



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

**FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI
Corso di Laurea in Scienze Geologiche**

Tesi di Laurea

**STUDIO PRELIMINARE DEL
CONTESTO STRUTTURALE DEI
BOATI DEL FADALTO**

*Dipartimento di Geoscienze,
35131 Padova (Italy)*

Relatore: *Dott. Nereo Preto*

**Correlatore/i: *Dott. Giulio Di Toro*
*Dott. Matteo Massironi***

Laureando: *Luca Dal Zilio*
Matricola 595953-sg

Anno Accademico 2011 - 2012

INDICE

- Abstract -

1.0 – Introduzione _____ *pag.1*

2.0 – Studio sismico (OGS) _____ *pag.2*

3.0 – Geological setting

3.1 – Inquadramento geomorfologico _____ *pag.5*

3.2 – Inquadramento stratigrafico

3.2.1 – Maiolica

3.2.2 – Calcare del Fadalto

3.2.3 – Scaglia Rossa

3.3 – Inquadramento strutturale _____ *pag.7*

3.3.1 Linea “Longhere-Fadalto-Cadola”

4.0 – Metodi _____ *pag.8*

5.0 - Dati _____ *pag.9*

6.0 – Conclusione _____ *pag.13*

- References -

– Abstract –

This study looks in detail at the Lapisina Valley and specifically the residential areas of Fadalto and Farra d'Alpago, which have been subject to rumbling. This area is interesting from a geo-tectonical point of view, as it presents various thrust, in particular the "Longhere-Fadalto-Cadola" line which runs through the area analyzed in my study.

Due to these perceived rumbles in the early part of 2011 the OGS (Istituto nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale) decided to carry out an investigation through the use of portable seismometers, which led them to discover relatively shallow micro-earthquakes. Furthermore they formulated a hypothesis that these seismic events were responsible for the rumbles and caused by a phenomenon known as "Water Hammer", where a liquid or even a gas is forced to change its natural course and crash into a subterranean rock wall.

This thesis is aimed to define whether these "Water Hammer" events have a structural control.

The study is comprised of a detailed geological survey, a structural investigation and a remote-sensing analysis (Ortho photos). Through accurate fieldwork I was able to draw up a detailed geological map (in 1:15,000 scale) and a geological profile of the interested area with the use of geographic information system software (ArcGIS); also during this fieldwork I set up three structural stations whose data allowed me to draw rose diagrams. The second part of my study comprised by the telemetric survey of the area allowed me to draw up another rose diagram to compare to the three diagrams previously obtained on the ground.

According to this study, there is a possible structural conditioning of mask conduits where water hammer could have accused and on the niche of the Fadalto Landslide.

1.0 - Introduzione

L'area che comprende il Lago di Santa Croce e Fadalto è situata nella parte centro-orientale delle Alpi Meridionali e si sviluppa, geologicamente parlando, al confine fra il Vallone Bellunese e la Piattaforma Friulana. Questo settore delle Prealpi si presenta particolarmente interessante sia dal punto di vista stratigrafico, poiché rappresenta l'evoluzione del Bacino Bellunese e della piattaforma Friulana, sia dal punto di vista strutturale perché caratterizzata dagli eventi tettonici che durante l'Orogenesi Alpina hanno interessato il bordo meridionale del Sudalpino.

E' interessante ricordare che, tra il 1977 e il 1987, il settore circostante all'area di studio è stato investigato dall'AGIP S.p.A., attraverso rilievi, dati geofisici, di laboratorio e di sottosuolo (pozzi), costituendone poi la base per la realizzazione del Foglio Geologico 063 – Belluno, in scala 1: 50.000.

Questa tesi si pone l'obiettivo di realizzare uno studio preliminare geologico-strutturale basato sulle tecniche del rilevamento e del tele-rilevamento, con lo scopo di interpretare i fenomeni acustici, in gergo definiti come "boati", in connessione con la geologia dell'area.

Le ragioni di tale studio sono ulteriormente stimulate dal fatto che, codesti fenomeni, sono a oggi ancora poco chiari.

Le indagini più interessanti in merito a questi eventi sono disponibili nel "Rapporto preliminare sulle indagini sismometriche condotte in relazione ai fenomeni acustici percepiti in Val Lapisina". Questa relazione, redatta dal Dipartimento Centro di Ricerche Sismologiche dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), si basa su uno studio sismico condotto in Val Lapisina nei primi due mesi del 2011, a causa del continuo verificarsi di questi "boati". L'indagine dimostra che tali fenomeni sono attivati da particolari processi idraulici che sfruttano i condotti carsici presenti nel sottosuolo.

I dati raccolti per la realizzazione di questa tesi sono stati confrontati con le ipotesi formulate dall'OGS, per verificare e confermare se vi sia un controllo strutturale nei condotti carsici.

Partendo da un primo studio bibliografico che riguardasse l'ambiente geotettonico del sud alpino (Doglioni, 1990) e geomorfologico del settore di studio (Pellegrini e Surian, 1996), l'attenzione si è poi spostata alla raccolta dati. Dopo questa prima fase preliminare, l'area di studio è stata inizialmente interessata da un rilevamento che ha poi portato alla realizzazione di una carta geologica (digitale) in scala 1:15000. Dopodiché l'attività di campagna si è concentrata su uno studio strutturale, attraverso la misura delle immersioni, direzioni e inclinazioni delle discontinuità presenti in tre affioramenti rappresentativi del settore di studio. Questi dati sono stati poi confrontati con i dati ricavati dal tele-rilevamento, per verificare se queste discontinuità si ripetono anche scala più ampia. Questi segmenti sono stati tracciati con l'utilizzo di un software (ArcGIS) sovrapponendo alla carta topografia delle orto-foto digitali.



Fig. 1 – La Val Lapisina è una breve vallata (ca. 10 km) che parte da Vittorio Veneto e si incunea tra le Prealpi bellunesi, mettendo in comunicazione l'alta Marca Trevigiana con l'Alpago (Lago di Santa Croce) attraverso il valico detto Sella del Fadalto.

2.0 - Studio sismico

Il “Rapporto preliminare sulle indagini sismometriche condotte in relazione ai fenomeni acustici percepiti in Val Lapisina” è una relazione redatta dal Dipartimento Centro di Ricerche Sismologiche (CRS) dell’Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) tra il gennaio e il febbraio 2011, nata in merito ai fenomeni acustici percepiti in Val Lapisina e presso Sella del Fadalto, tra i comuni di Vittorio Veneto (TV) e Farra d’Alpago (BL). Questi fenomeni, avvenuti già nel 2010, si sono ripetuti e accentuati nei primi due mesi del 2011, spingendo gli abitanti ad annotare e segnalare in maniera sistematica alla polizia locale il loro verificarsi. Nel frattempo, il sistema di allarme sismico che l’OGS gestisce per conto della Regione Veneto non evidenziava significativi incrementi di sismicità nell’area. Per questo motivo, il 26 gennaio 2011, in accordo con la Protezione Civile del Veneto, il CRS ha avviato una campagna di misure sismometriche nell’area, mediante l’installazione di una piccola rete di stazioni di registrazione portatili. Ciò con lo scopo di:

- verificare la corrispondenza tra le segnalazioni della popolazione ed eventuali vibrazioni del terreno;
- caratterizzare gli eventi sulle base delle caratteristiche temporali e spettrali dei sismogrammi;
- localizzare la sorgente delle emissioni sismiche e acustiche;
- fornire elementi per la spiegazione scientifica del fenomeno.

Detto questo, le attività di ricerca hanno evidenziato che dal punto di vista idrogeologico, Sella di Fadalto rappresenta lo spartiacque superficiale fra il bacino del Piave e quello del Livenza; l’unico fiume (Meschio) raccoglie per via sotterranea le acque provenienti dai rilievi carsificati del Col Visentin. Inoltre, la posizione della falda rispetto al piano campagna è pesantemente influenzata dal regime di precipitazioni e livello dei laghi.

Dal punto di vista sismotettonico, gli eventi sismici più importanti per intensità macrosismica storicamente osservati nel comune di Vittorio Veneto e limitrofi sono avvenuti il 29 giugno 1873 (Mw=6.3) e il 18 ottobre 1936 (Mw:5.9), associati anche ad effetti secondari come intorbidamento diffuso delle sorgenti nei minuti successivi alla scossa.

Il distretto è stato ripetutamente interessato da aumenti di sismicità equiparabili a sciame, o sequenze, che hanno scarso ricorso nel database degli eventi localizzati, mentre vengono individuati nel monitoraggio macrosismico a stazione singola (esempio, sciame sismico avvenuto fra 11 e 14 dicembre 2003 riferito all’area dell’Alpago).

La sismicità registrata nei primi due mesi del 2011 fa riferimento a un intorno di ca. 50 km della località Fadalto (Latitudine 45.8-46.3 N, Longitudine 12.1-12.8 E), la quale ha complessivamente portato alla localizzazione di 80 eventi (dal 1/11/2010 al 23/02/2011), di cui 2, il 12 gennaio (MD=1.4) e il 23 gennaio (MD=2.0) nell’area coincidente alla segnalazione dei boati.

La rete sismometrica della Val Lapisina è stata inizialmente attivata seguendo le tracce dei fenomeni sismici delle reti del Veneto e del Friuli Venezia Giulia gestite dal CRS; purtroppo però, questa verifica ha dato scarsi risultati e ha costretto gli operatori a utilizzare 7 unità portatili, di cui quattro hanno mantenuto la posizione fissa per tutto il periodo di registrazione, mentre le altre sono state spostate man mano che, sulla base dei dati localizzati, è stata circoscritta la zona di sorgente, per una copertura totale di 12 siti.

L’area d’indagine, seppure di modeste dimensioni, risulta caratterizzata da una topografia accentuata e da una situazione geologico-stratigrafica complessa e variegata. Prima di procedere quindi alla localizzazione è stato necessario prevedere una correzione topografica per i tempi calcolati alle stazioni e definire dei modelli di velocità calibrati per singola stazione, plausibili per l’area d’interesse. Questo è stato particolarmente difficile, non disponendo per l’area in esame di misure dirette di velocità del corpo; per questo i valori di velocità rappresentano delle ipotesi di lavoro.

Dai dati sismici è stato individuato un primo strato, corrispondente ai materiali sciolti del corpo di frana, saturi d'acqua e di diversa natura, alla profondità massima di 150 metri, variando fino a 0 metri per le stazioni situ in roccia. Il secondo e il terzo strato sono stati individuati alla profondità rispettivamente di 200 e 800 metri; queste discontinuità rappresentano i livelli alterati dell'ammasso roccioso.

Gli eventi risultano localizzati a profondità variabili fra 1-1,5 Km, mediamente comprese intorno ai 500-600 metri (le profondità sono riferite al livello medio del mare).

Dall'analisi dei dati sismometrici raccolti in Val Lapisina emergono i seguenti elementi:

1. le registrazioni sono caratterizzate da elevato contenuto in alta frequenza, particolarmente energetica in una banda da 30 a 70 Hz. Questa banda spiega la percezione acustica;
2. la durata dei segnali è dell'ordine di 2-3 secondi, il che porta a stimare magnitudo di durata inferiori ad 1;
3. sulla base di analisi di cross-correlazione, i sismogrammi sono classificabili in più famiglie all'interno delle quali le forme d'onda sono molto simili tra loro con coefficienti di correlazione molto alti. Gli eventi sismici tendono ad essere concentrati nel tempo;
4. i primi arrivi delle onde P sono caratterizzati sia da compressione, che, seppur in numero più limitato, da dilatazione. Polarità opposte sono state registrate anche dalla stessa stazione. Queste evidenze indicano processi sismogenetici diversi. I primi arrivi hanno spesso carattere impulsivo, il che indica un tempo di rottura molto ridotto;
5. le onde S appaiono fortemente polarizzate orizzontalmente;
6. gli eventi si concentrano in un'area limitata che comprende la centrale ENEL e si estende a nord in corrispondenza della paleo-frana fino sotto Sella Fadalto. Le profondità ipocentrali sono concentrate mediamente tra i 500 e 600 metri;
7. non vi è ad oggi alcun riscontro esplicito di corrispondenza dei segnali sismici con attività antropiche di alcun tipo;
8. numerosi eventi rimangono localizzati in prossimità di stazioni sismometriche. Ciò indica che le onde sismiche si propagano in modo pressoché diretto dalla sorgente alla stazione e che la distanza epicentrale è molto ridotta.

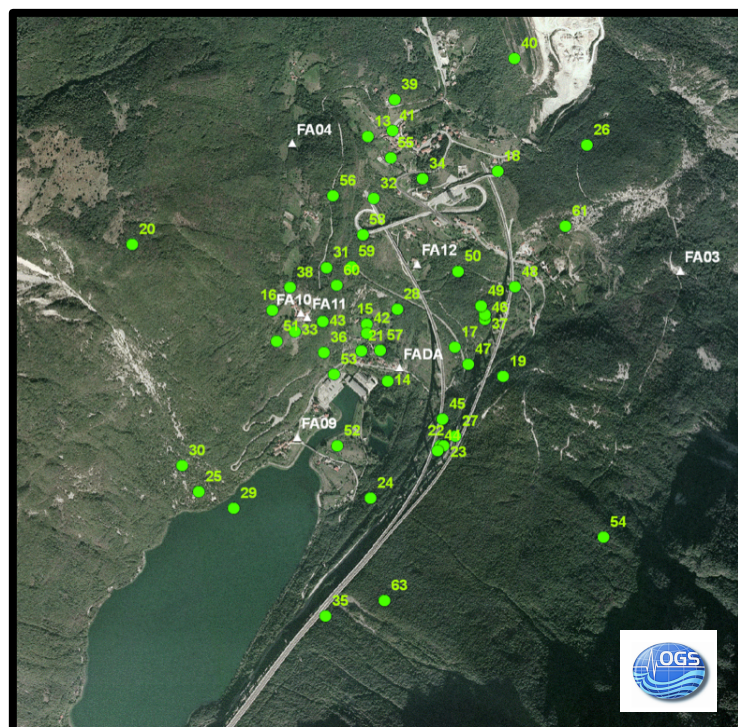


Fig. 2 – Localizzazioni. In verde le localizzazioni degli eventi sismici dal 1 al 28 febbraio 2011; in bianco le stazioni OGS utilizzate durante questo periodo per le indagini.

Detto questo, sappiamo che fenomeni di tipo esplosivo producono un campo compressivo in tutte le direzioni, mentre gli eventi tettonici generano impulsi con ampiezza e polarità diversa nelle varie direzioni di registrazione. Il collasso di cavità carsiche, i colpi di tensione indotti da collassi di galleria e scavi, invece, generano segnali di tipo implosivo. In tal caso quindi la polarità dei segnali registrati dovrebbe mostrare dilatazione in tutte le direzioni purché non si inneschino eventi secondari di natura tettonica (Bormann, 2002).

Possiamo ritenere che la sorgente del fenomeno che origina sia le vibrazioni sismiche che gli effetti sonori abbia:

→ dimensioni molto limitate;

→ una profondità molto ridotta (come evidenziato dalle localizzazioni ipocentrali).

Inoltre, la chiara corrispondenza tra gli eventi rilevati acusticamente e segnali sismici, è coerente con un'ipotesi di localizzazione proprio in verticale e con l'interpretazione scientifica di trasduzione sismoacustica. Non ci sono elementi evidenti per collegare questo fenomeno alla sismicità più profonda di origine tettonica. Non si riscontrano, pure, elementi per attribuire l'origine a tensioni superficiali nelle rocce che circondano la valle, in altre parole, non vi è alcuna evidenza di che i segnali registrati corrispondano a rotture legate a potenziali distacchi di grosse masse di roccia ai bordi della valle.

In aree caratterizzate dalla presenza di serbatoi o condotte carsiche, può registrarsi una sismicità indotta collegata a fenomeni detti "colpi d'ariete" (Milanovic, 1985). Questi eventi sono dovuti a improvvisi aumenti di pressione locale e si manifestano con microvibrazioni ed effetti sonori molto forti, percepibili come spari, colpi secchi, rumori cupi. La circolazione di acque sotterranee, il brusco riempimento e/o svuotamento degli acquiferi così come la forma irregolare dei canali e delle cavità carsiche, comporta di frequente effetti di tipo "colpo d'ariete" (Milanovic, 1985).

Oltre ciò, la microsismicità può essere indotta da fratturazioni di tipo idraulico.

L'ipotesi più probabile, dunque, è di un fenomeno indotto dalla variazione di pressione causata dalle modifiche dell'assetto idrogeologico della zona circostante l'area epicentrale. Non è possibile, ad oggi, valutare se tali modifiche siano causate da eventi naturali come la forte piovosità (molto intensa negli ultimi mesi del 2010) o da attività antropiche. Un ruolo fondamentale è con tutta probabilità giocato dalle cavità carsiche, sebbene non si abbia una chiara interpretazione della morfologia sepolta.

3.0 – Geological setting

3.1 – Inquadramento geomorfologico

Dagli studi geomorfologici di Pellegrini & Surian (1996) si è arrivati a una prima e più precisa interpretazione della Val Lapisina; tali risultati sono, infatti, il frutto di un'indagine che sfruttava delle tecniche interpretative come: foto aeree ad alta risoluzione, dati geofisici e analisi morfometrica (DTM). A livello geomorfologico spicca, date le dimensioni e il volume di materiale coinvolto, la frana di sbarramento che ha poi portato alla formazione dell'attuale Lago di Santa Croce. Tale valle era, infatti, incisa da un Paleo-Piave che nel tardo Pleistocene ha costituito la principale fonte di alimentazione per la creazione dell'attuale lago, una volta avvenuta la frana. Si ritiene (Pellegrini & Surian, 1996) che tale frana si sia generata durante la fase di ritiro della glaciazione Würm, la quale aveva coinvolto in forma ubiquitaria le Alpi.

Considerando il volume coinvolto nel movimento di versante, è possibile affermare che la frana si è originata per il progressivo ritiro del ghiacciaio, il quale ha portato a una diminuzione della tensione di confinamento (σ_3) che, associato ad un complesso sistema di fratture e faglie, ha innescato il distaccamento di una porzione del versante.

3.2 – Inquadramento stratigrafico

Durante il Cretaceo le Dolomiti facevano parte dello stesso vasto mare a cui appartenevano le Alpi Venete (Veronese, Trentino meridionale, Vicentino, Feltrino e Bellunese), una regione in cui i sedimenti del Cretaceo sono costituiti fondamentalmente da due formazioni: la Maiolica (Biancone) nella parte inferiore e la Scaglia Rossa nella parte superiore.

Nel nostro caso, le due formazioni sono intervallate da una calcarenite: il Calcere del Fadalto, interpretato come uno slope calcarenitico originatosi dallo smantellamento della piattaforma del Cansiglio e che si presenta sotto forma di corpi massici clinostratificati e torbiditi in strati tabulari.

3.2.1 Maiolica (Cretacico inf. p.p. – Titoniano p.p.)

I calcari selciferi che in quest'area succedono al Rosso Ammonitico sono stati riferiti alla Maiolica nonostante si discostino dalla tipica facies di questa formazione a causa della presenza di numerose intercalazioni torbiditiche e per il colore variabile, generalmente più scuro. La frequenza di questi depositi risedimentati diminuisce da S-E verso N-O, in accordo con il progressivo allontanamento della Piattaforma Friulana che ne rappresentava l'area di alimentazione.

Le micriti con fossili pelagici accumulate per decantazione che vanno a costituire la principale facies del Maiolica si evolvono dal basso verso l'alto: durante il Neocomiano si ha la deposizione di micriti bianche in strati decimetrici massici dai giunti stilolitici senza strutture visibili. Gli strati sono riuniti in <<stratoset>> metrici, contengono lenti e noduli di selce grigia e giallastra e sono sporadicamente coinvolti in scivolamenti intraformazionali.

Lo spessore di questo membro inferiore del Biancone oscilla, nell'ambito del versante settentrionale del Vallone Bellunese, da 200 a 300 m circa.

L'intervallo Aptiano p.p. - Albiano è rappresentato dalla ciclica alternanza con ritmi di 10-20 cm di micriti e marne grigio-scure, talora ricche in carbonio organico.

Inoltre, poco sotto la sommità del Biancone, è presente un orizzonte nodulare, verde e rossastro, noto come Marmo di Castellavazzo, di 4-7 m di spessore, consistente biomicriti e radiolari. Esso si presenta in forma ubiquitaria lungo tutto il versante settentrionale del Vallone Bellunese ed ha una particolare rilevanza morfologica sotto forma di un cornicione rossastro che corona le pareti alte del Biancone (in un intervallo stratigrafico che va dal Cenoniano sup. al Turoniano/Coniaciano).

I depositi descritti rappresentano verosimilmente il prodotto della decantazione di fango pelagico che si mescolava con variabili quantità di carbonato microcristallino prodotto dalla vicina Piattaforma Friulana. I depositi risedimentati frequentemente intercalati nei fanghi di peri-piattaforma sono prevalentemente rappresentati da calcareniti bioclastiche di colore nocciola in strati decimetrici talora organizzati in sequenze di 2-3 m di spessore.

Sabbie bioclastiche di questo tipo vanno poi a rappresentare integralmente il sovrastante Calcere del Fadalto, potrebbero essere interpretate come il risultato di fasi di alta produttività della piattaforma alimentatrice che scaricava nei bacini il materiale prodotto in eccesso sotto forma di correnti di torbida e oltretutto testimoniava il chiaro stato di salute della piattaforma. In sintesi, possiamo dire che il Biancone che affiora nel Vallone Bellunese è suddivisibile in settori: uno nordoccidentale ed uno sudorientale. A differenza della zona settentrionale, dove gli spessori raggiungono altezze che variano da 250 a 400 m circa, la zona compresa nell'area di studio, riferita cioè al gruppo del Col Visentin, è caratterizzata dalla sostituzione della parte superiore del Biancone da torbiditi bioclastiche di Calcere del Fadalto, con spessori che si mantengono elevati e continui, aggirandosi intorno ai 500 m.

Dal punto di vista ambientale la formazione rappresenta la base della scarpata e il bacino prossimale della Piattaforma Friulana.

3.2.2 Calcere del Fadalto (*Cretacico sup. p.p. - Albiano*)

Potenti corpi di calcareniti e brecce che in Alpi e nel Vallone Bellunese si intercalano alle micriti pelagiche della Maiolica. Già dai primi studi svolti negli anni 60, questi depositi furono correttamente interpretati come i detriti derivanti dallo smantellamento della scogliera che si accumulavano nell'antistante zona di fore-reef. Sempre durante questi studi si elevò il rango in formazione di queste sabbie bioclastiche, attribuendone la denominazione di Calcere di Monte Cavallo e poi, in un secondo momento, con il termine di Calcarenite di Col Palù.

Ricerche condotte proprio nell'area di studio, cioè al limite fra il Bacino Bellunese e la Piattaforma Friulana (Ghetti, 1987, 1989), hanno permesso di suddividere ulteriormente i depositi bioclastici di avanscogliera in due unità dal diverso significato ambientale.

La prima, rappresentata da Calcareniti e Calciruditi in corpi massici clinostratificati, è ottimamente affiorante alle pendici nordoccidentali del Monte Cavallo e rappresenta la facies di <<slope>> della piattaforma. La seconda, molto simile alla prima dal punto di vista compositivo e tessiturale, è invece costituita da torbiditi in strati tabulari accumulati alla base della stessa scarpata, affioranti in larga parte nella zona di Alpi e che proprio per questo vanno in contrasto con le denominazioni Calcere di Monte Cavallo e Calcarenite di Col Palù perché non rappresentativi della zona di depocentro della formazione.

Per questo risulta essere preferibile l'utilizzo della denominazione "Calcere del Fadalto", per indicare un corpo di prevalente natura torbiditica alimentato dalla Piattaforma Friulana e depositato ai piedi di essa all'interno delle coeve formazioni pelagiche.

Essa consiste di calcareniti e calciruditi bioclastiche bianche e nocciola, in strati tabulari con spessore da decimetrico a metrico. La frazione granulare è quasi esclusivamente costituita da frammenti scheletrici di rudiste, gasteropodi, alghe e foraminiferi bentonici.

Sono osservabili gradazioni dirette, laminazioni parallele ed incrociate ed altre strutture tipiche dei depositi torbiditici, molto utili per la distinzione dell'unità in questione.

Il Calcere del Fadalto costituisce un corpo a geometria cuneiforme che presenta i massimi spessori (400-500 m) nei monti dell'Alpi, immediatamente a ridosso della scarpata alimentatrice, per poi assottigliarsi sia verso Nord che verso Ovest, dove si riduce a ca. 200 m nell'area del Fadalto-Nevegal-Col Visentin.

3.2.3 Scaglia Rossa e Scaglia Grigia (*Eocene inf. p.p.-Cretacico sup. p.p.*)

Nei settori settentrionali del Vallone Bellunese la Scaglia Rossa poggia in continuità sulla Maiolica, mentre in quello sudorientale è sovrapposto al Calcere del Fadalto, con il quale è in parte eteropica.

La potenza complessiva della Scaglia Rossa appare molto variabile dai 20 m lungo il T. Meassa ad Est di Belluno, ai 200-250 m nella zona più occidentale. Nel settore sudorientale, i banchi biocalcarenitici del Calcere del Fadalto fanno passaggio superiormente e lateralmente a calcari scagliosi selciferi, biancastri e grigi, via via più rossastri. Tale intervallo, distinto in Alpi e Cansiglio come "Scaglia Grigia", raggiunge ca. i 20 m di altezza.

Entro la parte inferiore della Scaglia Rossa e della Scaglia Grigia si intercalano saltuariamente livelli centimetrici di torbiditi bioclastiche biancastre che rappresentano il persistere di eventi di risedimentazione analoghi a quelli che hanno costituito il Calcere del Fadalto. Questi intercalazioni furono deposte da flussi gravitativi sotto forma di frane sottomarine provenienti dal margine della Piattaforma Friulana.

La base della Scaglia Rossa poggia infatti in <<onlap>> sul cuneo bioclastico rappresentato dal Calcere del Fadalto e risulta quindi diacrona.

Il limite con l'unità inferiore è netto, corrisponde ad alcuni metri di brecce intraformazionali a clasti micritici male arrotondati.

La carta geologica realizzata per questa tesi utilizza in legenda il termine unico "Scaglia Grigia", in quanto rappresentativo del litotipo.

3.3 – Inquadramento strutturale

Il Fadalto è situato nella parte centro-orientale delle Alpi Meridionali che sono notoriamente un margine passivo mesozoico collisionato in età alpina.

L'area di studio è interposta tra il Bacino di Belluno (a Ovest) e la Piattaforma Friulana (a est), con elementi strutturali a direzione mediana, attivi durante la fase tensionale mesozoica. Sono presenti delle strutture distensive mesozoiche, riattivata dalla collisione alpina tra il Promontorio Africano ed Europa, la quale ha deformato, innalzato e trasposto verso sud il vecchio margine continentale passivo.

Questa eredità è particolarmente visibile proprio in corrispondenza del fascio di faglie inverse Revine-Fadalto-Cadola a direzione decrescente da N 60° a N 0° e costituiscono la rampa obliqua e laterale del sovrascorrimento di Bassano-Valdobbiadene-Vittorio Veneto a direzione N 60°-70°. La transpressione si sviluppa proprio al margine tra il Bacino di Belluno (area del Visentin-Nevegal) e la Piattaforma Friulana (area del Cansiglio).

La geometria attuale è il frutto dell'interazione tra l'architettura mesozoica, data da faglie distensive circa N-S nella zona del Fadalto e corpi di piattaforma carbonatica più competenti e progradanti della Piattaforma Friulana sui sedimenti bacinali, seguita poi dalla fase compressiva con apice di stress Neogenico N 25° W.

La struttura dell'area è in larga parte legata alle geometrie suddette: la Sinclinale di Belluno termina sul fianco della struttura a fiore sinistra che va dal M. Agnelezzes a Ponte nelle Alpi.

I precedenti studi e i dati ricavati sono scarsi ma hanno consentito approssimativamente di stabilire la profondità del piano di sovrascorrimento della Linea Bassano-Vittorio Veneto. Ci sono infatti elementi per ritenerlo, nella zona di Belluno-Sedico-Lentiai, intorno ai -3500, -3800 m.

Nel 1961 è stato scavato il pozzo Sedico 1 che ha raggiunto la profondità di 2997 m nella formazione del Calcarea del Vajont senza attraversare sovrascorrimenti.

Lo scollamento di questo settore deve essersi prodotto a livello di formazioni poco competenti situate al di sotto della Dolomia Principale, come per la Linea di Belluno.

Il sovrascorrimento che ha generato la Linea di Bassano-Valdobbiadene-Vittorio Veneto è forse più recente della Linea di Belluno in quanto più esterno nel sistema di accavallamento delle Alpi meridionali. L'erosione risulta essere infatti meno pronunciata e in uno stadio poco avanzato, le incisioni trasversali alle strutture sono poco pronunciate.

La struttura del fronte ha una variazione evidente a oriente di Revine, a causa della transpressione sinistra delle strutture tettoniche della Valle del Meschio-Fadalto e dell'Altopiano del Cansiglio, dove cambia la direzione del sovrascorrimento (da N 70 E a N 50 E a N).

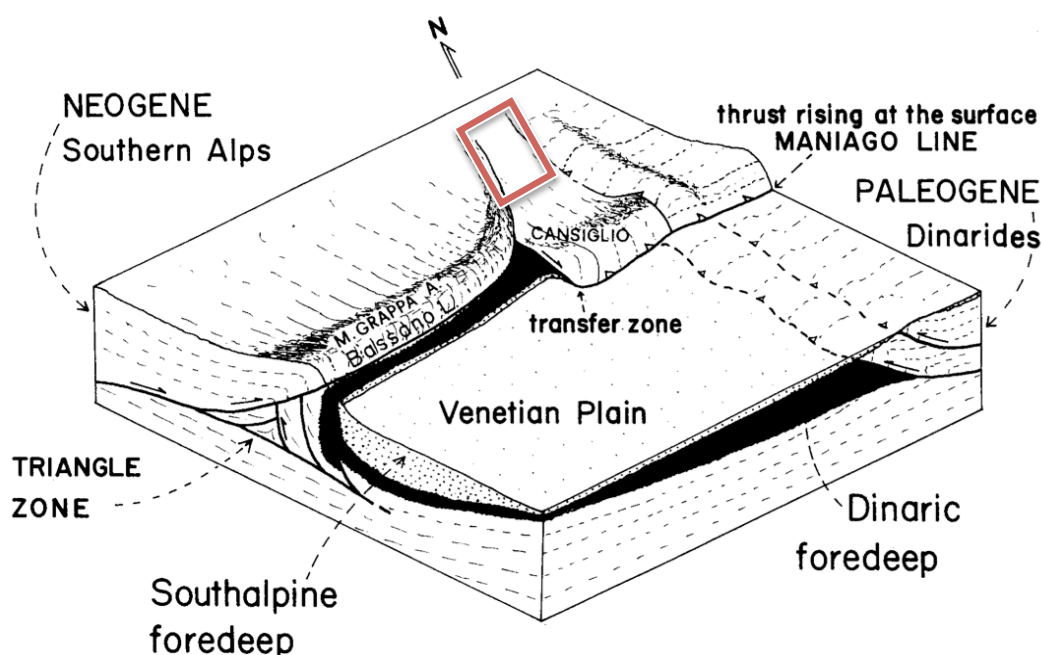


Fig. 3 – Immagine schematica del bordo frontale delle Alpi venete. I sovrascorrimenti sono caratterizzati da una zona a triangolo. Il piano di spinta profonda (Bassano Line) raggiunge la superficie (Maniago Line) attraverso una zona di trasferimento (Caneva Line). La pianura veneta rappresenta il fore-deep di due cinture di thrust. Il riquadro in rosso indica l'area di studio. Doglioni (1990).

3.3.1 - Linea "Longhere-Fadalto-Cadola".

E' uno degli elementi tettonici più interessanti e significativi di quest'area. Si tratta di una faglia transpressiva sinistra che costituisce la rampa laterale del sovrascorrimento Linea "Bassano-Valdobbiadene-Vittorio Veneto". Il lineamento limita verso Est l'Anticlinale di Col Visentin-Col Toront-Cugnan. La linea si è impostata su una zona di debolezza ereditata, in corrispondenza del limite tra il Bacino di Belluno e la Piattaforma Friulana, probabilmente costituito da faglie attive dal Lias fino al Cretacico superiore.

Il sigma 1 neogenico di direzione N 25° W, trasversale a quella linea di debolezza, ha provocato una componente compressiva con forti piegamenti ed un significativo accavallamento del lembo occidentale con quello orientale.

Da rimarcare la piega affiorante nella zona di Lago Morto al cui nucleo affiora il Calcere del Vajont.

Il raccordo con la Linea "Bassano-Valdobbiadene-Vittorio Veneto" avviene in corrispondenza della zona Longhere-Revine.

A Sud della Linea "Bassano-Valdobbiadene-Vittorio Veneto" e a Est della Linea Longhere-Fadalto-Cadola sono presenti degli affioramenti di formazioni terziarie con strati rovesciati, verticali o comunque molto inclinati e degli elementi più occidentali della Piattaforma Friulana (Cansiglio).

4.0 - Metodi

La raccolta dati sul campo si basa essenzialmente sull'uso di un dispositivo palmare (Hp Ipaq) con il software ArcMap, nel quale è stata caricata una carta topografica georeferenziata dell'area di studio. Tale dispositivo era collegato a un'antenna GPS che restituiva una precisione massima di ca. tre metri.

Una volta conclusa la fase di rilevamento, il lavoro si è concentrato nella realizzazione di una stazione strutturale. Sono stati scelti tre affioramenti su piani tra di loro di circa verticali, raccogliendo per ognuno di essi quaranta misurazioni, per un campionamento totale di ca. 120 giaciture. Oltre la precisione di tali misurazioni, fondamentale è stato anche il numero di dati raccolti, per ottenere un valore statistico che non rappresentasse la media delle misure ottenute, ma che indicasse un valore modale (le giaciture che maggiormente si presentano). Per fare ciò, è stata utilizzata una bussola con quale si misura l'immersione delle discontinuità affioranti e l'inclinazione.

Terminato il lavoro di campagna, i dati raccolti sono stati utilizzati e interpretati in laboratorio.

Per inquadrare al meglio il settore di studio, è stata creata, una carta geologica in scala 1:15000, sviluppata con ArcGIS 9.3. Alla carta topografica è stata sovrapposta un'orto-foto, cioè una fotografia aerea geometricamente corretta (ortorettificata) e georeferenziata in modo tale che la scala di rappresentazione della fotografia sia uniforme e possa essere quindi utilizzata come una mappa giustapposta alla carta topografica.

Le orto-foto sono state utilizzate per individuare le discontinuità, intese come faglie o fratture alla scala del settore di studio. Sono state scelte discontinuità di lunghezza e geometria da comparare poi con i dati ricavati dalle stazioni strutturali. Lineamenti che troncano o non seguono la topografia sono associati a delle discontinuità di alto angolo (>60°) e quindi interpretabili come presunti elementi strutturali.

Le giaciture raccolte nelle tre stazioni strutturali sono state plottate con i programmi "Rozeta 2.0" e "GeOrient", per creare dei rose diagrams che rappresentassero graficamente i valori ottenuti sul campo. I diagrammi a rosa sono stati elaborati sulla base delle direzioni delle discontinuità, per rispettare le condizioni di confronto con le lineazioni individuate dalle orto-foto.

Grazie al numero di dati raccolti, è stato possibile raffigurare tre rose diagrams, uno per ciascun affioramento analizzato.

Le direzioni dei segmenti tracciati in remoto sono state invece isolate e misurate con "Imagej". Queste direzioni sono state sintetizzate in un rose diagram comparabile con i diagrammi ottenuti dai dati di campagna.

5.0 – Dati

5.1 – Rilevamento

Lo studio di campagna riguarda una superficie di ca. 20 km² ed è interessata dalla presenza di tre litotipi: Maiolica, Calcare del Fadalto e Scaglia Rosso-Grigia. Il rilevamento nella porzione più orientale ha permesso di dare un primo limite fra la Scaglia Rossa e il Calcare del Fadalto, con quest'ultimo a giacitura immergente ca. 165N e con un'inclinazione variabile fra i 20° ed i 40°.

Proseguendo lungo la scarpata di frana si nota una progressiva variazione delle giaciture: l'immersione degli strati tendono a ruotare in senso antiorario fino a valori di ca. 110-100N e un'inclinazione più marcata, approssimativamente nell'intervallo compreso fra 45° e 60°. Continuando lungo la nicchia di frana, gli strati ruotano ancora e abbassano notevolmente l'inclinazione fino a raggiungere la quasi orizzontalità stratigrafica. Raggiunto il settore posto più a nord, gli strati cambiano nuovamente immersione e raggiungono valori compresi fra i 270-300N e un'inclinazione ca. di 15°-20°.

Detto questo, si può concludere che la nicchia di frana sviluppa una particolare piega anticlinale con asse orientato ca. nord, nord-est – sud, sud-ovest in corrispondenza dell'orizzontalità stratigrafica.

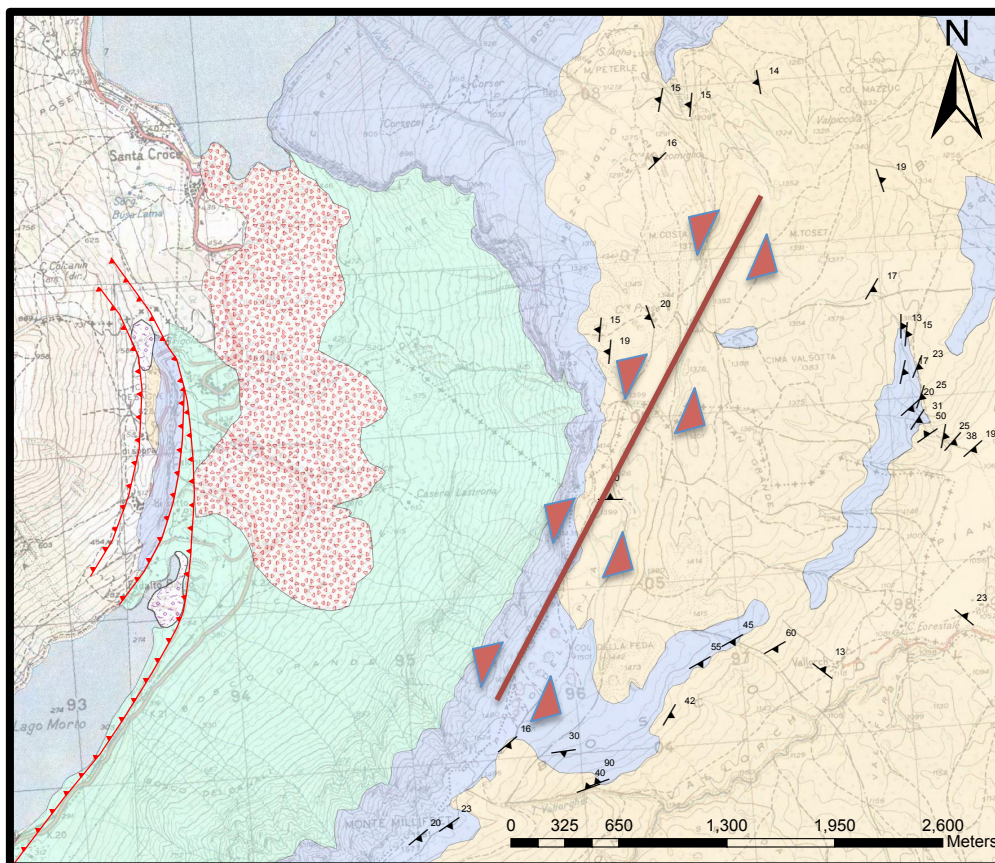


Fig. 4 – Carta geologica. Il segmento in rosso rappresenta l'asse di piega anticlinale. Gli strati hanno immersione divergente rispetto all'asse di piega.

Il limite fra la Scaglia Rossa e Grigia e il Calcare del Fadalto affiora più volte lungo la nicchia di frana del Fadalto, anche se solo raramente è stato possibile campionare le breccie intraformazionali presenti al contatto fra queste due unità. Frequentemente s'incontra invece un limite con l'unità inferiore netto. Queste breccie sono il prodotto "prossimale" di fenomeni torbiditici (debris flow) avvenuti all'interno dell'unità stessa per l'ipotetica presenza di un sistema di faglie normali (sintetiche) che dislocavano la Scaglia Rossa e consentivano il rapido movimento delle porzioni più inclinate e poco consolidate.

Va inoltre detto che la Scaglia Rossa presenta delle zone di taglio, le quali formano dei particolari slickenline lungo i piani tabulari di materiale competente (torbiditi) ma sigillate dalle facies marnose, questo testimonia ulteriormente la tettonica distensiva attiva durante il processo di deposizione (sinsedimentaria).

Percorrendo la porzione più centrale della nicchia, affiora quasi solo Scaglia Rossa, visibile grazie alla conformazione topografica e alla giacitura degli strati, anche loro influenzati dalla struttura anticlinale. La Scaglia affiora sia nella sua veste nominale, cioè rossa, sia di una colorazione prevalentemente grigia, reputabile, forse, al diverso stato di ossidazione durante il processo diagenetico. Non incontrando degli affioramenti che mostrassero una quanto minima continuità stratigrafica, non è stato possibile capire se questi intervalli di facies si presentano con regolarità.

Sotto la scarpata di frana affiora invece la Maiolica, anche se non nella sua tipica facies. Sono presenti strati da decimetrici a metrici di calcarenite (grainstone) bioclastica con gradazione diretta e laminazione trattiva (torbiditi). Intercalati alla Maiolica sono abbondanti i noduli di selce a prevalente colorazione nerastra.

Il Limite con il Calcare del Fadalto avviene per alternanza e viene posto alla prevalenza di calcarenite a spessore metrico. Spessore del Calcare del Fadalto intorno ai 200-250m.

5.2 – Stazione strutturale

Il Calcare del Fadalto e la Maiolica, data la posizione e la geometria, sono i litotipi che più degli altri sono stati pervasi dai movimenti transpressivi avvenuti lungo Linea “Longhere-Fadalto-Cadola”, con la formazione di una serie di discontinuità collegate ad essa. Queste discontinuità, lungo il versante di frana, possono essere suddivise in faglie e fratture.

Il processo di scivolamento frizionale lungo le superfici di faglia ha prodotto dei piani striati con degli indicatori cinematici (slikenline), cioè delle strutture lineari, incise e in rilievo, risultato finale della scalfittura per scivolamento. Altro indicatore cinematico, raramente individuato, è lo slikenstep, cioè un piccolo gradino perpendicolare alle slikenline. E' giusto ricordare però che questi solchi e strie permettono di ottenere la direzione e il verso di spostamento, ma non l'entità della traslazione (rigetto).

Sempre per quanto riguarda le deformazioni in dominio fragile, lungo le scarpate del versante di frana sono state individuate delle tasche di breccie, molto probabilmente sviluppate per la disgregazione di scalini preesistenti. Queste breccie sono interpretate come cataclasiti.

L'ultimo stadio evolutivo in regime fragile corrisponde alla formazione di una serie di fratture, favorite dalla pendenza del versante e dal mancato supporto laterale. Tali fratture si sviluppano lungo i gradoni del versante di frana e tagliano di netto discontinuità primarie.

Va inoltre detto che lungo queste zone di faglia si sono sviluppati dei processi chimico-fisici che hanno portato alla formazione di stiloliti, delle particolari strutture di presso-soluzione generate dalla riprecipitazione preferenziale della componente pelitica presente all'interno del calcare. Gli accrescimenti fibrosi invece non sono mai stati rinvenuti, a causa dell'erosione selettiva che interessa maggiormente i calcari puri ricristallizzati.

Questa fase esplorativa è stata molto importante anche per scegliere gli affioramenti da analizzare per le stazioni. Tale indagine ha avuto proprio in corrispondenza di zone intensamente tettonizzate.

Le giaciture ricavate dai tre affioramenti scelti mostrano la comune presenza di due famiglie di faglie. Queste misure sono state prese sfruttando l'abbondante presenza di una serie di fratture beanti che consentivano di misurare l'immersione e l'inclinazione di questi piani.

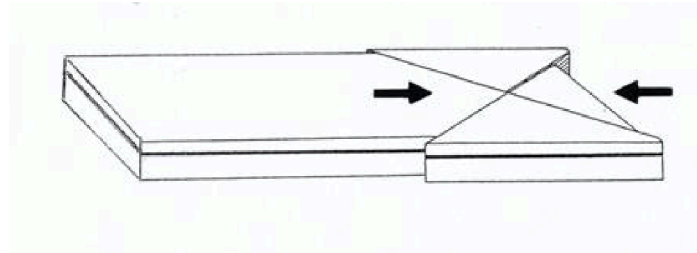


Fig. 5 - Rappresentazione schematica di un sistema di fratture coniugate.

Le direzioni plottate nei rose diagrams mostrano la presenza di una direttrice principale orientata ca. N 10°- 30° E e un sistema di faglie subordinate con orientazione ca. N 260°-310°. Da notare che la seconda stazione (2), quella corrispondente al piastrone racchiuso fra le due scarpate della prima e seconda stazione, ha evidenziato la presenza della sola direttrice principale, mentre le misure appartenenti alla famiglia subordinata sono state irrисorie.

L'orientazione dello stress individuato non concorda con il σ_1 alpino (N 25° W), questo fa nascere l'ipotesi che, forse, queste direttrici sono influenzate dalla tettonica di carattere transpressivo che si sviluppa lungo la linea "Longhere-Fadalto-Cadola".

La sequenza deformativa che ha pervaso questi litotipi è interessata prima dalla formazione delle discontinuità orientate a N 10°-30° E e poi dalle fratture orientate ca. N 260°-310°. Va precisato che il secondo evento non ha dislocato la direttrice principale, ma ha portato a rottura le porzioni di roccia racchiuse all'interno del sistema principale.

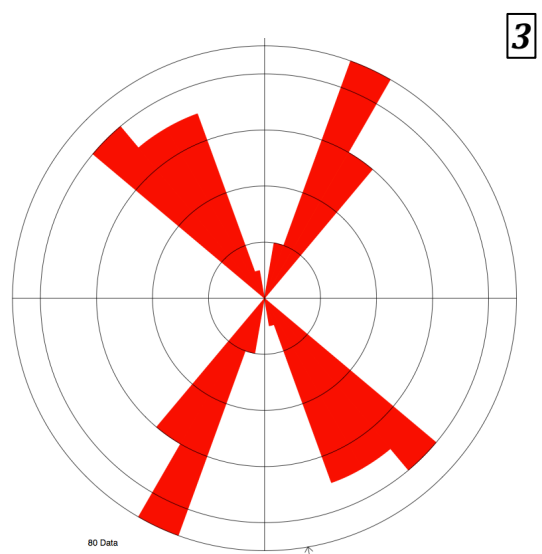
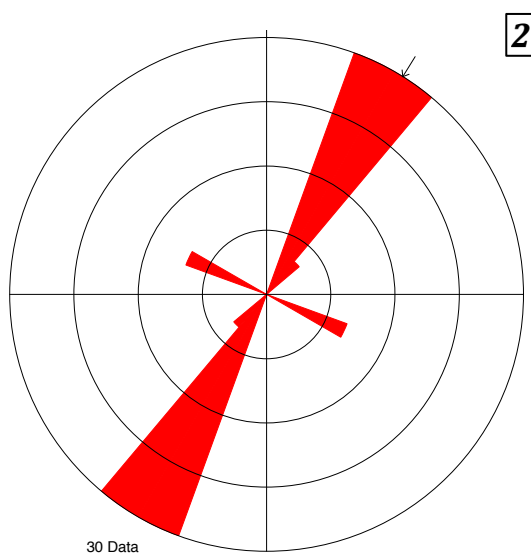
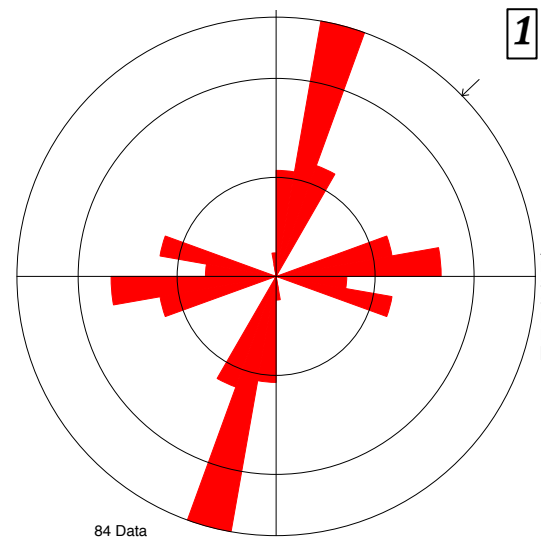


Fig. 6 - Rose diagrams. Queste immagini sono il risultato grafico delle discontinuità lungo la direzione di propagazione. Il sistema orientato ca. N 10°-30° E è omogeneo nei tre diagrammi, a differenza della direttrice subordinata che appare con range di propagazione molto più ampio (ca. 260°-310° N). Va specificato che ogni cerchio rappresenta un numero di dati pari a cinque.

5.3 – Il telerilevamento

Questo tipo d'indagine è stato fondamentale per capire se le giaciture ricavate dal lavoro di campagna si sposano con i lineamenti principali dell'area. Per fare ciò è stata utilizzata un'orto-foto georeferenziata di qualità sufficientemente buona per individuare in remoto le strutture e la direzione delle stesse.

Quest'orto-foto (Fig. 7) ci fa vedere che i lineamenti segnati seguono due direzioni fondamentali, inoltre la scarpata di frana offre l'opportunità di cartografare entrambe le direzioni di propagazione. Affermando ciò, si può quindi aggiungere che la frana di sbarramento che ha portato alla formazione del Lago di Santa Croce, si è innescata non solo per il mancato supporto laterale, ma anche per il sistema di discontinuità che pervade la nicchia di frana da M.te Millifret a M.te Costa.

Oltre la parete principale, è stato possibile identificare anche delle scarpate lungo il versante, le quali formano nell'insieme una struttura a gradoni con direzione ca. parallela alla scarpata principale.

Si vede inoltre che il bordo della scarpata è intensamente fratturato, questo provoca l'isolamento, rispetto il corpo principale, di una serie di ammassi rocciosi con fenditure sub-verticali.

Fra i vari lineamenti segnati, molto importanti sono i lineamenti **1** e **2**, perché il primo indica la più importante discontinuità cartografata, il secondo è parallelo ad esso e corrisponde a una porzione significativa della nicchia di frana

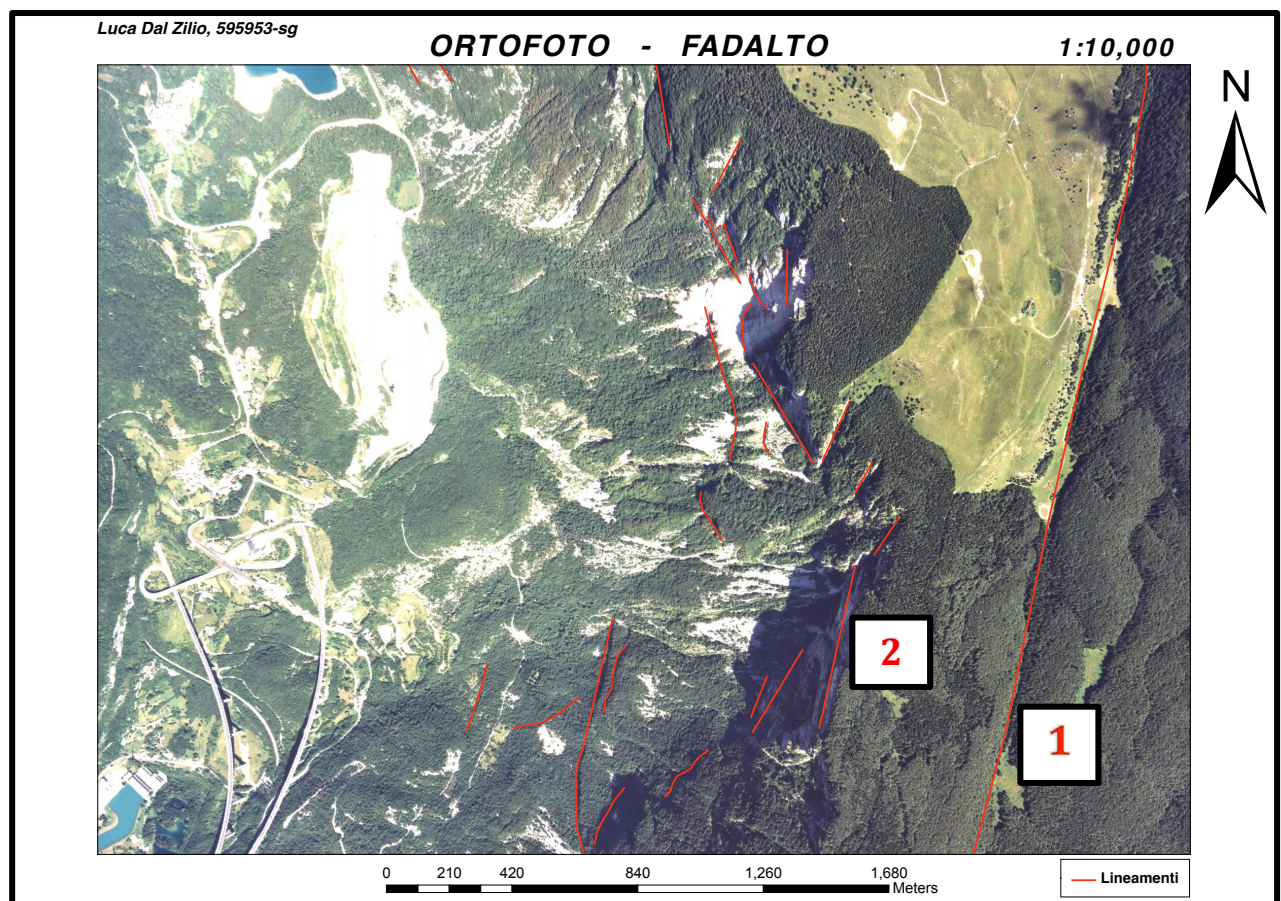


Fig. 7 – Orto-foto. Stralcio dell'immagine LIDAR utilizzata per il tele-rilevamento. I punti **1** e **2** indicano le discontinuità più importanti e che meglio rappresentano il sistema di faglie. Questi due lineamenti sono un'inequivocabile testimonianza che la frana di sbarramento ha avuto un controllo strutturale per la presenza di piani sub-verticali orientati ca. 10 N.

Segnate le discontinuità più importanti, i segmenti sono stati isolati e grazie al software "Imagej" è stato possibile ricavare le direzioni di propagazione, anch'esse poi plottate per ottenere un nuovo rose diagram:

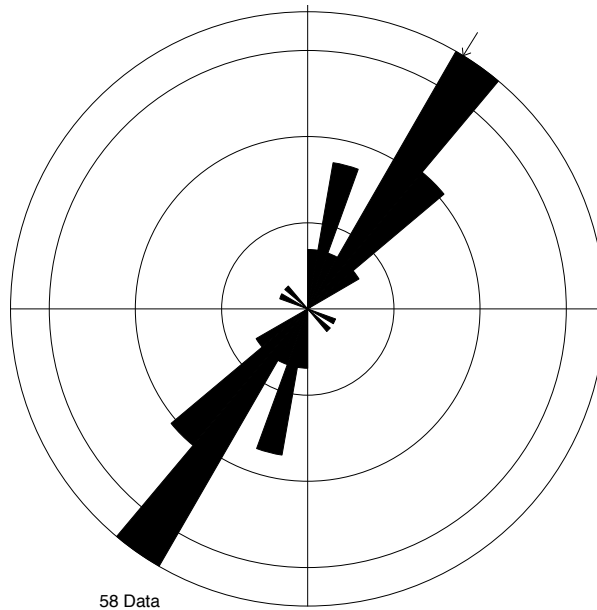


Fig. 8 – Rose diagram. A differenza dei diagrammi [1](#), [2](#) e [3](#) della figura n°6, questo diagramma è stato creato, per foto-interpretazione, tracciando i segmenti che meglio rappresentavano le discontinuità del settore di studio in scala globale.

6.0 Conclusione

Prima di formulare le conclusioni finali, è opportuno confrontare i rose diagrams delle stazioni (fig. 6) con il diagramma ottenuto dal tele-rilevamento (fig. 8). Comparando i risultati di queste due indagini, possiamo dire che:

1. i lineamenti principale, in tutti i diagrammi, hanno la medesima direzione (N 10°-30° E);
2. il campo di stress orientato ca. 260° - 310° N è visibile nel tele-rilevamento anche se in forma molto più ridotta, il che indica uno sviluppo alla mesoscala relativamente meno pronunciato rispetto la direttrice principale;
3. queste discontinuità hanno direzione non conforme al σ_1 alpino;
4. dato il p.to 3, si può ipotizzare che, forse, questo sistema di fratture si è venuto a creare per la presenza di un antico sistema estensionale (Mesozoico?) a direzione N-S, ereditato e riattivato con un movimento transpressivo;

I dati ottenuti dall'analisi quantitativa, relativa al sistema geotettonico, suggeriscono gerarchizzazione delle discontinuità: una direttrice principale, orientata ca. N 10° - 30° E e una subordinata ad essa orientata ca. 260° - 310° N. Si tratta di sistemi di frattura quasi verticali.

I sistemi carsici nascono e si sviluppano in corrispondenza di fratture, sfruttando cioè quelle discontinuità in cui l'acqua, una volta infiltrata, può circolare e generare la progressiva dissoluzione del carbonato di calcio. Questo flusso continuo dilata ed espande le fratture fino alla creazione di grotte a elevata portata idraulica.

La presenza di fratture sub-verticali favorisce tale fenomeno, perché l'acqua sfrutta la forza di gravità e in profondità fino a raggiungere zone di debolezza lungo strato, come dei giunti o delle intercalazioni di materiale poco competente.

L'evoluzione di queste reti idrauliche porta a un continuo aumento della sezione dei condotti e del volume delle camere e all'approfondimento del sistema carsico fino al livello di base: questo si traduce in grotte sempre più grandi e deflussi sempre più veloci.

Osservando il profilo geologico, si può intuire che i flussi possono dirigersi verso la Val Lapisina seguendo l'immersione degli strati. Facendo riferimento alla fig. 2 sulla "localizzazione degli eventi sismici rilevati nei primi due mesi del 2011", si può osservare che gli ipocentri sono stati individuati proprio in corrispondenza della valle, a profondità variabile, ai piedi del massiccio del Cansiglio.

Fenomeni idraulici, noti come "colpi d'ariete", si possono essere originati in sistemi carsici profondi la cui formazione è stata favorita dalla presenza di una serie di discontinuità sub-verticali di origine tettonica. Queste fratture hanno concentrato il flusso di acque sotterranee, le quali hanno progressivamente dissolto i calcari fino a creare dei condotti ad elevata portata idraulica. Quanto detto è in accordo con l'immersione degli strati e gli ipocentri individuati.

Questi flussi potrebbero percorrere le fenditure ad alto angolo e poi, ad una certa profondità, cambiare direzione e scorrere lungo strato fino a raggiungere il nucleo della valle. Nel tragitto, la velocità di questi fluidi aumenterebbe sensibilmente fino al momento dell'impatto contro le pareti rocciose. Data l'energia potenziale della colonna d'acqua e l'energia cinetica funzione dalla velocità, l'impatto sarebbe così violento da provocare, oltre a dei microsismi, delle onde sonore ad alta frequenza, particolarmente energetiche nella banda da 30 a 70 Hz. Questa banda spiega la percezione acustica.

Luca Dal Zilio, 595953-sg
Profilo geologico della Val Lapisina

Profilo X - X

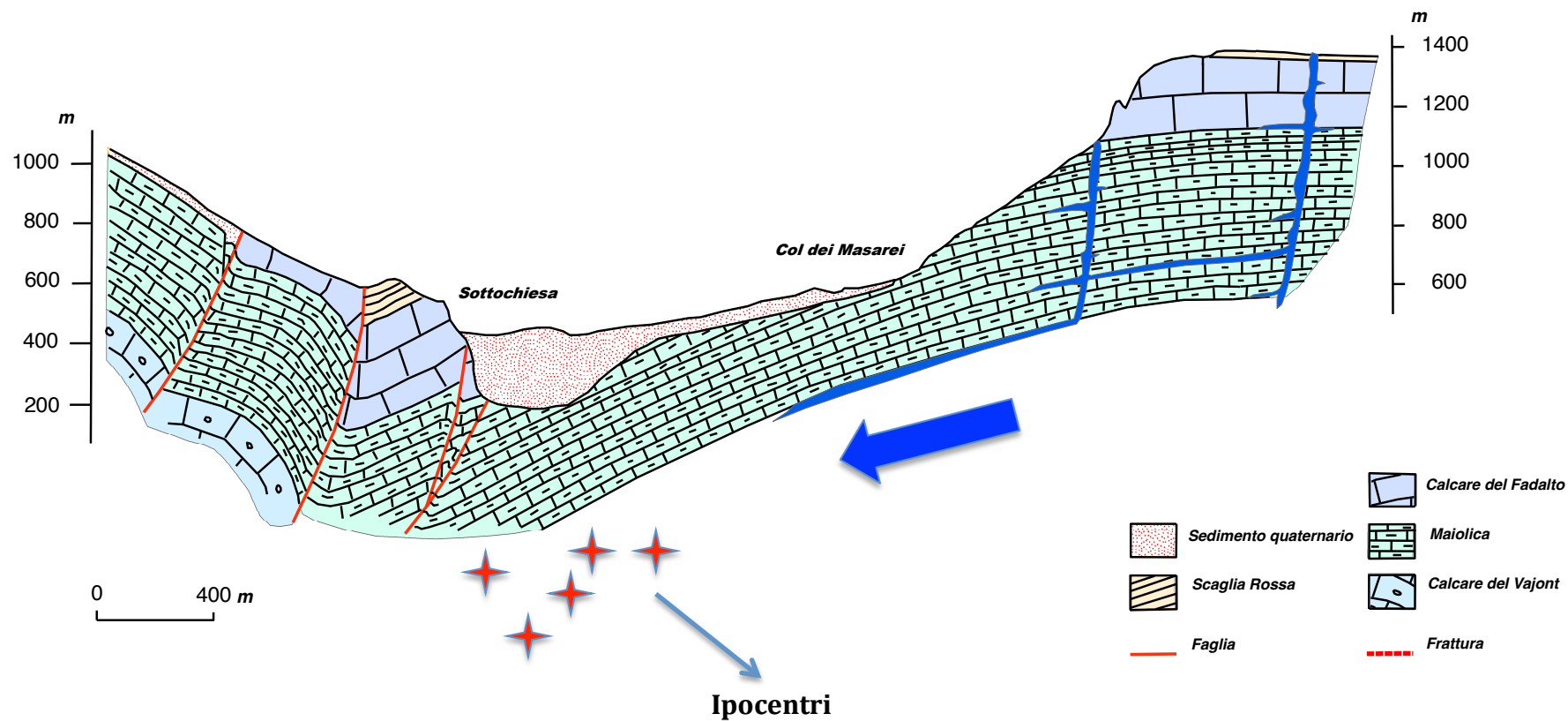


Fig. 9 – Profilo geologico. In blu, il sistema carsico ipotetico che darebbe origine ai “colpi d’ariete”. Quest’ipotesi è favorita da una stratificazione e un sistema di fratture che consente il rapido deflusso delle acque sotterranee. Gli ipocentri sono geometricamente in direzione a questi presunti deflussi.

– *References* –

COMELLI P. & CRS STAFF (2011) – Rapporto preliminare sulle indagini sismometriche condotte in relazione ai fenomeni acustici percepiti in Val Lapisina (gennaio-febbraio 2011).

DOGLIONI C. (1988) – Structure of the Venetian Southern Alps. Tectonics Study Group, 19th Annual Meeting, Abstracts volume, Cambridge.

DOGLIONI C. (1990) – The Venetian Alps thrust belt. In: K. McCLAY (Ed.), Thrust Tectonics Volume, Unwin Hyman, London.

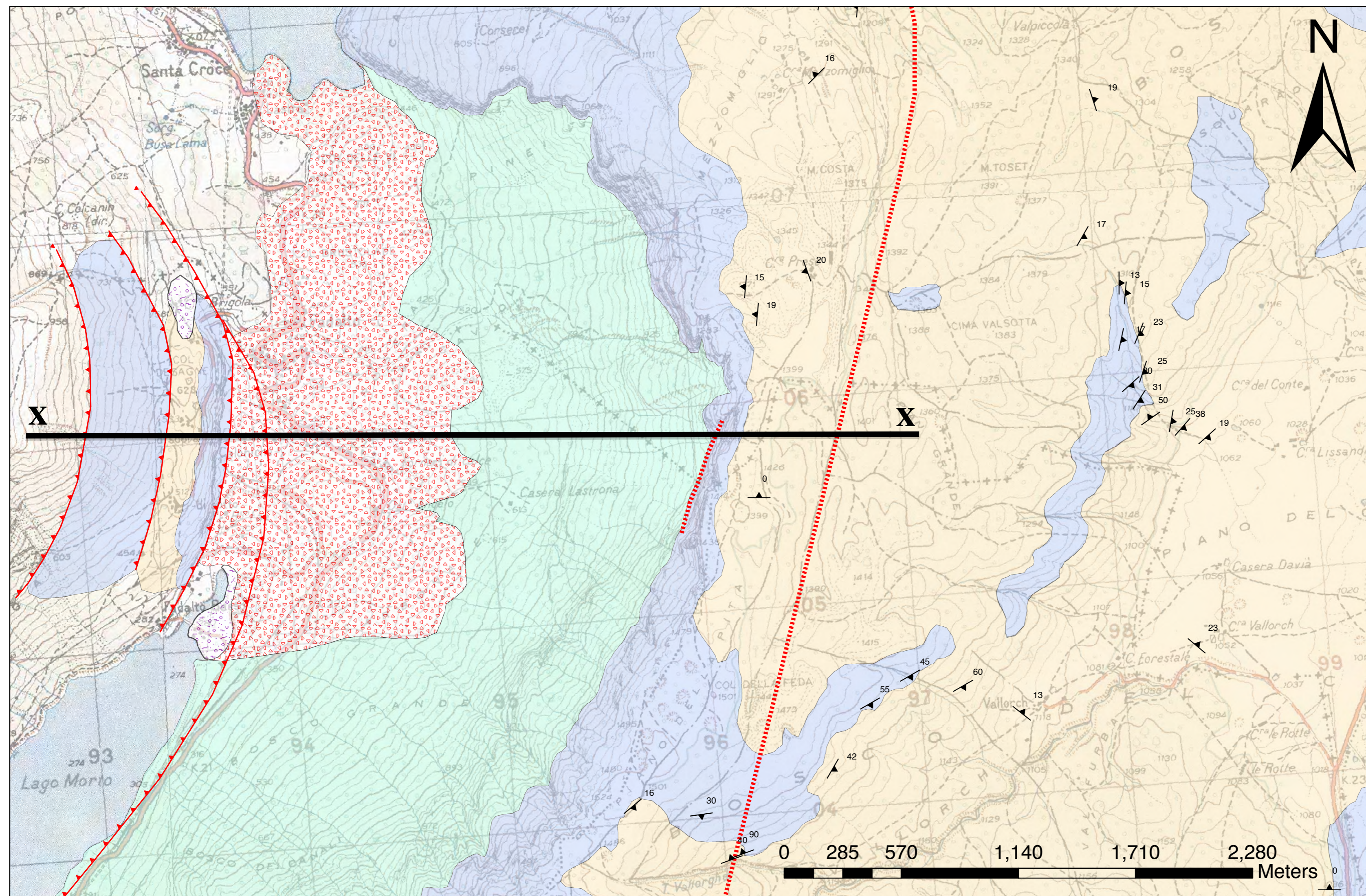
DOGLIONI C. (1990) – Thrust tectonics examples from the Venetian Alps. Studi Geologici Camerti, volume speciale, 117- 129.

FOGLIO GEOLOGICO 063 (1987) – Belluno (1: 50.000) & NOTE ILLUSTRATIVE.

LOMAX A. (2008) – SeisGram2K (5.3), Mouans-Sartoux <http://alomax.free.fr/seisgram/SeisGram2K.html>

MILANOVIC P. (1985) – Hydrogeological and engineering geological problems of hydrotechnical construction in karst. Karst Water Resources (proceedings of the Ankara, Antalya Symposium, July 1985), 151-177.

PELLEGRINI G.B. & SURIAN N. (1996) – Geomorphological study of the Fadalto landslide, Venetian Prealps, Italy. Geomorphology, 15, 337-350.



PREALPI ORIENTALI - SUCCESIONE MESOZOICA

Scaglia Rossa

Calcarei micritici marnosi, giallastri per alterazione o rosate, con selce giallastra presente ma mai abbondante, in strati da centimetrici a decimetrici. Sono presenti anche delle intercalazioni di calcareniti fini bioclastiche laminare (torbiditi). Limite con l'unità inferiore netto, corrisponde a 1-2 m di breccie intraformazionali a clasti micritici male arrotondati. Maastrichtiano p.p. - Campaniano sup.

Calcare del Fadalto

Calcareni grossolane e calciruditi (rudstone e grainstone) prevalentemente a frammenti di rudiste, di colore biancastro. Stratificazione metrica o decimetrica, con laminazione piano parallela o incrociata raramente visibili. Presenti, ma subordinate, intercalazioni di calcari micritici. Limite con l'unità inferiore per alternanza. Spessore 200-250 m, Cretacico sup. p.p. - Albiano

Maiolica

Calcarei micritici biancastri o grigi in strati decimetrici, con noduli di selce. Sono comuni intercalazioni decimetriche o, più raramente, metriche, di calcareniti (grainstone) bioclastiche con gradazione diretta e laminazione trativa (torbiditi). Limite con l'unità inferiore graduale per alternanza in pochi metri. Spessore massimo 500 m, Cretacico inf. p.p. - Tortoniano p.p.

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

Deposito glaciale

Detrito di frana

DISCONTINUITA'

Faglia_inversa

Faglia_normale

Frattura

ALTRI SIMBOLI

Giacitura di strato

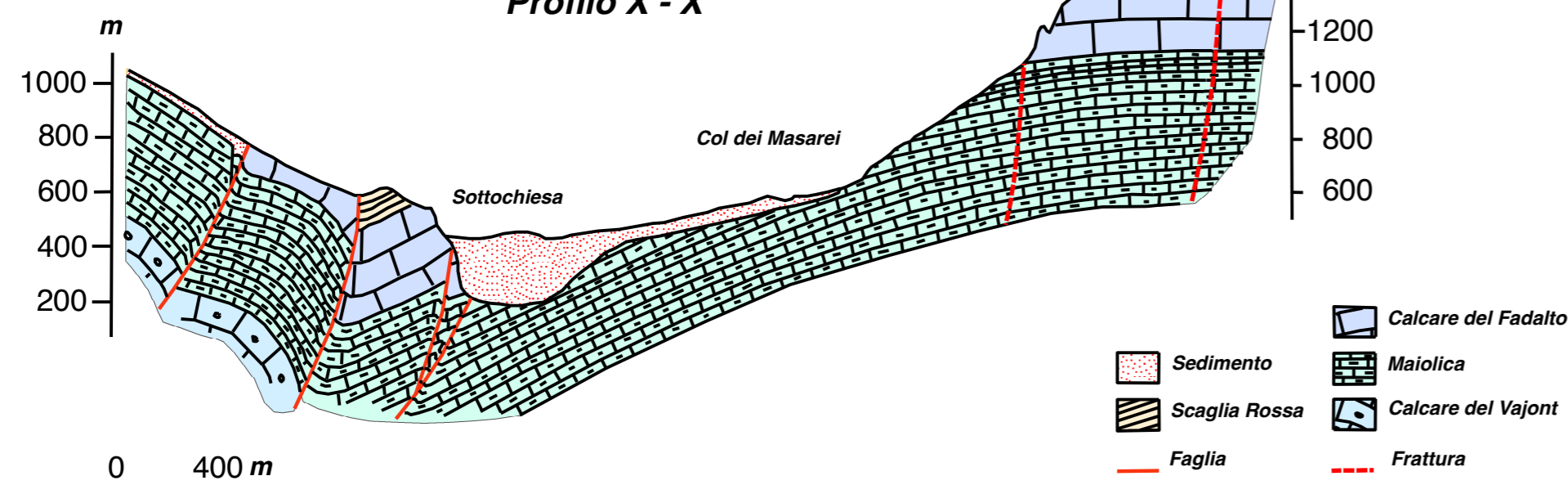
Geological setting



Luca Dal Zilio, 595953-sg

Profilo geologico della Val Lapisina

Profilo X - X



Rose diagram

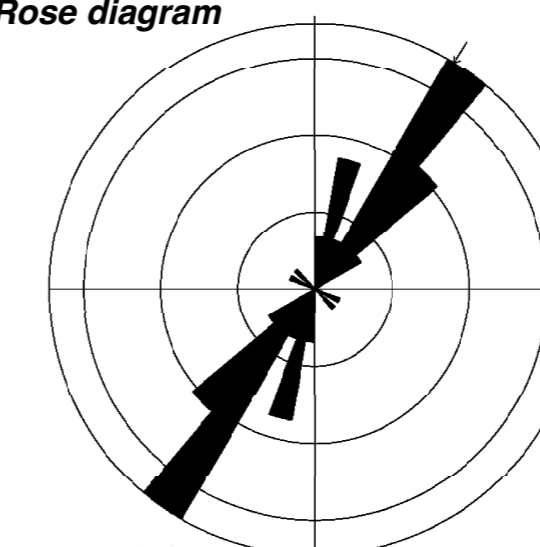


Diagramma a rosa dei principali lineamenti (lungo direzione). Ricavato da ortofoto.