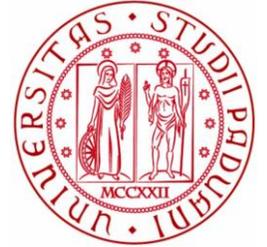


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA



FACOLTA' DI SCIENZE MM. FF. NN.
Dipartimento di Geoscienze



TESI DI LAUREA TRIENNALE
IN
SCIENZE GEOLOGICHE

**ANALISI GEOMORFOLOGICA E MODELLAZIONE CONGIUNTA DI FAGLIE CAPACI CON
SISTEMI DI TOMOGRAFIA ELETTRICA SINGLE – SOURCE, MULTI – SOURCE,
E FULL – WAYER IN LOCALITA' CASTELLO D'AVIANO (PORDENONE)**

Relatore: Prof. Aldino Bondesan
Correlatore: Prof. Roberto Francese

Laureando: Gasperi Luca

ANNO ACCADEMICO 2016 / 2017

- **INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO**

La presente tesi riguarda l'applicazione di metodi geofisici di tipo geoelettrico, per l'investigazione di un'area interessata dalla presenza di faglie capaci presso l'abitato di Castello D'Aviano in provincia di Pordenone.

Obiettivo del lavoro è individuare l'ubicazione e geometria delle faglie secondo le «linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)», impiegando tecnologie innovative (in particolare FW e MS)



Fig.1 – Frontespizio del manuale tecnico operativo riguardante le FAC

- **INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

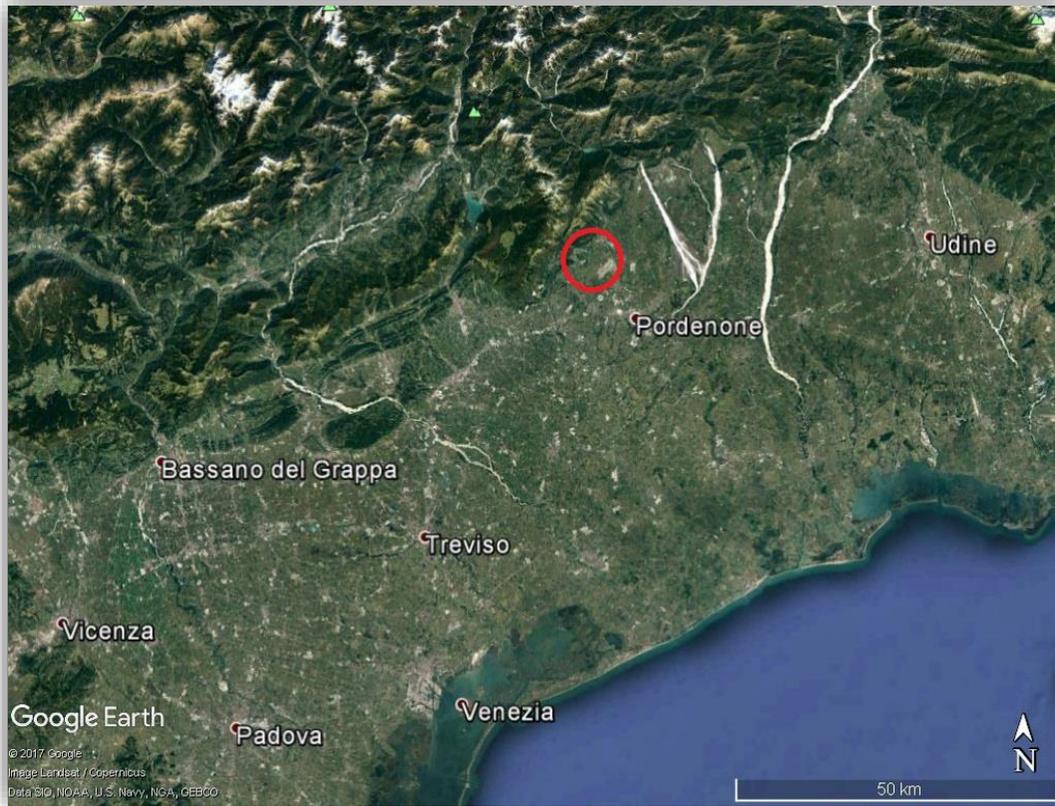


Fig.2 – Inquadramento geografico generale località Castello D'Aviano (PN) tramite Google Earth

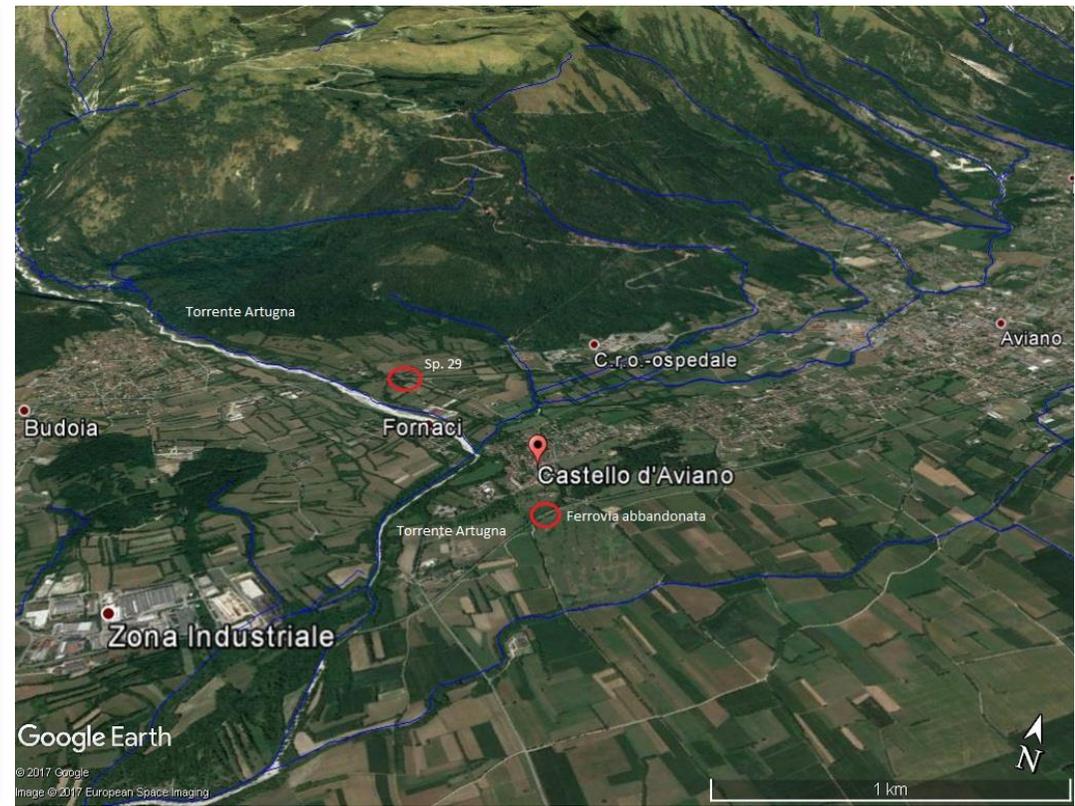


Fig. 3 – Immagine località di studio tramite Google Earth; sono rappresentati il torrente Artugna, la ferrovia abbandonata e la pedemontana Sp.29

• INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

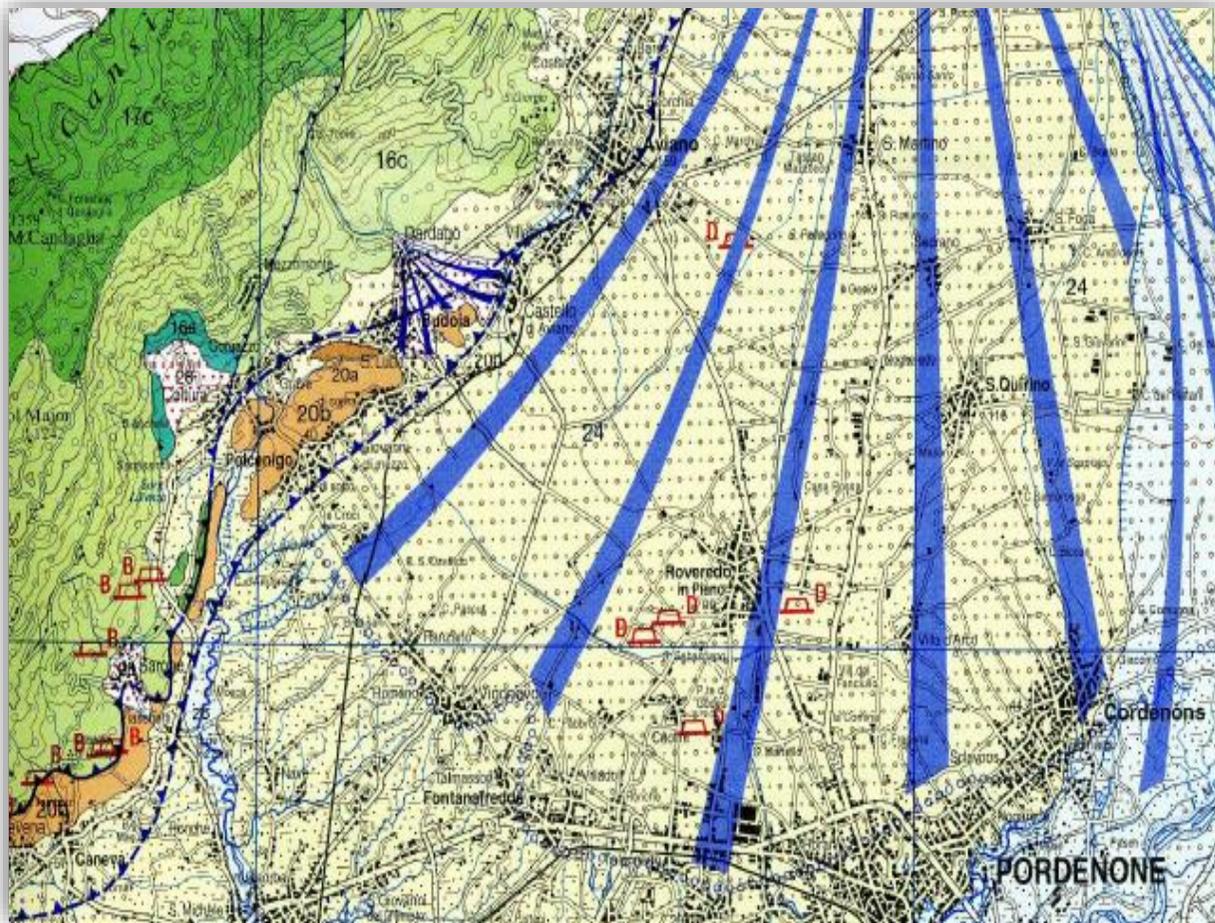


Fig.4 – Ingrandimento generale della zona di lavoro, tratto dalla Carta Geologica Ufficiale del FVG (2006) alla scala 1:150'000

Legenda:

Coperture Quaternarie



Detriti di falda recenti ed attuali. *Olocene – Attuale*



Sedimenti fluvio-glaciali ed alluvionali della pianura. *Pleistocene sup.*

Successione Cenozoica



Marne siltose grigie (*Marne di Tarzo, Marne di S. Donà*); alternanza di arenite e siltite grigie (*Arenaria di Vittorio Veneto*); conglomerati poligenici ed eterometrici prevalenti, siltite ed arenarie (*Conglomerato del Montello*); depositi molassici epibatiali, deltizi e di conoide alluvionale con episodi lacustri. *Miocene medio – sup.*



Brecce calcaree e conglomerati (*Brecce di Peonis*); calcarenite grossolane, siltite e arenarie grigie con resti fossili; locali livelli conglomeratici a ciottoli carbonatici, selciferi e metamorfici (*Arenaria di Preplans*); arenite glauconitiche grossolane verdastre a pettinidi (*Marne di Bolago*); alternanza di arenite glauconitiche e siltite arenacee (*Arenaria di S. Gregorio*); peliti con resti di molluschi e coralli (*Marne di Monfumo*); arenite glauconitiche e biocalciruditi (*Fm. Del Monte Baldo*); depositi molassici marini di piattaforma e deltizi. *Oligocene sup. ? – Miocene medio*



Successione Mesozoica

Calcarei stratificati dm-m, biancastri, grigi e nocciola, di aspetto porcellanaceo, con frequenti strutture di emersione, talora con brecce, argille residuali e stromatoliti (*Calcare del Cellina, Calcare di San Donà*); depositi di piattaforma protetta. *Giurassico sup. - Cretacico inf.*



Calcarei massicci di scogliera ricchi di faune. Talora, alla sommità, tasche bauxitiche (*Calcare di Polcenigo*); depositi di scogliera. *Giurassico sup.*



Sovrascorrimento principale, a- sepolto o presunto



Conoide alluvionale



Conoidi alluvionali dei torrenti Cellina e Meduna



Orlo di terrazzo, a- con scarpata alta più di 20 metri

• INQUADRAMENTO TETTONICO - STRUTTURALE

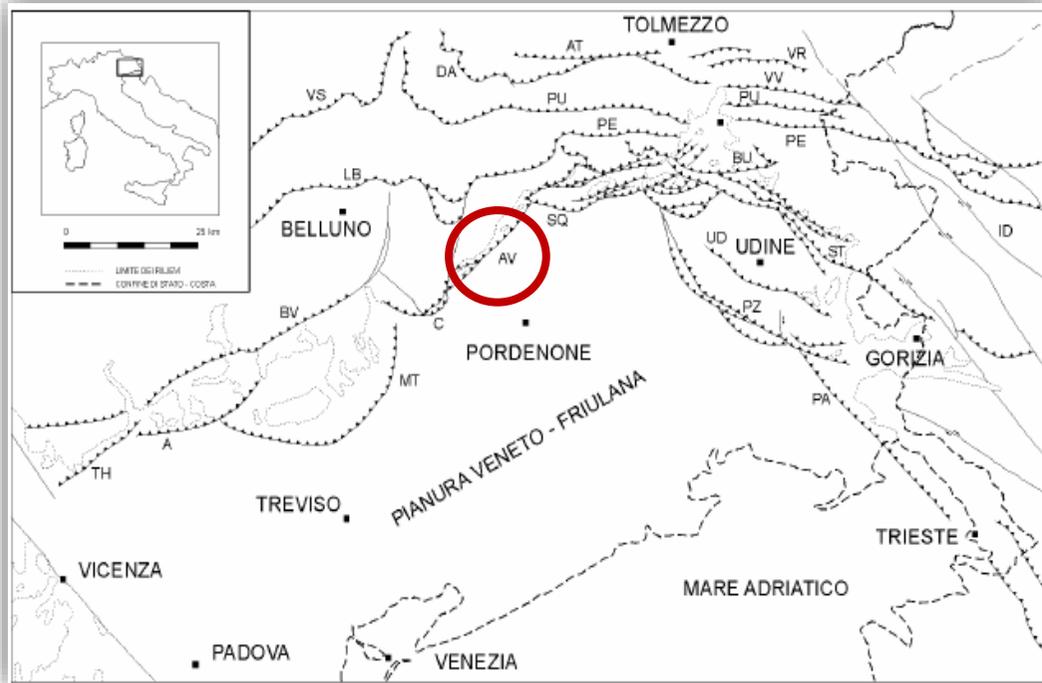


Fig.5 - Schema strutturale semplificato del Sudalpino orientale. Legenda: A: sovrascorrimento Asolo-Cornuda; AT: linea dell'Alto Tagliamento; AV: s. di Aviano; BV: s. Bassano-Valdobbiadene; BU: s. di Buia; C: s. di Caneva; DA: s. Dof-Auda; ID: l. di Idria; LB: l. di Belluno; MT: s. Montello-Conegliano; PA: s. di Palmanova; PE: s. periadriatico; PU: s. Pinedo-Uccea; PZ: s. di Pozzuolo; SQ: s. di Sequals; ST: s. Susans-Tricesimo; TH: s. Thiene-Bassano; UD: s. di Udine; VR: s. della Val Resia; VV: s. della Val Venzonassa. Lo schema strutturale aggiornato del fronte pliocenico-quaternario evidenzia la segmentazione del fronte stesso in un sistema di *thrust* arcuati, in massima parte ciechi e spesso caratterizzati da rampe oblique mediante le quali un *thrust* si accavalla lateralmente su un altro. (da *Sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti distruttivi nell'Italia Nord - orientale* di F. Galadini, M.E. Poli e A. Zanferrari 2016)

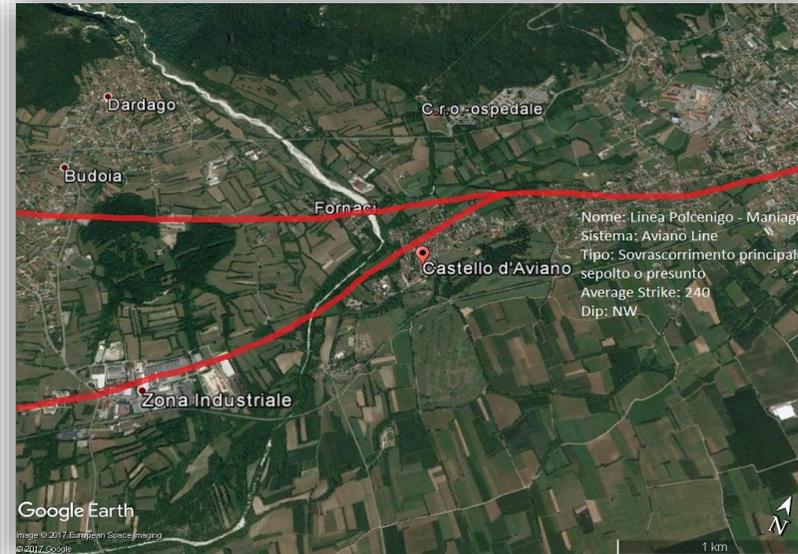


Fig.6 - Rappresentazione con Google Earth del Sovrascorrimento principale, oggetto di studio, come interpretato nella Carta Geologica del FVG in scala 1:150'000

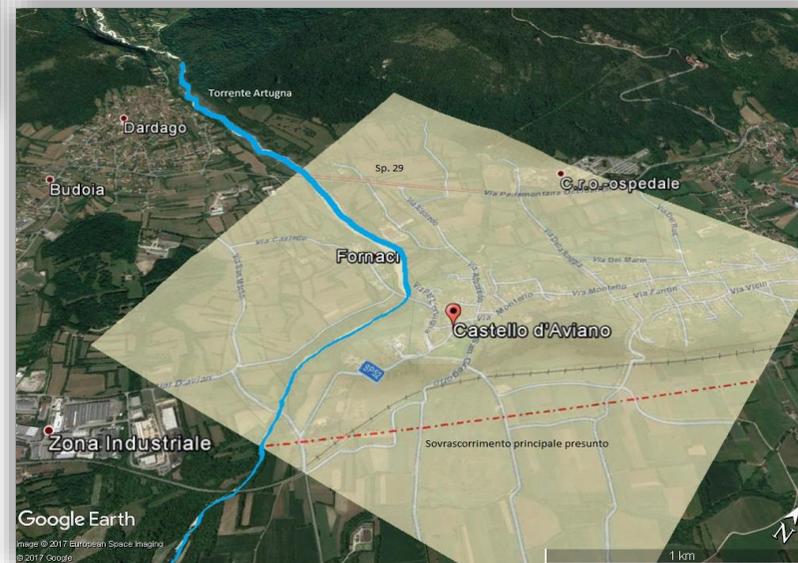
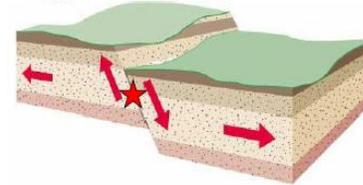


Fig.7 - Rappresentazione in overlay dello stralcio carta Ithaca con sovrascorrimento (FAC) su base Google Earth

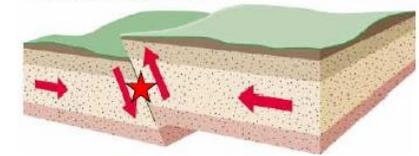
- **FAGLIA ATTIVA E CAPACE**

considerata **attiva** una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40'000 anni (parte alta del Pleistocene superiore – Olocene), ed è considerata **capace** una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura del terreno (generalmente ci si riferisce al piano di rottura principale della faglia)

Faglia Normale



Faglia Inversa



Faglia Trascorrente

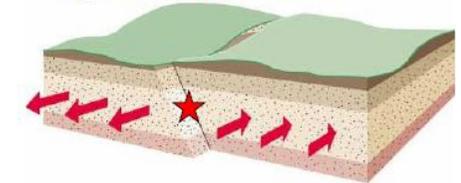


Fig.8 – Effetti ambientali di fratturazione superficiale dovuto al movimento della faglia di Paganica, in seguito definita Capace da *Rilievi geologico-ambientali in fase emergenziale nell'area epicentrale del terremoto del 6 Aprile 2009 a L'Aquila, M 6.3: Primi Risultati* di Andrea Berlusconi, Franz Livio, Alessandro M. Michetti e Giancanio Sileo



Fig.9 – Faglia del Monte Vettore, foto del Dott. Paolo Galli



Fig.10 -Il catalogo **ITHACA** (**IT**aly **H**azard from **CA**pable faults) colleziona le informazioni disponibili sulle faglie capaci, cioè le faglie che potenzialmente possono creare deformazione tettonica permanente in superficie, che interessano il territorio italiano.

ITHACA è uno strumento fondamentale per:
a) analisi di pericolosità ambientale e sismica,
b) comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio,
c) pianificazione territoriale e
d) gestione delle emergenze di Protezione Civile.

- **NORMATIVA CLASSIFICAZIONE FAC**

MICROZONAZIONE SISMICA

LINEE GUIDA PER LA GESTIONE
DEL TERRITORIO IN AREE INTERESSATE
DA FAGLIE ATTIVE E CAPACI (FAC)

VERSIONE L.0

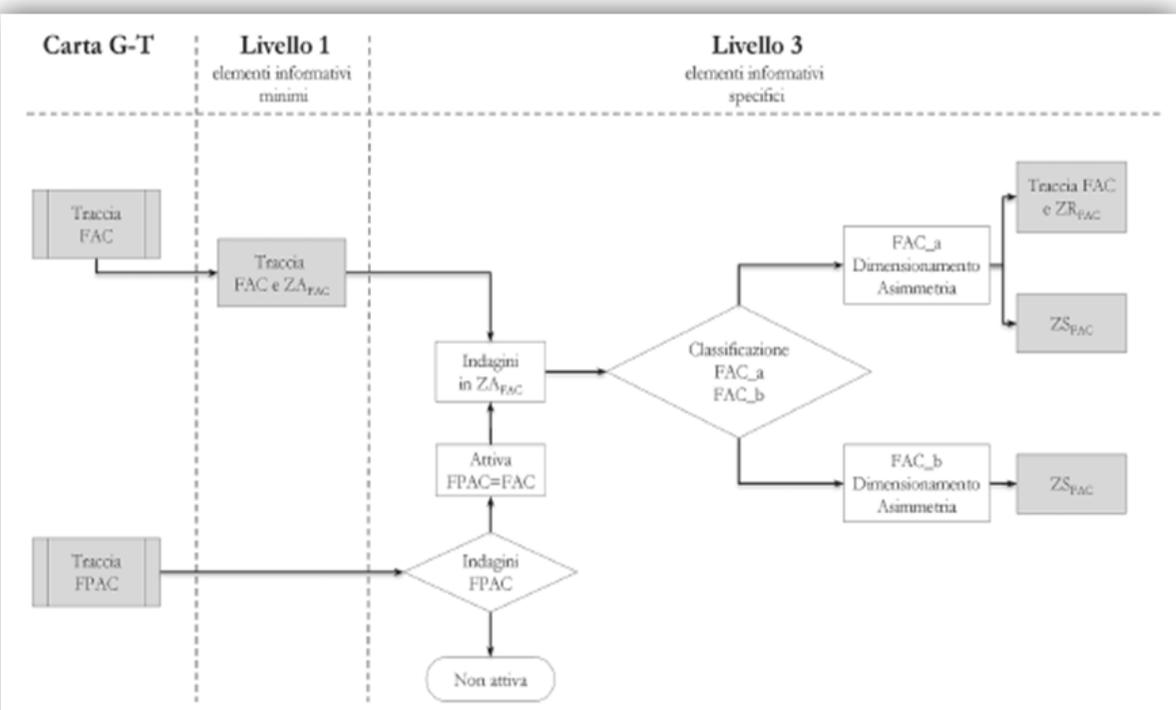


Fig. 1 – Schema di flusso che sintetizza la procedura di dimensionamento delle zone di faglia nei differenti livelli di approfondimento degli studi di microzonazione sismica. Carta G-T: Carta Geologico Tecnica, costituisce la cartografia di base necessaria per l'esecuzione di uno studio di microzonazione. FPAC: faglia potenzialmente attiva e capace (disloca terreni del Pleistocene medio-Pleistocene superiore ma l'attività negli ultimi 40.000 anni non è documentata e deve essere verificata in fase di Livello 3).

Tab. 1 – Categorie descrittive delle faglie attive e capaci e dei fenomeni cosismici.

Categoria	Definizione	Note esplicative
FAC_a	Certa e definita	Il piano di rottura principale e fenomeni cosismici ad essa collegati sono riconosciuti con certezza. In questa categoria sono comprese anche le strutture tettoniche secondarie e le zone di trasferimento tra segmenti distinti di una faglia attiva e capace.
FAC_b	Incerta	Gli elementi che compongono una faglia attiva e capace e i fenomeni cosismici collegati non sono cartografabili con certezza e/o dettaglio, per assenza di dati o perché non possono essere identificati (zone di trasferimento, gap, erosione, coperture, ecc.).

Tab. 2 – Indagini per lo studio di una FAC nel livello 3 di MS, raggruppate per tipologia e significatività (Gruppo Ind_4 massima significatività).

ID	Gruppo Indagini	Tipologie d'indagine
Ind_1	Analisi aereofotogrammetriche	Foto aeree, ortofoto, immagini LiDAR, immagini da satellite
Ind_2	Rilievi geologici e geomorfologici	Rilevamenti geologici di campagna e relativa cartografia
Ind_3	Indagini geofisiche e geognostiche	ERT, sismica a riflessione e rifrazione, GPR, sondaggi e saggi
Ind_4	Paleosismologia	Trincee paleosismologiche e datazioni dei terreni fagliati

- **STUDI PRECEDENTI: TESI DI LAUREA INDIZI DI ATTIVITA' TETTONICA RECENTE TRA POLCENIGO E CASTELLO D'AVIANO (PN)** della Dott.ssa Giulia Casagrande (Uniuud)

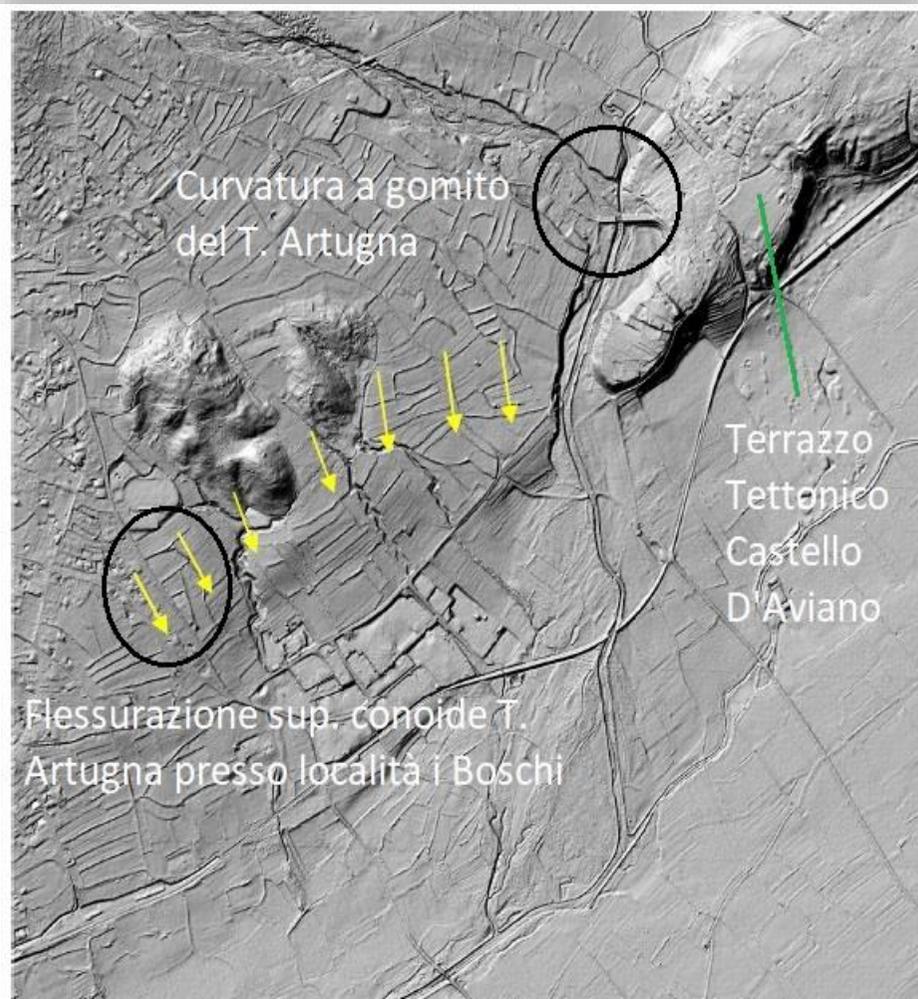


Fig.13 – Immagine Lidar

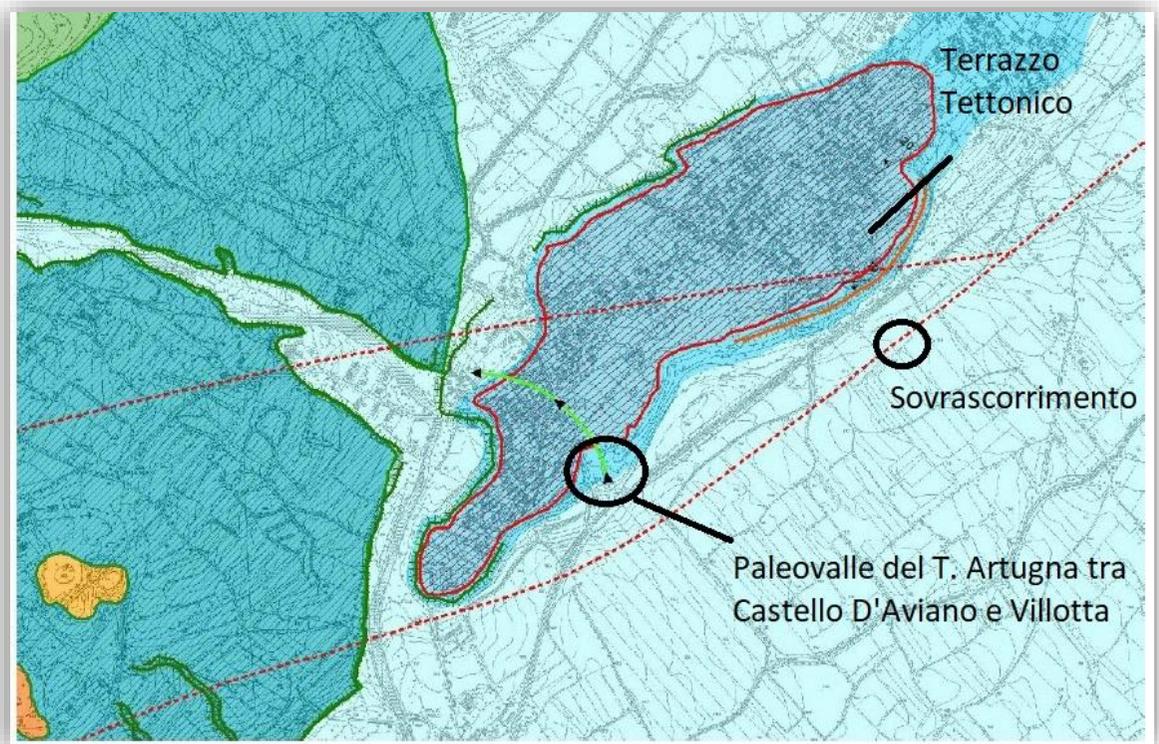


Fig.14 – Carta Gis della Tesi

• SISTEMI GEOELETTRICI USATI

SYSCAL PRO



- Iris Instruments (Francia)
- Unità interna di energizzazione di 800 V a 250 W e 2.5 A
- Canali di lettura multipli per misura tensioni e correnti
- I cavi multiconduttore associabili arrivano ad un massimo di 96 elettrodi

MPT



- Multi – Phase Technology (Usa)
- Sistema wireless
- Unità ricetrasmittitori autonome
- Trasmettitore interno da 375 W alimentato da batteria esterna da 12 V
- Dotato di Gps interno
- Ogni unità gestisce tre elettrodi
- Gestione unità in remoto, via radio su frequenza di 900 MHz, attraverso laptop di campagna
- Possibilità di trasmissione simultanea da più box

FW



- Iris Instruments (Francia)
- Sistema wireless
- Antenna Gps
- Trasmettitore di corrente da 10 KW, 3000 V e 20 A
- Unità I FW (arancione) connessa in serie alla linea di corrente
- Unità V FW (nera) di ricezione collegata a 3 elettrodi

- **RETI DI MISURE**

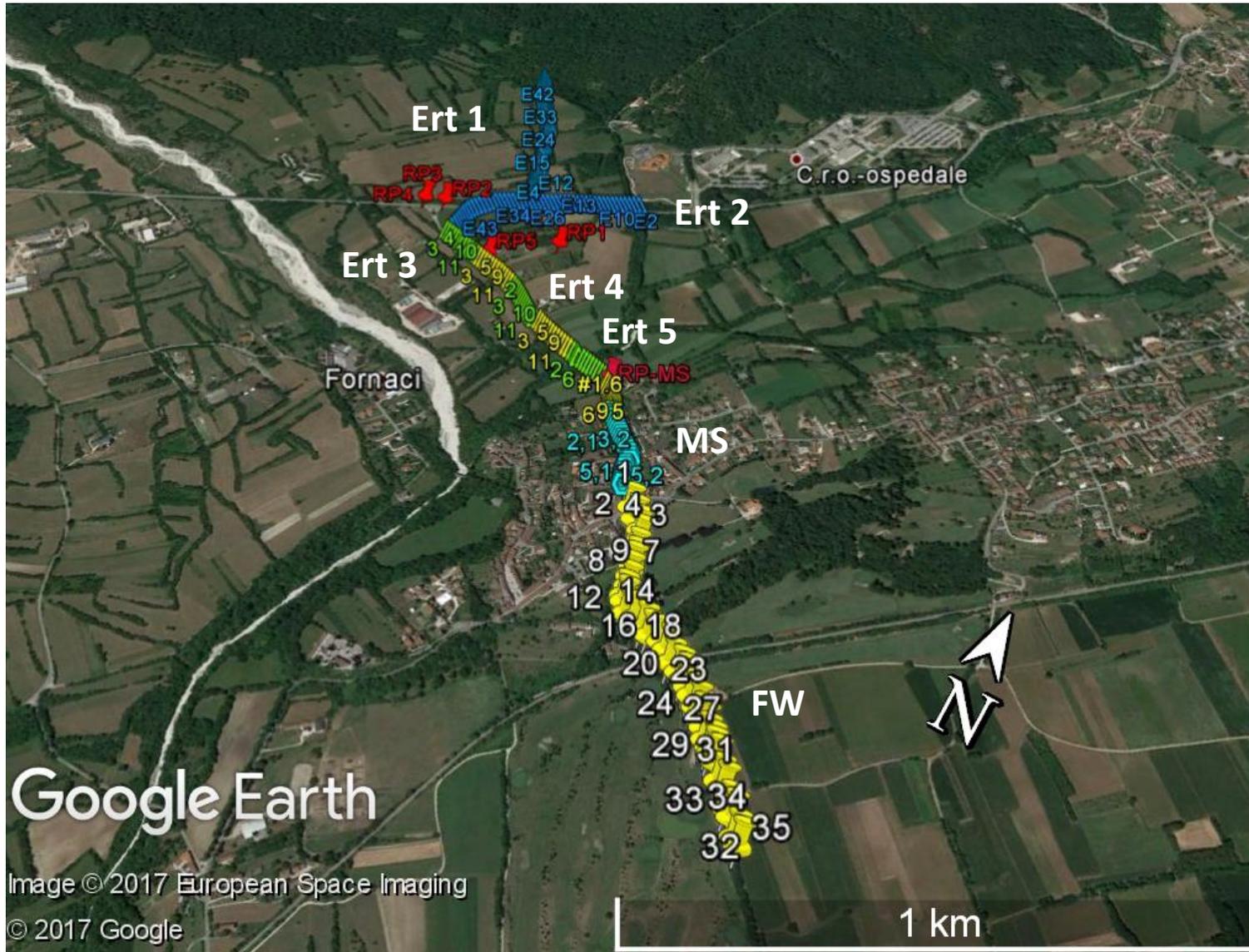


Fig. 19 – Rappresentazione delle linee di misura tramite Google Earth

ERT

- Utilizzato metodo Roll-along
- Effettuate n°6 linee di tomografia
- Per ogni linea posizionati 48 elettrodi con spaziatura 10 metri (totale lunghezza singola linea 480 metri)
- Acquisiti dati in configurazione Wenner alpha (per ogni linea 360 punti di misura) per un totale di 2160 punti e, in configurazione Polo / Dipolo (per ogni linea 1335 punti di misura) per un totale di 8010 punti

MPT

- Effettuate n°2 linee di misure
- Impiegate 7 unità
- Spaziatura di 10 metri tra esse
- Energizzato il terreno anche con un polo remoto a 100 metri a valle del box 1

FW

- Effettuata n°1 linea di misura
- Lunghezza massima linea 750 metri
- Energizzazione terreno con una coppia di quadripoli remoti

- **IMMAGINI DEL RILIEVO DI CAMPO**



Fig.26 – Stendimento cavo multiconduttore lungo terreno sconnesso



Fig.27 – Particolare attraversamento stradale per la misurazione



Fig.29 – Particolare del cavo multiconduttore per Syscal ed elettrodo di contatto inserito nel terreno



Fig.30 – Particolare del quadripolo energizzante per sistema IRIS Full Waver

• ELABORAZIONE DATI

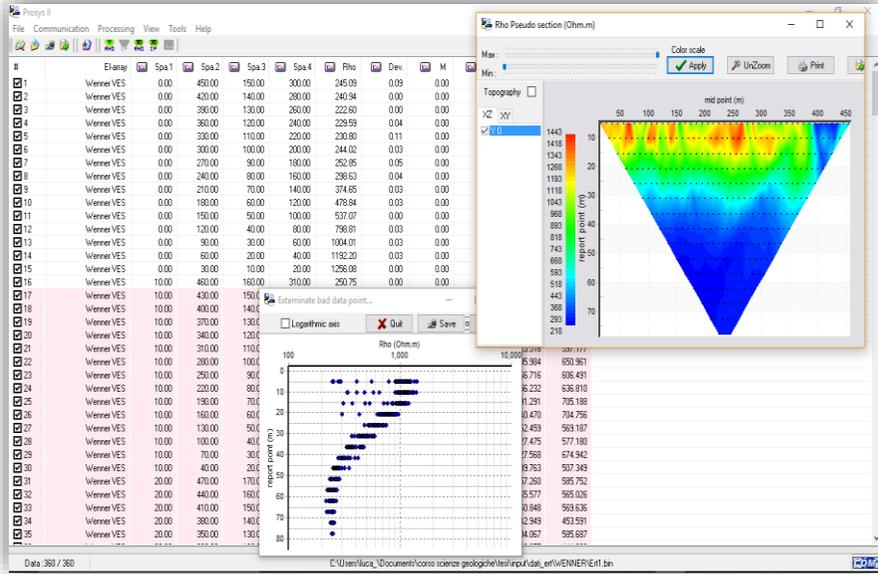


Fig.31 - Interfaccia grafica di Prosys II dove sono riportati i valori di resistività misurata per ogni punto, la pseudosezione Rho (A) e la dispersione dei punti elaborati.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Id	x_bin	y_bin	z_bin	X_real	Y_real	Z_real	
2	1	0.0	0.0	0.0	311242.91	5103506.46	133.22	
3	2	1.0	0.0	0.0	311232.05	5103501.34	133.22	
4	3	2.0	0.0	0.0	311223.04	5103497.09	133.15	
5	4	3.0	0.0	0.0	311214.02	5103492.84	133.07	
6	5	4.0	0.0	0.0	311205.01	5103488.58	133.03	
7	6	5.0	0.0	0.0	311195.99	5103484.33	133.24	
8	7	6.0	0.0	0.0	311186.98	5103480.07	133.45	
9	8	7.0	0.0	0.0	311177.97	5103475.82	133.66	
10	9	8.0	0.0	0.0	311168.96	5103471.57	133.87	
11	10	9.0	0.0	0.0	311159.94	5103467.31	134.08	
12	11	10.0	0.0	0.0	311150.93	5103463.06	134.29	
13	12	11.0	0.0	0.0	311141.91	5103458.81	134.51	
14	13	12.0	0.0	0.0	311132.90	5103454.56	134.72	
15	14	13.0	0.0	0.0	311123.88	5103450.31	134.93	
16	15	14.0	0.0	0.0	311114.87	5103446.06	135.15	
17	16	15.0	0.0	0.0	311105.85	5103441.81	135.36	
18	17	16.0	0.0	0.0	311096.84	5103437.56	135.58	
19	18	17.0	0.0	0.0	311087.83	5103433.31	135.79	
20	19	18.0	0.0	0.0	311078.81	5103429.06	136.01	
21	20	19.0	0.0	0.0	311069.81	5103424.81	136.58	
22	21	20.0	0.0	0.0	311060.81	5103420.56	137.14	
23	22	21.0	0.0	0.0	311051.82	5103416.31	137.71	
24	23	22.0	0.0	0.0	311042.83	5103412.08	137.89	
25	24	23.0	0.0	0.0	311033.88	5103407.82	138.33	
26	25	24.0	0.0	0.0	311024.90	5103403.56	138.63	

Fig.32 - File Excel contenente le coordinate acquisite dal servizio OGS di Trieste tramite sistema GPS differenziale di precisione geodetica Trimble® R7 GNSS



Fig.33 - Grafico Excel contenente le linee con elettrodi georeferenziati

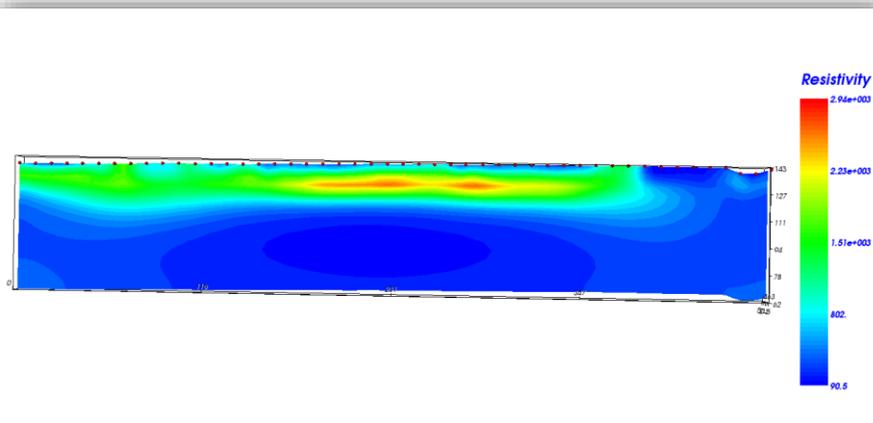
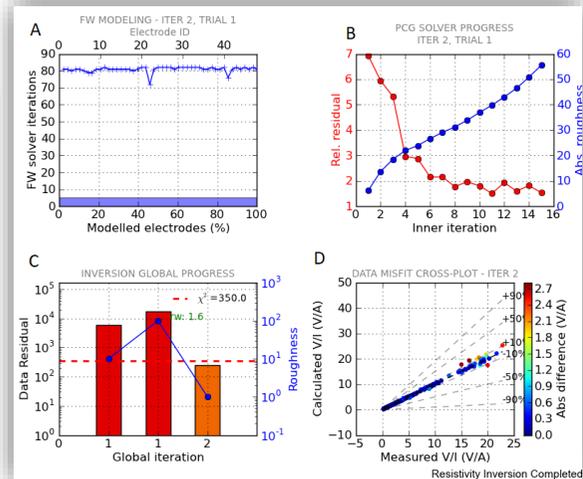


Fig.35 - Visualizzazione modello tramite software ErtLab Viewer. Con questo programma è possibile lavorare sulla grafica del nostro risultato

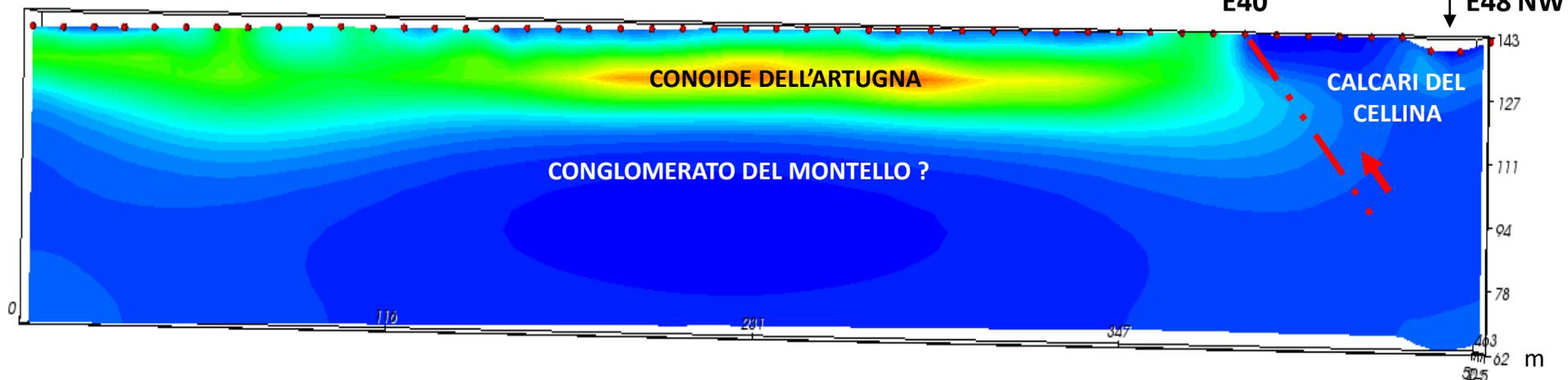
Fig.34 - Visualizzazione grafica dello stato di progresso dell'inversione (software ErtLab 64) **A)** N° di iterazioni effettuate per la *Forward solving*; **B)** Grafico del tempo di avanzamento di inversione; **C)** N° di iterazioni applicando la *Roughness*; **D)** Errori residui (*Misfit*).



- RAPPRESENTAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

- ERT 1

SE E1

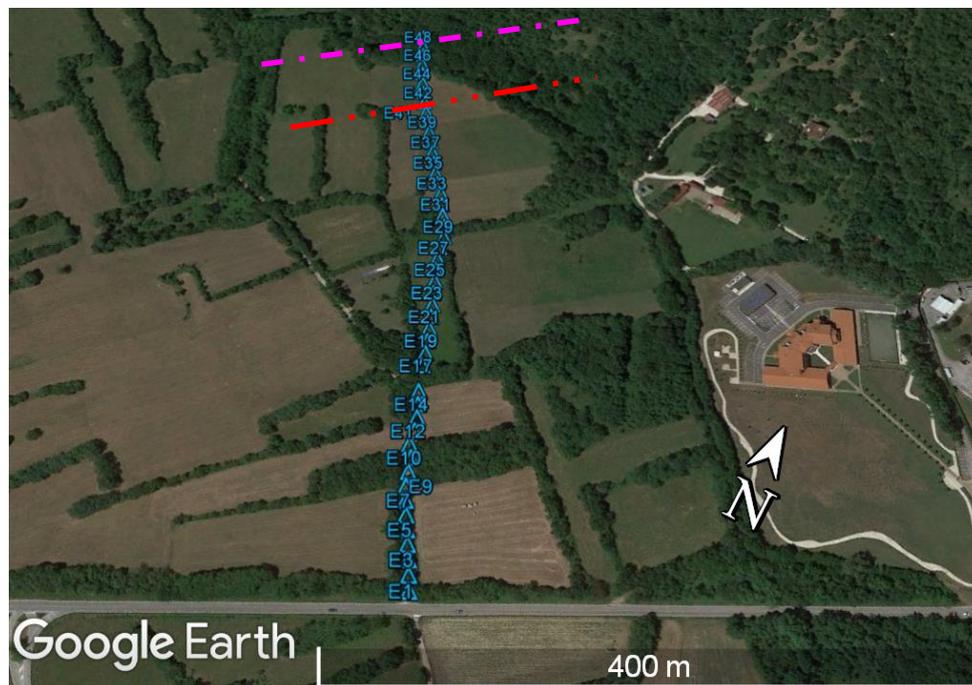


LEGENDA:

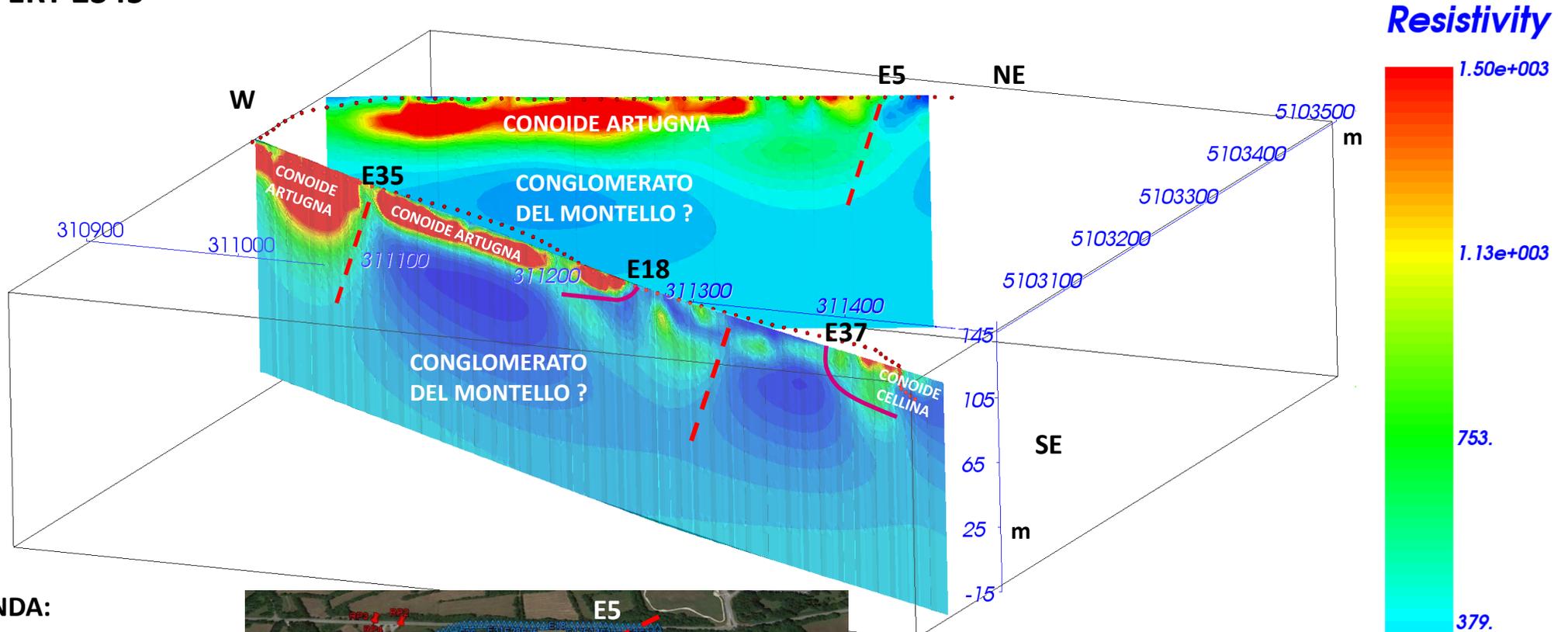
- Faglia studi precedenti



- Faglia individuata tramite ERT

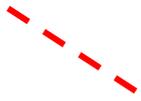


• ERT 2345



LEGENDA:

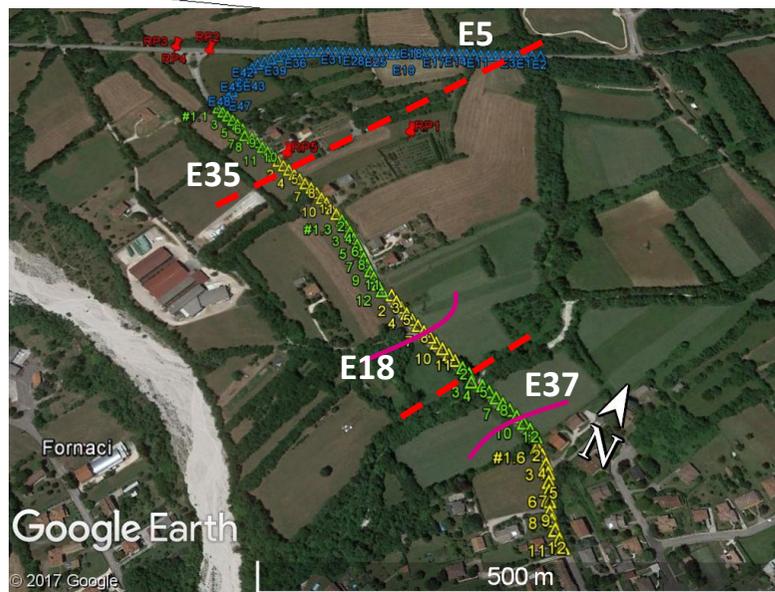
- Faglia ipotetica



- Limite conoide

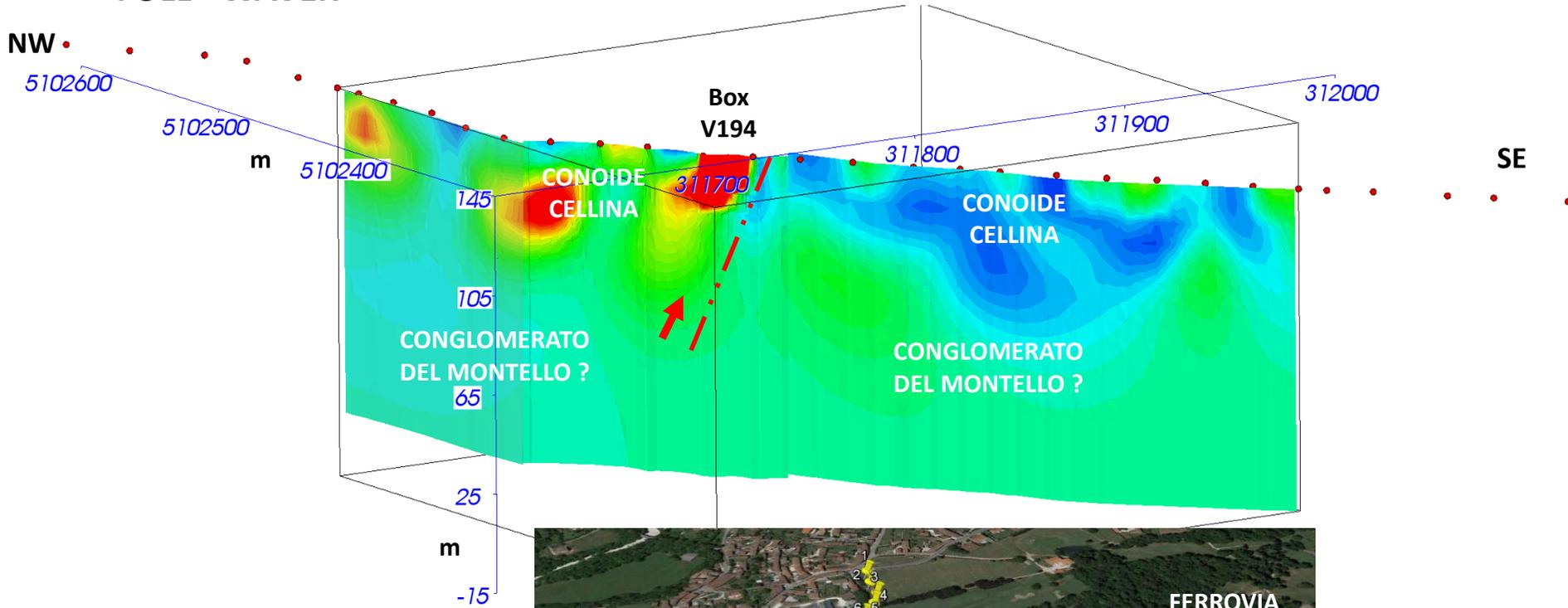
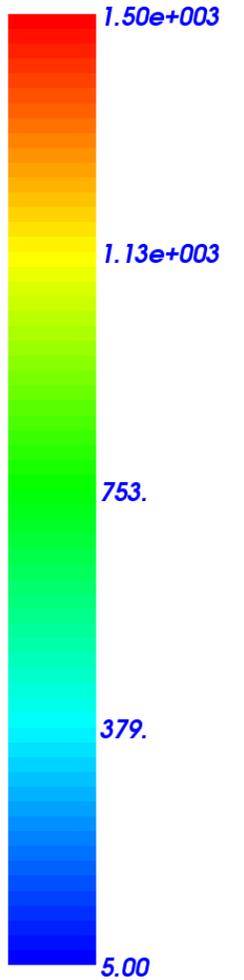


E18 e E37 = ERT5
 E35= ERT3
 E5= ERT2



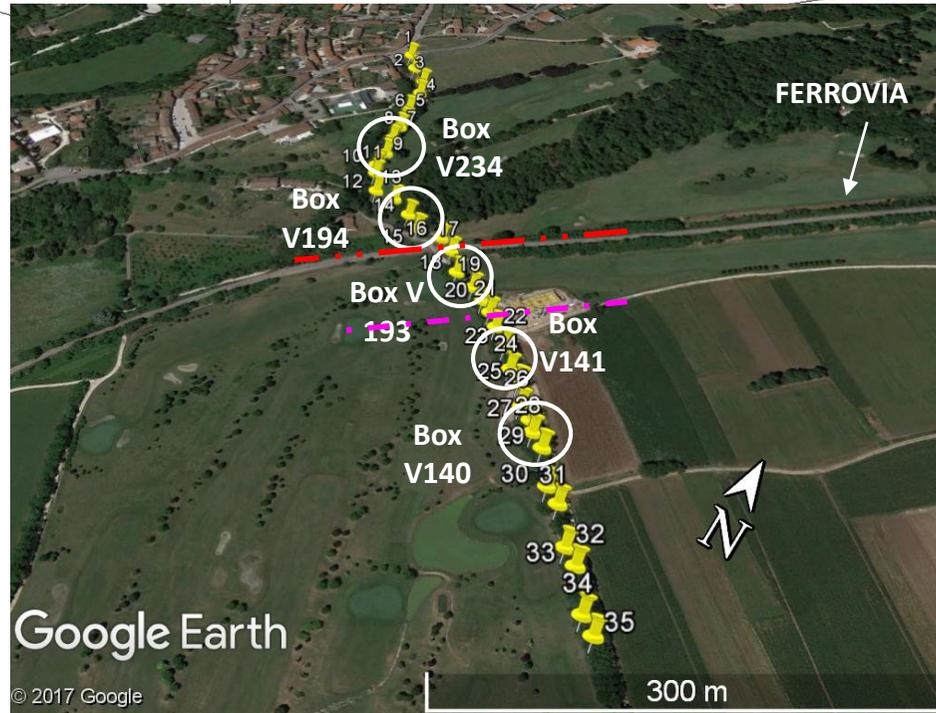
• FULL - WAVER

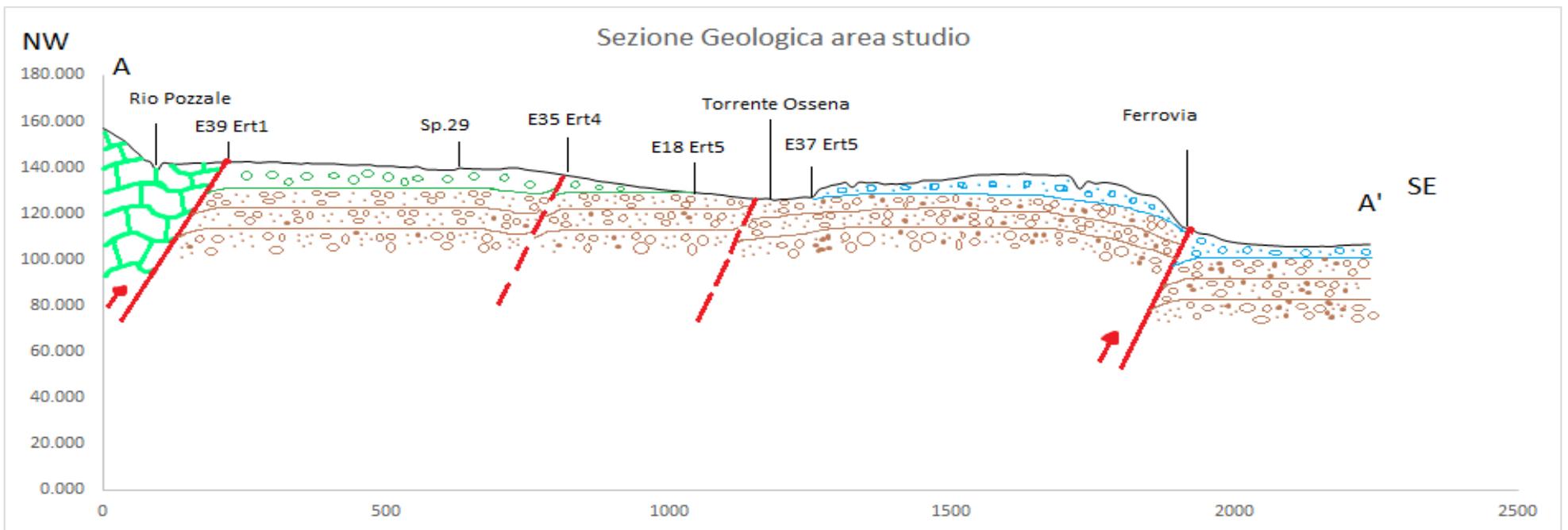
Resistivity



LEGENDA:

- Faglia studi precedenti
- Faglia individuata tramite FW





LEGENDA

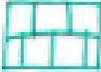
COBERTURE QUATERNARIE

-  DEPOSITO ARTUGNA, DEPOSITI ALLUVIONALI DI CANGIORE, SANDI GHIAIE CARBONATICHE SIA CLASTO CHE MATRICI, SOSTEGNUTE CON LEVITI DI SABBIA / ARGILLA (Pleistocene sp. - Olocene?)
-  DEPOSITO DELL'IMA, SABBIE DI UCIARO?, DEPOSITI ALLUVIONALI DI CANGIORE, SANDI GHIAIE CARBONATICHE IN ABBOBANDE, MATRICI ARGILLOSA - SABBIOSA (Pleistocene sp. - Olocene?)

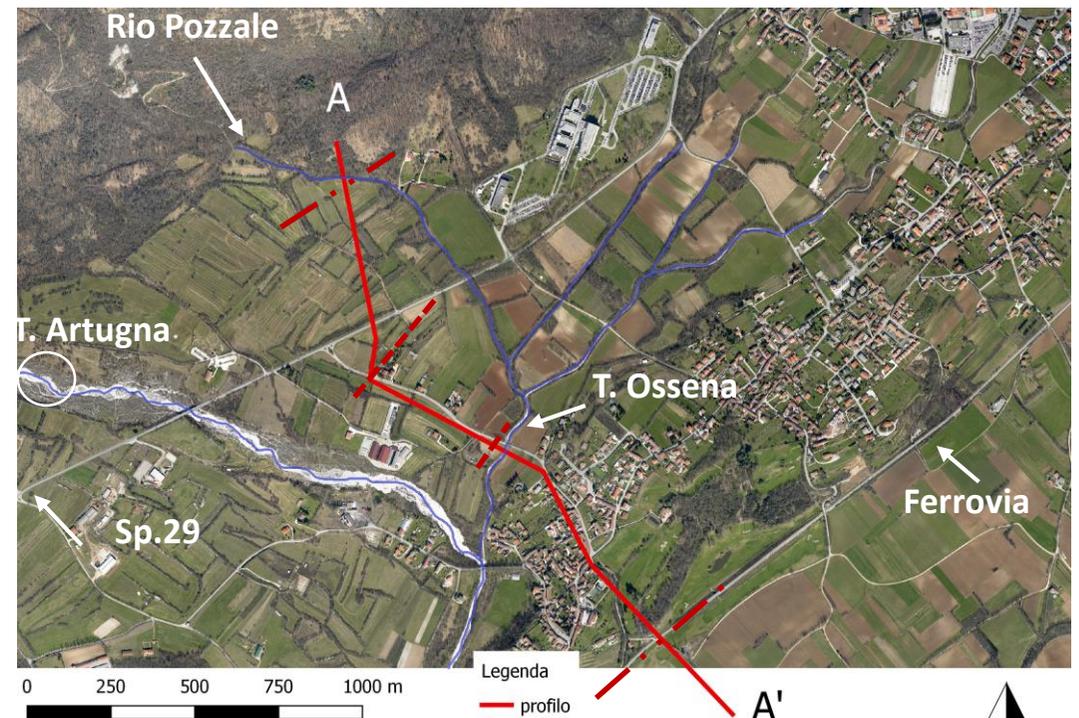
CEVOTICO

-  CONGLOMERATO DEL MONTIULO, DEPOSITI DI CANGIORE ALLUVIONARI E/O PANA ALLUVIONALE, COSTITUITO DA CONGLOMERATI CARBONATICI CON INTERCALAZIONI ARGILLOSE, SABBIOSE O PELVICHE (Mons) (Pleistocene infuionale)

MESOTICO

-  CALCARE DEL DELL'IMA, CALCARE DI CLASSICA SUCCESSIONE DI PIATTAFORRA PROTETTA (Voltaguonano - Apliano)

-  SORRACORRI LEVITO
-  IPOTETICA



CONCLUSIONI

- Il riesame dei dati geologici e le nuove misure geofisiche, condotte con diverse tecniche di tomografia elettrica, hanno consentito di formulare nuove ipotesi circa la presenza delle linee di sovrascorrimento pedemontano nella zona di Castello D'Aviano (PN)
- Le misure elettriche hanno dimostrato di essere sostanzialmente capaci di avere una risoluzione sufficiente e consentono di ottenere delle immagini del sottosuolo a risoluzione adeguata per l'individuazione di strutture quali sono queste faglie, specialmente quando queste mettono a contatto terreni con caratteristiche elettriche diverse
- La sismica a riflessione, sicuramente, avrebbe dato informazioni di geometria di strato, tuttavia, per problematiche di questo tipo, ha dei costi proibitivi e non ci sono gli spazi economici per applicarla. È anche importante, in questo senso, che la tomografia elettrica ci dica risposta poiché costa molto meno e potrebbe essere applicata in maniera massiva

• BIBLIOGRAFIA

- Tesi di Laurea Magistrale «indizi di attività tettonica recente tra Polcenigo e Castello D'Aviano» della Dott.ssa Giulia Casagrande (2011 – 2012), Università di Udine
- Tesi di Laurea Magistrale «Modellazione geofisica con metodi elettrici multisorgente della frana di Busa del Cristo, Perarolo di Cadore (BL)» del Dott. Filippo Vacchelli (2015 – 2016), Università di Parma
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC), Dipartimento della Protezione Civile
- Presentazione all'Ordine dei Geologi della Lombardia «Sistemi geoelettrici di ultima generazione: potenzialità, limiti e casi di studio» del Prof. Roberto Francese (Unipr) (2015)
- Pubblicazione «Faglie attive e capaci negli studi di microzonazione sismica: definizioni e procedure di zonazione» di E.Peronace, P.Boncio, P.Galli, G.Naso (2013)
- Pubblicazione «Sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti distruttivi nell'Italia Nord – orientale» di F.Galandini, M.E.Poli e A.Zanferrari (2016)
- Presentazione «Faglie attive al fronte della catena sudalpina orientale (Italia NE): Stato dell'arte» della Prof.ssa M.Elina Poli ,Università di Udine (2008)
- Note illustrative alla carta geologica 065 «Maniago», Progetto Carg
- Note illustrative alla Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150000
- Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150000
- Documento «Geositi del Friuli Venezia Giulia»
- Webgis portale nazionale ISPRA geologia: <http://sgi.isprambiente.it/GMV2/index.html>
- Portale Webgis della Regione Friuli Venezia Giulia: <http://irdat.regione.fvg.it/WebGIS/>