

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SIENA



FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE GEOLOGICHE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA

## **Metodi Geoinformatici per la restituzione e l'analisi dei dati FotoGeologici:**

**un'applicazione nel bacino marmifero dei monti  
Sella e Macina delle Alpi Apuane centrali.**

Tesi di Laurea di:

**Alberto Antinori**

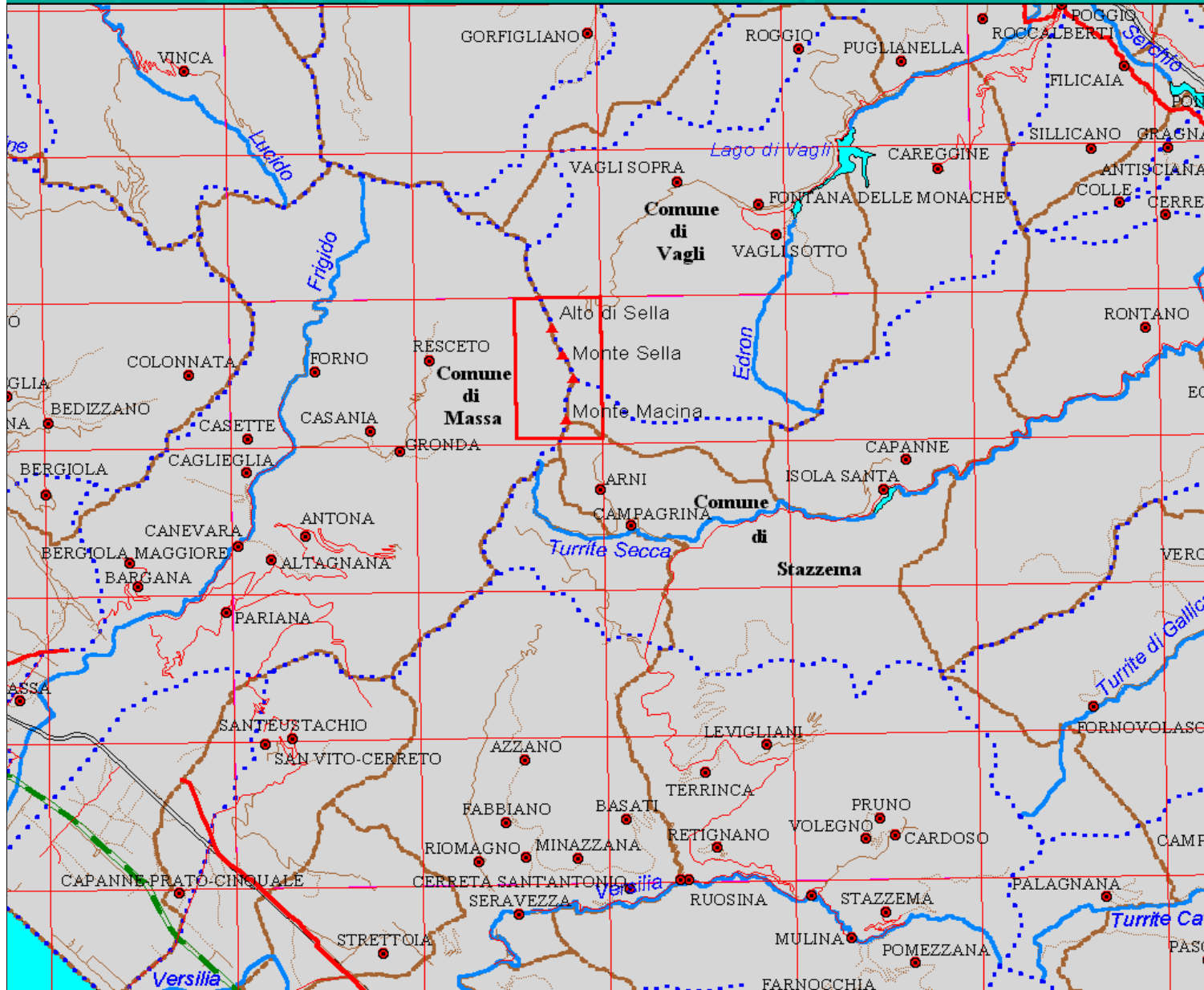
Relatore: *Chiar.Mo Prof.*

**Luigi Carmignani**

# Obbiettivi:

- ◆ Individuare, sperimentare e mettere a punto metodologie per **restituire** (con **precisione** adeguata alla topografia esistente) **dati geologici da foto aeree** a grande scala.
- ◆ Realizzare un **Sistema Informativo Territoriale** che integri i dati fotogeologici, topografici, geologici, e ortofoto digitali in un sistema di riferimento comune **con coordinate metriche**.
- ◆ Implementare **metodologie di analisi** (quantitative e qualitative) per la Geologia, con tabelle, grafici, diagrammi e soprattutto **interrogazioni geografiche e/o alfanumeriche**).
- ◆ Messa a punto di metodi di **restituzione dei dati numerici del data-base realizzato**, con di **viste (2D e 3D)**, e **carte tematiche**.

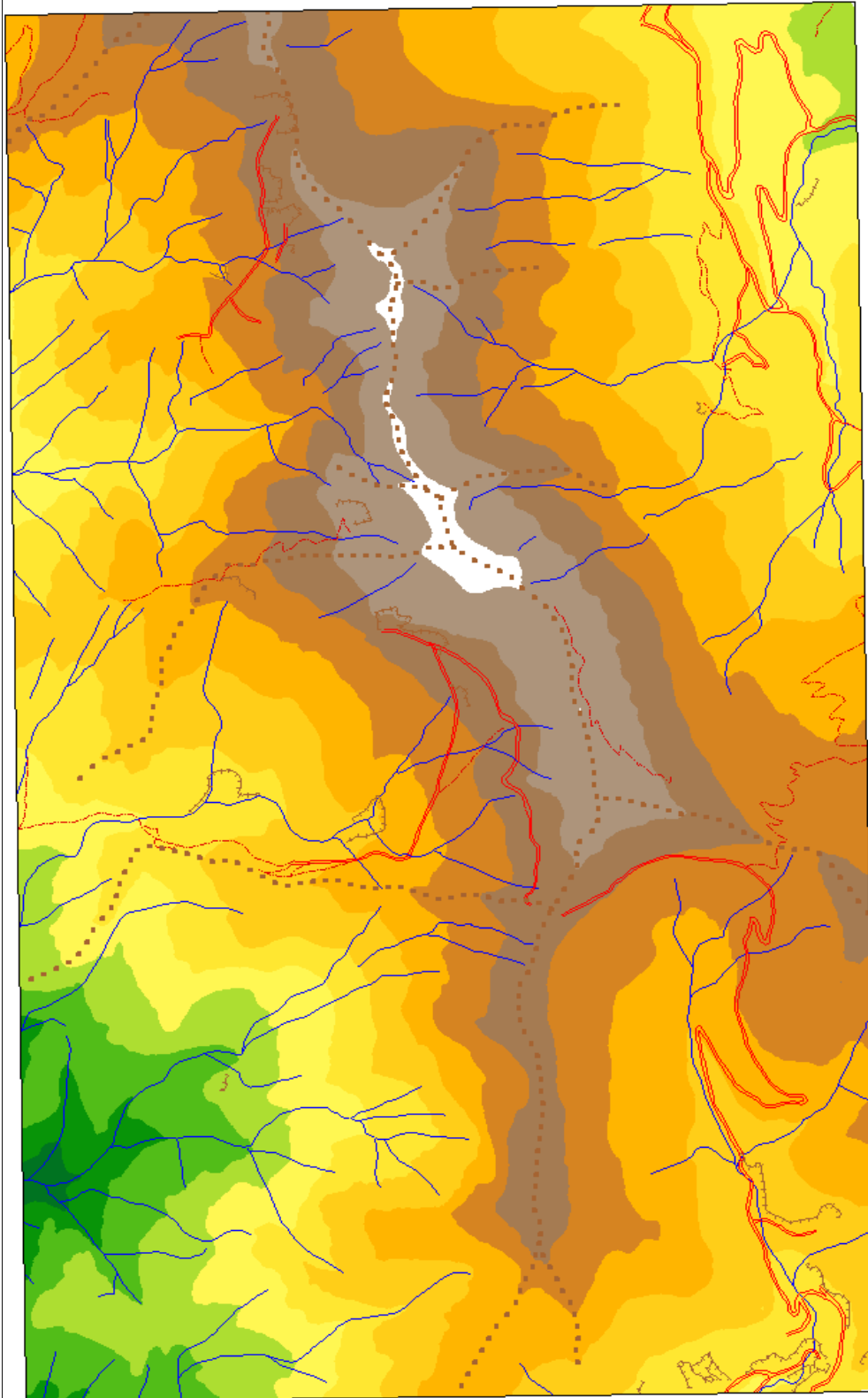
# Inquadramento dell'area indagata



- ◆ CTR 1:5.000 metà Est dell'elemento **249.111** (4 km<sup>2</sup>)
- ◆ Comuni di Massa, Vagli e Stazzema
- ◆ Bacini idrografici Frigido, Edron e Turrite Secca
- ◆ Rilievi: M. Sella, Alto di Sella e M. Macina sullo spartiacque

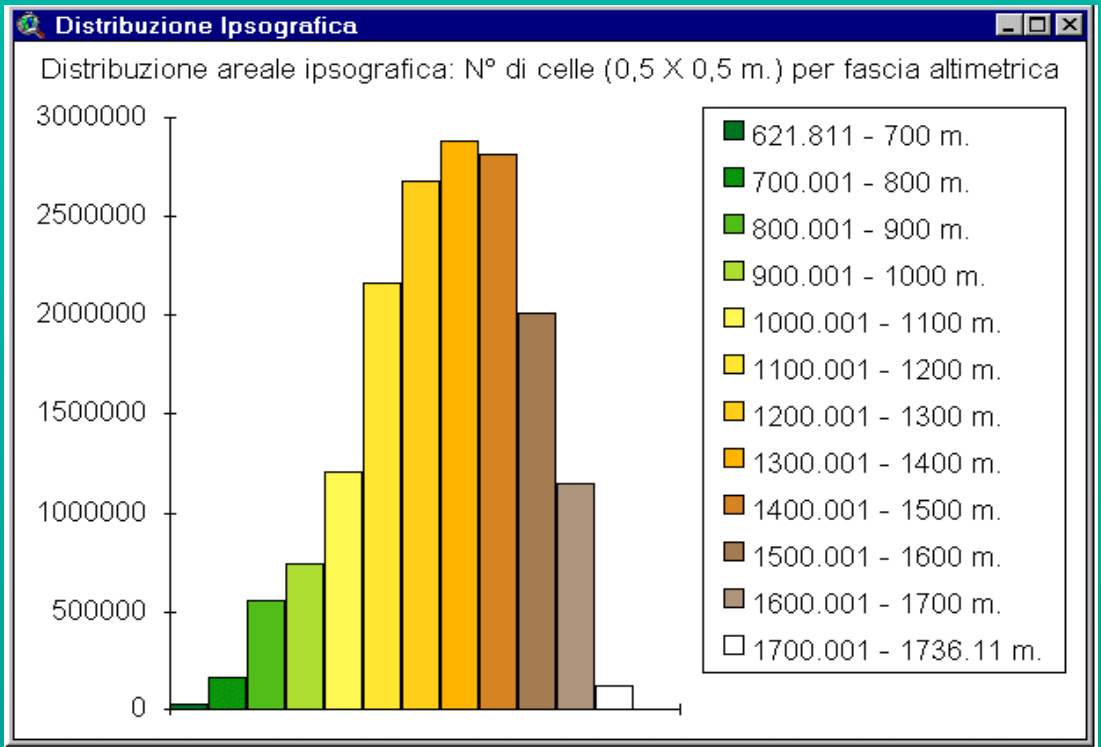
Nord-Sud

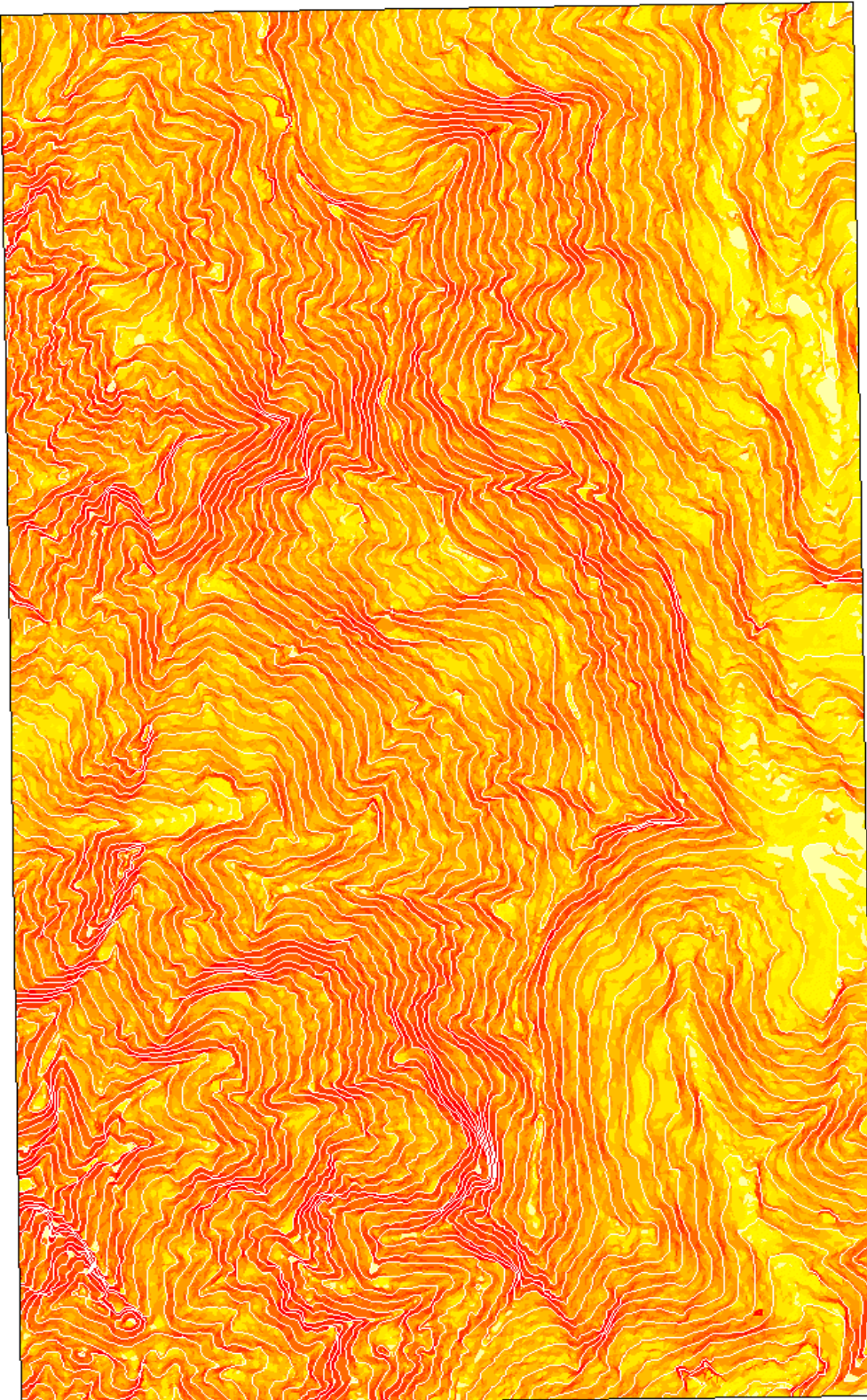
Apuano



# Altimetria:

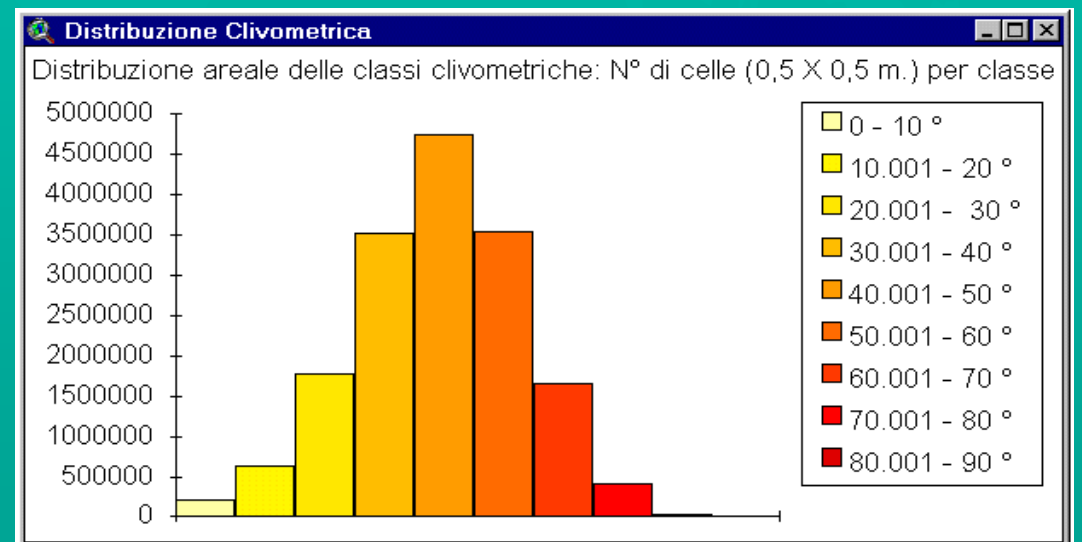
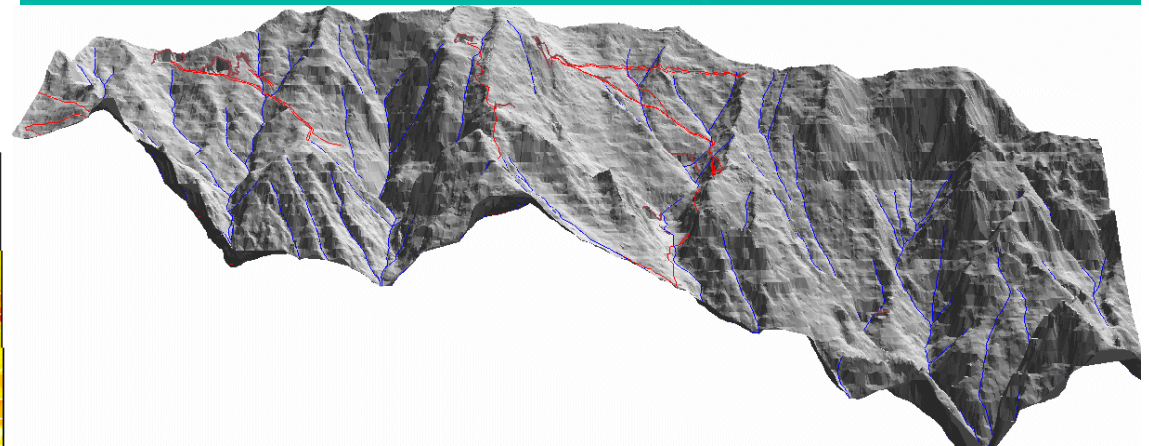
- ◆ Quota **media 1308 m.**
- ◆ Quota **minima 622 m.**
- ◆ Quota **massima 1736** (M. Sella)
- ◆ Fortissimi dislivelli, maggiori a occidente

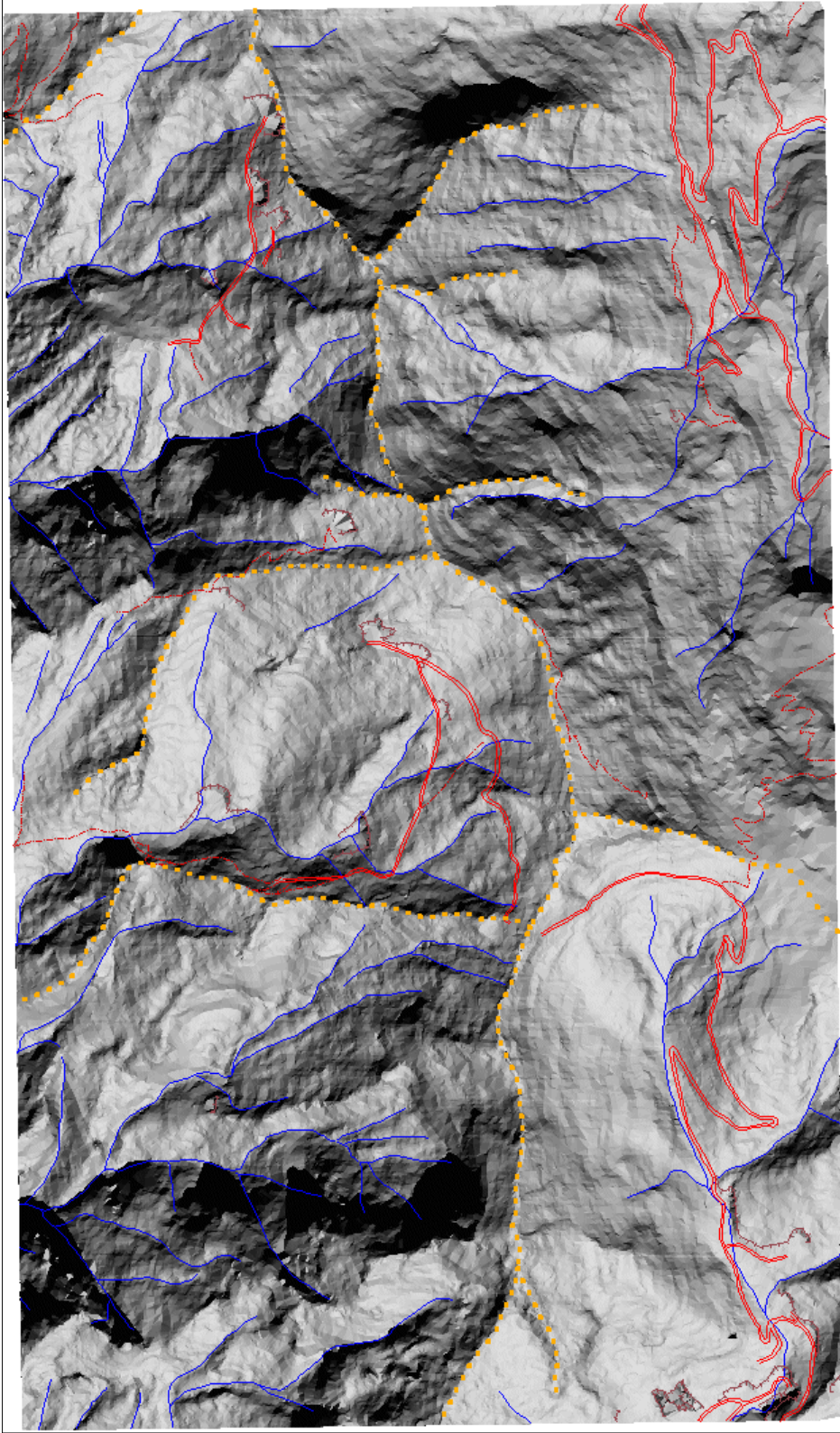




# Clivometria:

- ◆ **Pendenza media 44°**
- ◆ Pendenze massime nel versante occidentale (*es. 86° nel versante Ovest del M. Macina*)



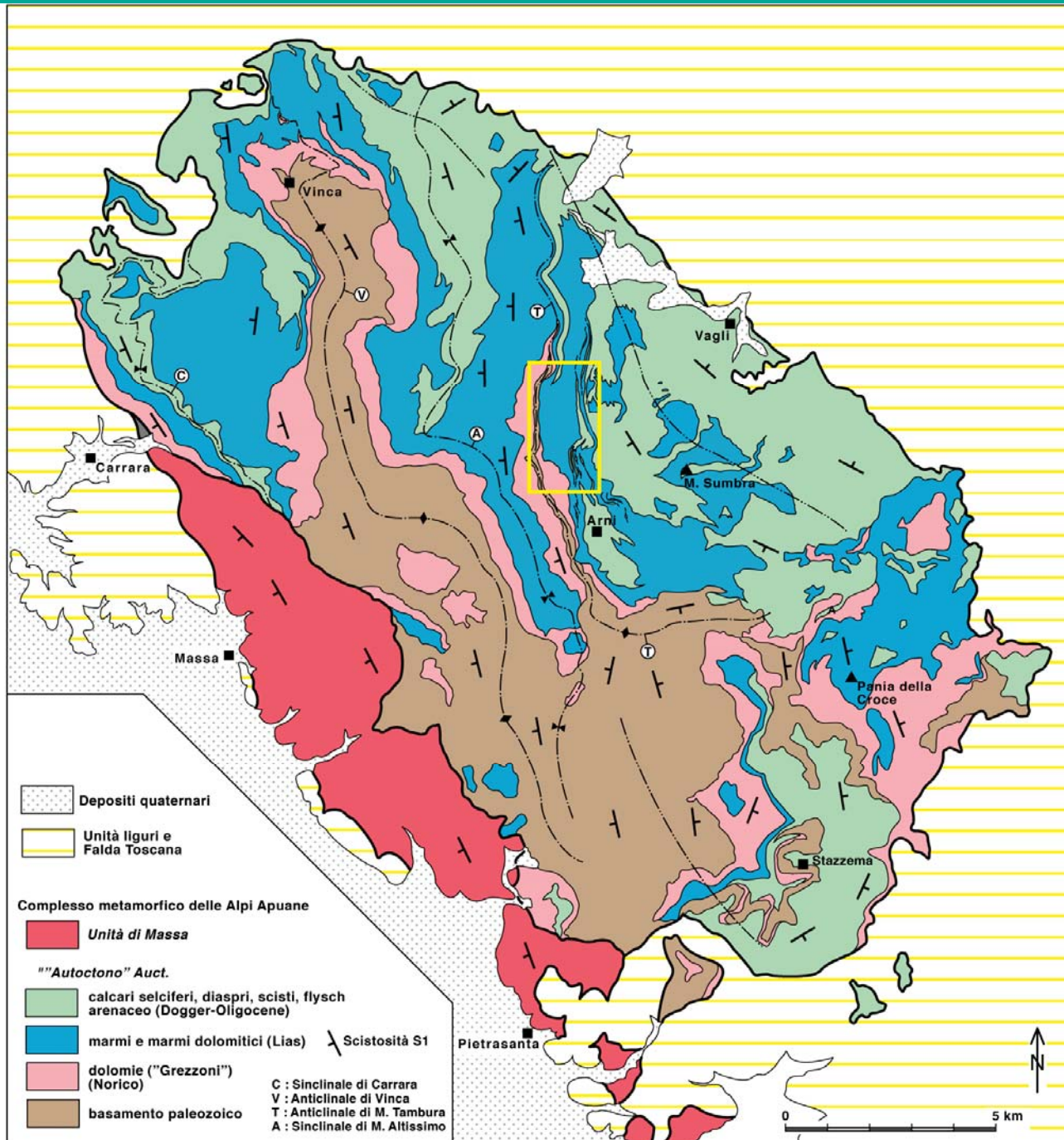


## Morfologia:

- ◆ Di **tipo alpino**: creste affilate, pareti subverticali, aree denudate, pinnacoli
- ◆ **Modellamento da glacialismo quaternario**: valli a circo con profilo a U. Aree lisciate, depositi morenici in prossimità dell'area
- ◆ **Reticolo idrografico** con pattern subdendritico, **discontinuo** prevalentemente a Est (carsismo)
- ◆ **Densità di drenaggio maggiore a occidente** (maggiori dislivelli = minore infiltrazione) **pattern angolare** (controllo strutturale)
- ◆ I **fiumi a ovest** presentano **solchi più incisi** (maggiore energia del rilievo) e spesso morfologia a canyon



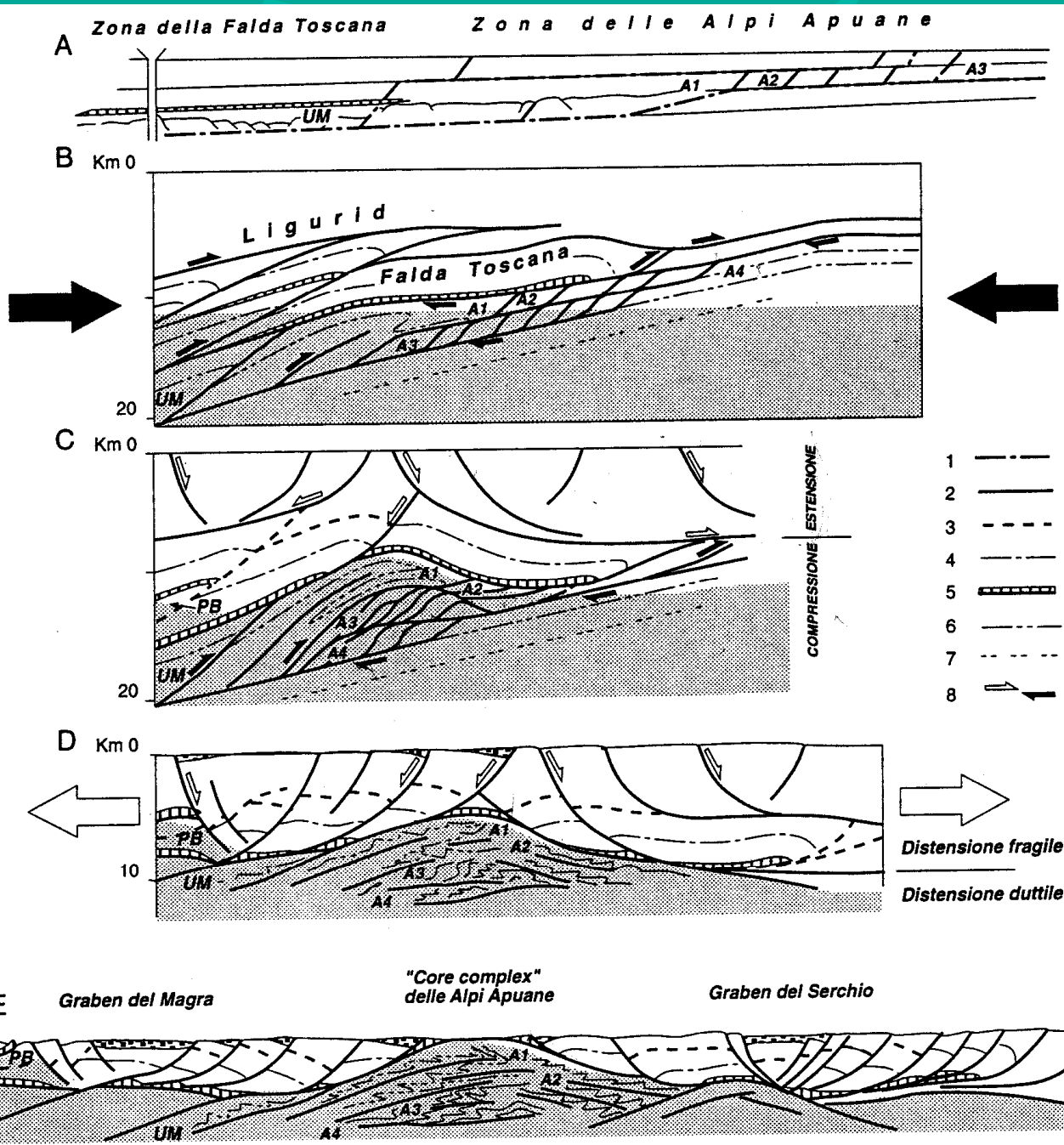
# Inquadramento Geologico:



- ◆ Al Centro della finestra tettonica del **Complesso Metamorfico delle Alpi Apuane** (*ex Autoctono*)
- ◆ Costituito da **Pieghe isoclinali impilate** con movimenti di km da **O / S-O** (*fold nappes*)
- ◆ Dall'interno 5 domini: **Ligure, SubLigure** (U. di Canetolo), **Toscano** (F. Toscana, *Autoctono*, U. di Massa o *Parautoctono*), **U. del Cervarola, UmbroMarchigiano**

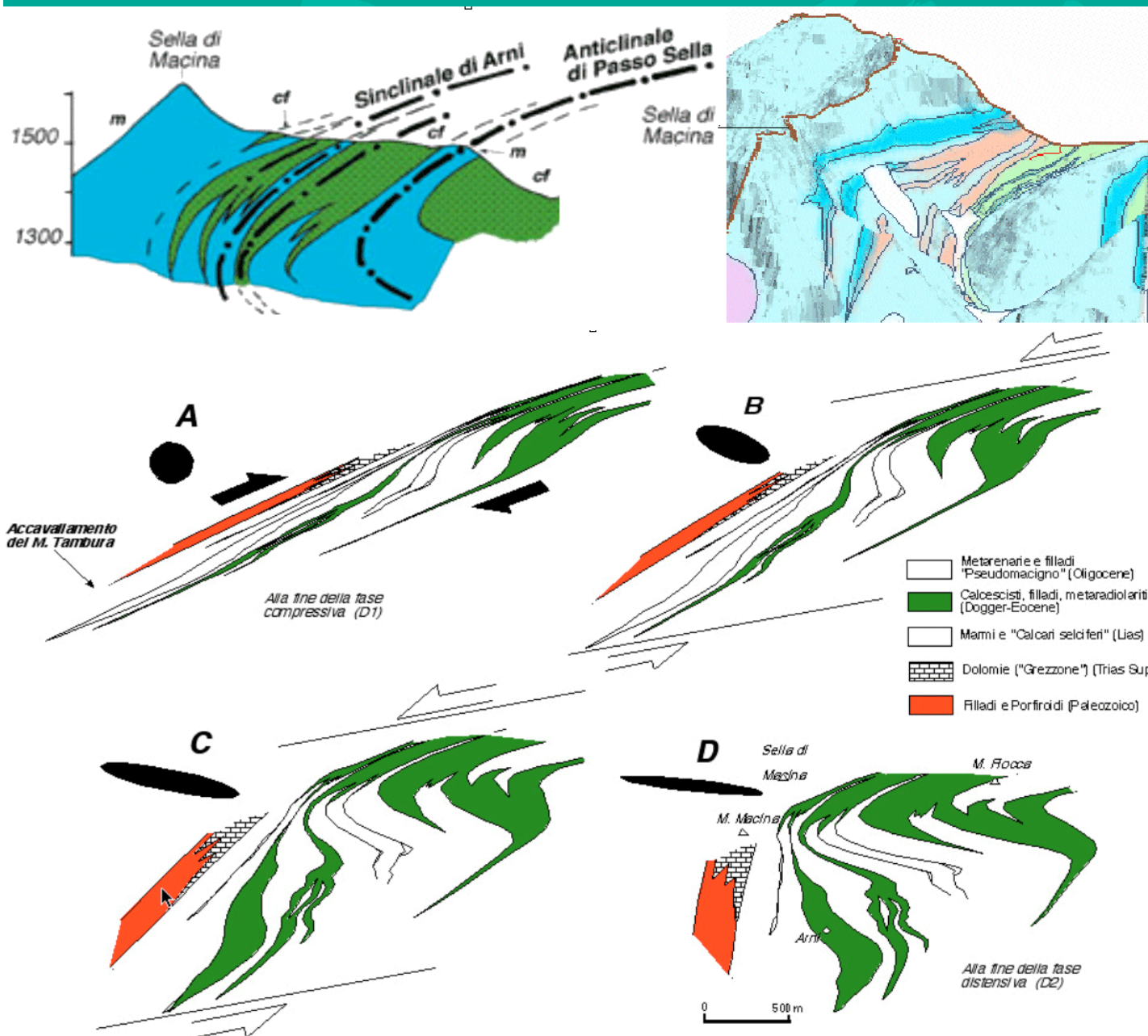


# Fasi tettoniche:



- ◆ A) geometria precedente la collisione tra il blocco sardo-corso e la microplacca adriatica
- ◆ B) impilamento in *fold nappes* dei domini interni sull'Autoctono (*duplex apuano*) [Oligocene Sup.]
- ◆ C) sviluppo antiforme ad elementi imbricati (*antiformal stack*) e possibile inizio della tettonica distensiva altocrostante [Miocene Inf.]
- ◆ D) collasso distensivo gravitativo del cuneo orogenico sovrispessito alla fine della convergenza tra le placche [Miocene Medio-Sup.]
- ◆ E) esposizione del *core complex* apuano per denudazione e sollevamento connessi ad assottigliamento [Pliocene-Pleistocene]

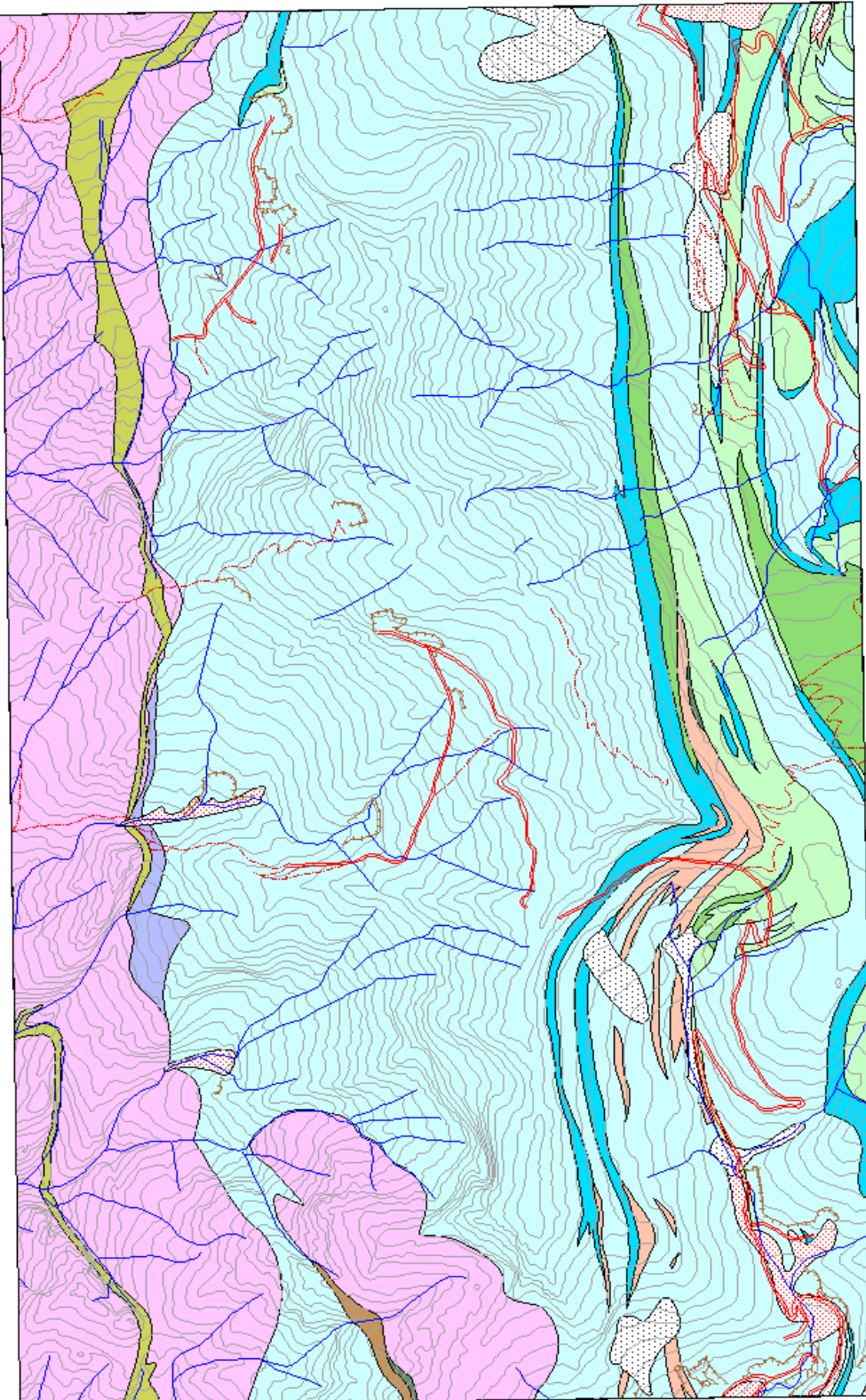
# Strutture presenti nell'area di tesi:



- ◆ **Struttura di Arni-Arnetola:** sinclinali di Arni e M. Fiocca con asse Nord-Sud separate dall'anticlinale di Passo Sella
- ◆ Sono **pieghe isoclinali E vergenti** della fase compressiva **D<sub>1</sub>** deformate da una grande **piega rovesciata verso Ovest** della fase distensiva **D<sub>2</sub>**
- ◆ Le **stesse strutture** si rilevano a **scale diverse** entro 4 ordini di grandezza da cm. a km.

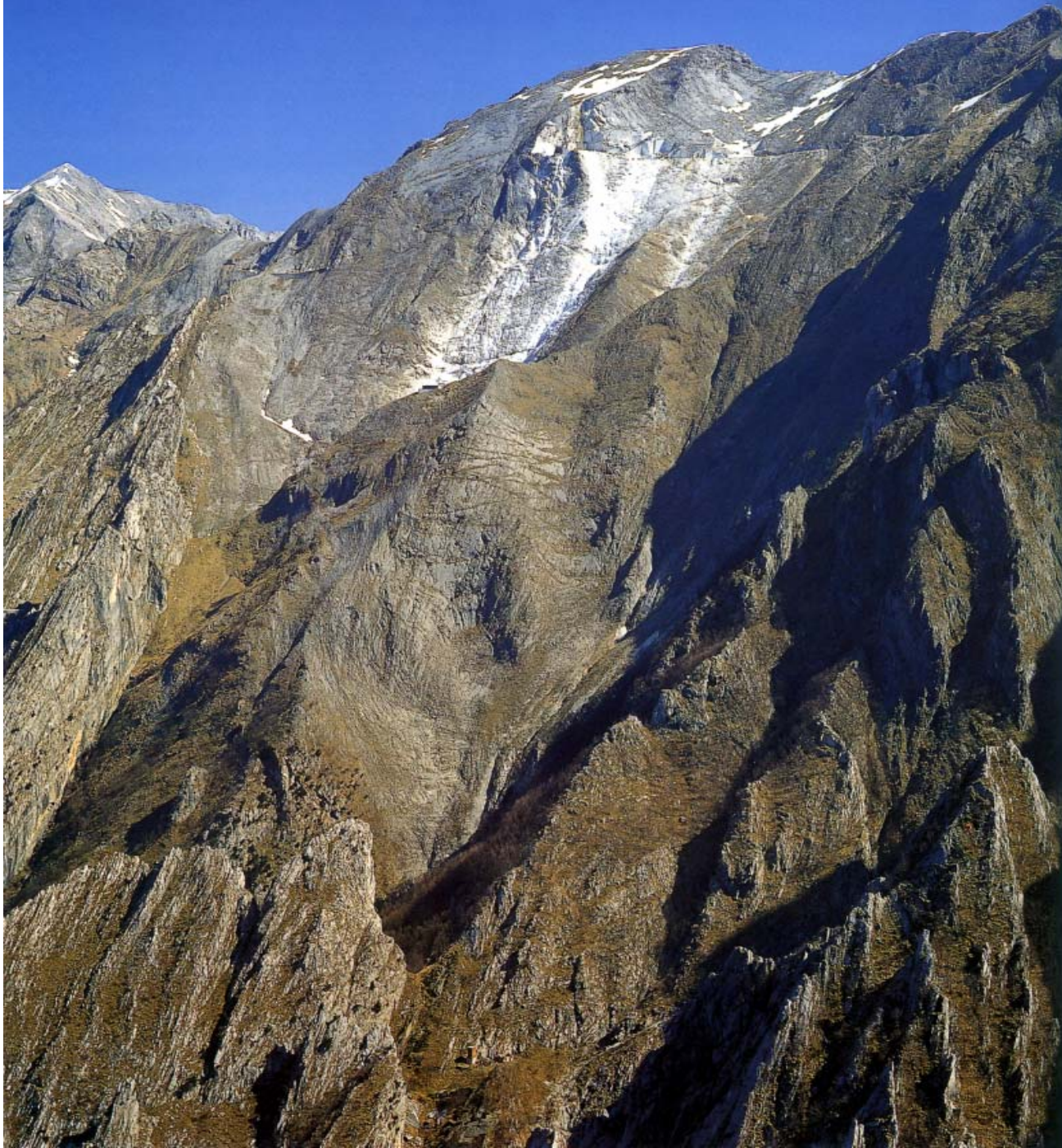


# Carta Litologica vettoriale e Stratigrafia:



	( <b>rv</b> ) Ravaneti
	( <b>dt</b> ) Detrito
	( <b>cp</b> ) Cipollini
	( <b>sc</b> ) Scisti Sericitici
	( <b>d</b> ) Diaspri
	( <b>cs</b> ) Calcari Selciferi
	( <b>m</b> ) Marmi s.s.
	( <b>md</b> ) Marmi Dolomitici
	( <b>gr</b> ) Grezzoni
	( <b>vr</b> ) Verrucano
	( <b>pf</b> ) Porfiroidi e Scisti Porfirici
	( <b>fl</b> ) Filladi Inferiori

# Perché telerilevamento:



Ottima esposizione, ma...

- Pendenze esasperate
- Dislivelli elevatissimi
- Viabilità inesistente
- Asperità di affioramenti

Causano:

- Rilevamento a distanza
- Misure in aree limitate
- Riporto a piccola scala
- Molto lavoro ...
- Topografia imprecisa

# Restituzione di *precisione* da foto aeree

## Dal modello stereoscopico tridimensionale con:

- ◆ Ingombranti **stereo-restitutori opto-meccanici** dal costo > di 200 Mlit. e sw CAD in grado di registrare coordinate tridimensionali. Usati per produrre **cartografia topografica** da parte dell'IGM (scala < 1:25.000) o di ditte che lavorano per Regioni, Province o altri Enti Locali (scale da 1:1.000 a 1:10.000).
- ◆ Moderni, ma costosi, **stereo-restitutori digitali** costituiti da sistemi computerizzati che visualizzano contemporaneamente le 2 immagini digitali della stereocoppia su apposito schermo video con l'ausilio di **occhiali polarizzati** sincronizzati sull'immagine destra e sinistra con l'oscuramento della lente opposta. Altri programmi, relativamente + economici, per normali personal computer visualizzano entrambe le foto sullo schermo e la percezione del modello 3D avviene con l'uso di **specchi** come in uno stereoscopio ottico.

## Dalle ortofotografie digitali georeferenziate:

- ◆ Le foto possiedono già coordinate metriche e **integrate in un SIT (Sistema Informativo Territoriale)** si digitalizzano gli elementi visibili direttamente a video (**digitalizzazione referenziata**)

# Fasi di realizzazione delle OrtoFoto Digitali

- ◆ **Scelta delle foto migliori** per coprire la zona indagata in base a criteri di esposizione + favorevole dei versanti verso il punto di presa e scala maggiore
- ◆ **Scansione dei fotogrammi** su scanner piano ad alta definizione
- ◆ **Individuazione dei punti di controllo a terra** (con osservazione stereoscopica) per la georeferenziazione dei fotogrammi.
- ◆ **Registrazione** delle terne di **coordinate metriche (x, y, z) dei punti di controllo** dal SIT e delle rispettive **coordinate immagine (colonna, riga)** dalle scansioni dei fotogrammi con un programma grafico

Identificativo	X Long	Y Lat	Z Quota	Colonna	Riga
15	1599155.5	4883060.3	1725.7	4465	-414

- ◆ Elaborazione dell'ortofoto con il programma Erdas Imagine attraverso un **ricampionamento dei pixel** dalle posizioni originali sui fotogrammi usando: coordinate dei **punti di controllo**, **parametri di ripresa** (lunghezza focale, coordinate dei fiducial marks, distorsioni ottiche) e un **dettagliato Modello Digitale del Terreno** (da costruire a partire da topografia numerica)

# Dati di partenza

Stampe (dati **Analogici**):

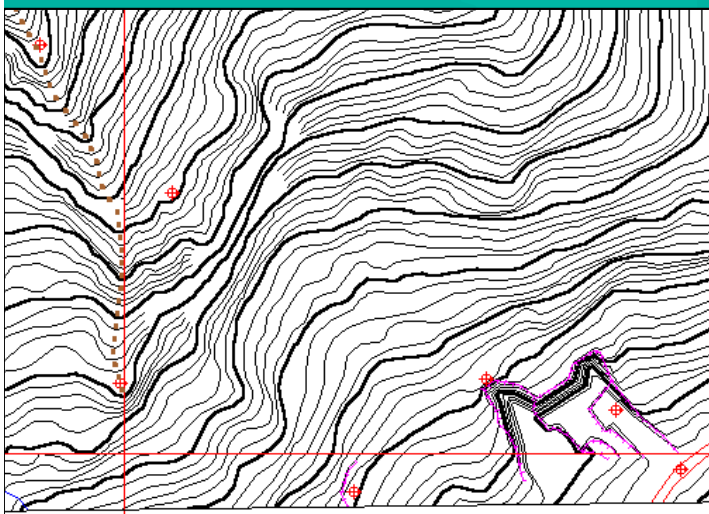
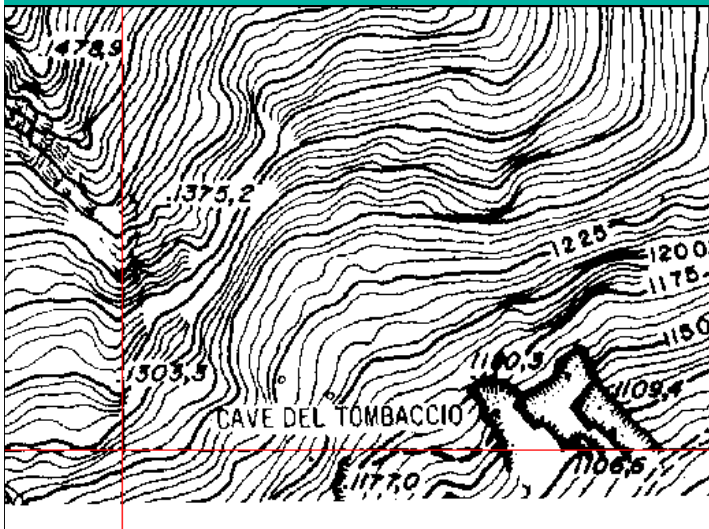
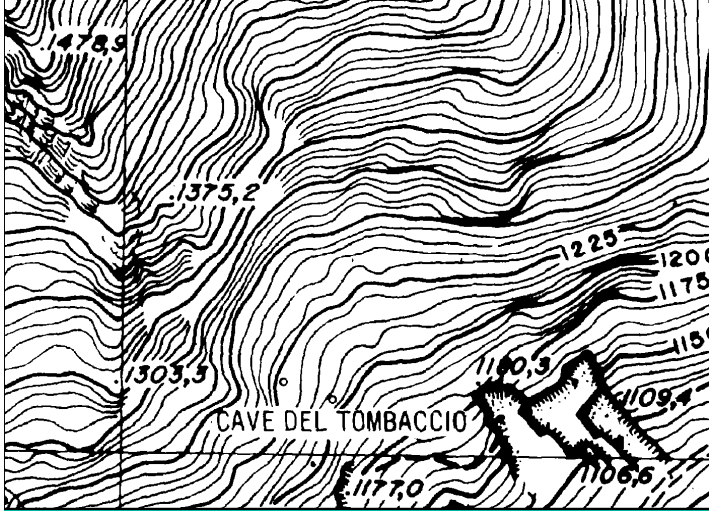
- ◆ CTR 1:5.000 elem. 249111 in proiezione Gauss-Boaga
- ◆ 2 Foto aeree del 1976 in scala media 1:17.000
- ◆ 24 Foto aeree del 1997 in scala media 1:7.500
- ◆ Fotopiano 249110 in scala media 1:10.000
- ◆ Carta Geologico Strutturale del Complesso Metamorfico delle alpi Apuane in scala 1:25.000

Unico dato **Digitale** utile:

- ◆ Carta Litologica vettoriale poligonale in scala 1:25.000 in proiezione UTM (fuso 32)

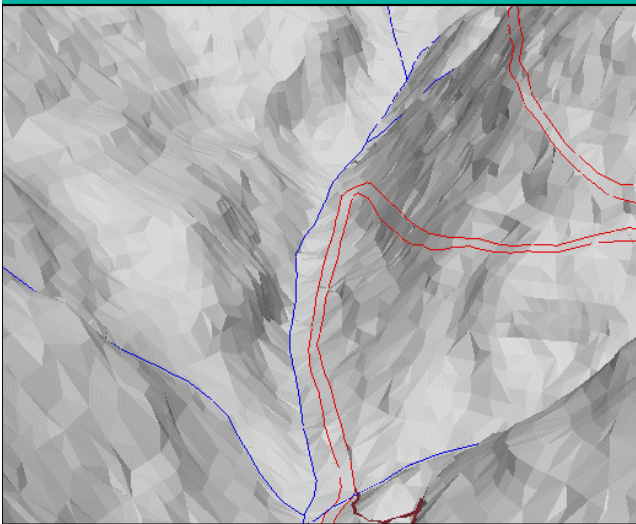
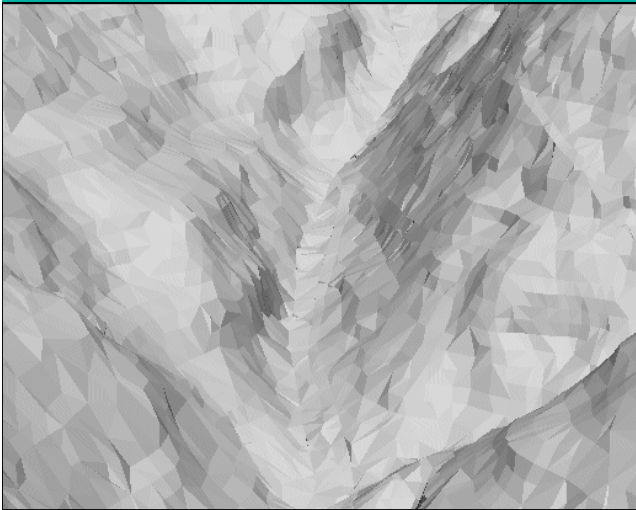
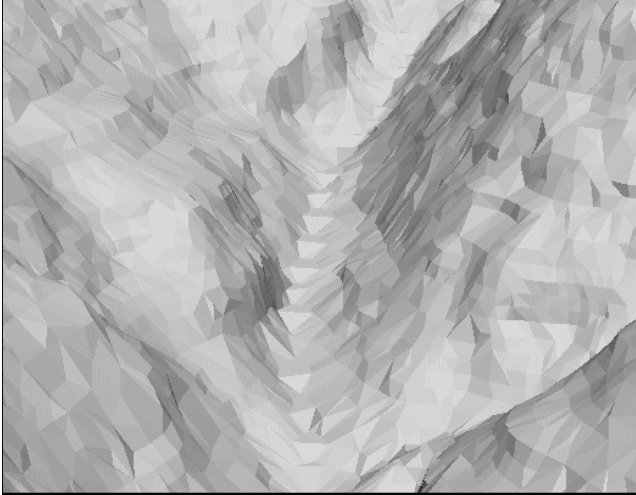


# Digitalizzazione CTR



- 1) **Scansione ad alta definizione** (1000 dpi) della stampa su lucido della CTR con scanner A0 e **taglio** della zona di studio (5 scacchi del reticolato chilometrico in latit. per 3 in longitudine) circa **4 km<sup>2</sup>**
- 2) **Georeferenziazione** per **rotazione** e successiva **traslazione** dell'immagine ottenuta al punto 1. La rotazione allinea il reticolato chilometrico con gli assi X e Y del **sistema di riferimento metrico in Gauss-Boaga**. Il controllo della georeferenziazione si ha per mezzo del **reticolato chilometrico vettoriale** costruito in coordinate reali con **AutoCAD**
- 3) **Vettorizzazione** semiautomatica delle **isoipse** con inseguimento di linee formate da pixel contigui. Congiunzione delle linee interrotte, interpolazione e attribuzione della quota come attributo per totali **1758 isoipse** con **113.809 vertici** e **lunghezza totale 768 km**  
Digitalizzazione a video degli altri strati vettoriali: **punti quotati**, viabilità, idrografia, cigli di cave o scarpate e spartiacque

# DTM e vettori 3D

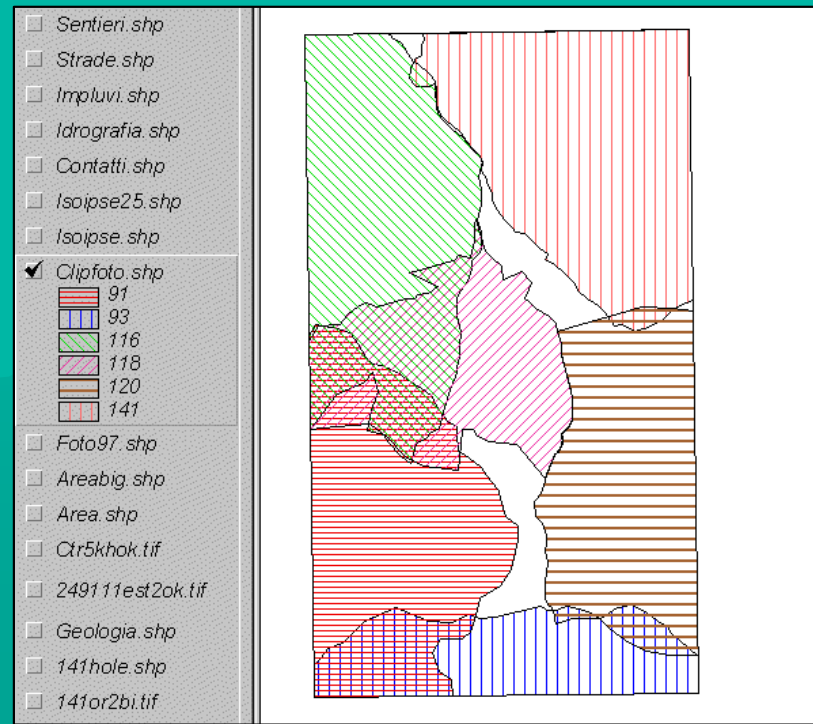
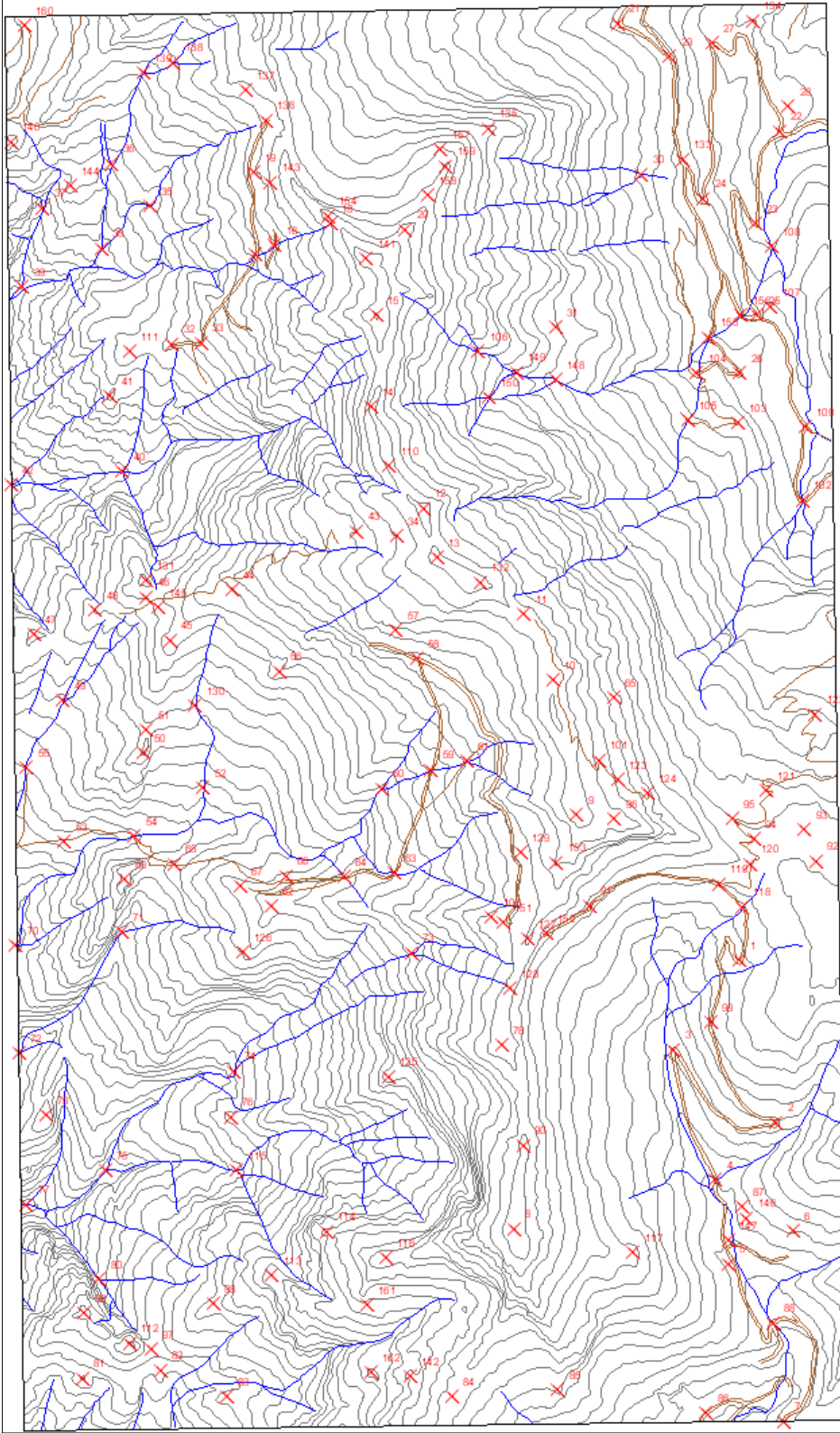


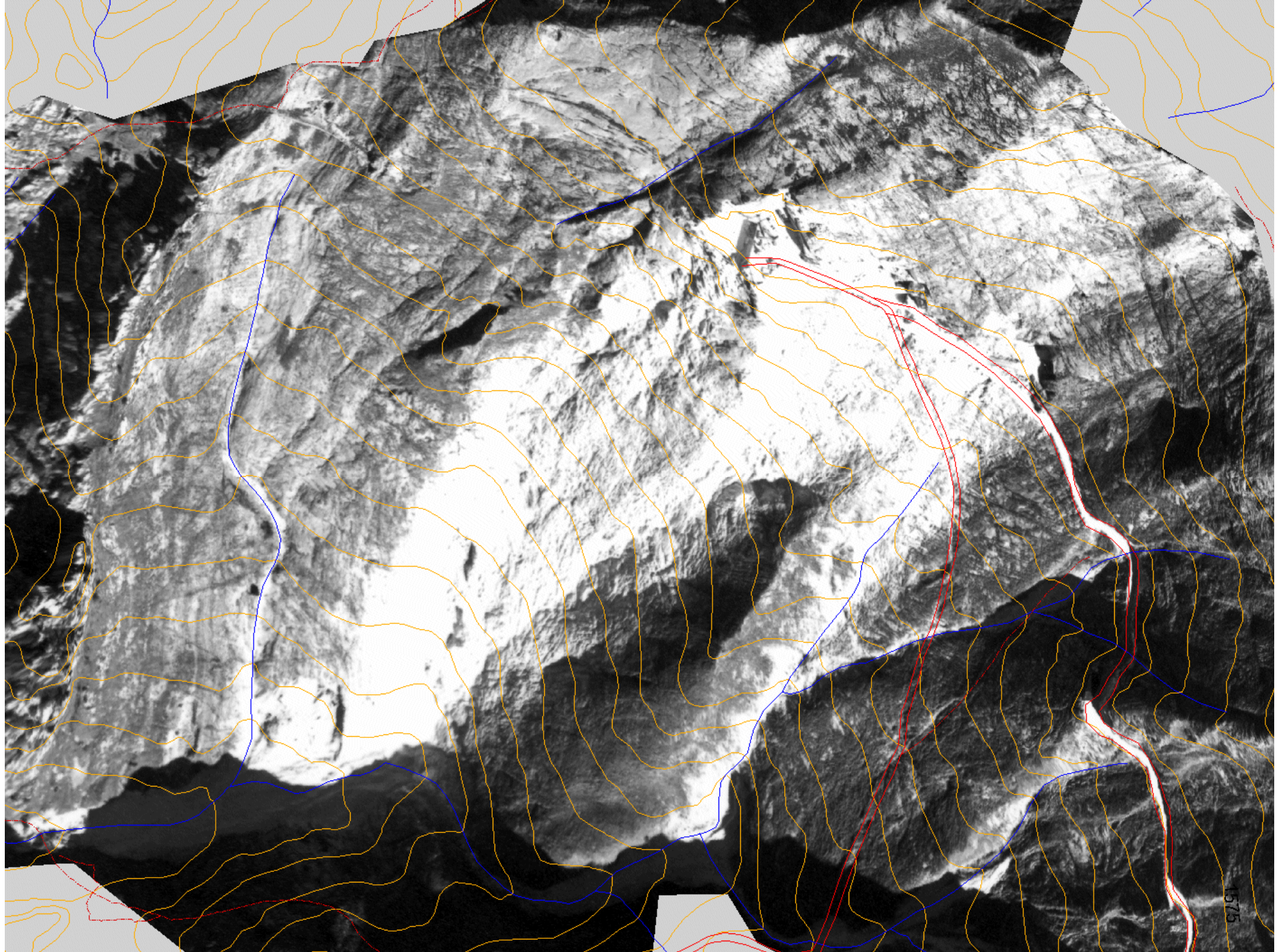
- 1) Primo **Modello Digitale Tridimensionale** realizzato in forma di **TIN** (Triangulated Irregular Network) dai due strati vettoriali con informazione di elevazione, cioè **isoipse** e **punti quotati**
- 2) Inserimento nell'algoritmo di generazione del DTM degli **strati vettoriali bidimensionali** (strade, fiumi, crinali e cigli di cave o scarpate) come **Break Lines** (*linee di interruzione della curvatura della superficie*) con apposita procedura per meglio seguire la reale morfologia del terreno. Il TIN così realizzato consta di 252.708 triangoli incernierati ai lati, e 126.645 vertici
- 3) **Trasformazione** dei **vettori bidimensionali** con o senza informazione di quota **in strati vettoriali tridimensionali** con **aggiunta della quota z dal DTM** alle coppie di coordinate (x, y) dei vertici.

Questo permette di generare **viste prospettiche del modello e degli strati 3D**

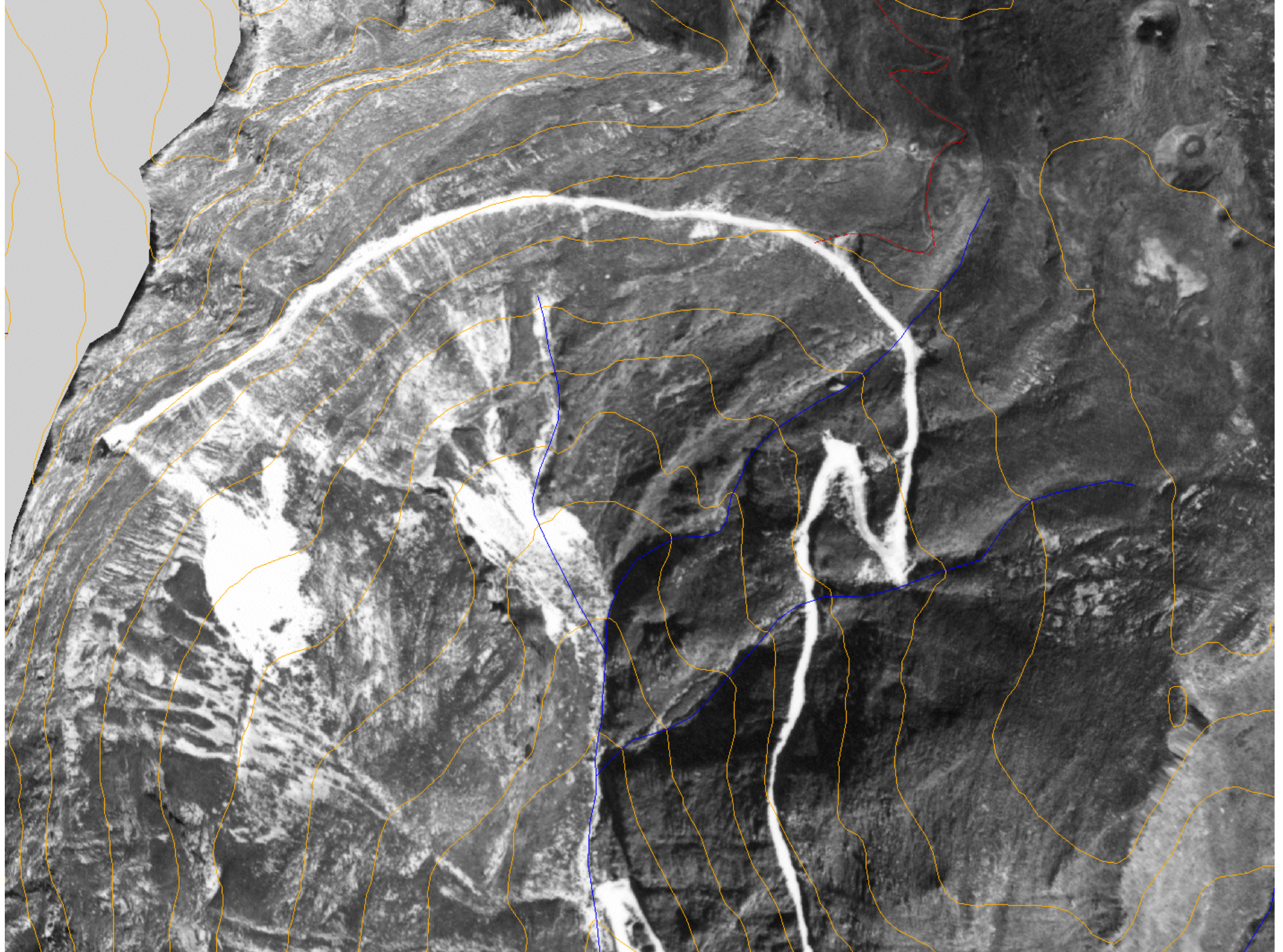
# Realizzazione ortofoto:

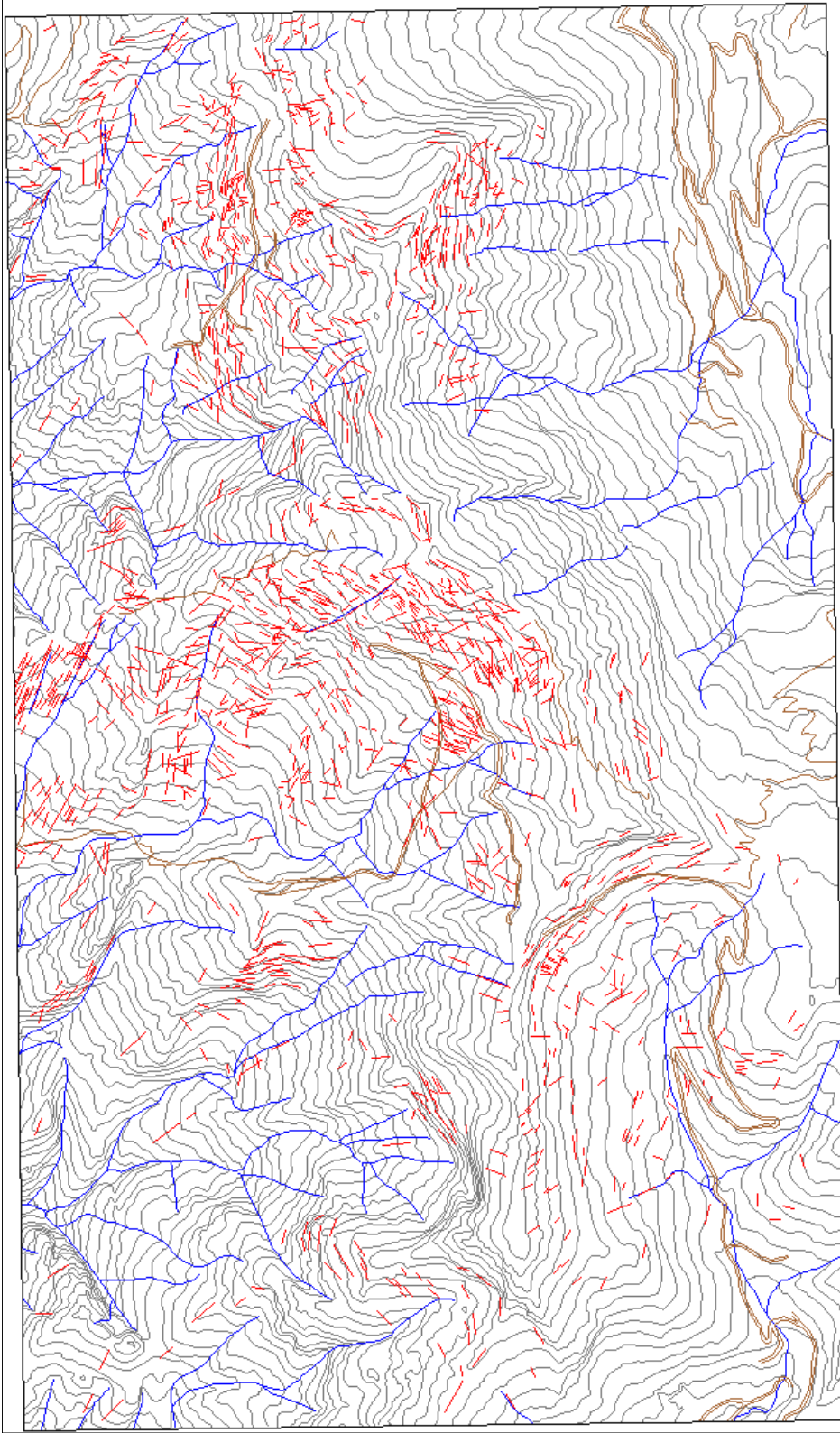
- ◆ Scelti **6 fotogrammi** dalle 3 strisciate delle 24 foto aeree a grande scala: N° **91, 93, 116, 118, 120**).
- ◆ Registrati **162 punti di controllo** in coordinate 3D (**x,y,z**) ottenute dal **DTM**
- ◆ Nelle 6 ortofoto elaborate sono state circoscritte le **aree di miglior definizione e affidabilità di posizione** dei pixel che compongono l'immagine





1575

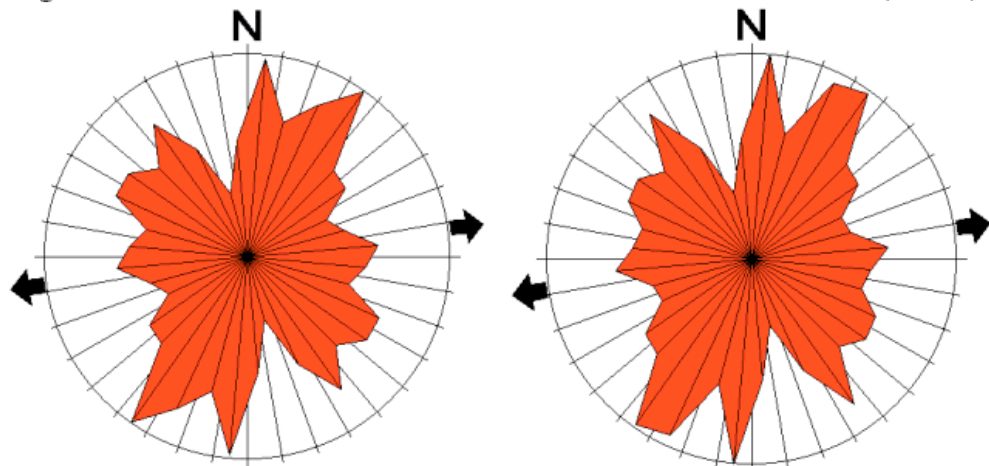




## Lineazioni e lineamenti:

- ◆ **Lineazioni**: scala metrica e decametrica
- ◆ **Lineamenti**: scala hm. e km, **allineamenti** se interrotti (+ lineazioni)
- ◆ Restituite dalle **ortofoto** **1442 lineazioni** (*lunghezza media 26 m.*) come segmenti di 2 vertici per il calcolo automatico della direzione
- ◆ Tracciati dall'**idrografia** della CTR **172 lineamenti** (*lunghezza media 88 m.*) come segmenti di 2 vertici
- ◆ Scomposto il **reticolo idrografico gerarchizzato** in **2.500 segmenti** (*lunghezza media 11 m.*)
- ◆ Ogni elemento possiede le informazioni di **direzione, lunghezza e coordinate** (x, y z) dei vertici e dei punti mediani
- ◆ Il **SIT** dà informazioni puntuali di **pendenza** della superficie morfologica

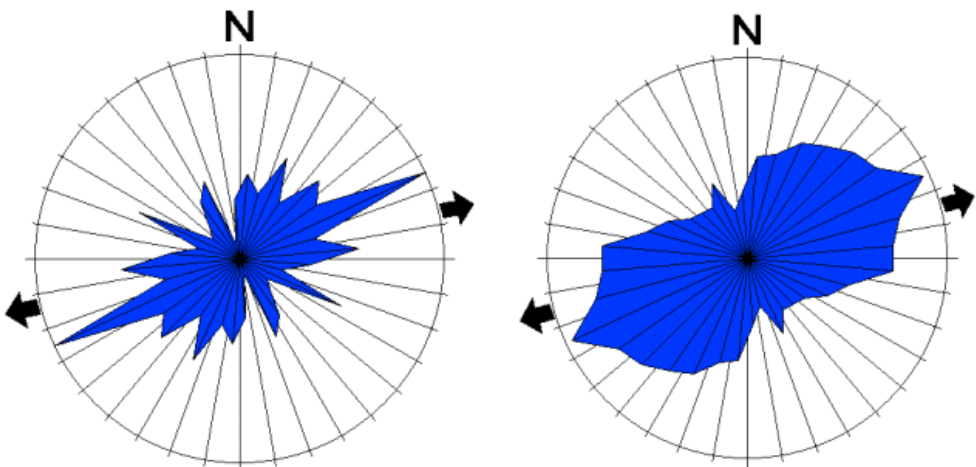
Diagrammi a rosa delle 1442 lineazioni in 18 classi di 10° nella scala azimutale (0°-179°):



Distribuzioni di frequenza (Num./classe)

Distribuzioni di lunghezze (lung. Tot./classe)

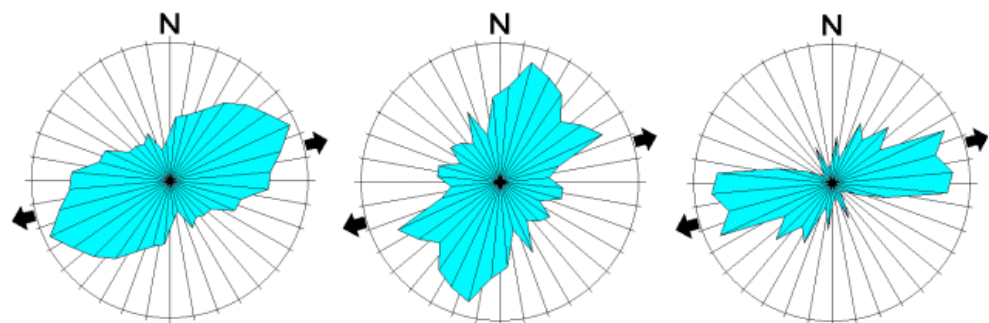
Diagrammi a rosa di frequenza delle *linee* del reticolo idrografico in 18 classi (c. s.):



172 lineamenti e lineazioni

2.499 linee del reticolo idrografico

Diagrammi a rosa di frequenza delle linee di reticolo idrografico per ordine gerarchico:



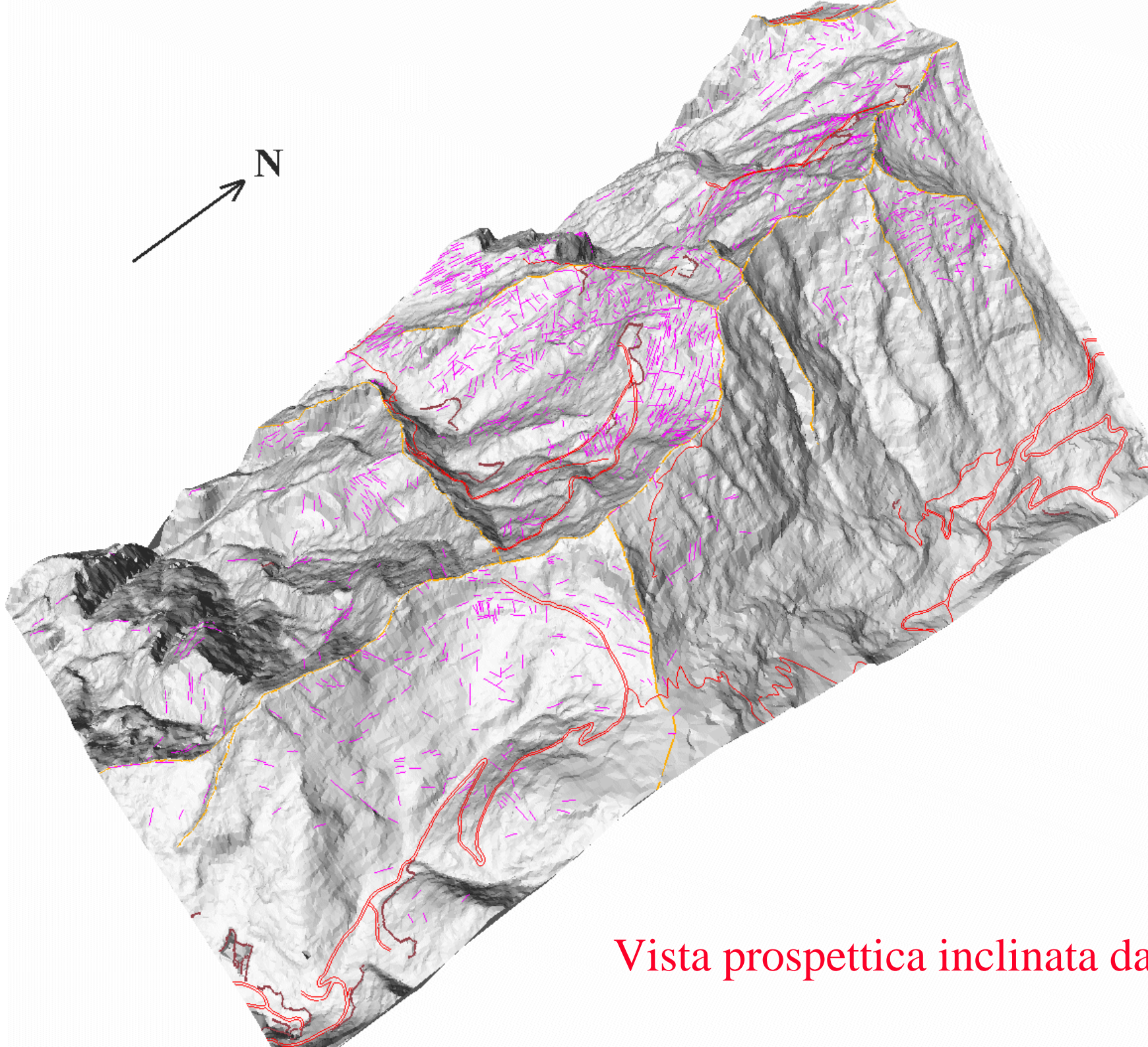
1631 linee aste di 1° ordine

507 linee aste di 2° ordine

361 linee aste di 3° ordine

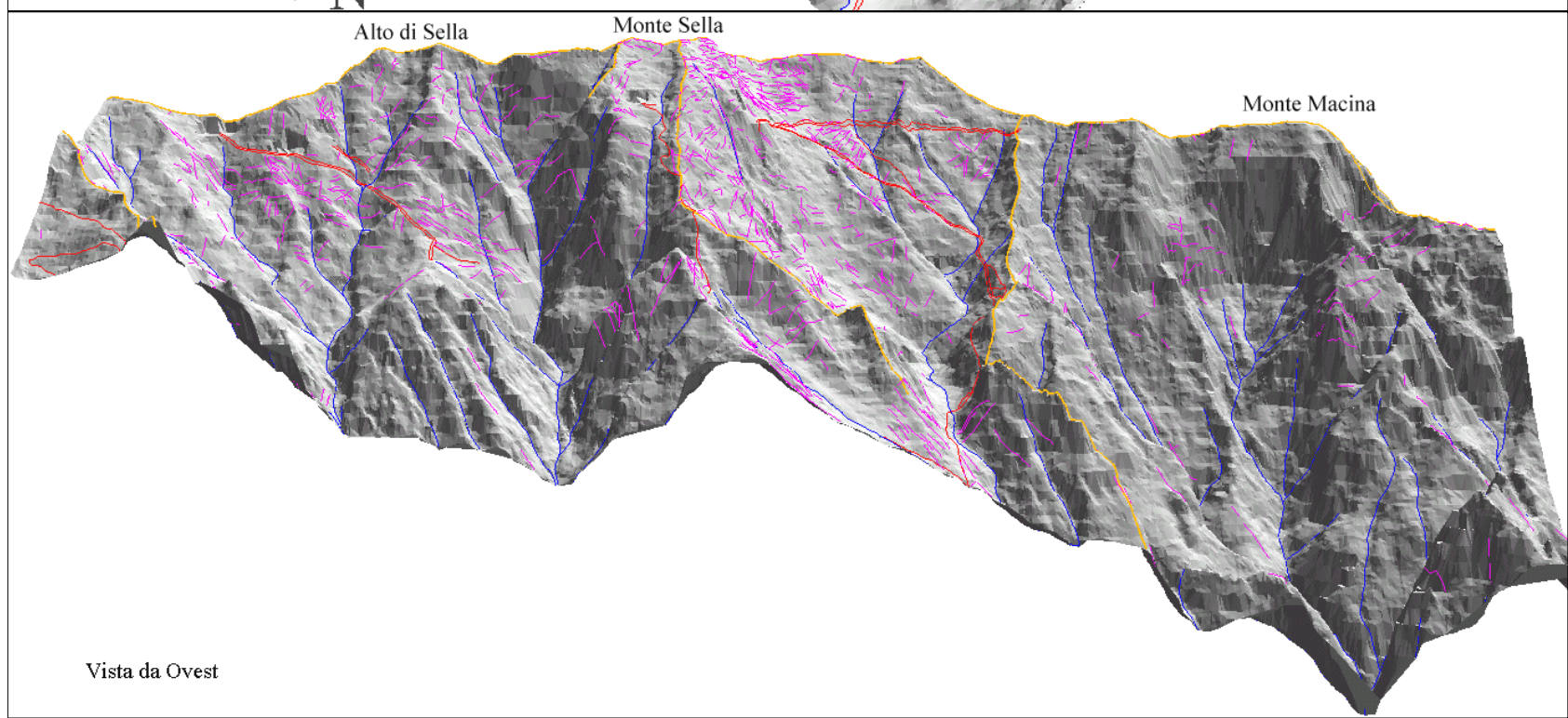
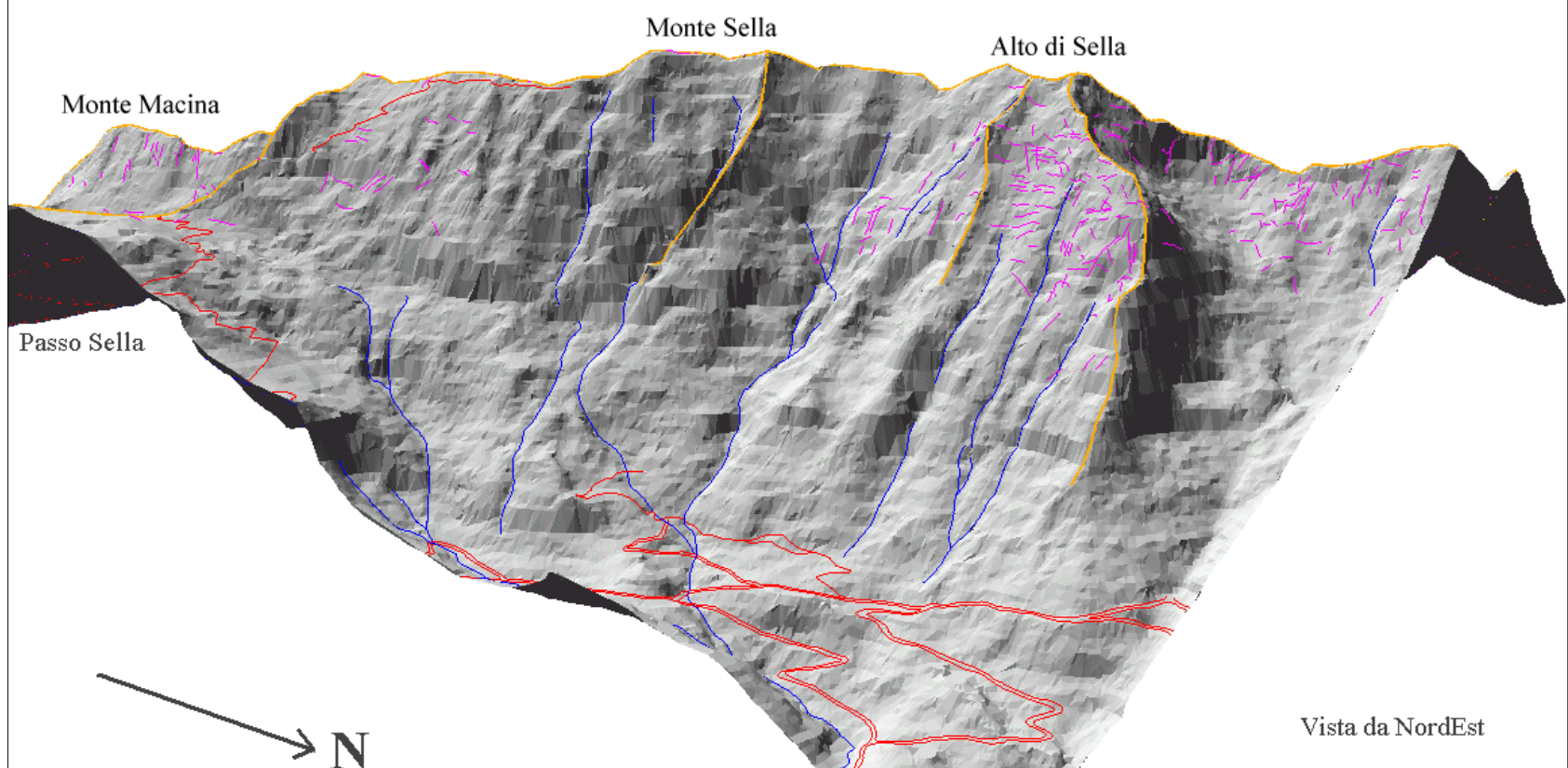
## Analisi delle direzioni:

- ◆ Le **direzioni** dei segmenti **non** sono **orientate** (non hanno un verso) e **non corrispondono a quelle dei piani di cui sono la traccia**
- ◆ Diagrammi *a rosa dei venti* per **18 classi azimutali di 10°** da 0° a 179°
- ◆ **Arancio** le **lineazioni da ortofoto**: a sinistra distribuzioni di frequenza a destra distribuzioni di lunghezza tot.
- ◆ **Blu** lineamenti e linee del reticolo
- ◆ **Azzurro** linee di aste del reticolo idrografico per ordine gerarchico
- ◆ Le **direzioni medie** (freccie nere) sono tutte in una banda di azimut da **N 73°** a **N 82°**
- ◆ I **minimi** cadono tutti nella stessa classe azimutale **N 160° - N 169°**
- ◆ Questi dati confermano il **forte controllo della morfologia da parte delle strutture planari (fratture)** e il **valore statistico dell'analisi**



Vista prospettica inclinata da **SE**



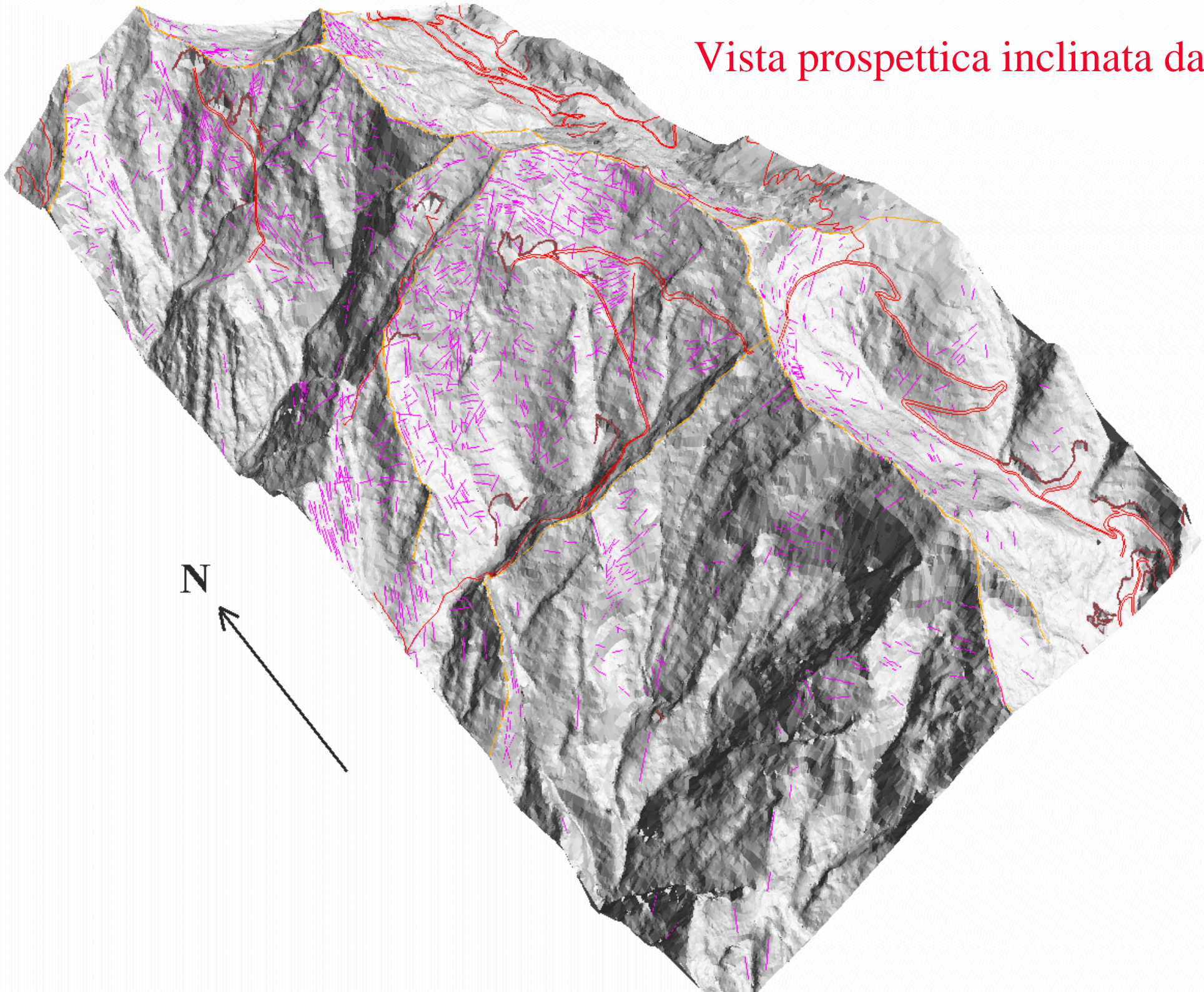


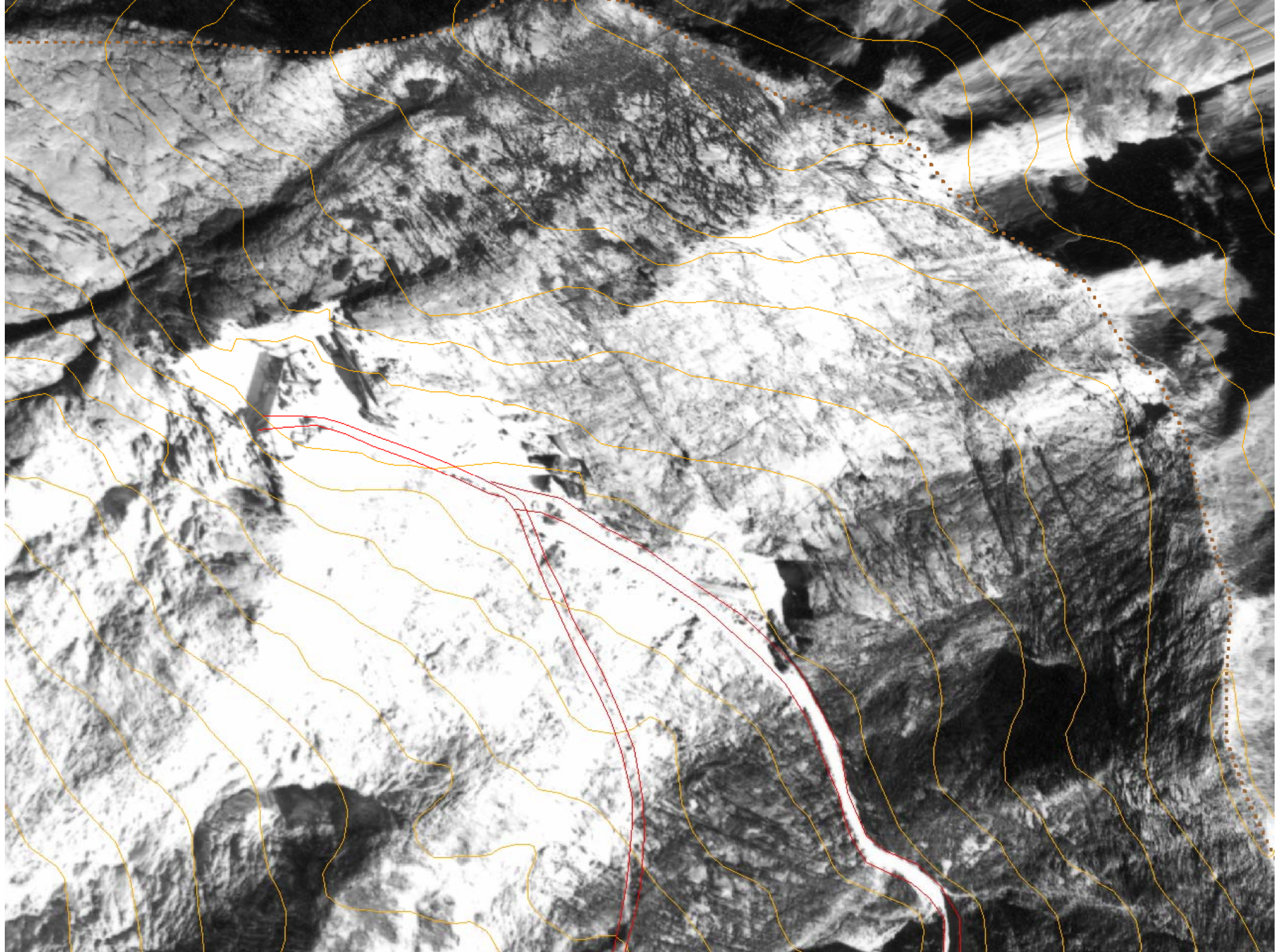
Viste  
prospettiche  
laterali:

da NE

Da Ovest

Vista prospettica inclinata da SO







Attributes of Spotpiastra13d.shp

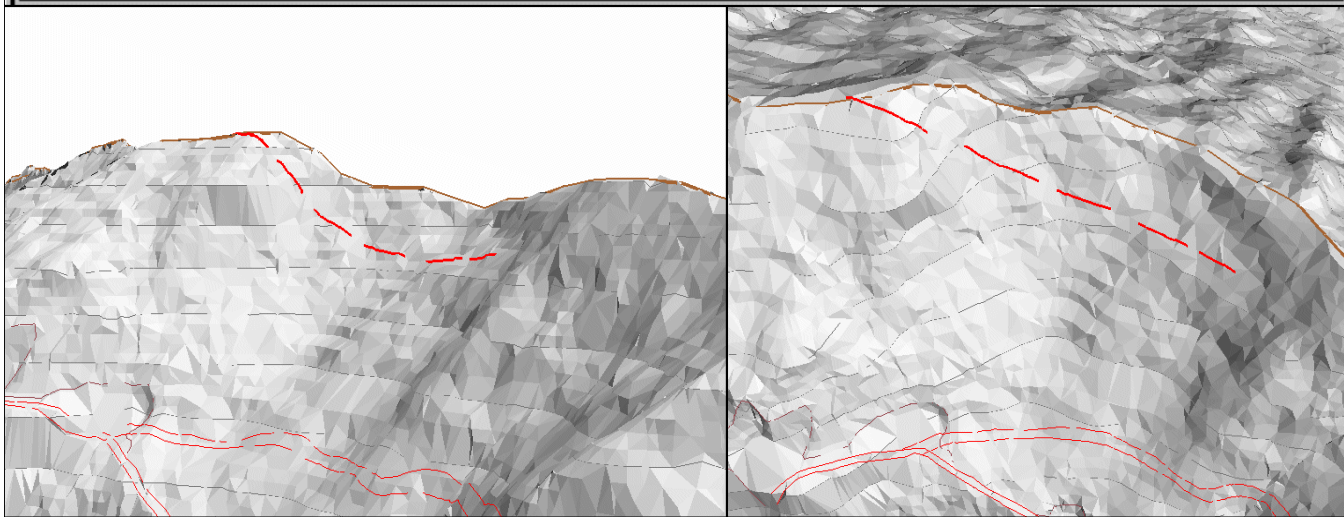
Shape	Id	X long	Y lat	Z quota
PointZ	3	1599361.50	4882519.98	1692.48
PointZ	7	1599420.02	4882429.53	1654.32
PointZ	10	1599442.82	4882371.52	1661.25
PointZ	1	1599325.78	4882559.24	1733.10

GeoTrig

Map Thickness (from dist.)      Height      Drilled-Thickness  
 Vertical Exaggeration      True Dip      Map Thickness (from xyz)  
 Apparent Dip      **3-Point Problem**

Point#	Easting(x)	Northing(y)	Elevation(z)	Strike:
#1:	1599361.50	4882519.98	1692.4800	335.82
#2:	1599420.02	4882429.53	1654.3200	Dip Angle: 66.8322
#3:	1599442.82	4882371.52	1661.2500	Dip Direction: 65.82

This program calculates the strike and dip of a plane given three points along the plane.  
 Note: All points must be in the same units. For example, this program will not produce a correct answer if the easting and northings are in UTM's while the elevations are in feet.

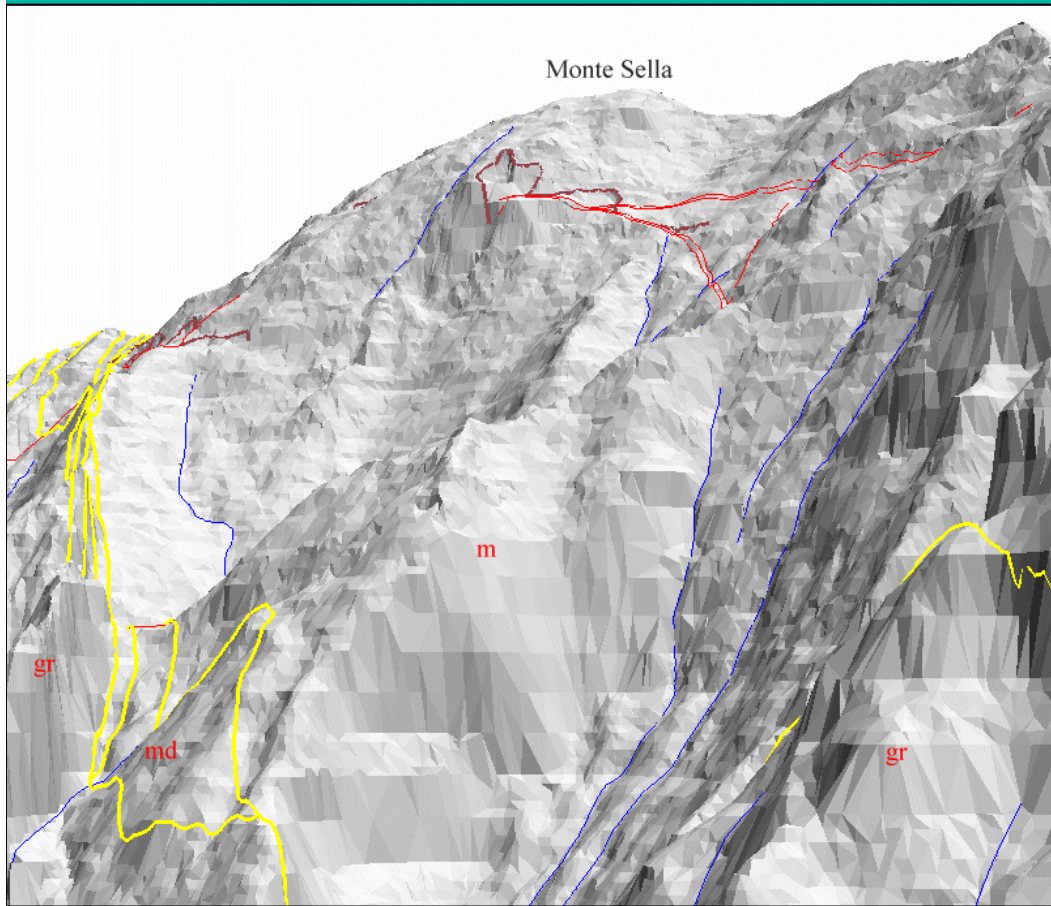


# Analisi delle giaciture:

- ◆ **10 Lineazioni** in almeno **tre allineamenti paralleli** a monte delle cave di Piastreta in prossimità della cima del Monte Sella
- ◆ Risolvendo la giacitura del più lungo allineamento **con tre punti (x,y,z)** si ottiene un piano **diretto N 156°, immergente verso Est** con **inclinazione di 67°**
- ◆ Viste prospettive dell'allineamento confermano la **giacitura a reggipoggio molto inclinata**

# Analisi con viste prospettiche

- ◆ Come testimonia la vista prospettica a sinistra, si possono creare a video interattivamente **viste prospettiche** del DTM con qualsiasi strato informativo *virtualmente da qualsiasi punto di vista*
- ◆ Le **possibilità di questo tipo di analisi sono ancora in gran parte da scoprire e sperimentare** data la recente disponibilità di queste funzionalità nei GIS, e destinate a un ulteriore sviluppo con il costante progresso tecnologico



# Conclusioni

- ◆ Al contrario della foto aerea (prospettiva centrale) **l'ortofoto è un documento metrico in proiezione verticale e a scala costante**. Questo permette una **precisione molto maggiore del riporto a occhio da normale osservazione su stereoscopi ottici**
- ◆ Per **contenere gli errori di posizione dei pixel** (in questo lavoro stimati da 5 a 10 m.) è necessario raccogliere una **buona semina di punti di controllo** (quantità e distribuzione), un **DTM molto dettagliato** (da topografia a grande scala) e **foto ben documentate** (parametri di ripresa) a grande scala.
- ◆ **La produzione di ortofoto digitali e la successiva restituzione di elementi di interesse geologico è una valida alternativa alla stereorestituzione**
- ◆ La possibilità di **integrare ortofoto georeferenziate in una base di dati numerici** aggiunge inoltre un contenuto informativo che **permette infinite analisi successive** quantitative e qualitative utili a molte discipline della geologia moderna
- ◆ Particolare attenzione merita **l'uso combinato di modelli digitali del terreno con immagini telerilevate**, non solo allo scopo di produrre ortofoto, come abbiamo visto in questo lavoro, ma anche di analisi visive in 3D

# Analisi dei contatti:

- ◆ Dalle tessiture e dal **contrasto fotografici** si possono in alcuni punti **individuare i contatti tra le formazioni affioranti** (da parte di chi ha eseguito rilevamento di campagna)
- ◆ Dato l'errore minore di georeferenziazione dell'ortofoto rispetto a quello dei contatti della carta litologica in scala 1:25.000 e in diversa proiezione, si potrebbero **registrare tali contatti su base topografica a scala maggiore (1:10.000)**

