fig. 6 – Geometria del metodo “Polo-Dipolo”.

Per eseguire le misure con il polo-dipolo è necessario posizionare l’elettrodo remoto (C2 o B).

La posizione dell’elettrodo remoto deve essere non inferiore a 5 volte la distanza massima tra C1 (A)-P1(M) per poter trascurare gli effetti dovuti alla vicinanza dell’elettrodo di corrente *remoto* rispetto ai dati di resistività valutati.

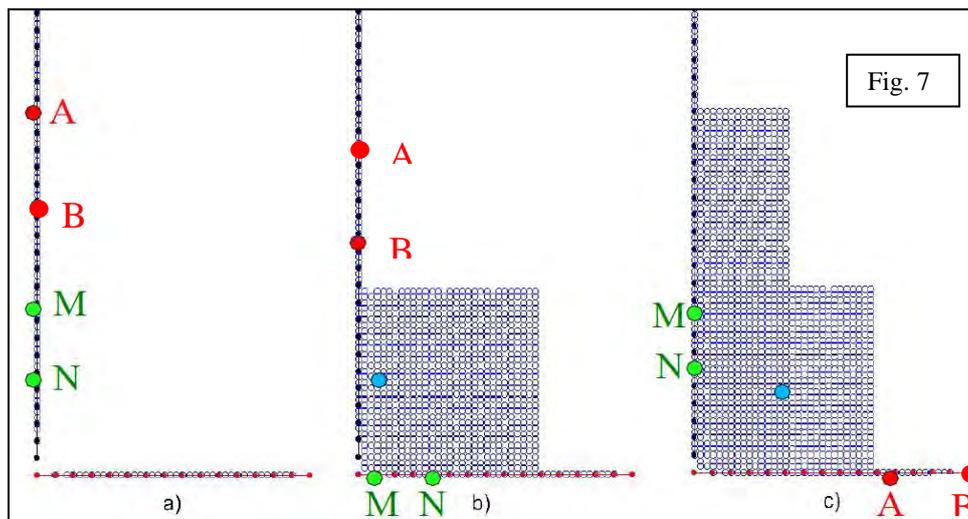
L’intensità del segnale diminuisce all’aumentare del fattore n. I valori di n massimi da utilizzare variano da 8 a 10. Infatti, per questi valori di n, l’intensità del segnale è molto bassa.

per poter raggiungere una maggiore profondità di investigazione è necessario aumentare la spaziatura tra P1(M)-P2(N), in quanto la profondità di investigazione effettiva del polo-dipolo diminuisce all’aumentare di n.

5.0 ARRAY DI TIPO “DIPOLO-DIPOLO”

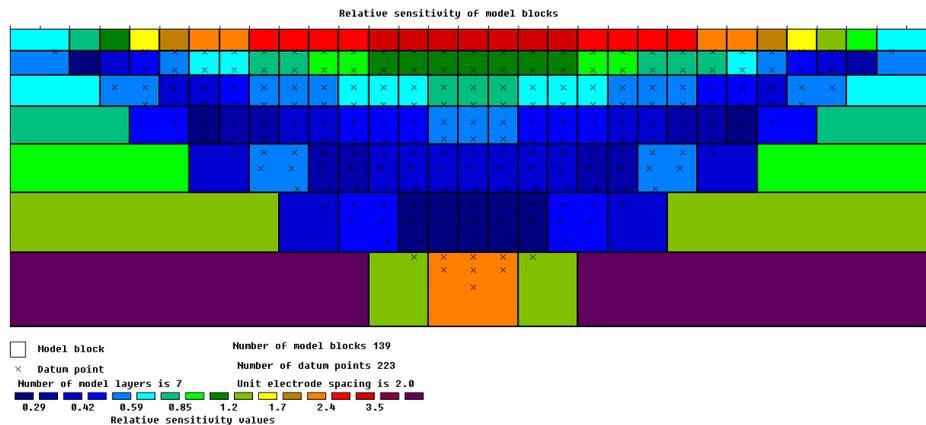
L'array di tipo “Dipolo Dipolo” risulta uno dei più usati nella tomografia elettrica, avendo un'alta sensibilità intorno agli elettrodi di potenziale M-N ed anche una buona accuratezza di indagine rispetto a strutture sepolte sia con una geometria verticale che orizzontale.

La configurazione geometrica di questo array prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ed i due di corrente A e B ad una distanza fissa (a) e di traslarli lungo lo stendimento elettrodico. Via via che l'indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza L. In questo caso si introduce il fattore L , ovvero il rapporto tra $AB/2$ e $MN/2$ (Fig.7).



6.0 “PROCESSING” DEI DATI TRAMITE RES2DINV

Nel presente lavoro è stata eseguita un’elaborazione 2D, mediante il software RES2DINV® (Geotomo Software®), che permette di ottenere un modello bidimensionale di resistività per i dati ottenuti dal rilievo elettrico e sfruttando il metodo dell’inversione, così che partendo dai valori di resistività apparente arriviamo a quelli reali del terreno investigato.



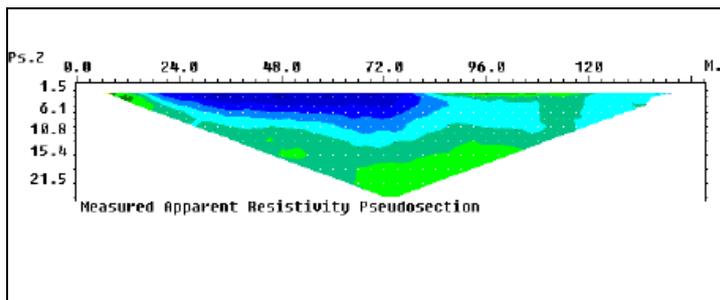
Il modello bidimensionale utilizzato nel programma di inversione consiste in un numero di blocchi rettangolari il cui arrangiamento dipende dalla posizione dei dati rilevati.

La distribuzione e posizione dei blocchi è automaticamente generata dal programma in modo tale che il numero dei blocchi non superi il numero dei dati acquisiti.

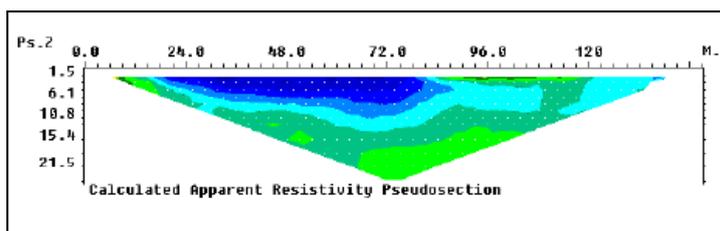
Una complessa routine di modellizzazione viene utilizzata per calcolare i valori di resistività apparente mentre per la routine di inversione viene impiegata una tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non lineare.

Nelle sezioni estrapolate si individua nell’asse orizzontale la distanza progressiva dell’allineamento elettrodico sul terreno e nell’asse verticale la profondità rispetto al piano di campagna.

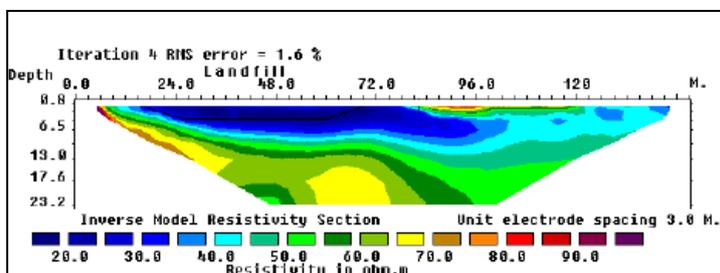
Il software RES2DINV® restituisce 3 profili tomografici che esprimono rispettivamente:



La pseudosezione misurata, che rappresenta una distribuzione laterale e verticale della resistività apparente in funzione di una profondità teorica.



La pseudosezione calcolata, che è stata ottenuta dal modello bidimensionale.



La vera e propria sezione 2D, dove è rappresentata la distribuzione verticale ed orizzontale della resistività reale del terreno oggetto d'indagine.

7.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ED ANALISI DEI RISULTATI – TOMOGRAFIE ELETTRICHE 2D

Di seguito vengono riportate le fasi di acquisizione tramite documentazioni fotografiche ed i risultati delle sezioni di tomografia elettrica 2D elaborate con il software RES2DINV.





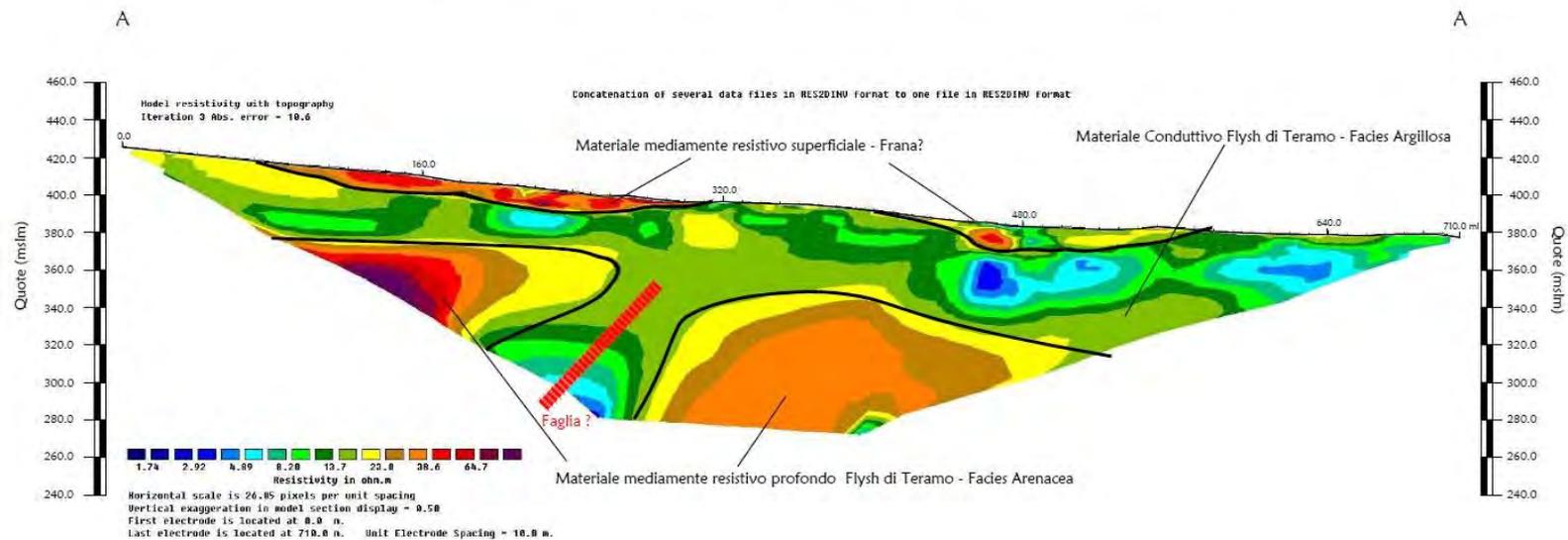
Fasi di acquisizione tomografia elettrica A-A' e B-B'.

I risultati ottenuti dall'indagine geoelettrica A-A' indicano, in linea generale, la presenza di tre principali litologie; tra le progressive **70-310 ml** e le progressive **400-580 ml**, sono evidenti dei materiali superficiali con spessore massimo di ca 10 m, caratterizzati da valori mediamente resistivi **> 30 Ohm.m** i quali potrebbero essere correlati alla presenza del corpo di frana (materiali più areati rispetto ai circostanti e sottostanti).

Al di sotto, è ben distinguibile il passaggio a materiali conduttivi con valori **< 30 Ohm.m**, probabilmente ascrivibili alla Facies argillitica del Flysch di Teramo.

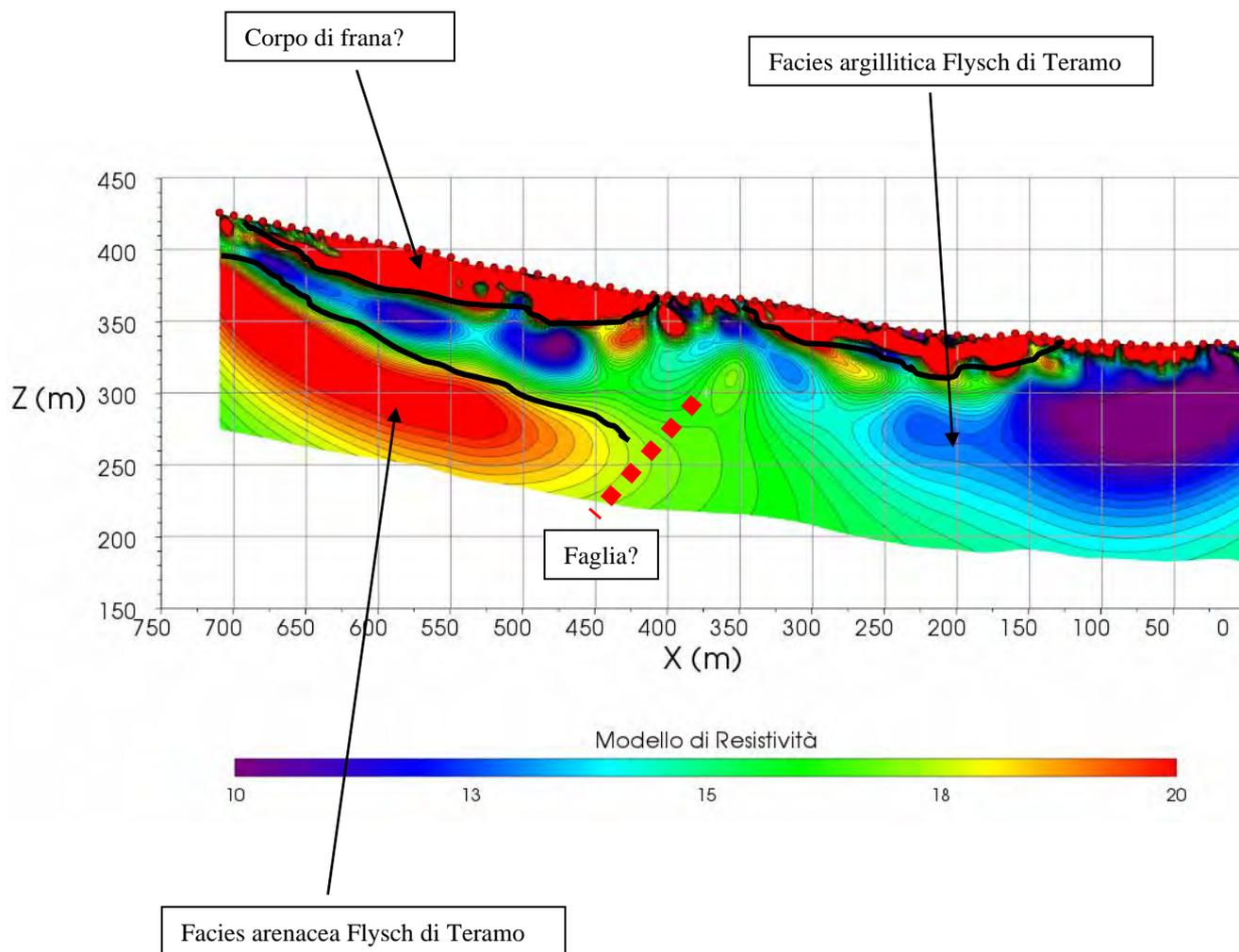
Più in profondità, a ca 50-60 m dal piano campagna, i materiali assumono nuovamente caratteristiche mediamente resistive, legate presumibilmente alla Facies più arenacea del Flysch di Teramo; quest'ultimo livello inoltre, sembrerebbe lateralmente discontinuo tra le progressive 220-300 ml ca. (porzione conduttiva con valori **< 30 Ohm.m**), il che potrebbe giustificare la presenza della faglia (?) cartografata anche nella carta geologica.

Tomografia elettrica - Sezione A-A' - Array Polo-dipolo - Wenner - Schlumberger - Dipolo-dipolo



Per completezza nei risultati, la sezione A-A' è stata elaborata anche tramite Software Ertlab, il quale ha fornito esiti concordanti con la precedente elaborazione:

Sezione A-A' elaborata con software Ertlab

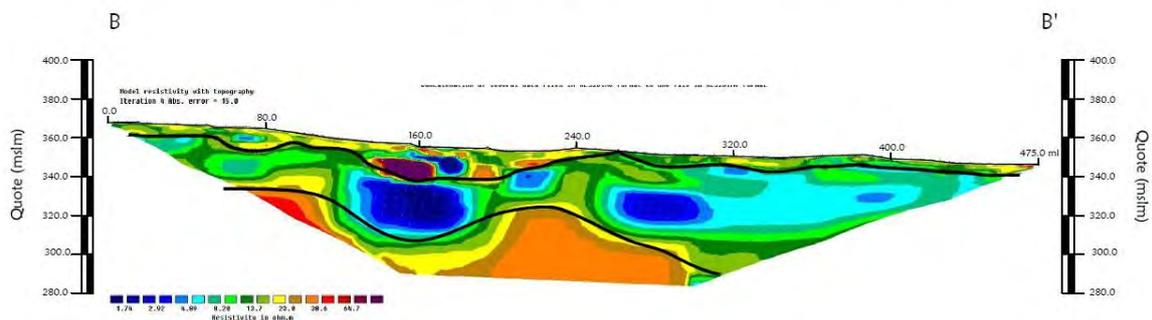


I risultati ottenuti dall'indagine geoelettrica B-B', posta in continuità alla stesa A-A' partendo dalla progressiva **310 ml**, mostrano caratteristiche analoghe alla precedente; è evidente infatti, lungo tutta la sezione, la presenza di materiali superficiali caratterizzati da valori mediamente resistivi **> 30 Ohm.m** i quali potrebbero essere correlati alla presenza del corpo di frana (spessori maggiori tra le progressive 100-200 ml, ca. 10 m).

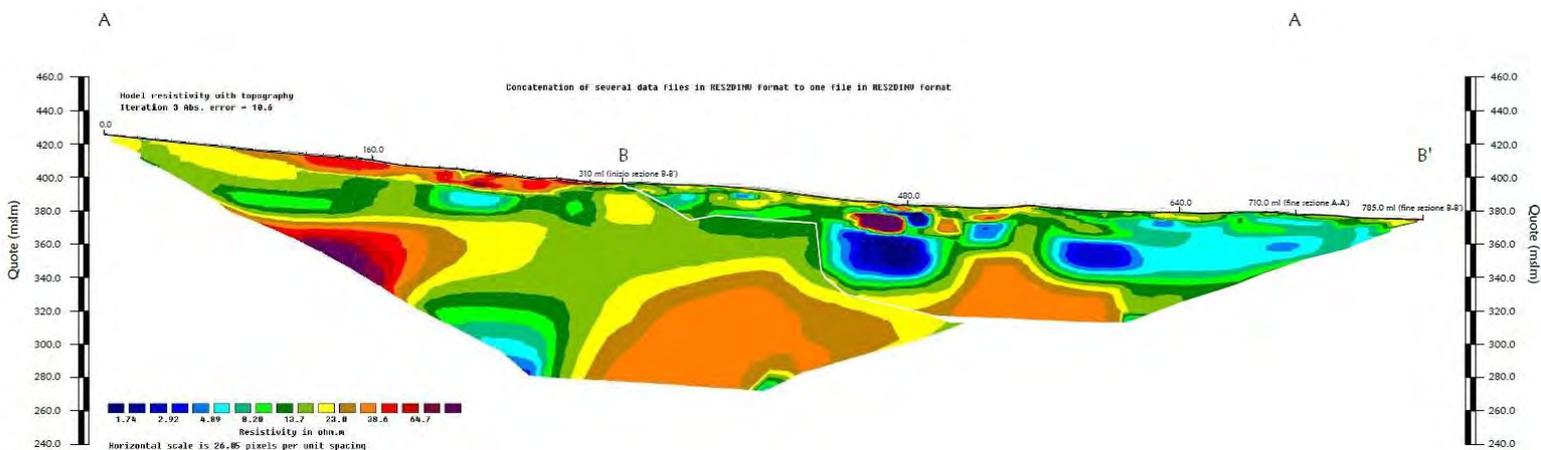
Al di sotto si distinguono i materiali conduttivi e resistivi (delimitati dalla linea nera nella sezione interpretativa) ascrivibili alla presenza della Facies argillitiche e arenacee del Flysch di Teramo.

Per una visione completa d'insieme, le due sezioni A-A' e B-B', sono state infine poste in continuità nella tavola 04.

Tomografia elettrica 2D - Sezione B-B' - Array Polo-dipolo - Wenner - Schlumberger - Dipolo-dipolo



Sezioni A-A' e b-B' in continuità

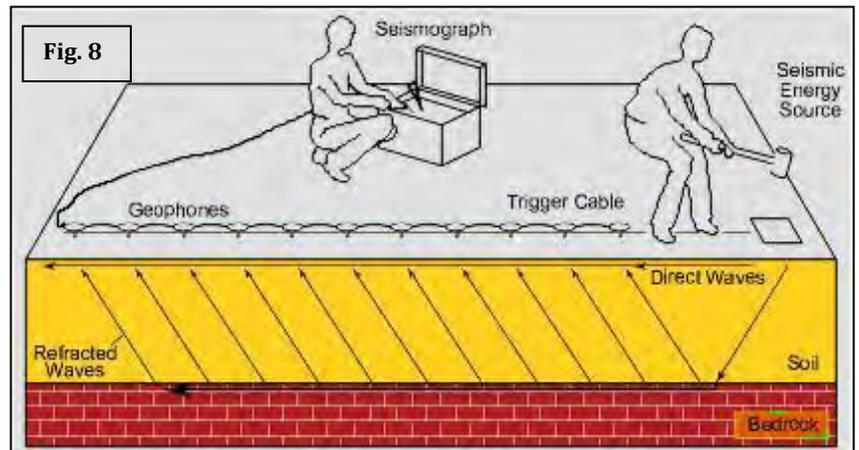


TOMOGRAFIA SISMICA

8.0 METODOLOGIA D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 8**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.



Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: A/D Conversion: 24 bit; Dynamic Range: 144 dB; Distortion: 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; Bandwidth: 1.75 Hz to 20 kHz; Common Mode Rejection: > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; Crosstalk: -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; Noise Floor: 0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz; Stacking Trigger Accuracy: 1/32 of sample interval; Maximum Input Signal: 2.8 VPP; Input Impedance: 20 kOhm, 0.02 uf; Preamplifier Gains; Anti-alias Filters: -3 dB at 83% of Nyquist frequency; Sample Interval: 0.02 to 16.0 ms; Record Length: 16,000 samples; Acquisition and Display Filters: *LowCut, Notch, HighCut*; Data Formats: SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5-10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme.

9.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ED ANALISI DEI RISULTATI – TOMOGRAFIA SISMICA

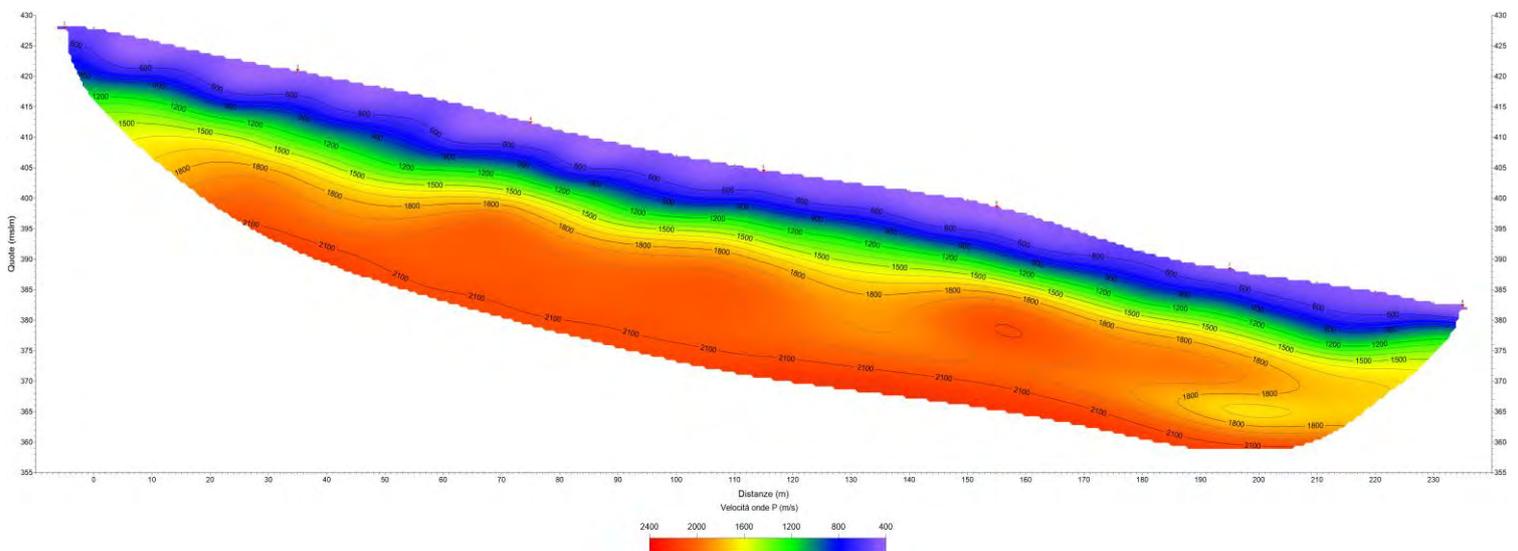


Fasi di acquisizione tomografia sismica 1-1'.

I risultati ottenuti dalla tomografia sismica eseguita in onde P, ubicata a monte dell'intera area di indagine (in corrispondenza dell'inizio della sezione geoelettrica A-A'), mostrano materiali superficiali a più bassa velocità lungo tutto il versante entro i primi 10 m dal piano campagna; tali materiali, analogamente ai risultati della tomografia geoelettrica A-A', potrebbero essere collegati a materiali in frana.

Al di sotto, è evidente il raffittimento delle curve di isovelocità, indice del passaggio a materiali più competenti, in questo caso riconducibili probabilmente alla Facies argillitica del Flysch di Teramo; in profondità, contrariamente alla tomografia geoelettrica A-A', non si riesce ad apprezzare il passaggio ai materiali più arenacei, motivo per cui l'indagine geoelettrica, in tal contesto, risulterebbe la più idonea.

Tomografia sismica 1-1'



10.0 ELABORAZIONE MASW

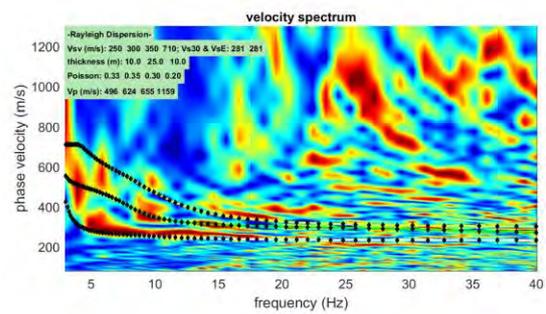
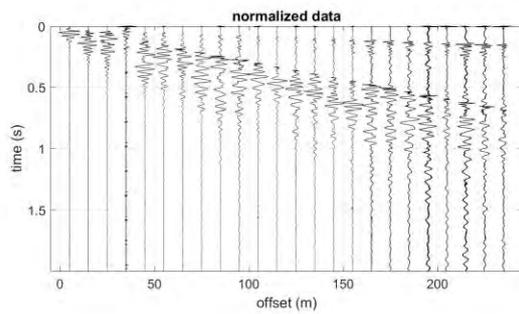
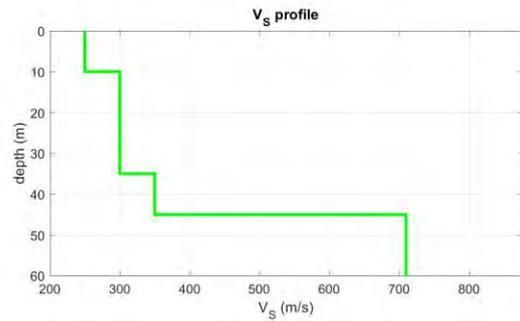
Infine, lungo la sezione di tomografia sismica 1-1' eseguita in onde P, è stata effettuata un'elaborazione tramite metodologia MASW.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio orizzontali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo *attivo* e metodo *passivo* (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo *attivo* utilizzato nel presente lavoro le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo *passivo* lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30 m-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo.

Il software utilizzato nel presente lavoro è il WIN-MASW 2018 Academy della EliaSoft.

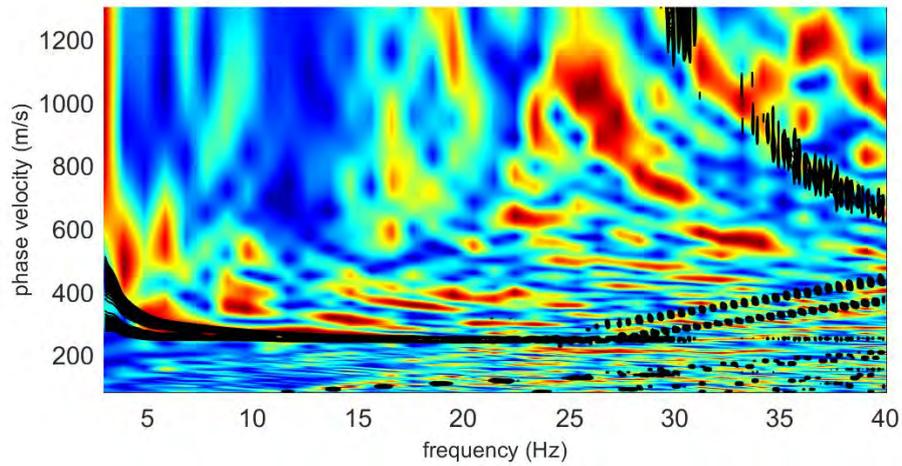
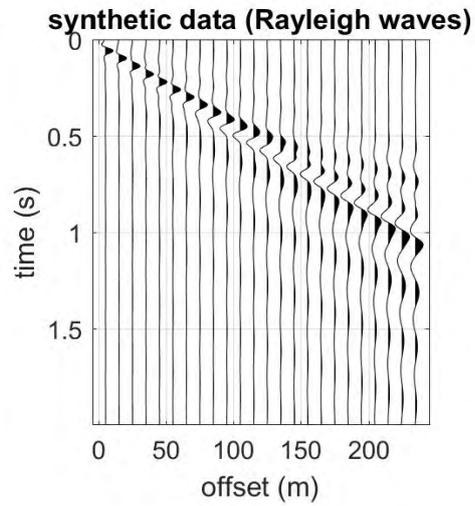
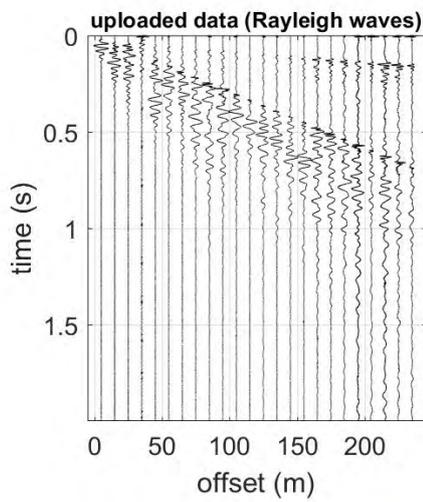
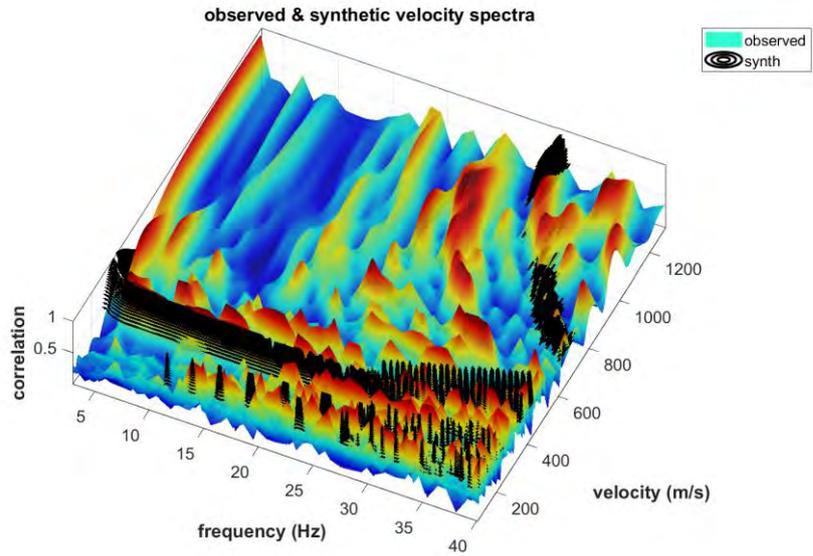
Di seguito vengono riportati i risultati dell'elaborazione MASW effettuata sia a 24 che a 12 canali:

Elaborazione con 24 canali

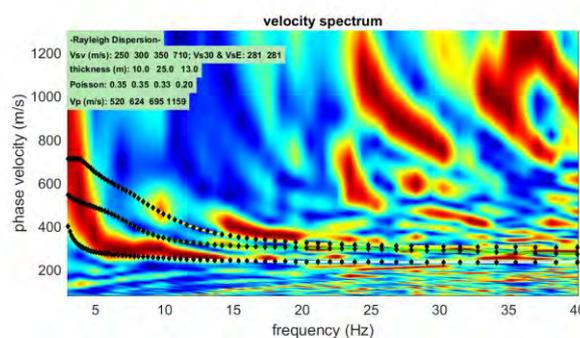
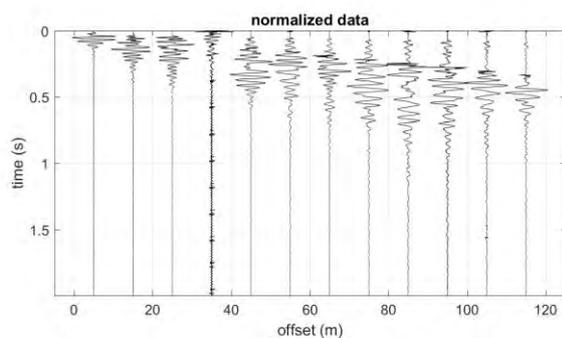
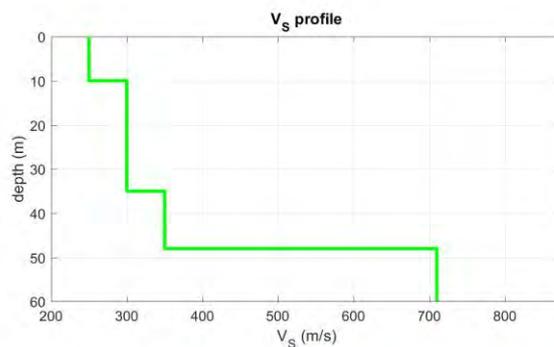


Modello stratigrafico

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	250	10	10
2	300	25	35
3	350	10	45
4	710	0	0

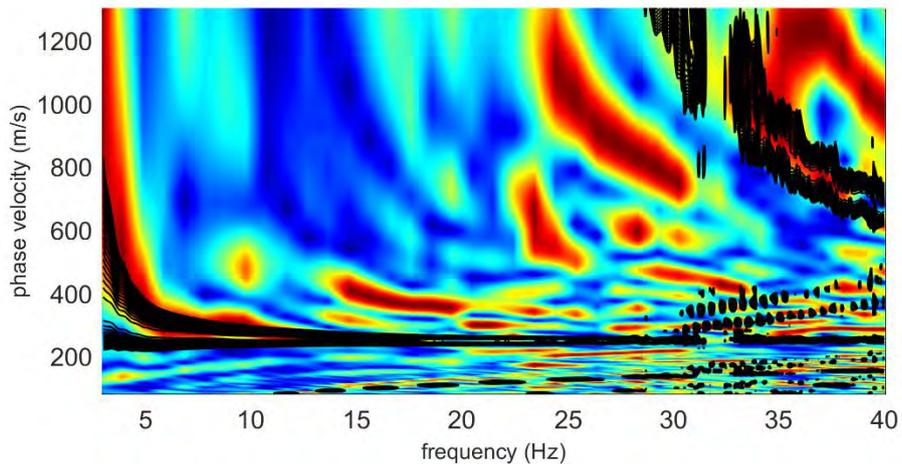
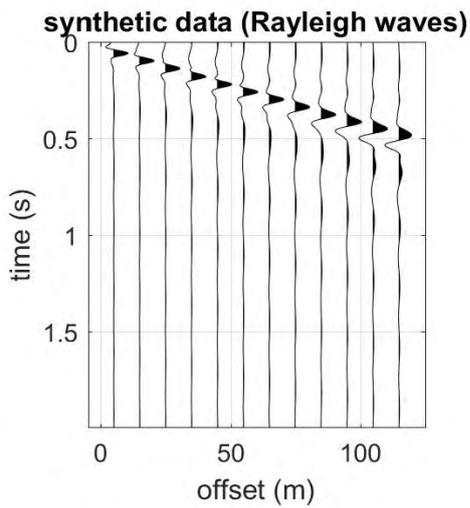
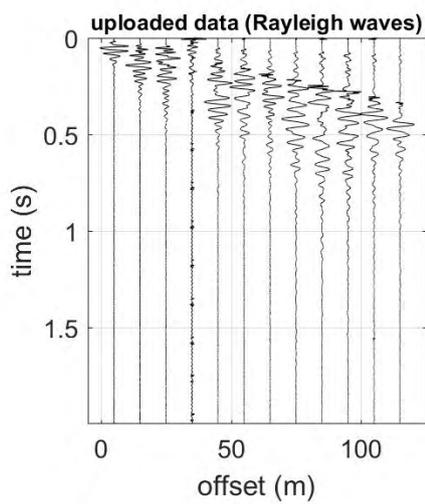
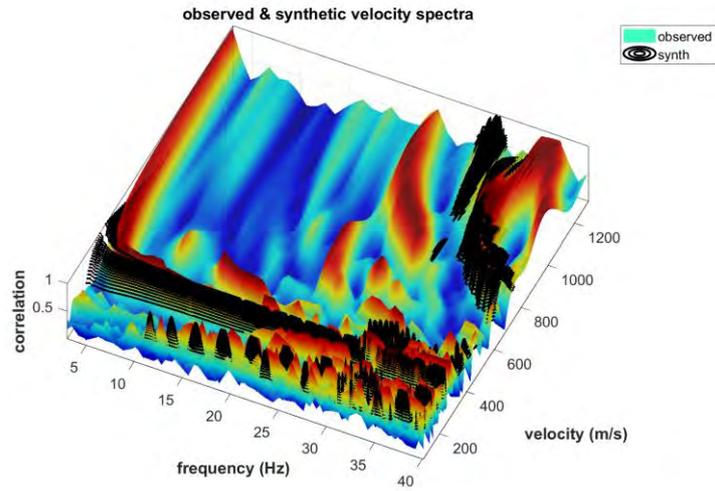


Elaborazione con 12 canali



Modello stratigrafico

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	250	10	10
2	300	25	35
3	350	13	48
4	710	0	0



Arezzo, li 26/05/2023

TRIGEO s.n.c.
 di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
 Via Mazzini n°18 - 52011 - SOC (AR)
 P.IVA 02064110518
 Tel/Fax: 0576.284500 - 055.9062212
 Cell: 339.2288117 - 339.7219920
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

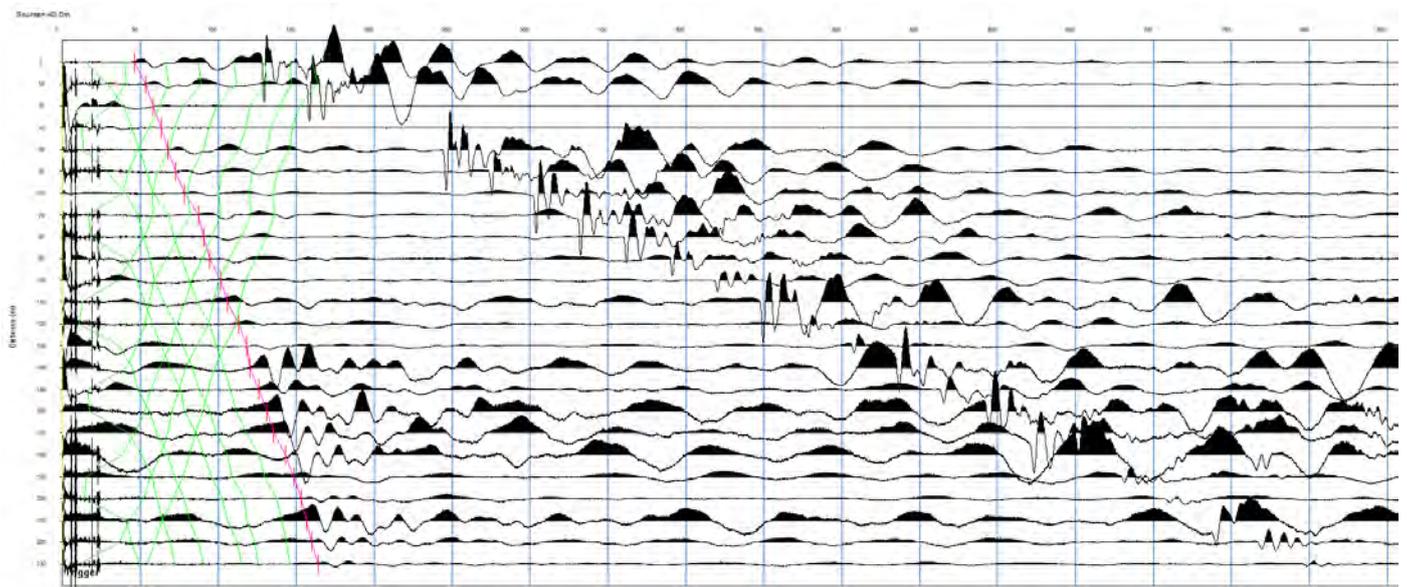
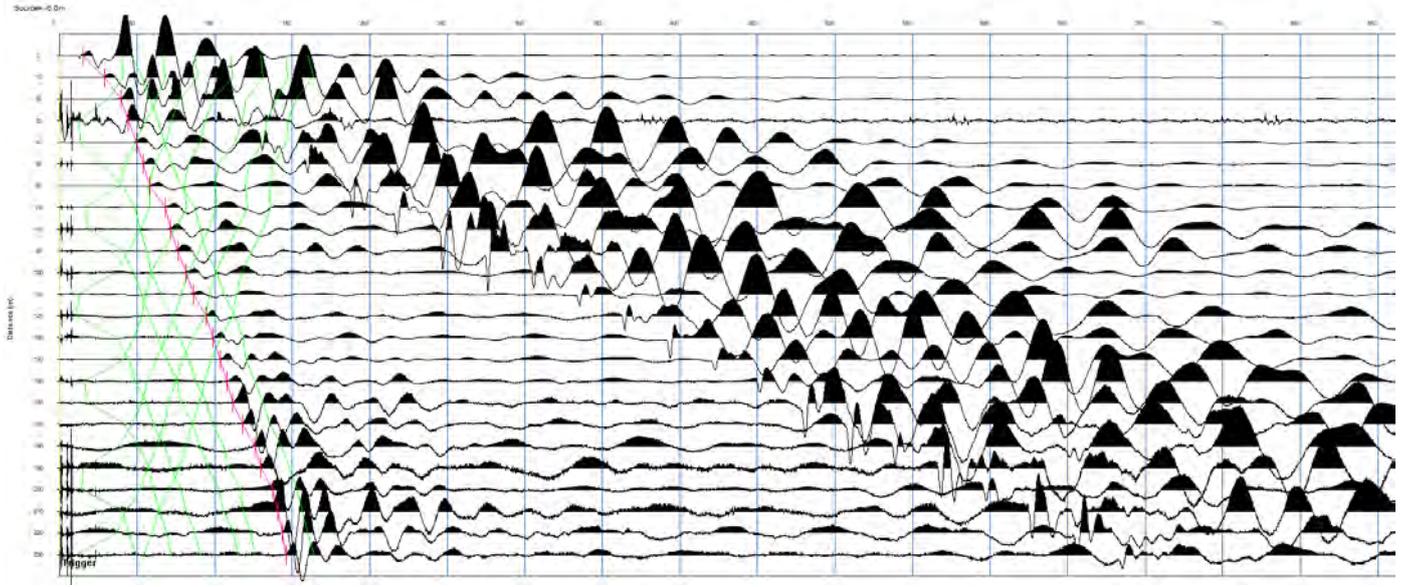
ORDINE DEI GEOLOGI DEL TIRRENO
 Dott.
 GIANVINI
 LEONARDO MARIA
 Geologo
 A. P. n. 1761

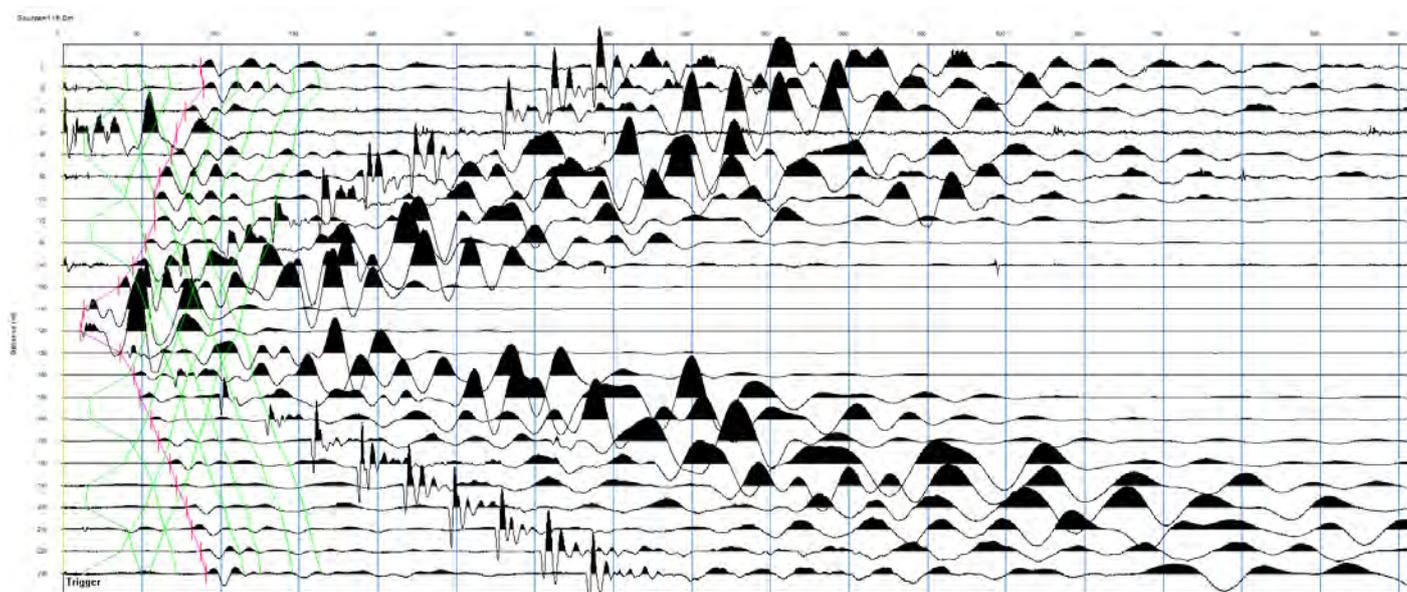
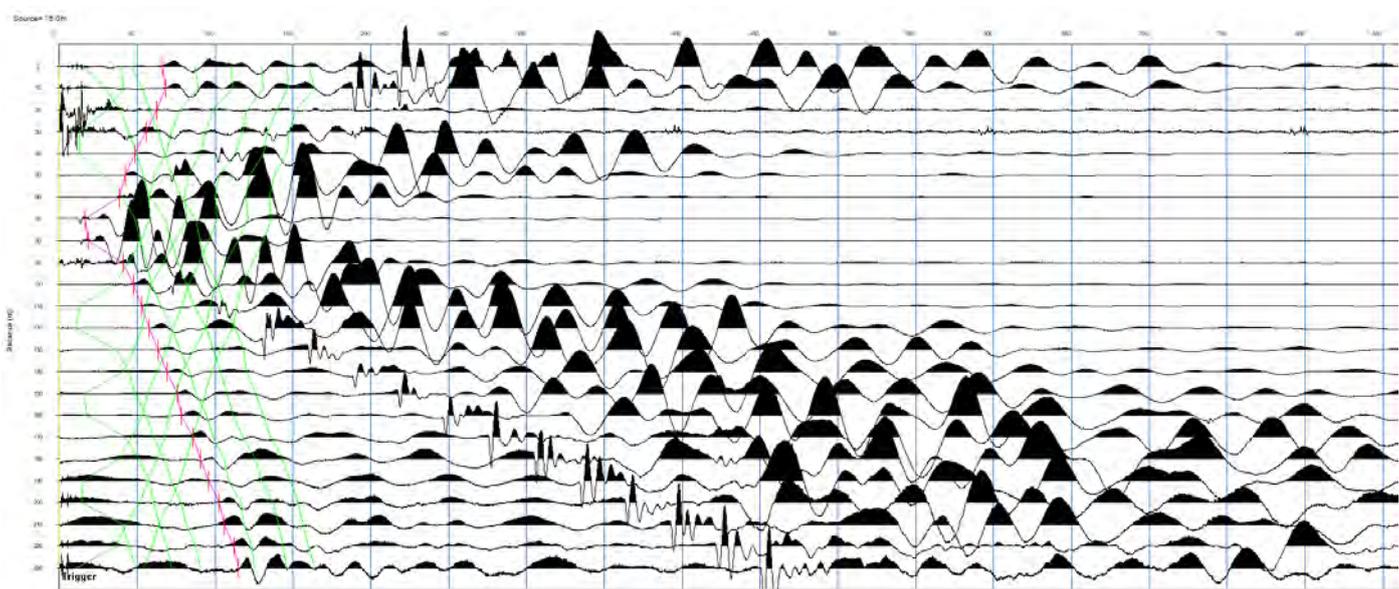
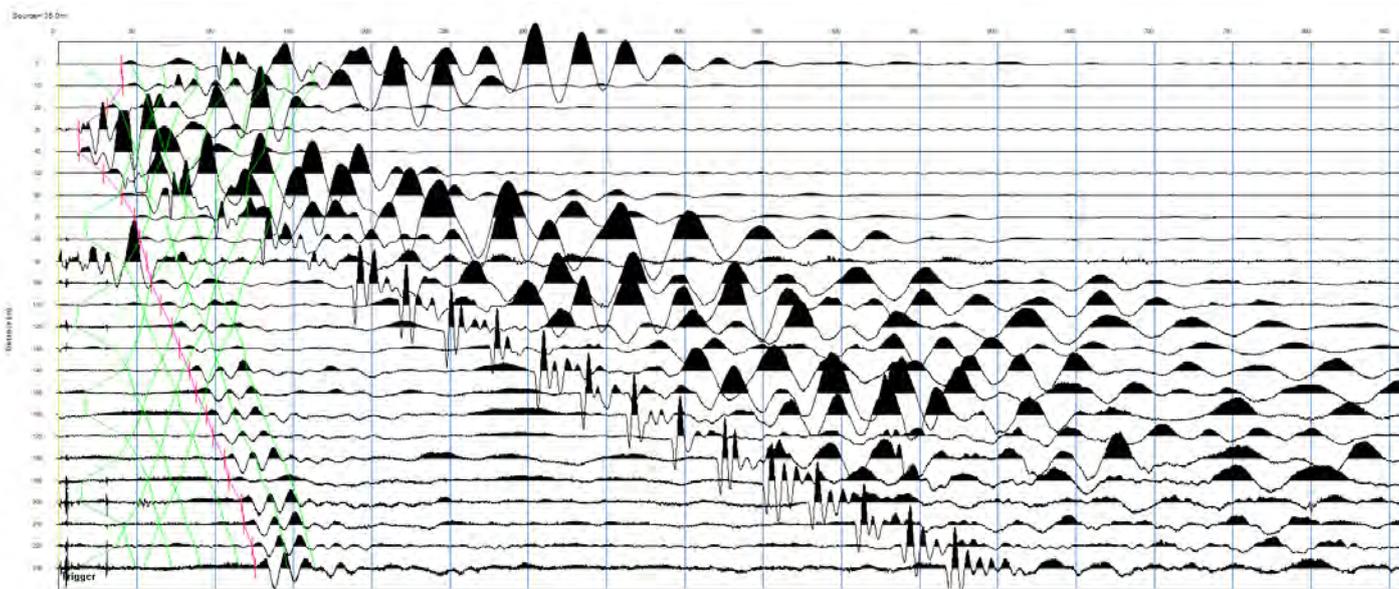
ALLEGATI

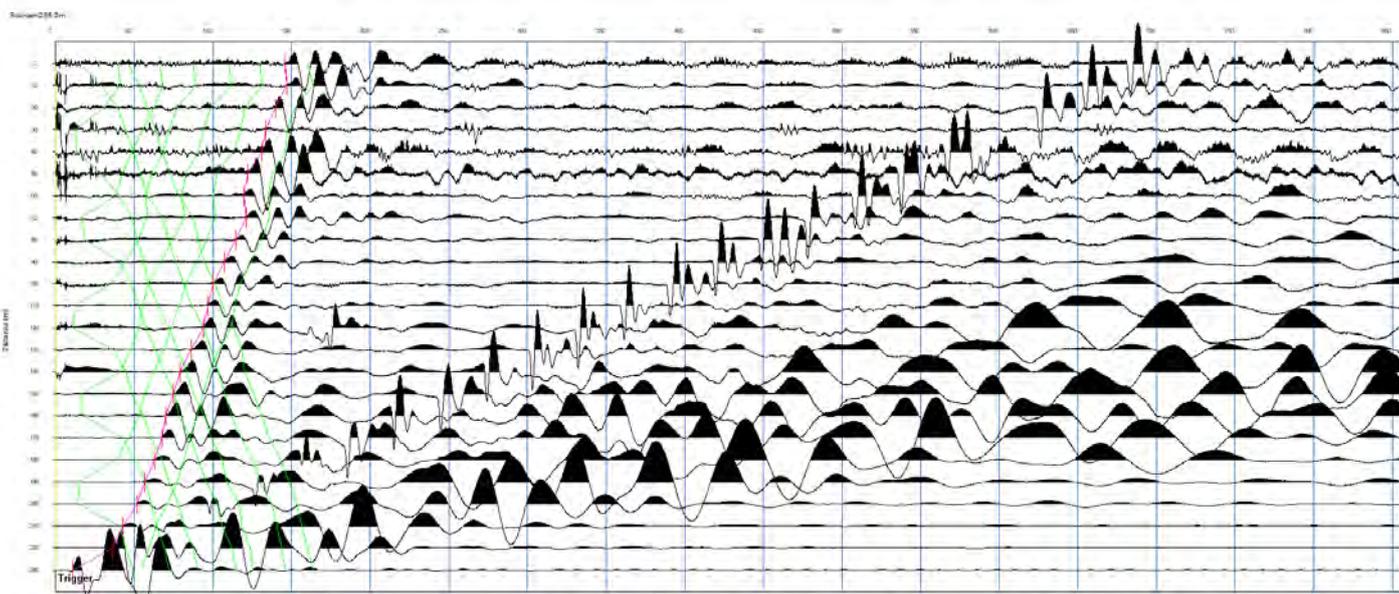
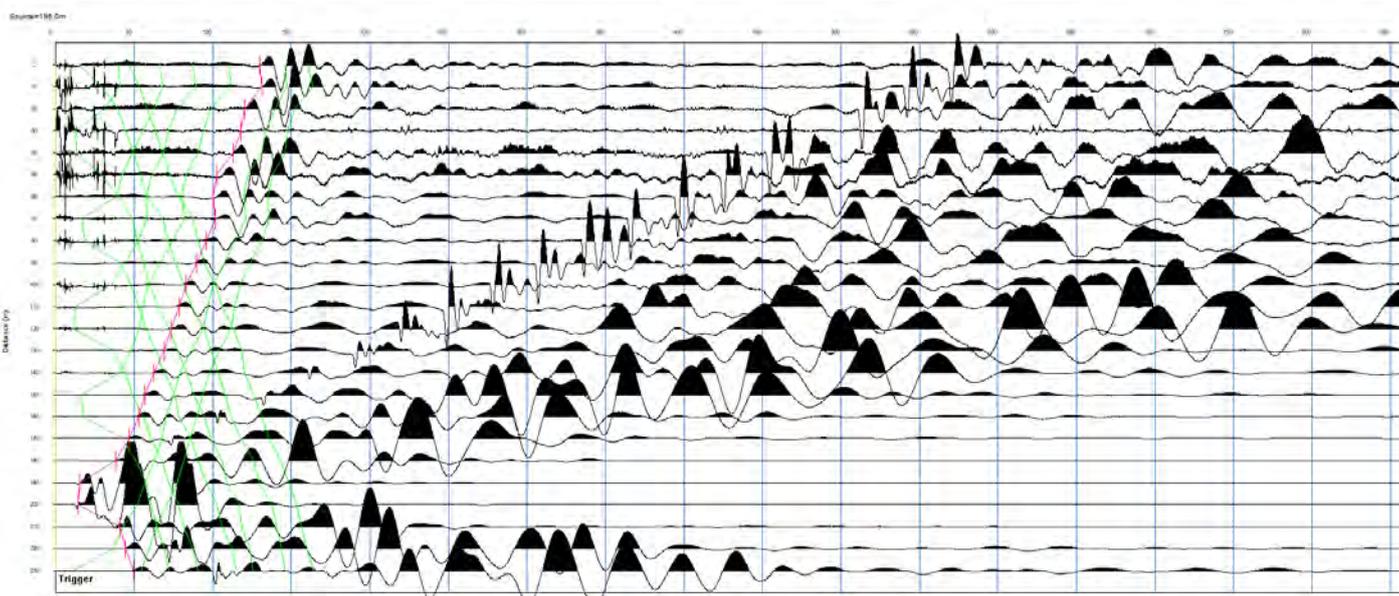
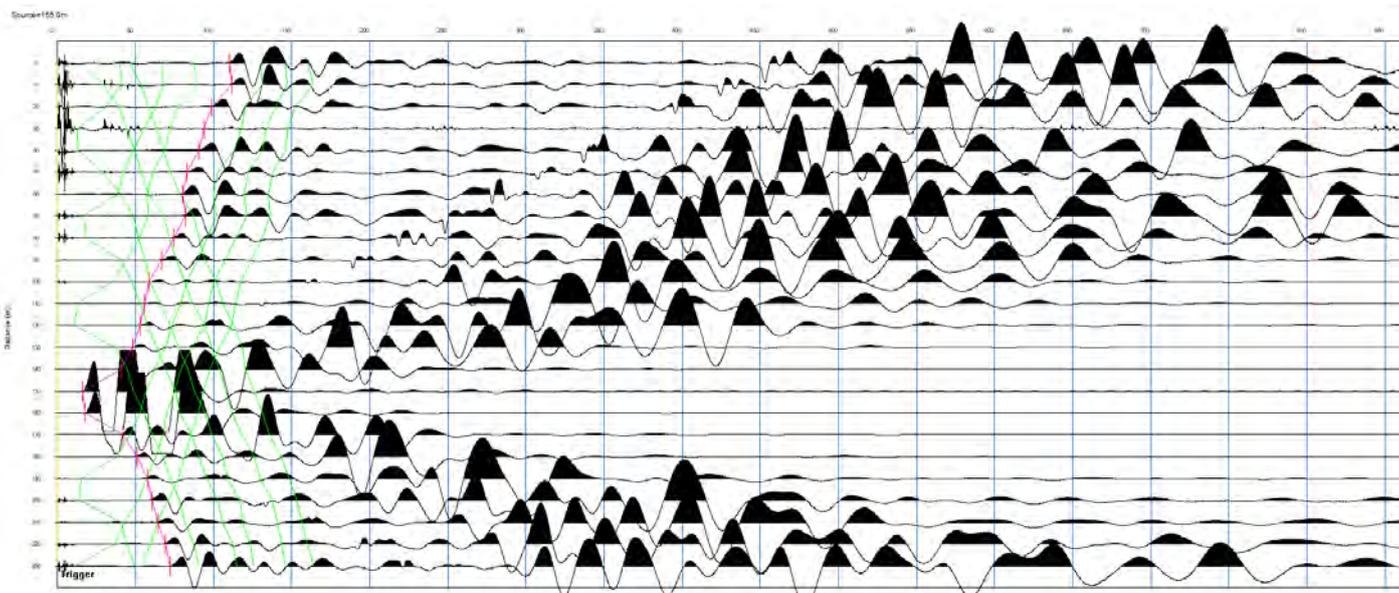
REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA

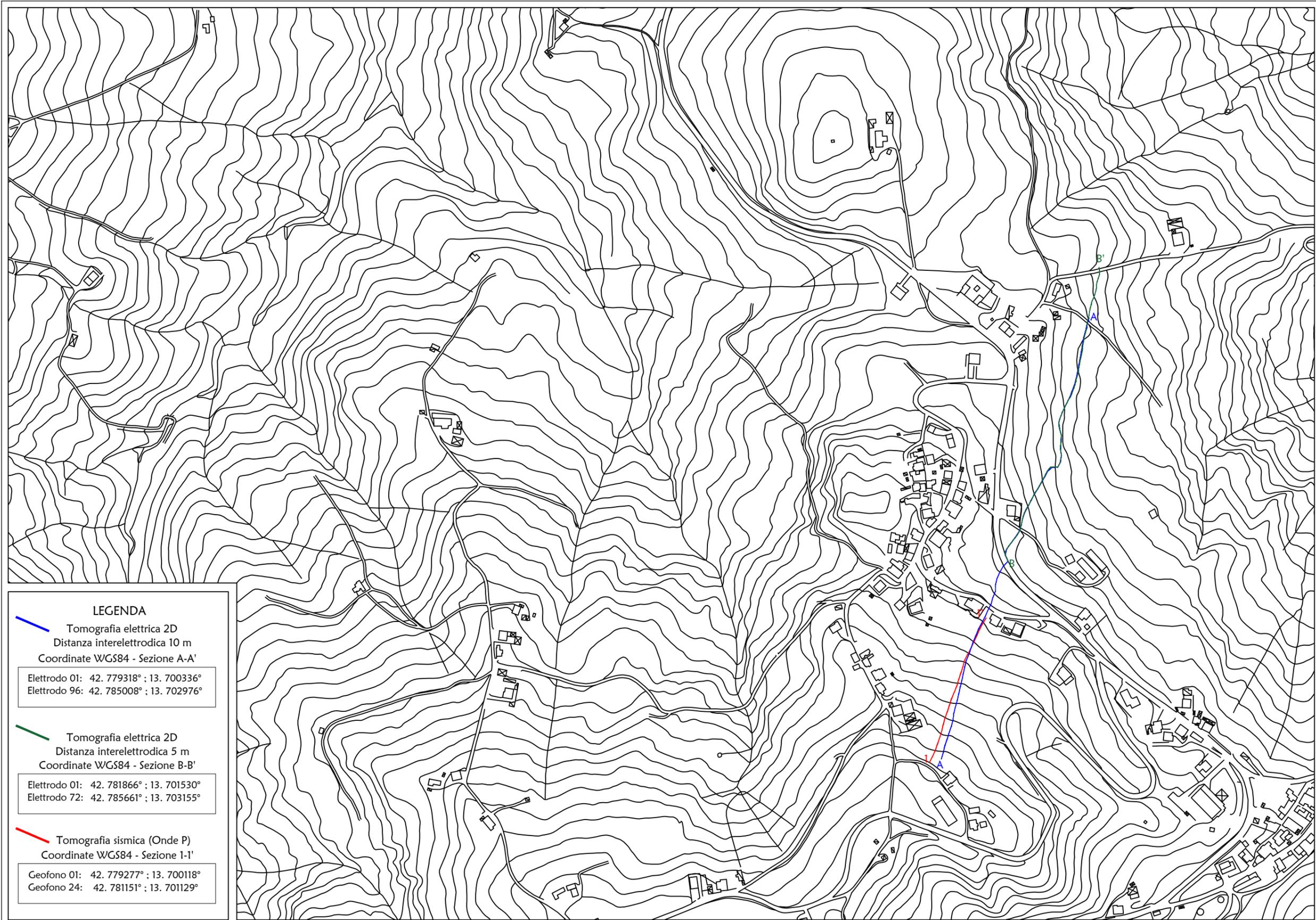
Località Borrano - Comune di Civitella del Tronto (TE)

ONDE P









LEGENDA

 Tomografia elettrica 2D
Distanza interelettrodo 10 m
Coordinate WGS84 - Sezione A-A'

Elettrodo 01: 42. 779318° ; 13. 700336°
Elettrodo 96: 42. 785008° ; 13. 702976°

 Tomografia elettrica 2D
Distanza interelettrodo 5 m
Coordinate WGS84 - Sezione B-B'

Elettrodo 01: 42. 781866° ; 13. 701530°
Elettrodo 72: 42. 785661° ; 13. 703155°

 Tomografia sismica (Onde P)
Coordinate WGS84 - Sezione 1-1'

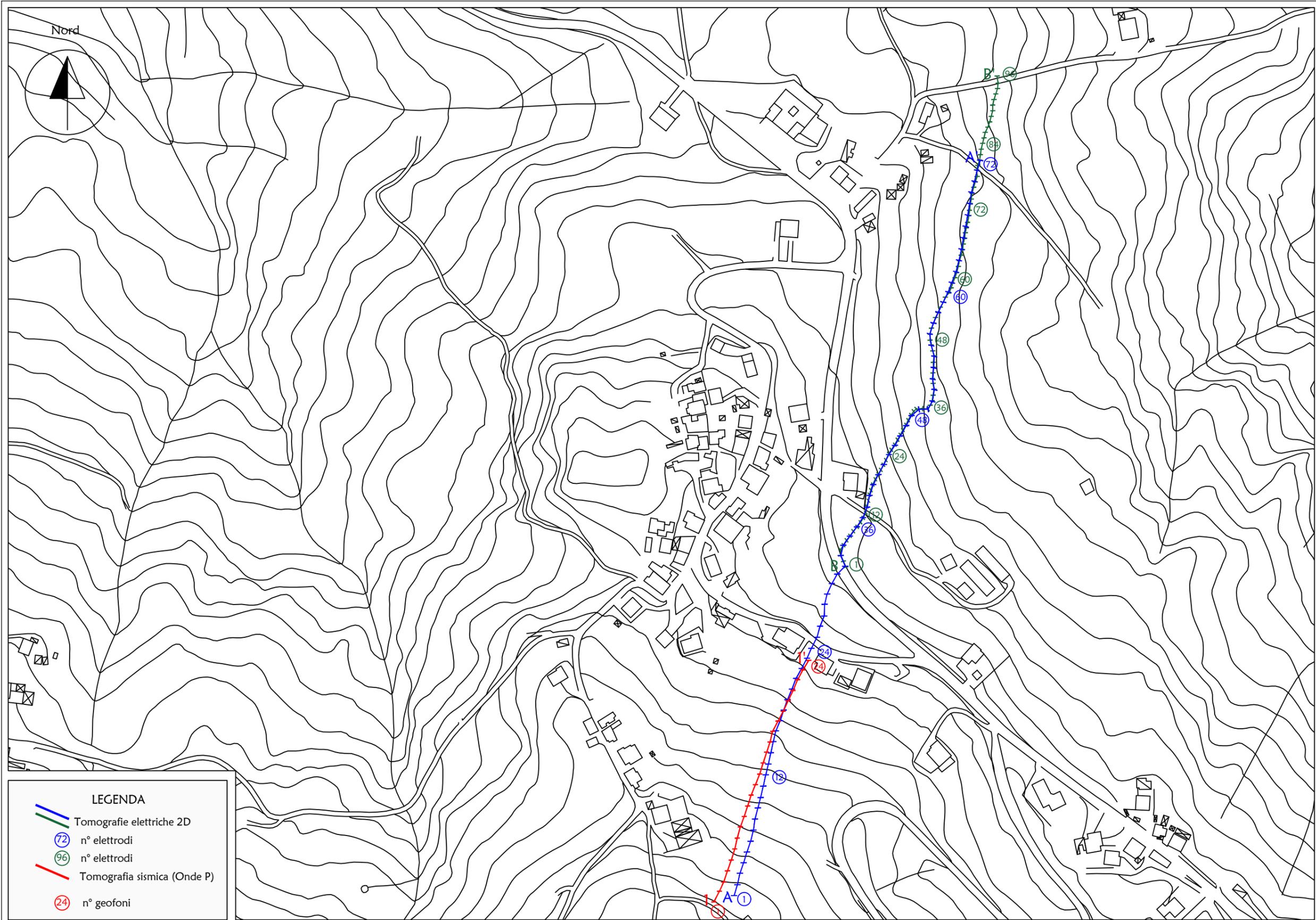
Geofono 01: 42. 779277° ; 13. 700118°
Geofono 24: 42. 781151° ; 13. 701129°

Scala 1:5000

Maggio 2023

Tavola 01 - Planimetria generale - Località Borrono - Civitella del Tronto (TE)

TRI+GEO



LEGENDA

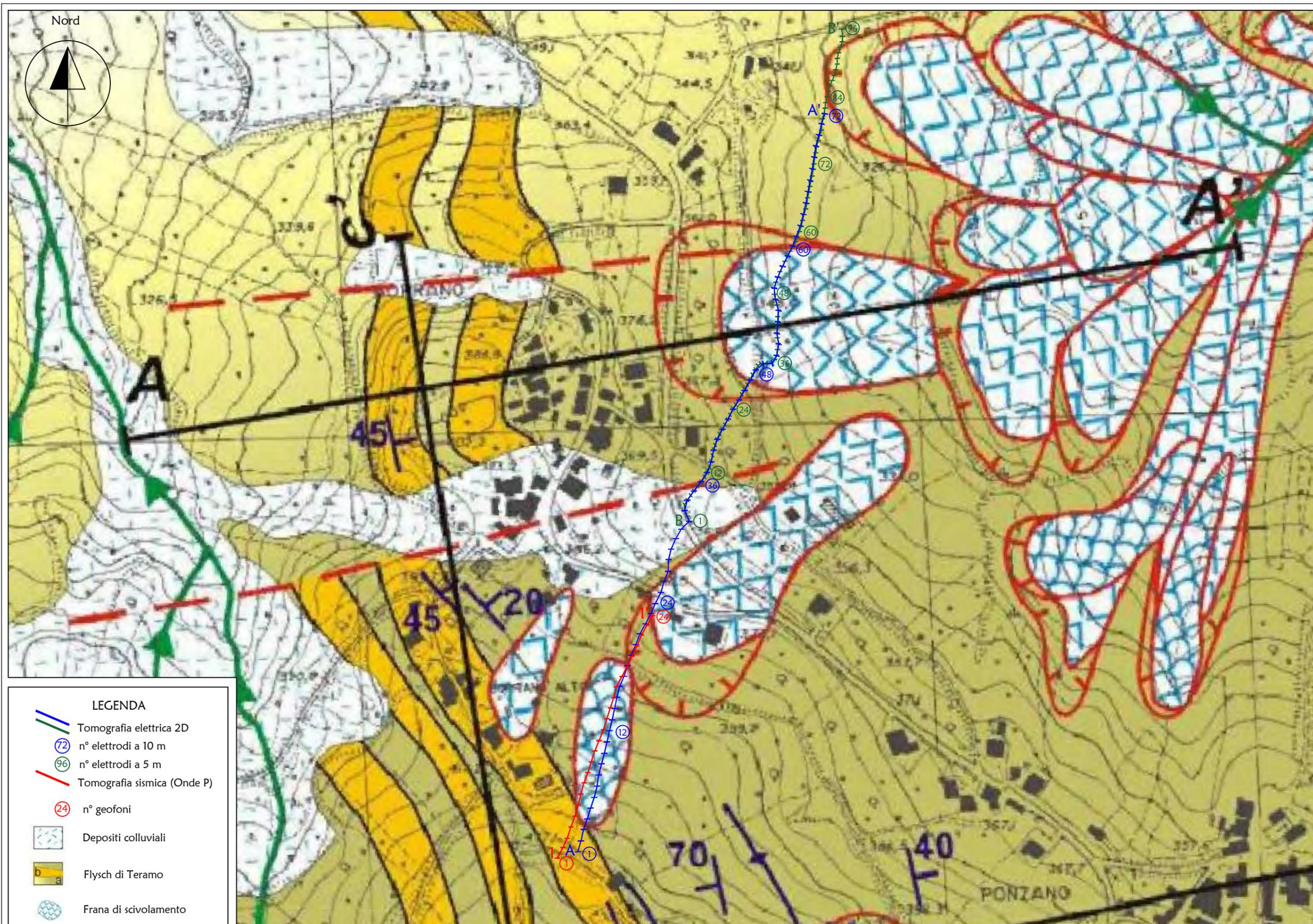
- Tomografie elettriche 2D
- (72) n° elettrodi
- (96) n° elettrodi
- Tomografia sismica (Onde P)
- (24) n° geofoni

Scala 1:3000

Maggio 2023

Tavola 02 - Planimetria di dettaglio - Località Borrano - Civitella del Tronto (TE)





Nord



LEGENDA

-  Tomografia elettrica 2D
-  n° elettrodi a 10 m
-  n° elettrodi a 5 m
-  Tomografia sismica (Onde P)
-  n° geofoni
-  Depositi colluviali
-  Flysch di Teramo
-  Frana di scivolamento

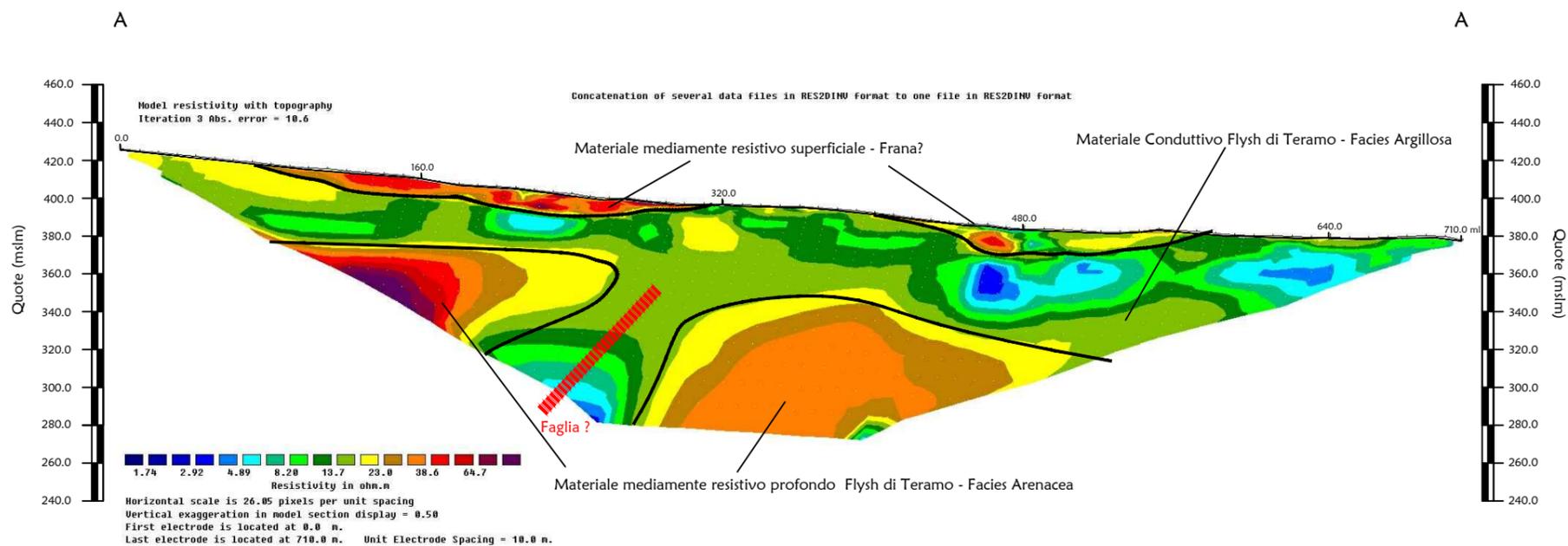
Scala 1:3000

Maggio 2023

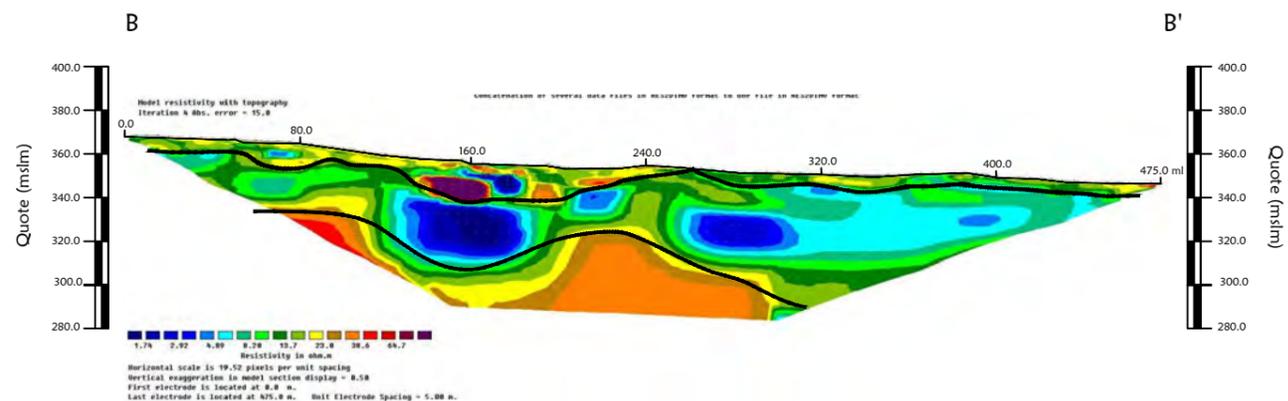
Tavola 03 - Planimetria di dettaglio con Carta Geologica - Località Borrano - Civitella del Tronto (TE)

TRI+GEO

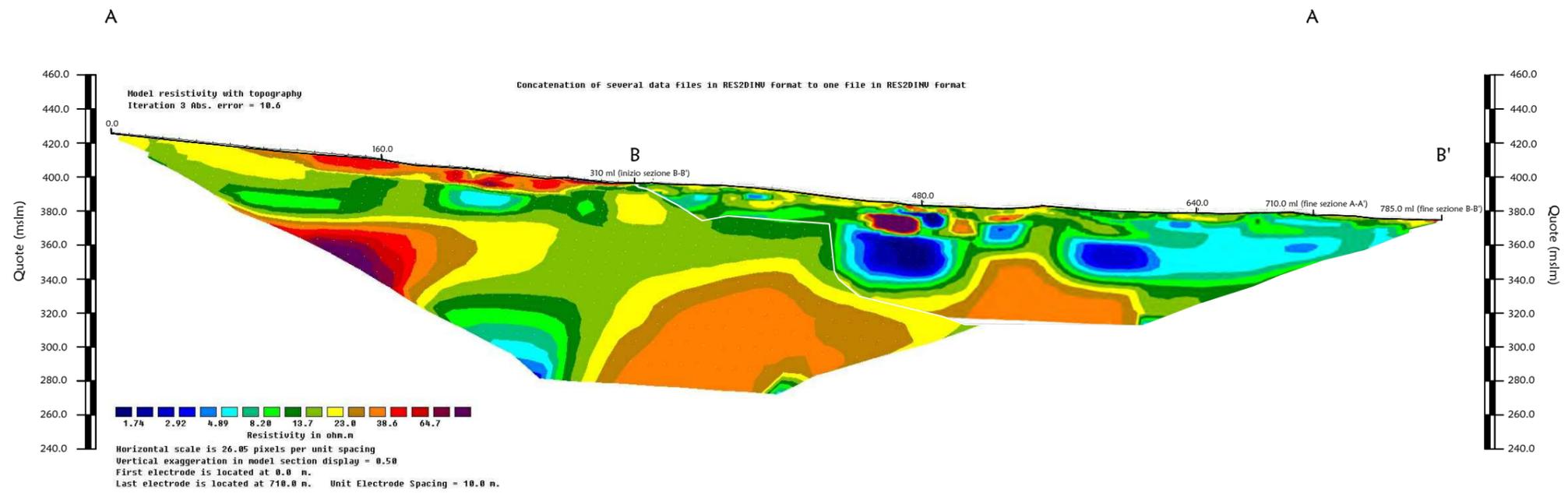
Tomografia elettrica - Sezione A-A' - Array Polo-dipolo - Wenner - Schlumberger - Dipolo-dipolo



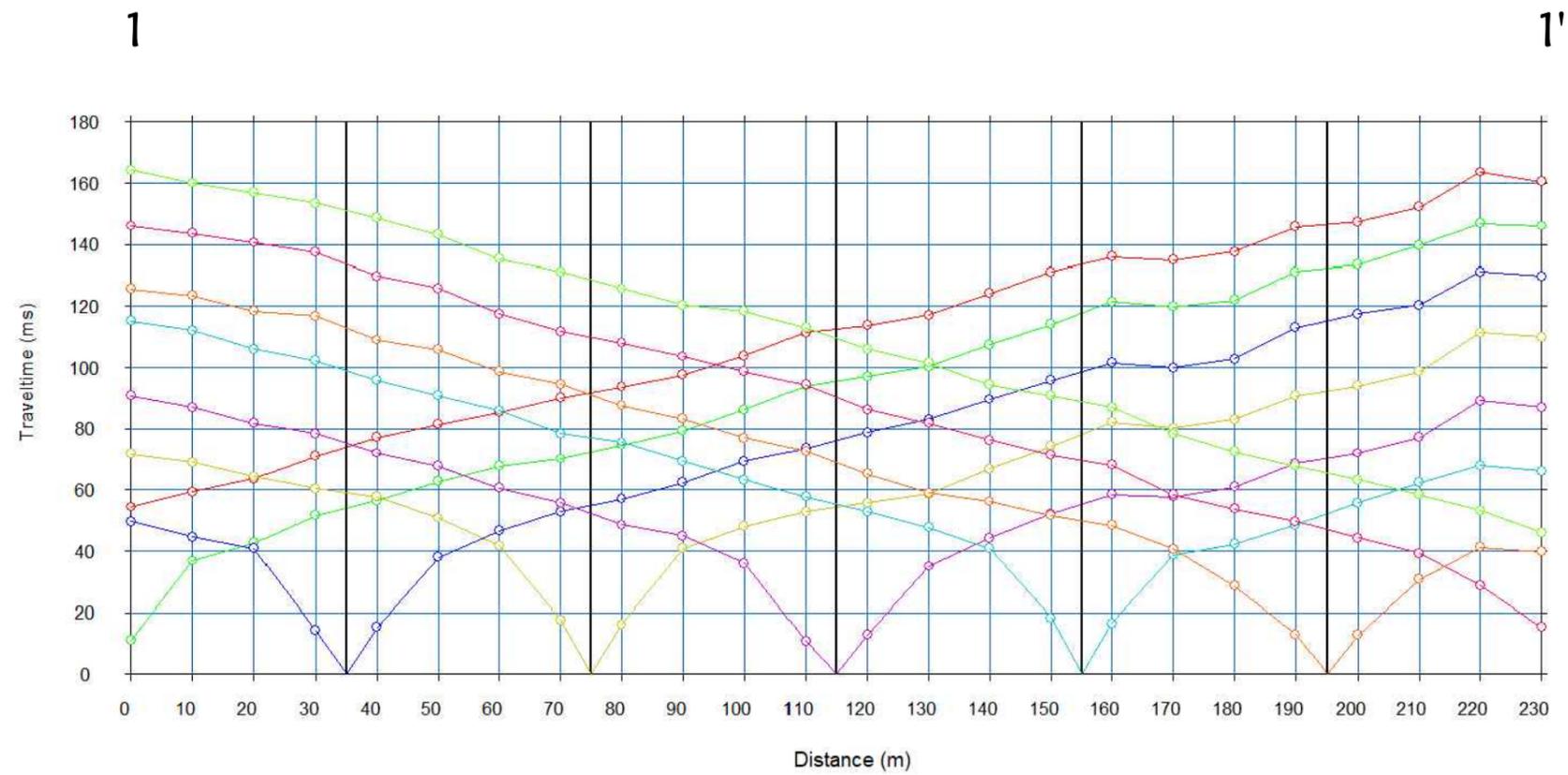
Tomografia elettrica 2D - Sezione B-B' - Array Polo-dipolo - Wenner - Schlumberger - Dipolo-dipolo



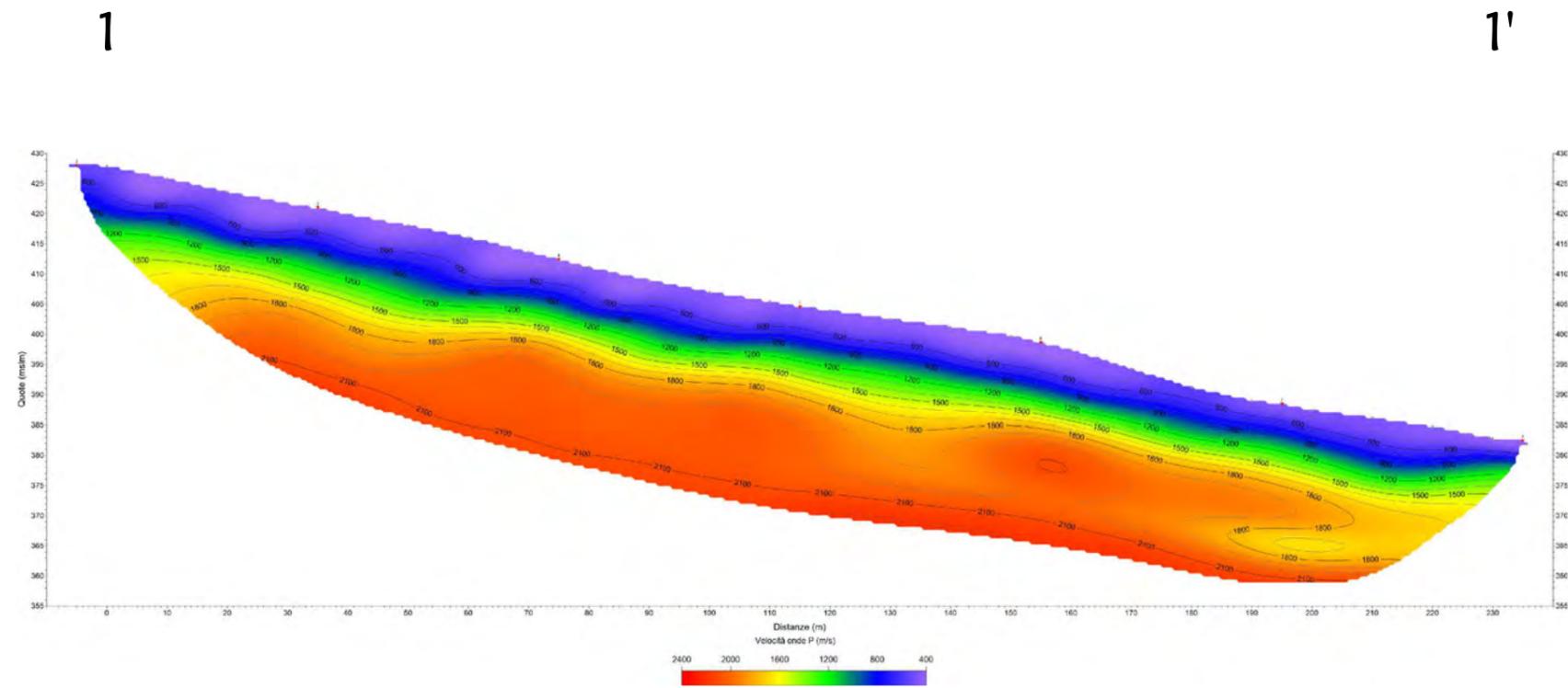
Tomografia elettrica - Sezione A-A' e B-B' in continuità - Array Polo-dipolo - Wenner - Schlumberger - Dipolo-dipolo



Tomografia sismica - Dromocrone - Onde P



Tomografia sismica - Sezione 1-1'





ALLEGATO - 4

Rapporto tecnico sulle indagini geofisiche.

Campagna d'indagini giugno 2023

COMUNE DI CIVITELLA DEL TRONTO

29 - GIUGNO - 2023

RELAZIONE TECNICA

**“INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE MEDIANTE TOMOGRAFIA
ELETTRICA 2D PROFONDA (ERT) ED ELABORAZIONE 3D”**

**CODICE CUP D73C23000520005
CODICE CIG ZBB3B17108**

LOCALITÀ BORRANO – CIVITELLA DEL TRONTO (TE)

COMMITTENTE:



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
G. D'ANNUNZIO CHIETI PESCARA



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE



GEOL. LEONARDO MARIA GIANNINI



WWW.TRIGEO.IT



INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI	4
<i>TOMOGRAFIA ELETTRICA ERT</i>	5
2.0 METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
3.0 ARRAY DI TIPO “WENNER-SCHLUMBERGER”	8
4.0 ARRAY DI TIPO “POLO-DIPOLO”	9
5.0 ARRAY DI TIPO “DIPOPLO-DIPOLO”	10
6.0 “PROCESSING” DEI DATI TRAMITE RES2DINV	11
7.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ED ANALISI DEI RISULTATI – TOMOGRAFIE ELETTRICHE 2D-3D	13
ALLEGATI	26

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite nel mese di **Giugno 2023** all'interno di un'area ubicata in **Località Borrano nel Comune di Civitella del Tronto (TE)**(Fig.1).



Figura 1: Aree d'intervento: Località Borrano – Civitella del Tronto (TE).

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse e a seguito delle indagini preliminari eseguite nel mese di Maggio 2023, è stata programmata una campagna di prospezioni geofisiche convenute con il tecnico incaricato (**Prof. Sciarra**) ed eseguite nell'area indicata dalla committenza, in modo da valutare le caratteristiche litologiche dei terreni.

Sono state quindi eseguite 4 nuove sezioni di tomografia elettrica 2D, poste parallele tra loro e perpendicolarmente rispetto alla sezione A-A' eseguita in fase preliminare nel mese di maggio, in modo da caratterizzare i terreni in funzione dei valori di resistività; tale geometria ha permesso in fase di processing di realizzare un modello 3D di resistività.

1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Per l'indagine di tomografia elettrica sono state eseguite 4 linee: le sezioni 1-1',2-2', 3-3' e 4-4' rispettivamente da **590 ml (sez. 1-2-3)** e **550 ml (sez. 4)**, con spaziatura interelettrodica pari a **10 m**.

L'acquisizione è stata effettuata tramite tre differenti tipi di array che hanno fornito ottimi risultati sia in senso orizzontale che in quello verticale: **Dipolo-Dipolo**, **Wenner-Schlumberger** e **Polo-dipolo**; Solo per la sezione 3-3' non è stato eseguito l'array Polo-Dipolo poiché logisticamente non era possibile ubicare il polo.

Nella presente relazione per completezza dei risultati è stata inserita anche la sez. A-A' (eseguita a Maggio 2023).

Nella **Tavola 01**, viene riportata l'ubicazione delle 5 tomografie elettriche in scala 1:5.000, con le relative coordinate WGS84.

Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento generale in scala 1: 3.000 con l'ubicazione degli elettrodi.

Nella **Tavola 03**, viene riportato un inquadramento di dettaglio in scala 1: 3.000 con l'ubicazione degli elettrodi, riportati su Carta Geologica.

Nelle **Tavole 04-05-06-07-08** allegate in scala 1:2.000 vengono riportate le 5 sezioni di tomografia elettrica (A-A' e 1-4) con array di tipo Wenner-Schlumberger, polo-dipolo che risultano essere i più significativi.

Infine nelle **Tavole 09-15** sono riportati i risultati dell'elaborazione 3D partendo dalle sezioni ERT 2D acquisite.

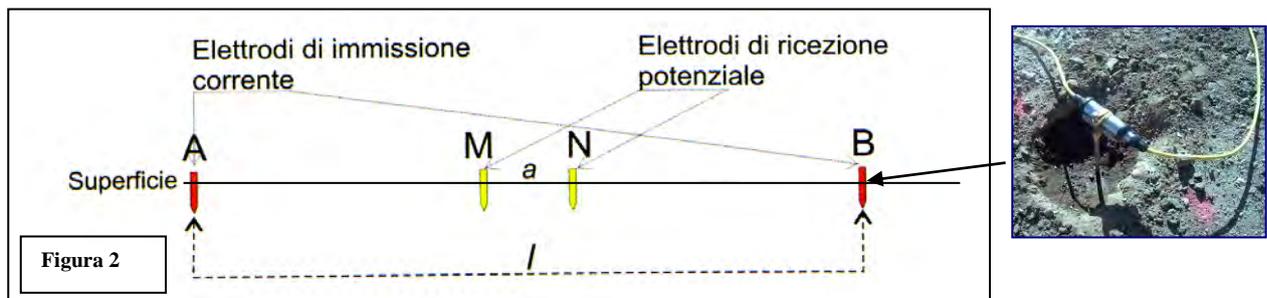
Di seguito vengono descritte le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

TOMOGRAFIA ELETTRICA ERT

2.0 METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

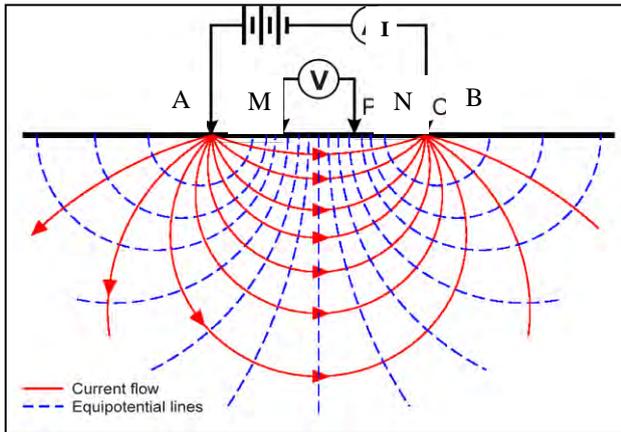
Il metodo geoelettrico nelle indagini geofisiche sfrutta le proprietà di rocce, sedimenti (terre) di condurre in modo diverso la corrente elettrica. Il parametro che viene misurato è la resistività elettrica che dipende dalla porosità, dalla permeabilità e dal contenuto ionico dei fluidi di ritenzione.

La tomografia elettrica rappresenta un'evoluzione recente dei sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), ed è funzionale grazie ai notevoli progressi dell'elettronica digitale e della modellistica geofisica. A seconda della distanza reciproca tra gli elettrodi che immettono la corrente e gli altri che la misurano, si possono investigare profondità sempre maggiori di terreno. Vengono usati *array* diversi a seconda della problematica da indagare, in generale i più utilizzati sono: *Schlumberger*, *Wenner*, *dipolo-dipolo* e *polo-dipolo*. L'esecuzione di un profilo tomografico prevede l'installazione di una serie di picchetti metallici (elettrodi), che vengono utilizzati tanto come elettrodi di corrente che di potenziale (**Figura 2**).

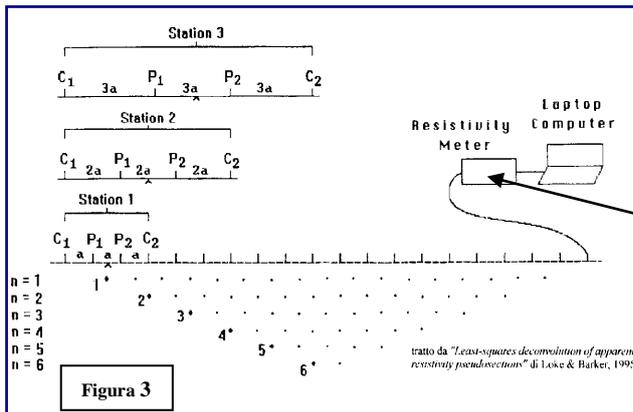


Tramite gli elettrodi **A - B** si immette nel terreno una corrente continua I_c , mentre tramite gli elettrodi **M-N** viene rilevata la differenza di potenziale V che si instaura. Conoscendo I_c e misurando V si calcola la resistività elettrica relativa alla configurazione elettrodica utilizzata, usando la formula:

$$\rho_a = \frac{\pi(l_{(A,B)} / 2)^2 - (a_{(M,N)} / 2)^2}{a_{(M,N)}} \cdot \frac{V}{I_c}$$



Spostando lateralmente il dispositivo elettronico (M-N) si rilevano le variazioni orizzontali della resistività e con il progressivo incremento della distanza che intercorre tra le due coppie di elettrodi (A-B) si esplorano strati via via più profondi, il risultato è una sezione bidimensionale in profondità (Fig. 3).



Dato che il caso di un sottosuolo omogeneo può ritenersi solo teorico, i valori di resistività rilevati sono valori di resistività “apparente” (ρ_a), influenzati e mediati sull'intero spessore indagato. La resistività apparente si misura in $\Omega \cdot m$ (Ohm per metro lineare) ed esprime il valore della resistività calcolato con una certa configurazione geometrica ed è dipendente dai valori di resistività dei singoli strati interessati dalla corrente immessa.

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata, nel caso specifico si è trattato di un georesistivimetro SYSCAL Pro con 96 elettrodi e 10 canali le cui caratteristiche tecniche vengono qui riportate (Fig. 4).



SYSCAL Pro SPECIFICATIONS		
<p>TRANSMITTER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Max voltage: 800V in switch mode - Max voltage: 1 000V in manual mode - Max current: 2.5A, typ. accuracy 0.2% - Max power : 250W with internal DC/DC converter and 12V external battery; 1200W with external AC/DC and Motor Gene. - Option 25mA max for readings on samples - Pulse duration: 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 4s, 8s - Internal 12V, 7Ah battery, plug for ext. batt. 	<p>RECEIVER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automatic ranging, 10 input channels - Input impedance: 100 Mohm - Max voltage channel 1: 15V - Max voltage sum of channel 2 to 10: 15V - Protection up to 1 000V - Typ accuracy: 0.2%, resolution: 1 microV - Digital rejection better than 120 db at power lines 50 and 60 Hz - Stacking process, SP linear drift correction - Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable), 	<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memory: 40 000 readings - USB & SD card link - GPS input for coordinates - Fiber glass casing, weather proof - Temperature range: -20 to +70°C - SYSCAL Pro Switch 48: 31x23x36cm, - Weight: 13kg, Cable w/ 24 take-out: 23kg

Figura 4: Syscal Pro– 96 Elettrodi 10 Canali.

3.0 ARRAY DI TIPO “WENNER-SCHLUMBERGER”

L'array di tipo “Wenner-Schlumberger” prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ad una distanza fissa (a) sempre nel centro dello stendimento elettrodo.

Nella prima misura gli altri due elettrodi di corrente A e B vengono allineati rispettivamente alla stessa distanza a , agli estremi opposti.

Via via che l'indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza degli elettrodi di corrente per multipli di a fino ad un valore compatibile con il numero degli elettrodi a disposizione (**Fig. 5**). In questo caso si introduce il fattore n , ovvero il rapporto tra A-M (o N-B) e M-N.

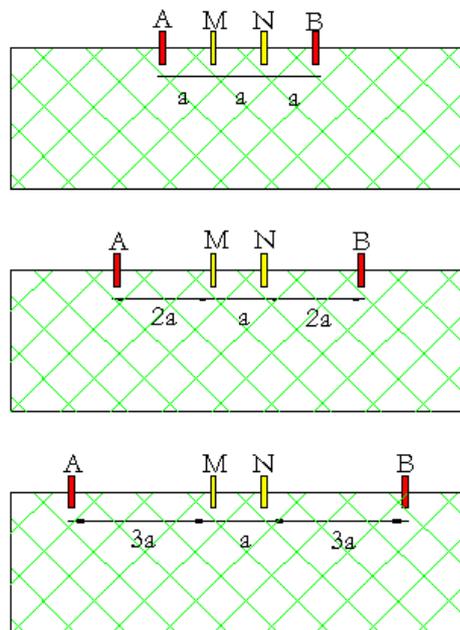


Fig. 5 – Geometria del metodo “Wenner-Schlumberger”.

4.0 ARRAY DI TIPO “POLO-DIPOLO”

Il dispositivo polo-dipolo presenta una migliore copertura orizzontale e raggiunge una profondità di investigazione maggiore rispetto al dispositivo Wenner-Schlumberger; Questo tipo di stendimento a differenza di quello esaminato sopra, non è simmetrico (**Fig. 6**).

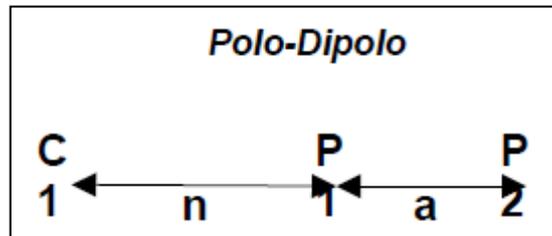


Fig. 6 – Geometria del metodo “Polo-Dipolo”.

Per eseguire le misure con il polo-dipolo è necessario posizionare l’elettrodo remoto (C2 o B).

La posizione dell’elettrodo remoto deve essere non inferiore a 5 volte la distanza massima tra C1 (A)-P1(M) per poter trascurare gli effetti dovuti alla vicinanza dell’elettrodo di corrente *remoto* rispetto ai dati di resistività valutati.

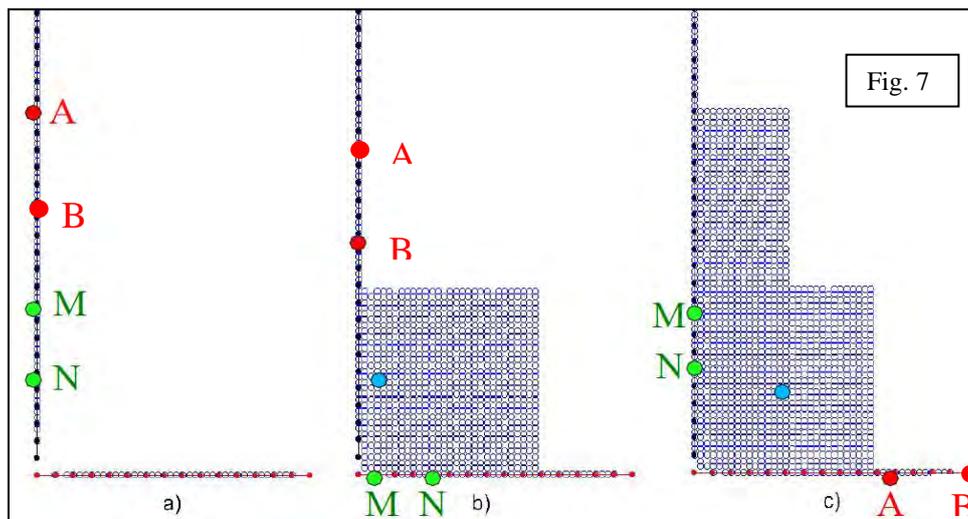
L’intensità del segnale diminuisce all’aumentare del fattore n. I valori di n massimi da utilizzare variano da 8 a 10. Infatti, per questi valori di n, l’intensità del segnale è molto bassa.

per poter raggiungere una maggiore profondità di investigazione è necessario aumentare la spaziatura tra P1(M)-P2(N), in quanto la profondità di investigazione effettiva del polo-dipolo diminuisce all’aumentare di n.

5.0 ARRAY DI TIPO “DIPOLO-DIPOLO”

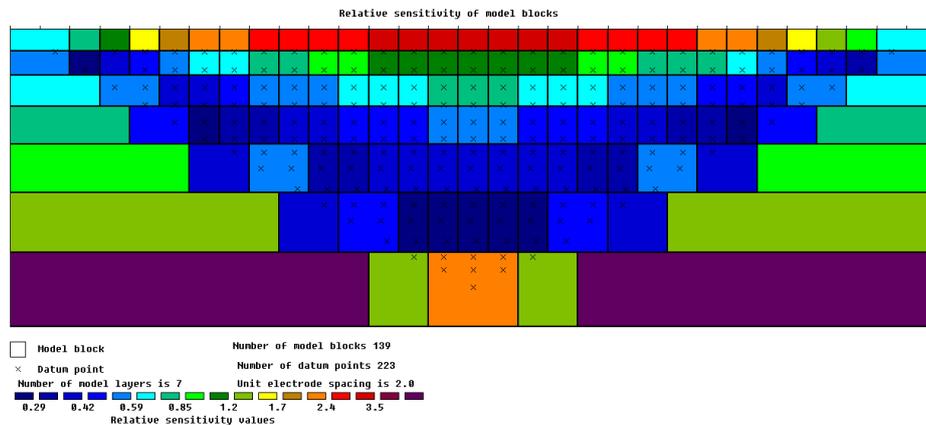
L'array di tipo “Dipolo Dipolo” risulta uno dei più usati nella tomografia elettrica, avendo un'alta sensibilità intorno agli elettrodi di potenziale M-N ed anche una buona accuratezza di indagine rispetto a strutture sepolte sia con una geometria verticale che orizzontale.

La configurazione geometrica di questo array prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ed i due di corrente A e B ad una distanza fissa (a) e di traslarli lungo lo stendimento elettrodico. Via via che l'indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza L. In questo caso si introduce il fattore L , ovvero il rapporto tra $AB/2$ e $MN/2$ (Fig.7).



6.0 “PROCESSING” DEI DATI TRAMITE RES2DINV

Nel presente lavoro è stata eseguita un’elaborazione 2D, mediante il software RES2DINV® (Geotomo Software®), che permette di ottenere un modello bidimensionale di resistività per i dati ottenuti dal rilievo elettrico e sfruttando il metodo dell’inversione, così che partendo dai valori di resistività apparente arriviamo a quelli reali del terreno investigato.



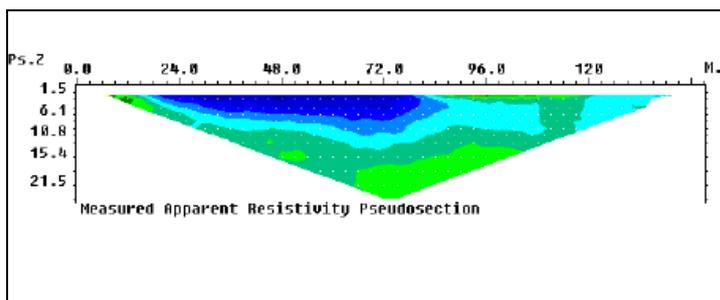
Il modello bidimensionale utilizzato nel programma di inversione consiste in un numero di blocchi rettangolari il cui arrangiamento dipende dalla posizione dei dati rilevati.

La distribuzione e posizione dei blocchi è automaticamente generata dal programma in modo tale che il numero dei blocchi non superi il numero dei dati acquisiti.

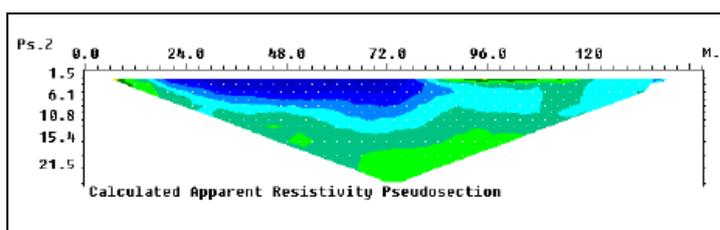
Una complessa routine di modellizzazione viene utilizzata per calcolare i valori di resistività apparente mentre per la routine di inversione viene impiegata una tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non lineare.

Nelle sezioni estrapolate si individua nell’asse orizzontale la distanza progressiva dell’allineamento elettrodico sul terreno e nell’asse verticale la profondità rispetto al piano di campagna.

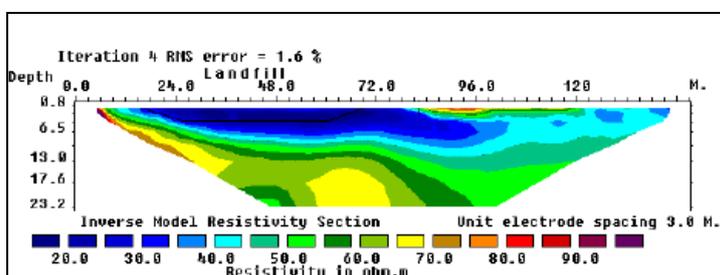
Il software RES2DINV® restituisce 3 profili tomografici che esprimono rispettivamente:



La pseudosezione misurata, che rappresenta una distribuzione laterale e verticale della resistività apparente in funzione di una profondità teorica.



La pseudosezione calcolata, che è stata ottenuta dal modello bidimensionale.



La vera e propria sezione 2D, dove è rappresentata la distribuzione verticale ed orizzontale della resistività reale del terreno oggetto d'indagine.

7.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA ED ANALISI DEI RISULTATI – TOMOGRAFIE ELETTRICHE 2D-3D

Di seguito vengono riportate le fasi di acquisizione tramite documentazioni fotografiche, i risultati delle sezioni di tomografia elettrica 2D (elaborate con il software RES2DINV) e i risultati dell'elaborazione dei dati attraverso il software Ert LAB, al fine di ottenere un modello 3D a partire dall'inversione dei dati degli stendimenti 2D.





Fasi di acquisizione tomografia elettrica – Sezioni tomografia elettrica 1 – 4.

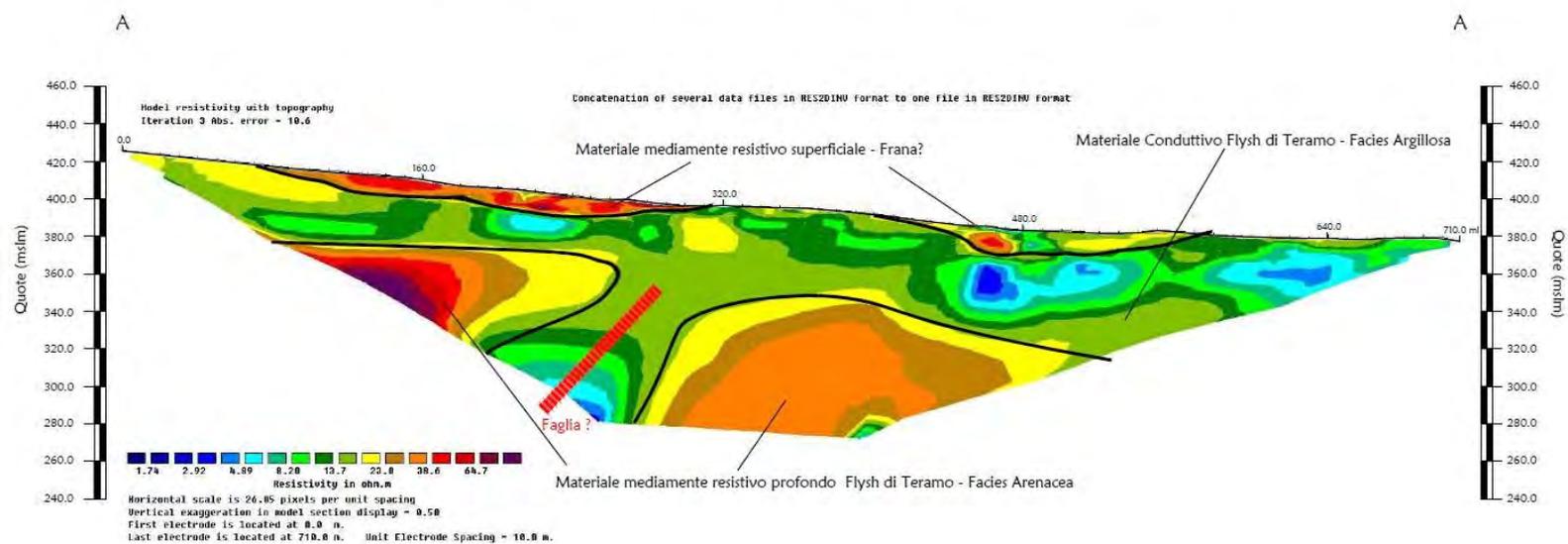
Riportiamo una breve descrizione anche della sezione A-A' (Maggio 2023):

I risultati ottenuti dall'indagine geoelettrica A-A' indicano, in linea generale, la presenza di tre principali litologie; tra le progressive **70-310 ml** e le progressive **400-580 ml**, sono evidenti dei materiali superficiali con spessore massimo di ca 10 m, caratterizzati da valori mediamente resistivi **> 30 Ohm.m** i quali potrebbero essere correlati alla presenza del corpo di frana (materiali più areati rispetto ai circostanti e sottostanti).

Al di sotto, è ben distinguibile il passaggio a materiali conduttivi con valori **< 30 Ohm.m**, probabilmente ascrivibili alla Facies argillitica del Flysch di Teramo.

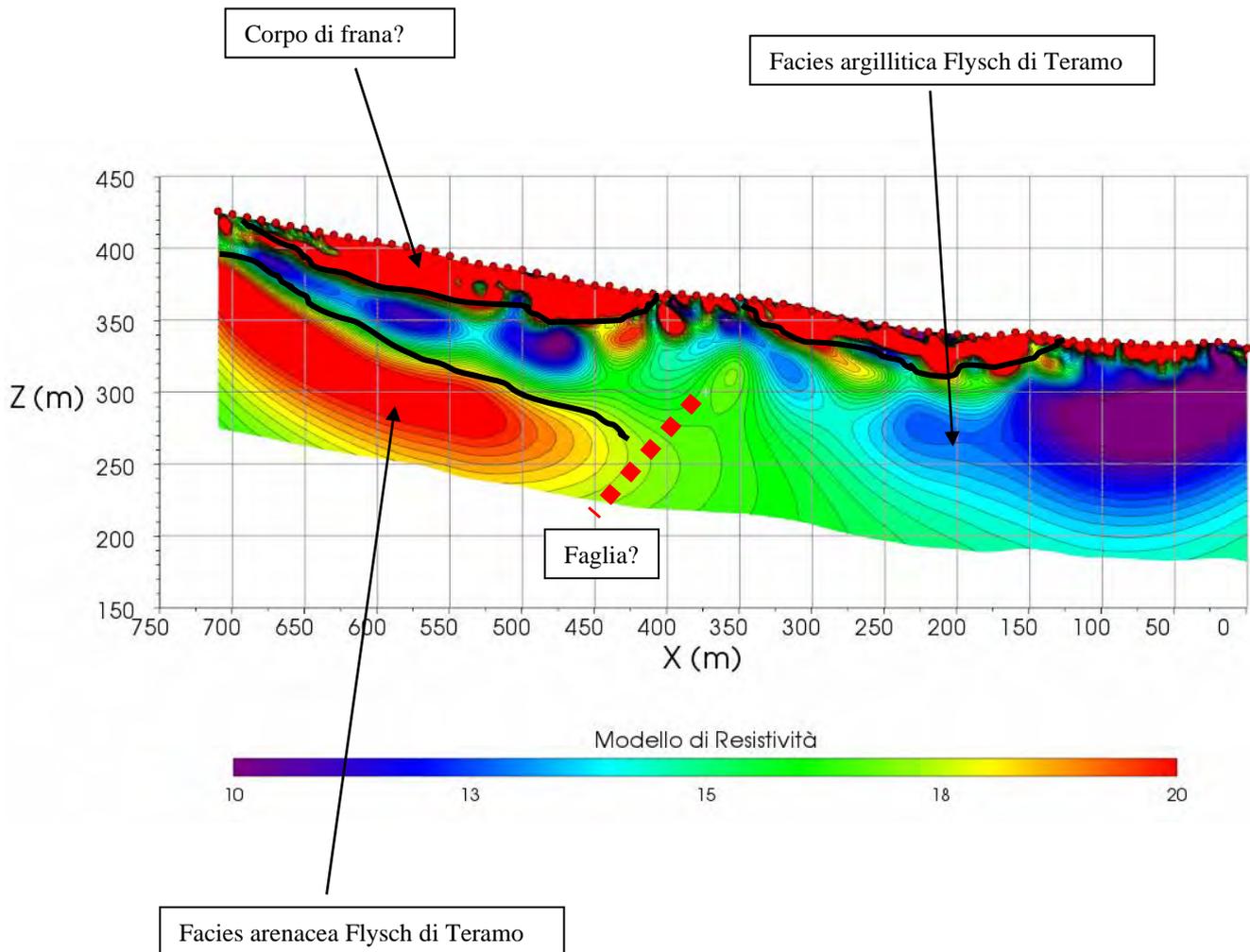
Più in profondità, a ca 50-60 m dal piano campagna, i materiali assumono nuovamente caratteristiche mediamente resistive, legate presumibilmente alla Facies più arenacea del Flysch di Teramo; quest'ultimo livello inoltre, sembrerebbe lateralmente discontinuo tra le progressive 220-300 ml ca. (porzione conduttiva con valori **< 30 Ohm.m**), il che potrebbe giustificare la presenza della faglia (?) cartografata anche nella carta geologica.

Tomografia elettrica - Sezione A-A' - Array Polo-dipolo - Wenner - Schlumberger - Dipolo-dipolo



Per completezza nei risultati, la sezione A-A' è stata elaborata anche tramite Software Ertlab, il quale ha fornito esiti concordanti con la precedente elaborazione:

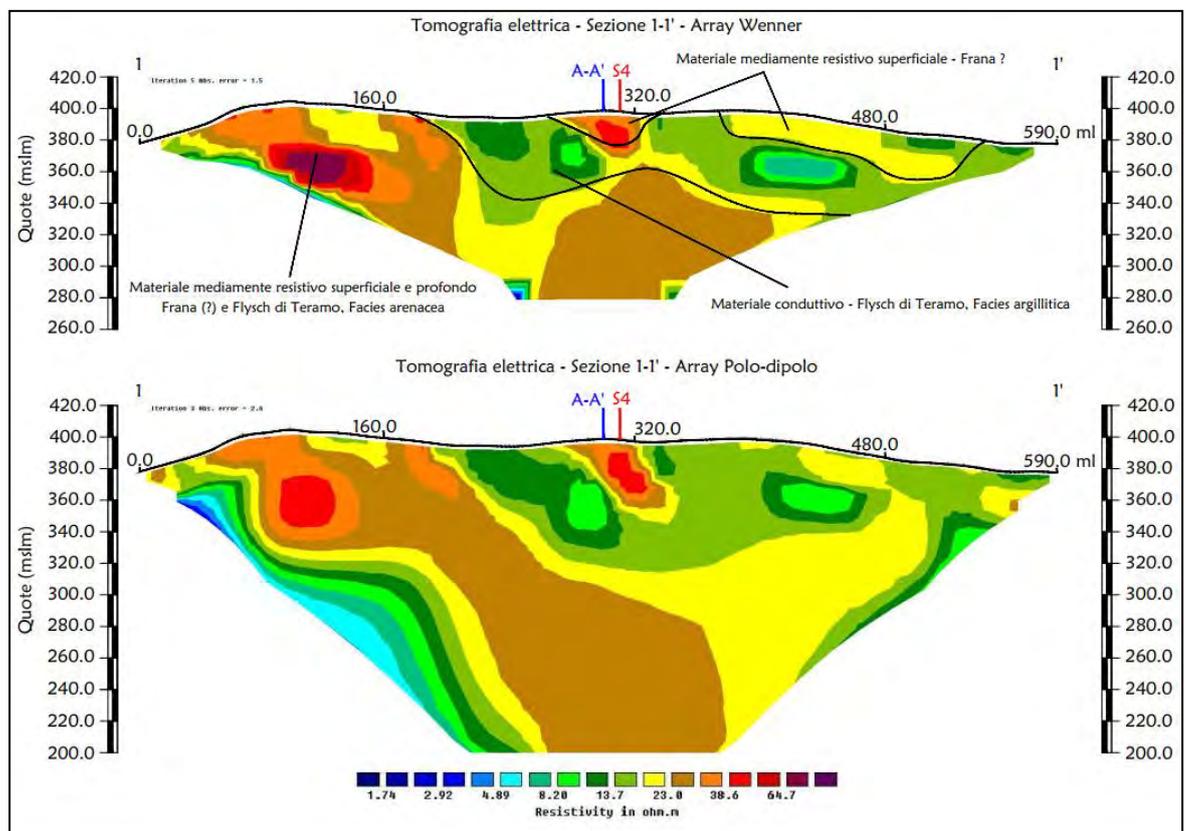
Sezione A-A' elaborata con software Ertlab



I risultati ottenuti dalle sezioni ERT 1-1', 2-2', 3-3' e 4-4' evidenziano, come per la sezione A-A' già descritta dettagliatamente, una copertura di ca. 4-10 m a volte più resistiva, caratterizzata da valori mediamente resistivi $> 30 \text{ Ohm.m}$, quindi materiali più arenati rispetto a quelli circostanti (attribuibile in questi casi a materiale smosso riconducibile a corpi di frana superficiali).

Al di sotto, è ben distinguibile il passaggio a materiali conduttivo con valori $< 30 \text{ Ohm.m}$, probabilmente ascrivibile alla Facies argillitica del Flysch di Teramo.

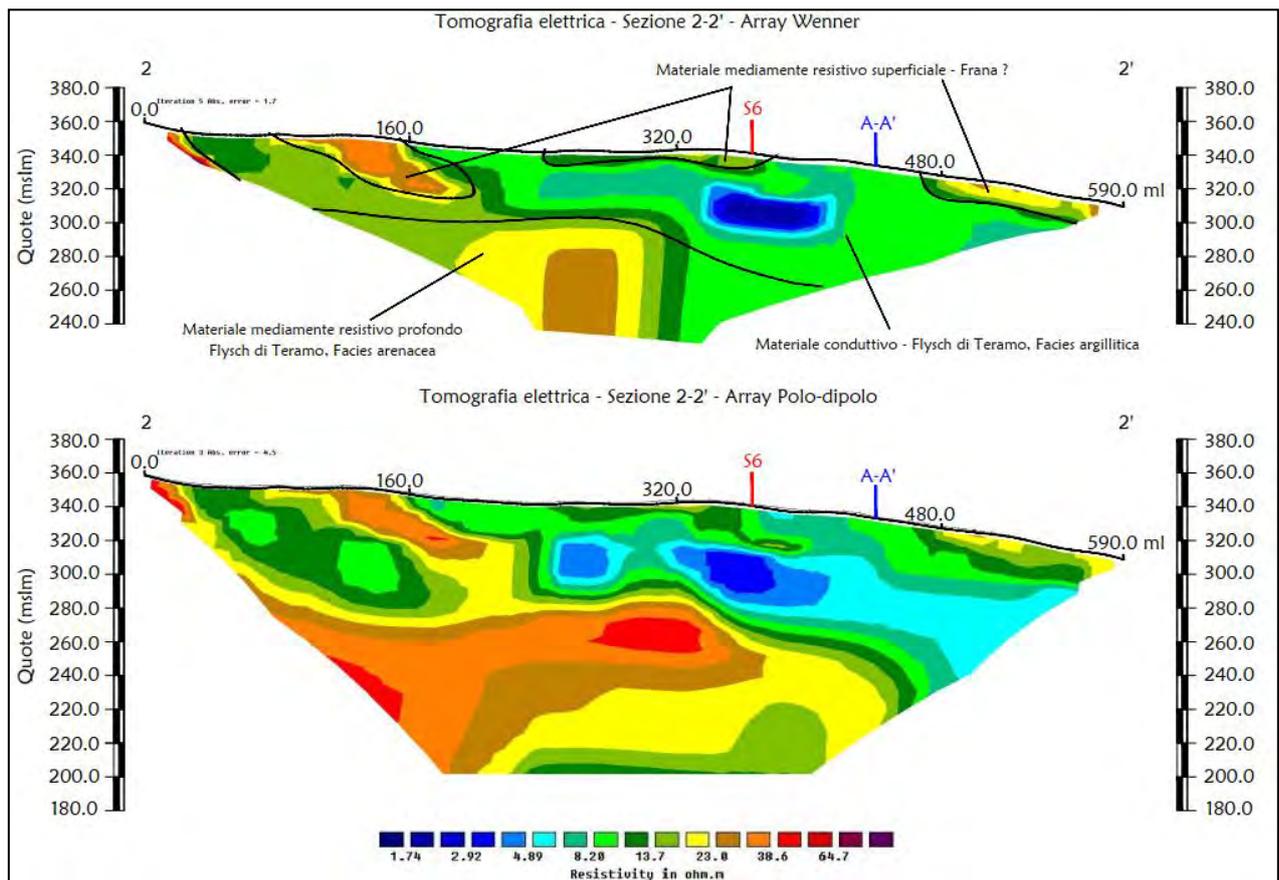
Più in profondità, (a profondità che tendono ad aumentare lungo le sezioni) i materiali assumono nuovamente caratteristiche mediamente resistive, legate presumibilmente alla Facies più arenacea del Flysch di Teramo.



Sezione 1-1'

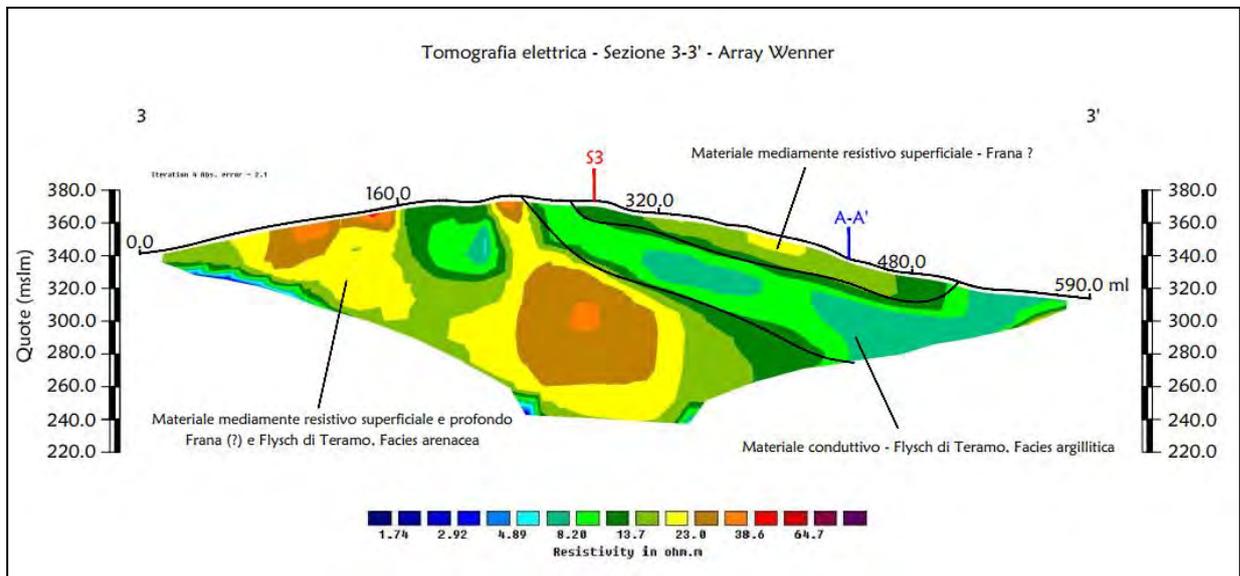
La sezione 1-1' acquisita con Array Wenner e Polo Dipolo (quest'ultima configurazione permette di indagare maggiori profondità), mostra la facies arenacea che tende a risalire all'inizio dello stendimento e approfondirsi verso la fine, in accordo con i risultati della sezione A-A' e del sondaggio S4 (che non incontra la facies arenacea nei primi 30 m), con la giacitura degli strati e con la carta geologica.

Nella porzione più superficiale rimane difficile distinguere la copertura dalla facies Arenacea quando sono in contatto.



Sezione 2-2'

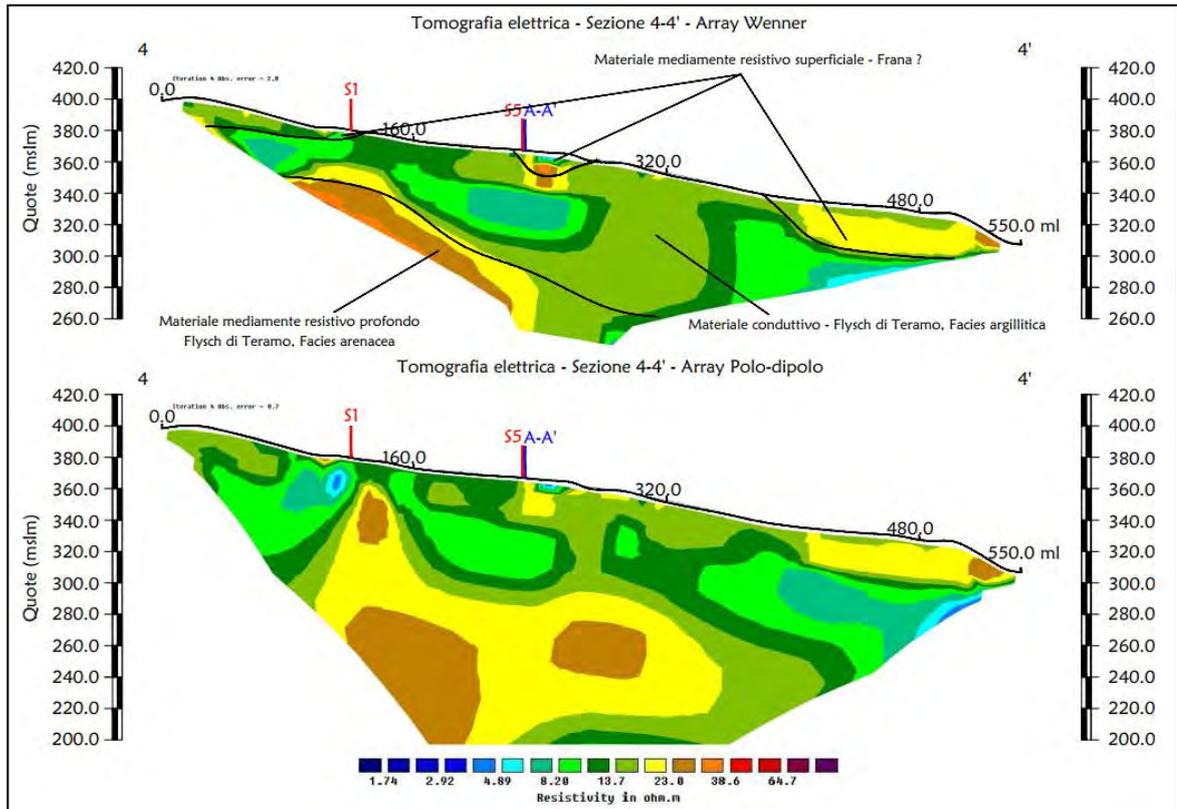
La sezione 2-2' sia in array Wenner che polo dipolo (che permette di indagare maggiori profondità) presenta risultati simili alla sezione 1-1' in particolare la facies arenacea si approfondisce molto sulla fine della sezione. Anche il sondaggio S6 mostra il passaggio alle Arenarie a ca. 55-60 m da p.c. in accordo con la sezione stessa.



Sezione 3-3'

Anche la sezione 3-3' in array Wenner mostra lo stesso andamento giaciturale e stratigrafico. Sulla porzione finale della sezione la facies Arenacee si approfondisce.

Inoltre come evidenziato dal sondaggio S3 dopo un primo strato di copertura di ca. 8 m (probabilmente in frana) si entra nell'argilla marnosa per poi passare alla facies arenacea a ca. 20 m da p.c. La giacitura degli strati ha un ruolo sfavorevole sulla stabilità gravitativa.



Sezione 4-4'

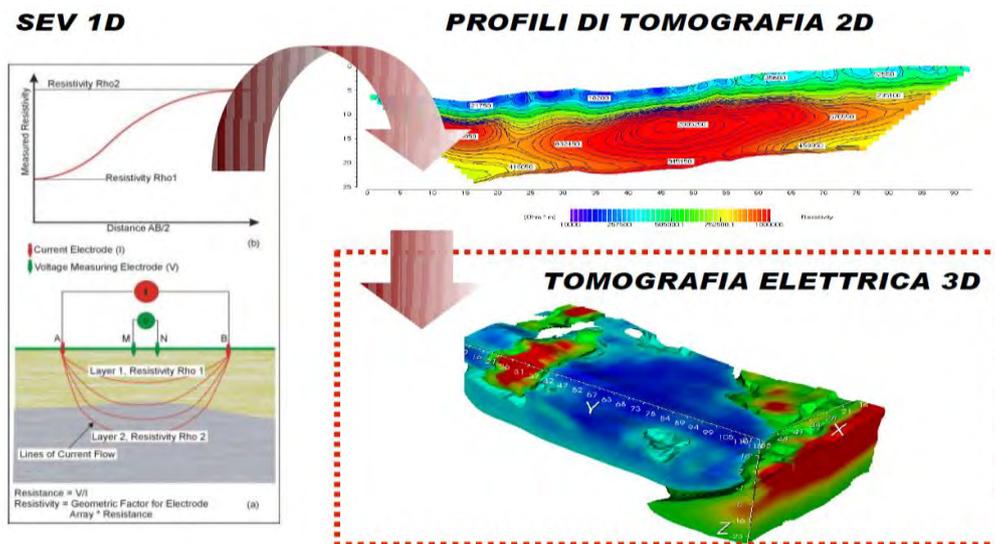
L'ultima sezione, la 4-4', nonostante per motivi logistici non si presenti con andamento lineare su tutto il tracciato è stata comunque elaborata con RES2DInv, per uniformità nei risultati.

Anche in questo caso i risultati sono in accordo con i sondaggi (S1 e S5) e con le altre sezioni. Si evidenzia bene la porzione superficiale dall'orizzonte intermedio (argillitico) alla facies arenacea in profondità.

Inoltre la giacitura degli strati fa sì che, alla fine della sezione, lo spessore della copertura sulle Arenarie aumenta considerevolmente.

6.0 PROCESSING DEI DATI ERT 2D IN UN MODELLO 3D

Nel corso degli ultimi anni lo sviluppo degli strumenti interpretativi per le indagini di tomografia di resistività elettrica ha ampliato lo spettro di possibilità fornite in fase di acquisizione.



Partendo dalle consuete geometrie che utilizzano profili 2D, griglie 3D di elettrodi superficiali, sistemi di elettrodi in foro, innovative geometrie 3D trovano oggi applicazione in diversi contesti, quali l'ingegneria civile, l'archeologia, la geotecnica e le indagini a scopo ambientale, come nel caso in questione.

Tra queste geometrie si devono menzionare in particolare le configurazioni superficiali che fanno uso di disposizioni elettrodiche a forma di L, U o anulari (*loop* di elettrodi, **Fig. 8**).

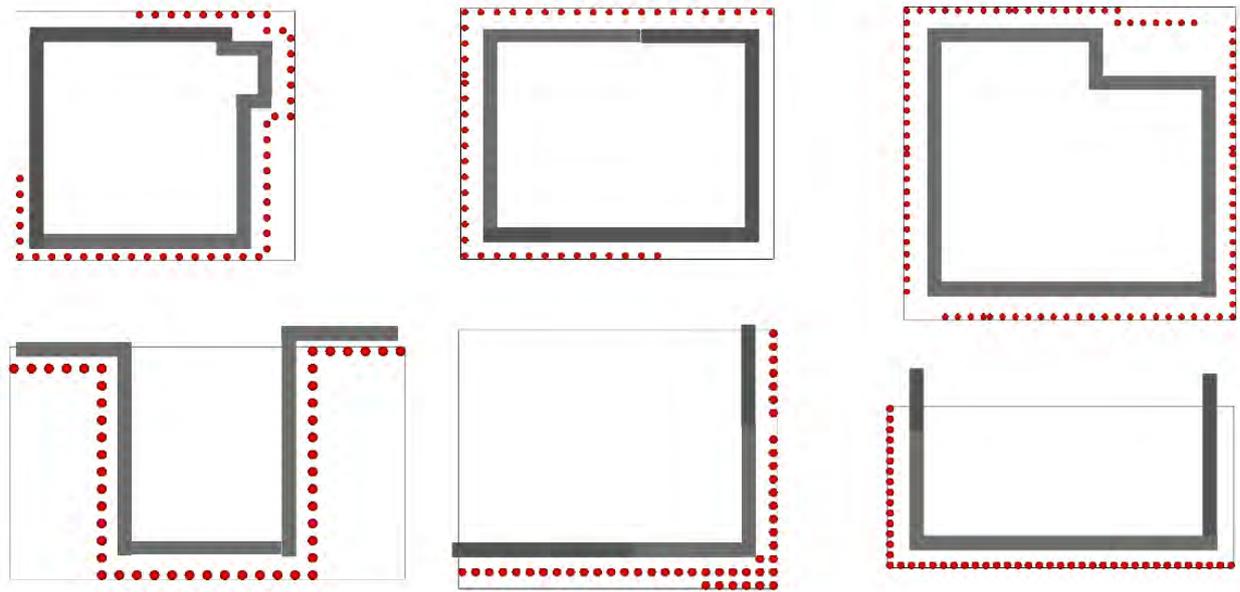
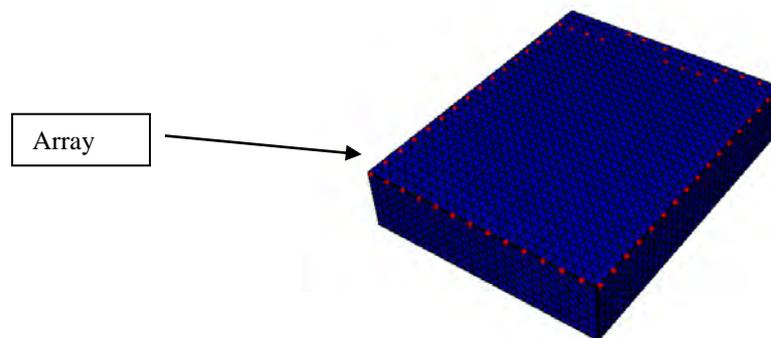


Figura 8: Esempi di geometrie elettrodeiche non regolari per indagini 3D.

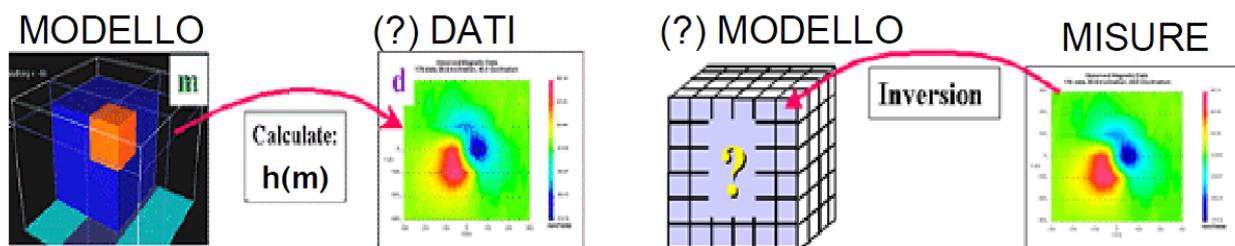
Il software ErtLab (inversione 3D) utilizzato nel corso del presente lavoro, ha permesso di ottenere un modello tridimensionale di resistività per i dati ottenuti dai rilievi elettrici 2D.



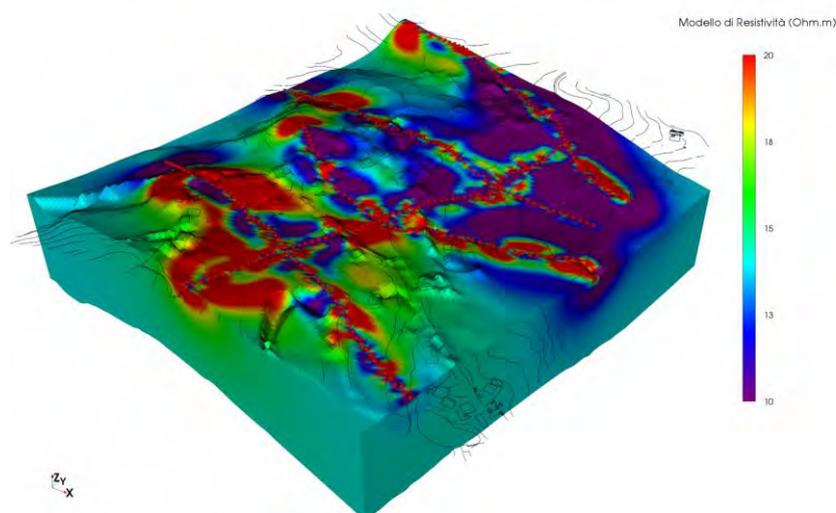
Grazie all’algoritmo di modellazione agli Elementi Finiti Tetraedrici, ERTLab è in grado di invertire misure acquisite in contesti con topografia e geometrie estreme. Un nucleo di routine di inversione consente l’interpretazione robusta e affidabile delle misure di campagna, anche in presenza di livelli considerevoli di rumore. Il potente ambiente grafico ERTLab Viewer permette poi di visualizzare i risultati dell’inversione mediante una completa serie di oggetti grafici (sezioni, superfici iso-resistive, volumi).

L’elaborazione 3D è quindi in grado di fornire una visione tridimensionale delle varie strutture sepolte (complesso fondale, variazioni litologiche, sversamenti etc...).

ErtLab permette di creare un modello tridimensionale con una mesh che sia pari alla metà della spaziatura elettrodica. Gli “step” da tenere in considerazione per l’inversione di base dei dati sono: 1) corretto pre-processing dei dati (valutazione delle Rho negative, correnti I, Q, V, omogeneità dei dati) con rimozione delle misure inaccurate dal processo di inversione; 2) controllo della generazione della mesh (rotazione per riduzione parametri, dimensionamento celle, regione background, frazionamento del data-set in blocchi, condizioni al contorno); 3) definizione del corretto modello di partenza; 4) valutazione del rumore dei dati (stima mediante reciproci, inversione robusta per ridurre l’effetto degli outliers); 5) memory consuming (a causa delle dimensioni di data-set, jacobiano e mesh).

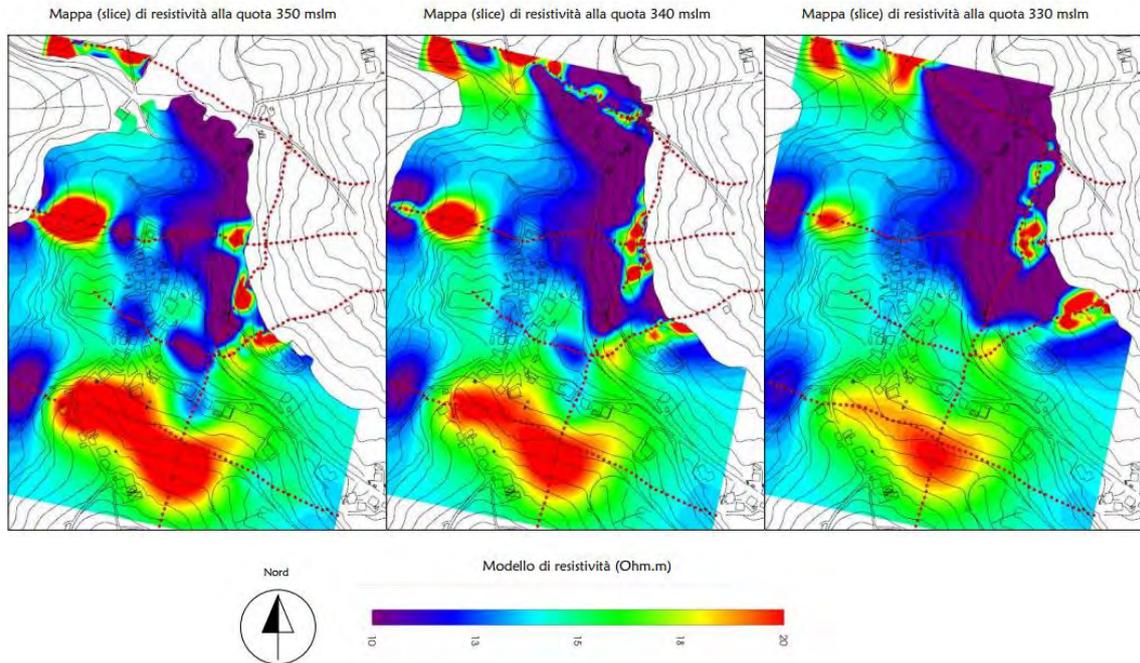


In linea generale, i risultati ottenuti dalle 5 tomografie geoelettriche elaborate con metodologia 3D sono in accordo con i risultati dell’elaborazioni 2d. L’inversione ha permesso di ottenere un volume di valori di resistività.



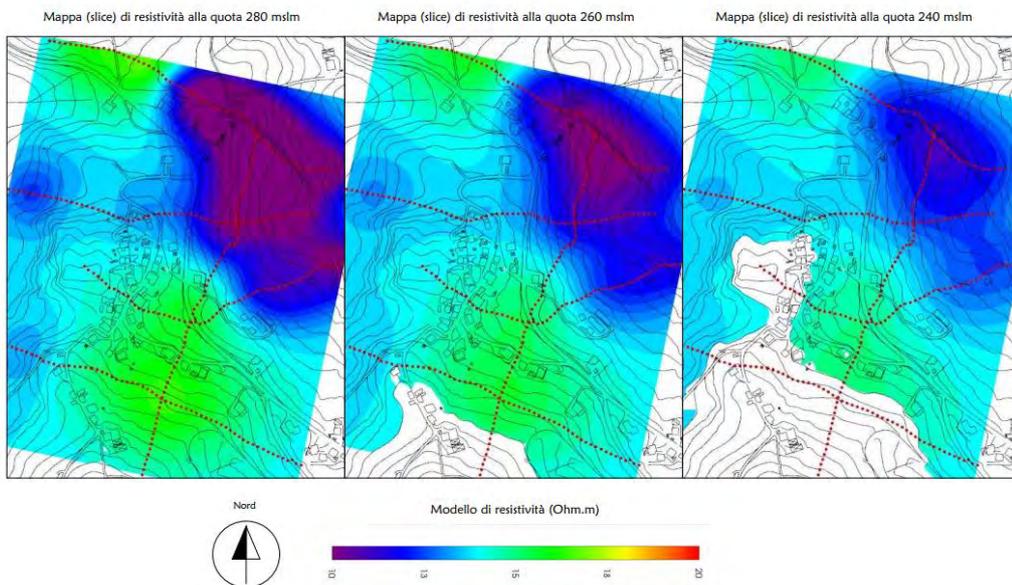
Su tale volume è possibile ottenere tutte le sezioni richieste e significative, poiché la distanza tra le sezioni è comunque considerevole, la maggior attendibilità è presente nell'intorno delle sezioni 2D o comunque dove si incrociano.

Sono state quindi realizzate mappe 2D a differenti quote in genere ogni 10-20 m.

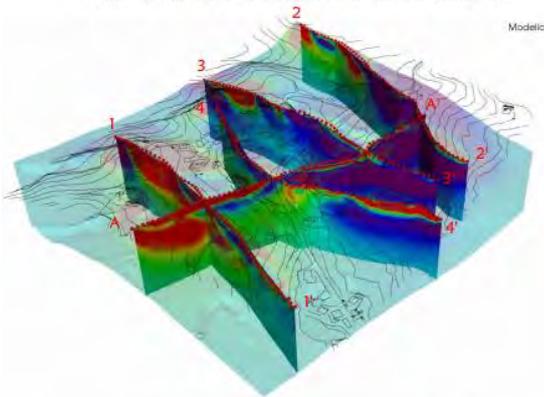


Tali mappe permettono di evidenziare come nella porzione Est dell'area, alla stessa quota,

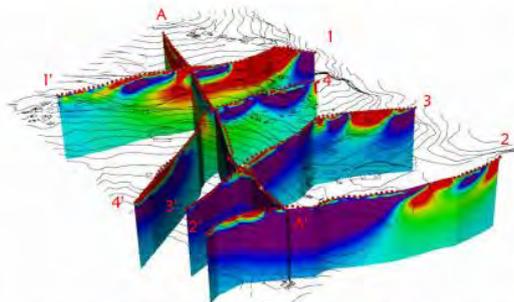
siano presenti materiali più conduttivi riconducibili alla facies Argillitica, mentre nella porzione Ovest siano presenti materiali più resistivi, (Facies Arenacea).



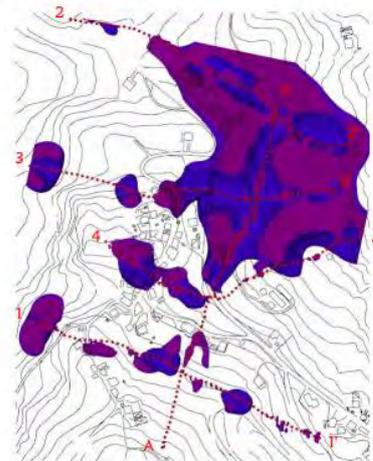
Visione prospettica delle sezioni 2D ottenute dal volume 3D



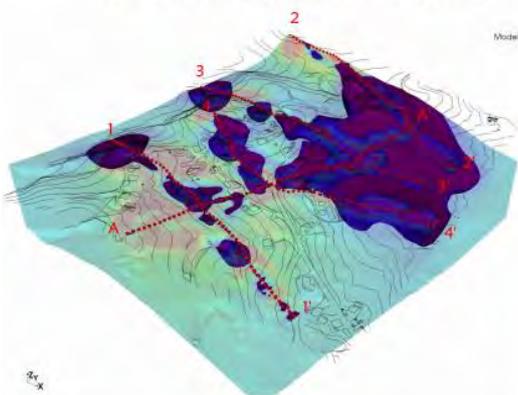
Visione prospettica (2) delle sezioni 2D ottenute dal volume 3D



Visione planimetrica dei volumi conduttivi < 11 Ohm.m (fuori scala)



Visione prospettica dei volumi conduttivi < 11 Ohm.m



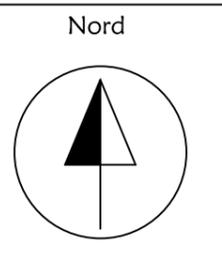
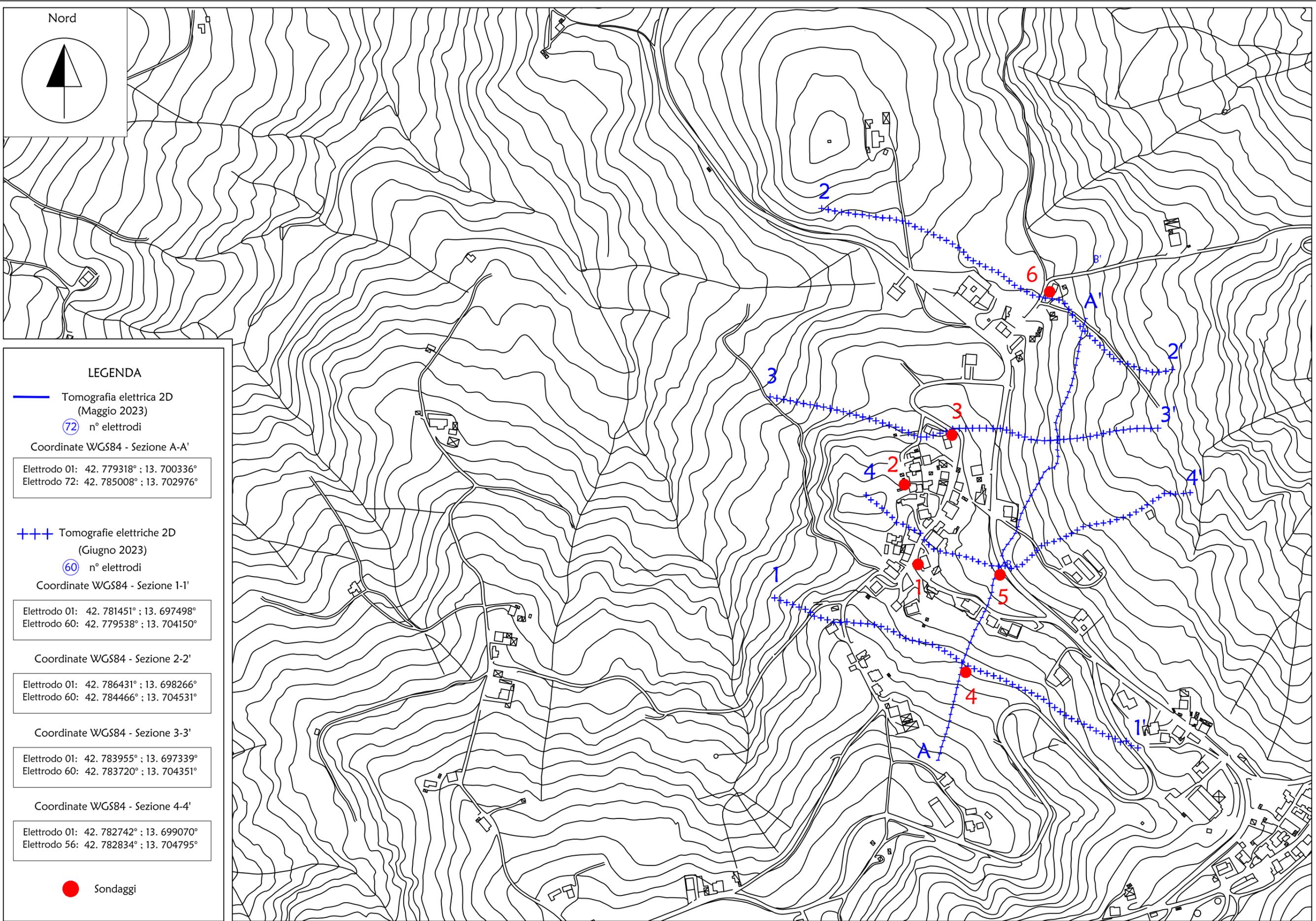
Sono state quindi realizzate delle visioni prospettiche con le sezioni più rappresentative che mostrano come la facies arenacea in considerazione anche dell'assetto giaciturale tenda ad approfondirsi da Ovest a Est e da Sud a Nord. Infine sono stati messi in evidenza i volumi conduttivi legati alla facies argillitica. Per tutti i dettagli si rimanda alle tavole allegate. Rimaniamo a disposizione per estrapolare ulteriori sezioni o quant'altro (dal volume 3D di resistività) richieste dalla committenza.

Arezzo, li 29/06/2023

TRIGEO s.n.c.
 di Nopotti Andrea e Burchini Benedetto
 Via Mazzini n°18 - 52011 - SOC (AR)
 P.IVA 02044110518
 Tel/Fax: 0575 294500 - 055 9062212
 Cell: 339 2288117 - 339 7218924
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

ORIONE DEI GEOLOGI DEL
 Dott. GIANNINI
 LEONARDO MARIA
 Geologo
 A. P. N. 1767

ALLEGATI



LEGENDA

— Tomografia elettrica 2D
(Maggio 2023)
 (72) n° elettrodi
 Coordinate WGS84 - Sezione A-A'

Elettrodo 01: 42. 779318° ; 13. 700336°
 Elettrodo 72: 42. 785008° ; 13. 702976°

+++ Tomografie elettriche 2D
(Giugno 2023)
 (60) n° elettrodi
 Coordinate WGS84 - Sezione 1-1'

Elettrodo 01: 42. 781451° ; 13. 697498°
 Elettrodo 60: 42. 779538° ; 13. 704150°

Coordinate WGS84 - Sezione 2-2'
 Elettrodo 01: 42. 786431° ; 13. 698266°
 Elettrodo 60: 42. 784466° ; 13. 704531°

Coordinate WGS84 - Sezione 3-3'
 Elettrodo 01: 42. 783955° ; 13. 697339°
 Elettrodo 60: 42. 783720° ; 13. 704351°

Coordinate WGS84 - Sezione 4-4'
 Elettrodo 01: 42. 782742° ; 13. 699070°
 Elettrodo 56: 42. 782834° ; 13. 704795°

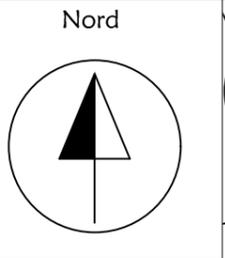
● Sondaggi

Scala 1:5000

Giugno 2023

Tavola 01 - Planimetria generale - Località Borrano - Civitella del Tronto (TE)





LEGENDA

— Tomografia elettrica 2D
(Maggio 2023)

⑦② n° elettrodi

Coordinate WGS84 - Sezione A-A'

Elettrodo 01: 42. 779318° ; 13. 700336°
Elettrodo 72: 42. 785008° ; 13. 702976°

+++ Tomografie elettriche 2D
(Giugno 2023)

⑥⑦ n° elettrodi

Coordinate WGS84 - Sezione 1-1'

Elettrodo 01: 42. 781451° ; 13. 697498°
Elettrodo 60: 42. 779538° ; 13. 704150°

Coordinate WGS84 - Sezione 2-2'

Elettrodo 01: 42. 786431° ; 13. 698266°
Elettrodo 60: 42. 784466° ; 13. 704531°

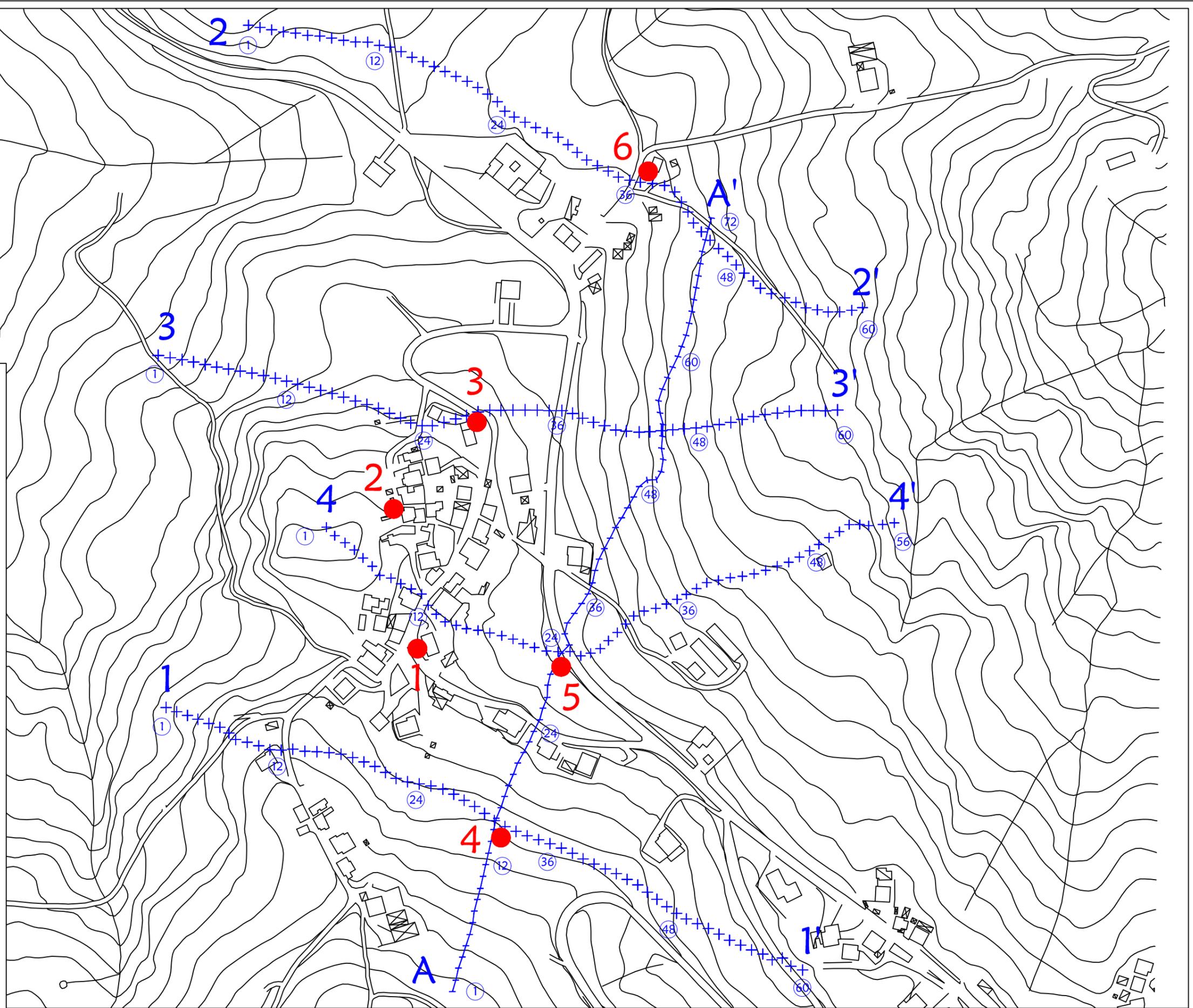
Coordinate WGS84 - Sezione 3-3'

Elettrodo 01: 42. 783955° ; 13. 697339°
Elettrodo 60: 42. 783720° ; 13. 704351°

Coordinate WGS84 - Sezione 4-4'

Elettrodo 01: 42. 782742° ; 13. 699070°
Elettrodo 56: 42. 782834° ; 13. 704795°

● Sondaggi

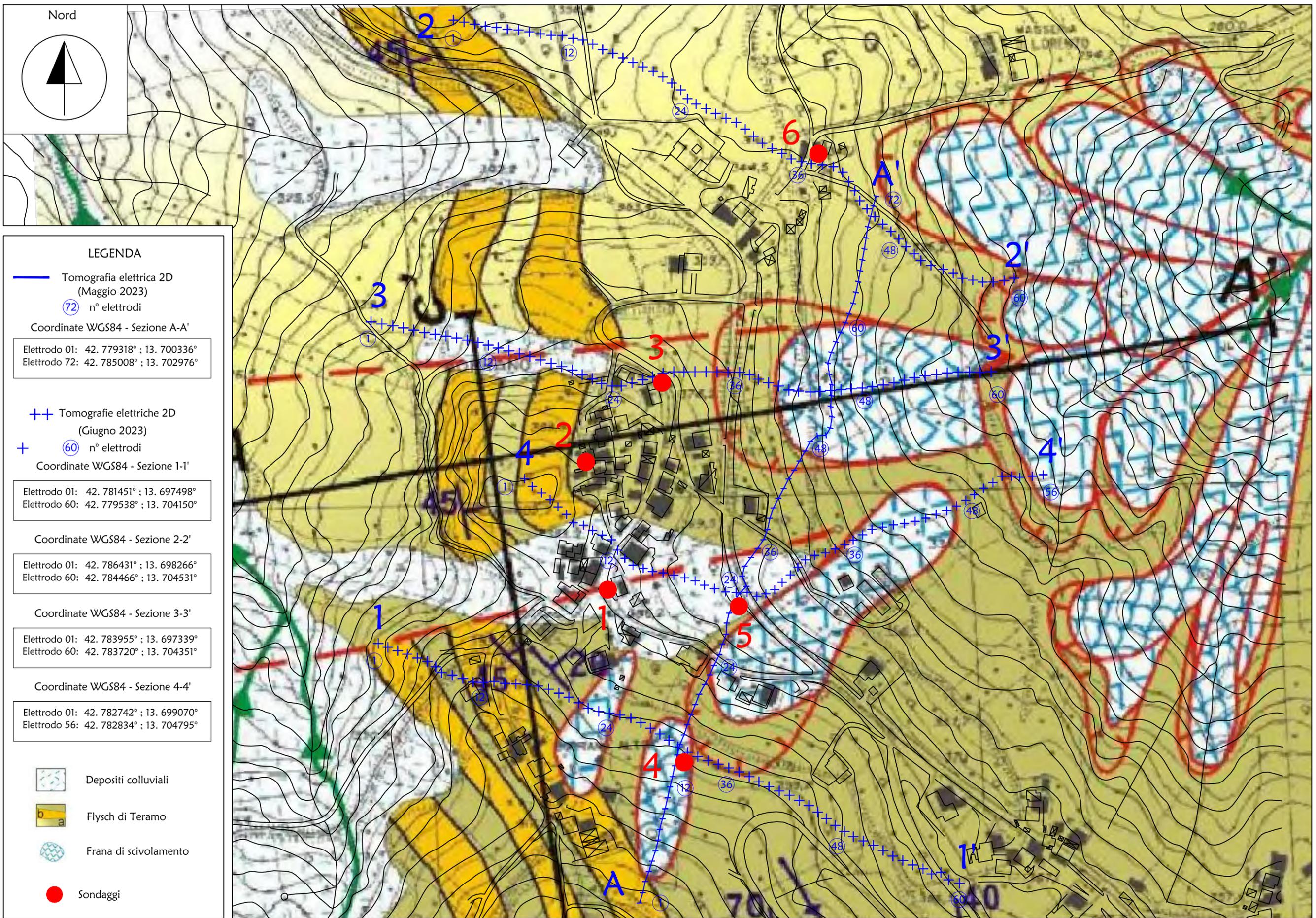


Scala 1:3000

Giugno 2023

Tavola 02 - Planimetria di dettaglio - Località Borrano - Civitella del Tronto (TE)

TRI+GEO



LEGENDA

— Tomografia elettrica 2D (Maggio 2023)
 (72) n° elettrodi
 Coordinate WGS84 - Sezione A-A'

Elettrodo 01: 42. 779318° ; 13. 700336°
 Elettrodo 72: 42. 785008° ; 13. 702976°

++ Tomografie elettriche 2D (Giugno 2023)
 + (60) n° elettrodi
 Coordinate WGS84 - Sezione 1-1'

Elettrodo 01: 42. 781451° ; 13. 697498°
 Elettrodo 60: 42. 779538° ; 13. 704150°

Coordinate WGS84 - Sezione 2-2'

Elettrodo 01: 42. 786431° ; 13. 698266°
 Elettrodo 60: 42. 784466° ; 13. 704531°

Coordinate WGS84 - Sezione 3-3'

Elettrodo 01: 42. 783955° ; 13. 697339°
 Elettrodo 60: 42. 783720° ; 13. 704351°

Coordinate WGS84 - Sezione 4-4'

Elettrodo 01: 42. 782742° ; 13. 699070°
 Elettrodo 56: 42. 782834° ; 13. 704795°

Depositi colluviali
 Flysch di Teramo
 Frana di scivolamento
 Sondaggi

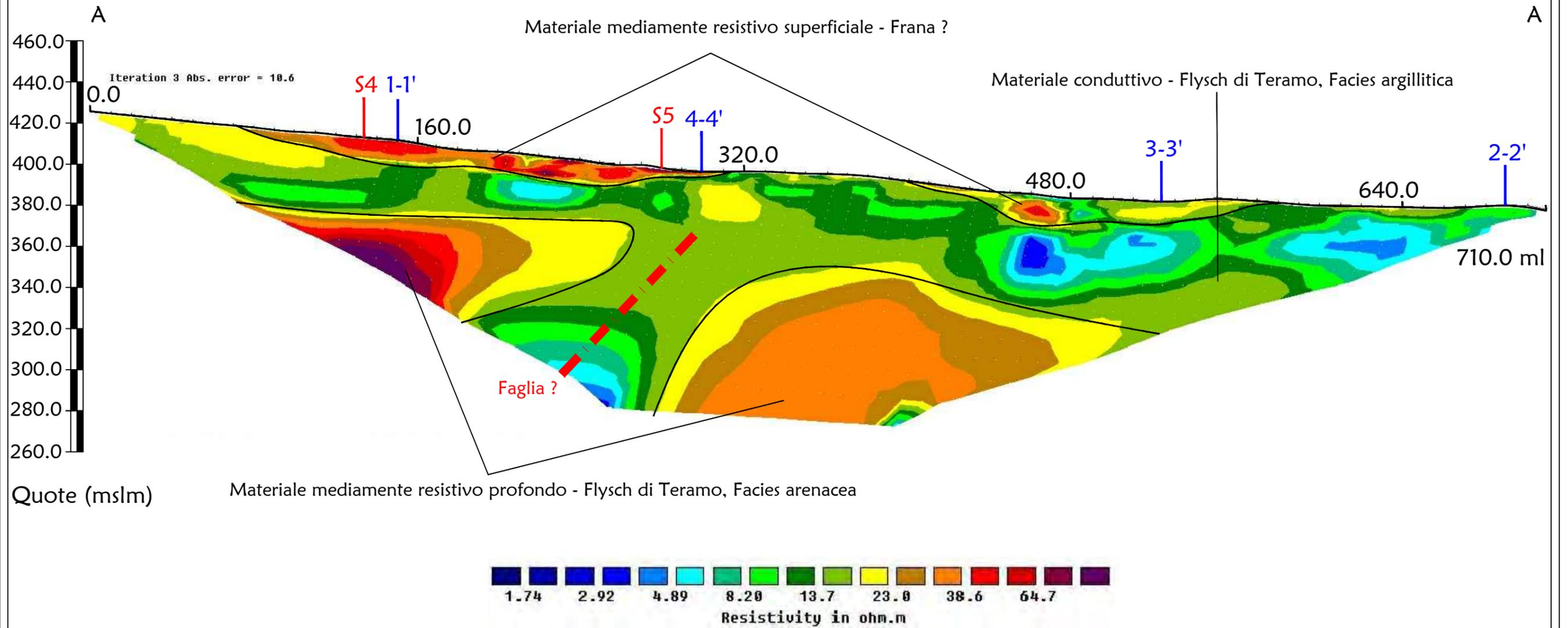
Scala 1:3000

Giugno 2023

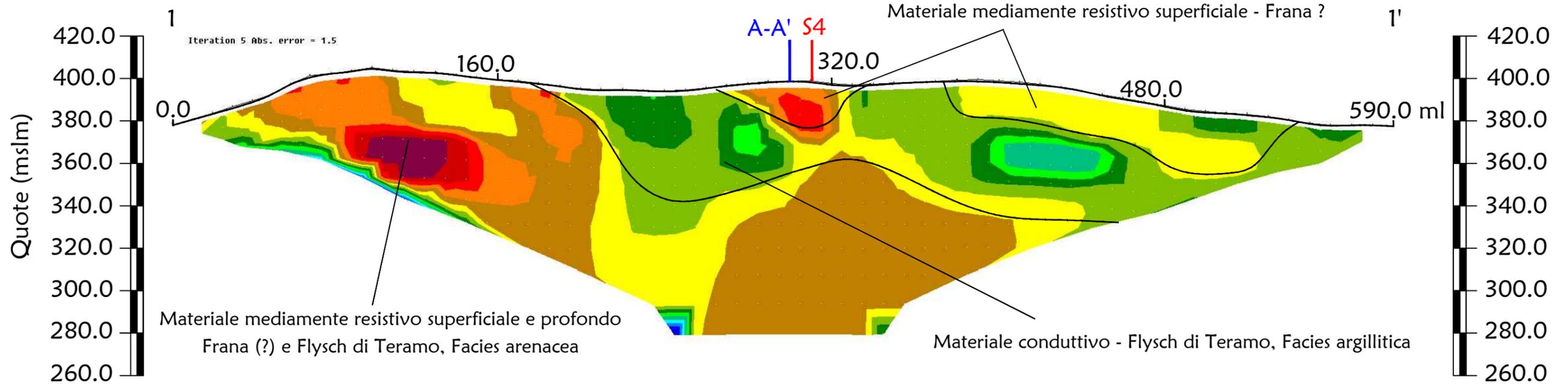
Tavola 03 - Planimetria di dettaglio su carta Geologica - Località Borrano - Civitella del Tronto (TE)



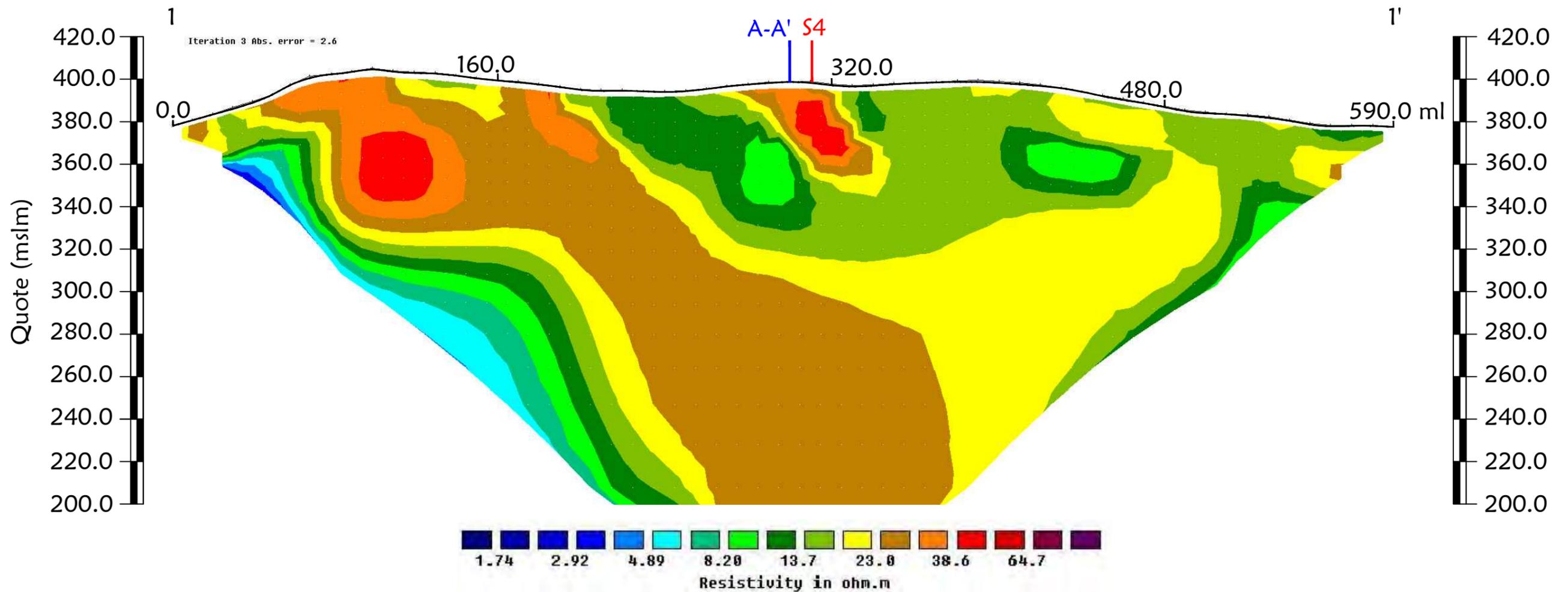
Tomografia elettrica - Sezione A-A' (Maggio 2023) - Array Wenner e Polo-dipolo uniti



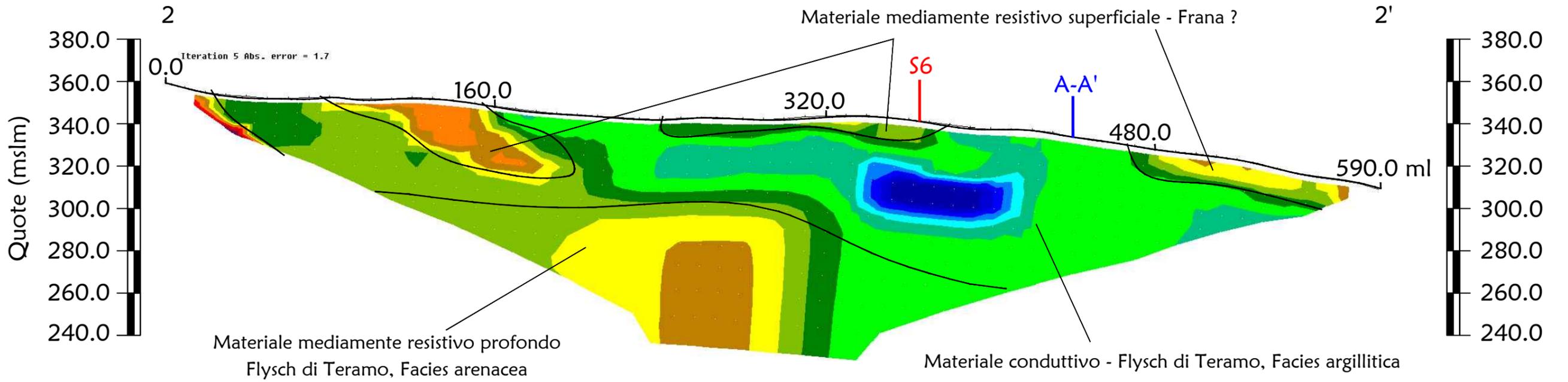
Tomografia elettrica - Sezione 1-1' - Array Wenner



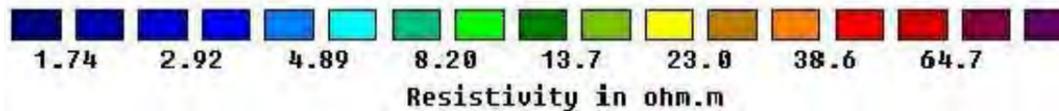
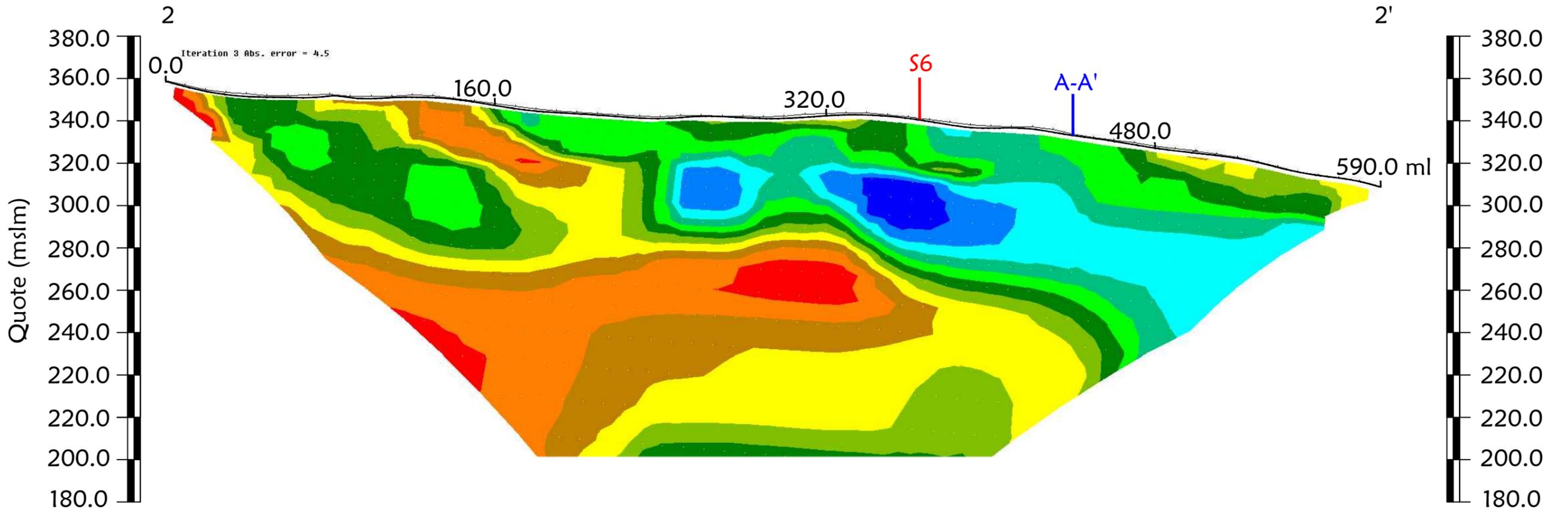
Tomografia elettrica - Sezione 1-1' - Array Polo-dipolo



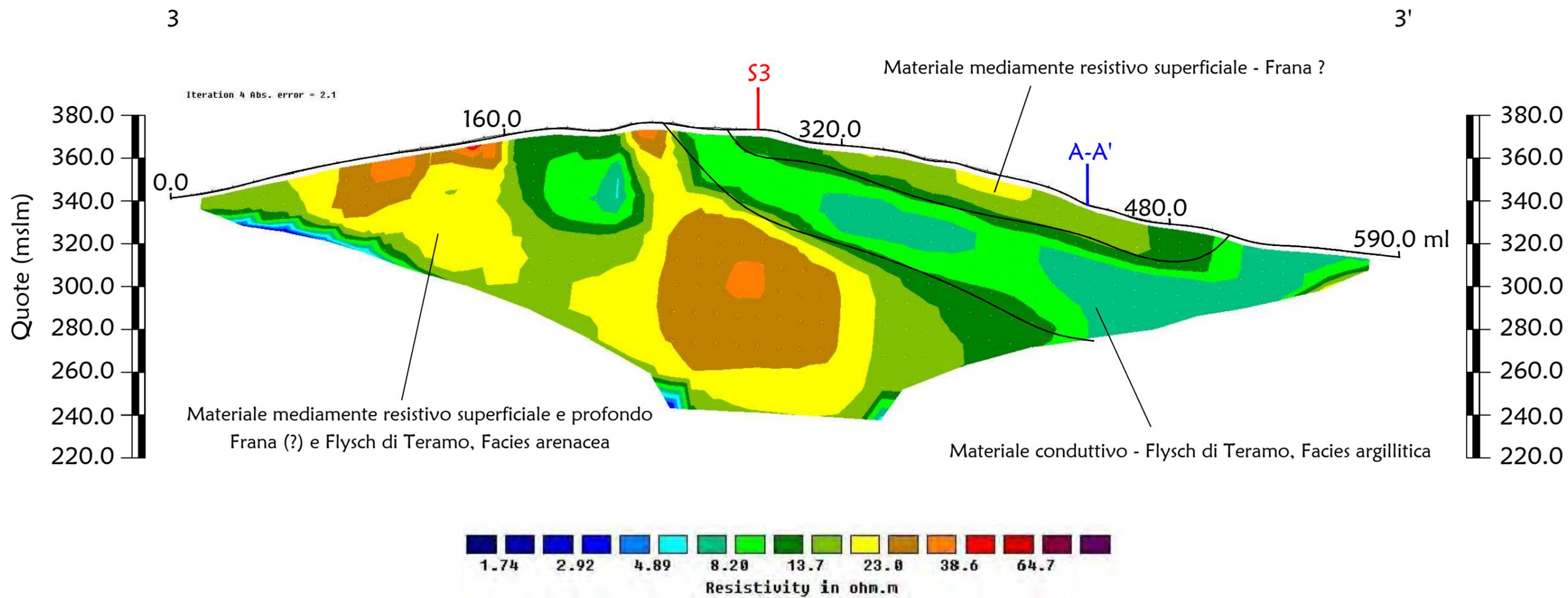
Tomografia elettrica - Sezione 2-2' - Array Wenner



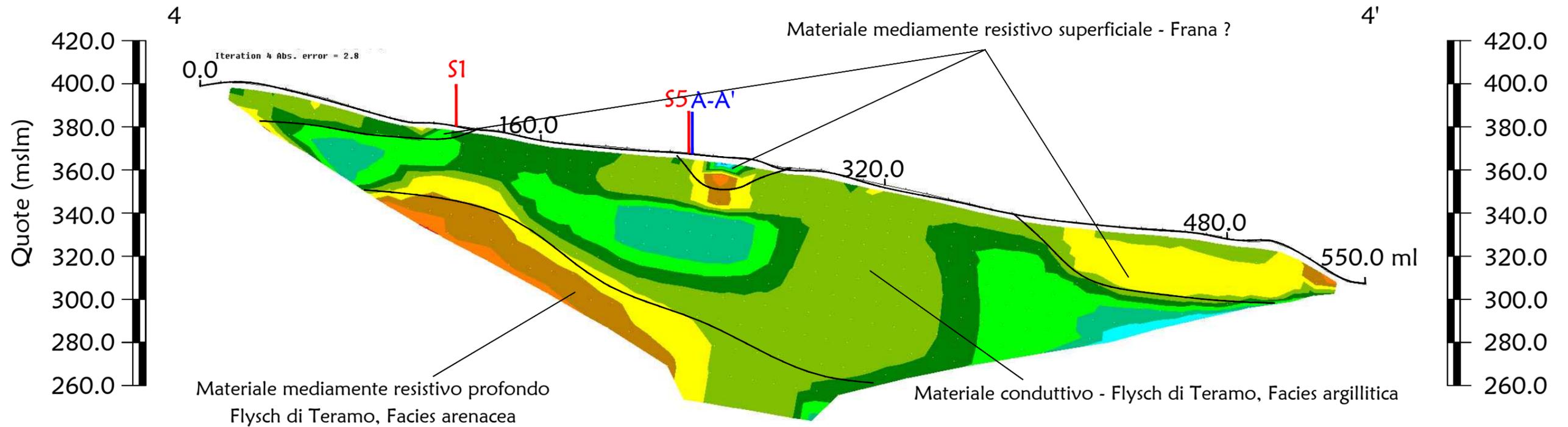
Tomografia elettrica - Sezione 2-2' - Array Polo-dipolo



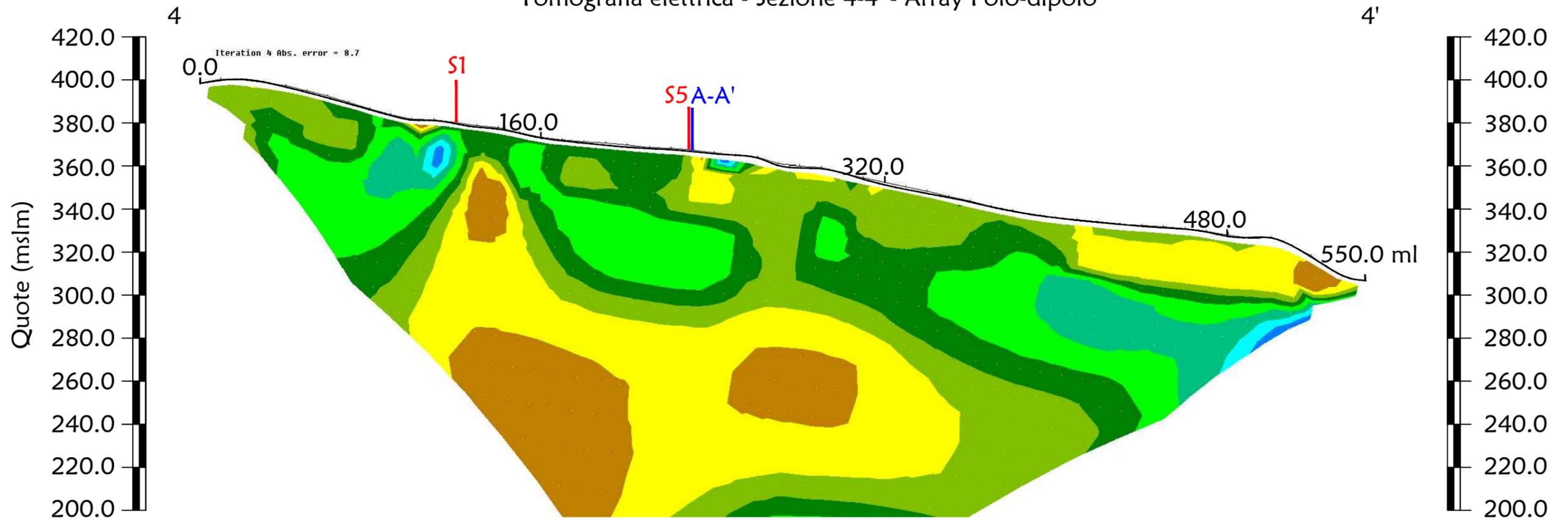
Tomografia elettrica - Sezione 3-3' - Array Wenner



Tomografia elettrica - Sezione 4-4' - Array Wenner



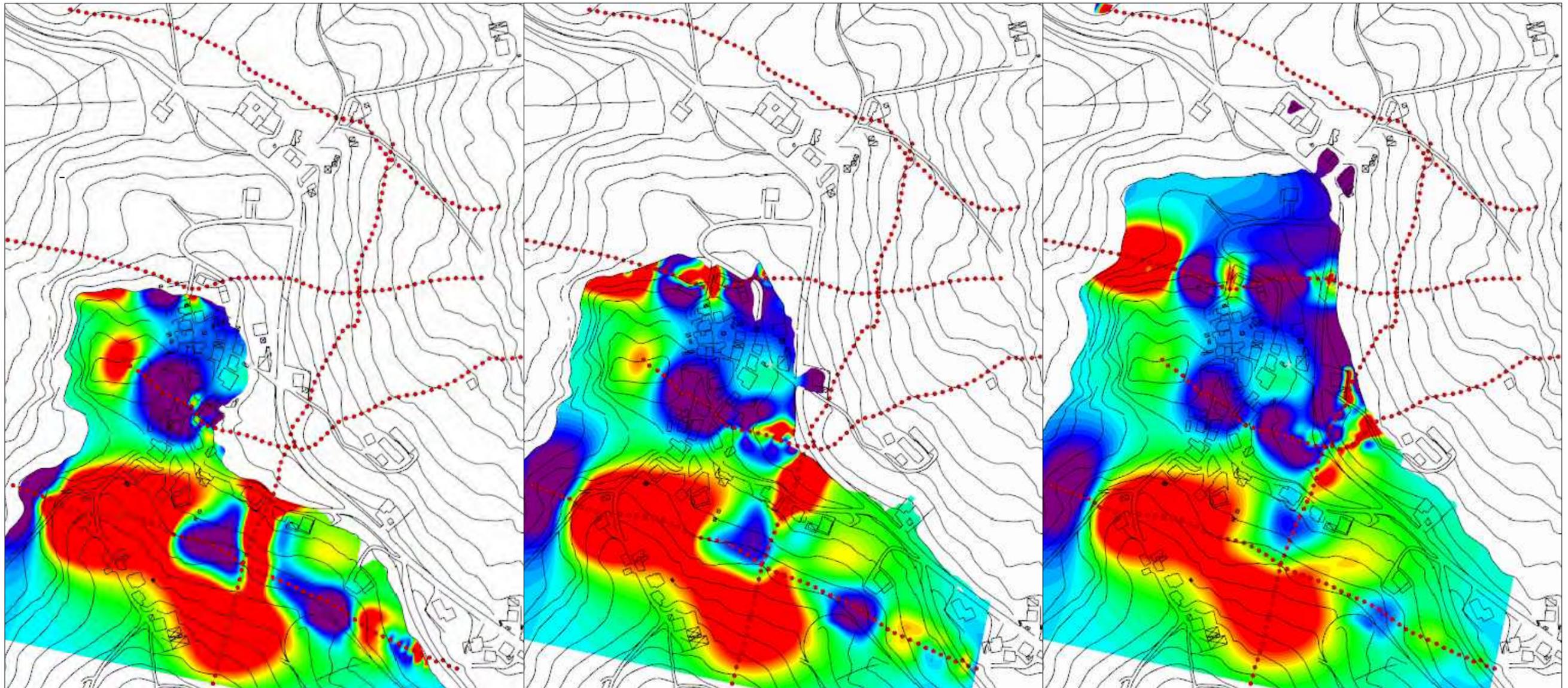
Tomografia elettrica - Sezione 4-4' - Array Polo-dipolo



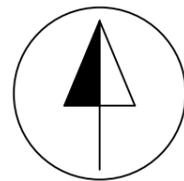
Mappa (slice) di resistività alla quota 380 mslm

Mappa (slice) di resistività alla quota 370 mslm

Mappa (slice) di resistività alla quota 360 mslm



Nord



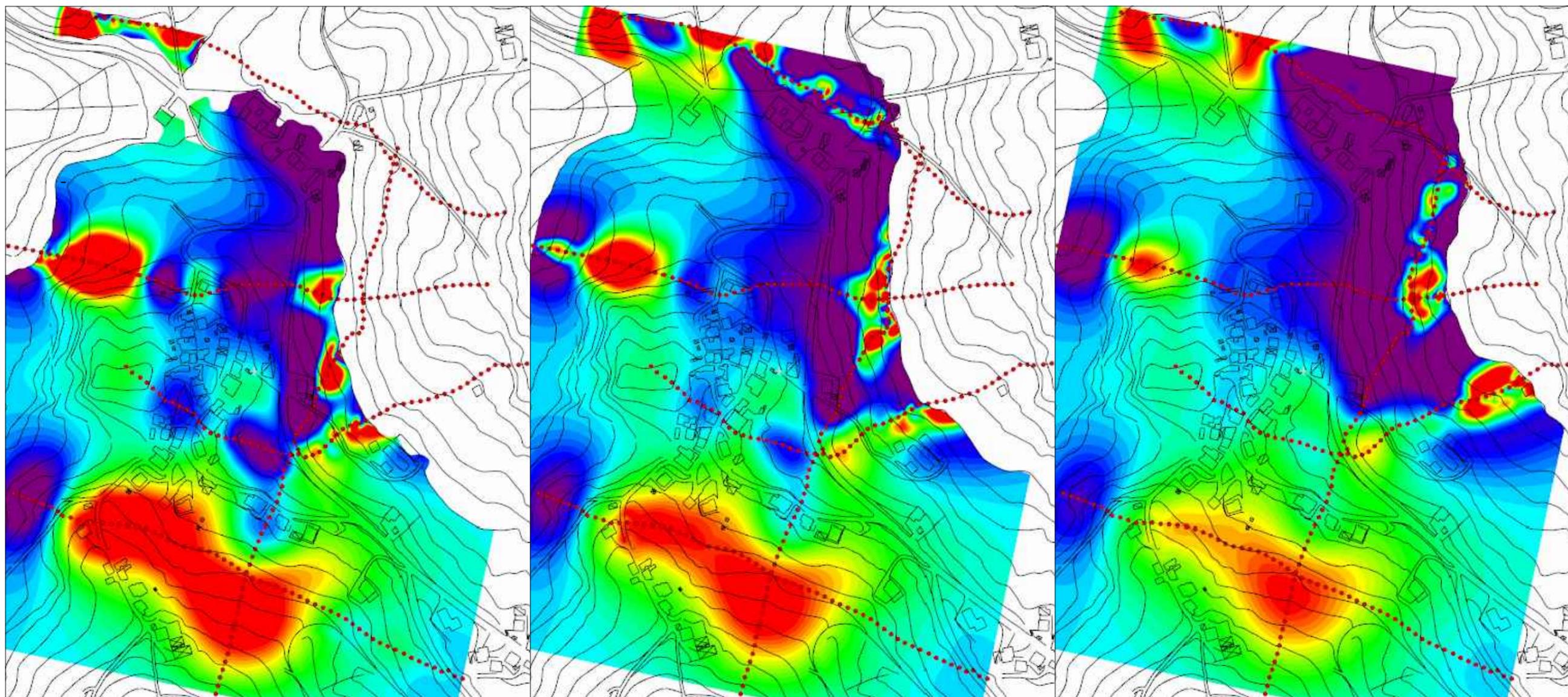
Modello di resistività (Ohm.m)



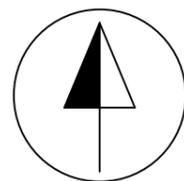
Mappa (slice) di resistività alla quota 350 mslm

Mappa (slice) di resistività alla quota 340 mslm

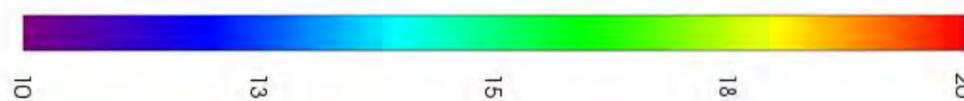
Mappa (slice) di resistività alla quota 330 mslm



Nord



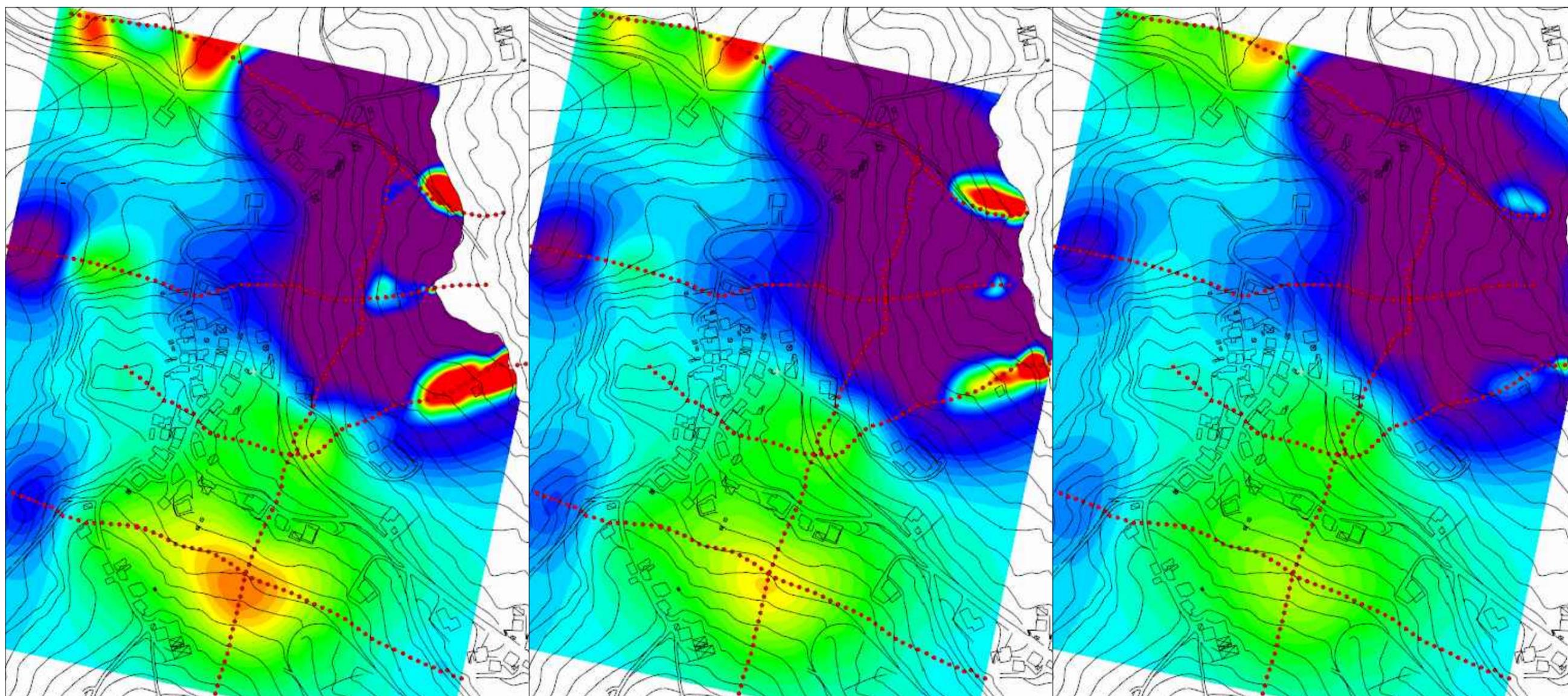
Modello di resistività (Ohm.m)



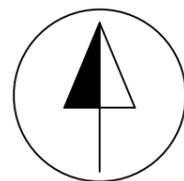
Mappa (slice) di resistività alla quota 320 mslm

Mappa (slice) di resistività alla quota 310 mslm

Mappa (slice) di resistività alla quota 300 mslm



Nord



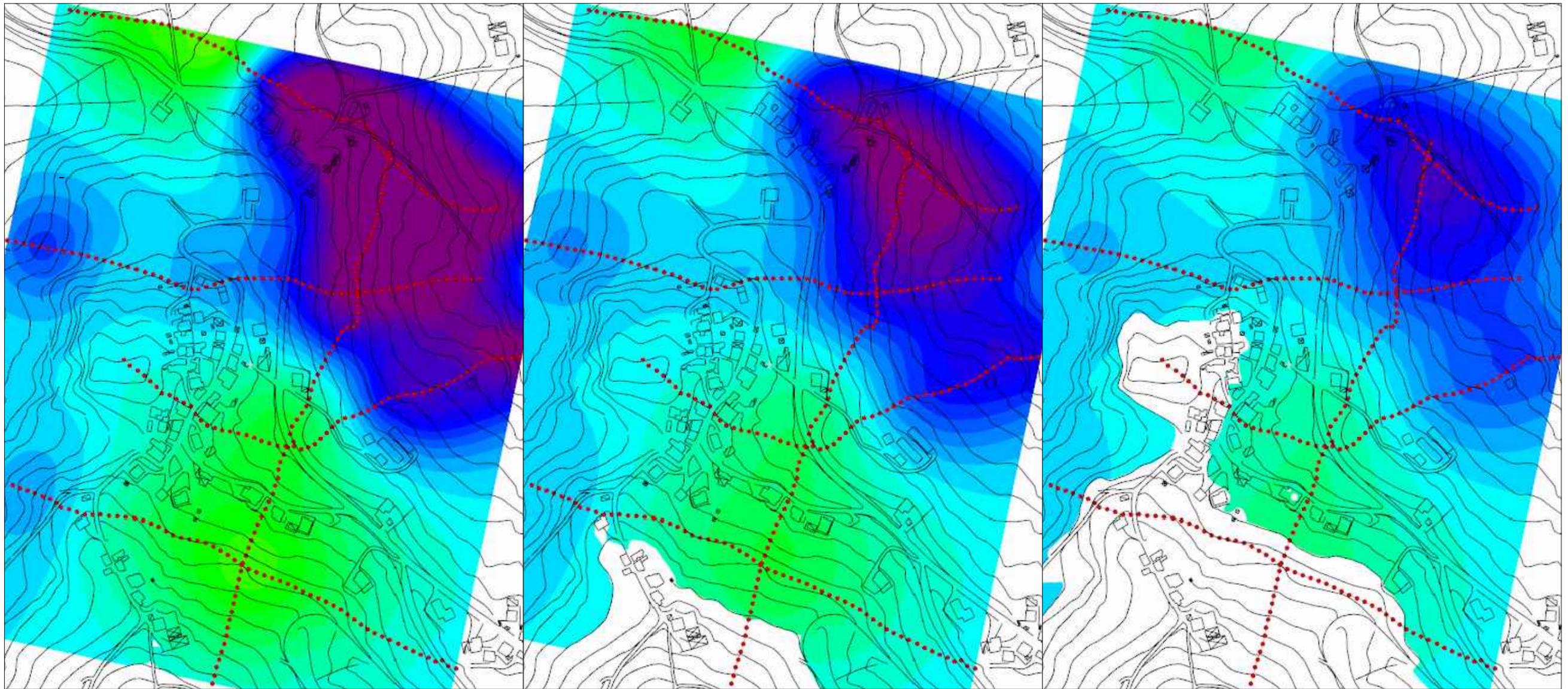
Modello di resistività (Ohm.m)



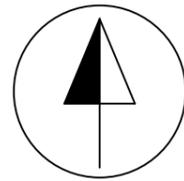
Mappa (slice) di resistività alla quota 280 mslm

Mappa (slice) di resistività alla quota 260 mslm

Mappa (slice) di resistività alla quota 240 mslm



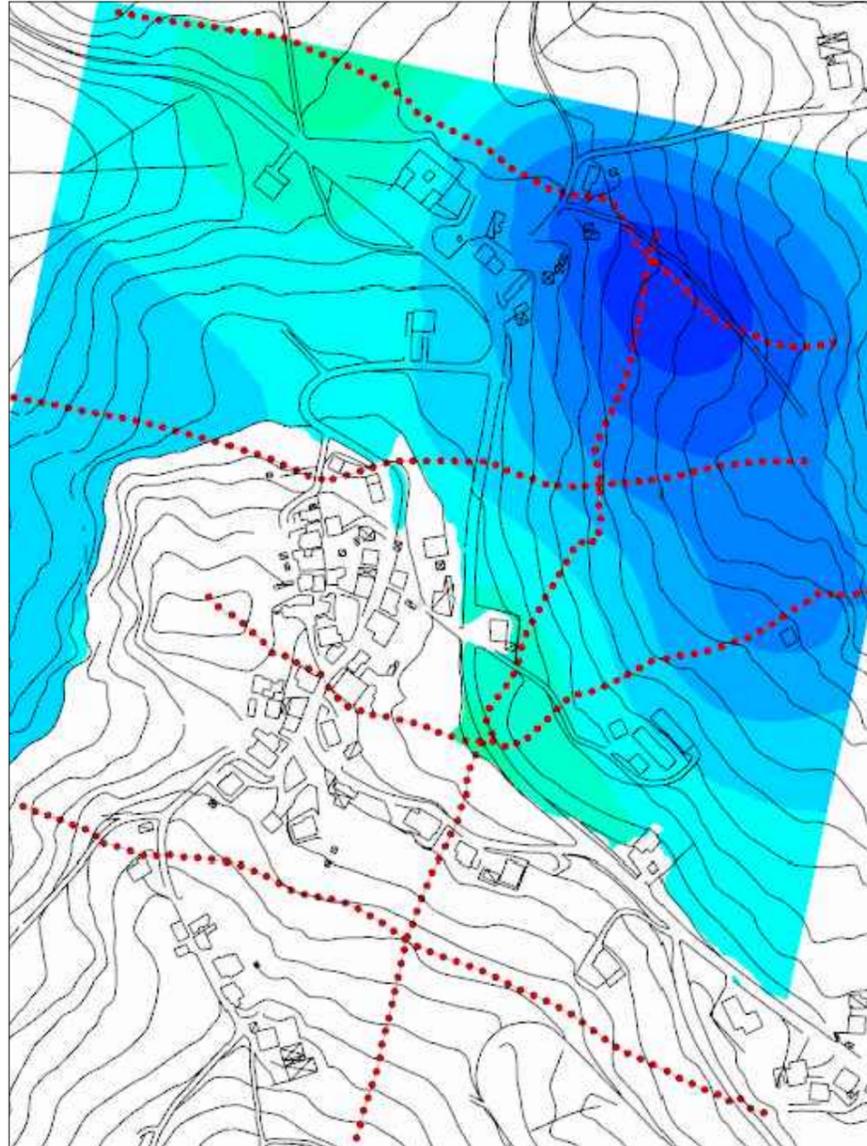
Nord



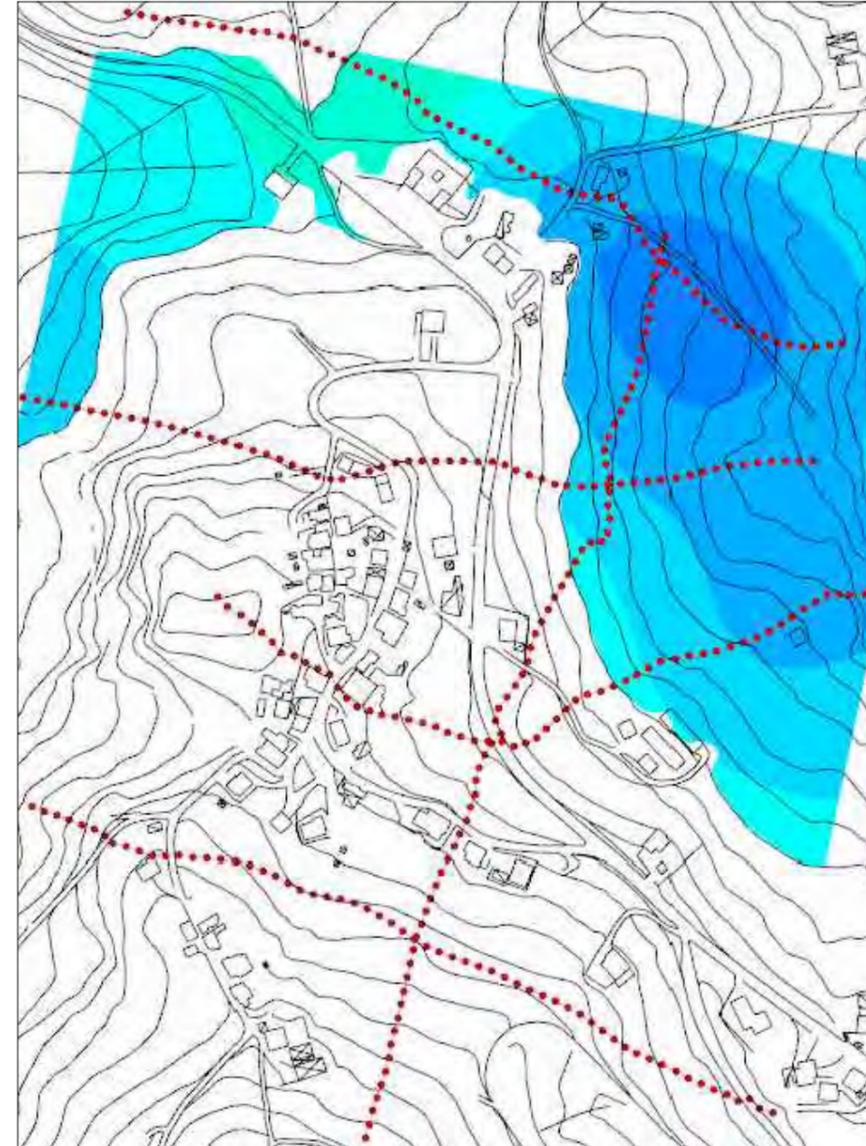
Modello di resistività (Ohm.m)



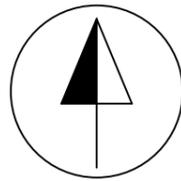
Mappa (slice) di resistività alla quota 220 mslm



Mappa (slice) di resistività alla quota 200 mslm



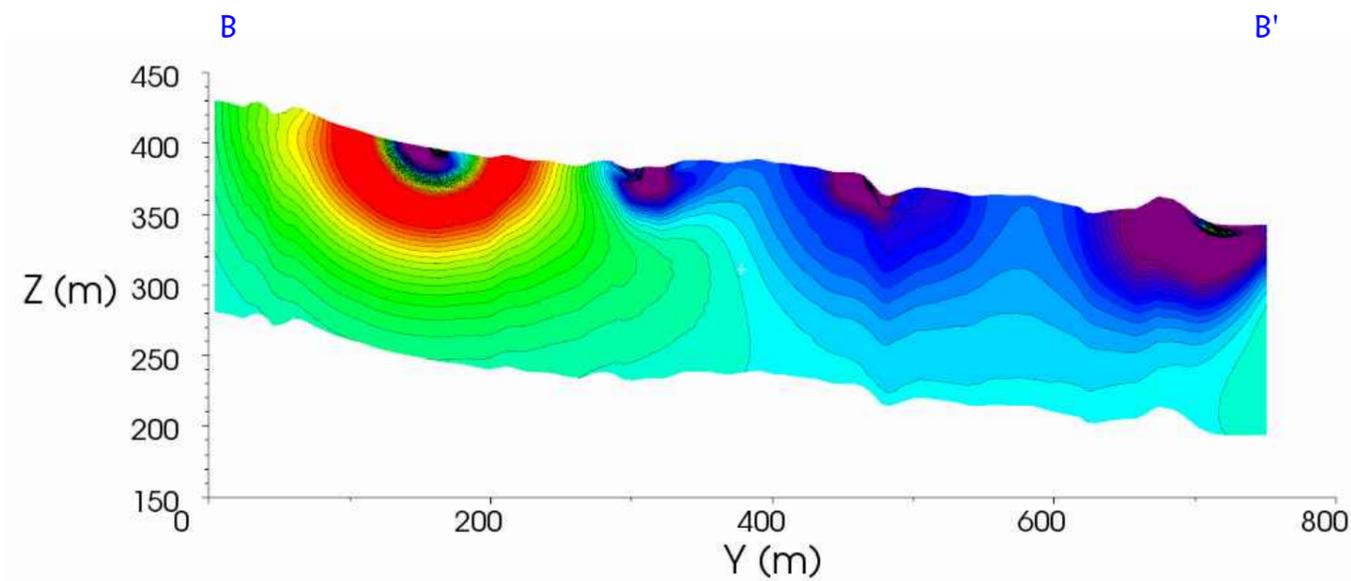
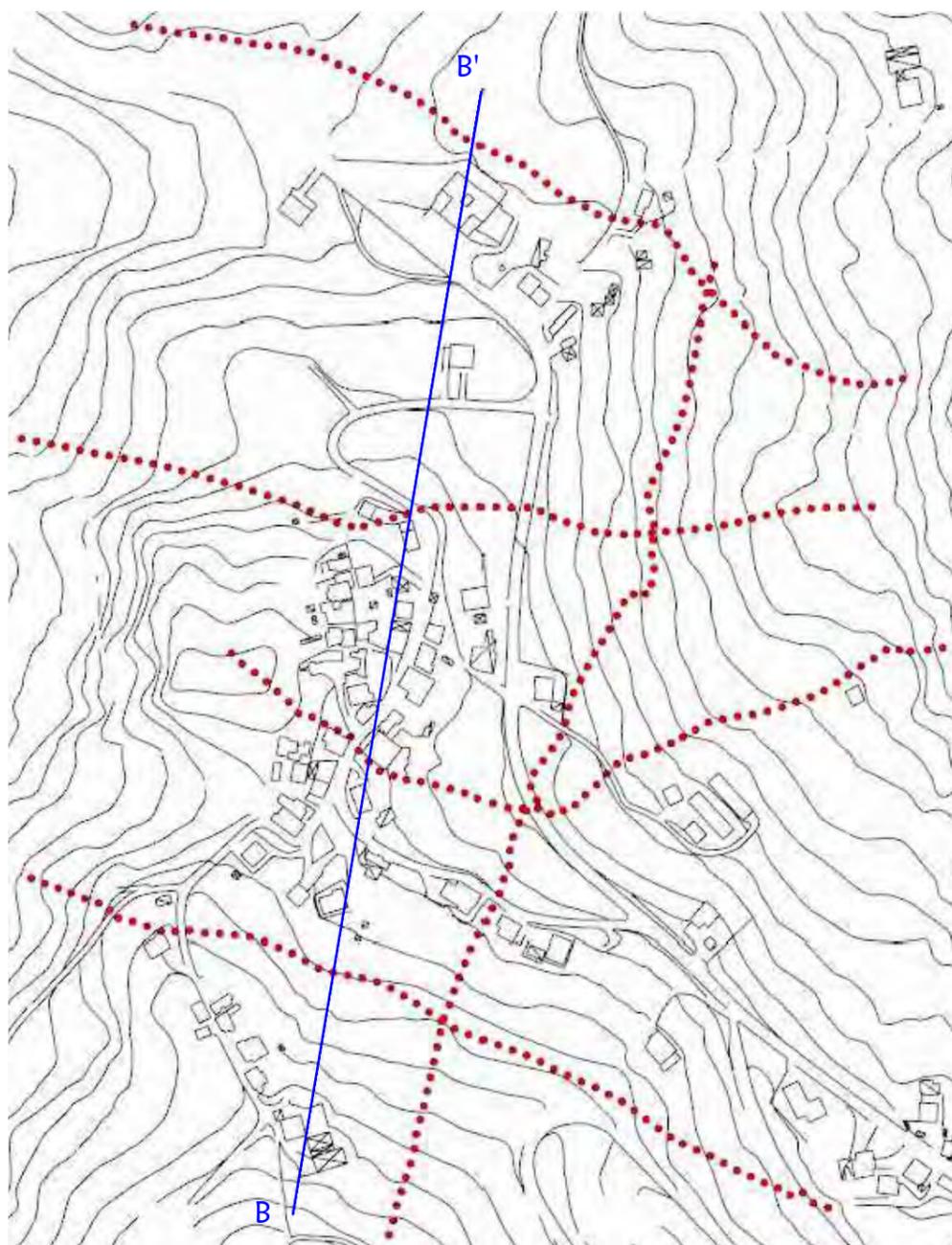
Nord



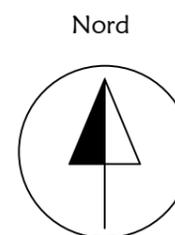
Modello di resistività (Ohm.m)



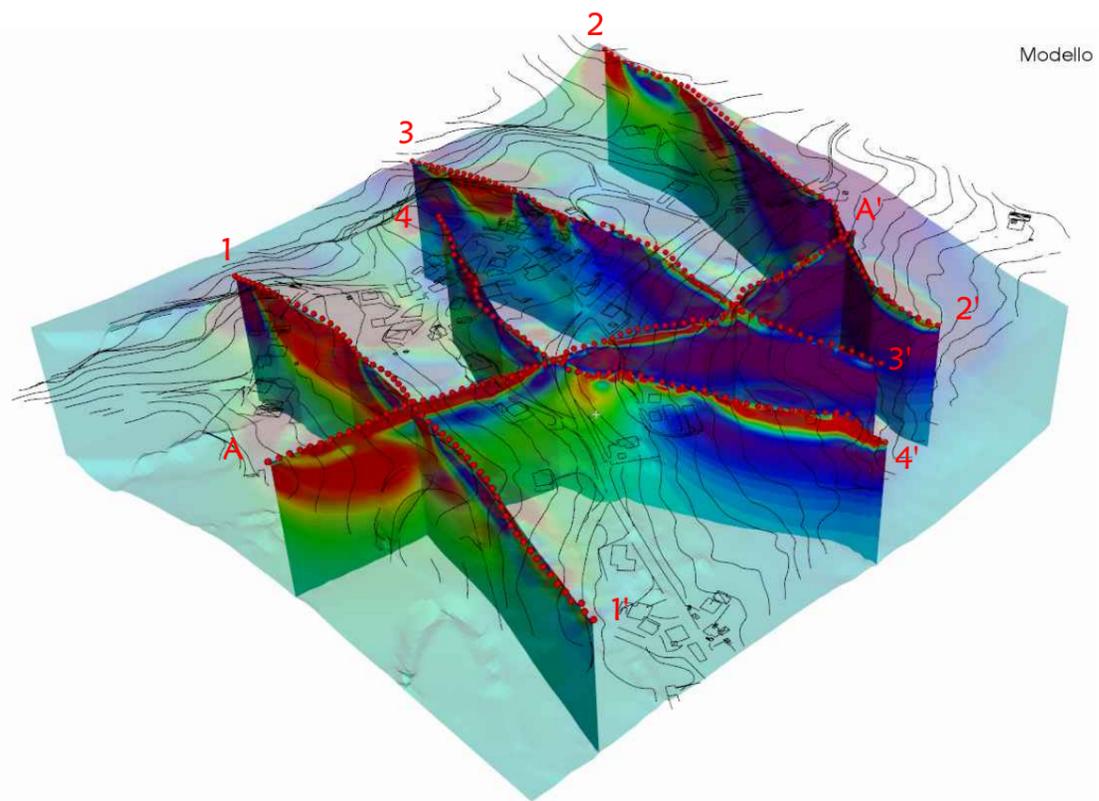
Ubicazione Sezione 2D B-B', ottenuta dall'elaborazione 2D



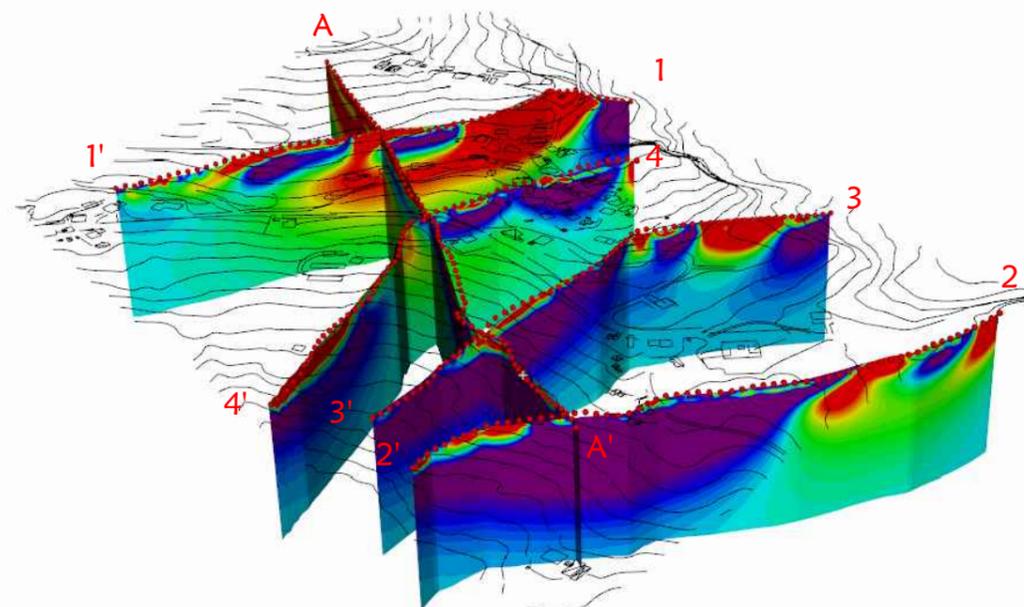
Modello di resistività (Ohm.m)



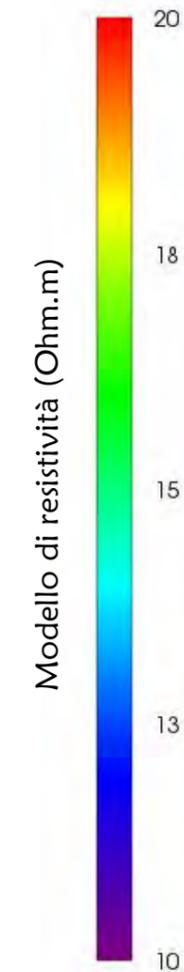
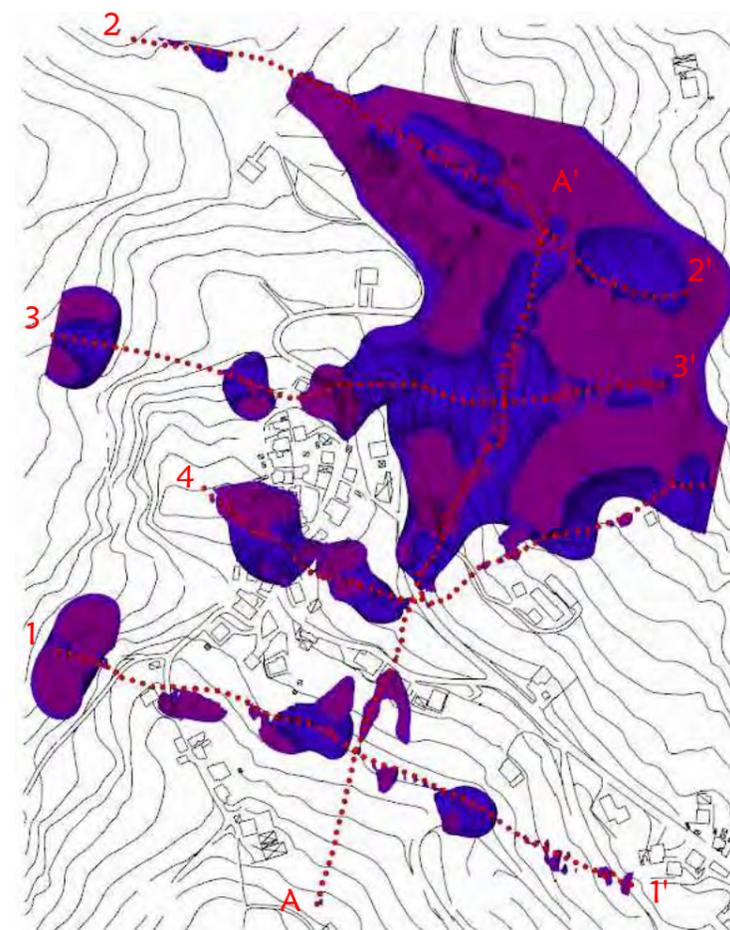
Visione prospettica delle sezioni 2D ottenute dal volume 3D



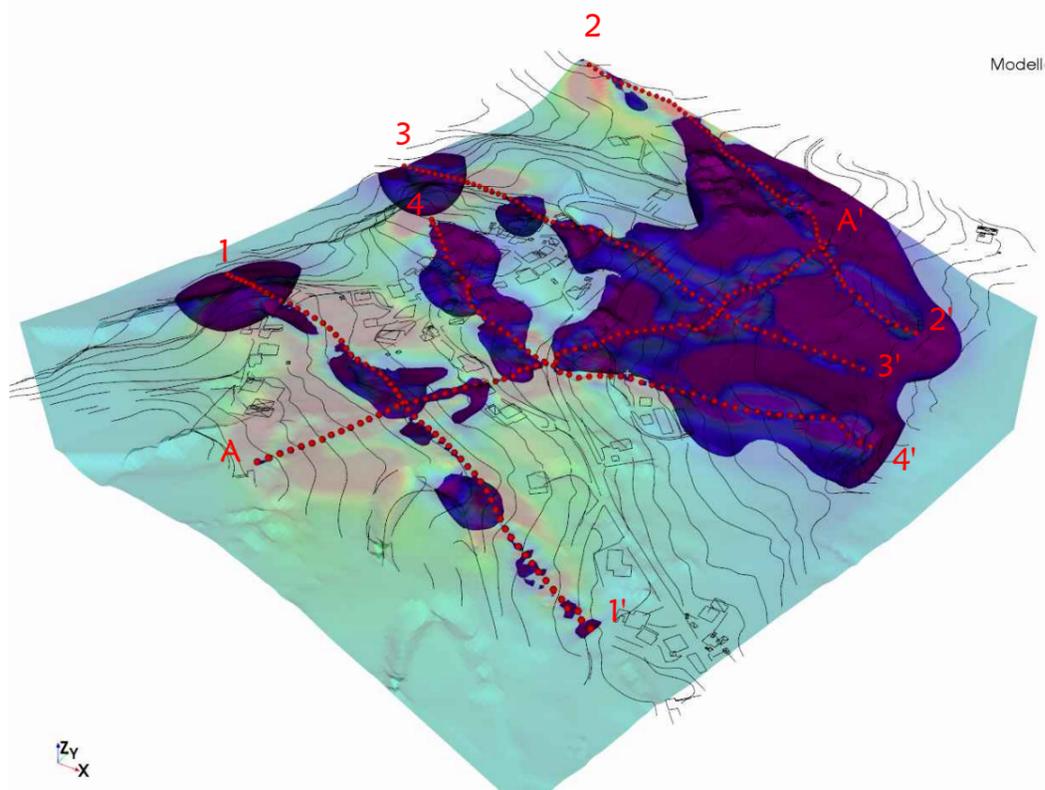
Visione prospettica (2) delle sezioni 2D ottenute dal volume 3D



Visione planimetrica dei volumi conduttivi < 11 Ohm.m (fuori scala)



Visione prospettica dei volumi conduttivi < 11 Ohm.m





ALLEGATO - 5

Rapporto fotografico.



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7



Foto 8

Allegato 6

Individuazione del valore del patrimonio immobiliare da mettere a trasferimento

Di seguito è calcolato il valore del patrimonio immobiliare da porre a trasferimento, ricadente nell'area soggetta a fenomeni gravitativi profondi ed irreversibili. Nelle figure 1, 2, 3 e 4 sono visibili le posizioni topografiche degli immobili con indicazione del Numero Identificativo (ID) comunale riscontrabile nella prima colonna della tab. 1.

I valori indicati sono una pura media dei valori OMI (Osservatorio del Mercato Immobiliare) recuperabili dal sito ufficiale dell'Agenzia delle Entrate.

Non potendo visionare gli immobili e verificare lo stato di manutenzione è stata assunta la categoria catastale per differenziare le varie destinazioni e tipologie. Per le abitazioni si è assunto questo criterio: la categoria di minor valore è la A/4 mentre la categoria di maggior valore è la A/7.

Le superfici a base di calcolo sono state desunte dalle visure catastali e per gli immobili privi di dati di superficie sono state desunte dalle planimetria/elaborati planimetrici. Per le unità prive di planimetrie catastali/elaborati planimetrici è stata desunta graficamente dalla sagoma riportata in mappa catastale.

Di seguito sono tabellati i dati delle unità immobiliari presenti (Tab.1, 2).

Tab. 1: Dati catastali e valori delle unità immobiliari

ID Comunale	IDENTIFICAZIONE CATASTALE				INTESTAZION E CATASTALE	CONSISTENZA CATASTALE						VALORE COMMERCIAL E INDICATIVO (Valori OMI)			SISMA 2016	NOTE	
	EDIFICIO	FOGLIO	P.LLA	SUB.		INDIRIZZO	PROPRIETARI	CAT.	CONS.	SUP. mq	PIANO	CL.	RENDITA	€/mq			Valore €
001	22	227	1	CONTRADA BORRANO			BCNC			S2-T						A	
			2	CONTRADA BORRANO			BCNC			S1-T-S2-1							
			4	CONTRADA BORRANO	TIBURZI Pierpaolo, TIBURZI Pietrina, TIBURZI Tiziano		D/3	850.00	S1			4,942.49 €	500.00 €	425.000.00 €			
			5	CONTRADA BORRANO	TIBURZI Pierpaolo, TIBURZI Pietrina, TIBURZI Tiziano		C/2	364 mq 492.00	S2	2		620.37 €	250.00 €	123.000.00 €			

044		043		042	041			040	
40	40	40	40	40	40			40	
248	454		350	695				677	
1 {249	2	2	1		4 {679	3	2 {678-680		2
CONTRADA BORRANO	VIA PRINCIPALE- BORRANO n. 23	CONTRADA BORRANO	CONTRADA BORRANO	FRAZIONE BORRANO	VIA PRINCIPALE- BORRANO n. 28	VIA PRINCIPALE- BORRANO n. 28	VIA PRINCIPALE- BORRANO n. 29	CONTRADA BORRANO	
DI LORENZO Giuseppe, DI LORENZO Isidoro, DI MATTEO Giovanna	DI ANTONIO Antonio, DI ANTONIO Candida, DI ANTONIO Ornella, PROCCACCINI Filomena	DI FRANCESCO Roberto, DI LORENZO Silvana	DI FRANCESCO Roberto, DI LORENZO Silvana	VALERI Antonella	VALERI Antonella	VALERI Antonella	DI ANTONIO Alessandrina, DI ANTONIO Dello, DI ANTONIO Iuna	DI MATTEO Luisa, LUCINI Luigi	
A/3	C/2	C/1	A/2	C/6	C/2	A/2	A/3	F/3	
12 Vani	22 mq	38 mq	14 Vani	30 mq	45 mq	8 Vani	6,5 Vani		
224.00	26.00	45.00	384.00	37.00	67.00	141.00	135.00	330.00	
S1-T-1-2	T	T	S1-T-1-2	T	S1	1-2	S1-T	2-3	
4	1	3	3	1	2	1	4		
526.79 €	31.81 €	484.75 €	1,084.56 €	34.09 €	76.09 €	433.82 €	285.34 €		
500.00 €	250.00 €	700.00 €	650.00 €	300.00 €	250.00 €	650.00 €	500.00 €	350.00 €	
112,000.00 €	6,500.00 €	31,500.00 €	249,600.00 €	11,100.00 €	16,750.00 €	91,650.00 €	67,500.00 €	115,500.00 €	
A	A		A						
	PERTINENZA EDIFICIO 044							UNITA' IN CORSO COSTRUZIONE	

056	056	055
40	40	51
A	55	683
		1
CONTRADA BORRANO	CONTRADA BORRANO	CONTRADA BORRANO
PARROCCHIA DI SANTA MARIA DELLE GRAZIE IN BORRANO	PARROCCHIA DI SANTA MARIA DELLE GRAZIE IN BORRANO	CORDIVANI Cinzia, DI MATTEO Brigida
E/7	A/4	A/2
	8,5 Vani	35 mq
300.00	420.00	42.00
T	T-1	T
	3	1
	201.93 €	39.77 €
	400.00 €	650.00 €
	168.000.00 €	12.600.00 €
		087-SISM16
INAGIBILE	INAGIBILE	C
Ord. 113/2021	Ord. 113/2021	Decreto Concessione 547/2022
		Ord. 453/2017
		515.17 €

Tab. 2: Banca dati delle quotazioni immobiliari nel Comune di Civitella del Tronto

Ministero dell'Economia e delle Finanze

agenzia entrate

Banca dati delle quotazioni immobiliari - Risultato

Risultato interrogazione: Anno 2022 - Semestre 2

Provincia: **TERAMO**

Comune: **CIVITELLA DEL TRONTO**

Fascia/zona: **Extraurbana/FRAZIONI DI VILLA PASSO, FAVALE, PONZANO, BORRANO, GABBIANO, RIPE, S. ANDREA, ROCCHE, COLLEBIGLIANO E RESTANTE TERRITORIO COMUNALE**

Codice zona: **ROMUNALE**

Microzona: **0**

Tipologia prevalente:

Destinazione:

Nel 2° semestre 2022 resta sospesa la rilevazione nelle zone centrali dei comuni di Castelli, Isola del Gran Sasso d'Italia e Montorio al Vomano, in cui il mercato immobiliare risulta sensibilmente condizionato dagli effetti degli eventi sismici del 24 agosto e del 30 ottobre 2016.

Tipologia	Stato conservativo	Valore Mercato (€/mq)		Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)		Superficie (L/N)
		Min	Max		Min	Max	
Abitazioni civili	Normale	440	660	L	1,5	2,2	N
Abitazioni di tipo economico	Normale	310	460	L	1	1,5	N
Autorimesse	Normale	220	320	L	1	1,5	N
Box	Normale	260	370	L	1,2	1,8	N
Ville e Villini	Normale	580	870	L	2	2,9	N

Stampa

Legenda

Tipologia	Stato conservativo	Valore Mercato (€/mq)		Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)		Superficie (L/N)
		Min	Max		Min	Max	
Magazzini	Normale	200	290	L	,7	1	N
Negozi	Normale	400	780	L	1,6	3,1	N

Tipologia	Stato conservativo	Valore Mercato (€/mq)		Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)		Superficie (L/N)
		Min	Max		Min	Max	
Capannoni tipici	Normale	160	250	L	,6	,8	N
Laboratori	Normale	320	480	L	1,1	1,6	N

Tipologia	Stato conservativo	Valore Mercato (€/mq)		Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)		Superficie (L/N)
		Min	Max		Min	Max	
Uffici	Normale	440	660	L	1,5	2,2	N



Foto 1: Visione di insieme dell'area



Fig. 1: Localizzazione del gruppo di immobili relativi alla posizione n. 1 del quadro di unione (foto 1)



Fig. 2: Localizzazione del gruppo di immobili relativi alla posizione n. 2 del quadro di unione (foto 1)



Fig. 3: Localizzazione del gruppo di immobili relativi alla posizione n. 3 del quadro di unione (foto 1)



Fig. 4: Localizzazione del gruppo di immobili relativi alla posizione n. 4 del quadro di unione (foto 1)

Tab. 3: Sintesi della tab. 1

EDIFICI	57			
ABITAZIONI	59			
NEGOZI / LOCALI COMMERCIALI	2			
LOCALI DEPOSITO / MAGAZZINI / CANTINE	9			
RIMESSE / GARAGE	14			
FABBRICATI PRODUTTIVI	2	di cui una cabina elettrica ENEL		
CHIESE	1			
UNITA' NON ABITABILI (collabenti, in corso costruzione)	9			
INAGIBILI SISMA 2016	19	A-F	1	
		B	2	
		C	1	
		E	11	
		ENU	2	
		INAGIBILE	2	

Tab. 4: Costo del patrimonio immobiliare da delocalizzare

COSTO DI DEMOLIZIONE E SMALTIMENTO MACERIE DEGLI IMMOBILI ESISTENTI							
A	Superficie totale immobili	mq	14,262.00				
B	Volume totale immobili (H convenzionale 3,5 m)	mc	49,917.00				
C	Peso macerie (peso convenzionale 600 kg/mc vuoto/pieno)	kg	29,950,200.00	958,406.40	19.20		
D	Costo unitario demolizione+smaltimento	€/mc	100.00	Demolizione 31,55 €/mc	Smaltimento 0,032 €/kg 19,20 €/mc	Trasporto 48,86 €/mc	99.56
E	Costo totale demolizione+smaltimento	€	4,991,700.00				
F	Costo bonifica area 2% di E	€	99,834.00				
G	Totale costi E+F	€	5,091,534.00				
H	Imprevisti 2% di G	€	101,830.68				
I	Spese Tecniche 2% di G	€	101,830.68				
	TOTALE COSTI ARROTONDATI DEMOLIZIONE E SMALTIMENTI G+H+I	€	5,300,000.00				
COSTO RICOSTRUZIONE IMMOBILI							
L	Acquisto nuove aree	€	2,000,000.00				
M	Opere di urbanizzazione	€	5,000,000.00				
N	Costo ricostruzione edifici (costo convenzionale 1200 €/mq)	€	17,114,400.00				
O	Imprevisti 2% di N	€	342,288.00				
P	Spese tecniche 5% di N	€	855,720.00				
	TOTALE COSTO RICOSTRUZIONE ARROTONDATO L+M+N+O+P	€	25,300,000.00				
			30,600,000.00				