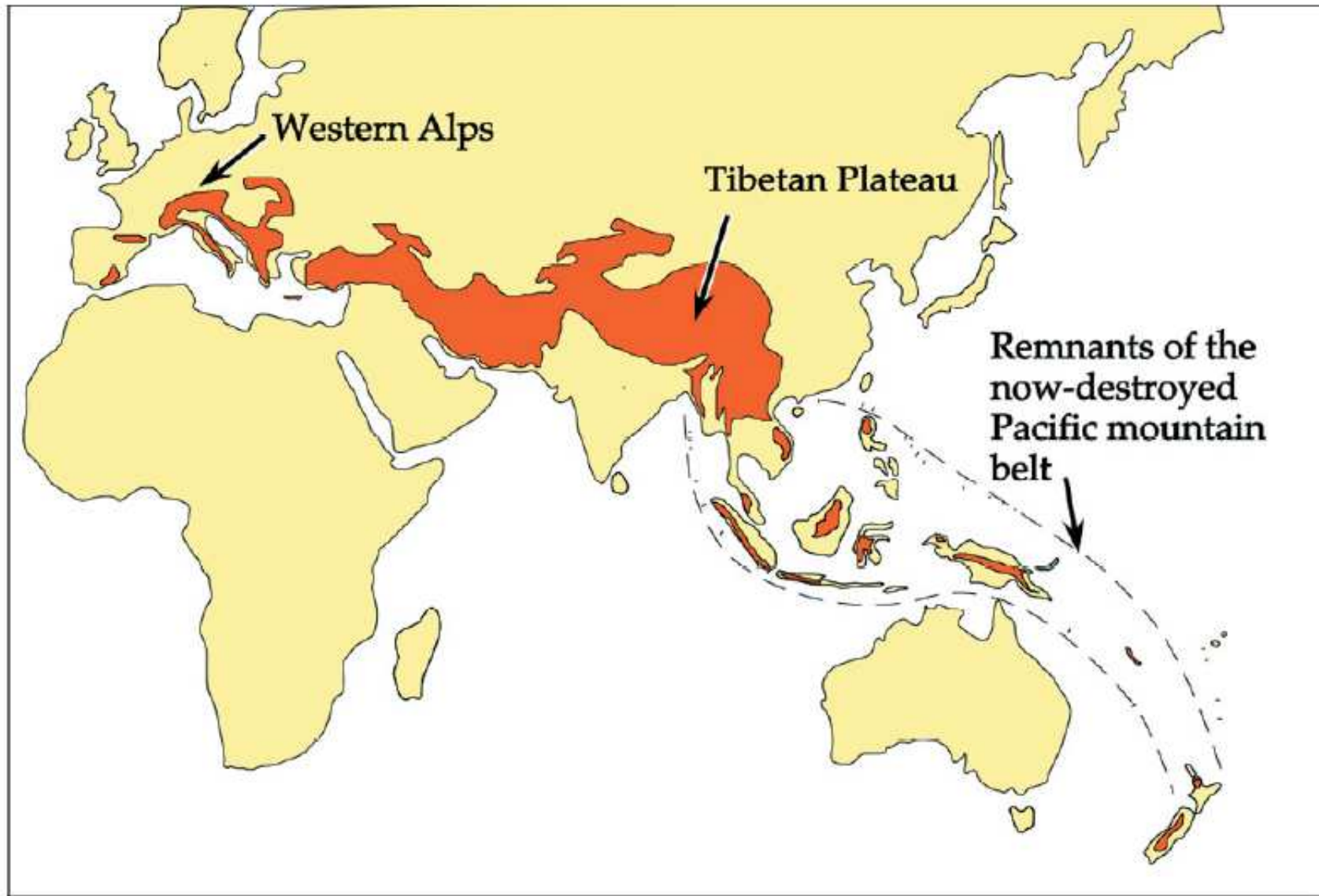


**Alpidy**



**Figure 2.** The Alpine-Himalayan orogen stretches from Spain to New Zealand (after Lister et al., 2001).

# PANCARDI

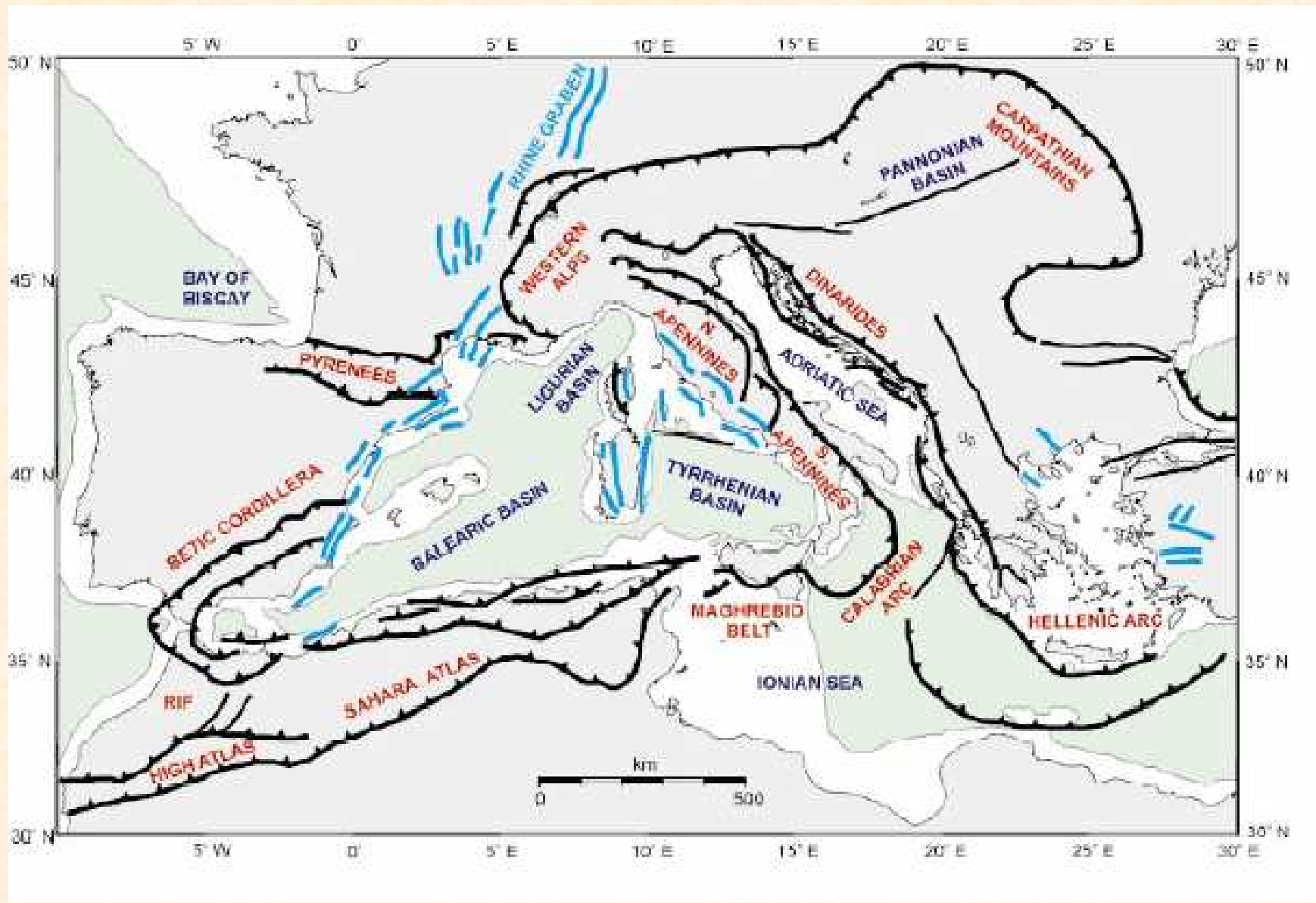


## **V Evropě můžeme rozlišit tři hlavní pásy alpid.**

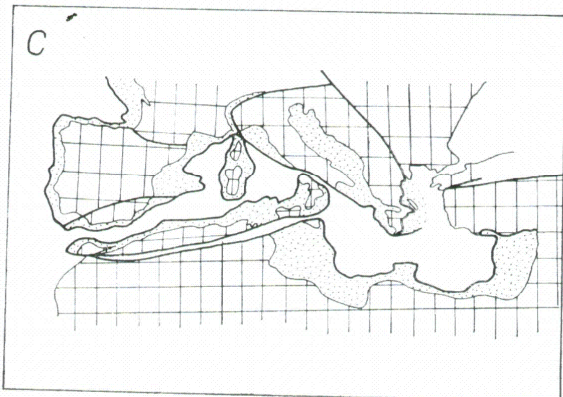
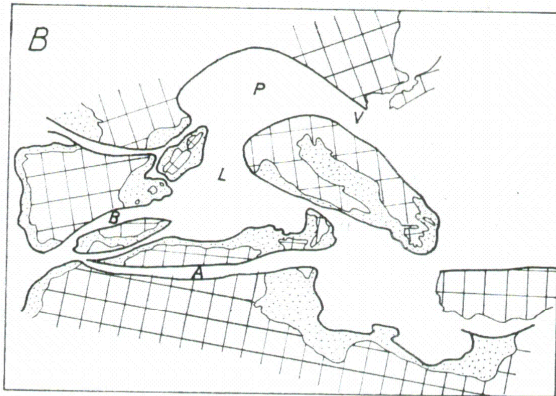
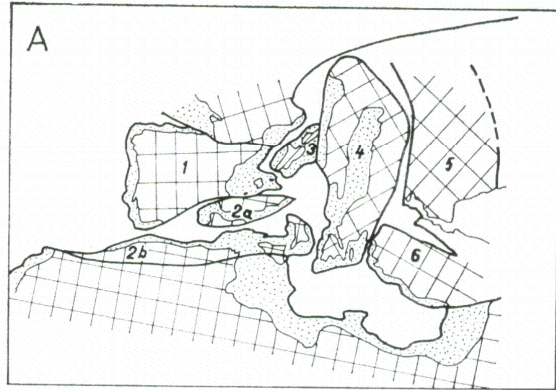
- 1) **Pásmo dinaridy-helenidy-tauridy** se vyznačuje počátkem orogeneze již v juře a orogeneze zde v externích částech probíhá ještě dnes
- 2) **Alpsko-karpatské pásmo** se začátkem orogeneze v křídě a jejím pokračování v paleogenu a neogénu.
- 3) **Mladé pásmo Apeniny-Atlas** (giblaltarský oblouk)-Betidy-Baleáry s orogenezí v paleogénu a neogénu

Kromě toho se k hlavním pásmům dají připojit ještě dvě pásma. Na Karpaty se dá navázat **balkánský oblouk** a na Alpy **SV Korsika**. Zcela samostatný je **pyrenejský bivergentní orogen**.

**Alpinská orogeneze** se neprojevovala jenom na okraji desek ale s menší intenzitou i na **předpolí**. Jako příklad může sloužit **pohoří Jura, vokontský a provensalský řetěz a iberský a katalanský řetěz** na pyrenejském poloostrově.

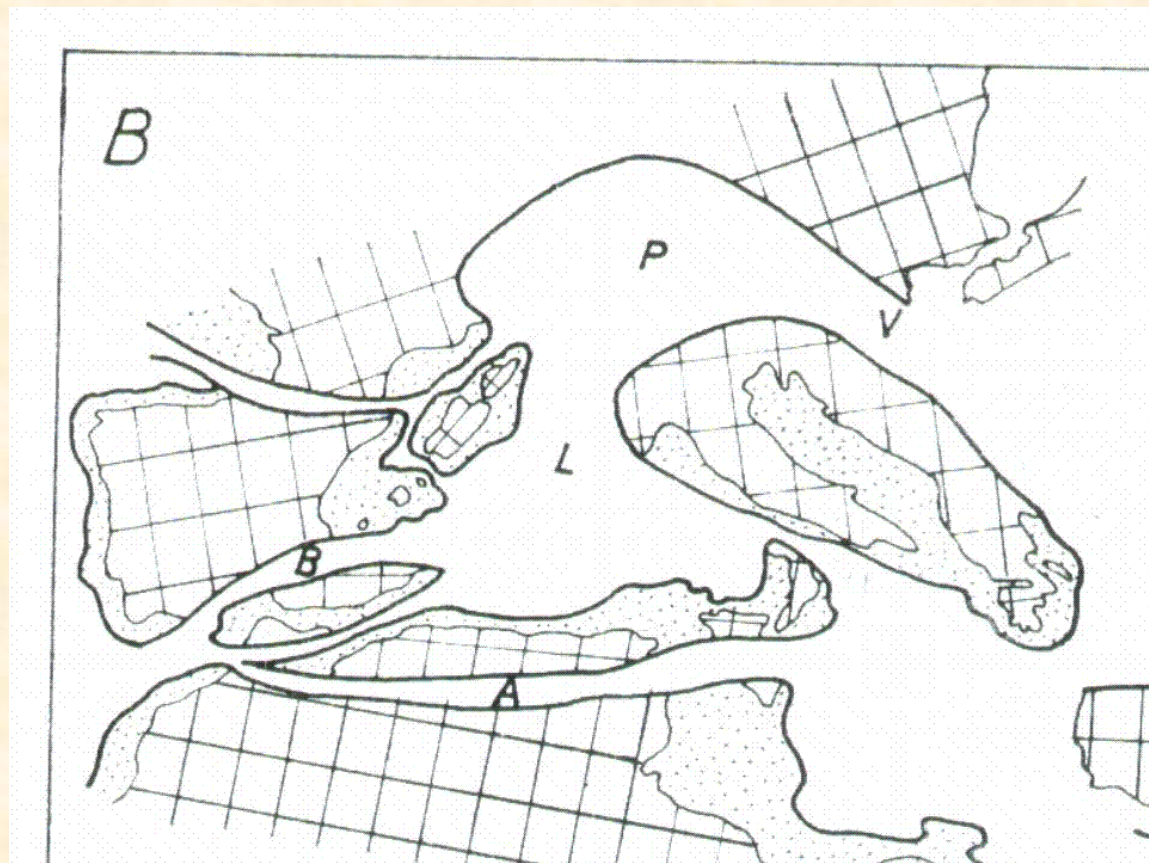


tváří výrazný horský oblouk mezi pobřežím Janovského zálivu a Janovskou zálivou. V podloží Vídeňské pánve navazuje na karpatobalkánský orogén.



Rekonstrukce (Hsü, 1977).  
 bloky: 1 – Iberianský, 2b – Iberiansko-sardinský, 5 – Anatolský. B – Korsicko-sardinský. L – libyjský, V – variský.  
 synklinály: A – adriatická, L – libyjská, V – variská.  
 P – pánve v miocénu a kvartáru.  
 Sardinie.

Generelně evropské alpidy vynikaly kolizí afrického a severoevropského kontinentu. Jejich vznik byl však podstatně složitější než jednoduchá představa kolize 2 kontinentů. Ve středozevní oblasti můžeme vyčlenit minimálně 6 desek jejichž složitými pohyby a kolizemi docházelo k vrásnění jednotlivých alpických pohoří. Od západu k východu to jsou **blok iberský, alboranský, kabylský, korsicko-sardinský, adriatický, rodopský a anatolský.**



**Mezi Afrikou a kabylským blokem se nacházela atlaská mobilní zóna, mezi alboranským a iberským blokem Betická mobilní zóna, mezi iberským blokem a evropskou platformou iberská mobilní zóna, mezi blokem korsicko-sardinským adriatickou deskou ligurská mobilní zóna a mezi adriatickou deskou A evropskou platformou peninská mobilní zóna.**

# **Paleogeografie**

(Vznik a zánik mobilních zón)



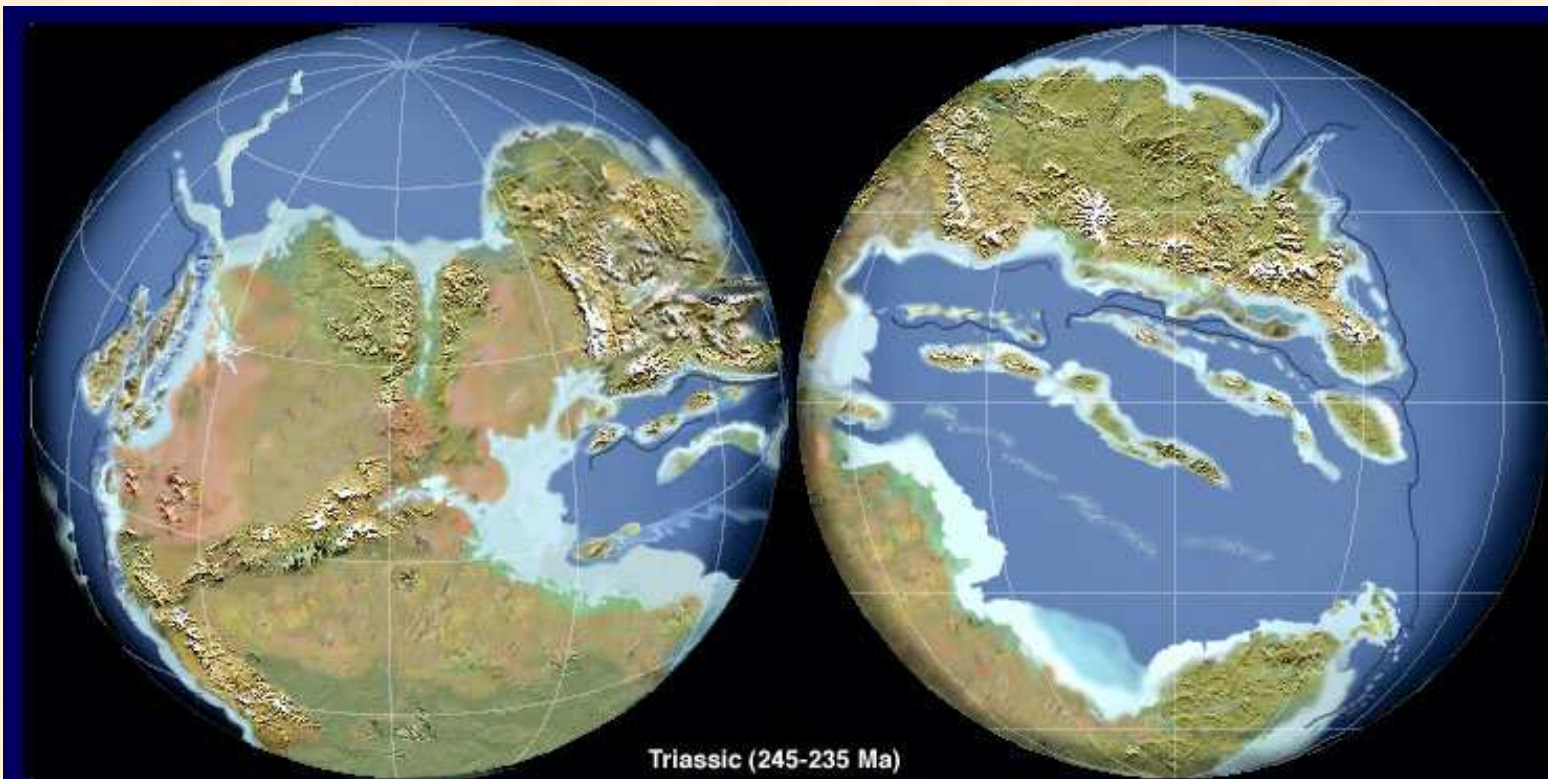
**Vznik alpinských pohoří v Evropě úzce souvisel s e vznikem Atlantského oceánu. Rozevírání Atlantiku v centrální části vedlo k sinistrálním strike-slipovým pohybům a oddělování Afriky od Evropy (extenzní etapa – jura až spodní křída). Rozevírání v jižní části Atlantiku potom k šikmé konvergenci mezi Afrikou a Evropou (svrchní křída-kenozoikum).**

**1) V první etapě došlo k otevření pouze v jižní části severního Atlantiku (centrální Atlantik) a tato etapa trvala od jury do spodní křídy.**

**2) Ve druhé etapě postoupil Atlantik dále na sever. Přitom oddělil Iberii od Grand Banks Nového Foundlandu. Toto otevření spolu s rotací pyrenejského poloostrova proběhlo ve svrchní křídě. Oddělení Afriky a jižní Ameriky.**

**3) Ve třetí etapě se ve svrchní křídě - paleogenu po otevření Labradorského moře a Baffinova zálivu oddělilo Grónsko od Severní Ameriky.**

**4) Ve čtvrté etapě se oddělilo Grónsko od Evropy čímž byly v eocénu ukončeny pohyby třetí etapy. Toto oddělení vedlo k vytvoření nejsevernějšího Atlantiku, které spolu s pokračujícím otevíráním centrálního Atlantiku vedlo k dnešnímu obrazu Atlantiku.**



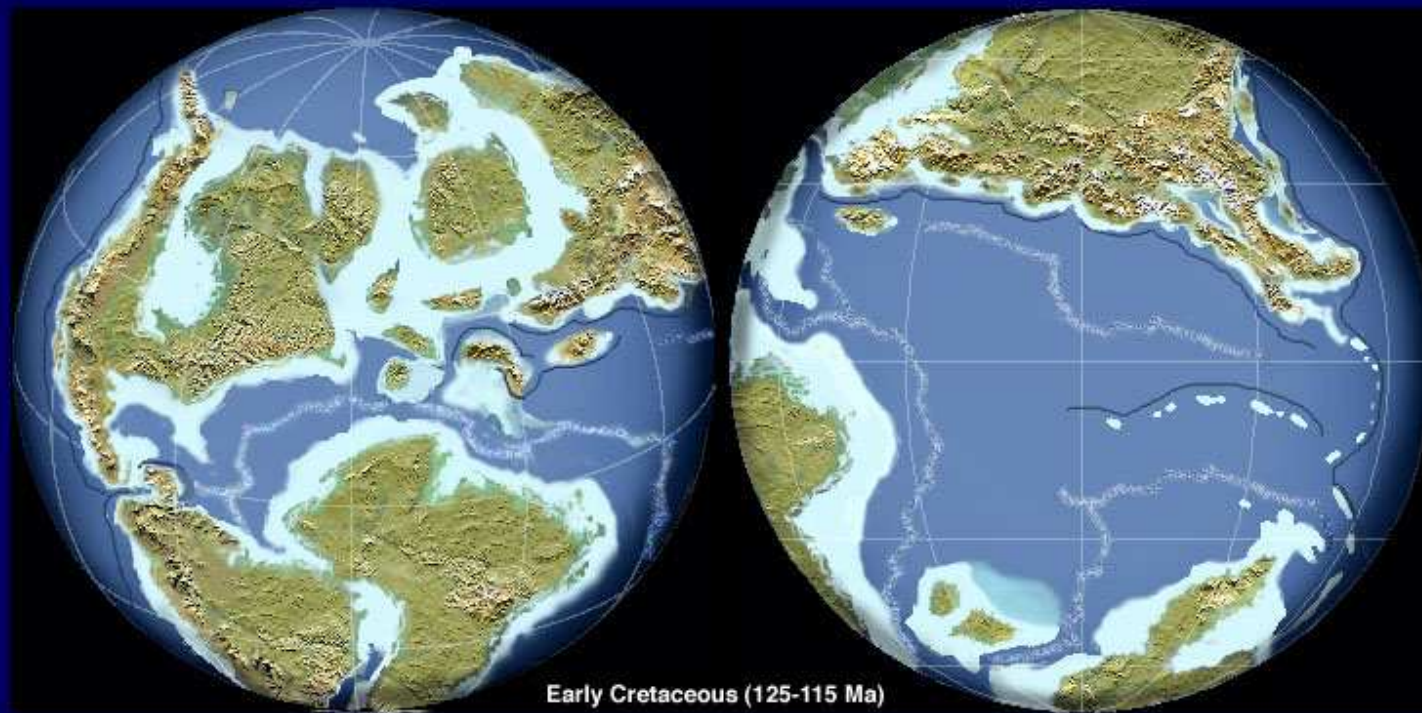
**Otevírání Atlantiku začalo vytvářením příkopů a halfgrabenů již v permu a triasu.**





Late Jurassic 150 Ma

**V první etapě došlo k otevření pouze v jižní části severního Atlantiku (centrální Atlantik) a tato etapa trvala od jury do spodní křídy.**



Early Cretaceous 130 Ma

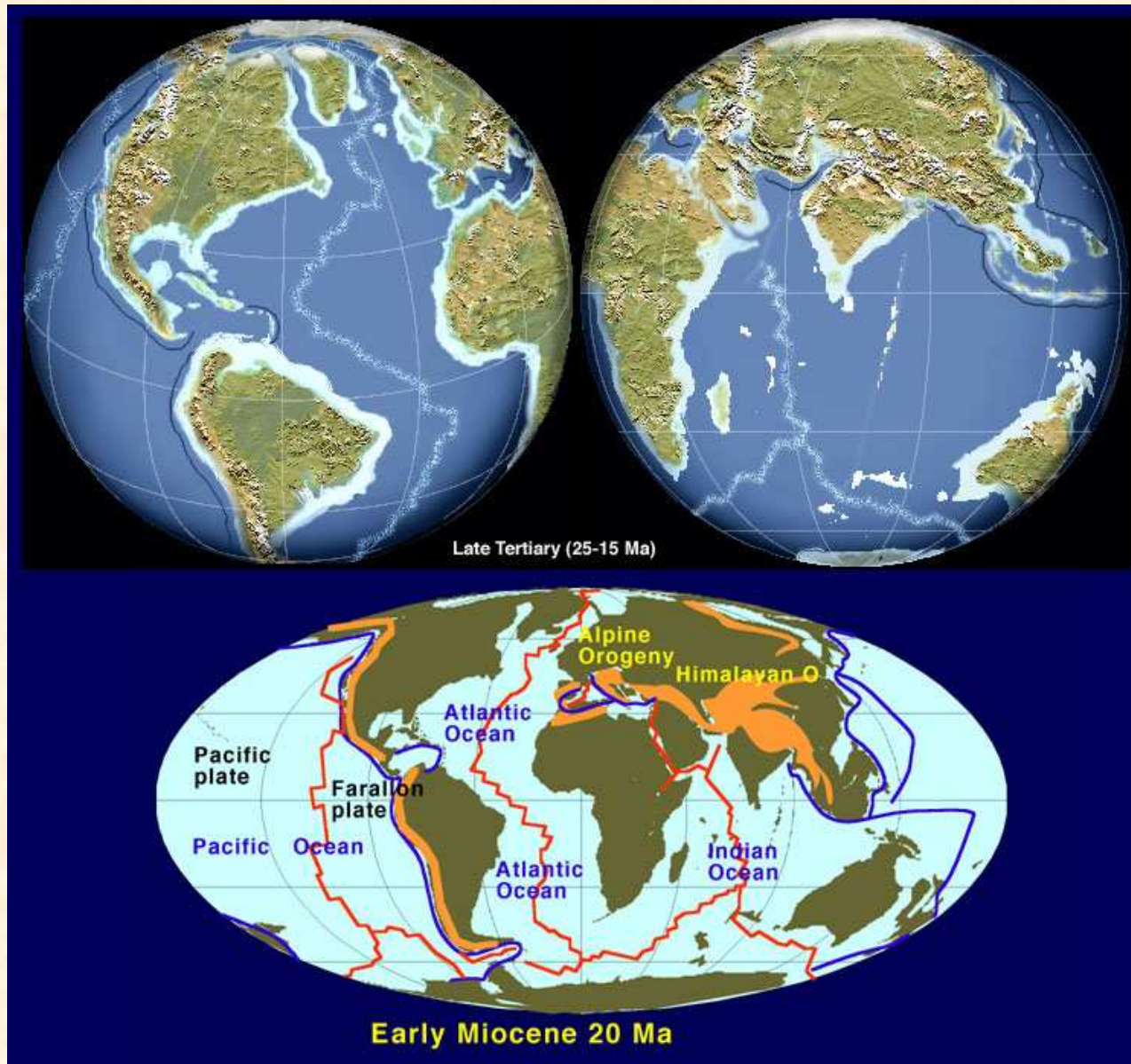
**Maximální oddělení  
Afriky a Evropy ve  
spodní křídě**

**Ve druhé etapě postoupil Atlantik dále na sever. Přitom oddělil Iberii od Grand Banks Nového Foundlandu. Toto otevření spolu s rotací pyrenejského poloostrova proběhlo ve svrchní křídě. Během svrchní křídly začalo rychlé oddělování Afriky od jižní Ameriky a její posun na SV. To vedlo k nástupu komprese v alpinském orogenu.**

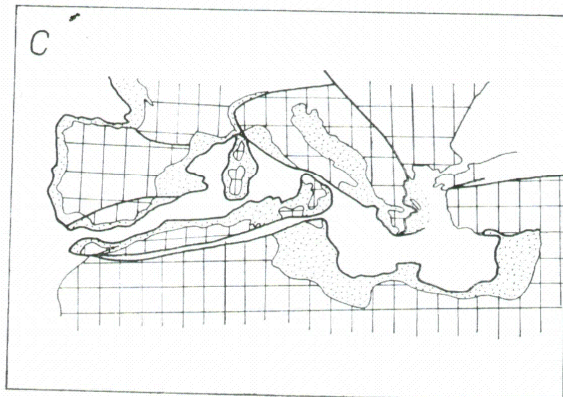
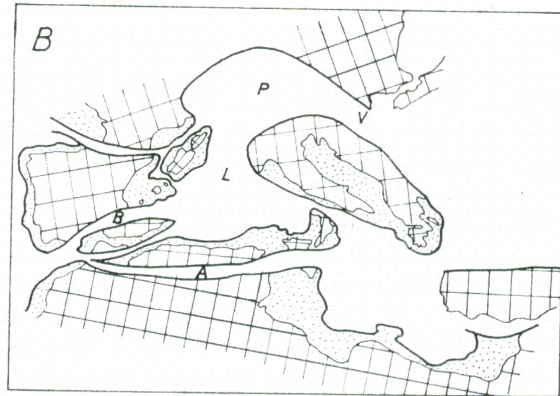
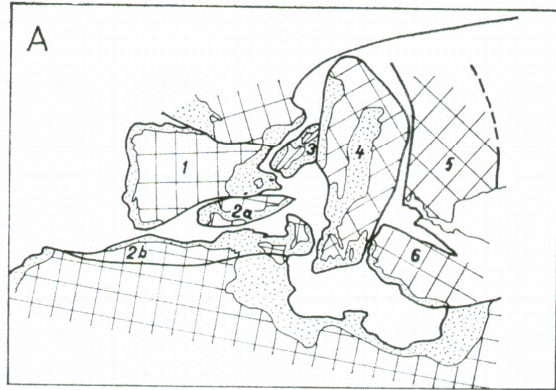


**Ve třetí etapě se po otevření Labradorského moře a Baffinova zálivu oddělilo Grónsko od Severní Ameriky (ve svrchní křídě-paleogenu).**

**Ve čtvrté etapě (paleogen) se oddělilo Grónsko od Evropy. Toto oddělení vedlo k vytvoření nejsevernějšího Atlantiku, které spolu s pokračujícím otevíráním centrálního Atlantiku vedlo k dnešnímu obrazu Atlantiku**



tváří výrazný horský oblouk mezi pobřežím Janovského zálivu  
nou. V podloží Vídeňské pánve navazuje na karpatobalkánský

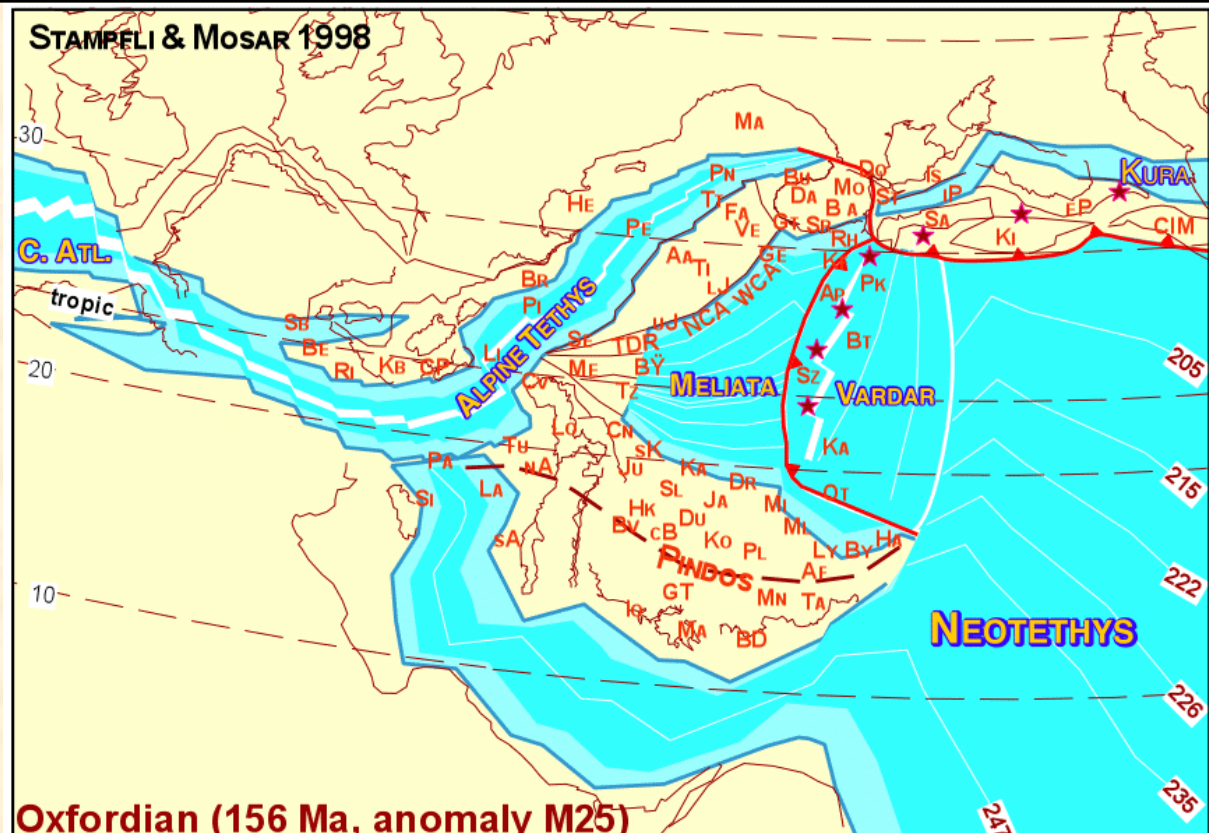


rekonstrukce  
(Hsü, 1977).  
bloky: 1 –  
Iberský, 2b –  
liguricko-sardin-  
iánský, 5 –  
dinaridský, 6 –  
hellenidský. B –  
Apenninská;  
osynklinály:  
ligurická, L – li-  
gurická, V – var-  
iscitická, A – apen-  
ninská v miocénu  
v Sardinie.

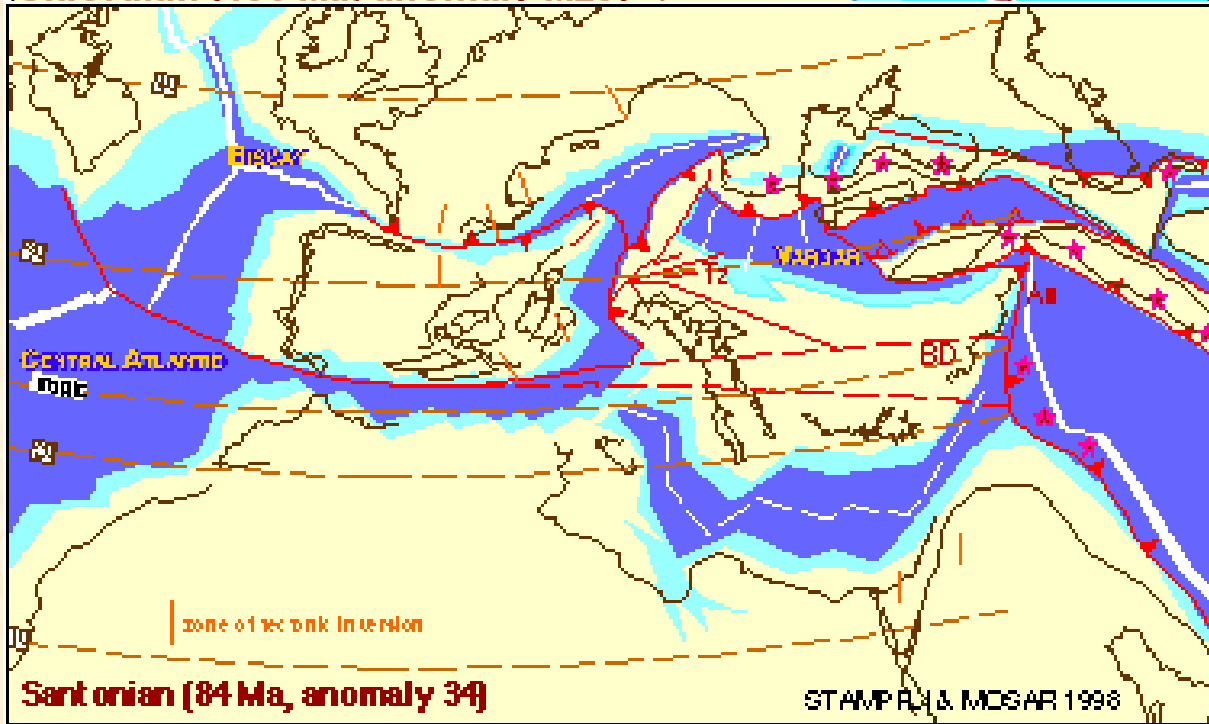
Otevírání Atlantiku se samozřejmě projevovalo i dále na východ. Pohyby první etapy vedly k **oddělení Afriky od Pangei v prodloužení gibraltarsko-azorského hřbetu až do Tethydy**. Předpokládá se, že od Atlantiku do Tethydy se **vytvořily 2 úzké oceánické větve**. Zbytky severní starší oceanické větve jsou dnes dokumentovány ofiolity severních Apenin a Alp, dinarid a hellenid. Za zbytek mladší jižní oceanické větve je považováno **východní středomoří**.



STAMPFLI & MOSAR 1998

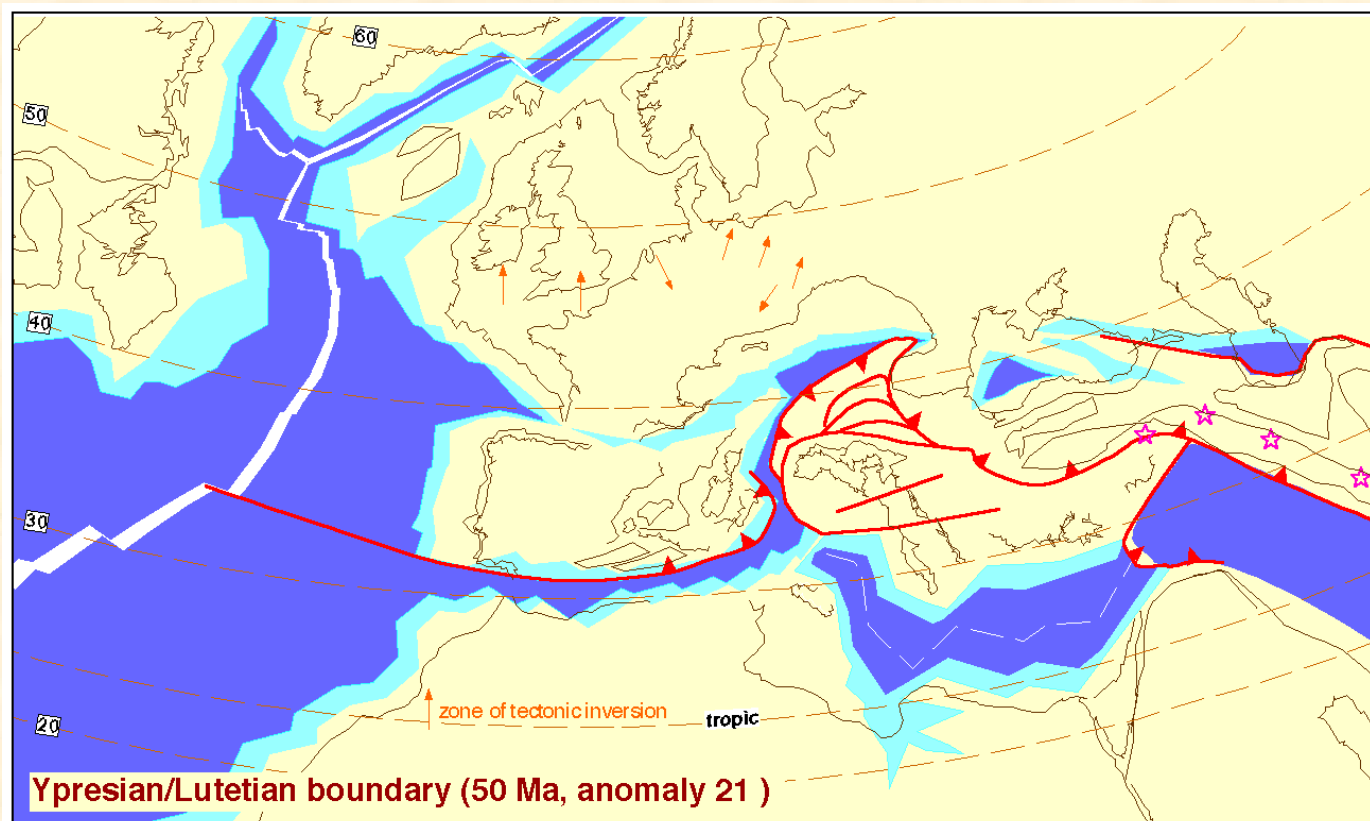
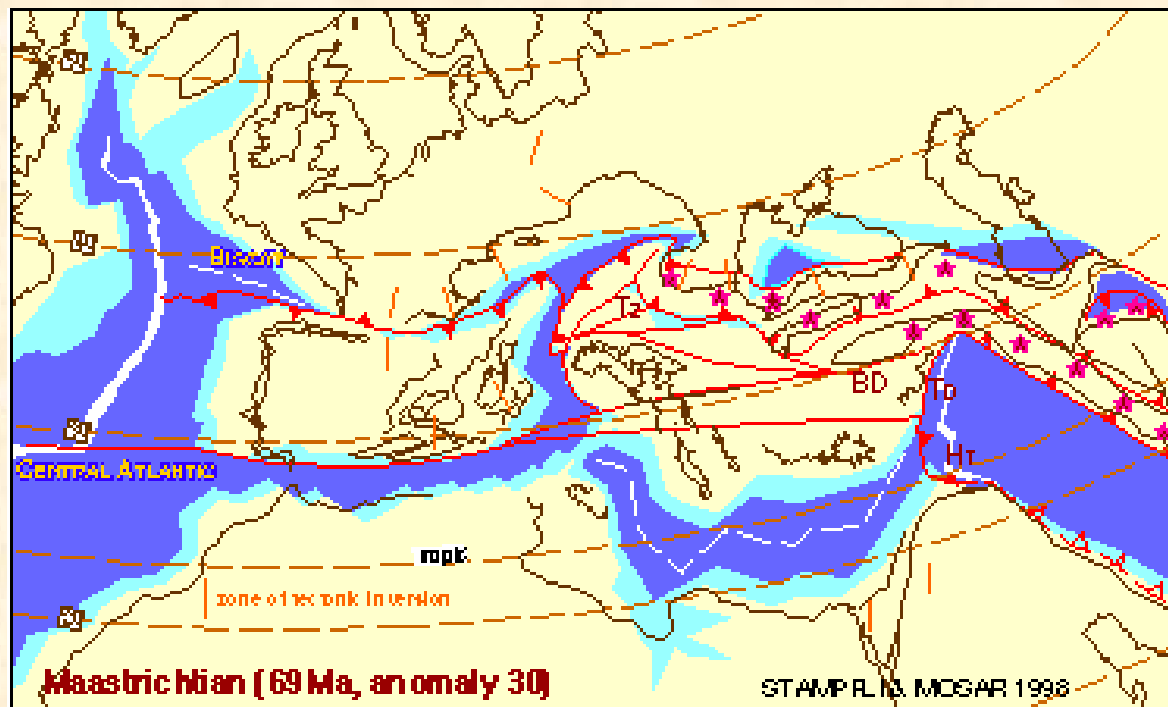


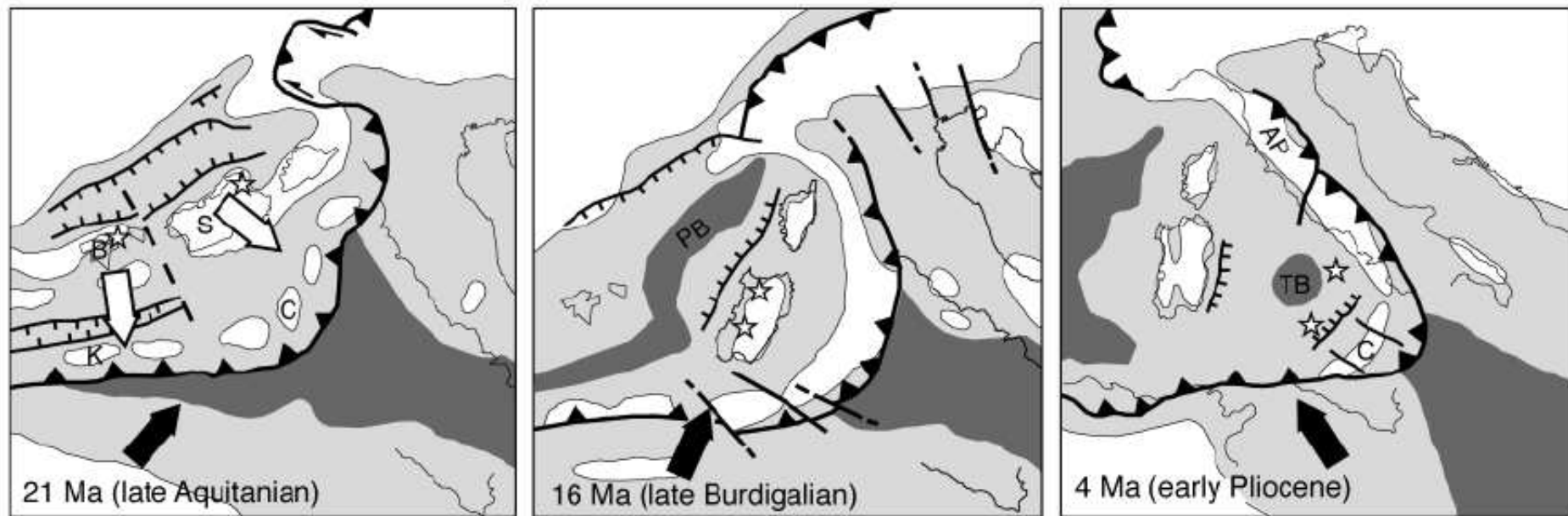
Oxfordian (156 Ma, anomaly M25)



Santonian (84 Ma, anomaly 34)

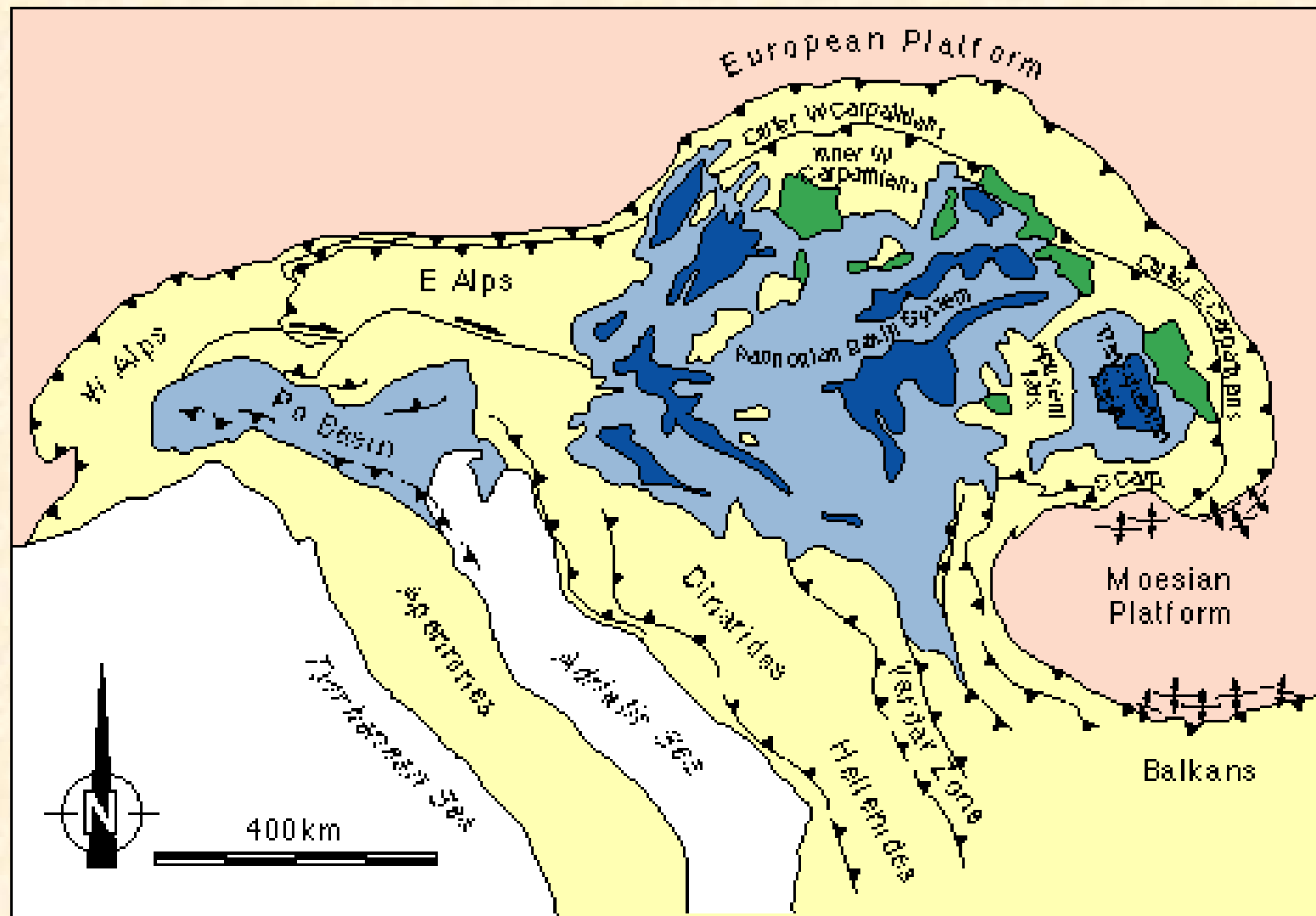
STAMPFLI & MOSAR 1998

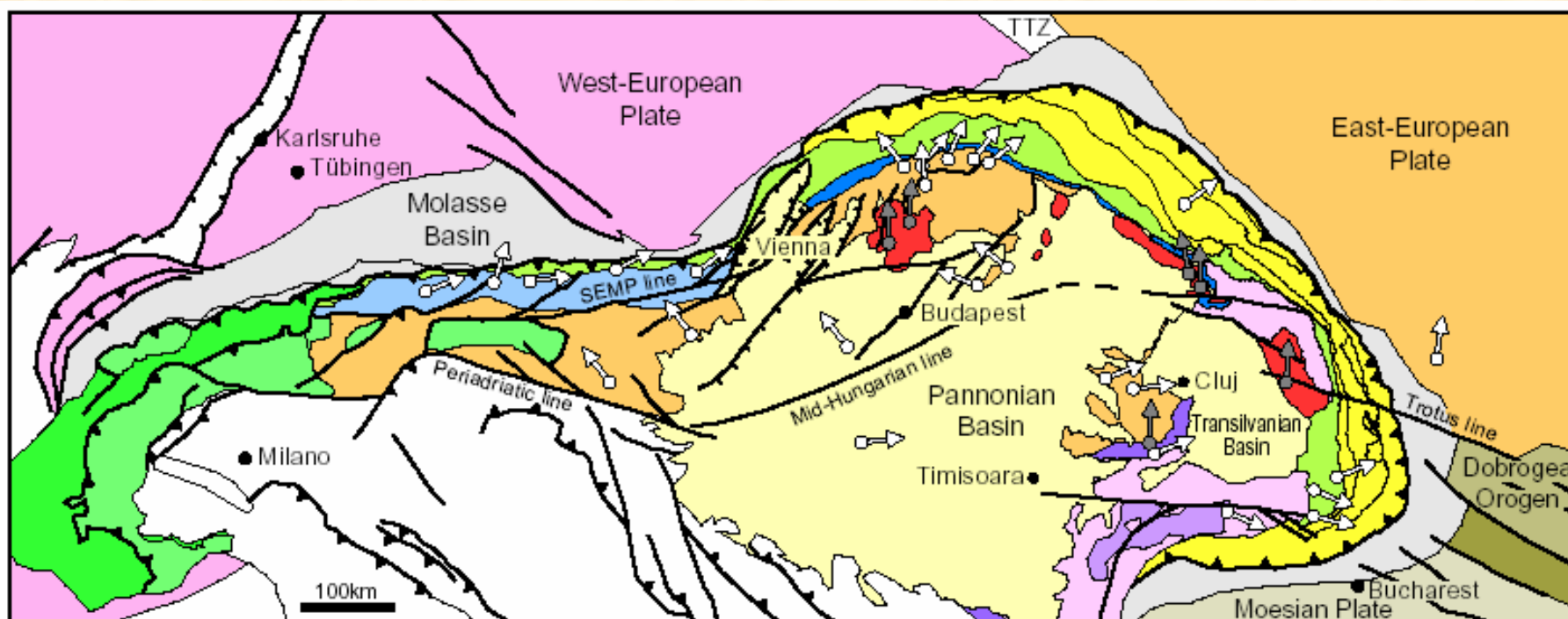




*Figure 4 Schematic maps showing the paleotectonic evolution of the W Mediterranean during Neogene time (modified after Bonardi et al., 2001, and Roca, 2001). Only active tectonic elements are shown. White, exposed land; light gray, epicontinental sea; darker gray, oceanic crust. Black arrows indicate the direction of Africa's motion with respect to Europe (from Mazzoli and Helman, 1994). White arrows indicate upper-plate direction of extension. Stars indicate subduction-related magmatism. AP, Apennines; B, Balearic block; C, Calabria-Peloritani terrane; K, Kabilies; PB, Provençal Basin, S, Sardinia; TB, Tyrrhenian Basin.*

**ALPY**





- |  |                        |  |                          |                 |                                     |   |
|--|------------------------|--|--------------------------|-----------------|-------------------------------------|---|
|  | Major thrusts          |  | Neogene volcanics        |                 | Tertiary flysch nappes (Moldavides) |   |
|  | Strike-slip faults     |  | Neogene basins           |                 | Rhenodanubian flysch+Cretac. flysch |   |
|  | Normal faults          |  | Foreland basins          |                 | Pieniny Klippen Belt                |   |
| Palaeomagnetic declinations from<br>Channell, Kruczyk, Márton, Patrascu: |                        |  |                          | Helvetic nappes |                                     | Eastern Alps/W. Carpathians/Internal Dacids |
|  | Cretaceous–L. Miocene/ |  | Penninic nappes          |                 | Getic nappes (Median Dacids)        |   |
|  | M. Miocene–Pliocene    |  | Northern calcareous Alps |                 | Danubian nappes (Marginal Dacids)   |   |
|  |                        |  |                          |                 | Transylvanianides–Vardar zone       |   |

# Základní členění

Západní Alpy

(Centrální Alpy)

Východní Alpy

Jižní Alpy

Severní vergence



Jižní vergence

**Západní a centrální Alpy – hlavně jednotku peninika a helvetika, vzácně austridy**

**Východní Alpy – hlavně austridy, ve 3 tektonických oknech peninikum helvetikum vzácně při severním okraji**

**Jižní Alpy jsou charakterizovány jižně vergentními vrásami a násuny, jejich jižní konec je pod rovinou Po. V podloží je adriatická deska, jejíž 10-15 km mocná část, tvořená mesozoickým pokryvem a basementem byla odtržena tak, že horizont odlepení je ve svrchní granitické kůře.**

# Hlavní stavební jednotky Alp

Molasová zóna

Flyšová zóna

(Předalpy)

Helvetikum

Peninikum

Austridy

Jižní Alpy

Severní vergence



EVROPSKÁ DESKA



Alpsko-dinarská jizva, periadriatický lineament atp.

ADRIATICKÁ DESKA



Jižní vergence



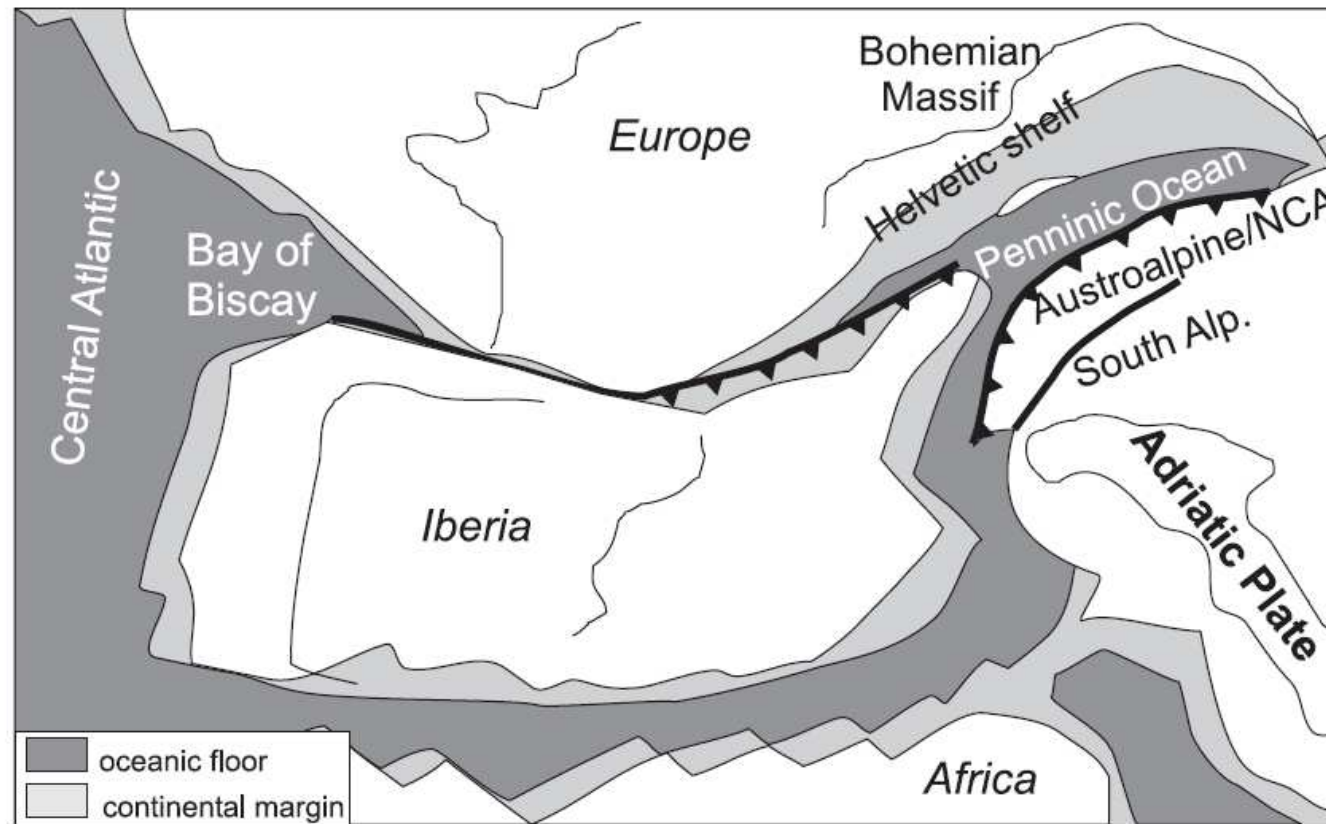
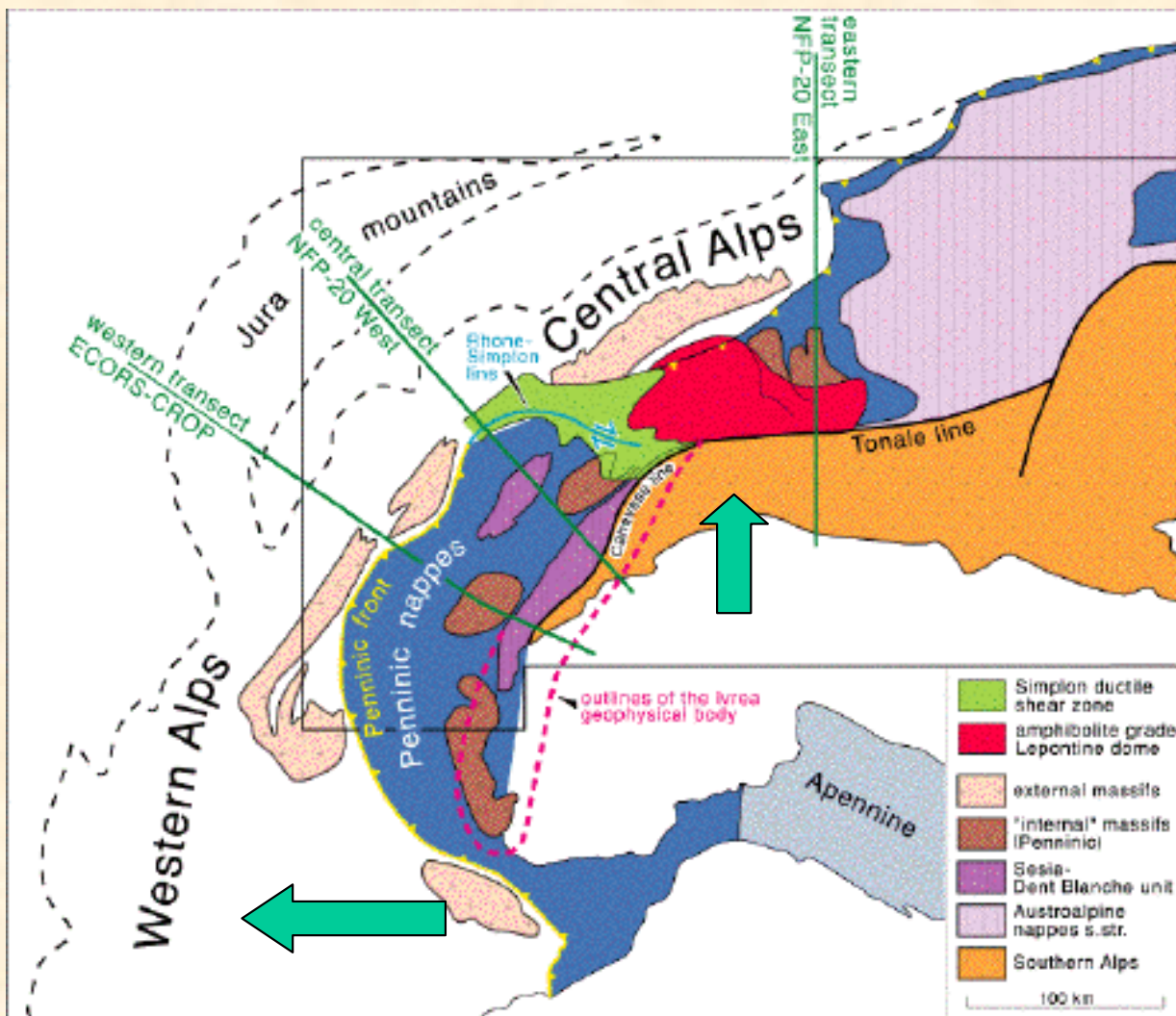
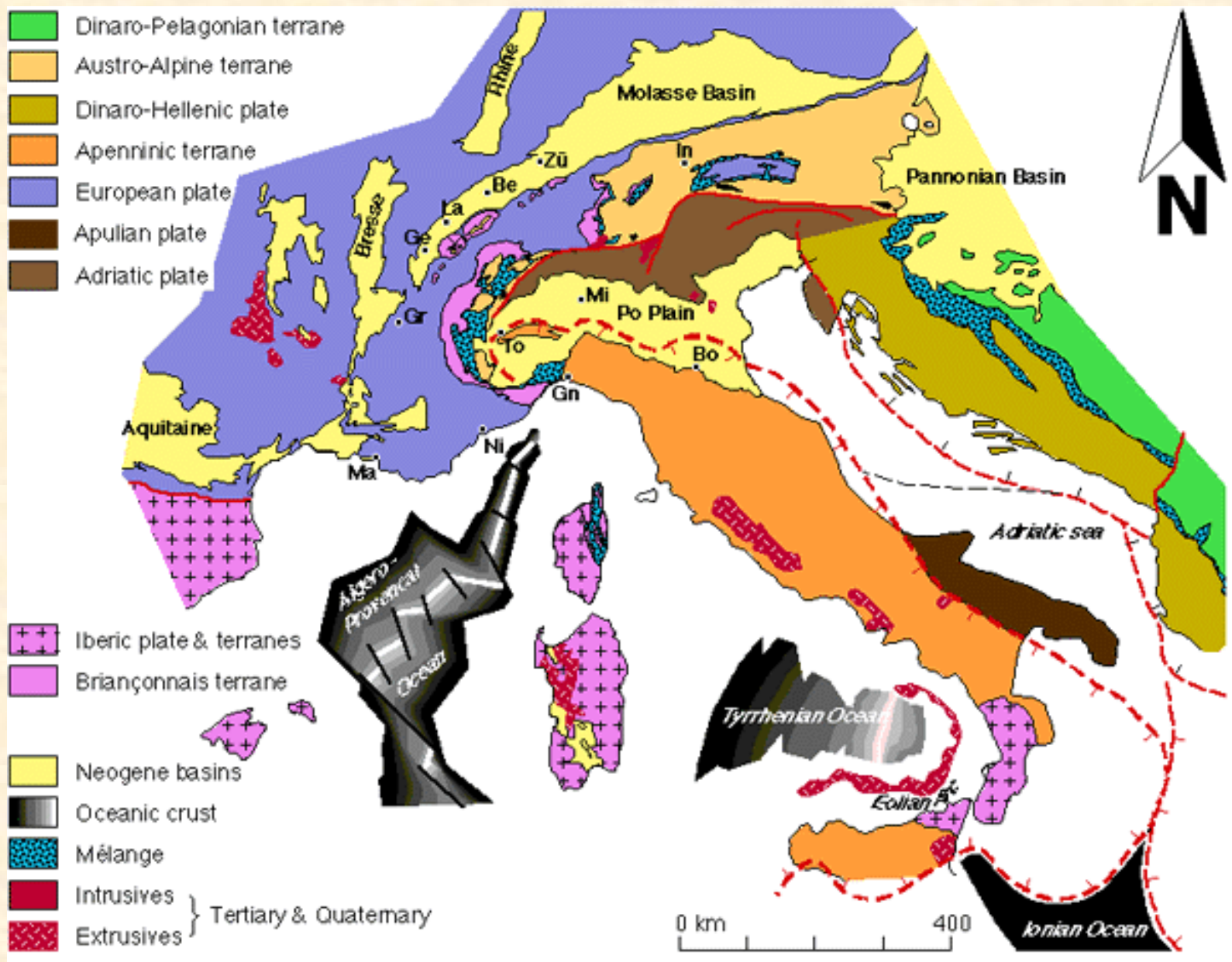


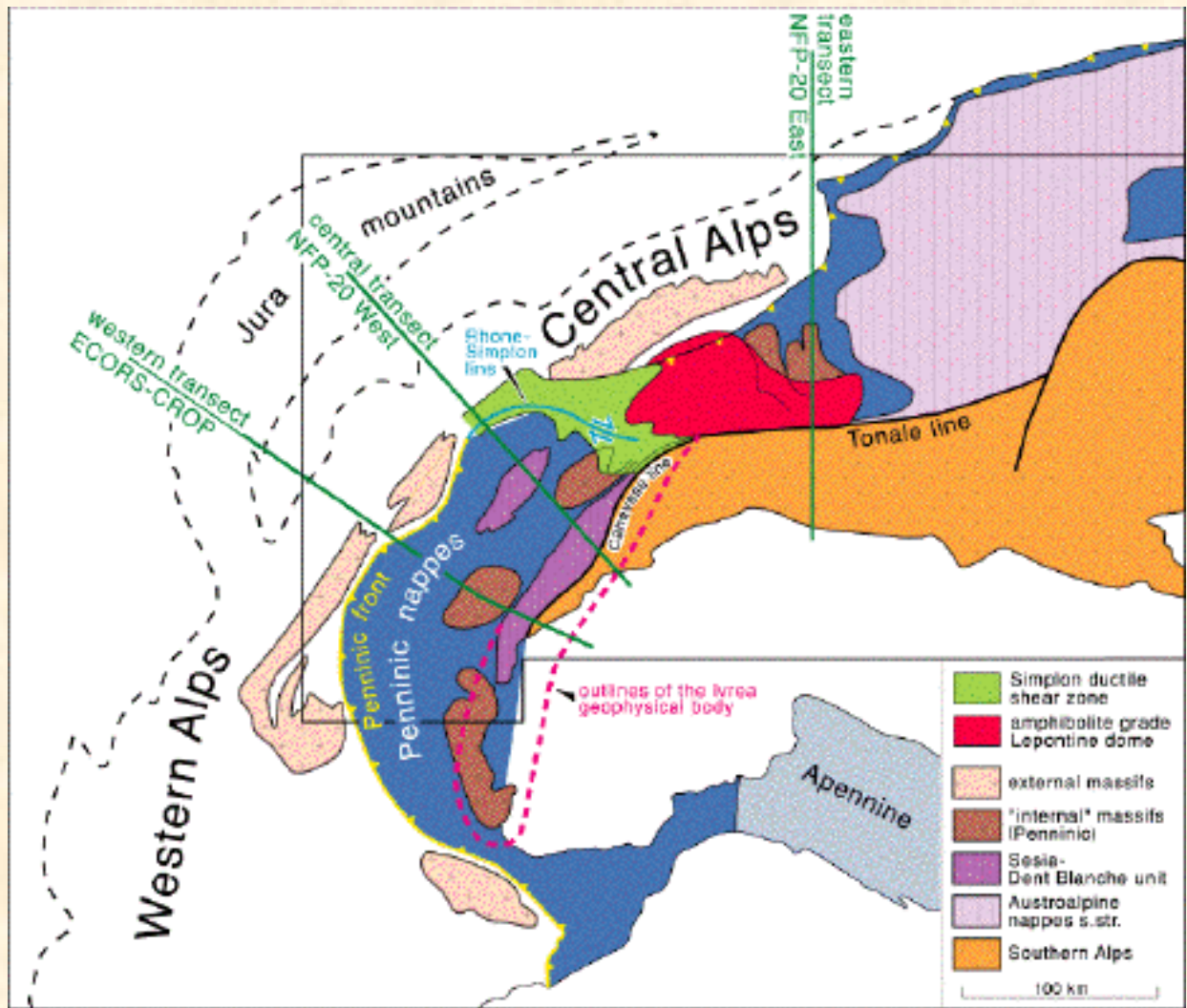
Fig. 2. Simplified palaeogeographic map for the Maastrichtian, based on Stampfli et al. (1998). Austroalpine/NCA, Austroalpine microplate including the Northern Calcareous Alps; South Alp., Southern Alpine Units.

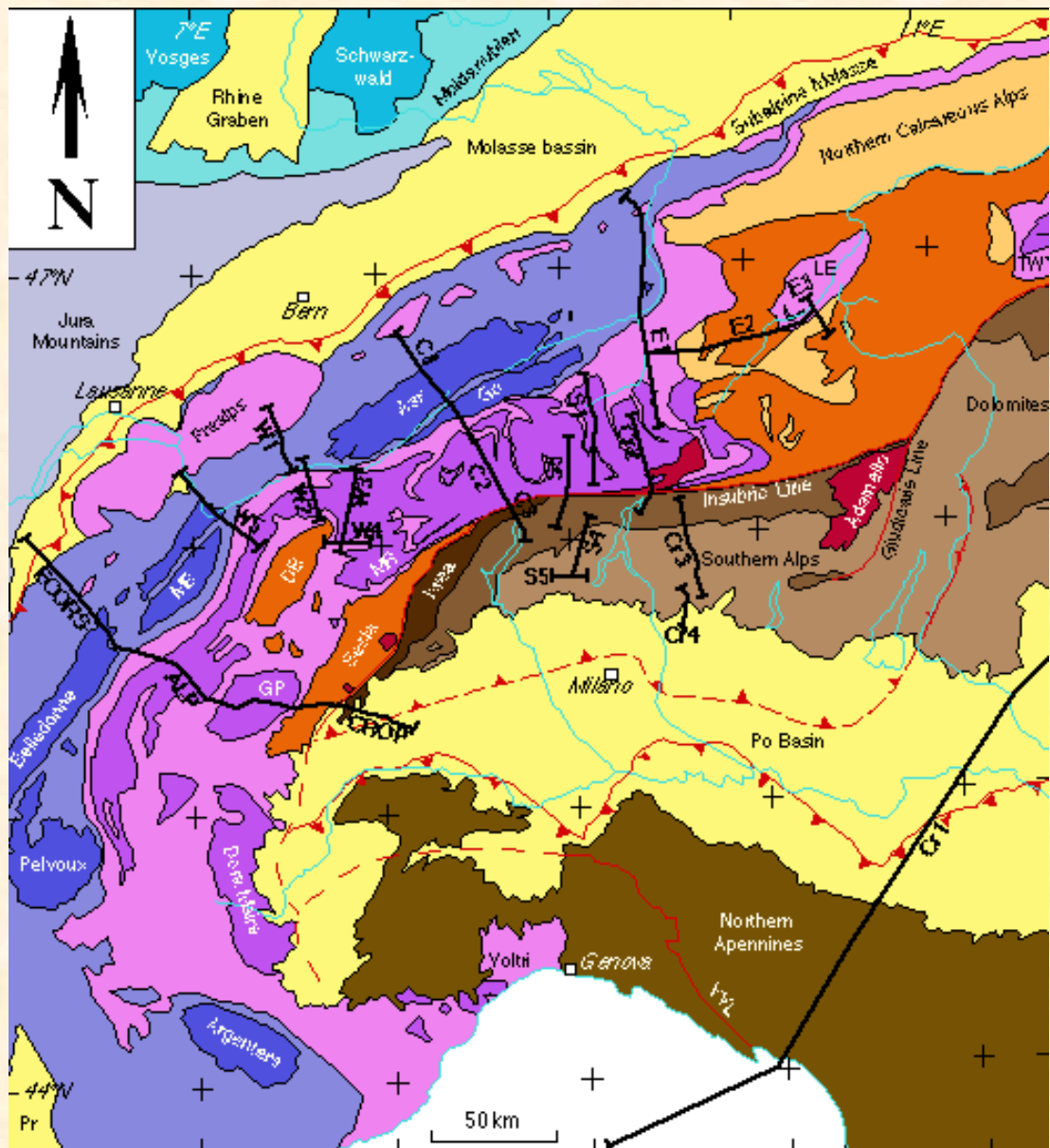


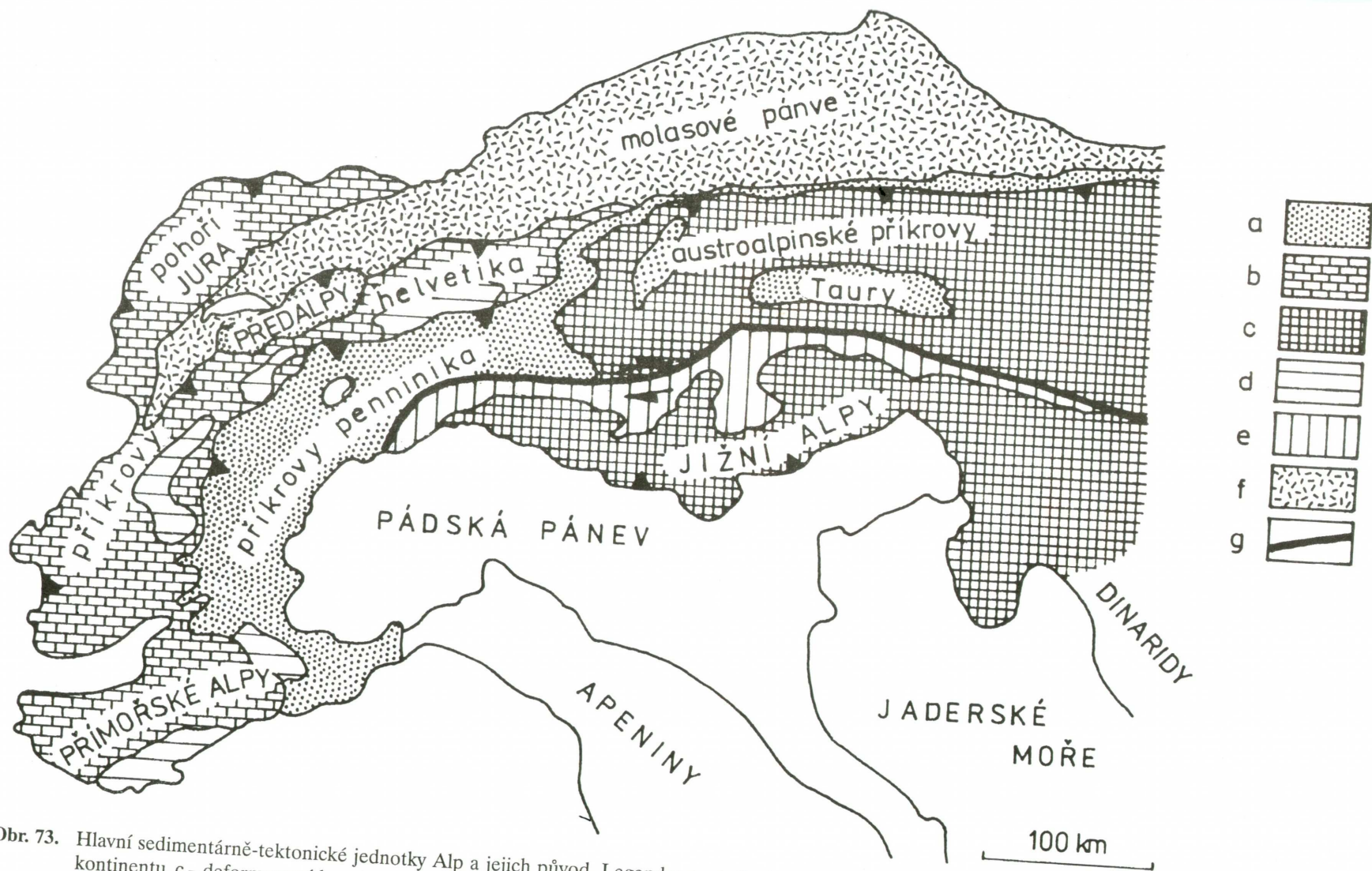
The Central Alps (between the Great St. Bernard and Brenner passes)



# ZÁPADNÍ A CENTRÁLNÍ ALPY



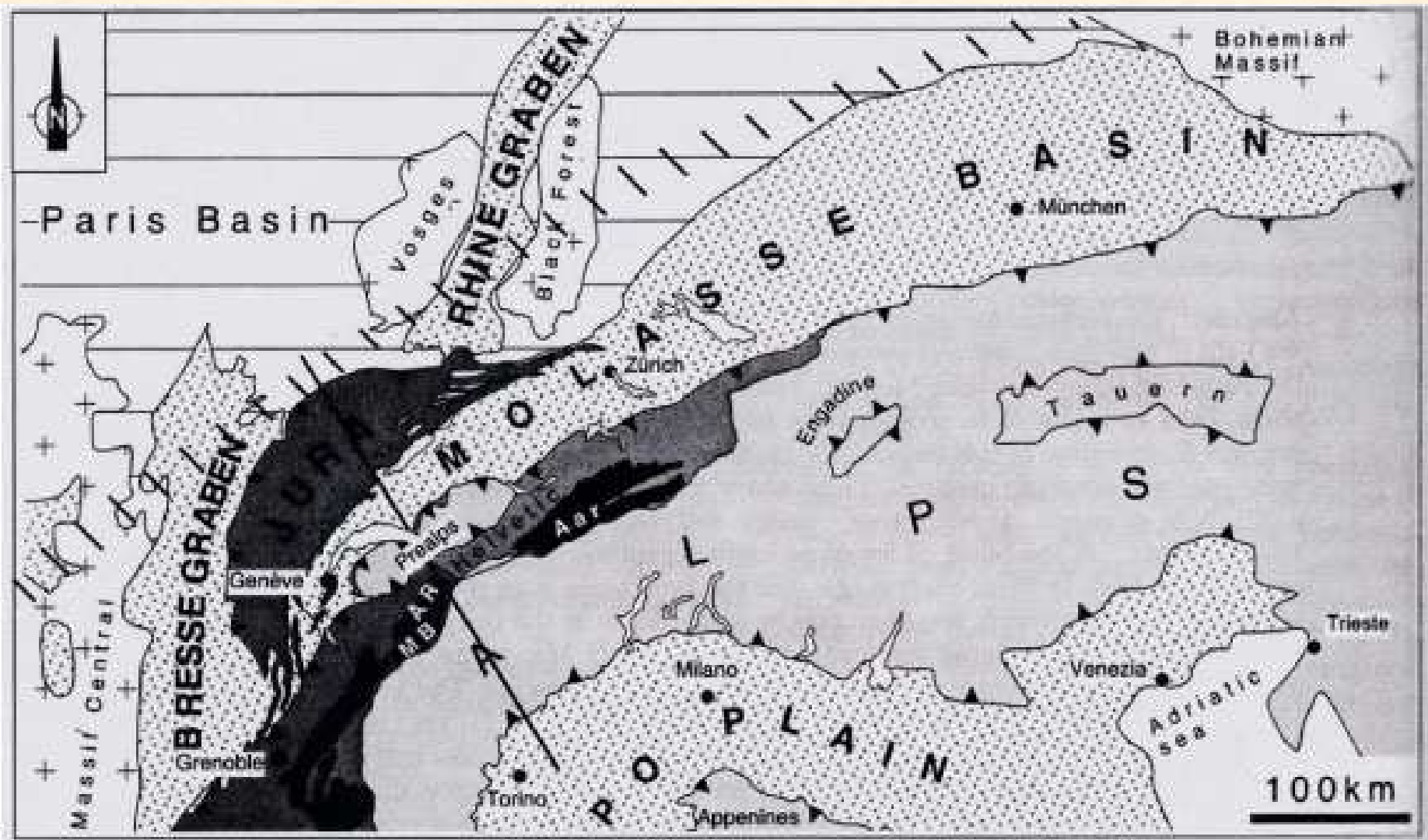




Obr. 73. Hlavní sedimentárně-tektonické jednotky Alp a jejich původ. Legenda: a – tethydní oceánské horniny, b – deformované horniny okraje evropského kontinentu, c – deformované horniny okraje afrického kontinentu, d – evropská platforma, e – africká platforma, f – molasové pánve, g – periadriatická linie, h – hlavní násunové linie. Upraveno podle Rogers (1994).

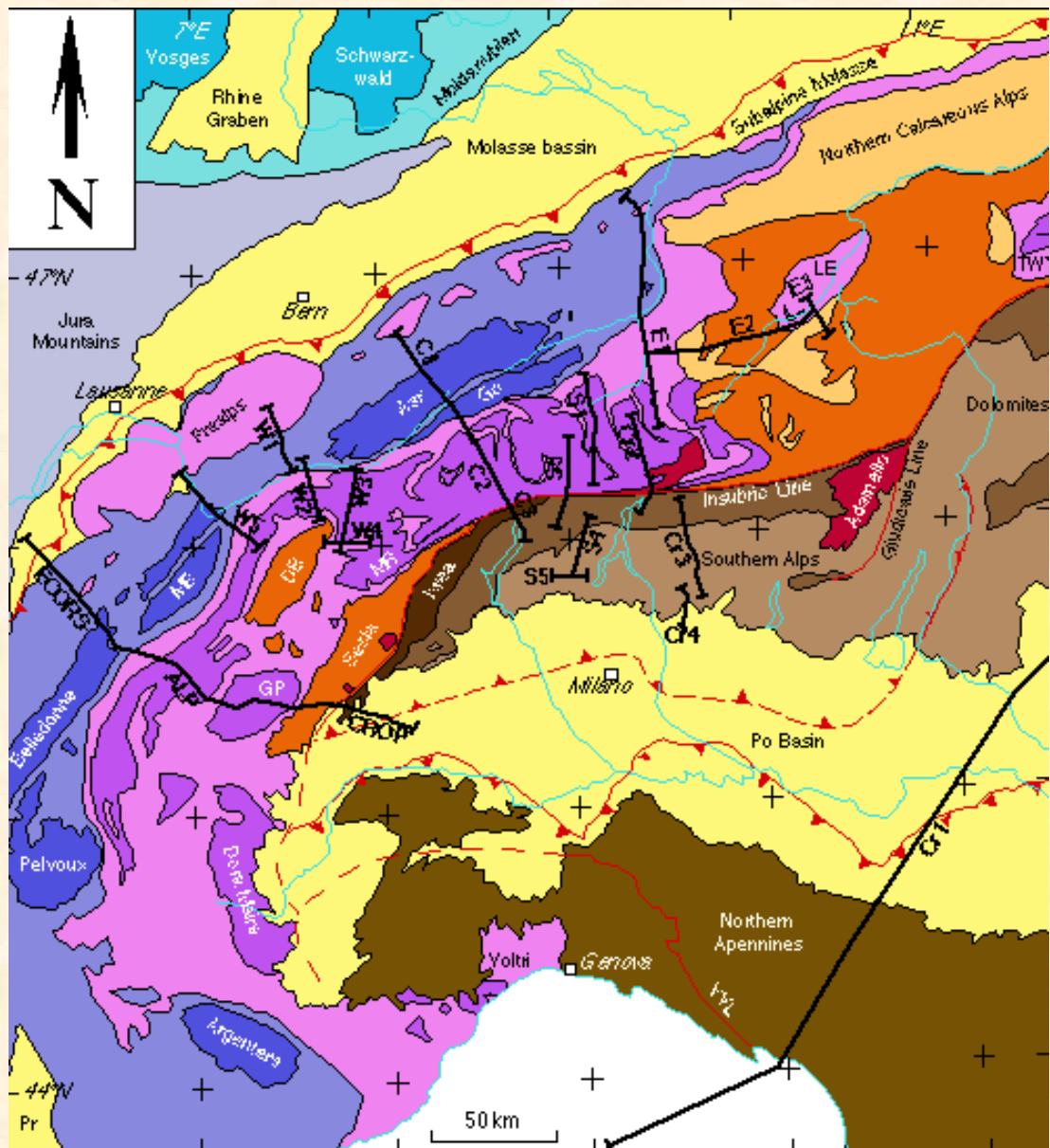
**Příkrovy helvetika** byly odlepeny od svého původního krystalinického basementu. Jednotky ještě přichycené k evropské litosféře jsou tvořeny **vnějšími krystalinickými masivy** (napr. Mont Blanc) **a jejich pokryvem, mírně odlepené od spodní kůry během miocenu**, kdy deformace začala migrovat do předpolí nakonec vytlačující od seravalu (12Ma) molasovou pánev a pohoří Jura téměř až 30 km. Jižní část **rýnského prolomu** reprezentuje eooligocenní kontinentální **rift**, kinematicky spjatý s **příkopem Bresse** situovaným na západ od pohoří Jura.





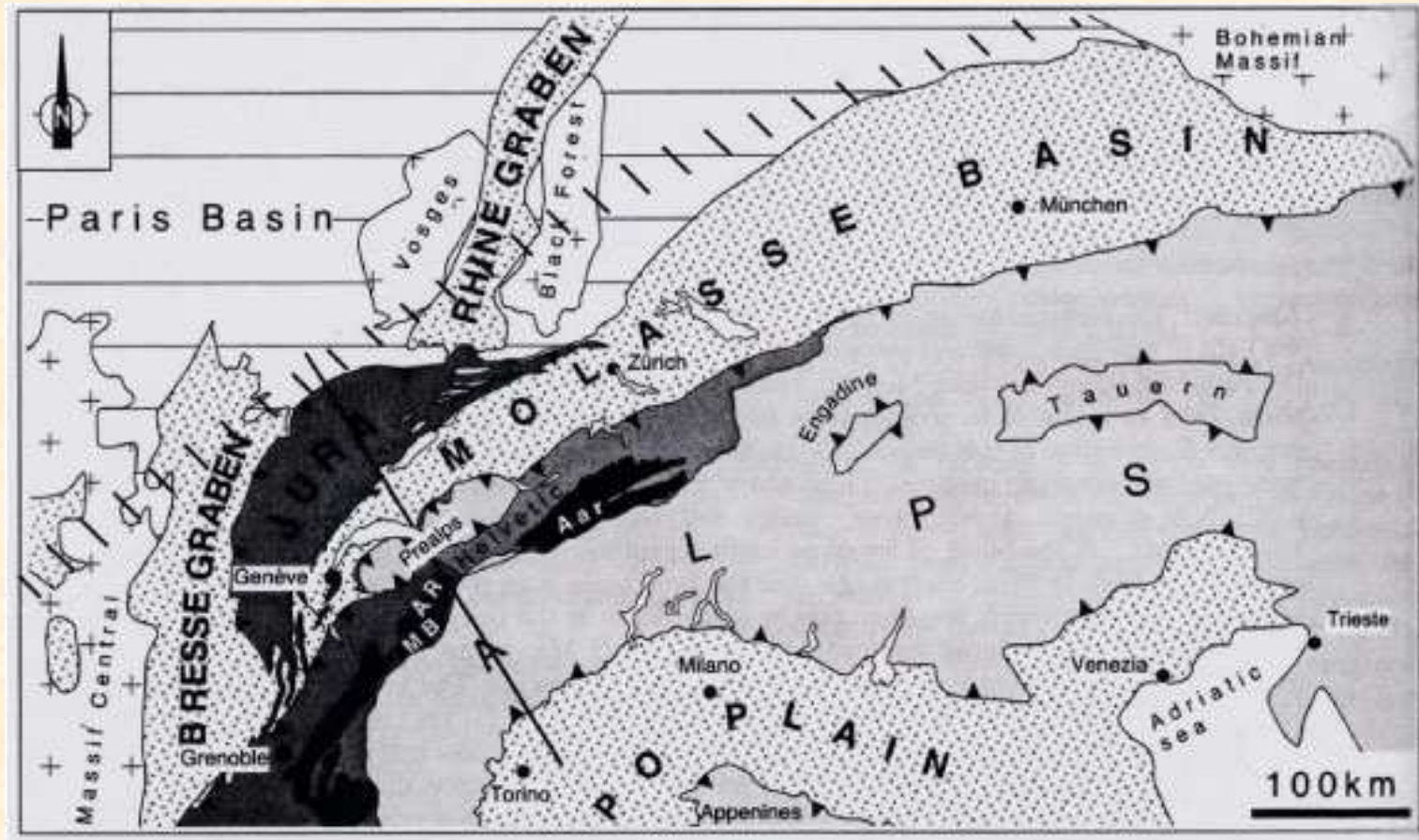
**Jednotky peninika** mají extrémně heterogenní paleogeografický původ v němž jsou zastoupeny zbytky **oceanické litosféry**, **brianconský** kontinentální fragment i basement epivariské evropské desky. Byly deformovány polyfázově a většina jednotek je postižena metamorfózou. Mají složitou příkrovovou stavbu a často se jedná o tzv. **příkrovy fundamentu**, které obsahují i **krystalinikum vnitřních krystalinických masívů Alp**. Dělí se na 3 subzóny - **valaiskou, brianconskou a piedmontskou**. Brianconský práh odděloval valaiskou sedimentační pánev od oceanické pánve piedmontské.

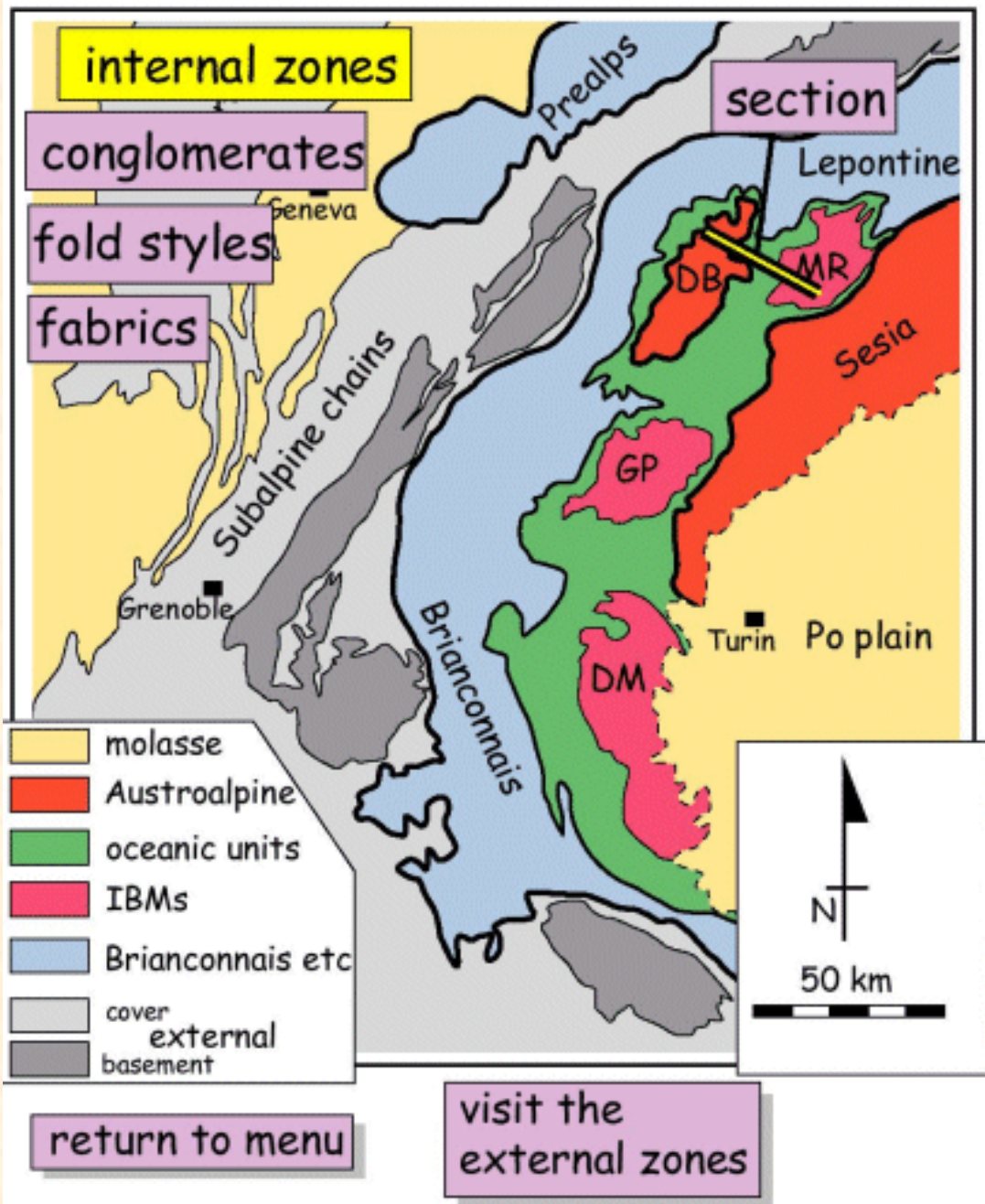
**Příkrovy austroalpinu mají stejnou paleogeografickou provenienci jako jižní Alpy a jsou tvořeny naprosto bezkořennými šupinami basementu a jeho pokryvu, které byly odlepeny (delaminovány) od podložní litosféry již během křídy. V západních Alpách je jednotkou austroalpinu pouze jednotka Sesia-Dent Blanche, má však popněkud odlišný tektonometamorfní vývoj než jižní Alpy a austridy ve východních Alpách, které zde tvoří nejvíce rozšířenou jednotku.**



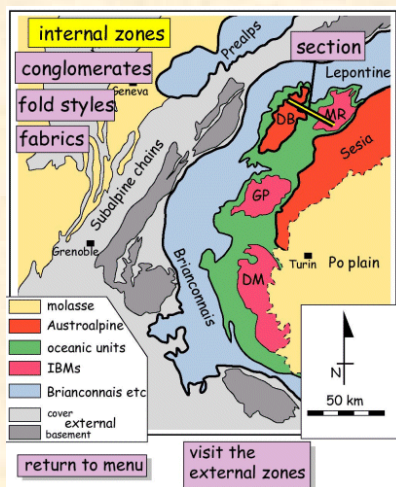
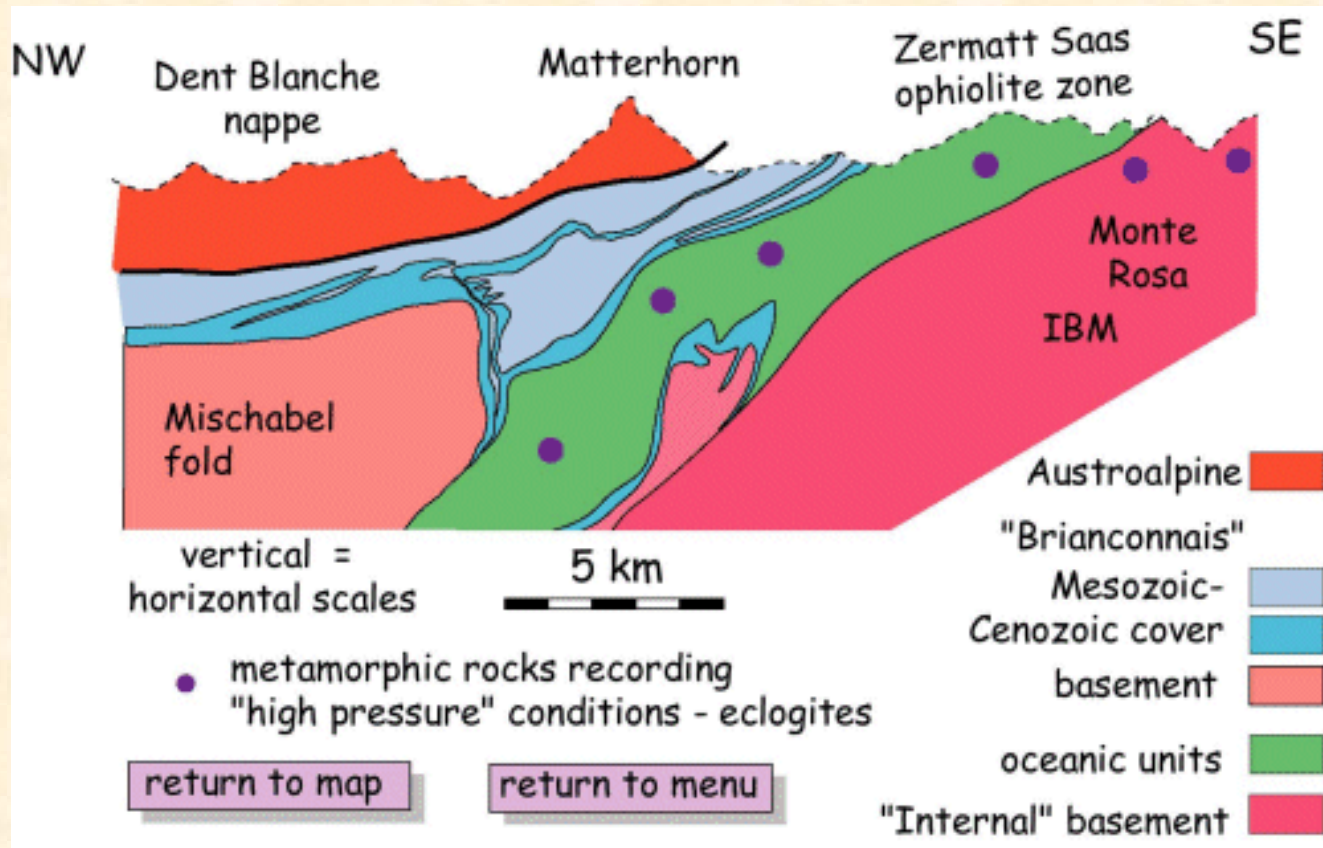
STRUCTURAL DOMAINS	Foreland	Jura	Helvetic	Penninic	Austroalpine	South Alpine	Apennines
Mainly cover units (Permian p.p., Mesozoic & Tertiary)							
Mainly basement units (Paleozoic & Precambrian)							
							Lower crust: Itria Zone
	Tertiary basins			Tertiary intrusives			

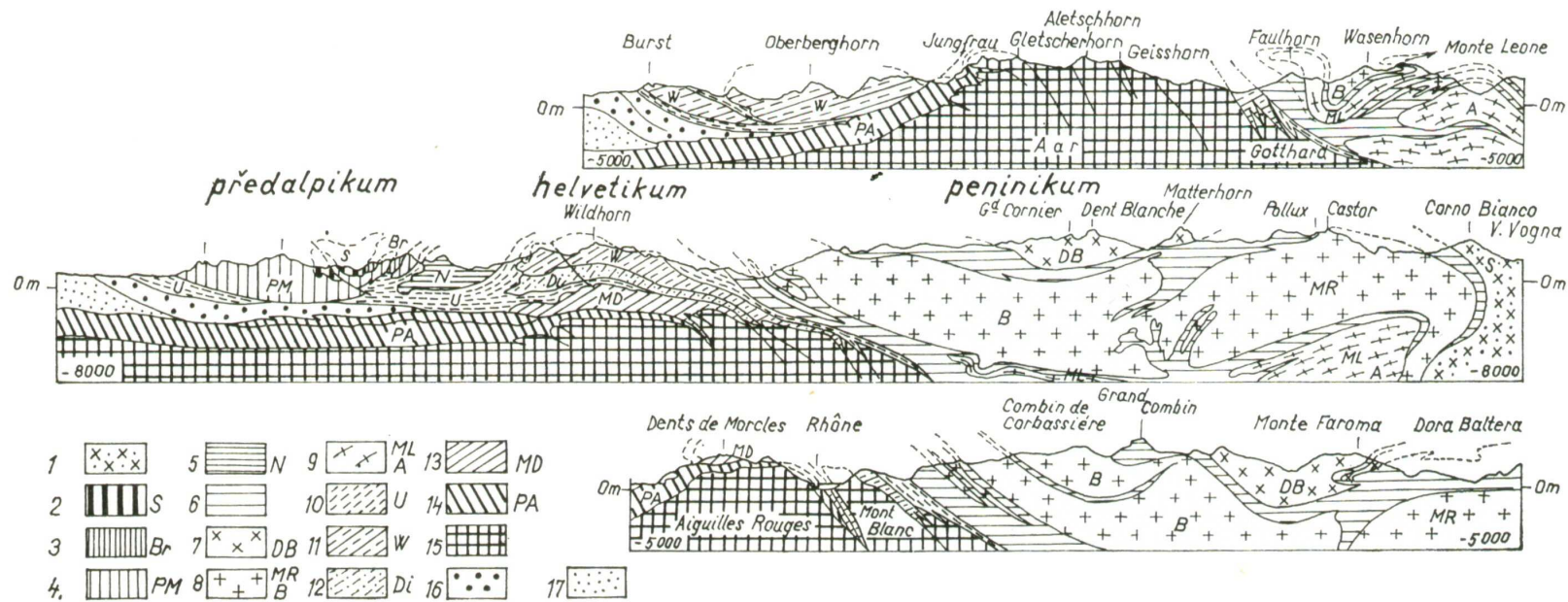
The Swiss Molasse basin (Fig. 3) has long been recognized as the 'detritus washed down from the rising Alps' and deposited in a peripheral depression related to the Tertiary orogeny





The internal zones of the Alps, shown as coloured on the adjacent map, lie to the east of, and above, the Frontal Pennine Thrust. The heart of the Alps consists of high mountains and deep valleys. Most of the rocks here show evidence of once being deeply buried because they are metamorphosed.

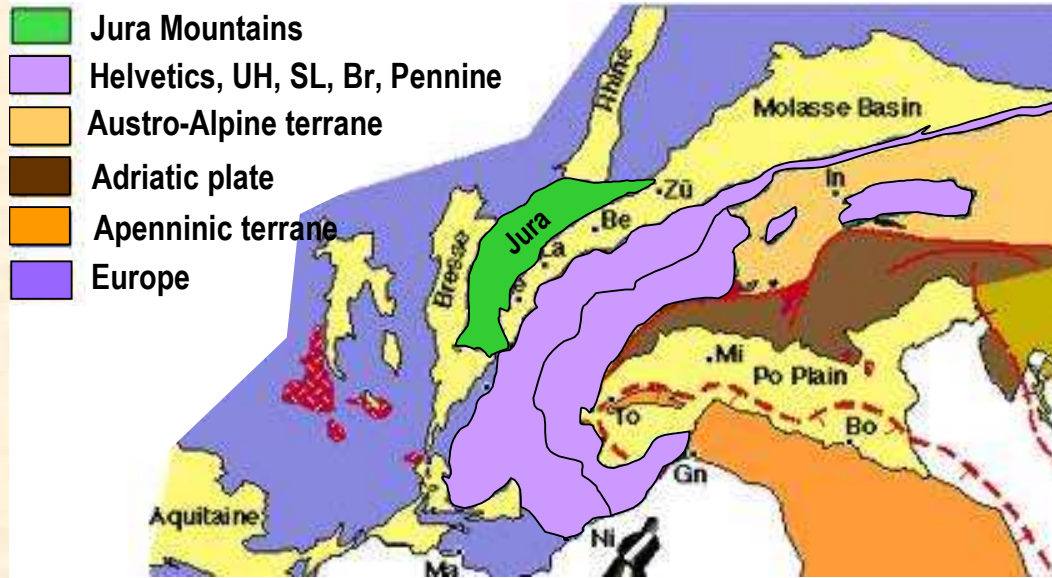




82. Geologické profily sz. části švýcarských Alp (podle vysvětlivek listu Sion, 1964). 1 – insubrická zóna, 2 – simmenský příkrov, 3 – brekciovitý příkrov, 4 – bradlový příkrov, 5 – niesenský příkrov, 6 – mezozoický obal, 7 – příkrov hory Dent Blanche, 8 – příkrov vrchů Monte Rosa – Saint Bernard, 9 – tessinské příkrovy, 10 – ultrahelvetikum, 11 – wildhornský příkrov, 12 – diableretský příkrov, 13 – příkrov morclesdoldenorský, 14 – autochtonní a paraautochtonní obal, 15 – krystalinická jádra, 16 – přesunutá molasa, 17 – výplň alpské předhlubně.

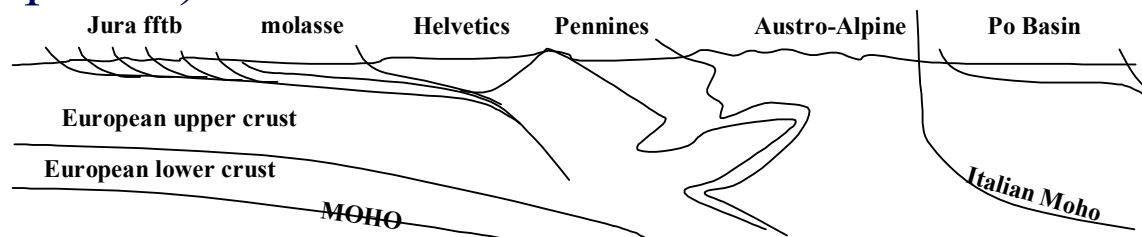


# The Alps

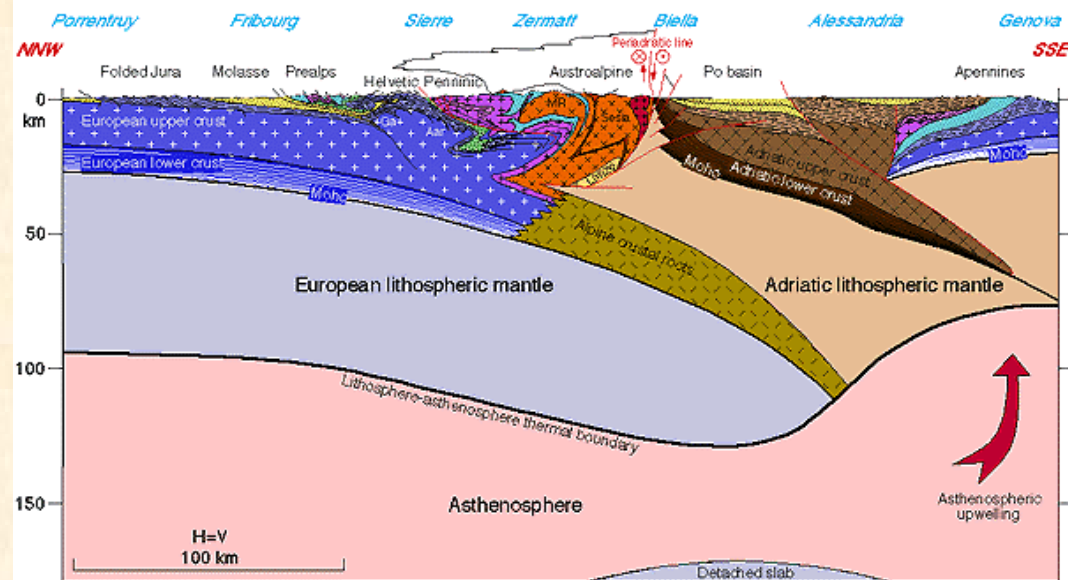


- contorted geometry mapped by down-plunge projections on Triassic-basement boundary (Argand, 1913)
- Dora Maira coesite-eclogites

- Austro-Alpine: southern hinterland
- thrust over all units (Tauern, Engadine windows)
- source is Adriatic plate (former Apulia)
- boundary in west = thrust, east = Insubric Line (younger dextral strike-slip fault)

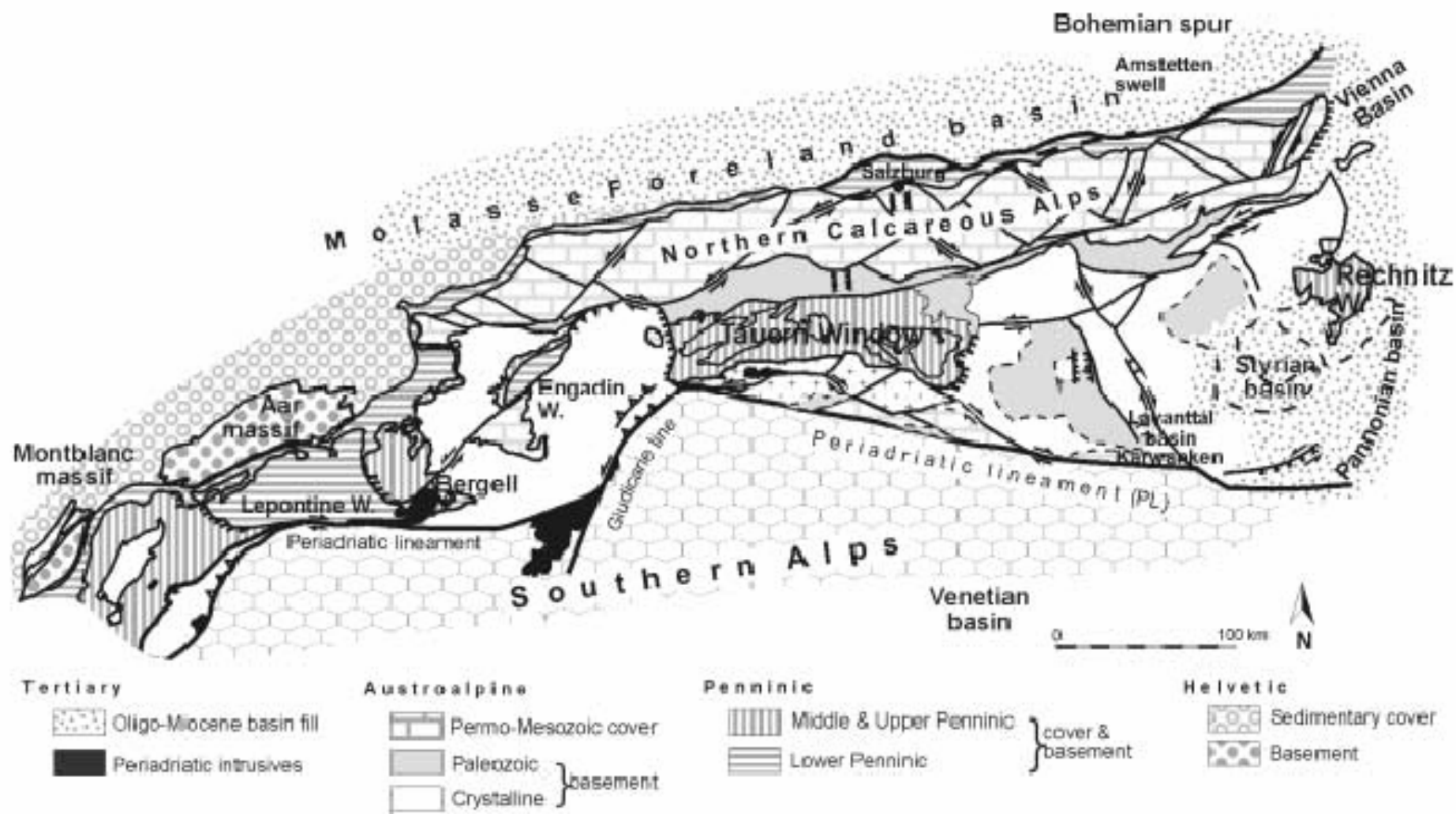


# The Alps

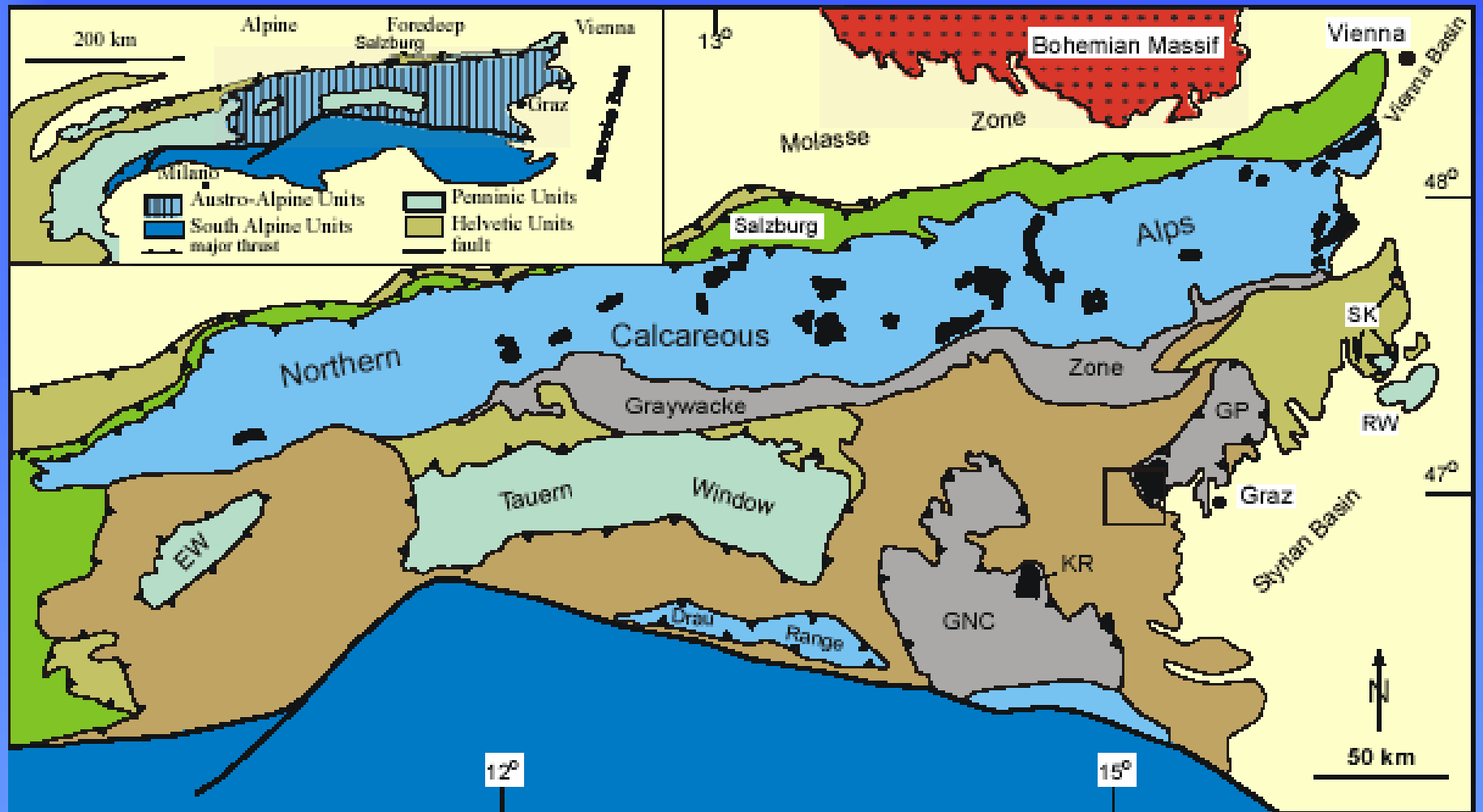


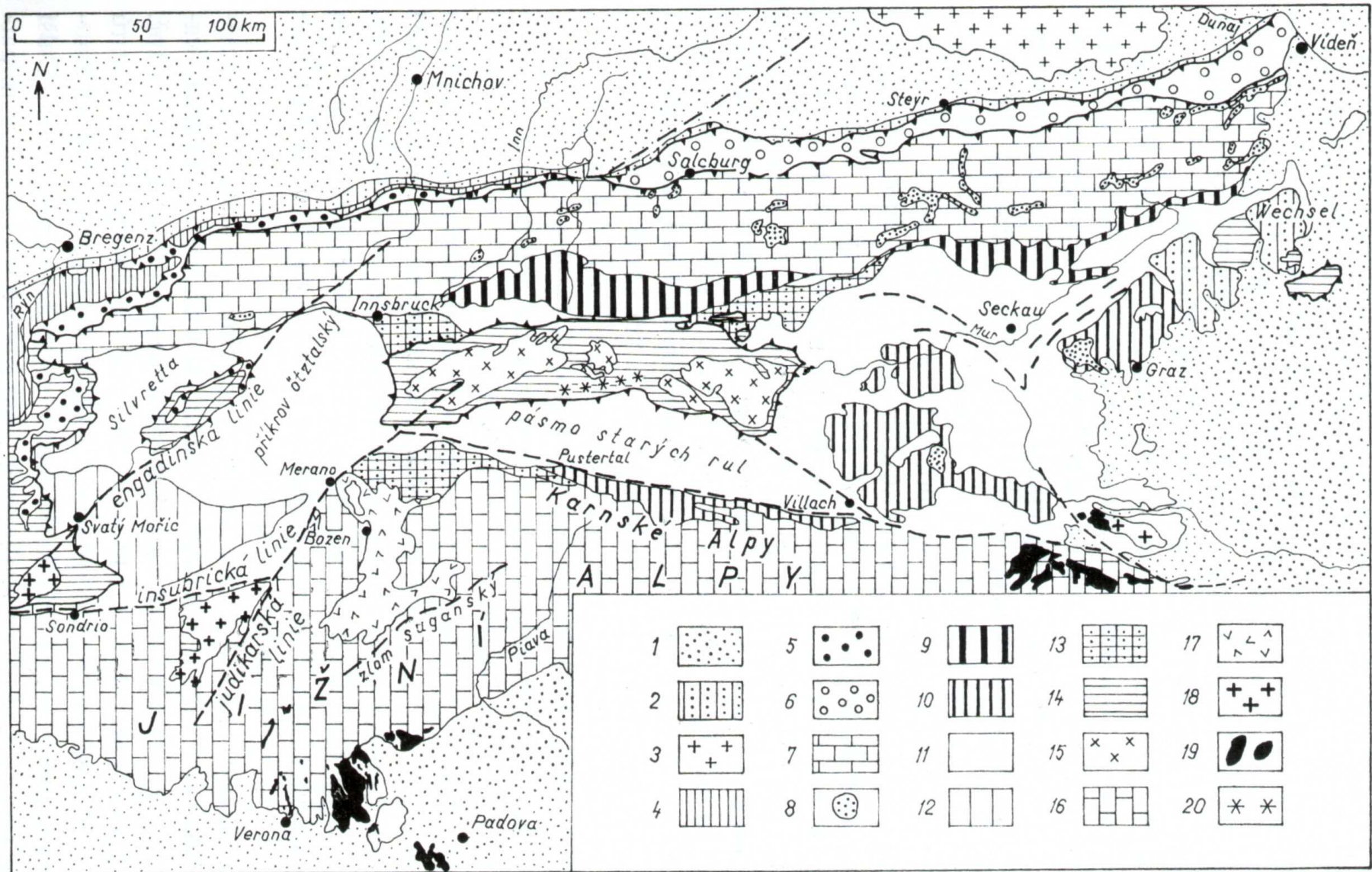
- European deep crustal traverse
- continues section down and south to Apennines.

# VÝCHODNÍ ALPY

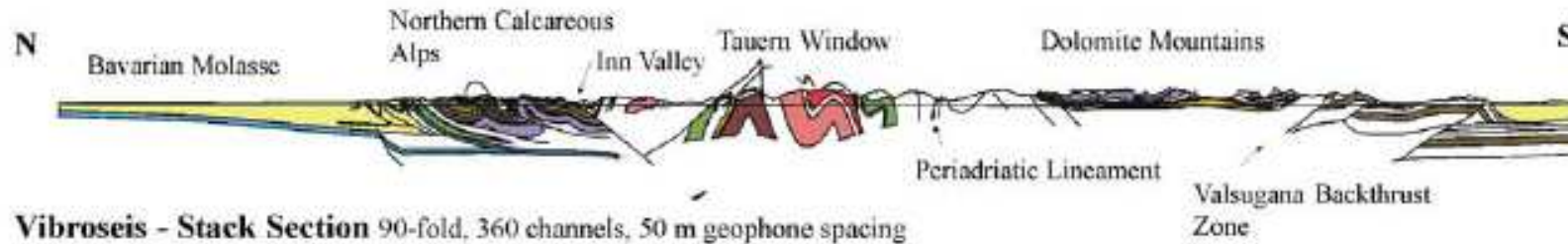


**Příkrovy austroalpinu** mají stejnou paleogeografickou provenienci jako jižní Alpy a jsou tvořeny naprosto bezkořennými šupinami basementu a jeho pokryvu, které byly odlepeny (delaminovány) od podložní litosféry již během křídý. Austridy jsou diferenciovány do 3 dílčích jednotek. Nejseverněji se ukládaly soubory **Unterostalpinu**, na jih od nich **Mittelostalpinu** a nejižněji **Oberostalpinu**. Unterostalpin byl sunut na nejmenší vzdálenosti a je nasunut na penninikum. Na něj je nasunut Mittelostalpin, tvořený centrálněalpským krystalinikem a denudačními zbytky metamorfovaného mesozoika. Největší plošné rozšíření má Oberostalpin jehož sedimentační prostor sousedil původně se sedimentačním prostorem jižních Alp. Je to soustava superficiálních příkrovů, ve kterých jsou kromě převládajícího mesozoika zastoupeny i paleozoické sedimenty (Grauwackenzone, grazské a gurktalské paleozoikum). Hlavní výskyty jsou v severních vápencových Alpách.



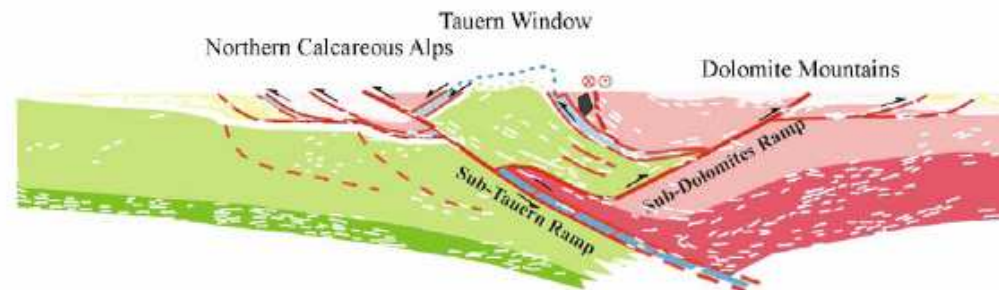


**Geological Section from Surface Mapping**

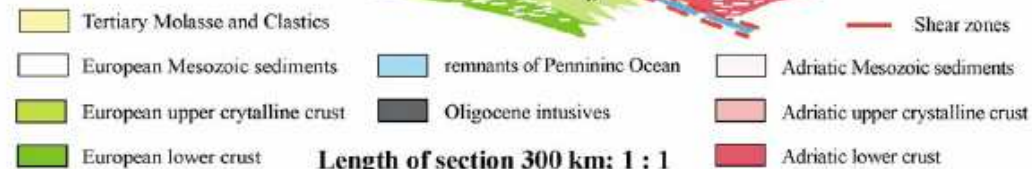
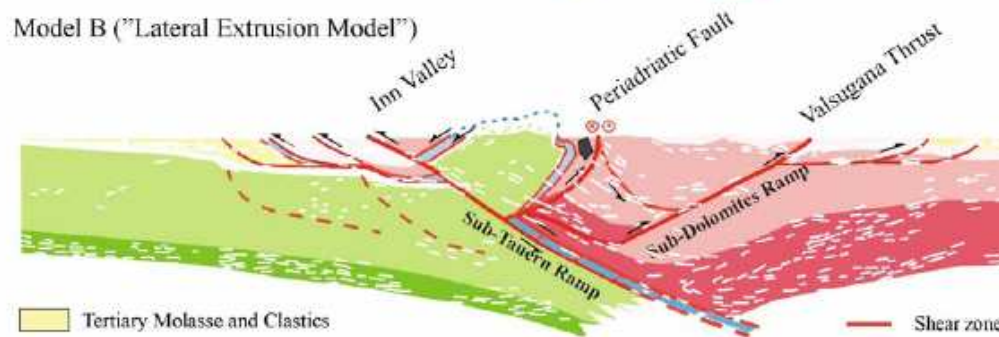


**Vibroseis - Stack Section** 90-fold, 360 channels, 50 m geophone spacing

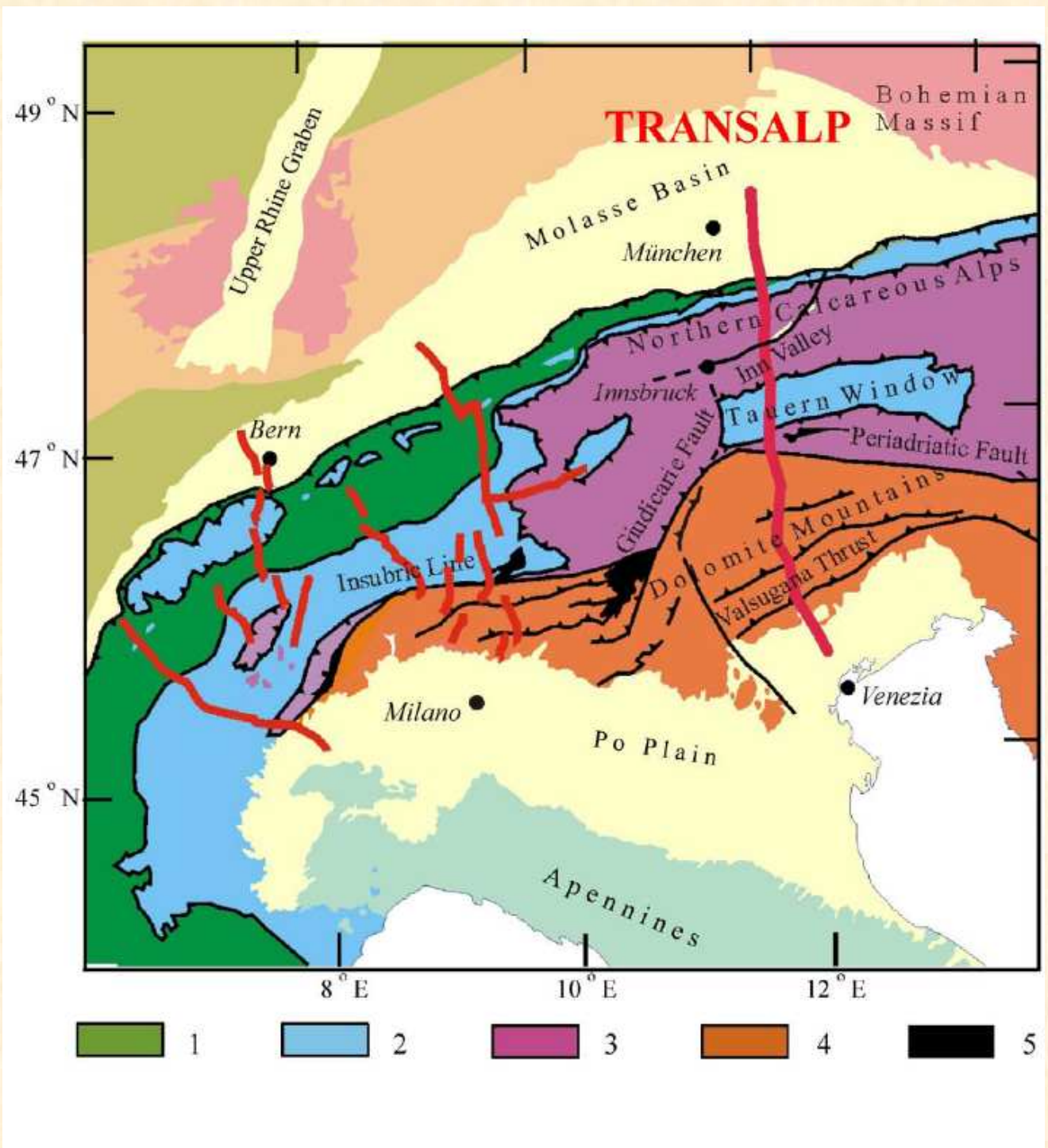
**Model A ("Crocodile Model")**

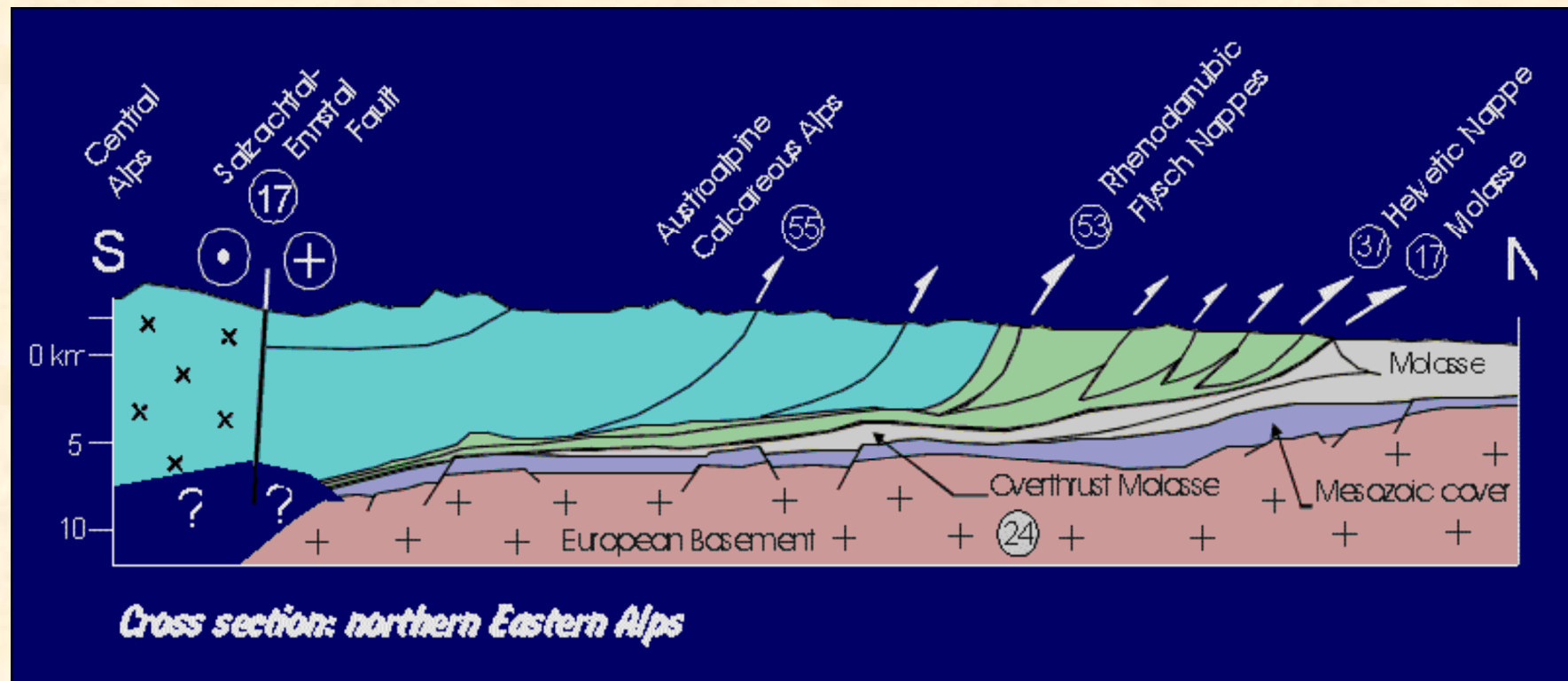


**Model B ("Lateral Extrusion Model")**







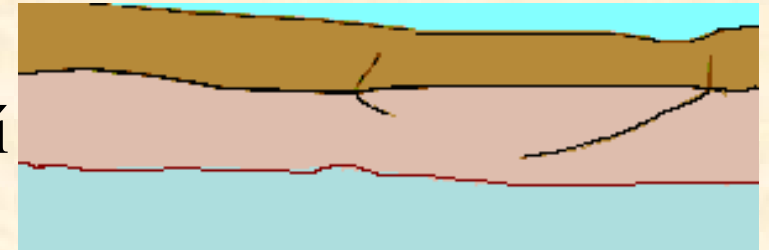


# OROGENETICKÝ VÝVOJ

**Období extenze – jura až spodní křída**

**Období komprese: Křídové fáze vrásnění**

**Terciérní fáze vrásnění**



**Alpy vznikly v důsledku subdukce tethydního oceánu pod Evropu, následovanou kolizí s Afrikou nebo africkými mikrokontinenty. Geologická stavba Alp vznikla ve dvou hlavních etapách. Křídové fáze postihly hlavně východní a západní Alpy, terciérní fáze se nejvíce projeví v centrálních Alpách (peninikum, helvetikum, molasa).**

**Ve střední křídě došlo ke kolizi a jednotky austrid byly přesunuty přes peninikum. Křídová orogeneze ve východních Alpách nemá vztah k terciérní orogenezi protože obě etapy konvergence jsou odděleny extenzí ve svrchní křídě (Gossau). Křídová orogeneze kromě příkrovů austrid postihla ještě piedmontskou jednotku peninika, další jednotky penninika však zůstaly nepostiženy (brianconská, valaiská).**

N

S

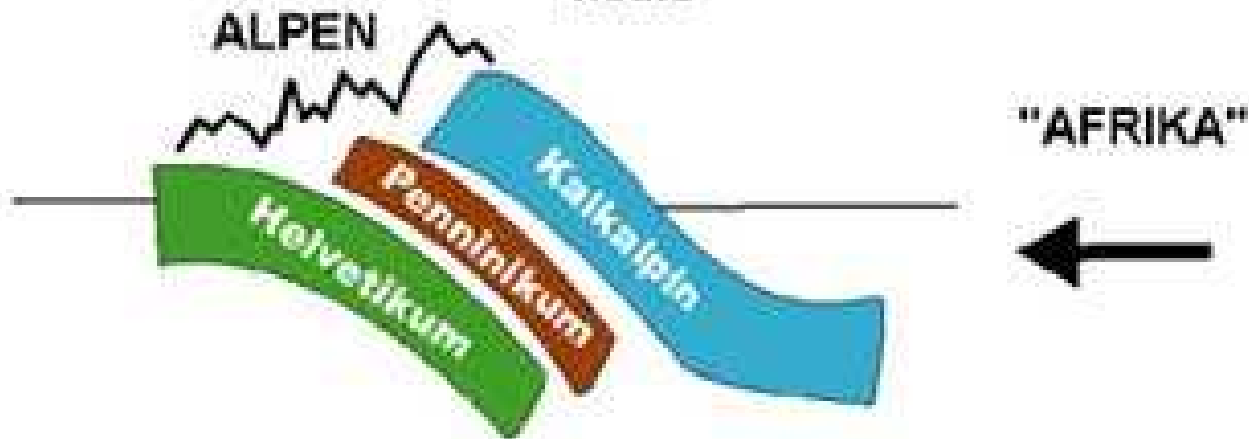
vor ca. 200 Mio. Jahren

**Evropská deska**

**Adriatická deska**



heute



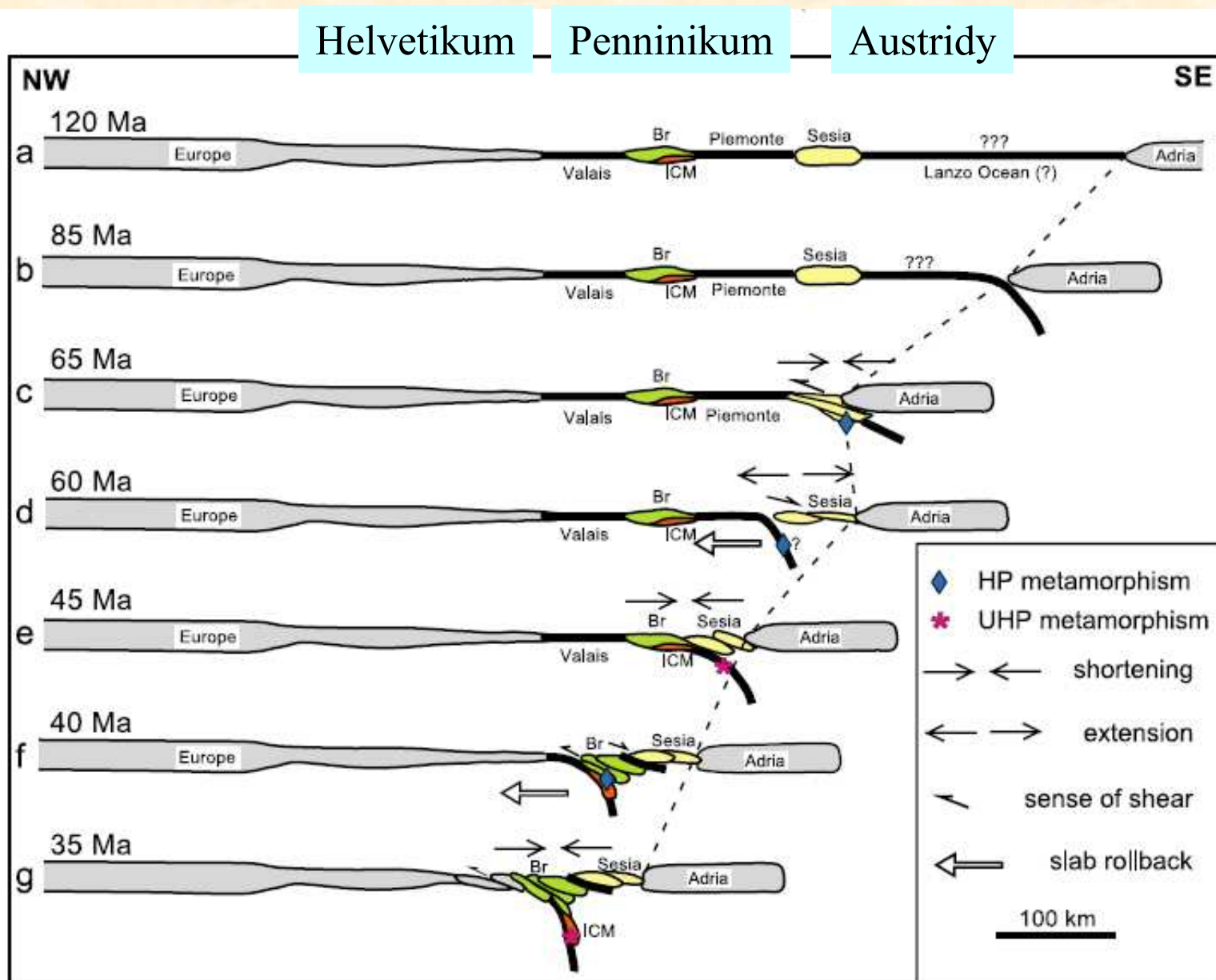
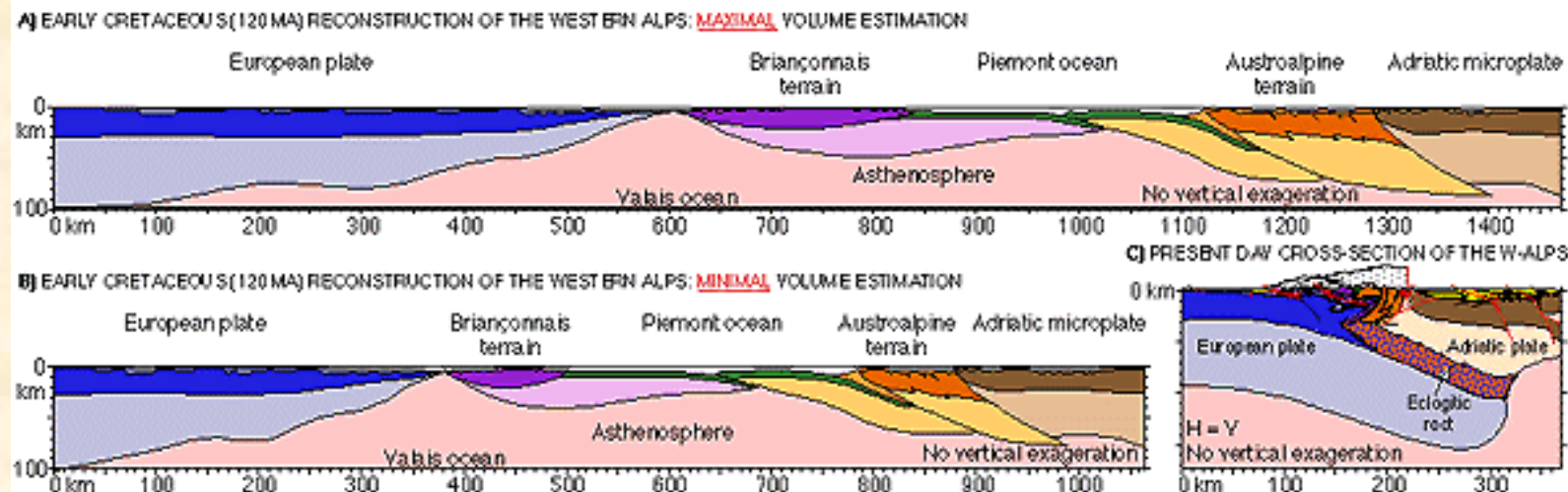


Fig. 12. Possible tectonic model for the evolution of the Western Alps from the early Cretaceous to the Oligocene. The kinematic boundary conditions for the motion of Adria and Europe are based on the motion of Africa with respect to Europe (after Rosenbaum et al., 2002a). Geochronological data after Gebauer et al. (1997), Rubatto et al. (1998, 1999) and Rubatto and Hermann (2001, 2003). Note that switches from shortening to extension correspond to transitions from accretionary events to subduction rollback. Br, Briançonnais; ICM, Internal Crystalline Massifs.

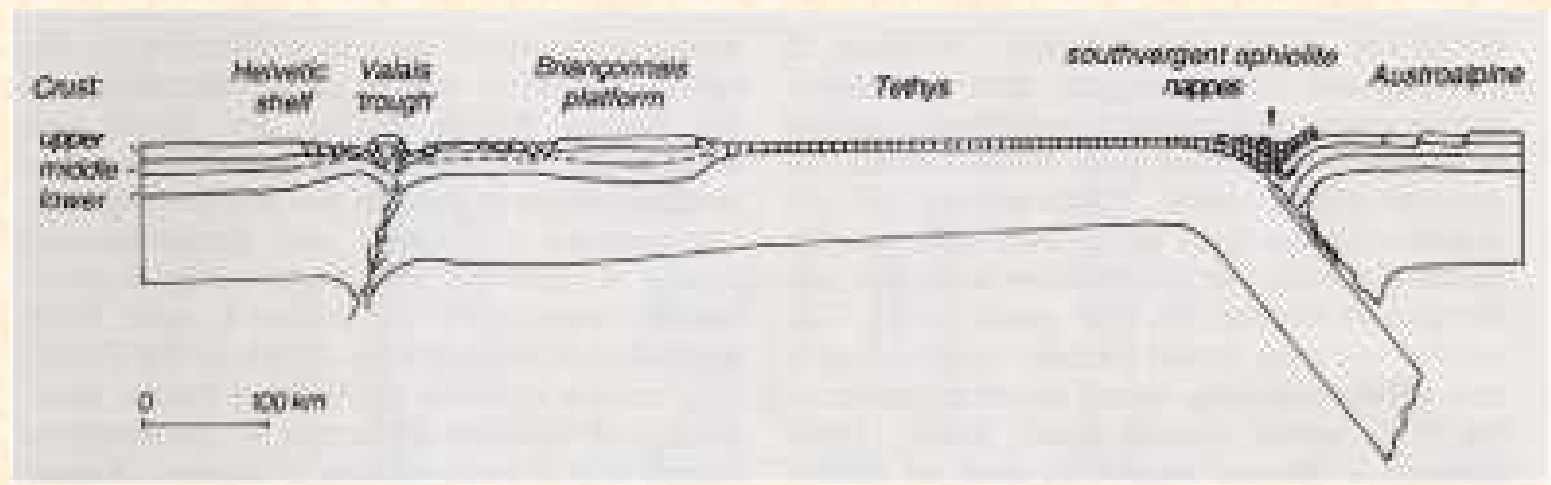
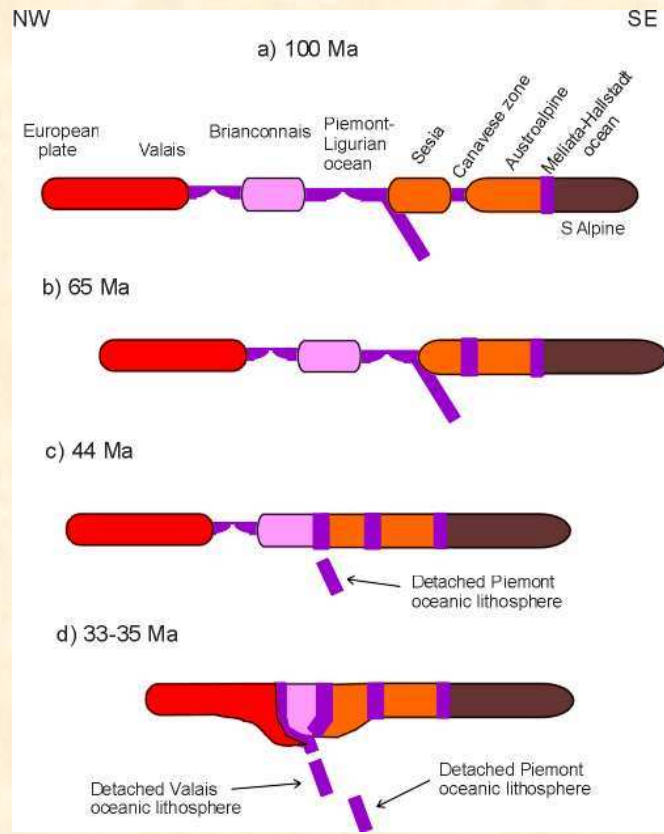


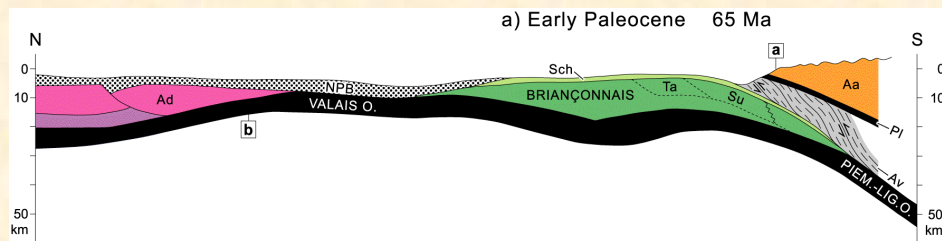
Surfaces in km <sup>2</sup>	Fig. a)	Fig. b)	Fig. c)
European sediments	1'318	827	672
European crust	12'093	6'848	4'976
Briançonnais sediments	284	181	73
Briançonnais crust	3'023	1'370	426
Austroalpine sediments	904	724	25
Austroalpine crust	3'643	1'912	1'002
Eroded material	-	-	1'836
<b>Total</b>	<b>21'265</b>	<b>11'862</b>	<b>9'010</b>
Total including the Eclogitic root (3'682)	21'265	11'862	12'692

Thus, even the minimum estimate implies an Eclogitic root of about

**2'900 km<sup>2</sup>**

Mass balancing of the NRP20 Western traverse at a lithospheric scale. Two (a maximum and minimum estimate) Early Cretaceous palinspatic reconstructions are shown with a present-day cross-section for comparison. Even with the minimum estimate quite an amount of continental crust is missing in the present state. It was probably subducted and now forms an eclogitic root below the Po plain

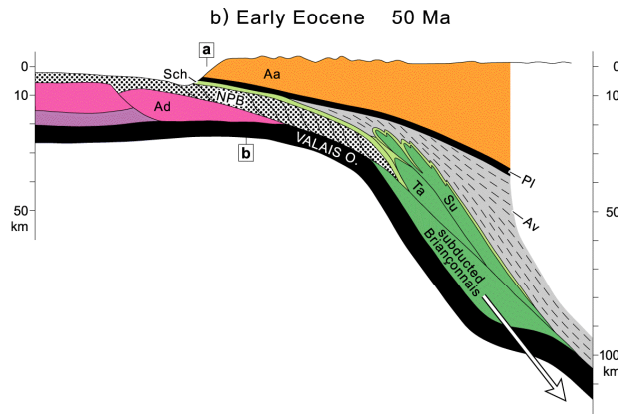




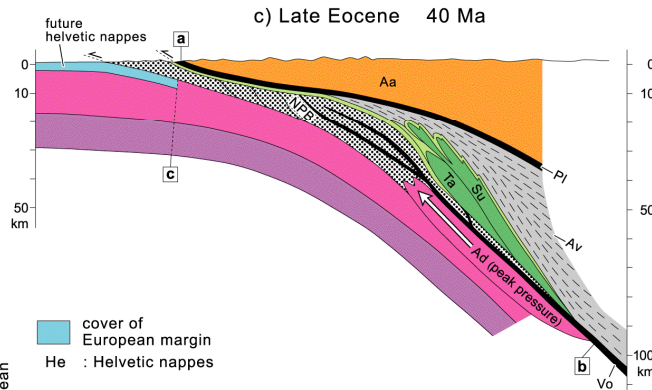
Počátek subdukce brianconského teránu (zelená)

## Terciérní kolize

Brianconský terán celý subdukoval a do subdukční zóny se dostává jižní okraj stabilní Evropy (příkrov Adula – červená)



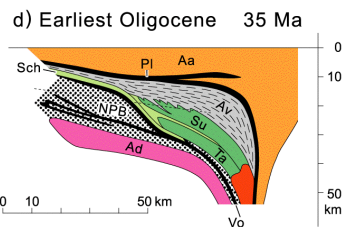
Subdukce jižního okraje Evropy (příkrov Adula)



Tvorba příkrovů peninka – šedá. Odlepení (detachement) helvetika

N of Insubric line:

- |  |   |                                |
|--|---|--------------------------------|
| upper crust of Apulian margin                  | } orogenic lid<br>Piemont-Liguria ocean | cover of European margin       |
| Aa : Austroalpine nappes                       |   | He : Helvetic nappes           |
| PI : Platta-Arosa ophiolites                   | } Piemont-Liguria ocean                 | upper crust of European margin |
| Av : Avers Bündnerschiefer                     |   | Ad : Adula nappes              |
| Briançonnais upper crust                       |   | Gr : Gruf nappes               |
| Su : Suretta nappes                            |   | S : Simano nappes              |
| Ta : Tambo nappes                              |   | Lu : Lucomagno nappes          |
| Sch : Schams nappes                            |   | Go : Gotthard massif           |
| Valais oceanic crust and subcontinental mantle |   | Aar : external massif          |
| Vo : Valais ophiolites                         |   | lower crust of European margin |
| North Penninic Bündnerschiefer (NPB)           |   | Bergell intrusion              |



Pod orogenetickou pokličkou příkrovů austrid se vytváří akreční klín



## Postkolizní stadium 1 – 35-20 Ma

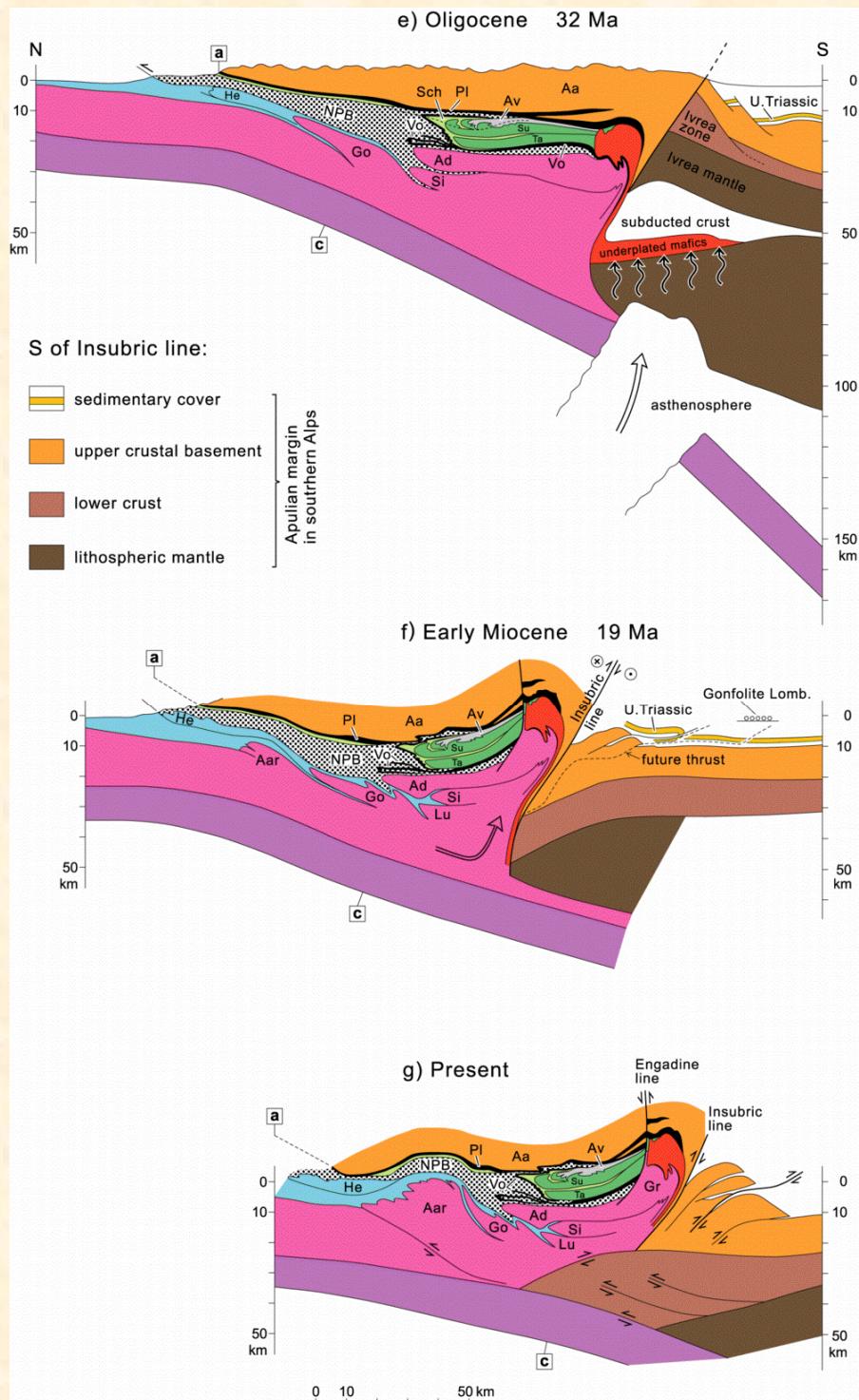
Upwelling astenosféry - intruze. Sunutí příkrovů v helvetiku.  
Deformace krystalinika evropské desky, odlepení od litosféry a vznik příkrovů fundamentu (vnější krystalin. masivy).

Další růst akrečního klínu vedl k tomu, že oddělila od subdukující části evropské kůry a byla sunuta zpětně přes k severu ukloněnou insubrickou linii.

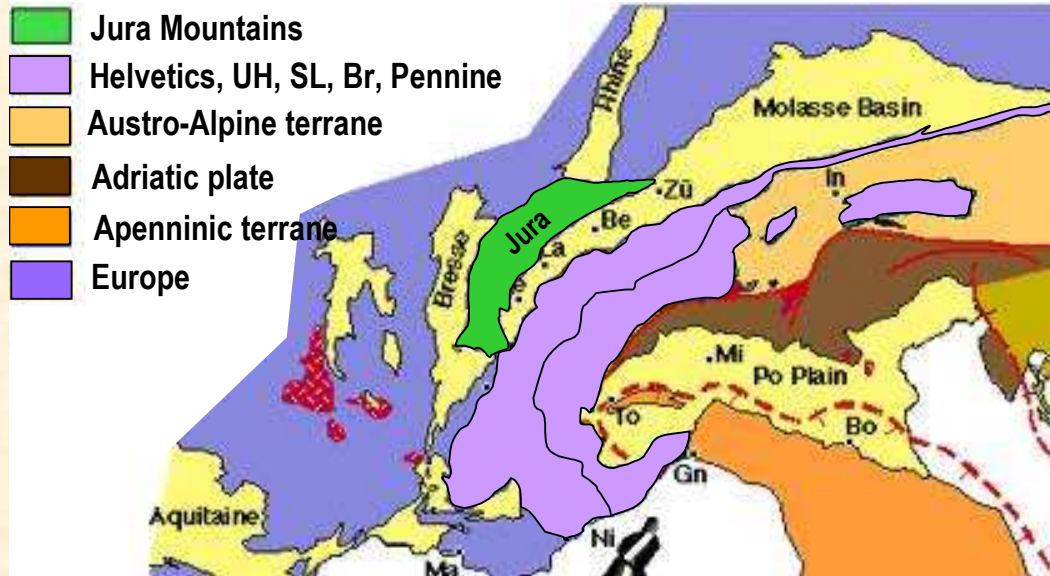
## Postkolizní stadium 2 - 20 -7 Ma

Další krustální ztlustění v centrální části alpského orogenu vedlo k rychlému postupu deformační fronty od insubrické linie k rovině Pádu (jižní Alpy) i k severnímu předpolí (sunutí v podloží masivu Aar a v jižní části molasové pánve) asi před 20Ma. V jižních Alpách deformace skončila před 7Ma.

V severním předpolí během svrchního seravalu 12Ma deformace náhle postoupila do předpolí zahrnující i západní část molasové pánve a pohoří Jura do orogenního klínu.

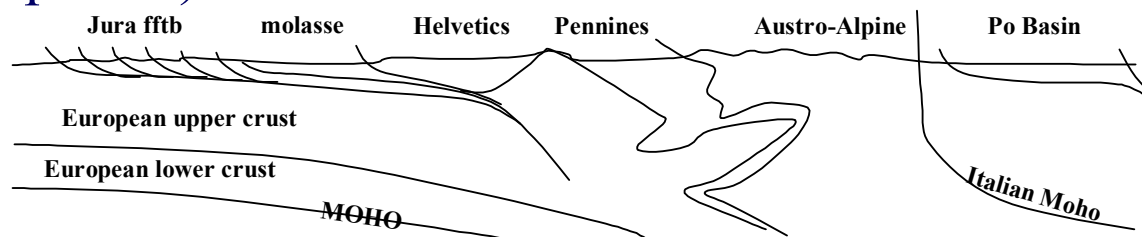


# The Alps

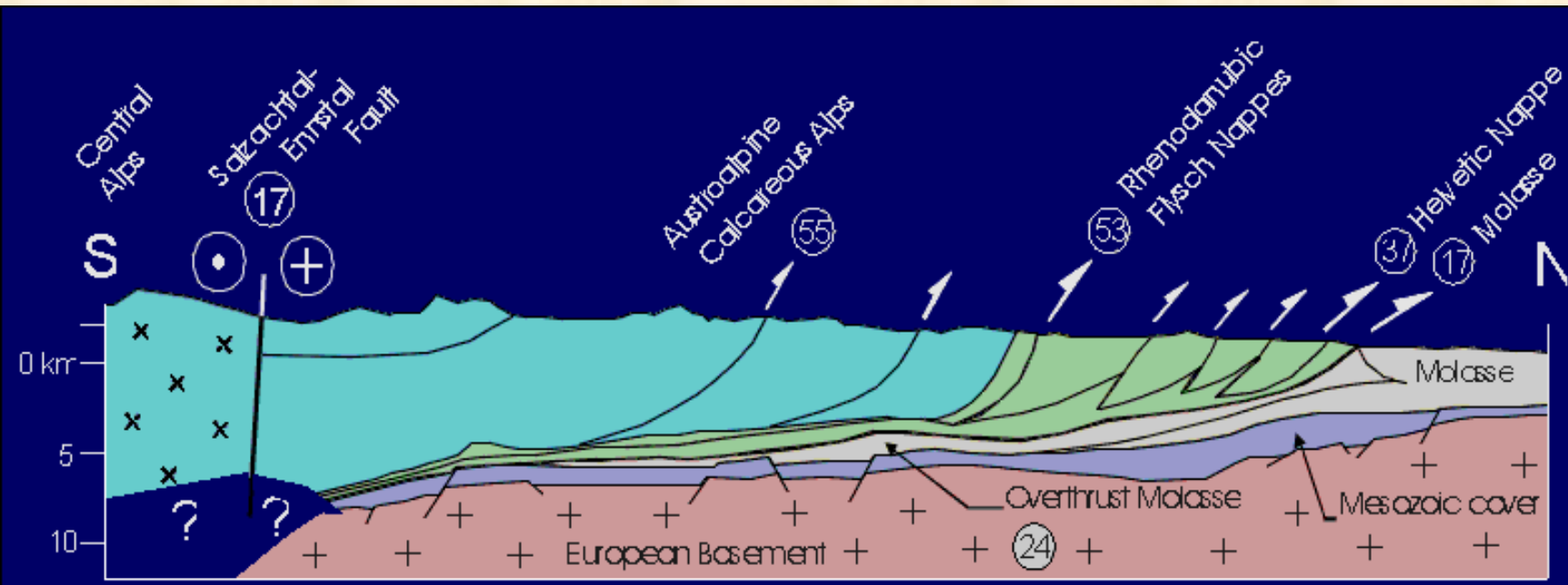


- contorted geometry mapped by down-plunge projections on Triassic-basement boundary (Argand, 1913)
- Dora Maira coesite-eclogites

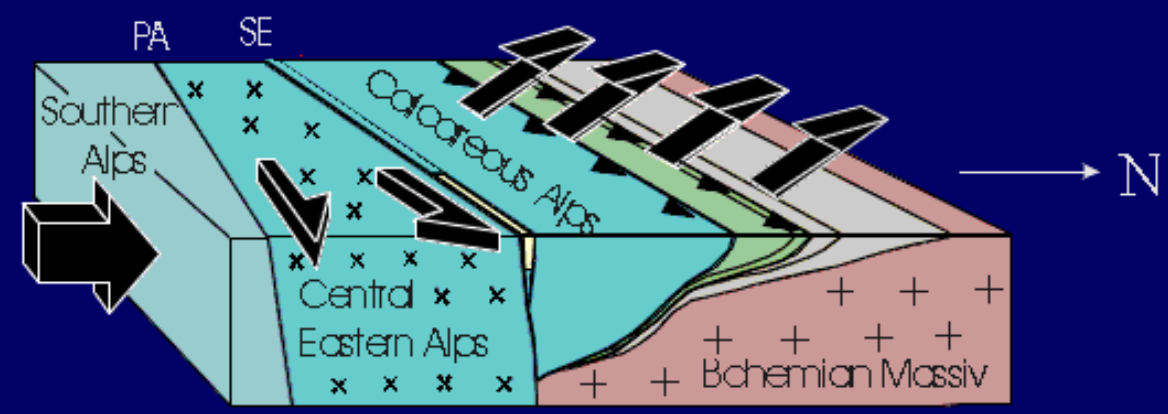
- Austro-Alpine: southern hinterland
- thrust over all units (Tauern, Engadine windows)
- source is Adriatic plate (former Apulia)
- boundary in west = thrust, east = Insubric Line (younger dextral strike-slip fault)





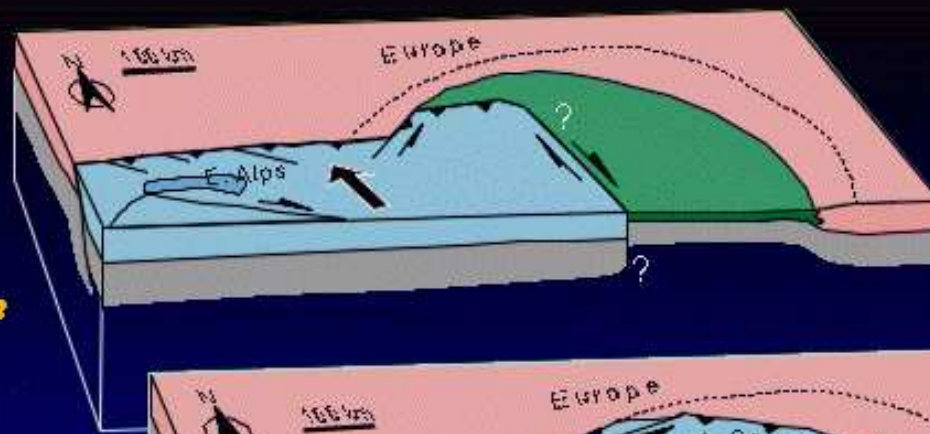


**Cross section: northern Eastern Alps**

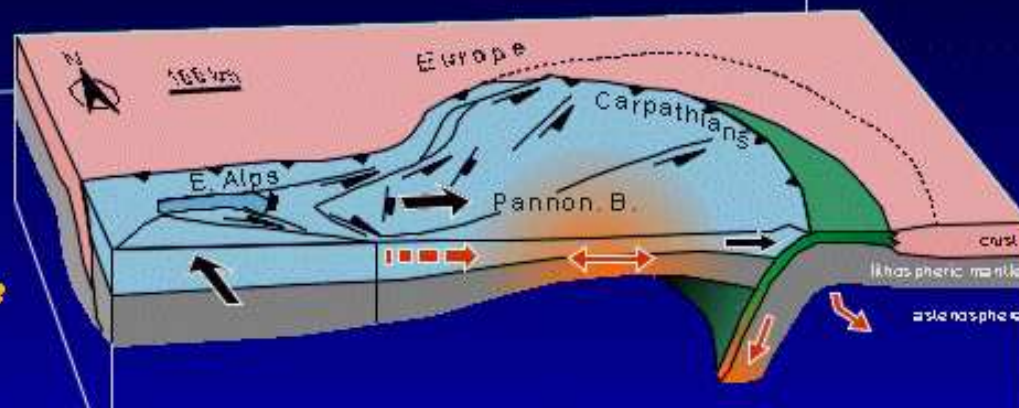


**Thrusting and extrusion in the Eastern Alps**

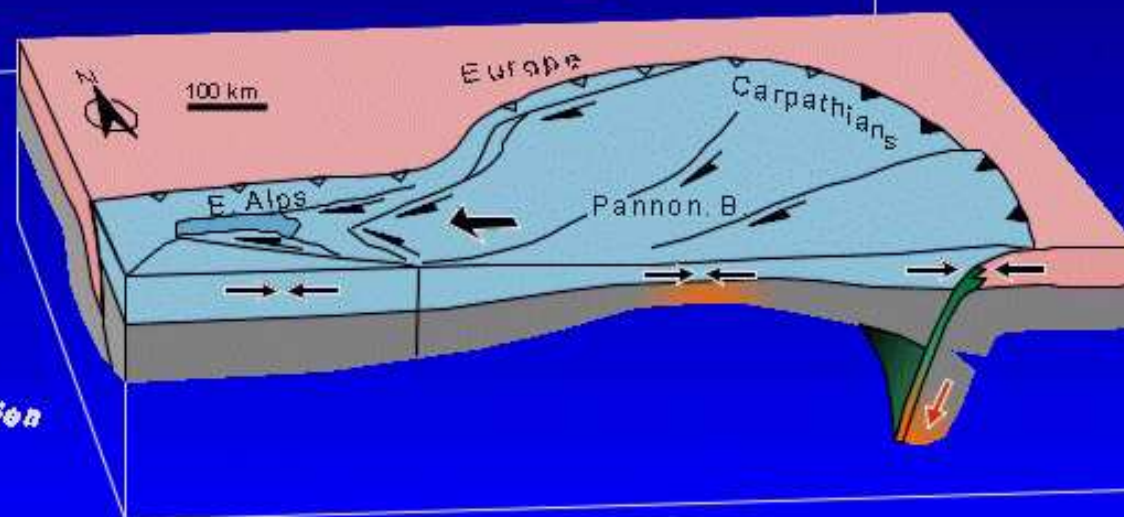
**Oligocene /  
Early Miocene**  
*thrusting*

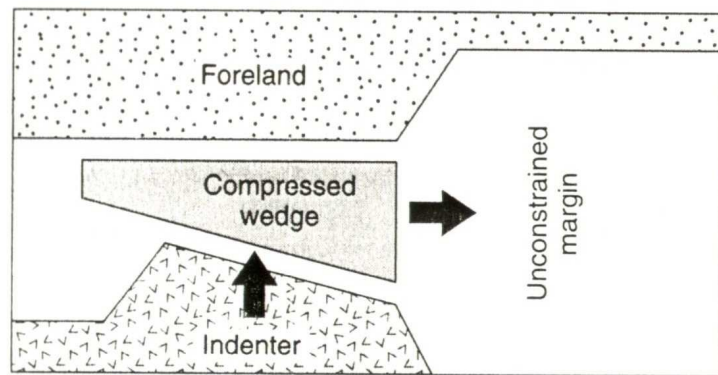


**Early / Middle Miocene**  
*extrusion  
back arc extension  
subduction retreat*

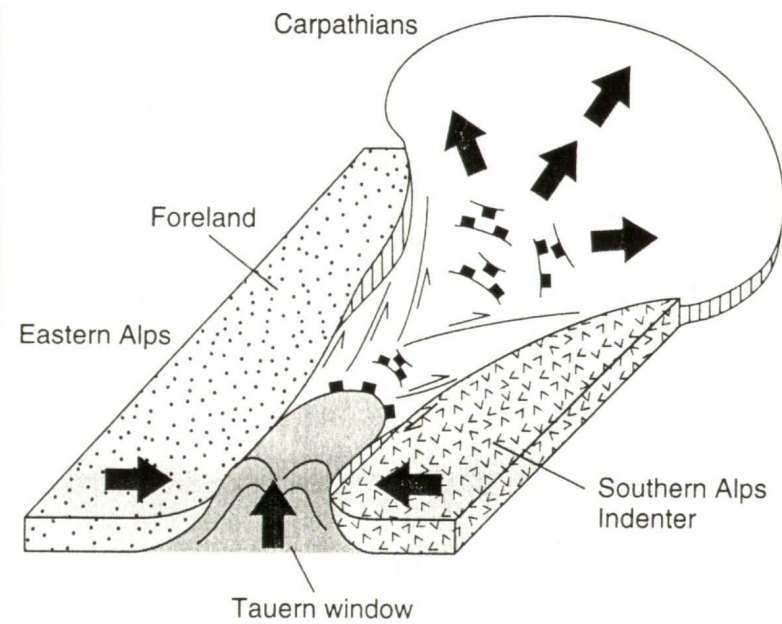


**Late Miocene**  
*Soft collision  
E-W compression*





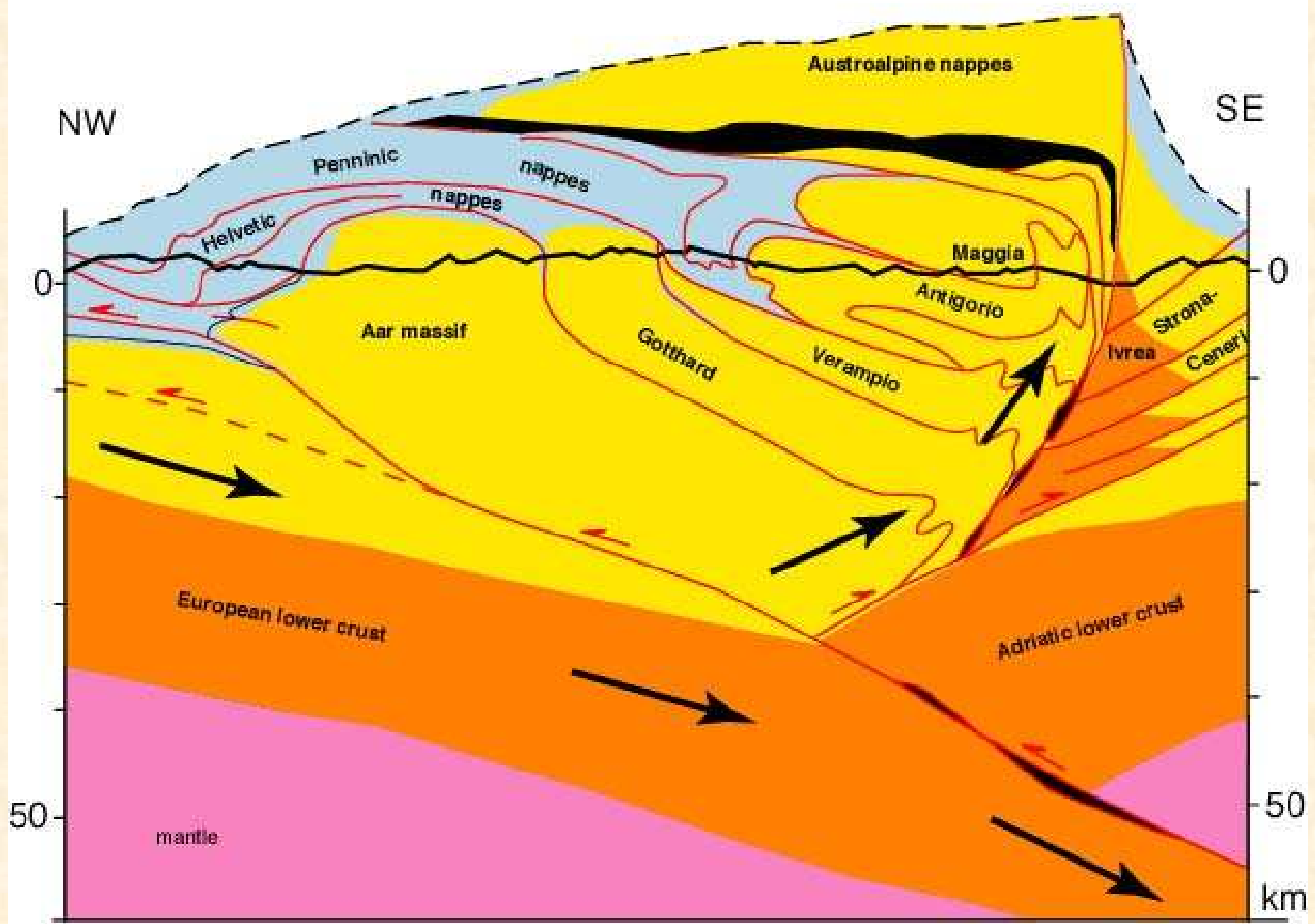
**A.**



**B.**

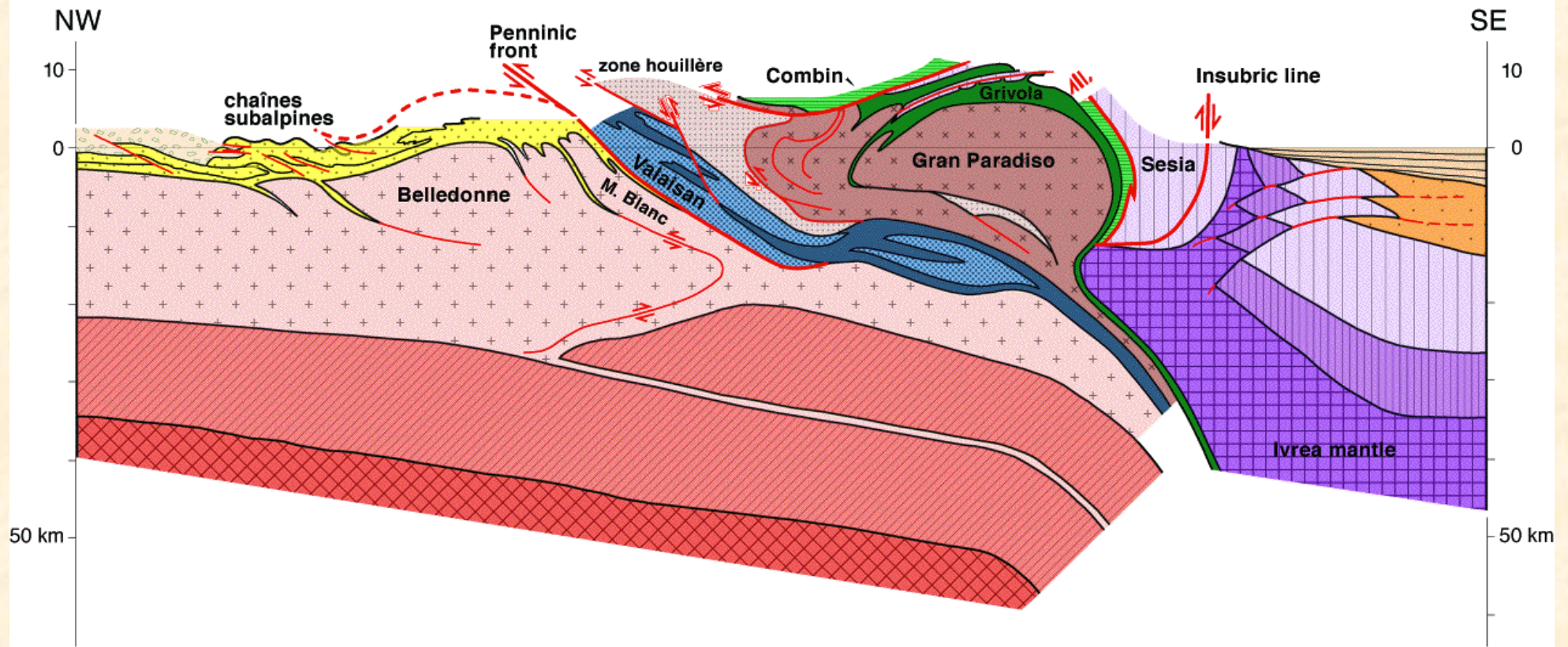
# **GEOLOGICKÉ ŘEZY**

# Central Traverse





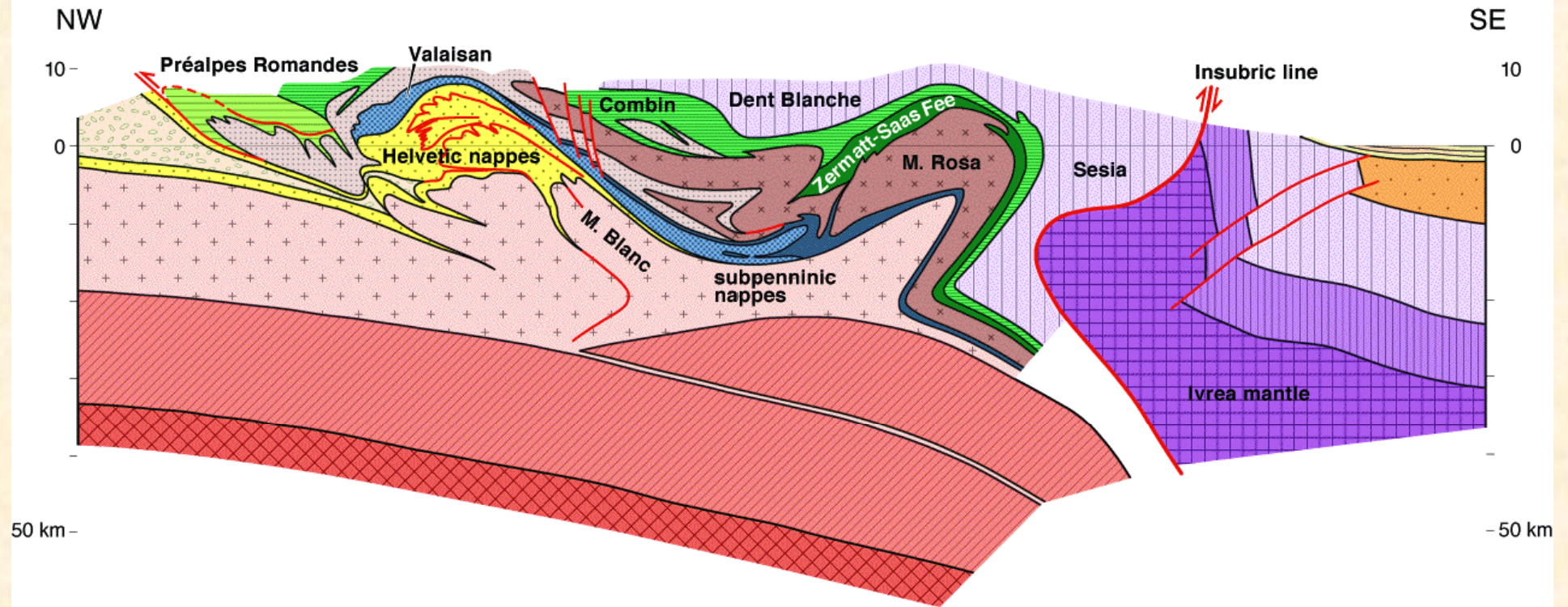
# ECORS-CROP



- |  |  |  |                         |                   |            |   |                              |
|--|--|--|-------------------------|-------------------|------------|---|------------------------------|
|  | Molasse basin                            |  | Combin zone             | } Piemont-Liguria |            | Burdigalian-Pliocene  |                              |
|  | Mesozoic cover (European margin)         |  | Zermatt-Saas Fee        |                   |            | cover   |                              |
|  | upper crustal basement (European margin) |  | upper crustal basement  | } Briançonnais    |            | upper crust (Apulian margin):<br>Sesia-D. Blanche + basement of S. Alps |                              |
|  | lower crust (European margin)            |  | cover ophiolitic suture |                   | } Valaisan |   | lower crust (Apulian margin) |
|  | mantle (European margin)                 |  |                         |                   |            | mantle (Apulian margin)   |                              |

(A)

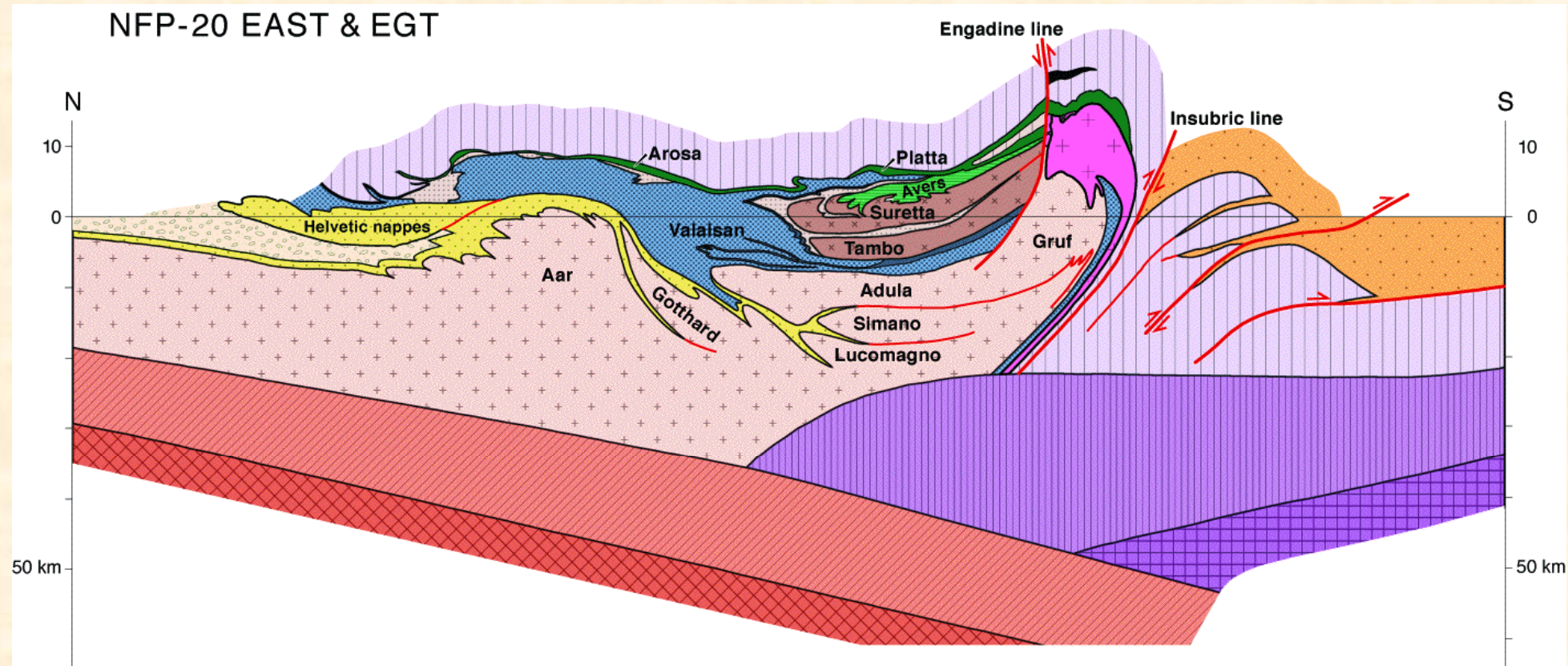
# NFP-20 WEST



- |  |  |  |                         |                      |  |   |
|--|--|--|-------------------------|----------------------|--|---|
|  | Molasse basin                            |  | Combien zone            | } Piemonte-Liguria   |  | Burdigalian-Pliocene  |
|  | Mesozoic cover (European margin)         |  | Zermatt-Saas Fee        |                      |  | cover of S. Alps  |
|  | upper crustal basement (European margin) |  | nappe Supérieure        | } Piemonte-Liguria ? |  | upper crust (Apulian margin):<br>Sesia-D. Blanche + basement of S. Alps |
|  | lower crust (European margin)            |  | cover                   | } Briançonnais       |  | lower crust (Apulian margin)  |
|  | mantle (European margin)                 |  | upper crustal basement  |                      |  | mantle (Apulian margin)   |
|  |  |  | cover ophiolitic suture | } Valaisan           |  |   |

(B)

# NFP-20 EAST & EGT



Molasse basin

Mesozoic cover (European margin)

upper crustal basement (European margin)

lower crust (European margin)

mantle (European margin)

ophiolitic suture (Arosa-Platta) } Piemont-Liguria  
Avers Bündnerschiefer }

cover } Briançonnais  
upper crustal basement }

N-Penninic Bündnerschiefer } Valaisan  
ophiolitic suture }

Bergell intrusion

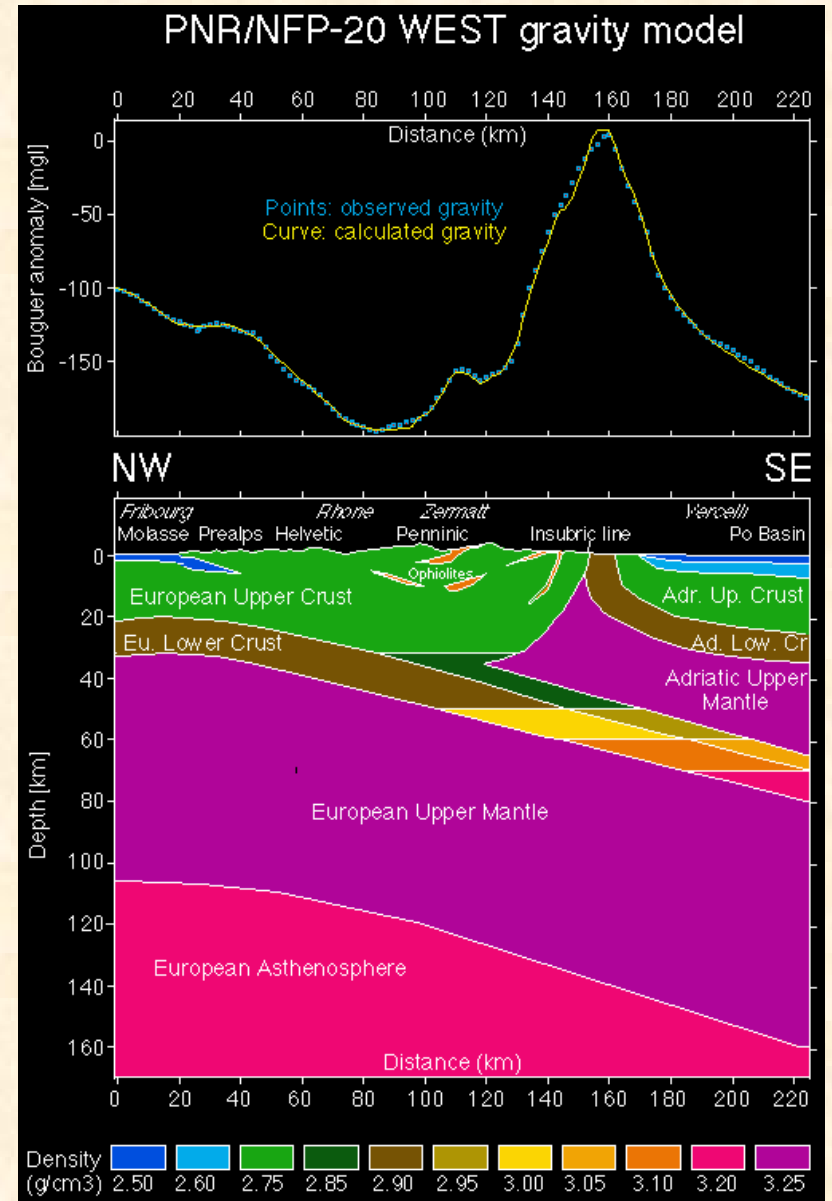
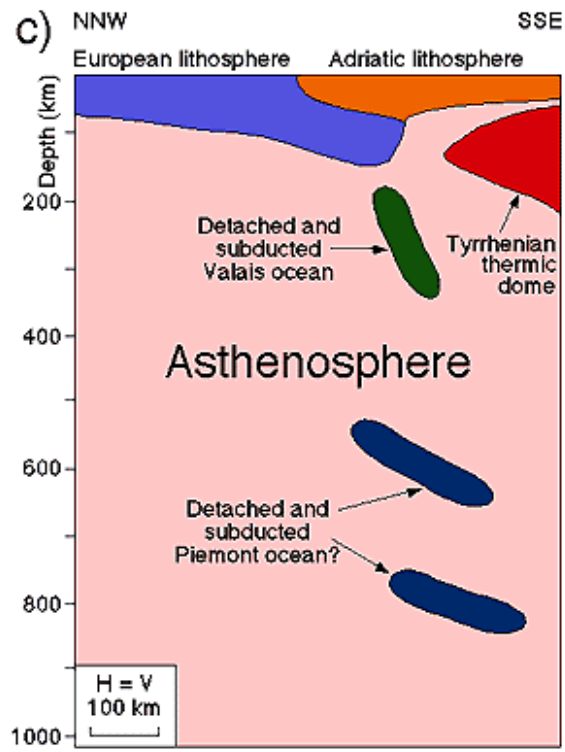
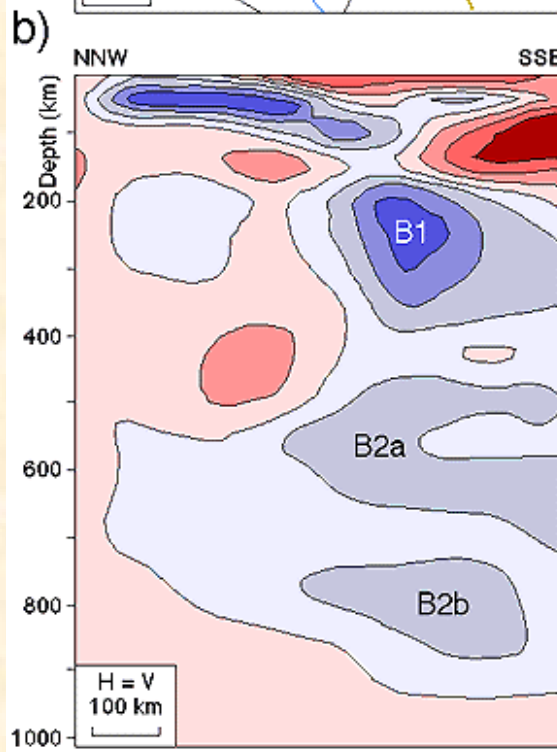
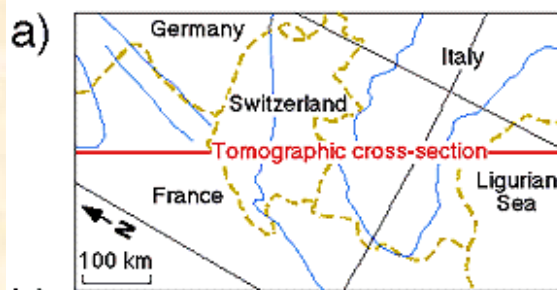
cover of S. Alps

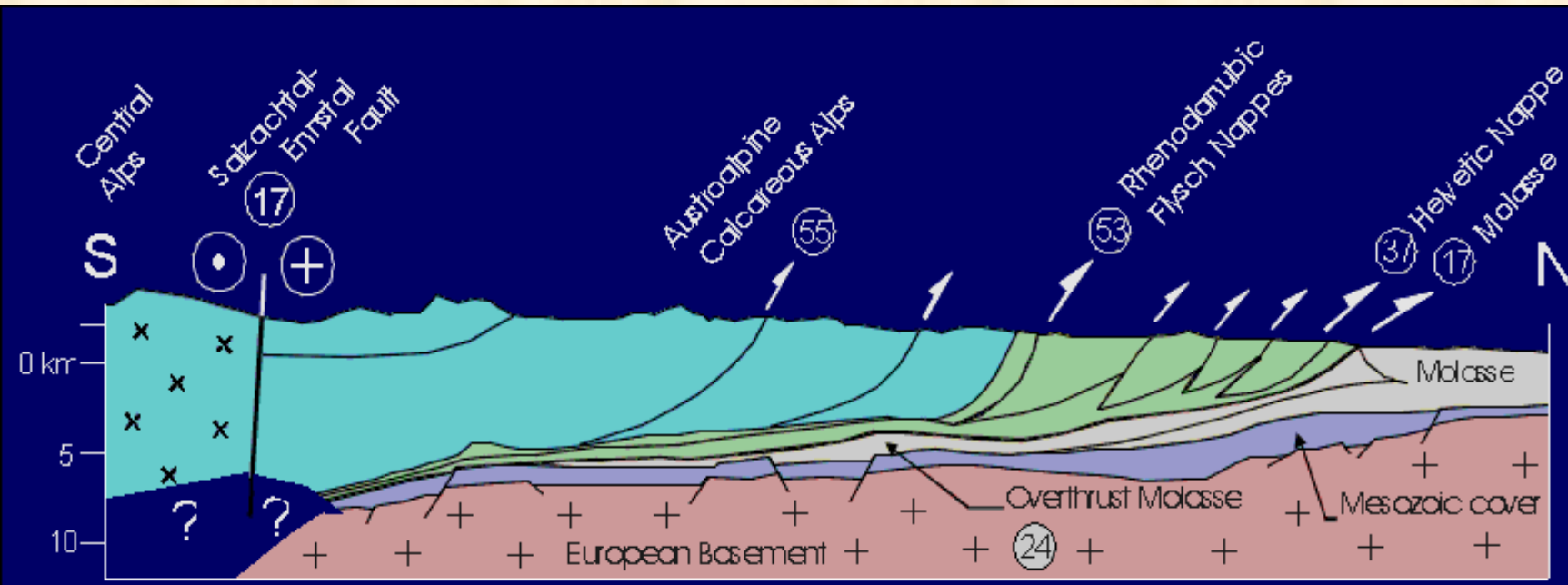
upper crust (Apulian margin):  
Austroalpine nappes + basement of S. Alps

lower crust (Apulian margin)

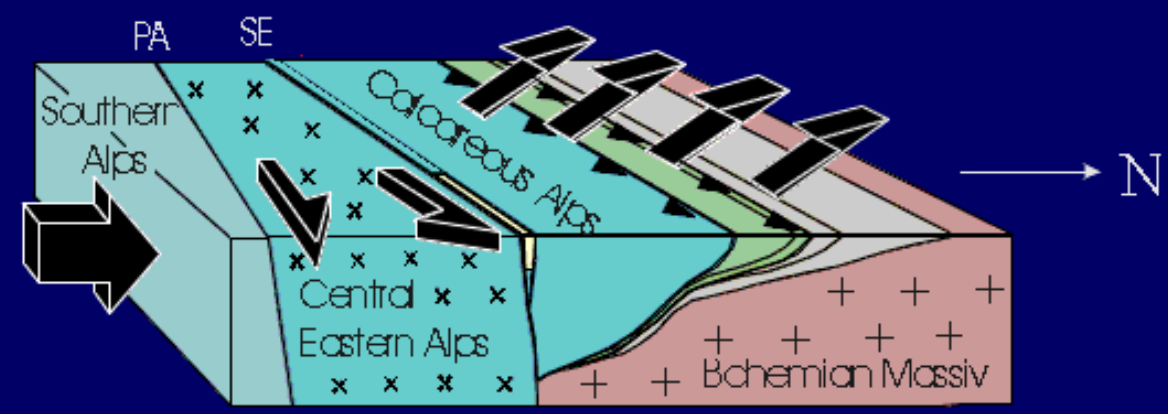
mantle (Apulian margin)





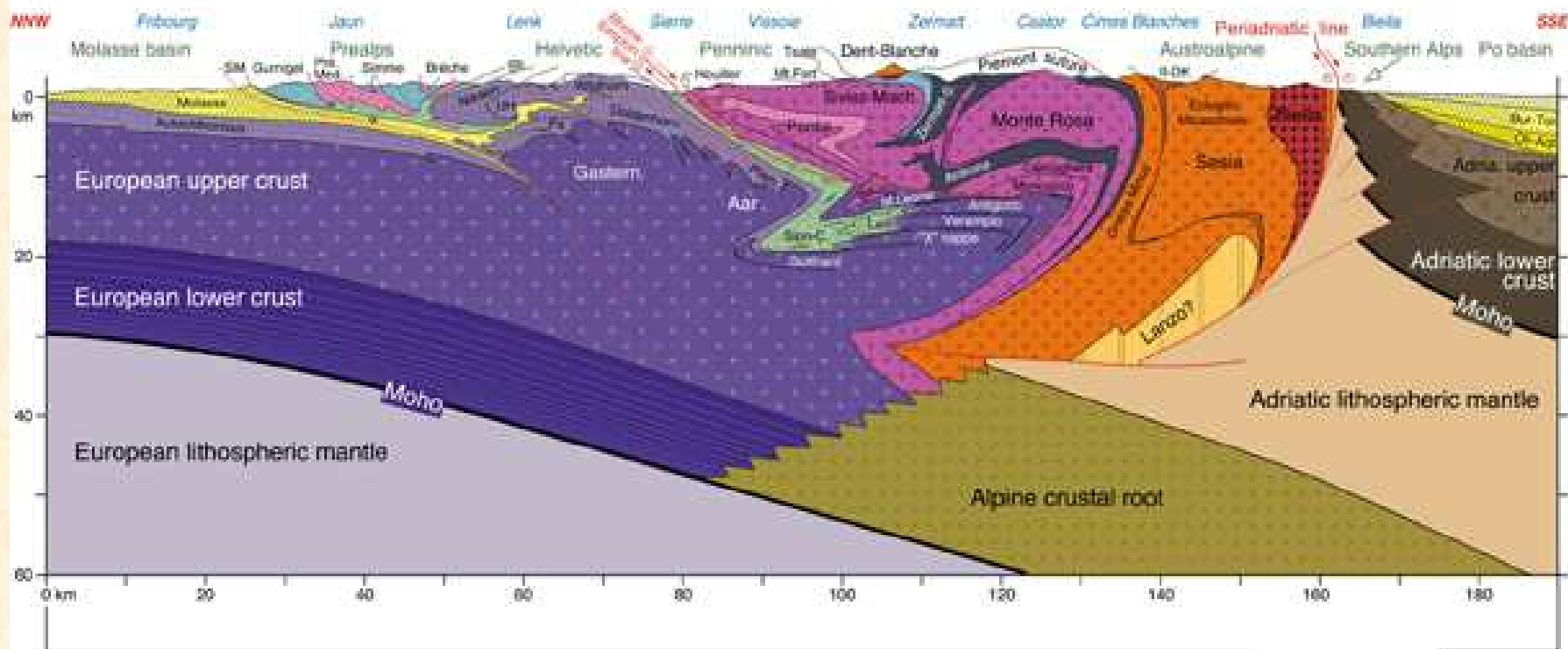


***Cross section: northern Eastern Alps***

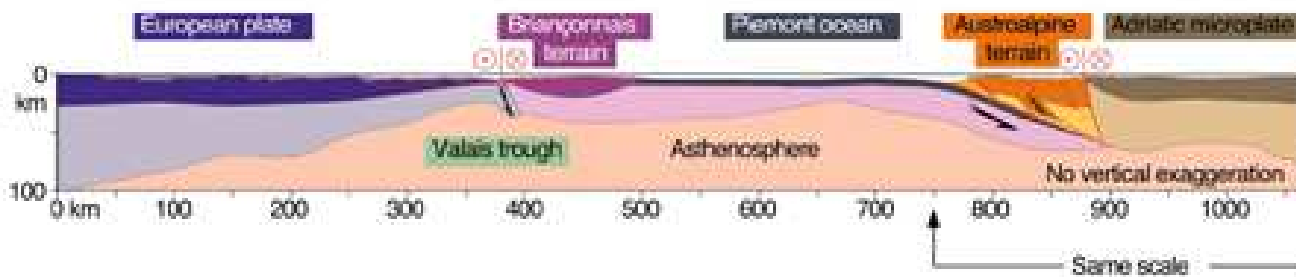


***Thrusting and extrusion in the Eastern Alps***

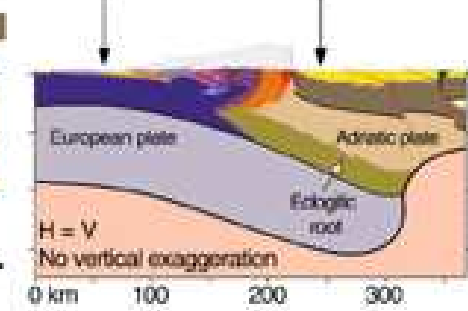
A) PRESENT DAY CRUSTAL SCALE CROSS SECTION OF THE WESTERN ALPS ALONG THE NRP-20 DEEP SEISMIC TRAVERSE



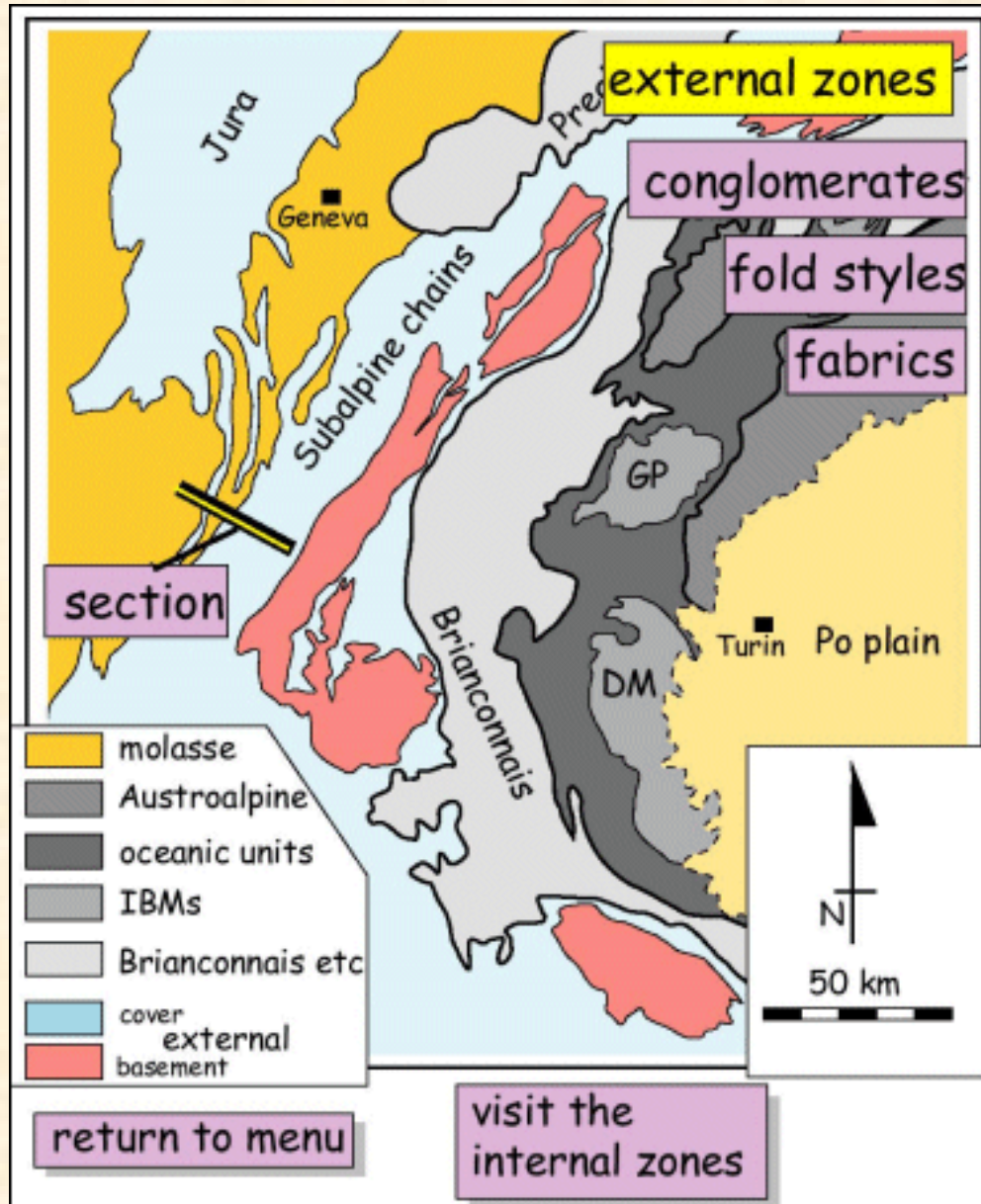
B) LATE CRETACEOUS (90 MA) RECONSTRUCTION OF THE WESTERN ALPS



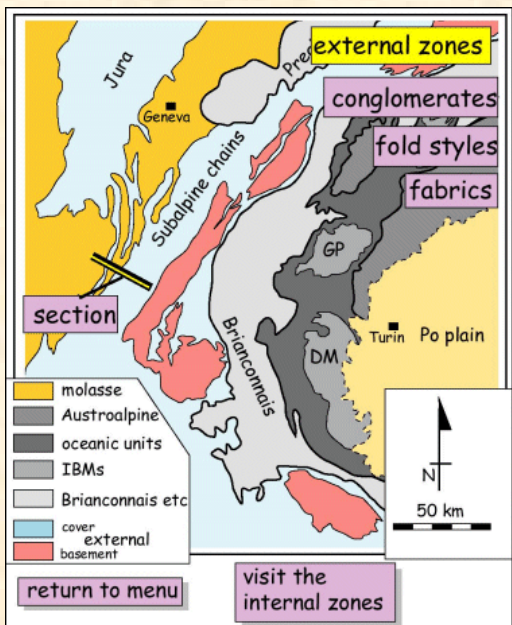
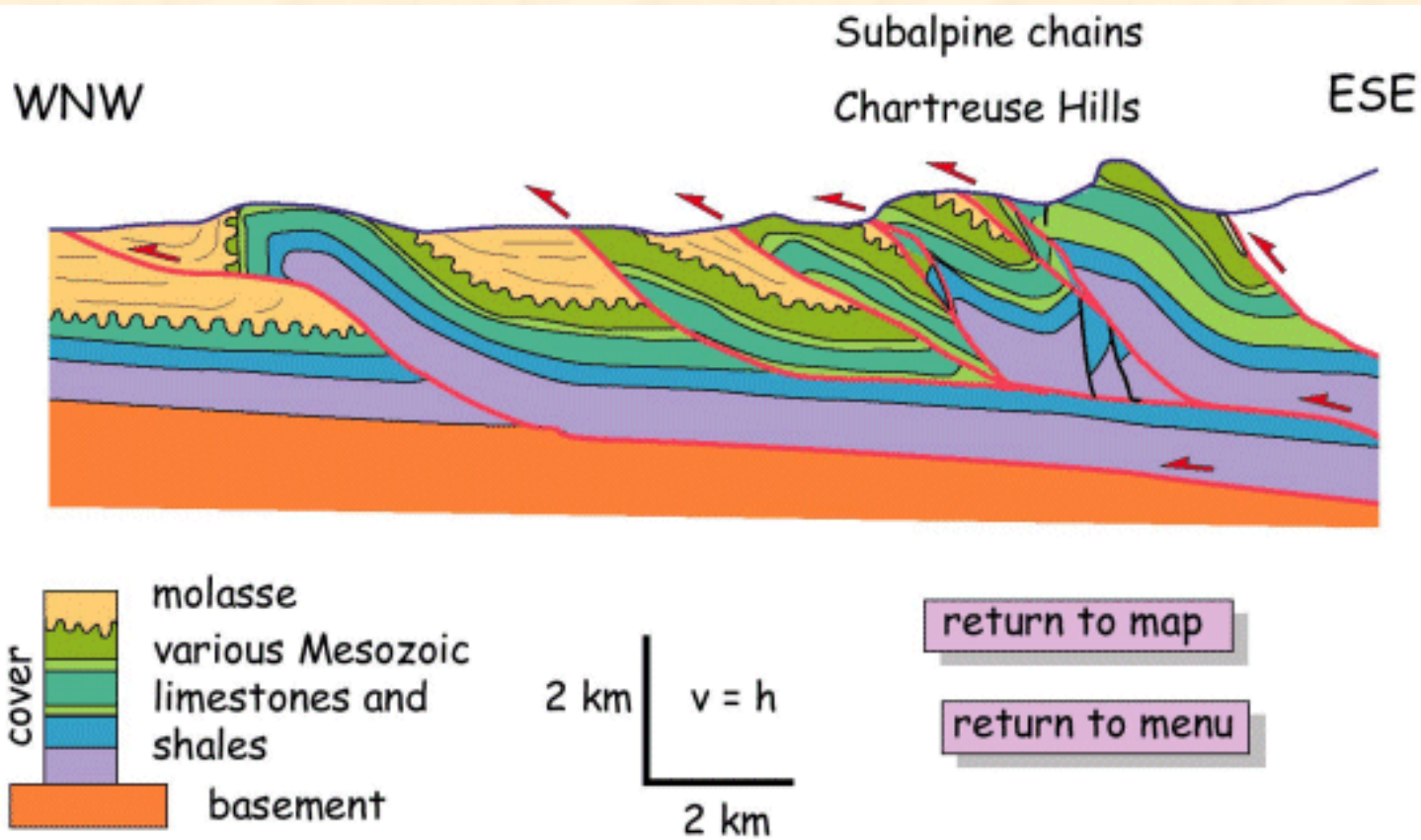
C) PRESENT DAY LITHOSPHERIC CROSS-SECTION



Same scale

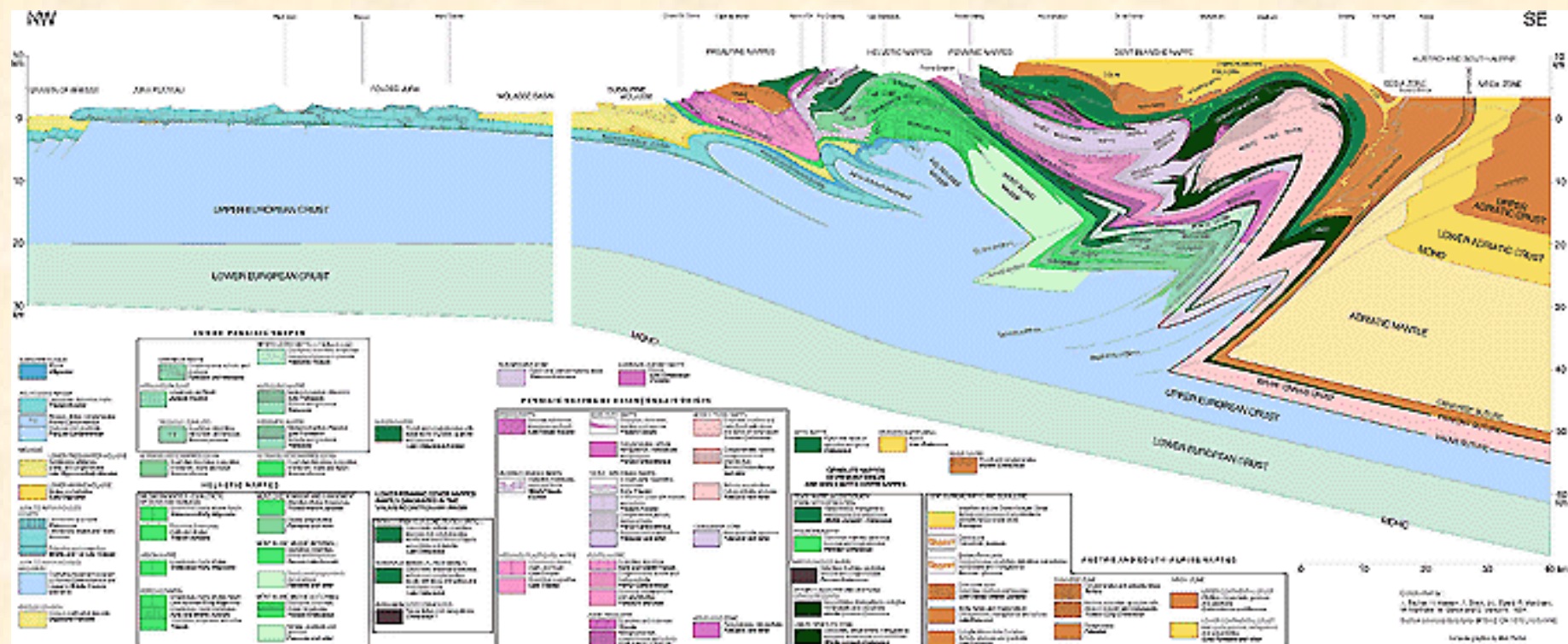


The external zones of the Alps, shown as coloured on the adjacent map, lie to the west of a major tectonic break - called the Frontal Pennine Thrust. This carries the internal zones (now grey on the map). The countryside of the external zones is highly variable - from the foothills of the subalpine chains (seen in the title slide above) to the highest parts of the Alps - the Mont Blanc massif.

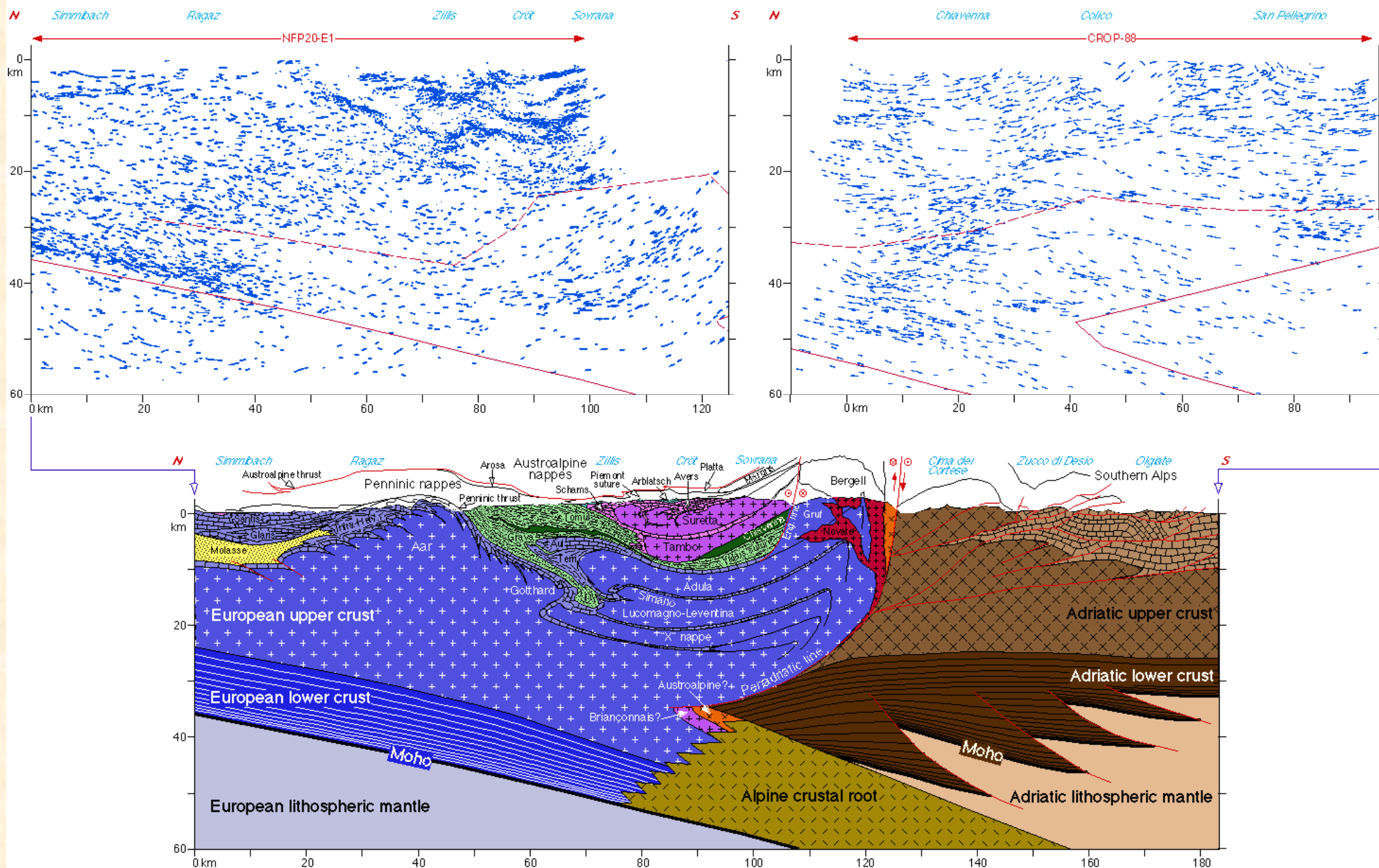


The Subalpine chains of the French Alps consist of stacked up Mesozoic and Cenozoic rocks. The general structure can be appreciated from the cross-section shown above - through the Chartreuse hills near Grenoble. Notice that the molasse sandstones are involved in the deformation, overridden by wedges of older sediments. Although basement does not appear to be involved here - it is further to the east where it crops out in the high ranges of the Mont Blanc massif and elsewhere.

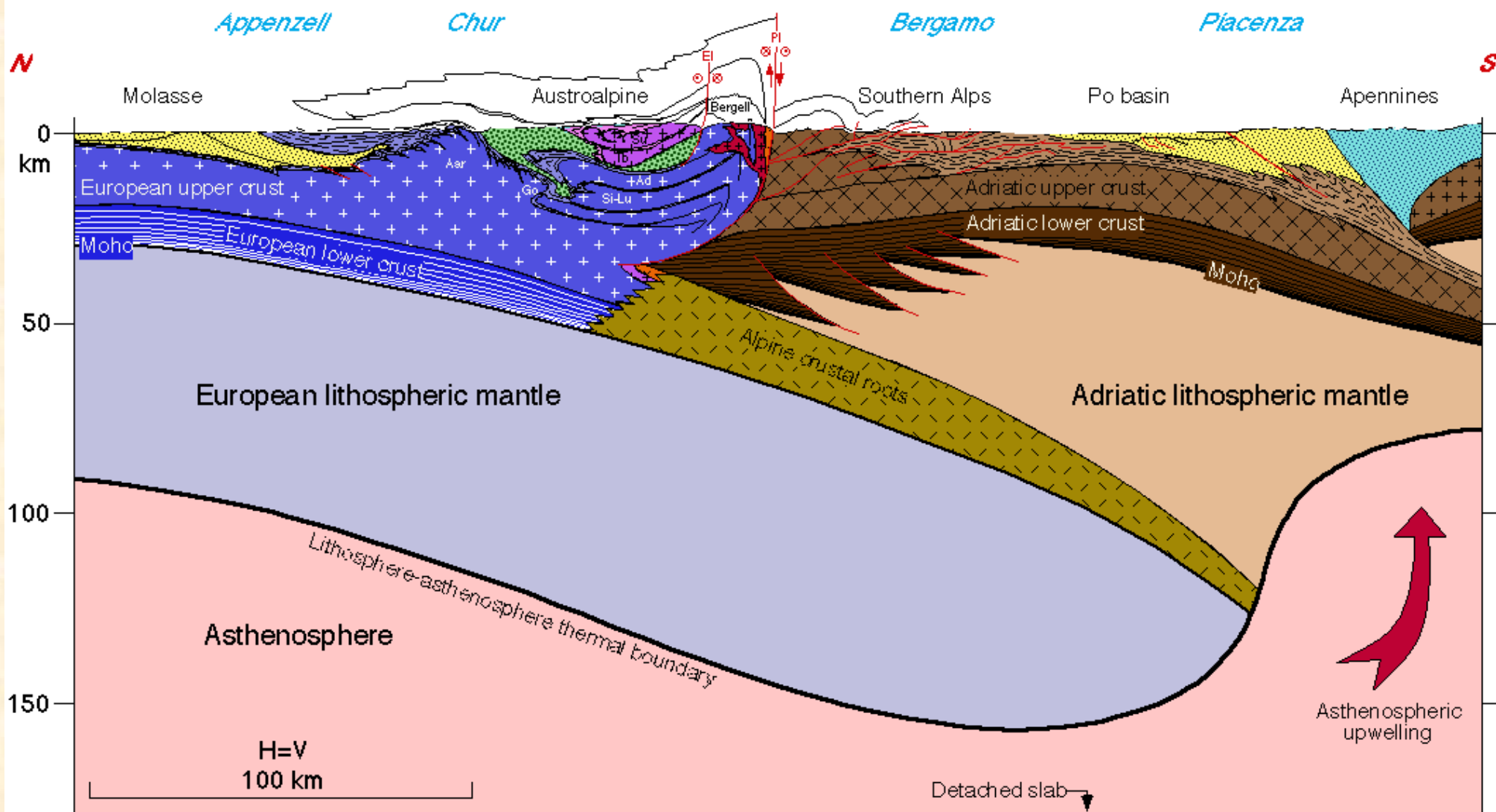




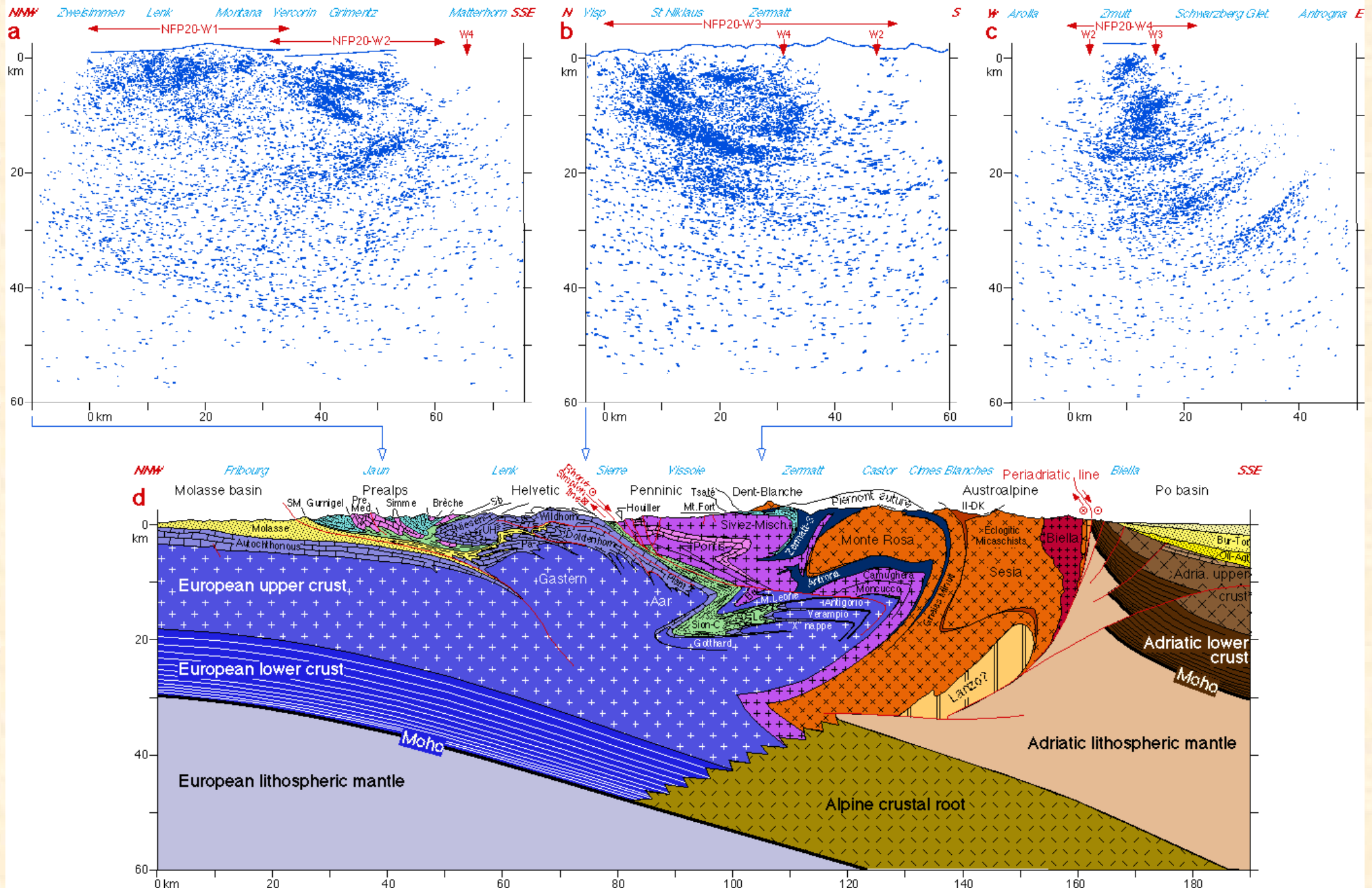
# THE NFP20-EASTERN DEEP SEISMIC TRAVERSE



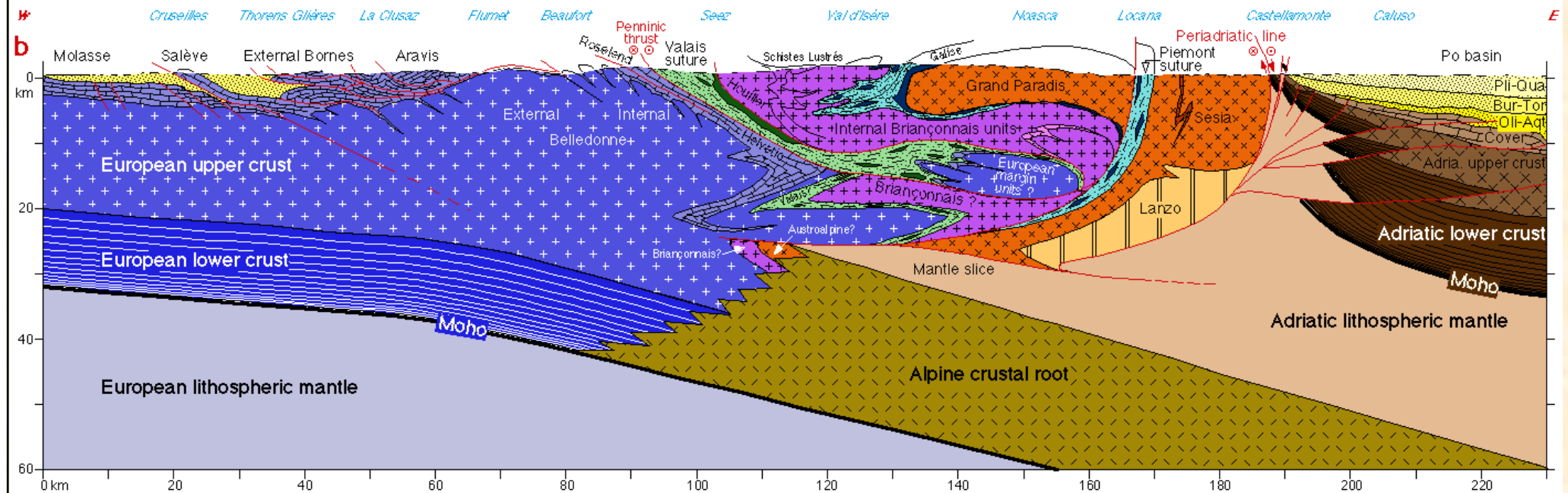
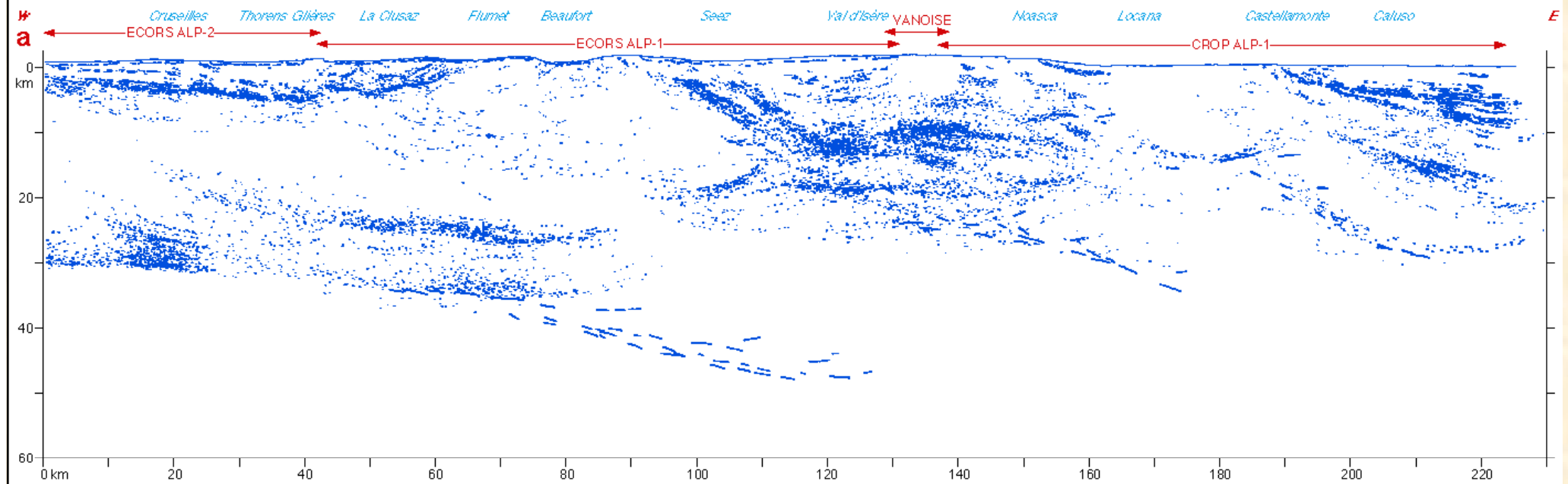
# THE NFP20-EASTERN TRAVERSE AT A LITHOSPHERIC SCALE



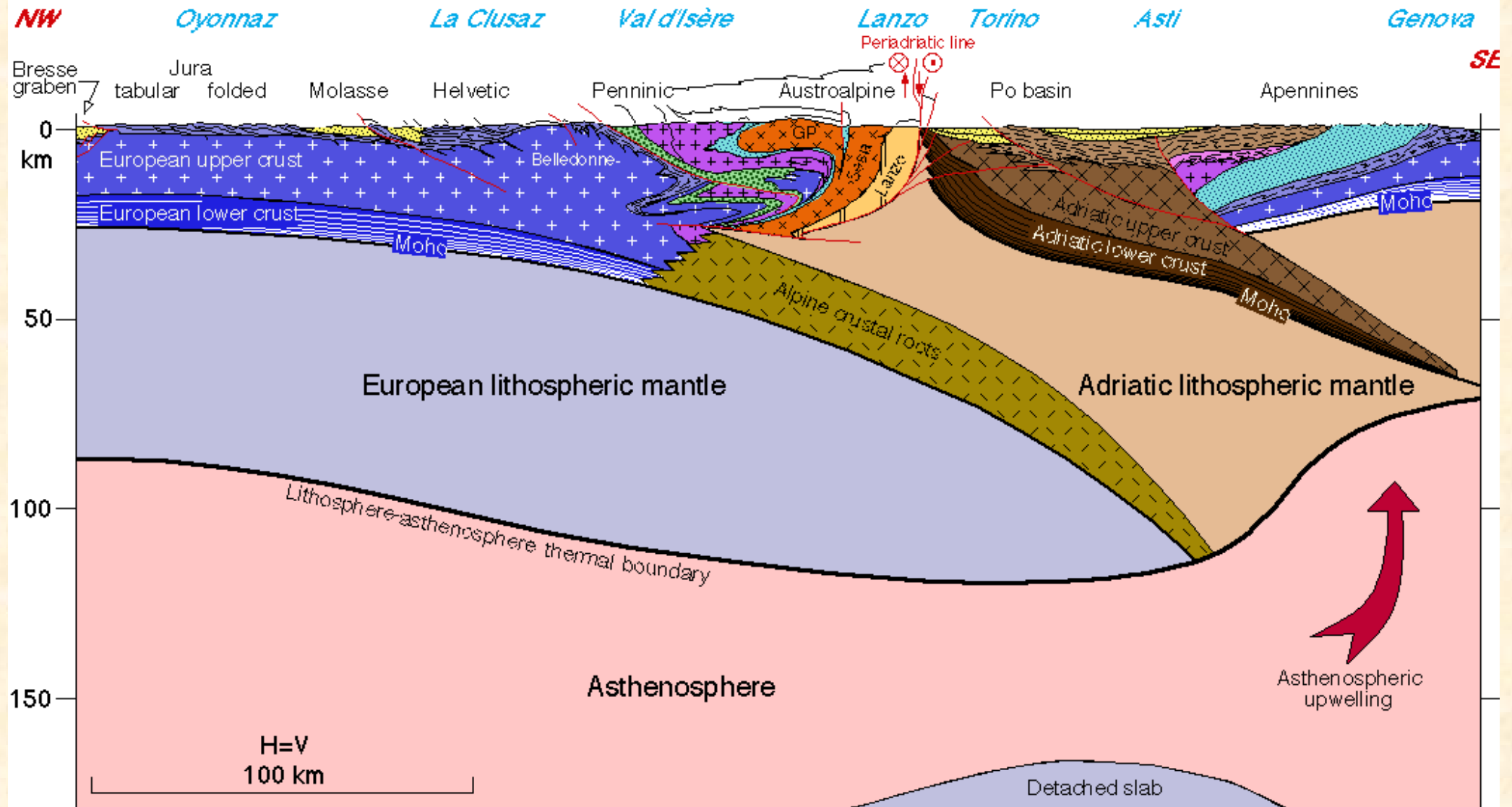
# THE NFP20-WESTERN DEEP SEISMIC TRAVERSE



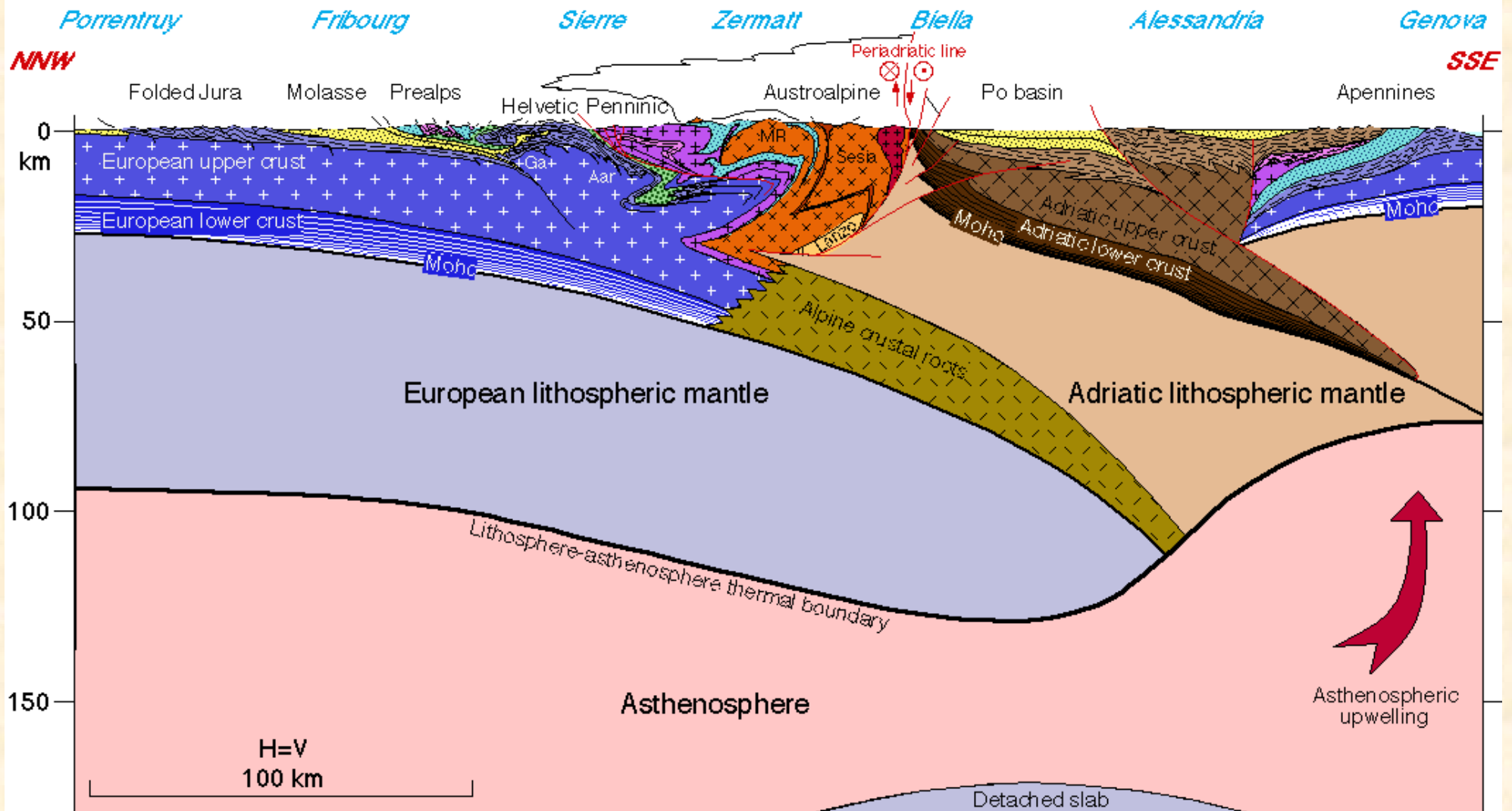
# THE ECORS-CROP ALP DEEP SEISMIC TRAVERSE



# THE ECORS-CROP ALP TRAVERSE AT A LITHOSPHERIC SCALE

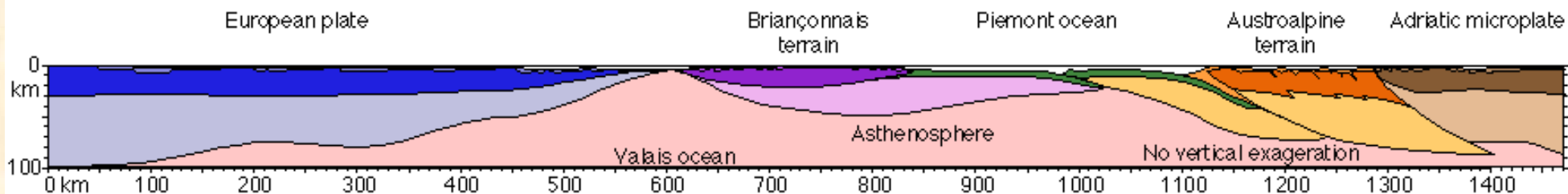


# THE NFP20-WESTERN TRAVERSE AT A LITHOSPHERIC SCALE

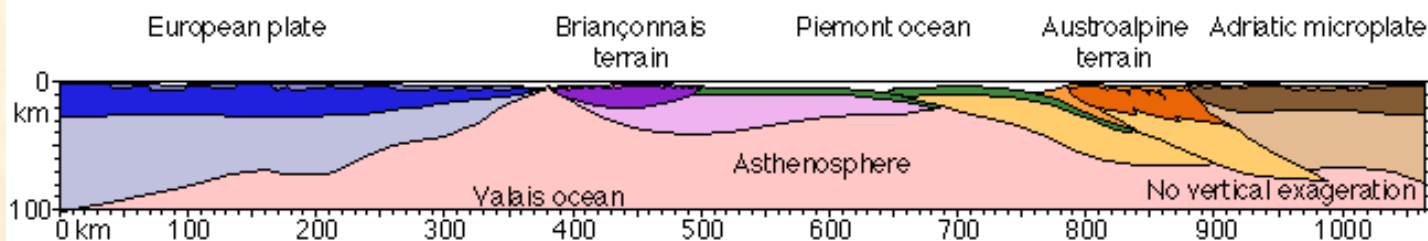


## CRUSTAL-SCALE MASS-BALANCING ALONG THE NFP-20 WESTERN TRAVERSE

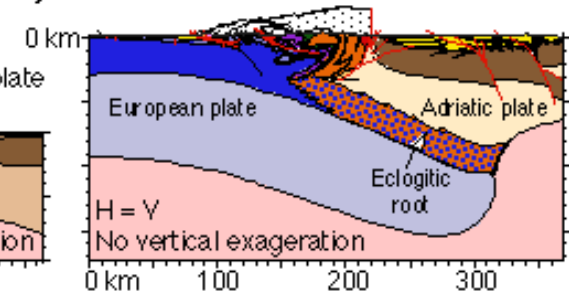
**A) EARLY CRETACEOUS (120 MA) RECONSTRUCTION OF THE WESTERN ALPS: MAXIMAL VOLUME ESTIMATION**



**B) EARLY CRETACEOUS (120 MA) RECONSTRUCTION OF THE WESTERN ALPS: MINIMAL VOLUME ESTIMATION**



**C) PRESENT DAY CROSS-SECTION OF THE W-ALPS**



Surfaces in km <sup>2</sup>	Fig. a)	Fig. b)	Fig. c)
European sediments	1'318	827	672
European crust	12'093	6'848	4'976
Briançonnais sediments	284	181	73
Briançonnais crust	3'023	1'370	426
Austroalpine sediments	904	724	25
Austroalpine crust	3'643	1'912	1'002
Eroded material	-	-	1'836
<b>Total</b>	<b>21'265</b>	<b>11'862</b>	<b>9'010</b>
Total including the Eclogitic root (3'682)	21'265	11'862	12'692

Thus, even the minimum estimate implies an Eclogitic root of about

**2'900 km<sup>2</sup>**





# **Západní Karpaty**

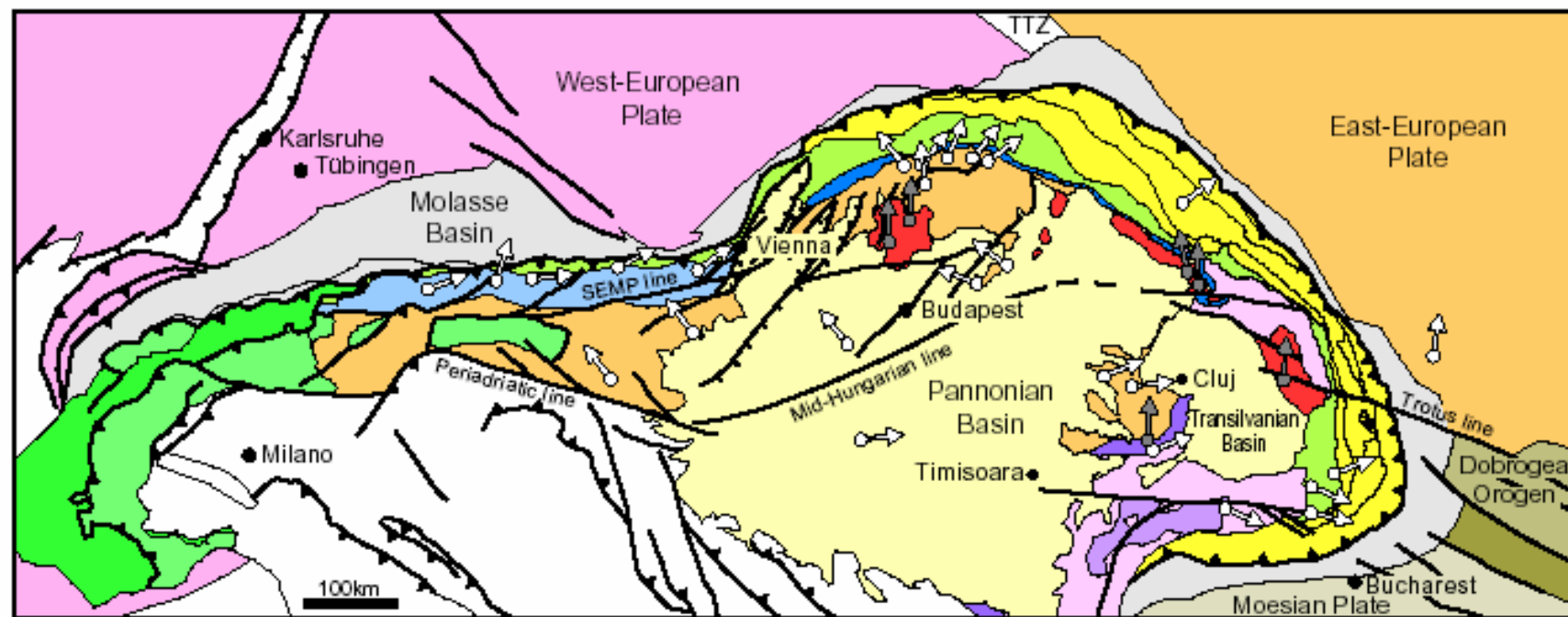


Figure 2.8: Existing palaeomagnetic data in the PANCARDI region (from Linzer, 1996).

Generally speaking, the Carpathians have been divided into the Western and the Eastern Carpathians, the latter also called - probably more accurately - the Southeastern Carpathians. There are marked differences between these parts. The **Western Carpathians** show a clearly marked zoning in geologic structure and relief forms, and the highest elevations occur in the **central part** of this province, in the Tatras and the Lower Tatras ranges. The geologic structure of the inner part of the Western Carpathians is marked by a break running from the east and the south along a line of dislocation in the Earth's crust. Along this line, **masses of volcanic rocks** have been piled up surrounding the Central Western Carpathian Block in a wide arc, with its convex side turned eastward. The **boundary** between the Western and the Southeastern Carpathians occurs at the **narrowest part of the mountain range**, marked by the valley of the **San River** to the north and the **Lupk6w Pass** (2,100 feet) and the **Laborec Valley** to the south. There the Carpathians are only some 75-80 miles wide, while in the west they are 170 miles and in the east as much as 220-250 miles across.

The Southeastern Carpathians are formed by a triangular block of mountains surrounding a basin. The three mountain formations concerned differ in origin and structure. The **Eastern Carpathians**, running in a northwest-southeast direction, include the **flysch** band, which represents the continuation of the **Outer Western Carpathians**, and also an **inner band** of crystalline and volcanic rocks. In contrast, the **Southern Carpathians**, running east-northeast to west-southwest, consist, in the main, of **metamorphic rocks**. The Bihor Massif is also of metamorphic rock but is covered with younger sediments.

The Southern Carpathians culminate in the Fagaras Mountains (highest point Moldoveanu, 8,347 feet), which show Alpine-type relief forms. The western part of the Southern Carpathians - that is, the Banat Mountains and the mountains of eastern Serbia (which, at the Iron Gate, are split apart by the gap valley of the Danube) - do not exceed an altitude of 5,000 feet.

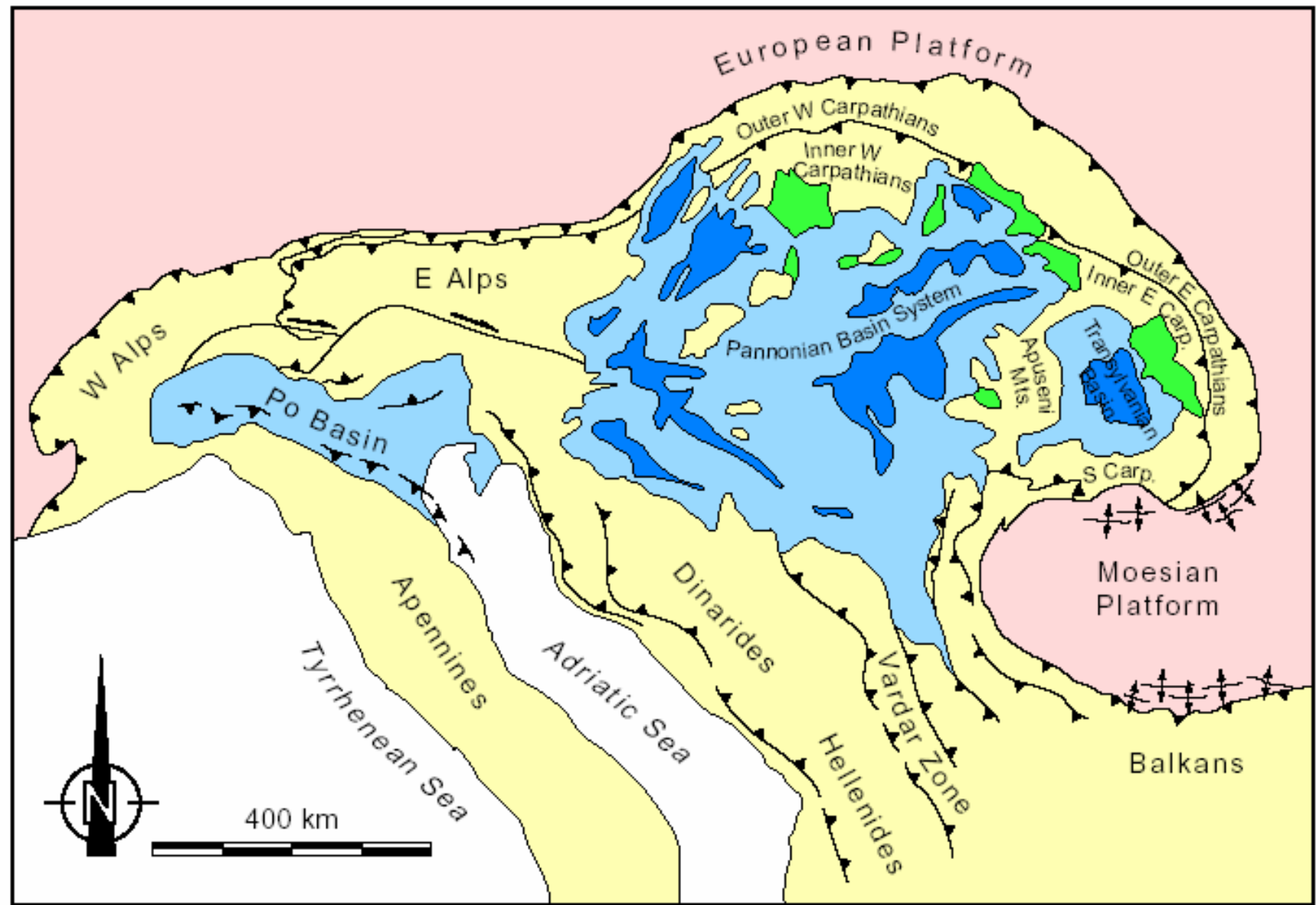


Figure 2.1: Main tectonic elements of PANNONIAN BASIN SYSTEM. Yellow: Alpine orogenic arcs; intermediate blue: Neogene basin fill; dark blue: Quaternary basin fill; green: Neogene volcanics.

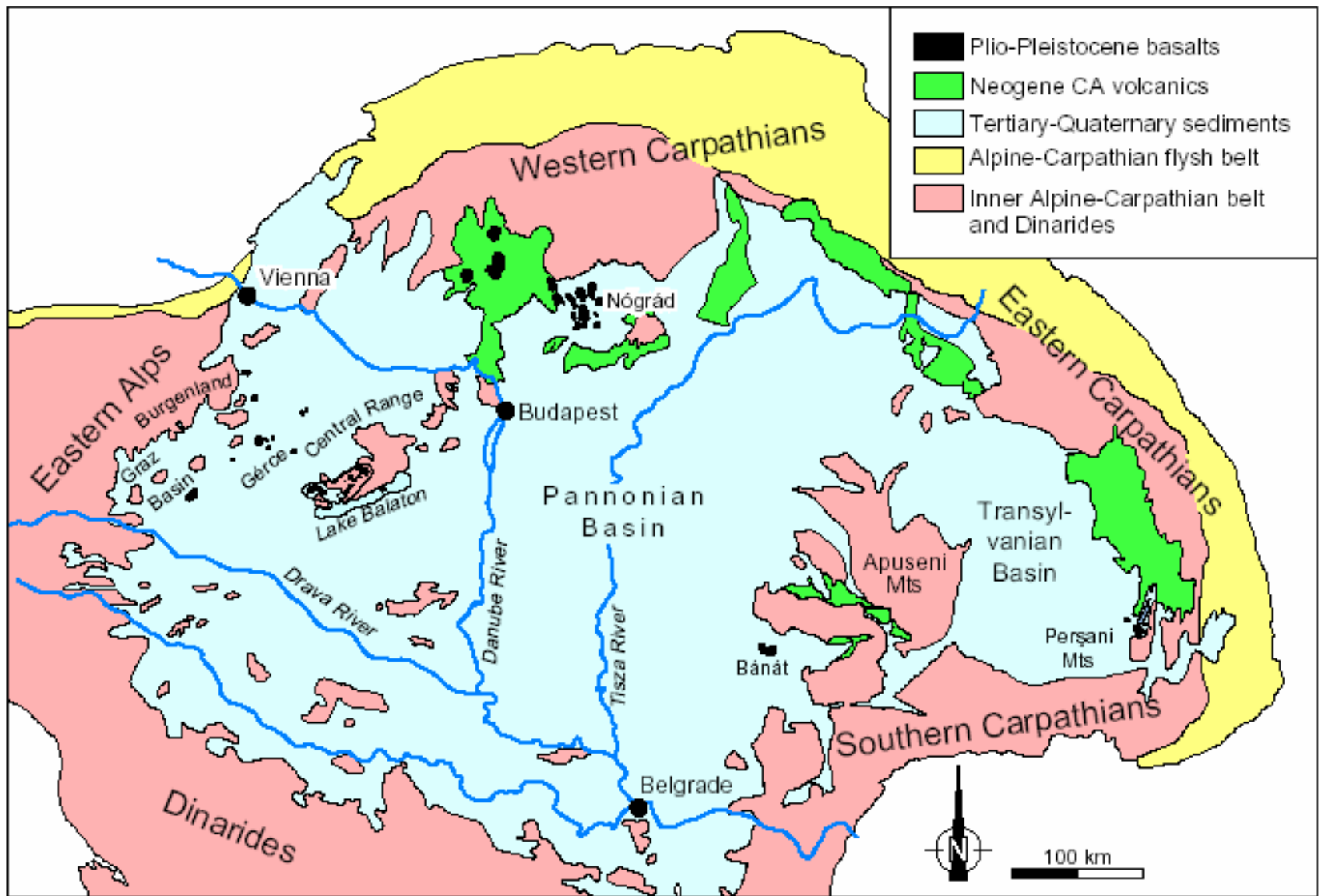


Figure 2.9: Tertiary to Recent volcanism in the PANCARDI region. From Embey-Isztin et al. (1993).

The boundary between the Western and the Southeastern Carpathians occurs at the narrowest part of the mountain range, marked by the valley of the San River to the north and the Lupków Pass (2,100 feet) and the Laborec Valley to the south

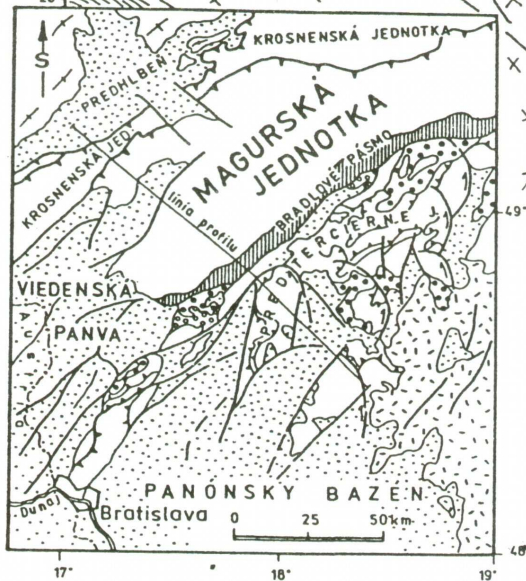
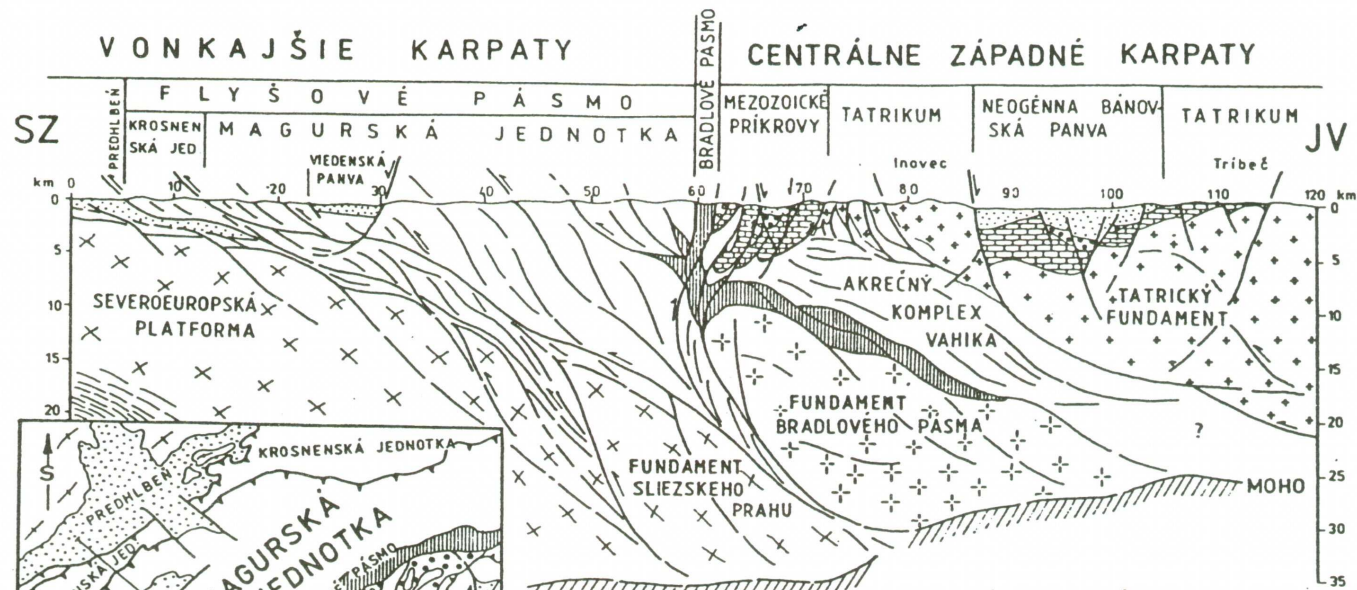


Figure 1

Tectonic sketch of the Carpathian area (modified after RĂDULESCU *et al.*, 1996).

<b>EXTERNIDY</b>	<b>Vnější Západní Karpaty</b>	1. Karpatská předhlubeň	
		2. Flyšové pásmo	vnější krosněnská skupina př. vnitřní magurská skupina př.
		3. Bradlové pásmo	czorsztynská jednotka kysucko-pieninská jednotka
<b>INTERNIDY</b>	<b>Centrální Západní Karpaty</b>	4. Příbradlové pásmo	klapská jednotka manínská jednotka
		5. Pásmo jaderných pohoří	tatrikum subtatranské příkrovy
		6. Veporské pásmo	veporikum chočský a muráňský příkrov
		7. Gemerské pásmo	gemerikum silický příkrov
	<b>Vnitřní Západní Karpaty</b>	8. Meliatské pásmo	
		9. Pásmo Bükku	

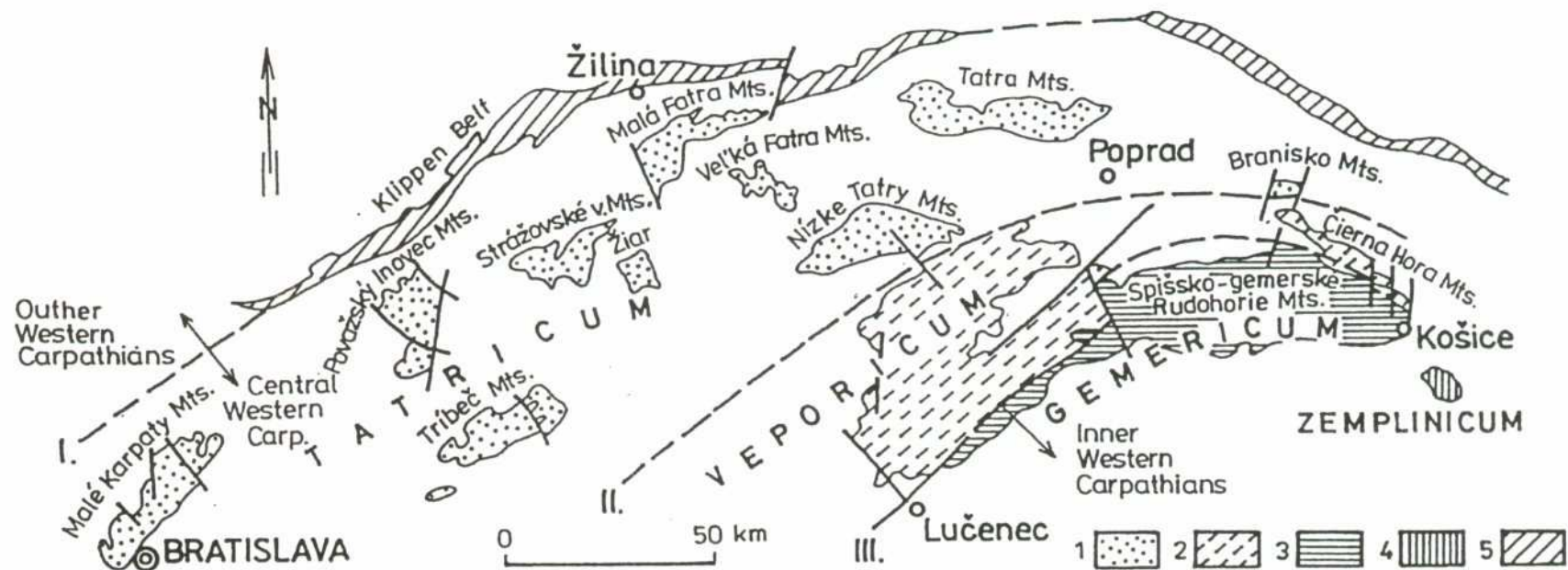
Obr. 75. Geologické členění Západních Karpat, upraveno podle Kováč et al., (1993).



SCHÉMATICKÝ PROFIL  
VONKAJŠÍMI KARPATAMI A FRONTÁLNOU  
ČASŤOU CENTRÁLNYCH ZÁPADNÝCH KARPÁT

- |  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | NEOVULKANITY  |  | GOSAUSKÁ SKUPINA (VRCHNÁ KRIEDA)                     |
|  | NEOGÉNNÉ PANVY  |  | MEZOZOICKÉ KOMPLEX TATRIKA<br>SUPERFICIÁLNE PRÍKROVY |
|  | PALEOGÉNNÉ SEDIMENTY<br>CENTRÁLNYCH ZÁPADNÝCH<br>KARPÁT |  | BRADLOVÉ PÁSMA                                       |



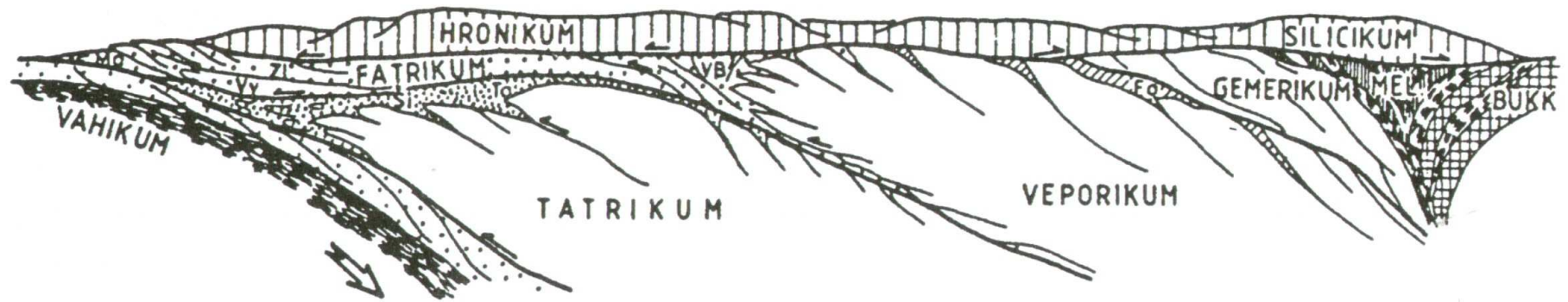


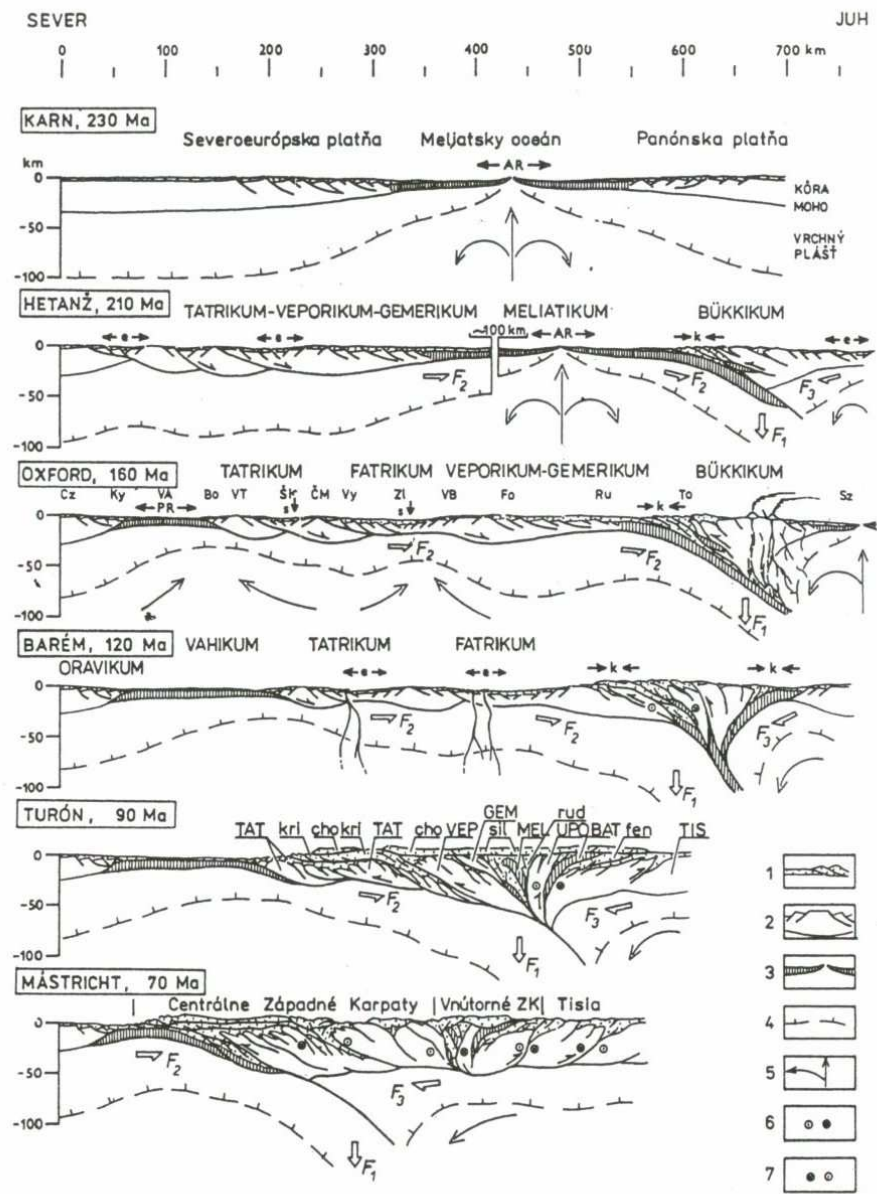
Obr. 76. Schematická mapka Západných Karpát. Legenda: 1 – předkarbonské komplexy tatrika, 2 – předkarbonské komplexy veporika, 3 – předkarbonské komplexy gemerika, 4 – předkarbonské komplexy zemplanika, 5 – bradlové pásmo, 6 – zlomy, I. – peripieninský lineament, II. – čertovická línie, III. – lubenicko-margecanská línie. Podle Hovorka.

...nejšie vrchné sú vrstvy korenka až 70 stupňov tavenia.

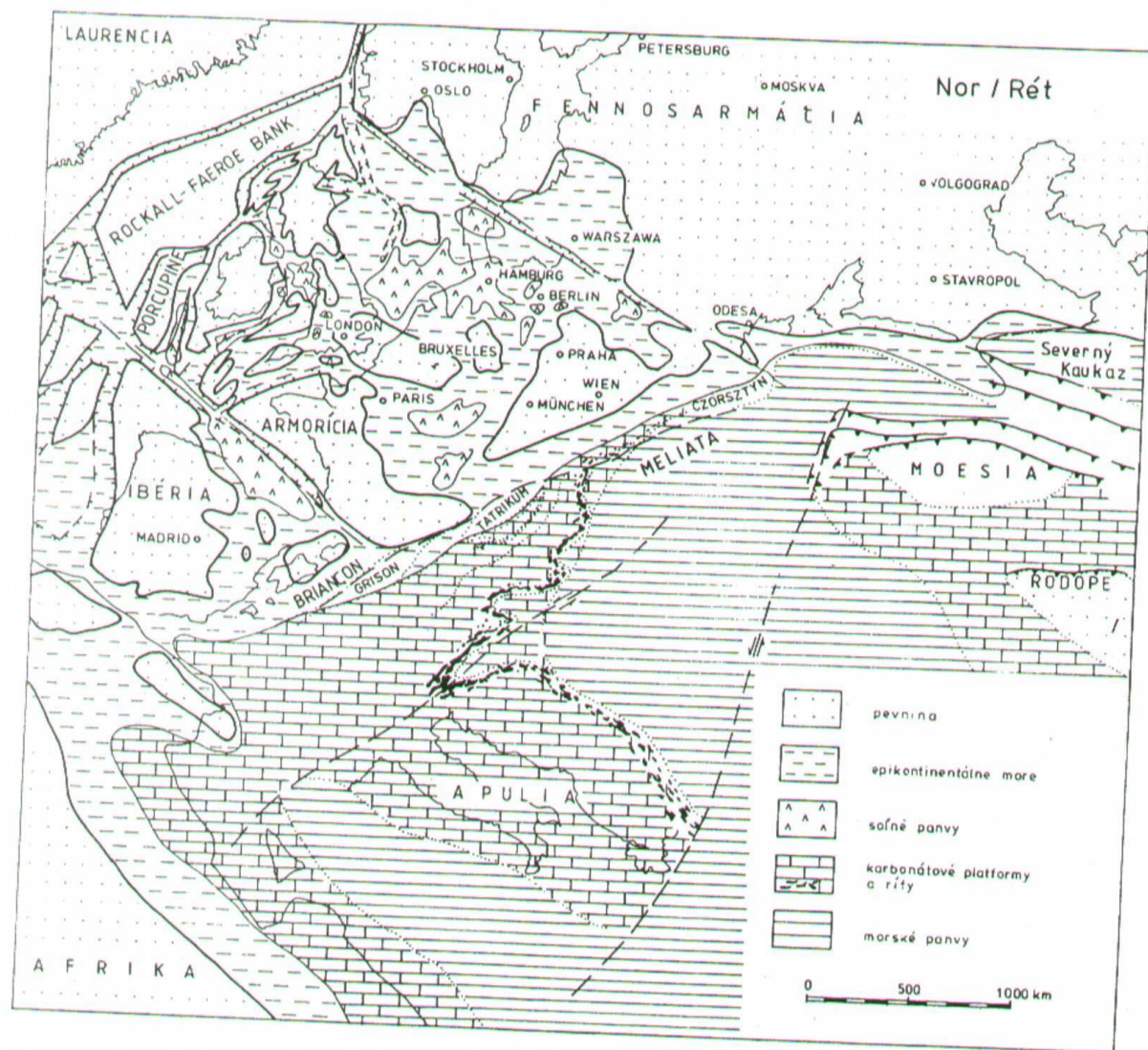
SZ

JV

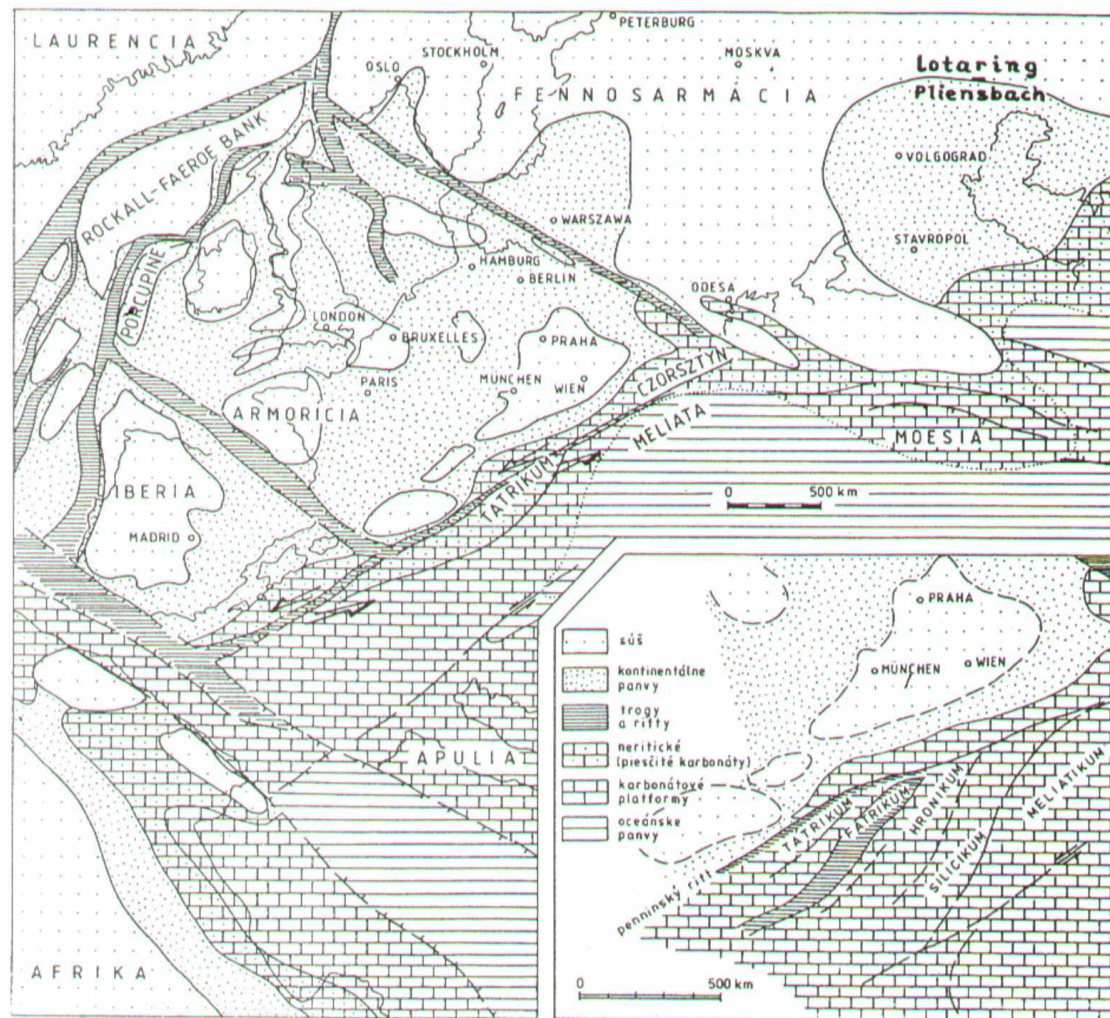




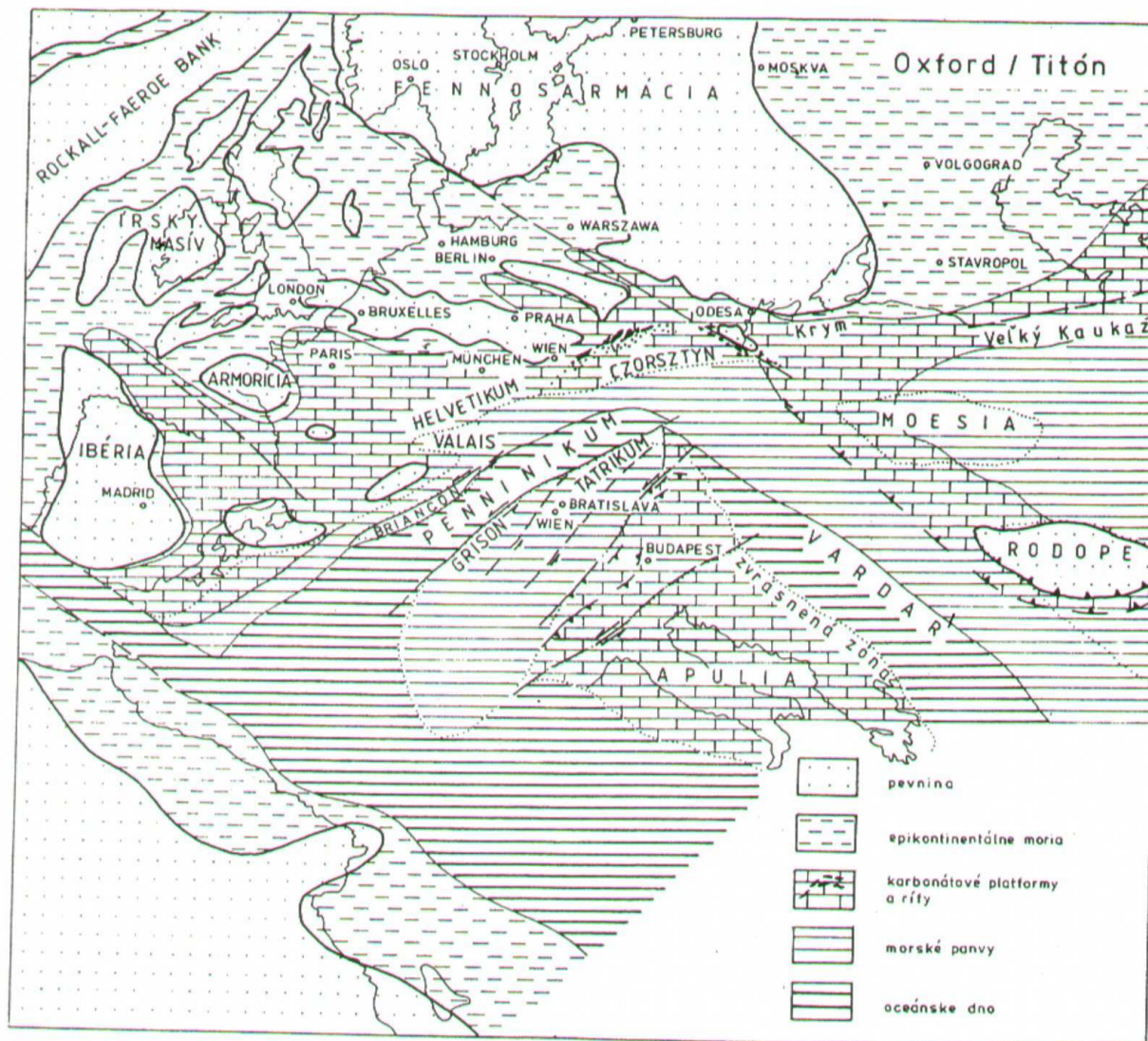
Obr. 77. Paleotektonický model vývoje Západných Karpat během mesozoika (podle Kováč et al., 1993).  
 Legenda: 1 – mesozoické sedimenty, 2 – fundament kontinentální kůry, 3 – oceánská kůra, 4 – báze litosféry, 5 – konvekční proudění v astenosféře, 6 – levostranná transprese, 7 – pravostranná transprese.



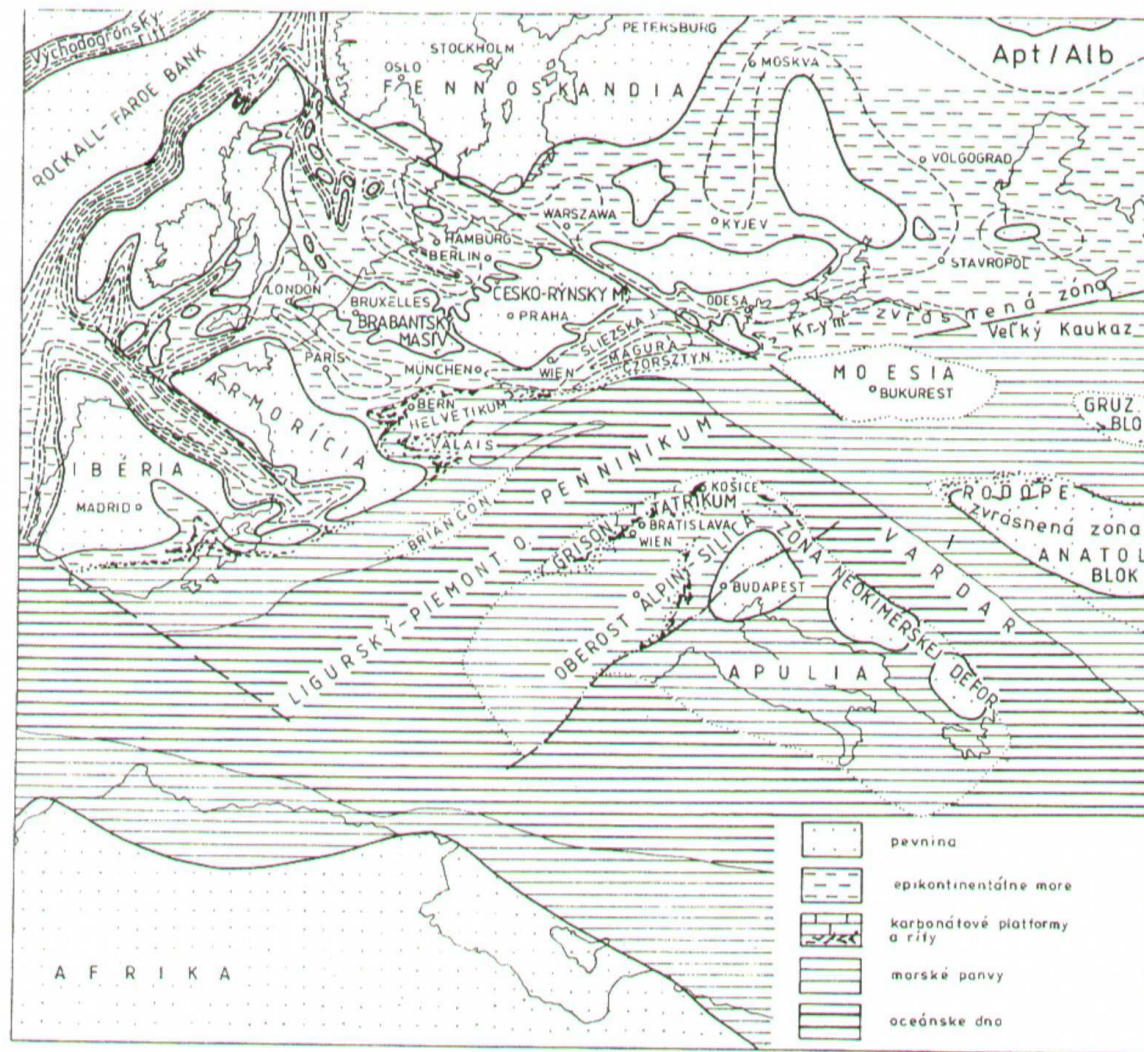
Obrázok 3.3: Paleogeografická schéma oblasti strednej Európy počas vrchného triasu



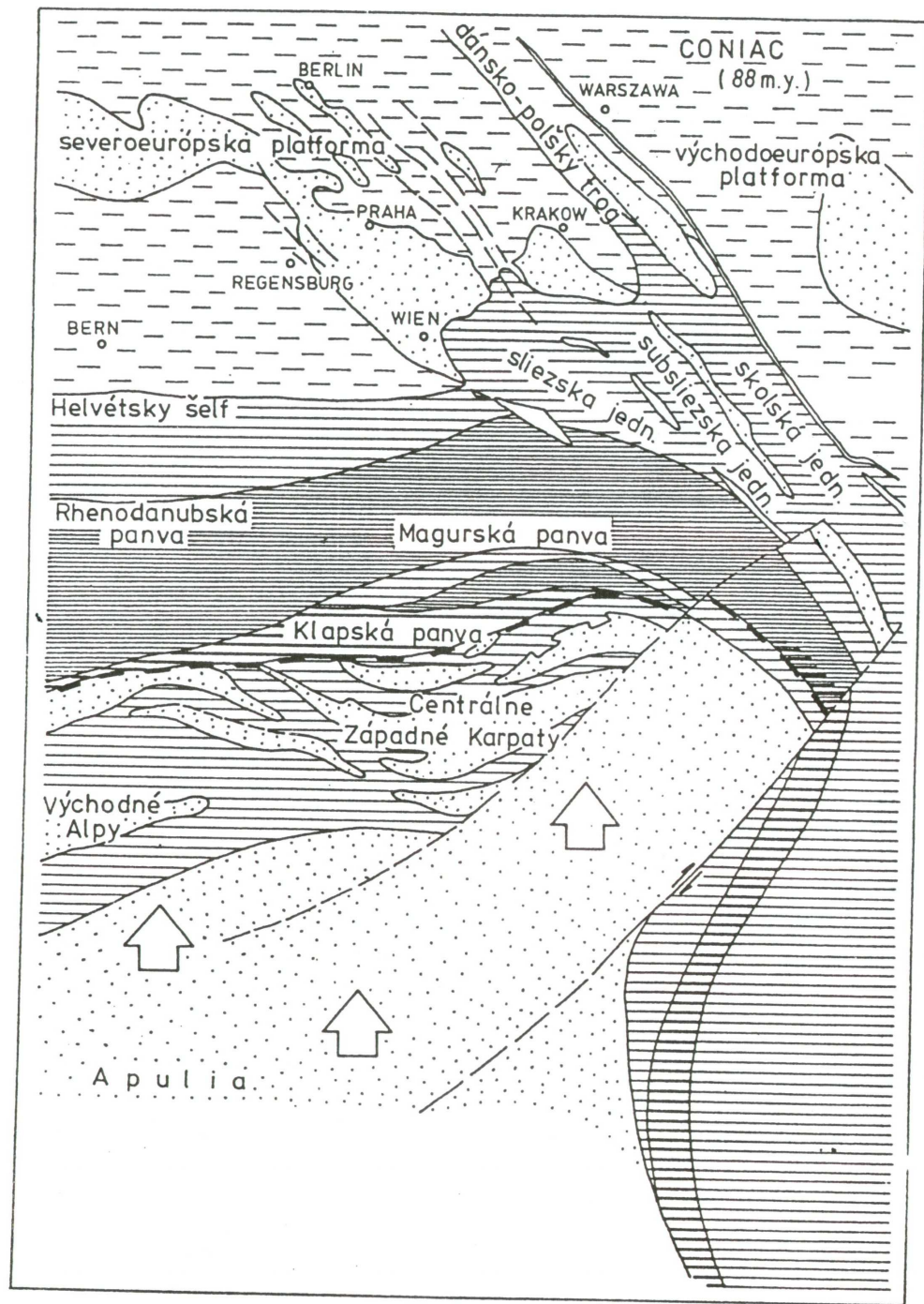
Obrázok 3.5: Paleogeografická schéma oblasti strednej Európy počas vrchného liasu



Obrázok 3.7: Paleogeografická schéma strednej Európy vo vrchnej jure



Obrázok 3.8: Paleogeografická schéma strednej Európy počas strednej kriedy





# Hlavní stavební jednotky Alp a Západních Karpat

Molasová zóna

Karpatská předhlubeň

Flyšová zóna

**EVROPSKÁ DESKA**

Flyšové pásmo

Helvetikum

Bradlové pásmo

Peninikum

Příbradlové pásmo

Austridy

**ADRIATICKÁ DESKA  
(ALCAPA)**

Pásmo jaderných pohoří

Veporské pásmo

Gemerské pásmo

Jižní Alpy

Pásmo Bukku

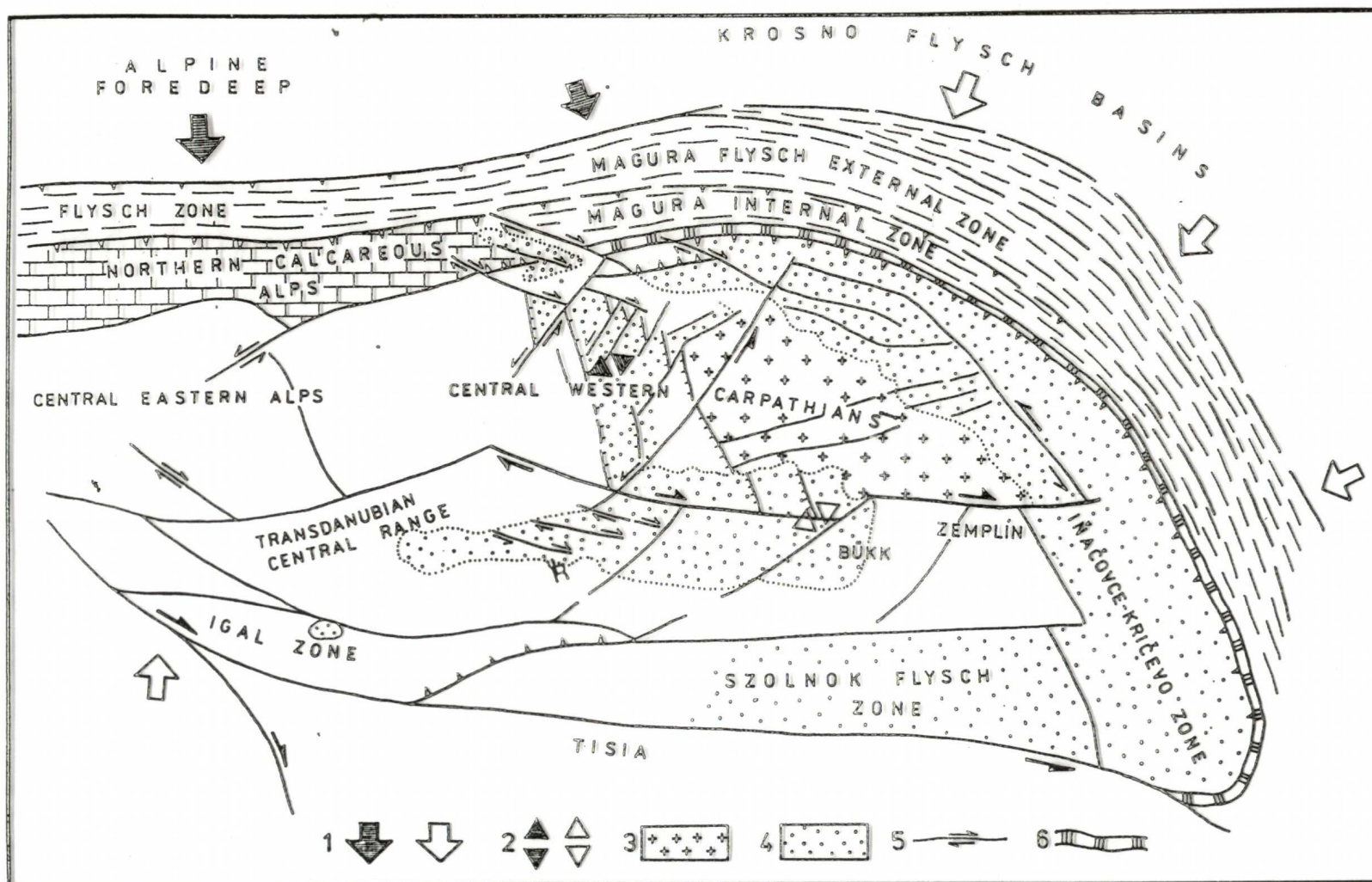


Fig. 4. A scheme of the Central Western Carpathians and Northern Pannonian Unit structural pattern during the Tertiary. 1 - orientation of principal compression axis during the Paleogene and Oligocene - Early Miocene; 2 - orientation of transension during the Paleogene and Oligocene - Early Miocene; 3 - uplifted areas; 4 - Paleogene and Oligocene - Early Miocene sediments; 5 - faults; 6 - Pieniny Klippen Belt.

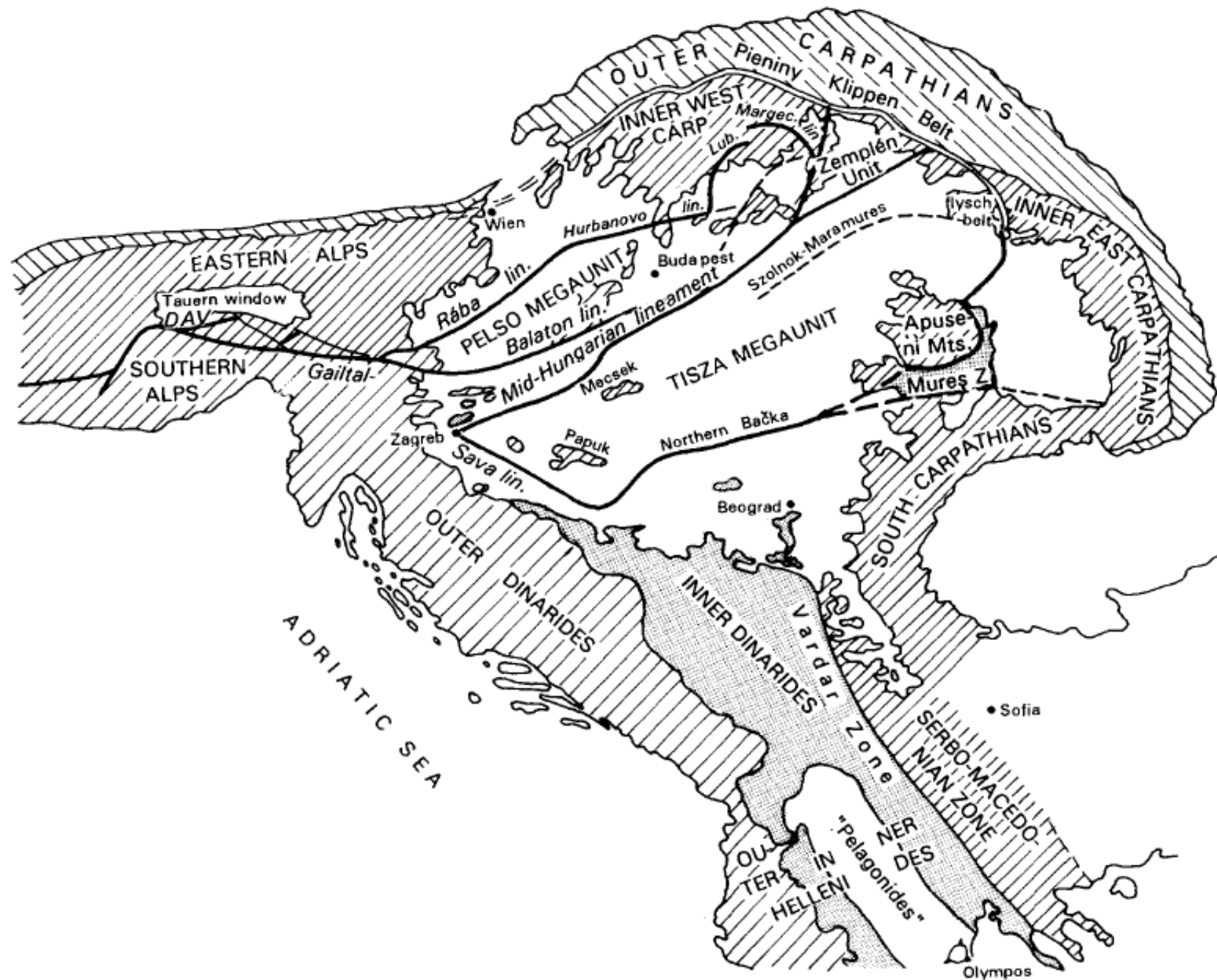


Fig. 1. Tectonic sketch of the Alpine-Carpathian-Pannonian-Dinaridic and Northern Hellenides region.

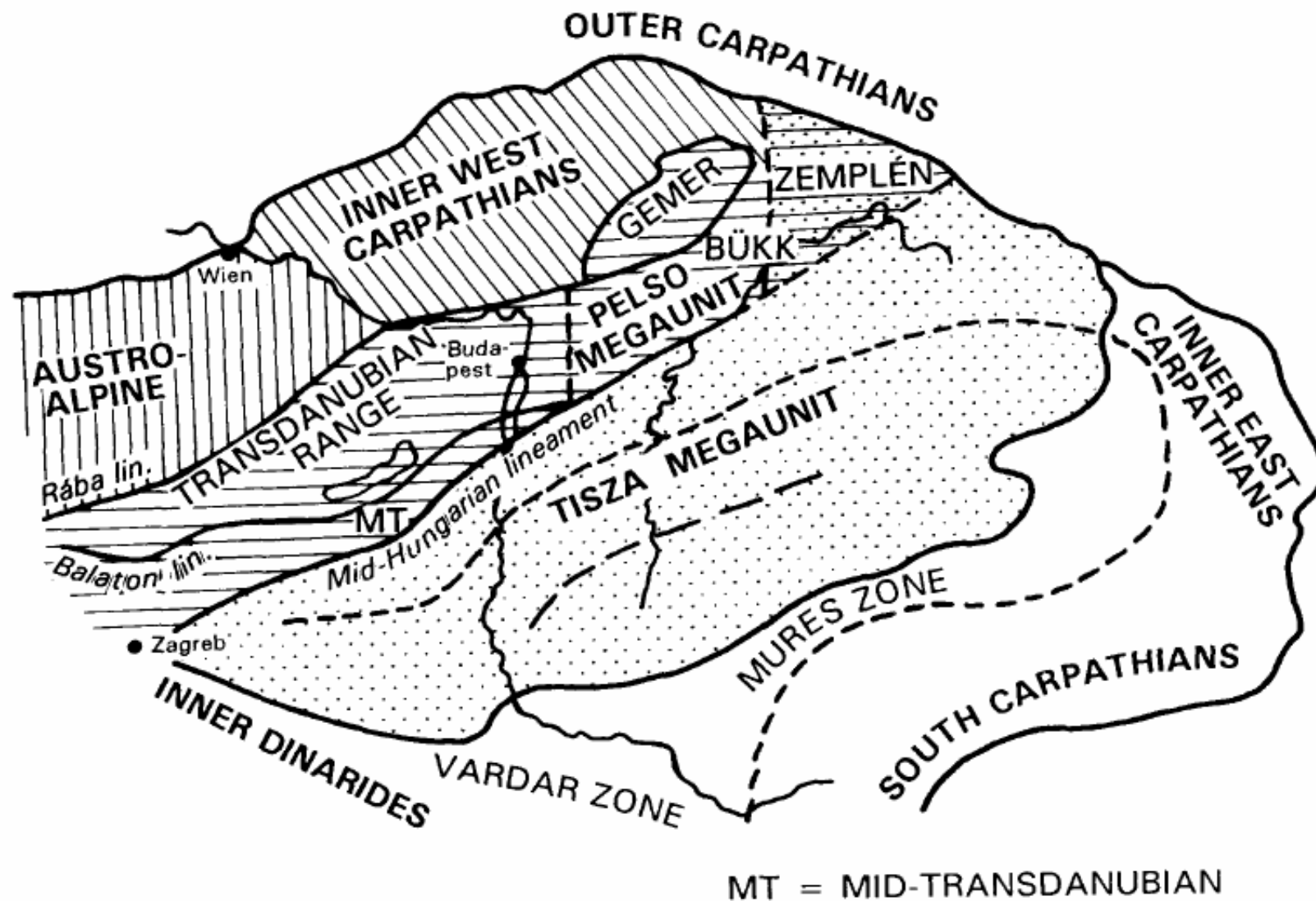


Fig. 2. Mesoalpine terranes in the Intra-Carpathian domain.

# MAJOR TECTONIC UNITS OF THE ALPS, CARPATHIANS AND DINARIDES

S. Schmid and B. Fügenschuh (Basel), in cooperation with M. Sandulescu and Mateo (Bucharest), D. Pasariu (Bratislava), J. Pernic and Tomljenovic (Zagreb), L. Csontos and L. Fodor (Budapest)

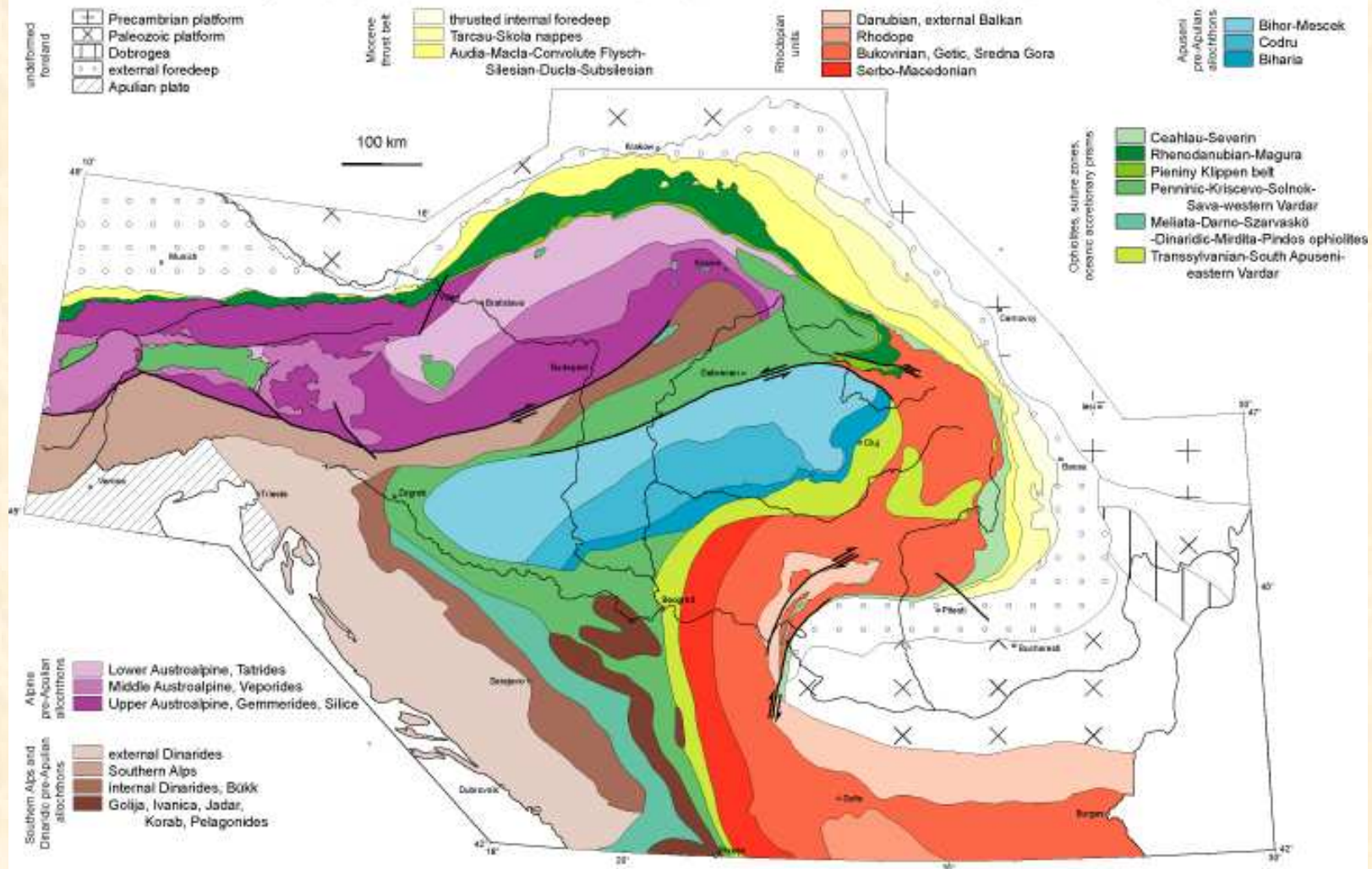


Figure 1: Major tectonic units of the Alps, Carpathians and Dinarides (modified after Schmid and Fügenschuh, poster presented at PANCARDI-meeting 2000, Dubrovnik, Croatia, 1.-3. Oktober, 2000)

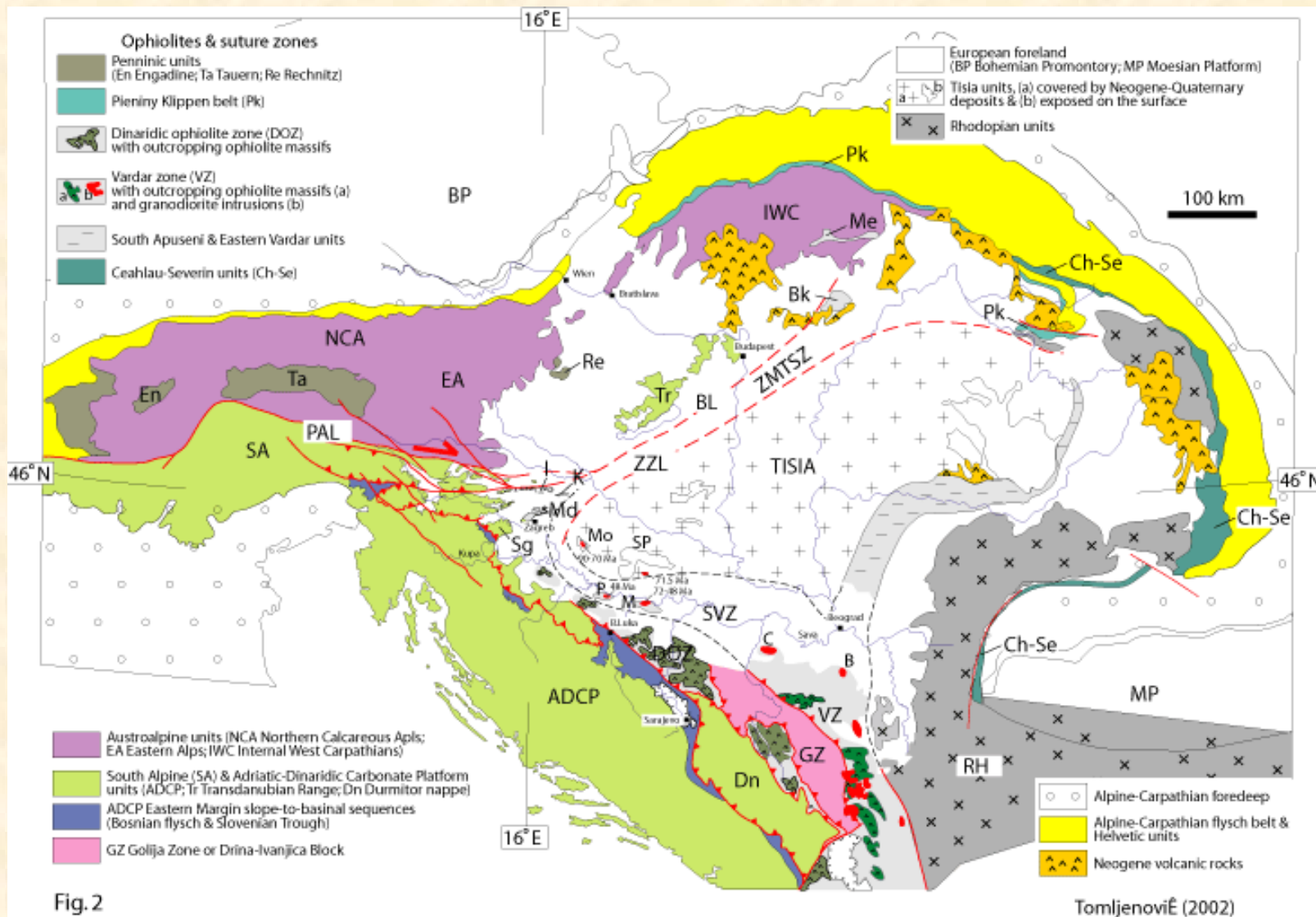


Figure 2: Map depicting the outcropping parts of the major tectonic units of the Alps, Carpathians and Dinarides, from Tomljenovic (2002).







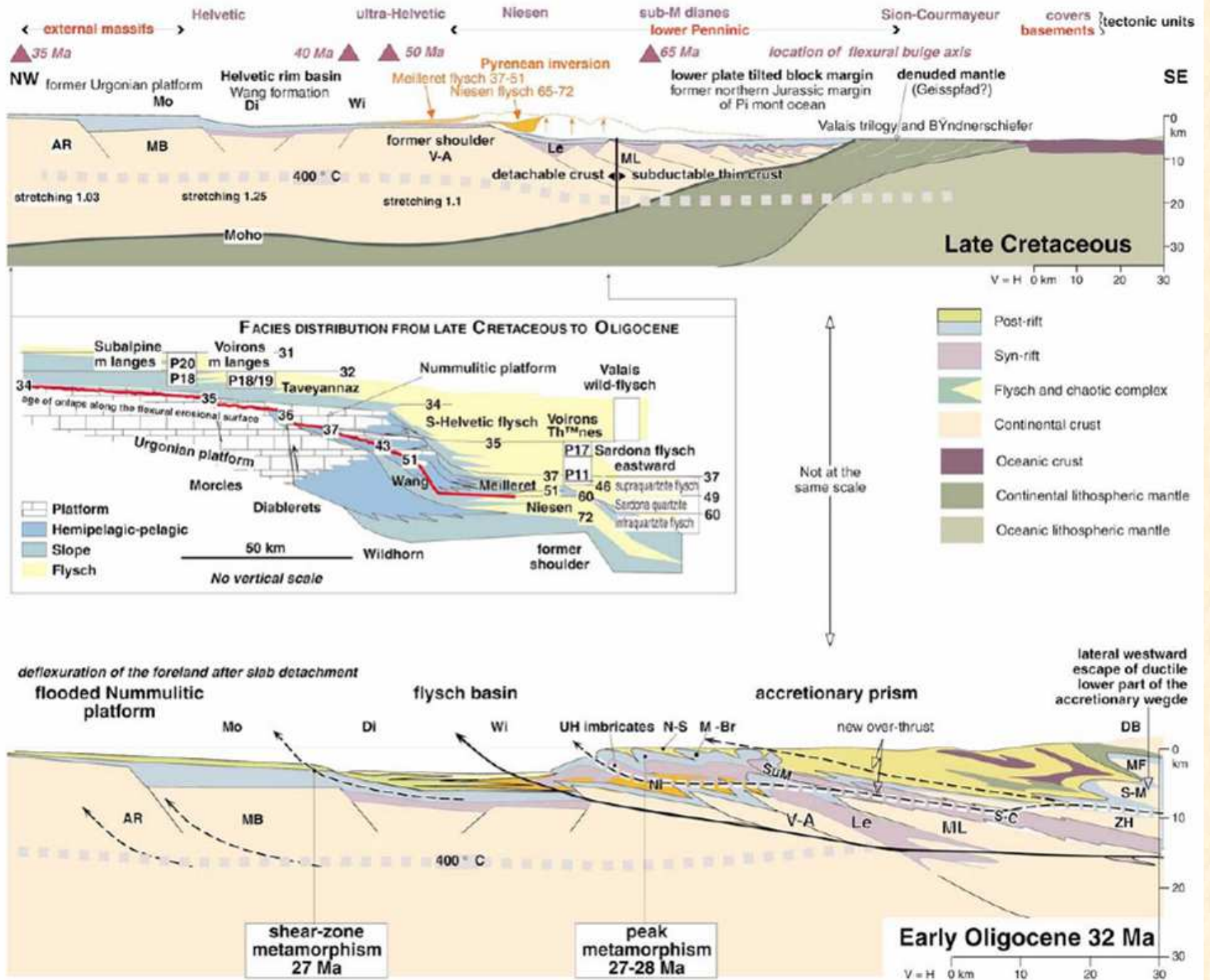
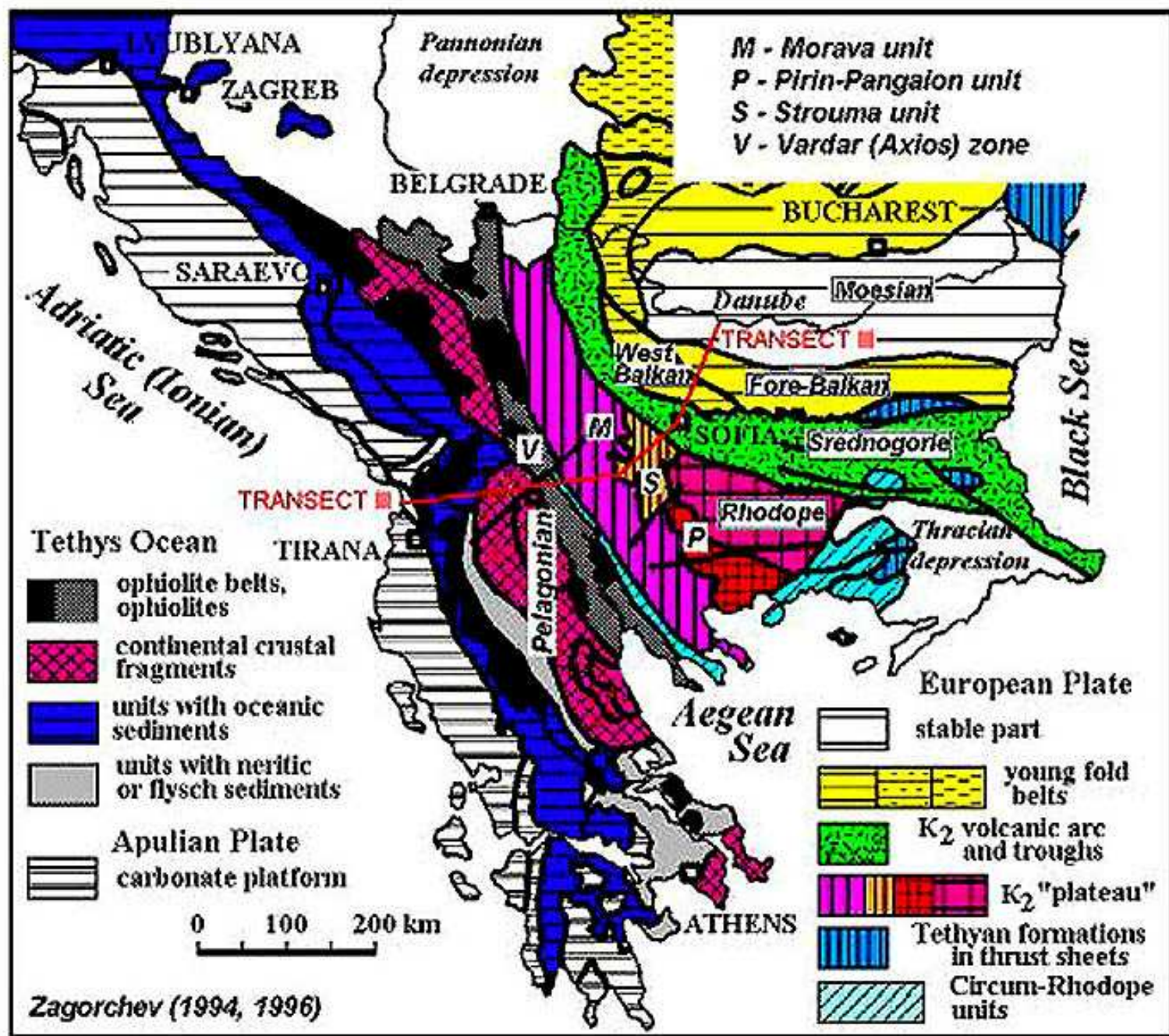
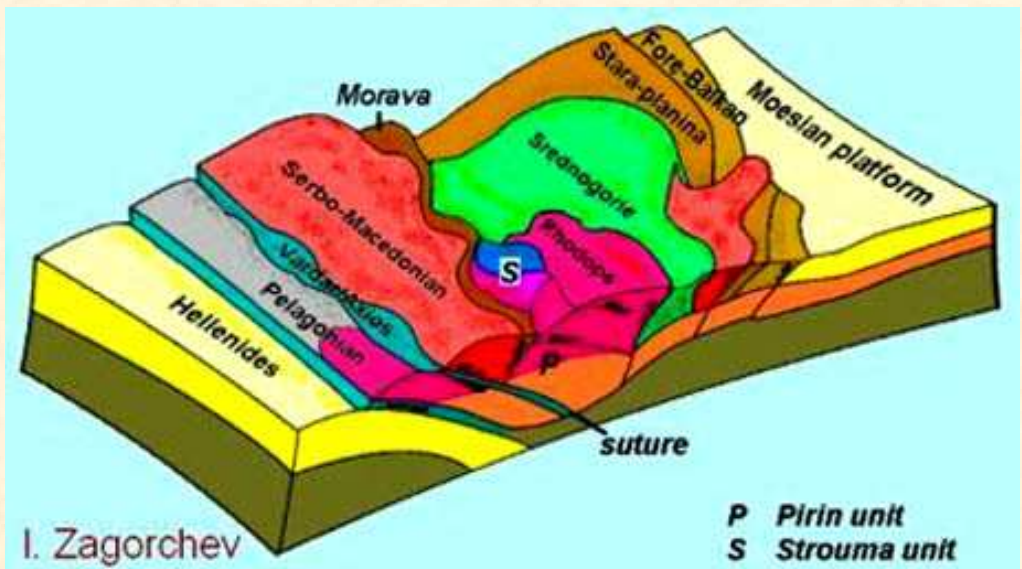
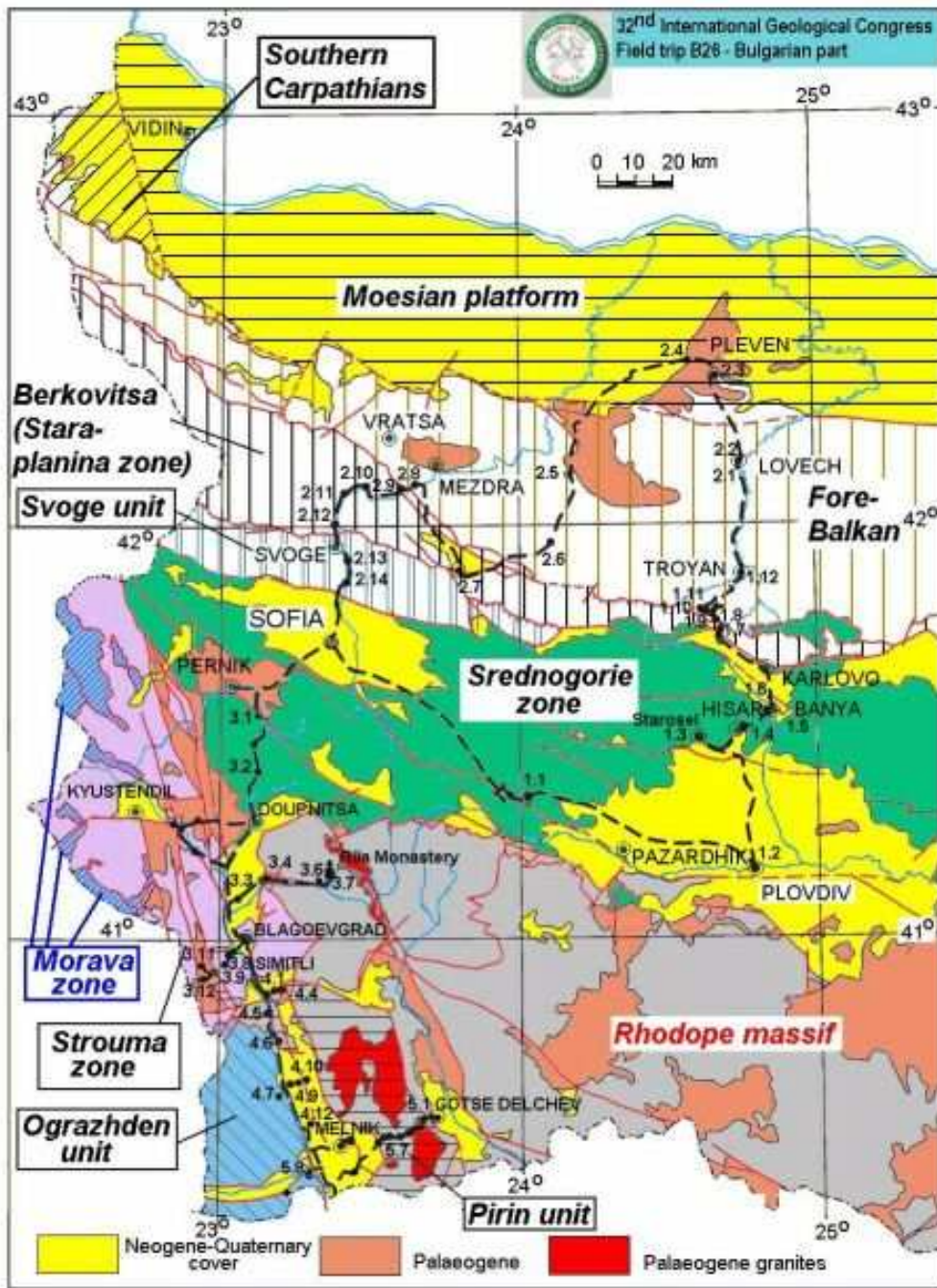
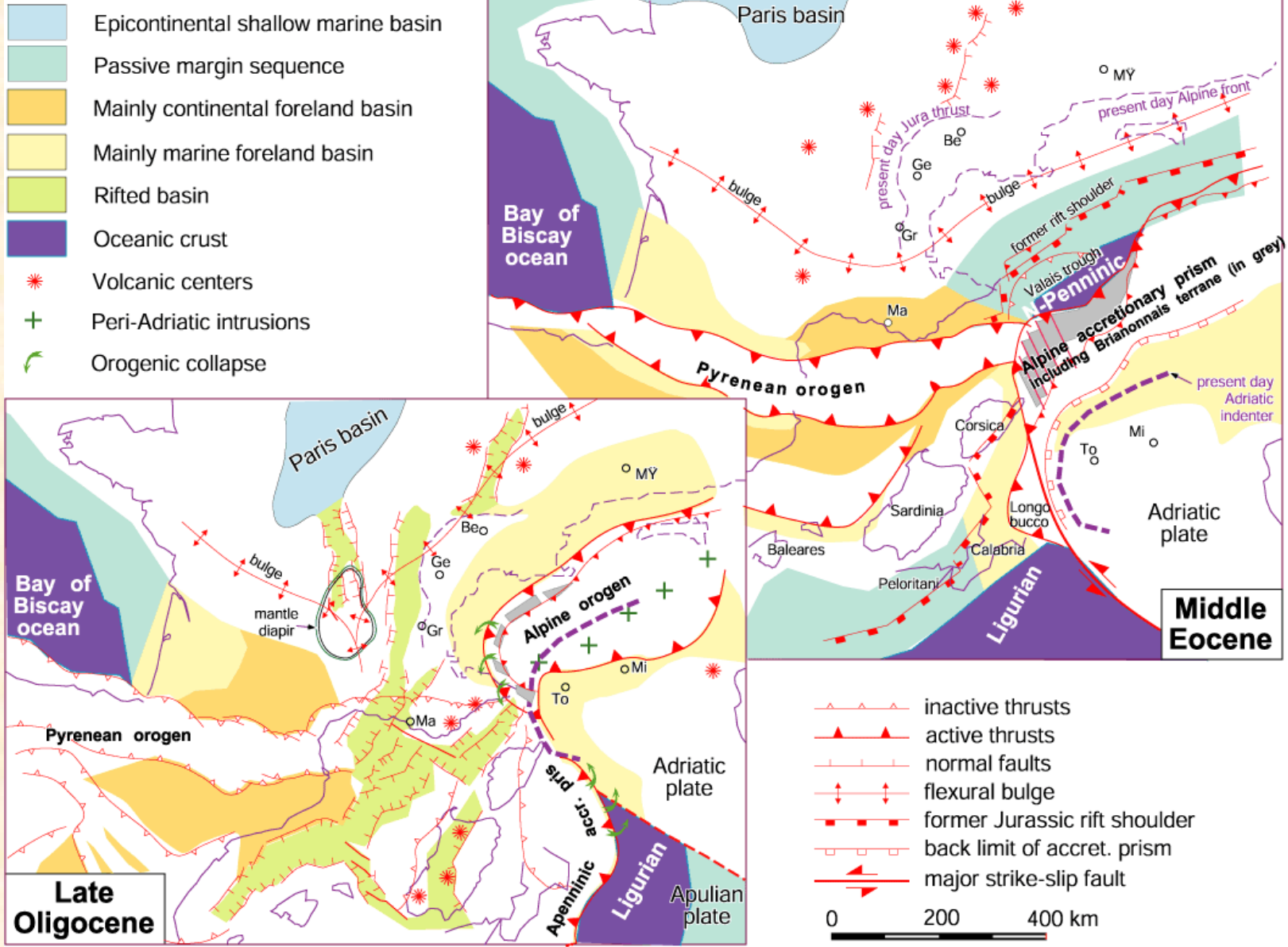


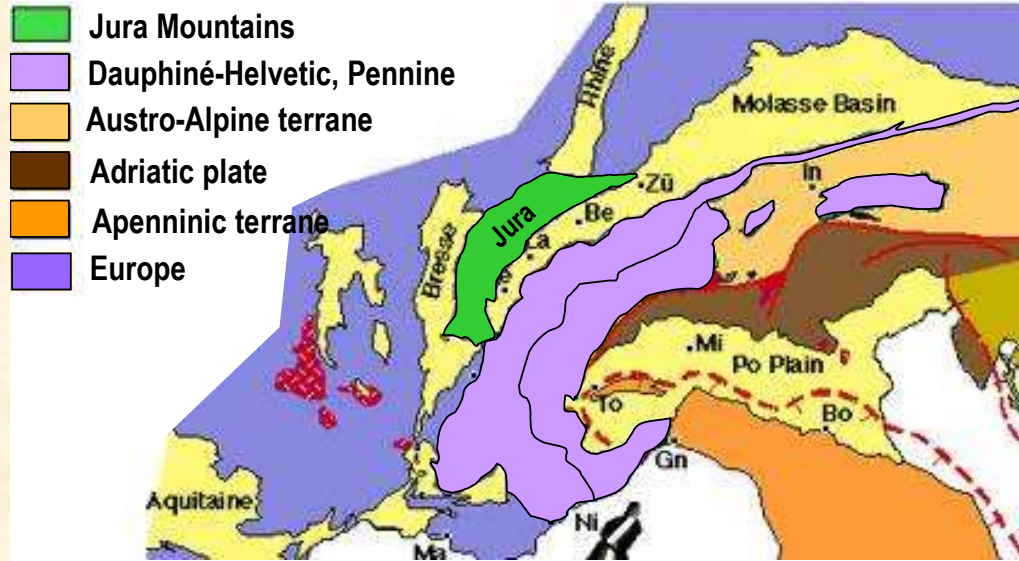
Figure 16. Reconstruction of the Helvetic margin in Maestrichtian and Early Oligocene (modified from Stampfli et al., 1998). See text for discussion and references about the timing of events. Stretching factor from Loup (1992). AR, Aiguilles rouges massif; MF, Mont Fort nappe; Mo, Morcles nappes domain; Di, Diablerets nappe domain; DB, Dent Blanche nappe; Le, Lebandun sequence; MB, Mont Blanc massif; Ni, Niesen nappe; N-S, nappes Supérieures; S-C, zone Sion-Courmayeur; S-M, Striver-Mischabel nappe; SuM, zone sub-Médane; Ts, Tsaté nappe; V-A, Verampio-Antigorio nappes; Wi, Wildhorn nappe domain; ZH-Po, zone Houlière, Pontis nappes.







# The Alps

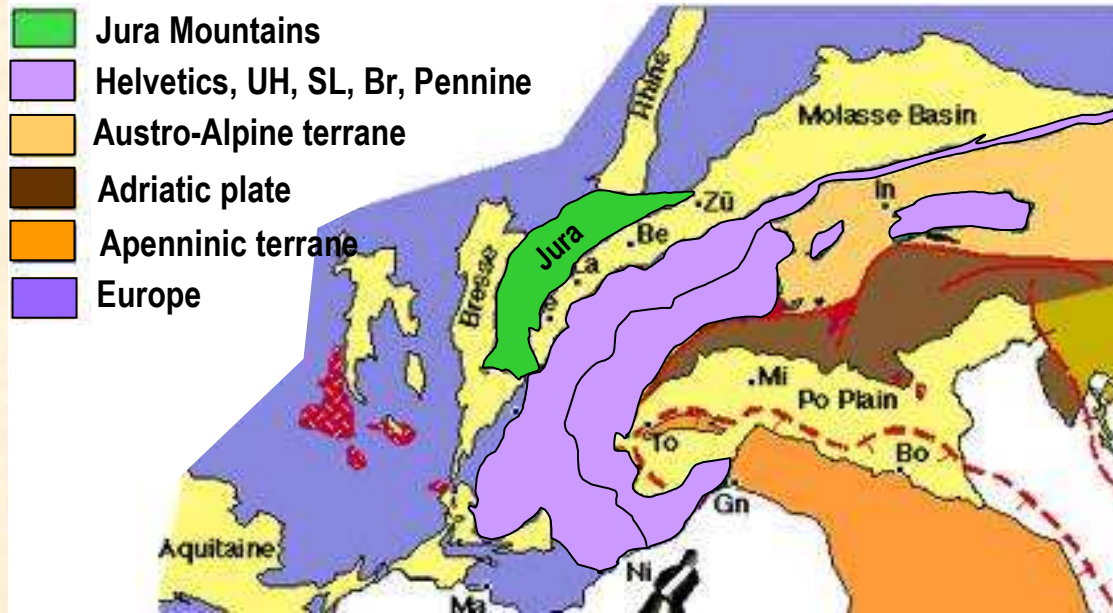


- focussing on Alps
- foreland: Hercynian basement massifs (Massif Central, Rhenish Shield, Vosges, Schwarzwald)
- open folding in south

- Jura Mountains: ffb, units thicken southwards
- transported (far to the) north on Permian evaporites (lubricated décollement)
- foreland basins (external molasse: Rhône-Rhine valleys, internal molasse: Bernese Oberland).

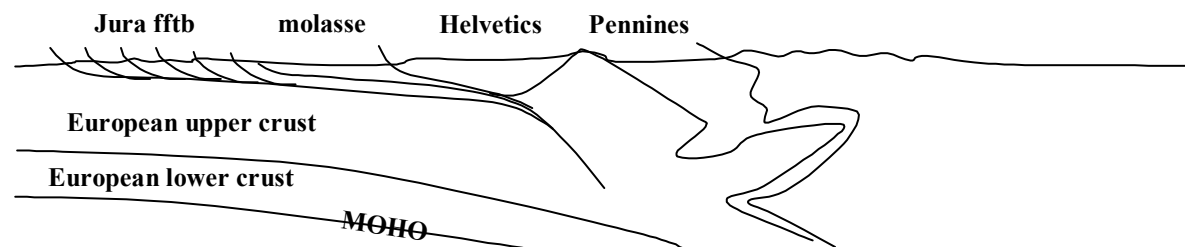


# The Alps



- main Alpine range
- Helvetics
- allochthonous klippen
- thrust over molasse
- shelf-slope facies (olistostrome, carbonate breccia)

- Ultrahelvetics, Schistes Lustrées, Briançonnais platform
  - sequentially higher nappes, more oceanic: carbonate + flysch; flysch (Valais ocean); carbonate bank respectively
- all allochthonous, NW vergent klippen
- Pennines: nappes, including Hercynian basement



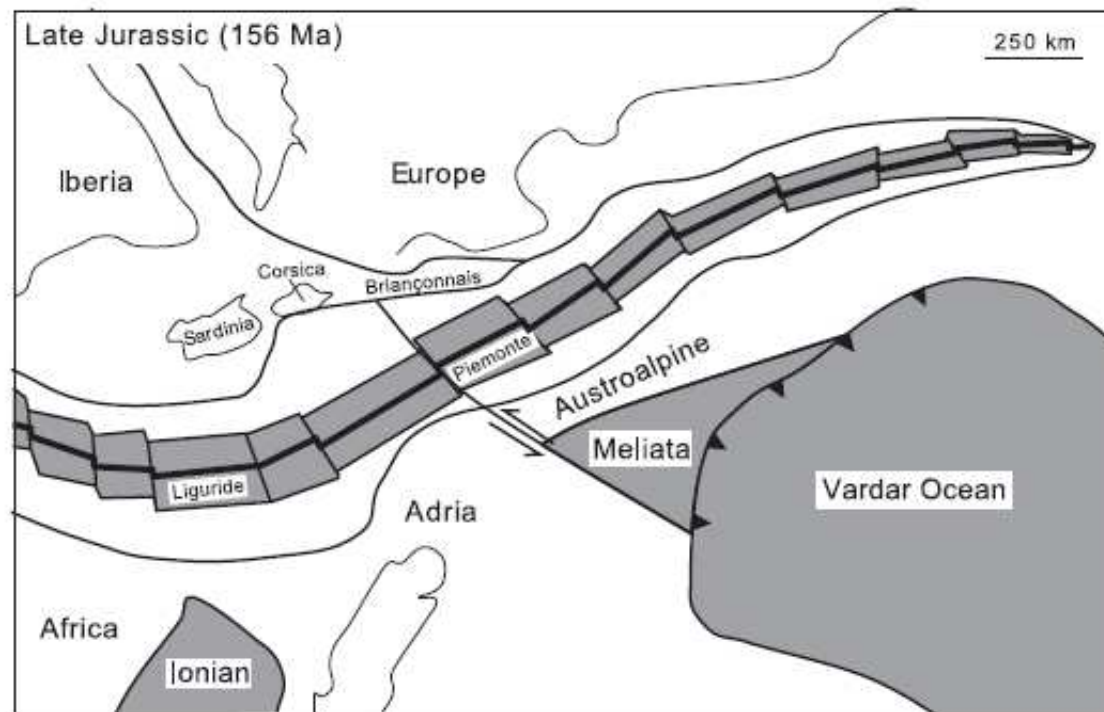


Fig. 8. Late Jurassic reconstructions (156 Ma), after Stampfli et al. (1998, 2001a, 2002) and Schmid et al. (2004).

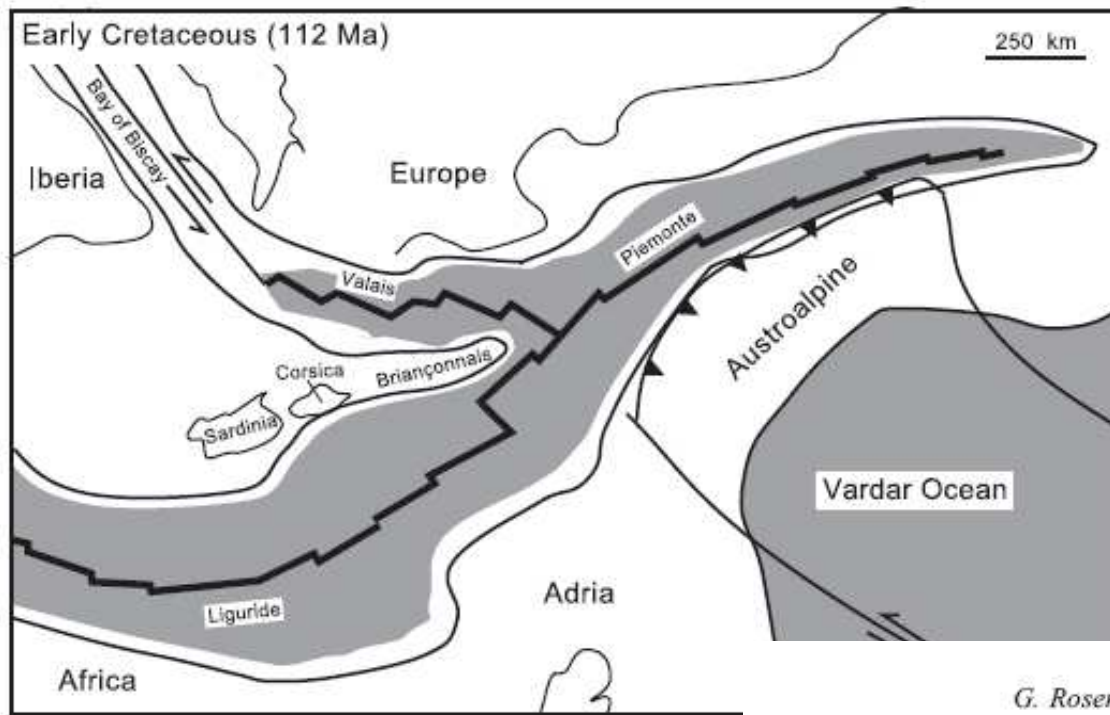


Fig. 9. Early Cretaceous reconstruction of the Western Alps, af

G. Rosenbaum, G.S. Lister / *Earth-Science Reviews* 69 (2005) 281–306

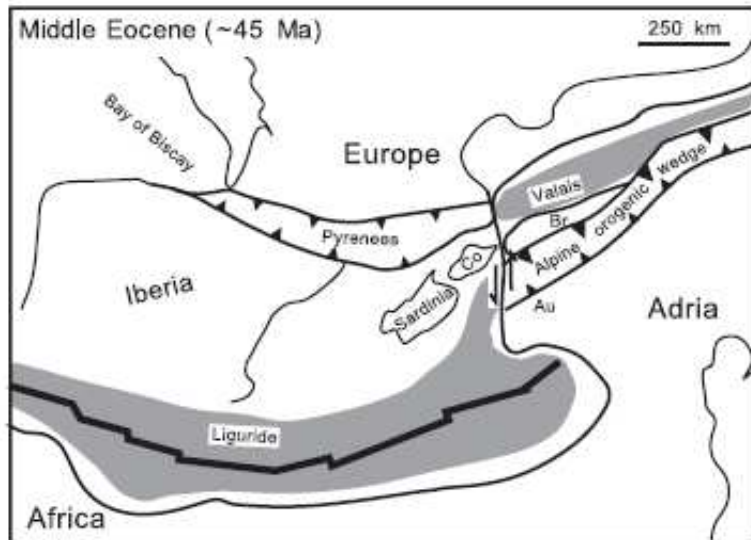


Fig. 11. Middle Eocene (~45 Ma) reconstruction of the Alps, partly modified after Stampfli et al. (1998).

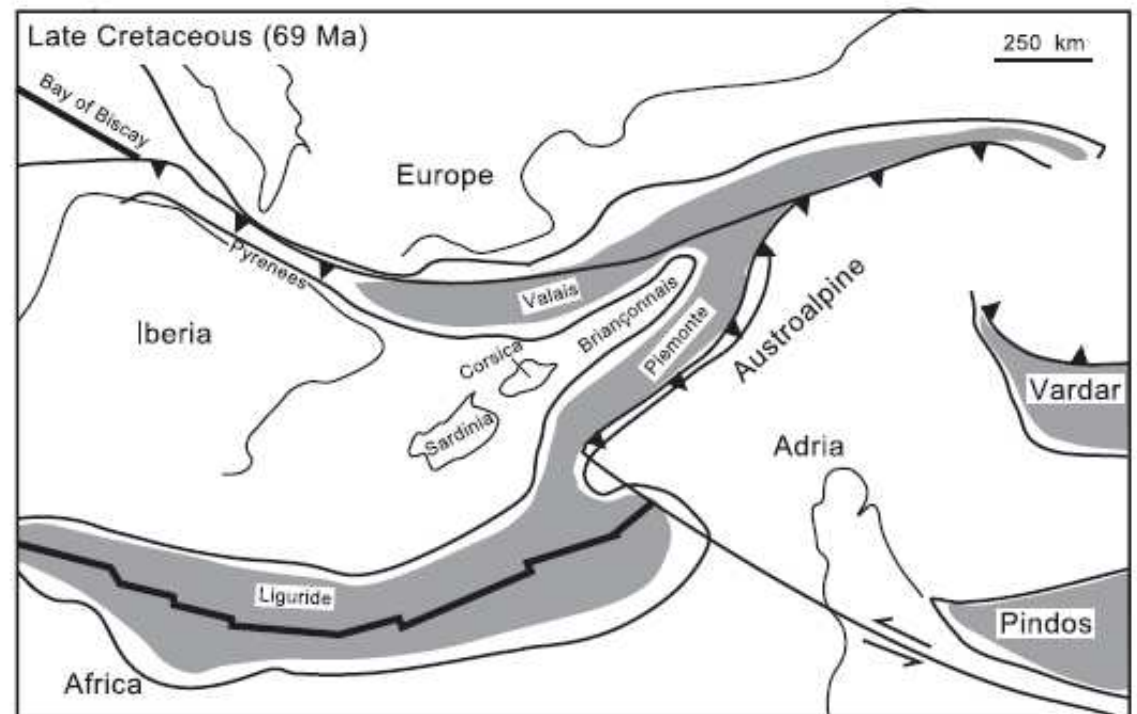


Fig. 10. Late Cretaceous reconstruction of the Alps, modified after Stampfli et al. (2002).