



**PROGRAMMA DI COOPERAZIONE INTERREG V-A ITALIA SVIZZERA
PROGETTO RESERVAQUA METEOLAB - XIII Edizione**

**CARTOGRAFIA 3D DELLA CATENA ALPINA SOTTO
FORMA DI MODELLO
3D DEL TERRITORIO**

Davide Bertolo

Attività geologiche

Regione Autonoma Valle d'Aosta



Sabato 12 novembre 2022 | Forte di Bard, Valle d'Aosta

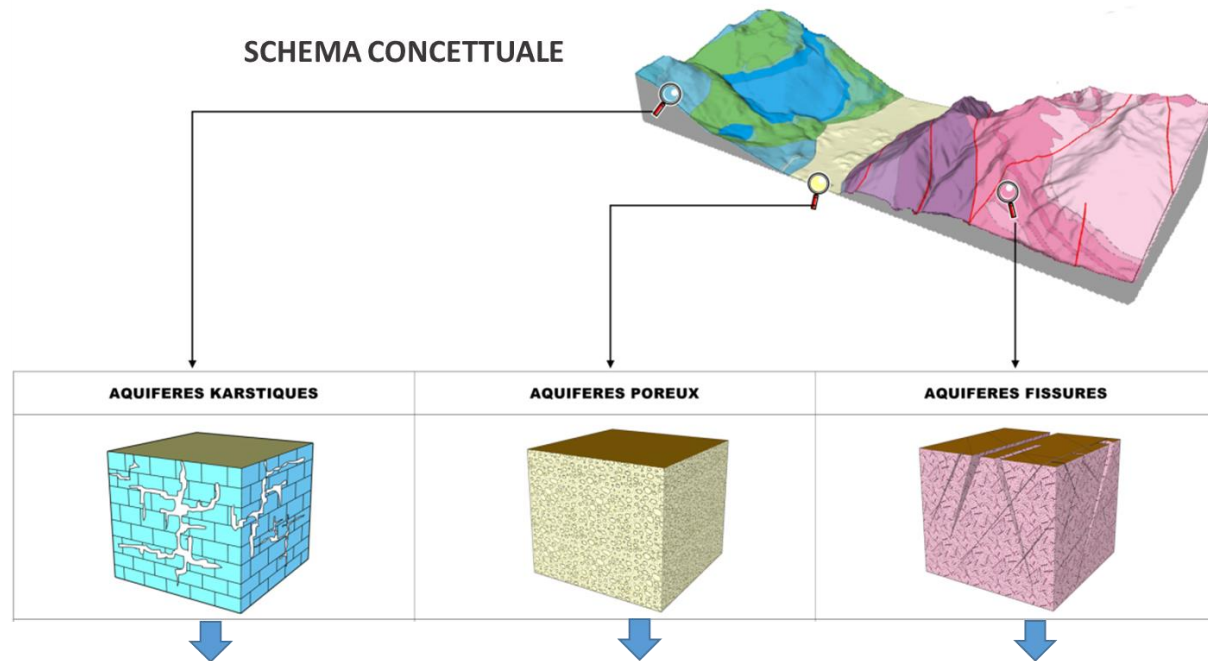


**PROGRAMMA DI COOPERAZIONE INTERREG V-A ITALIA SVIZZERA
 PROGETTO RESERVAQUA METEOLAB - XIII Edizione
 I RESERVOIRS ALPINI**

GHIACCIAI/NEVAI: Stoccaggio acqua pulita e rilascio graduale in stagione estiva/autunnale

MASSICCI CRISTALLINI: alimentati da precipitazioni liquide/solide: ruolo?

SCHEMA CONCETTUALE

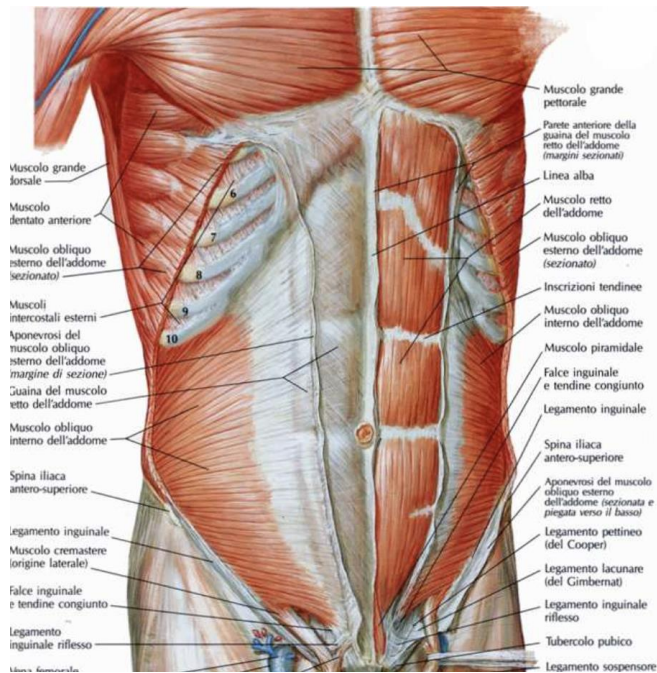


- Acquiferi carsici s.s. (calcari);
- Acquiferi pseudocarsici (DGPV, Zone di taglio, ecc.).
- Fondovalle alpini;
- Conoidi.
- Massicci cristallini

Sabato 12 novembre 2022 | Forte di Bard, Valle d'Aosta

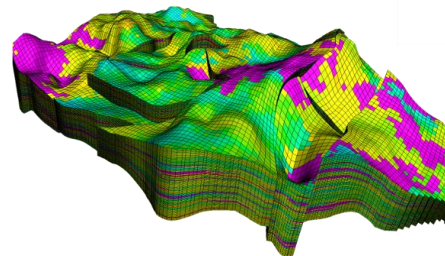
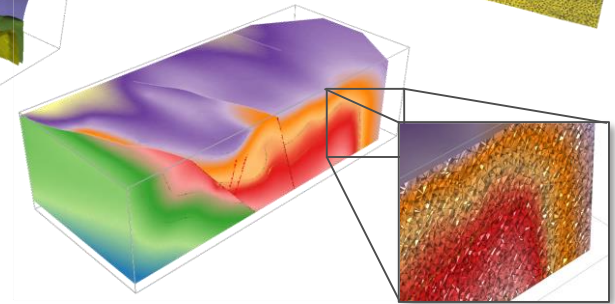
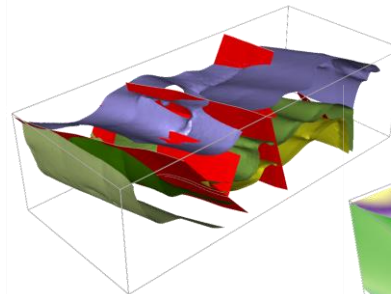
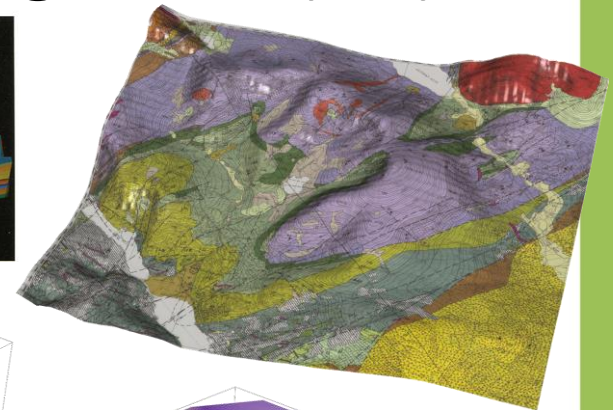
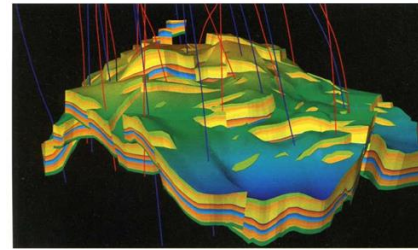


PERCHE' UN MODELLO GEOLOGICO 3D ?



Obiettivi di un modello geologico 3D (4D)

- **Mallet (2002)**: “Geomodeling consists of the set of all the mathematical methods allowing to model in an **unified** way the **topology**, the **geometry** and the **physical properties** of geological objects while taking into account **any type of data** related to these objects”.
- Questo costa **fatica, tempo, risorse economiche** → quale è la motivazione? → Un modello finalizzato ad uno o più obiettivi (Wellmann & Caumon, 2018).
- Obiettivi **applicativi**: idrocarburi, georisorse, **idrogeologia**, geotermia, sismotettonica, ingegneria/infrastrutture, CCS, P2G, ecc.
- Obiettivo comune/fondamentale: **ricostruire e validare** l’architettura e l’evoluzione geologica, stratigrafica, strutturale e tettonica. La modellazione 3D **evidenzia i problemi** che il geologo (interprete esperto) risolve, **validando** il modello geologico.





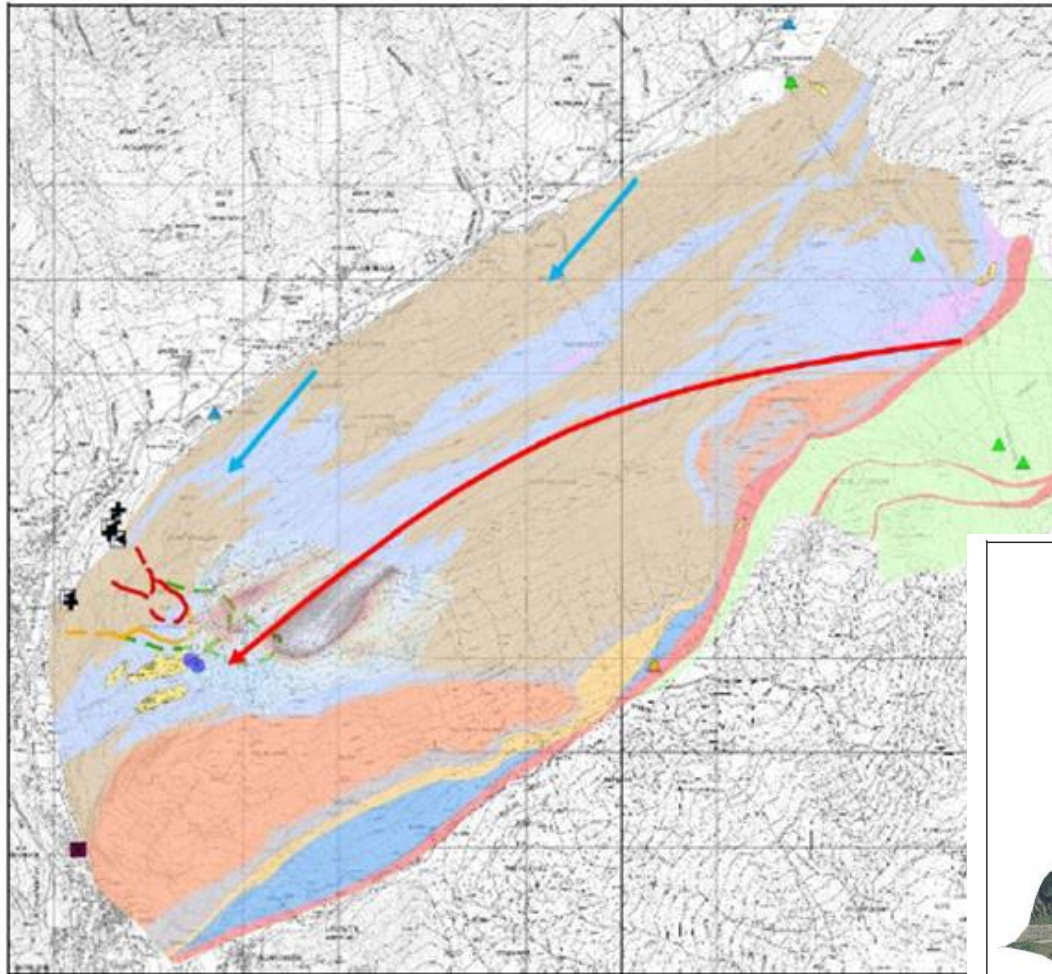


FIGURA 18 - IPOTESI SULLE DIREZIONI DI FLUSSO



FIGURA 15 - DISTRIBUZIONE DEI VALORI $\Delta^{18}\text{O}$ NELLE ACQUE DELL'AREA IN ESAME

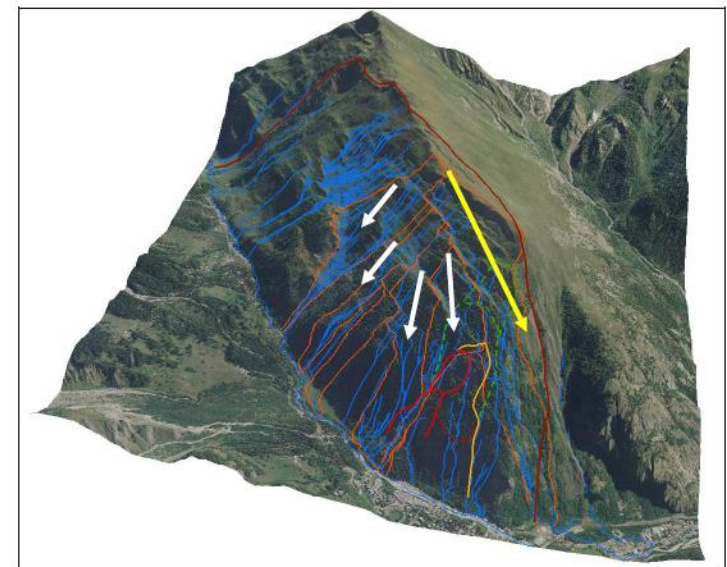


FIGURA 80 - MODELLO DI DEFLUSSO SUPERFICIALE IN ARCSCE



Région Autonome
Valle d'Aosta
 Regione Autonoma
Valle d'Aosta





Fracture Characteristics

Unfavorable

Favorable



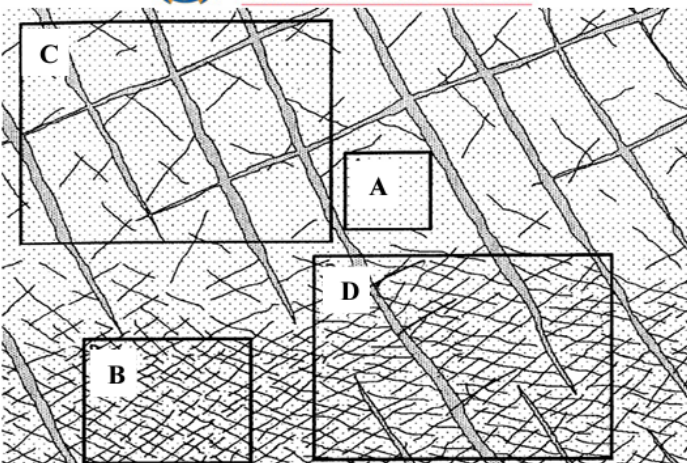
- Size and Depth -



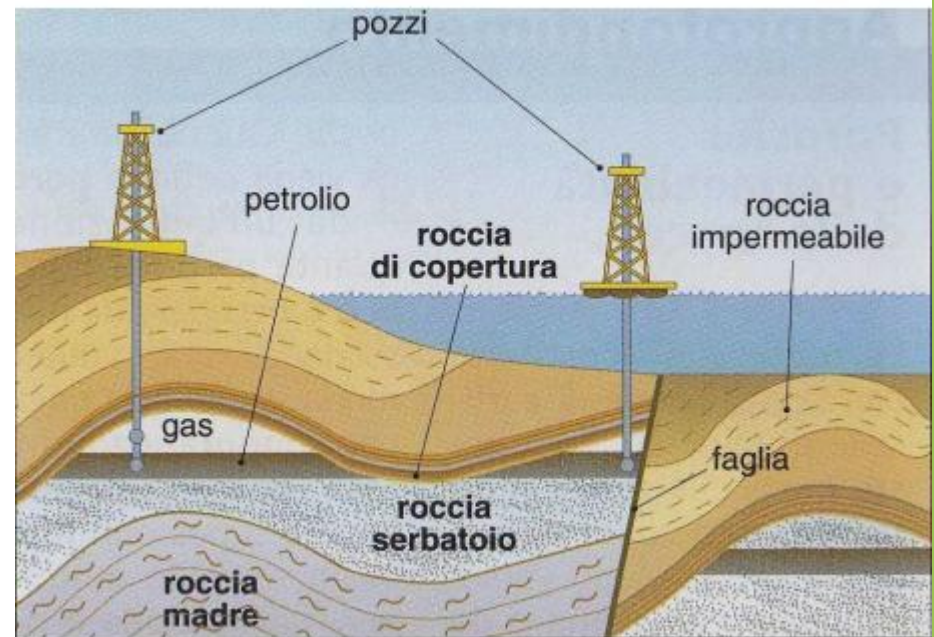
- Spacing -



- Interconnection -

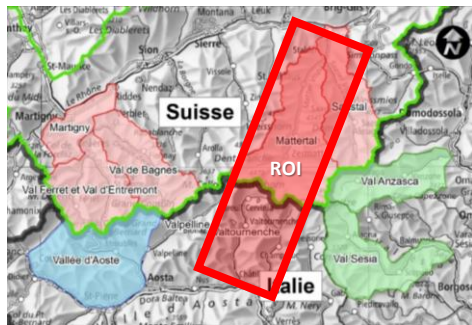


E SE...





MODELLIZZAZIONE DEGLI ACQUIFERI TRANSFRONTALIERI



INPUT DEL MODELLO CONCETTUALE

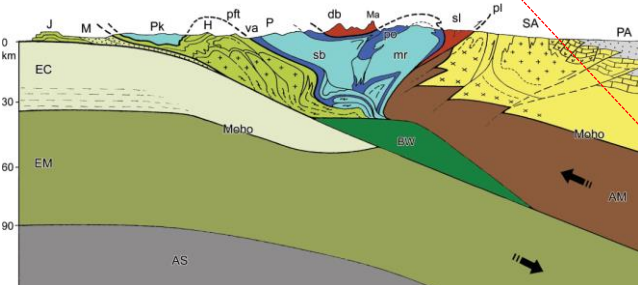
Dimensione indicativa ROI = 70 x 25 x 4 km s.l.m.

Geologia 3D (modello «solido»)

- Unità geologiche semplificate (litologia principale, spessore, variabilità laterale e verticale)
- Geometria 3D: relazioni strutturali attuali (interpretazione 3D più adatta)
- Faglie (documentate – presunte – profondità)
- Tipo di contatti (es. fragili/duttili) con presunte idro-proprietà Processi post orogenici
- Agenti atmosferici, fratturazione, carsificazione, zone di instabilità, ecc...
- Quaternario (distribuzione, spessore, morena a bassa/alta permeabilità)

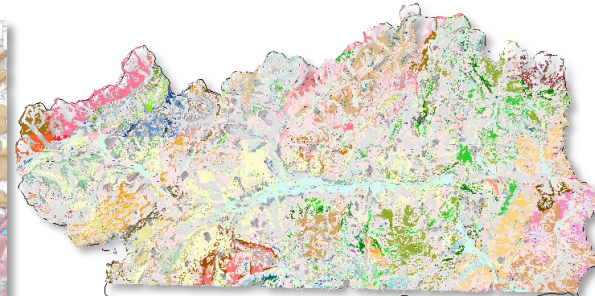
Corpi idrici sotterranei 3D (modello «idro»)

- Principali unità geo-idrologiche assunte, compresi i gradienti idraulici
- Distribuzione degli elementi idrologici (ad es. ghiacciaio, ghiacciaio roccioso, torrente, laghi, zone umide, sorgenti) con ponderazione (ad es. perenne, temporanea, alta/bassa scarica, alto/basso contenuto d'acqua, ecc...)
- Bacini idrografici, deflussi superficiali, assi di drenaggio, condizioni di flusso delle acque sotterranee (ad es. solo quaternario, quaternario + substrato roccioso, solo substrato roccioso)
- Capacità di stoccaggio delle acque sotterranee (WSC) e capacità di trasporto delle acque sotterranee (WTC) di ciascuna unità geoidrologica (ad esempio solo trasporto, solo stoccaggio, trasporto + stoccaggio)
- Volumi derivati di risorse idriche disponibili e nascoste

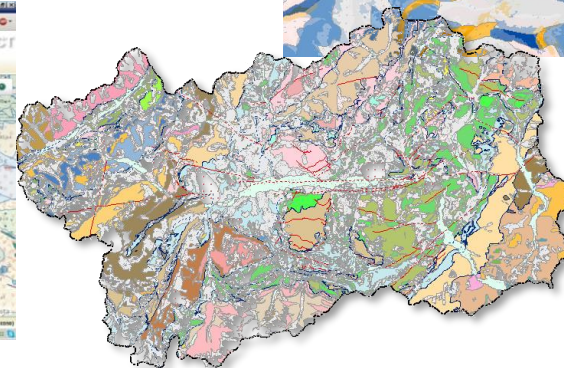
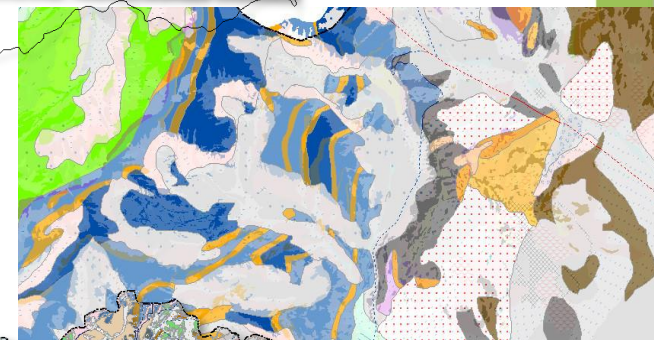




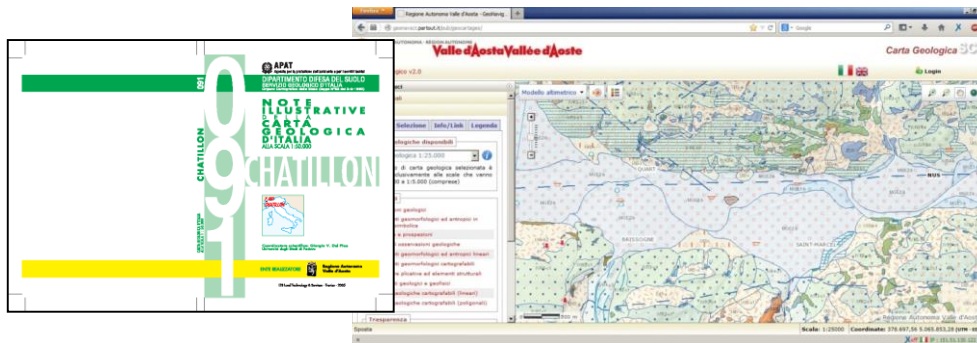
Si parte dal 2D...valorizzazione dei dati esistenti



1:10.000



1:100.000



VDA: LA REGIONE CON LA PIU' ESTESA CARTOGRAFIA GEOLOGICA A 1:10.000 (90%)

Modello concettuale → prima la LEGENDA!

Dominio tettonico

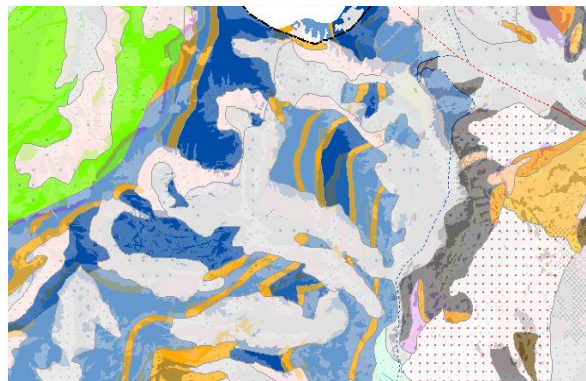
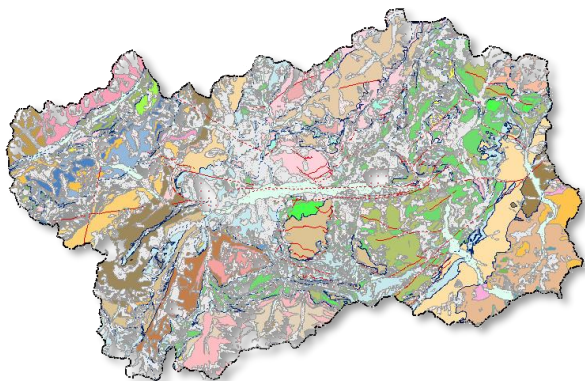
Falda, unità tettono-metam.

«Litologie omogenee»

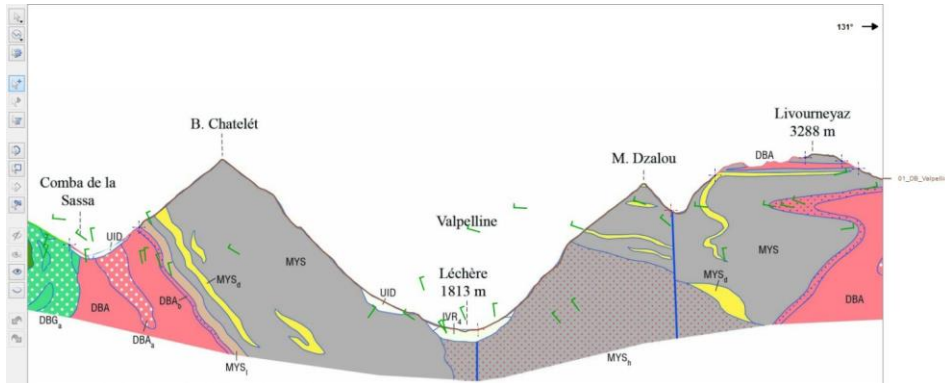
Unità litologica cartografata

VDA 0	Cod. V1	VDA 1	Lab. V1	
S	100000	A	AUSTROALPINO (A - 100000)	Sistema tettonico situat. estensionali, costituito d metamorfismo di subduz
S	200000	O	ZONA PIEMONTESE (O - 200000)	Unità derivate dalla chius. verdi (Combin, Ouilletta e distale europeo o allocto eocenica (49-45 Ma).
S	300000	P	PENNIDICO (P - 300000)	Comprende unità di basa distale passivo europeo i inferiore, riferibile ai baci 2004; Bonetto et al., 201
S	400000	E	ELVETICO S.L. (E - 400000)	La Zona Elvetica s.l. (EK cristallino permiano e lin successioni giurassiche del plutone, con lembi ps cristallino e la sua retrof

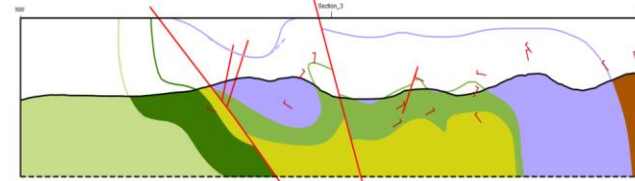
VDA 0	Cod. V1	VDA 1	Cod. V2	VDA 2	Lab. V2	
S	100000	A	110000	A1	Lembi austroalpini superiori, non eclogitici: Dent Blanche, Mont Mary-Cervino, Pillonet (A1 - 110000)	Affiora a nord della Dora e in Vallese. Compren basamento monocicliche (permiane) e policicliche facies scisti blu (relitti) di età eolpina e in facci (Combin) con analogia impronta in facies scisti Piazz. 1999; Manzotti et al., 2014; Foglio Monte
S	100000	A	120000	A2	Lembi austroalpini inferiori con metamorfismo eclogitico di età eocenica (A2 - 120000)	Unità di basamento prive di coperture mesozoic eocenica (49-44 Ma) e sovrainpronta in facies i Zona Piemontese tra le unità ofiolitiche del Cont (Etrol-Levaz, Crebouchette, Chatillon-Saint Vin oligocena Aosta-Ranzola (Monte Emilius. Già da alloctoni estensionali riferibili al settore dista Dal Piazz, 1999; Dal Piazz et al., 2001; Beltrandi Cervino, 2015).
S	100000	A	130000	A3	Zona Sesia-Lanzo (A3 - 130000)	Elemento interno del Sistema tettonico austroa kinzigitica, in posizione sommitale, dal Comple Micascisti eclogitici, all'interno, e da limitate int mesozoica (Unità di Scalaro). Ove presenti, le tettonometamorfica dei Micascisti eclogitici in i casi, specie in presenza di granitoidi, i rapporti



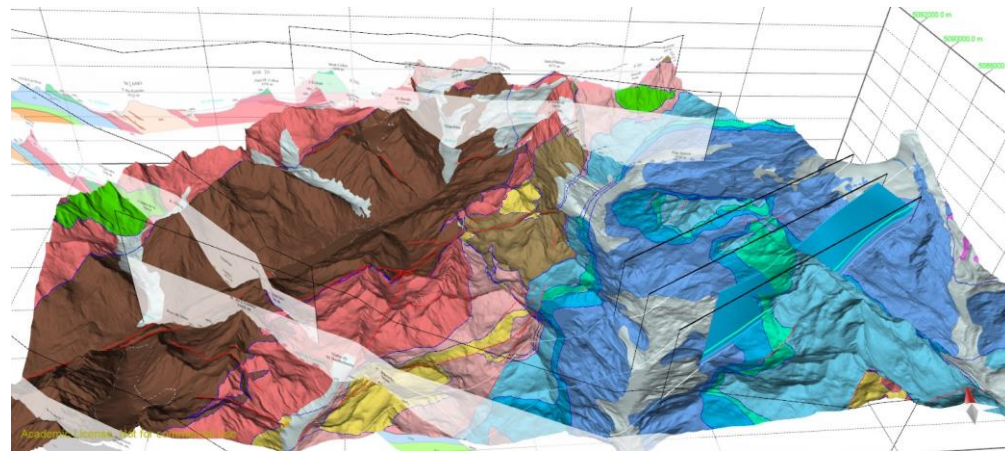
DATASET GEOLOGICO 2D > 3D



Migrazione del
dataset geologico
 2D a quello 3D



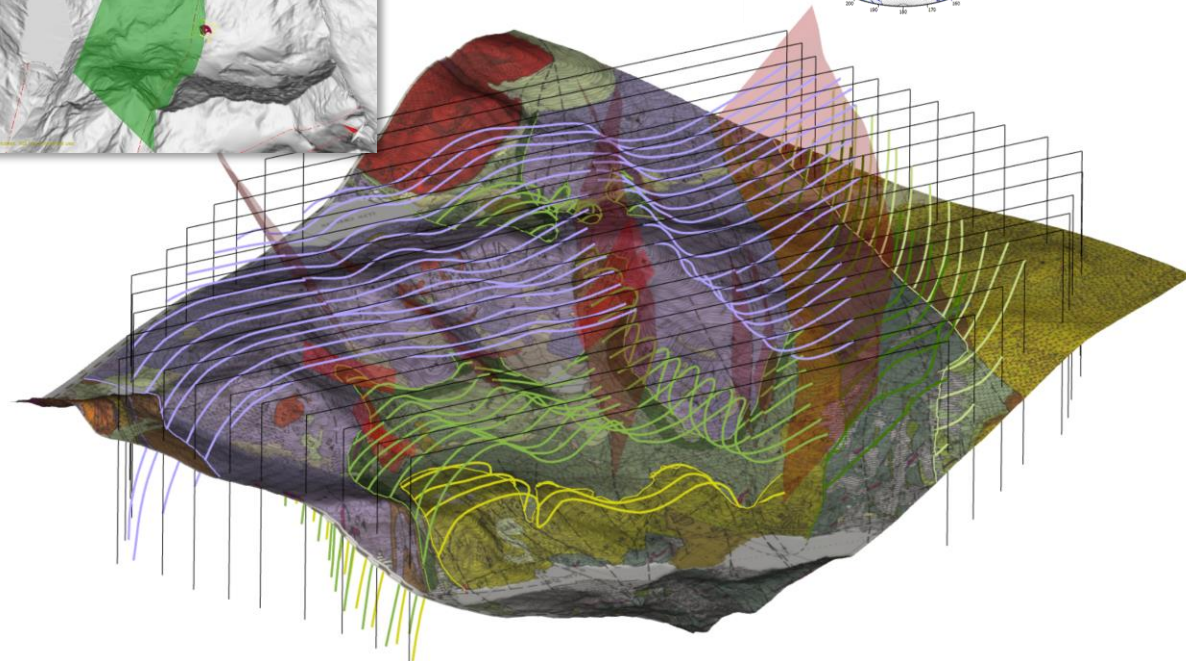
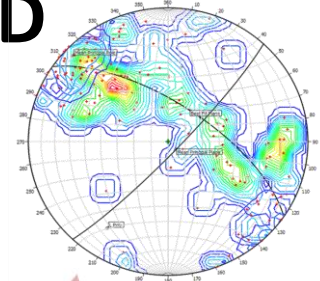
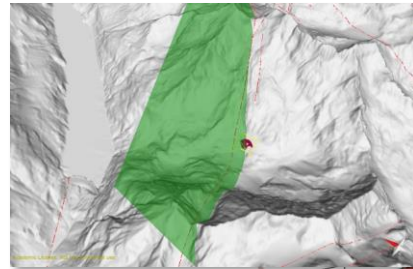
Integrazione di
 tutti gli elementi
 disponibili (carta
 geologica, profili,
 sondaggi,
 informazioni
 puntali, ecc)





Modello concettuale/esplorativo 2.5D

- Approccio esplorativo classico con **mappa 3D** e **profili seriati**, fondamentale per razionalizzare e indirizzare il modello concettuale, e organizzare ed esplorare i dati.
- Stratigrafia.
- Statistica di orientazione.
- Visualizzazione 3D carta & DEM.
- Interpretazione di strutture subplanari (faglie, contatti, ecc., entro aree/volumi definiti).
- Intersezioni, cinematica, cronologia relativa.
- (Retrodeformazione se utile e possibile).
- Iniziamo ad escludere modelli impossibili!
- **MOVE**[®], Skua/Gocad[®], Petrel[®], Leapfrog[®], ecc.





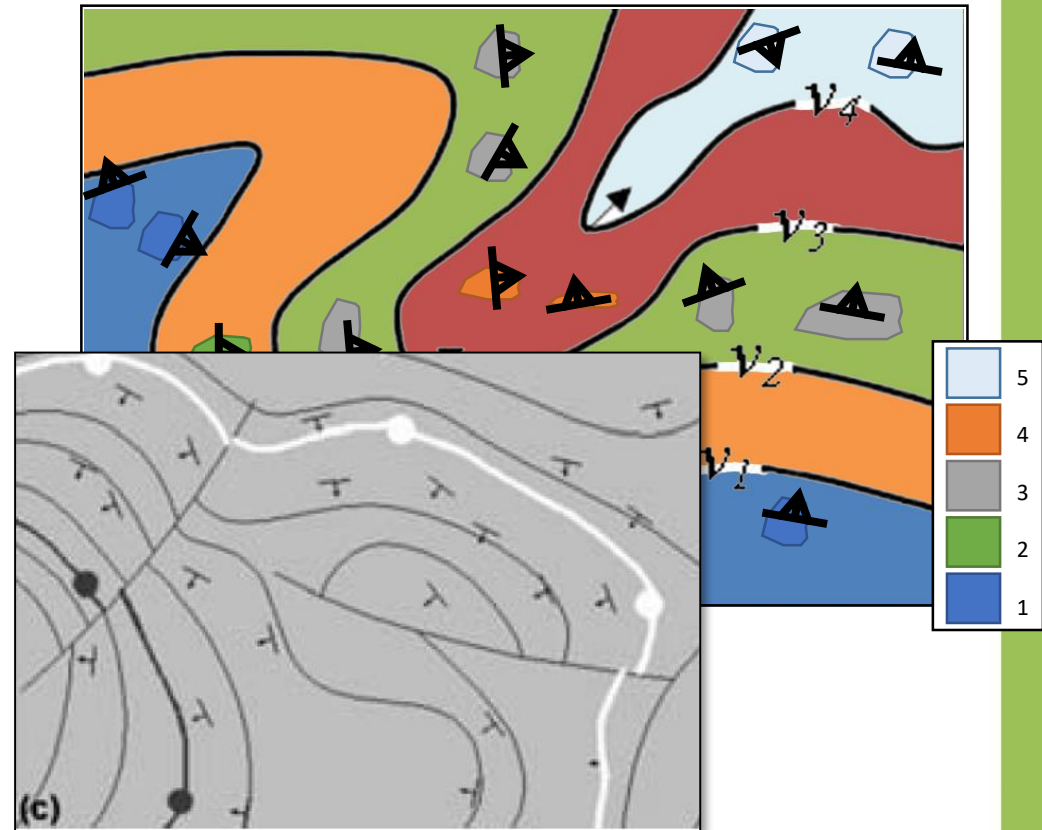
Modello geologico 3D: interpolazione a superfici implicite

- **Campo stratigrafico** S_0 visto come **campo scalare potenziale** (continuo a tratti e derivabile; Lajaunie et al., 1997)
- Vincoli: **limiti osservati (scalare)** e **dati strutturali** anche intraformazionali (**gradiente**).
- Limiti stratigrafici estratti **a posteriori** → superfici **implicite** equipotenziali.
- Soddisfa automaticamente le leggi fondamentali della stratigrafia (Stenone, 1669; Hutton, 1795; Lyell, 1830).
- Può soddisfare diverse leggi/regole strutturali.

$$\frac{\nabla S_0}{|S_0|} \cdot \text{normal} = 1$$

$$\nabla S_0 \cdot \text{strike} = 0 \quad \nabla S_0 \cdot \text{dip} = 0$$

$$\nabla S_0 \cdot \overrightarrow{\text{axis}} = 0$$

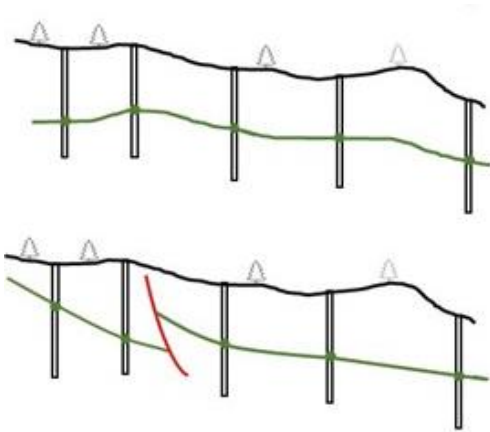




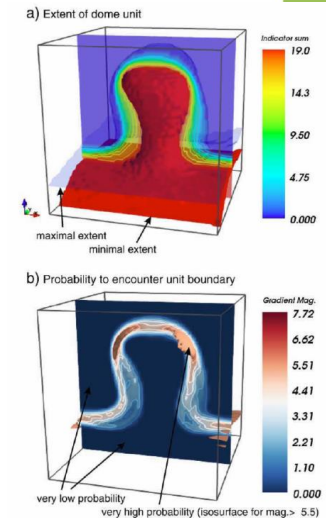
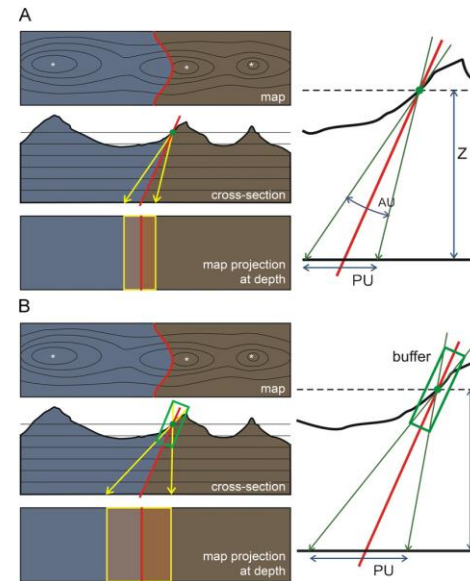
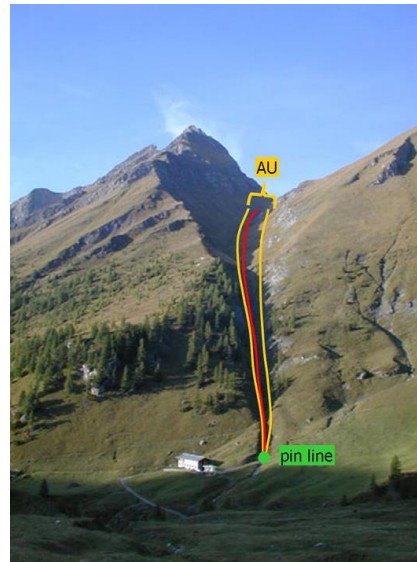
Attività di terreno per risolvere le incertezze

Sono **MODELLI** 3D, per quanto supportati da dati, validati, ecc. → **incertezza intrinseca!**

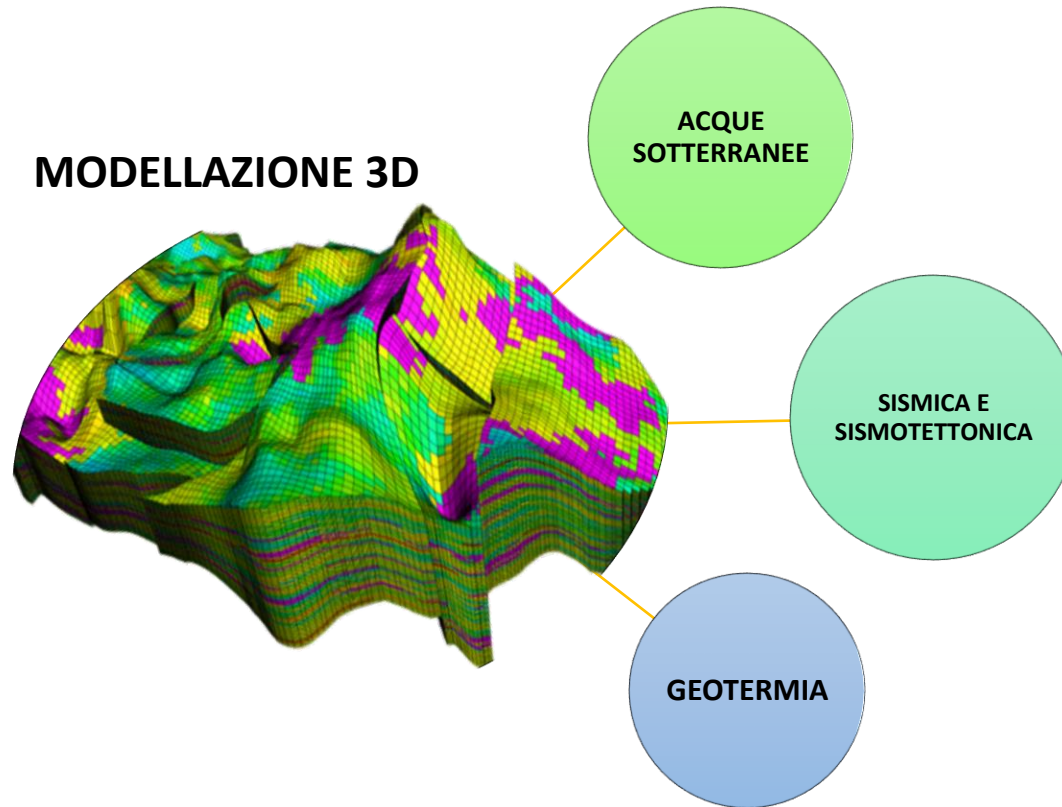
- Incertezza di 1° ordine → si possono considerare **scenari alternativi**.

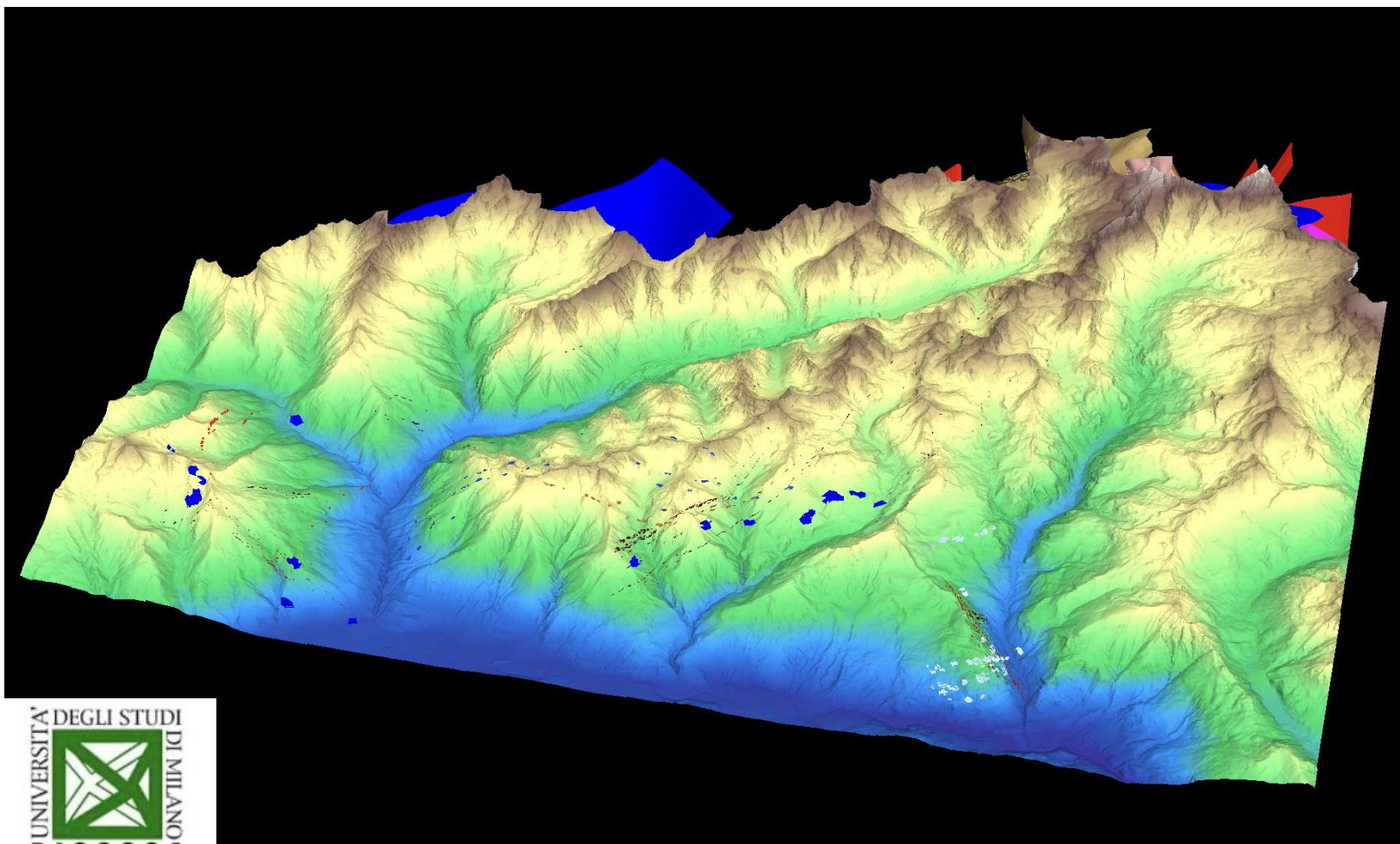


- Incertezza di 2° ordine → perturbazione delle geometrie.

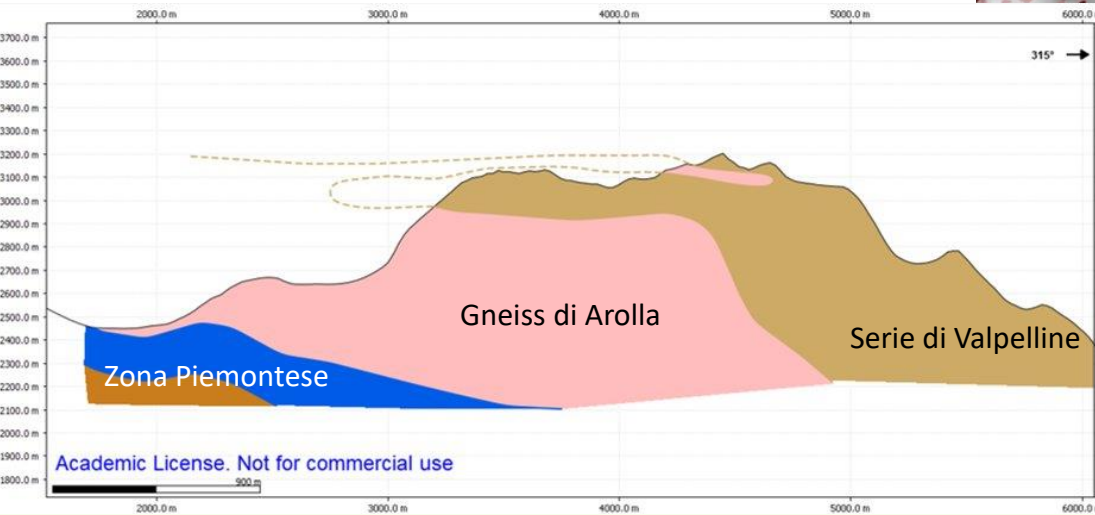
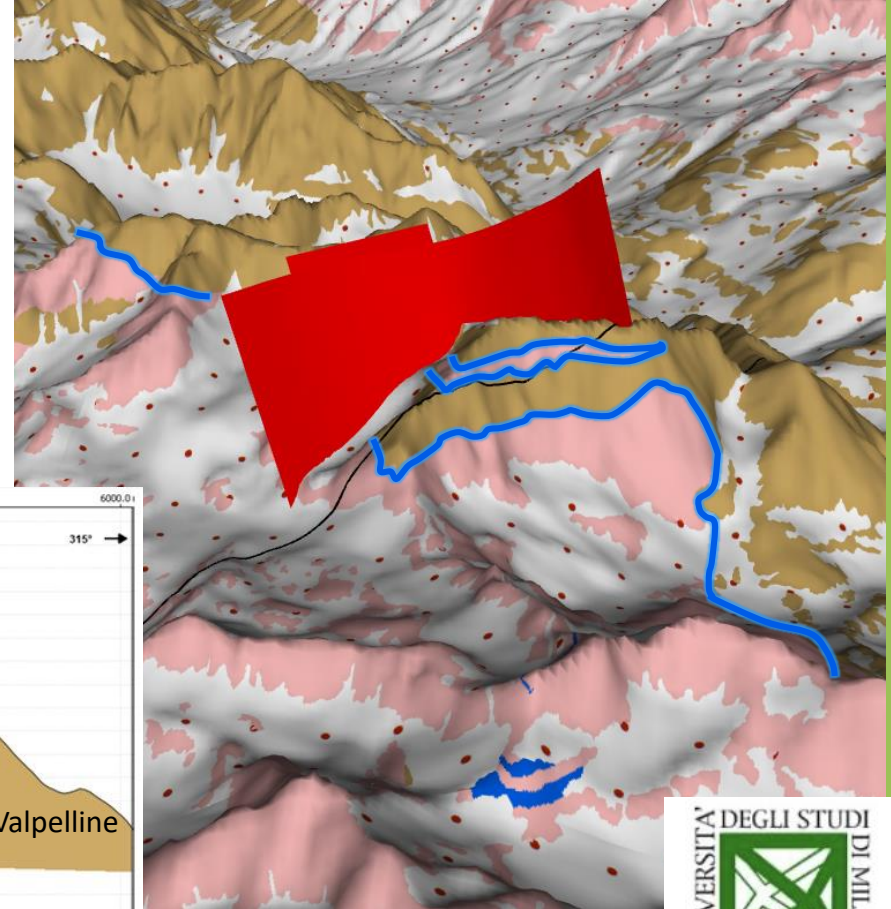
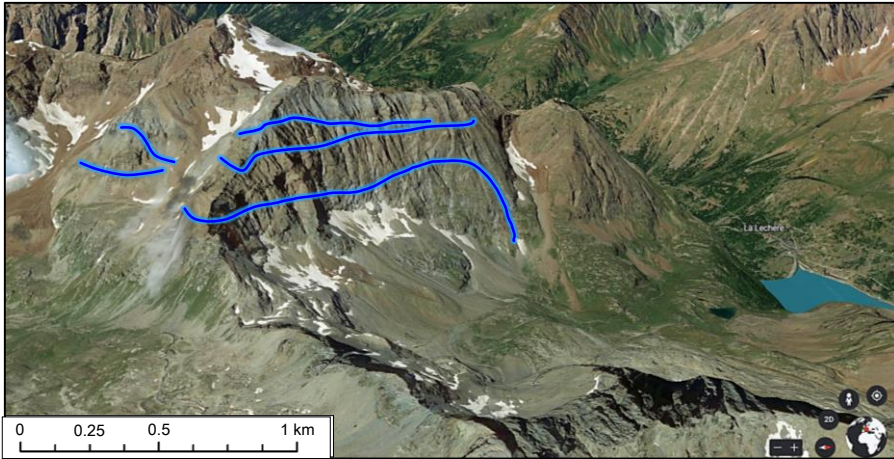


GEOLOGIA 3D - RICADUTA IN ATTIVITÀ CORRELATE PIATTAFORMA ABILITANTE





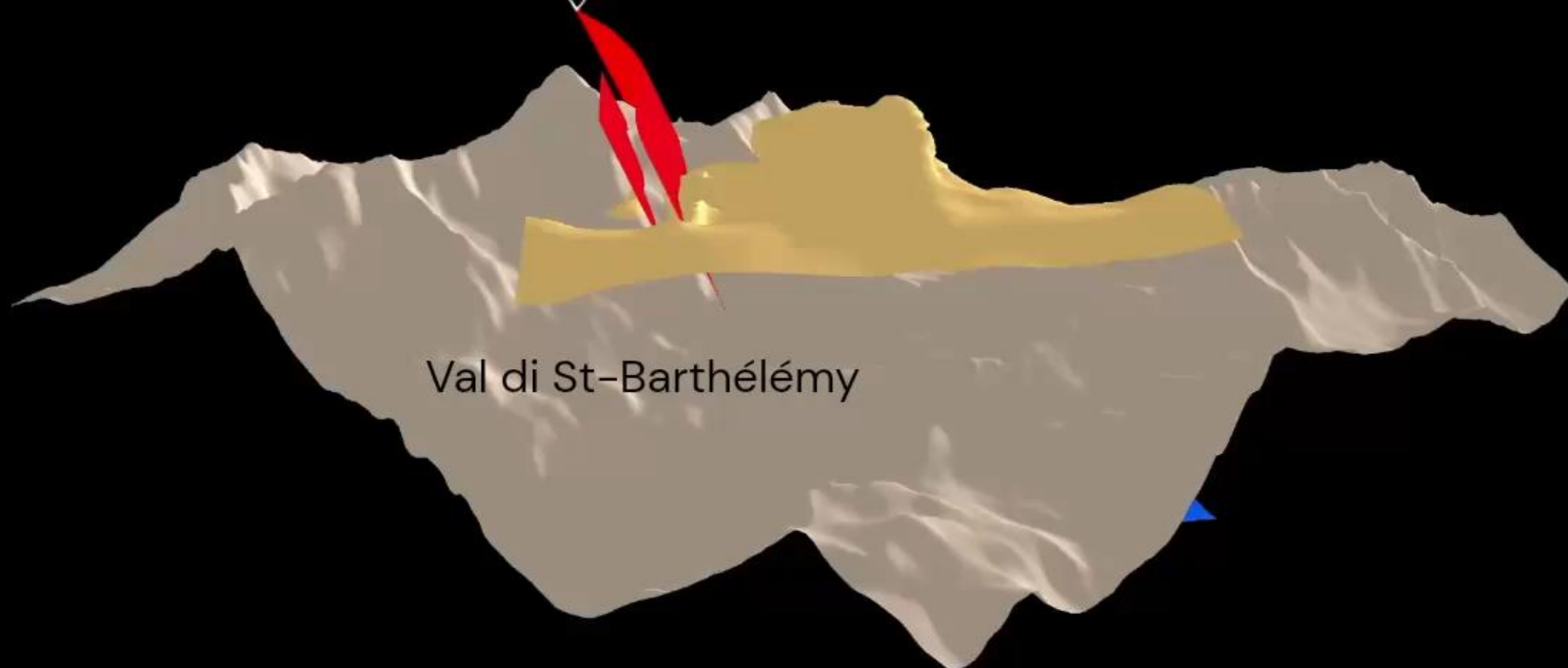
L'esempio della Becca di Lusney (Valpelline)



www.unisib.it/geo3d - 3D geological model built with **PZero**

left click: rotate - mouse wheel/middle click: zoom - right click: pan

Becca di Lusney



Val di St-Barthélémy



Grazie per l'attenzione

Grazie a:



Foto: Cortesia G.V. Dal Piaz