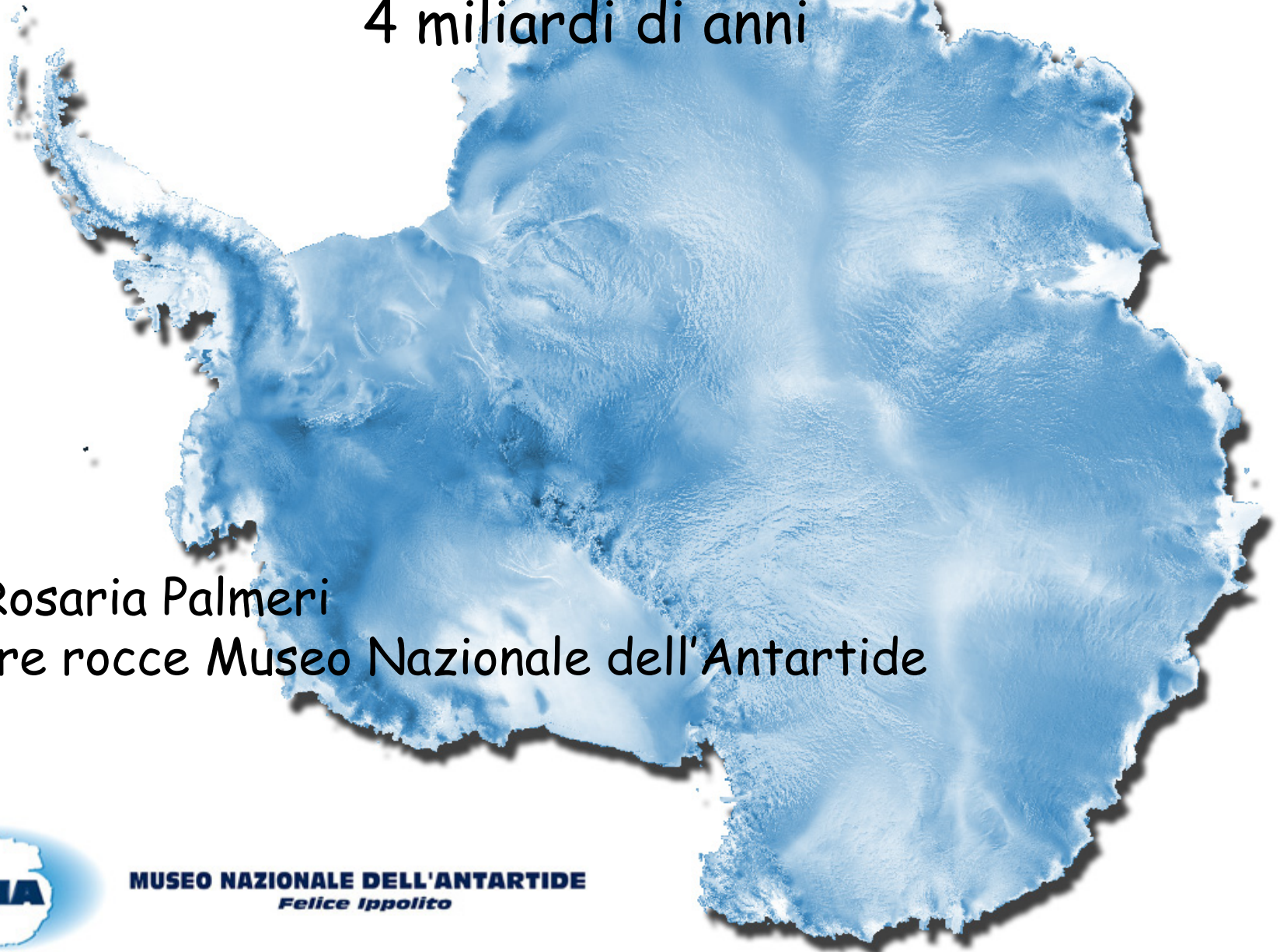


Evoluzione geologica dell'Antartide: una storia lunga 4 miliardi di anni

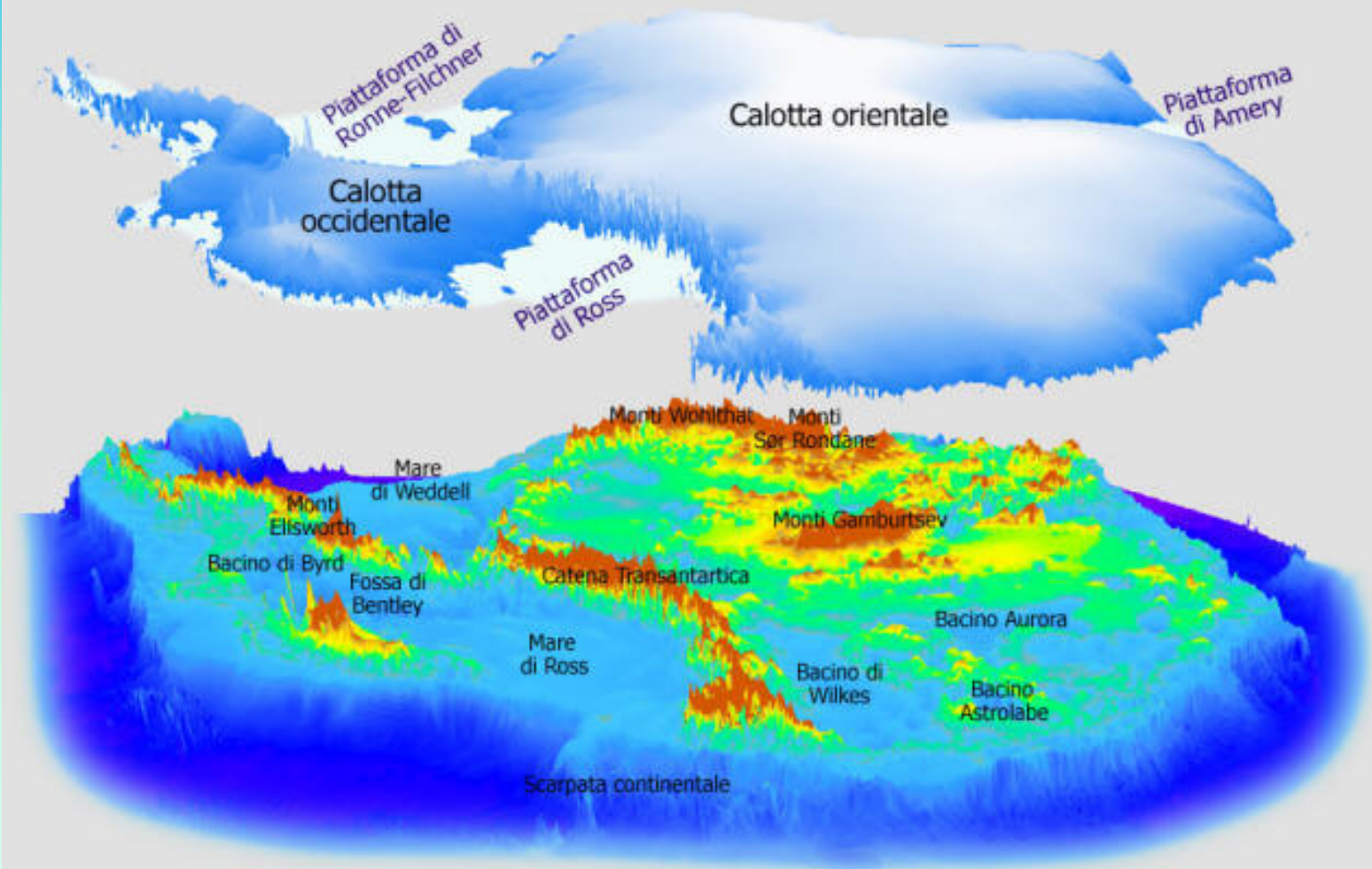


Dr.^{ssa} Rosaria Palmeri
Curatore rocce Museo Nazionale dell'Antartide



MUSEO NAZIONALE DELL'ANTARTIDE
Felice Ippolito

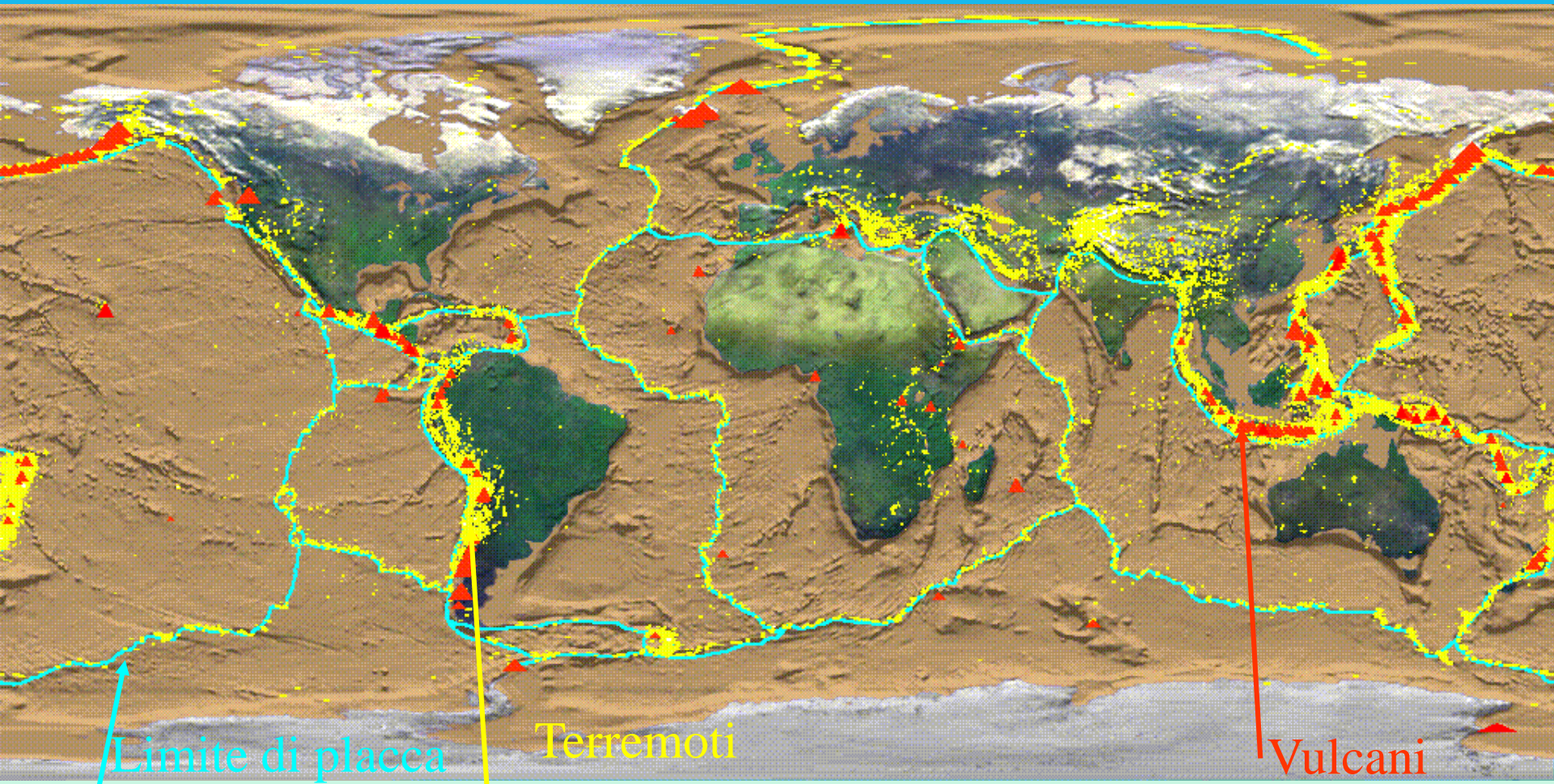
Un continente sotto le due calotte



Dove sono le rocce?



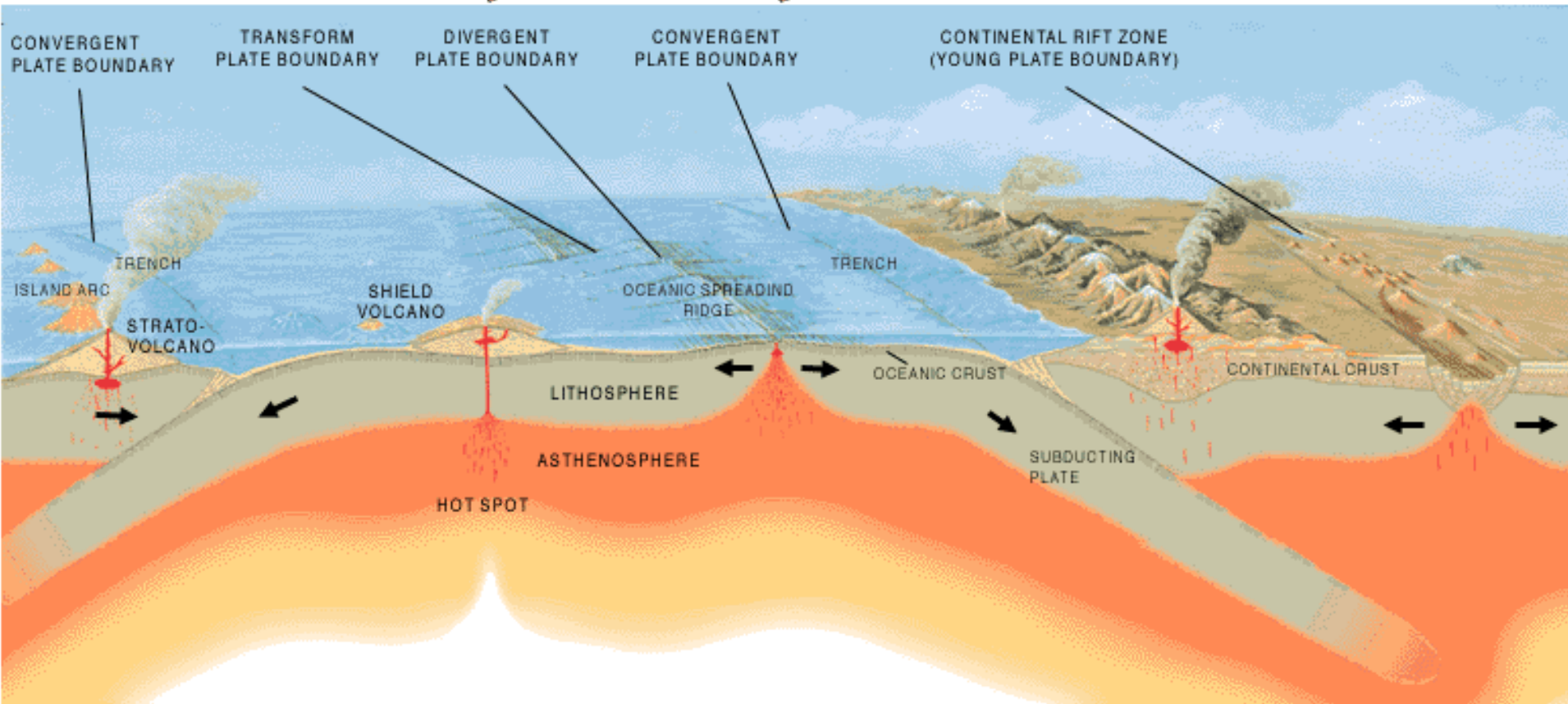
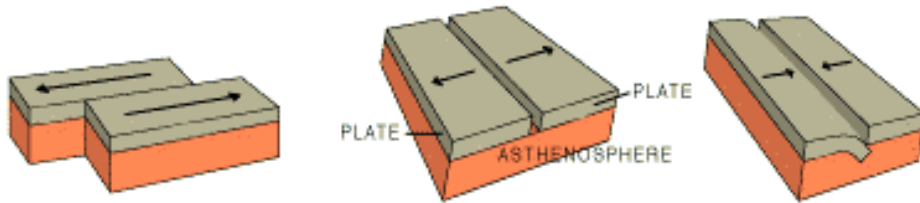
La tettonica a placche



La tettonica delle placche è considerata la rivoluzione copernicana della geologia. E' una teoria che spiega tutti i fenomeni osservati nella Terra quali terremoti, vulcani, bacini sedimentari, le orogenesi. Inoltre la teoria permette di ipotizzare, e talvolta ben ricostruire, quanto è avvenuto nei 4 miliardi di anni di storia del pianeta.

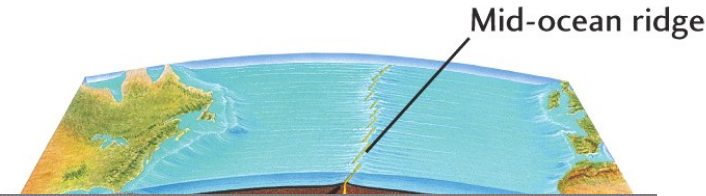
Margini delle placche

I limiti di placca sono individuati dai terremoti e/o dai vulcani. Più del 95% dell'attività sismica della Terra si verifica nei margini di placca e quindi rappresenta l'espressione dei movimenti relativi delle placche

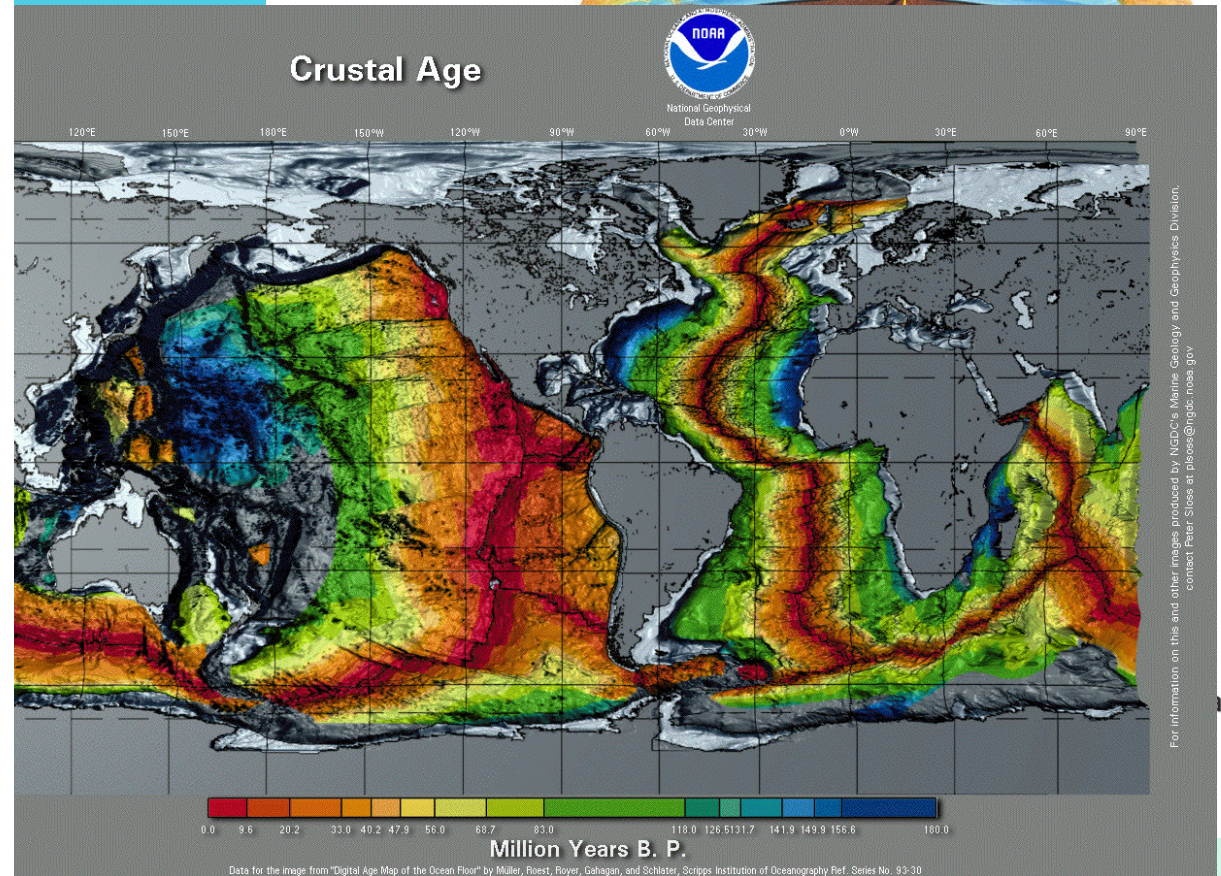
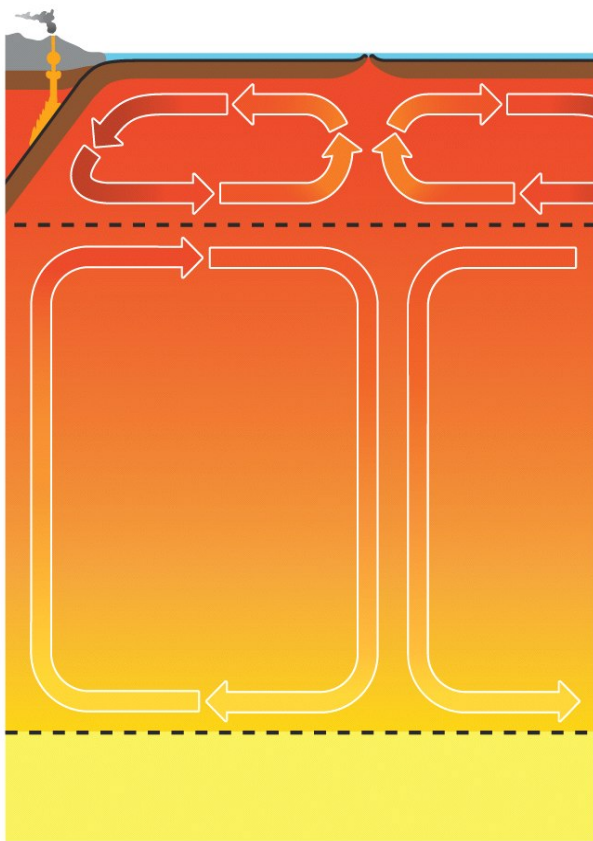


Margini Divergenti

Il margine divergente è materializzato dalle dorsali oceaniche, che sono una zona sismica con ipocentri poco profondi (meno di 70 km)



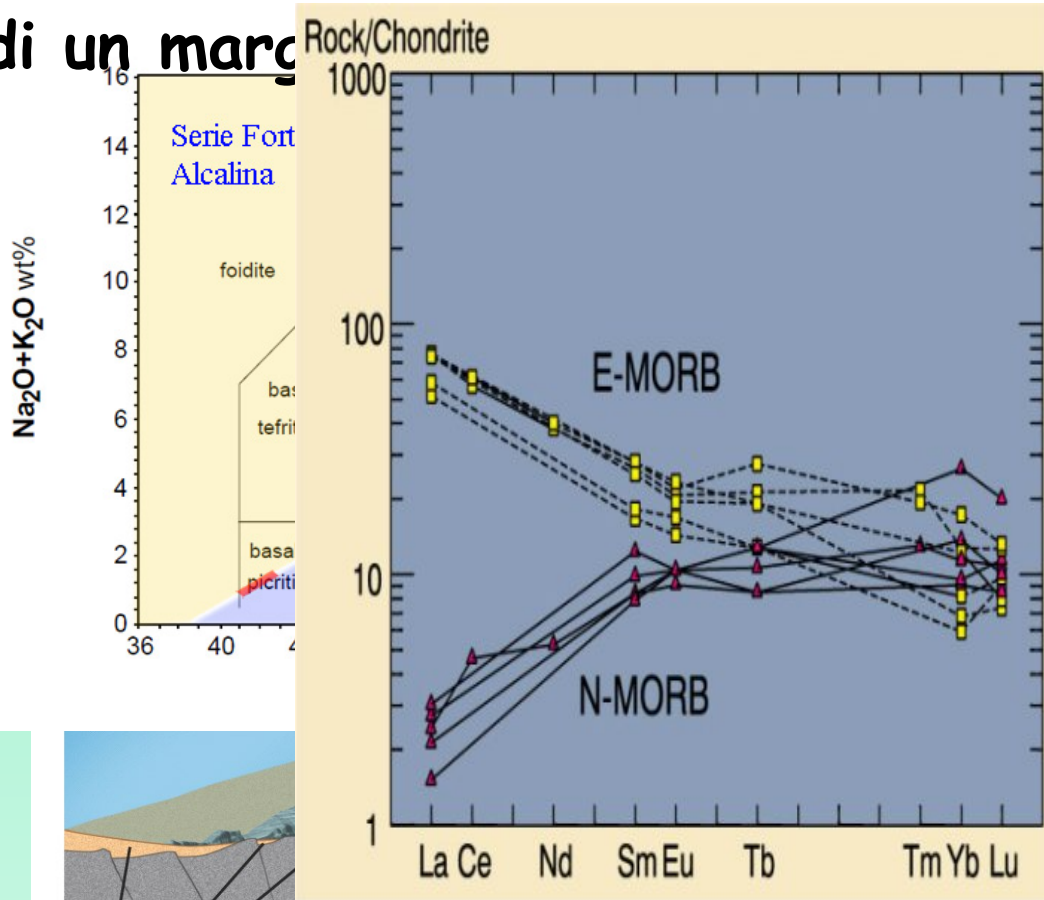
(b) Stratified convection



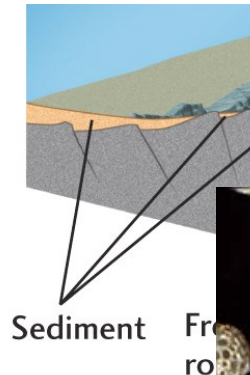
Questo dimostra che le placche si allontanano reciprocamente, generando l'espansione del fondo oceanico. Questa scoperta è stata uno degli elementi più importanti del modello della tettonica a placche.

Elementi caratterizzanti di un margine

- Grande abbondanza di rocce basaltiche tipo N-MORB.
- N-MORB hanno marker geochimici molto caratteristici es. bassi contenuti in alcali soprattutto di K ed elementi in tracce quali REE (Terre Rare) con traccianti molto caratteristici.



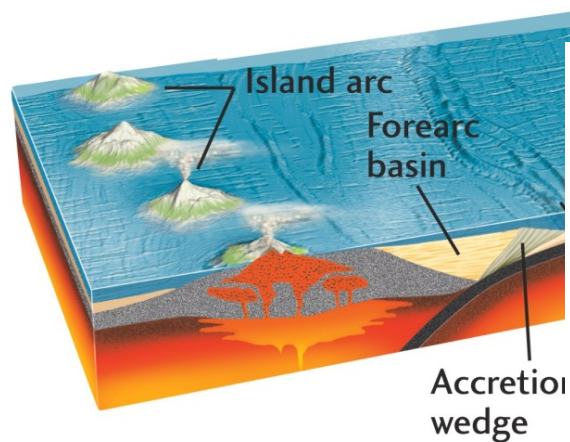
- I basalti sono associati a sedimenti marini (gusci di organismi planctonici) che hanno età decrescente dal rift verso il continente, e dal basso verso l'alto della colonna stratigrafica.



Il margine convergente

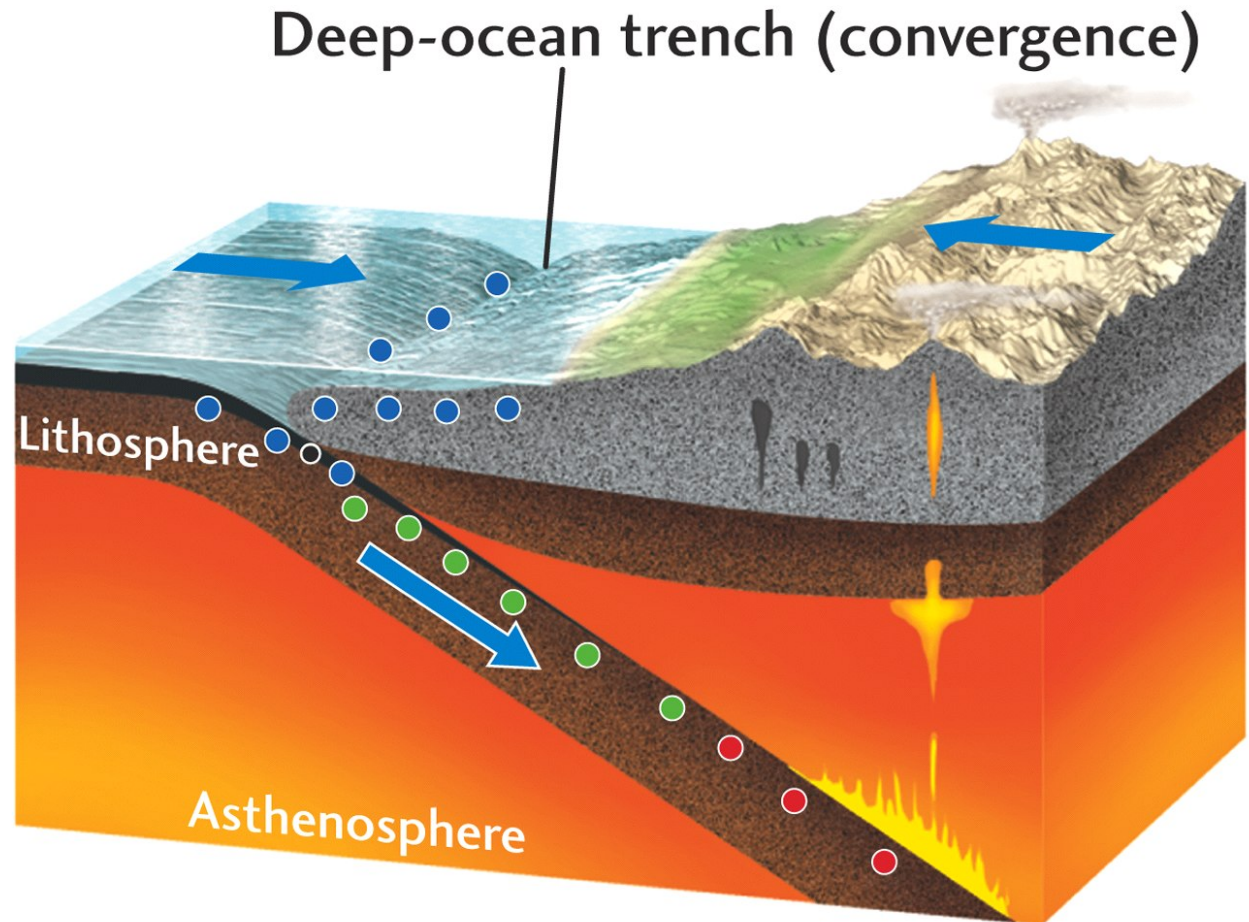
Esistono due tipi di subduzione: a) subduzione di tipo B (Benioff) quando la subduzione interessa la crosta oceanica, e subduzione di tipo A (Ampferer) quando la subduzione interessa la crosta continentale.

Subduzione tipo B: oceano-oceano

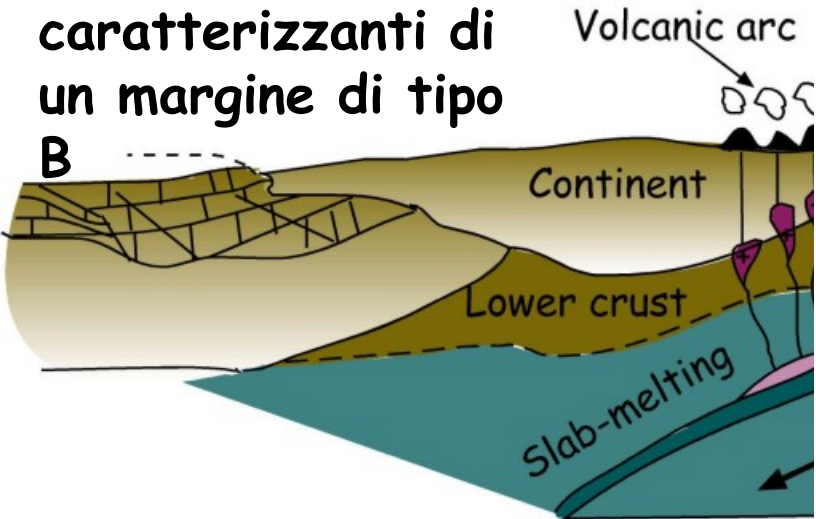


Active margin of the Marianas ty

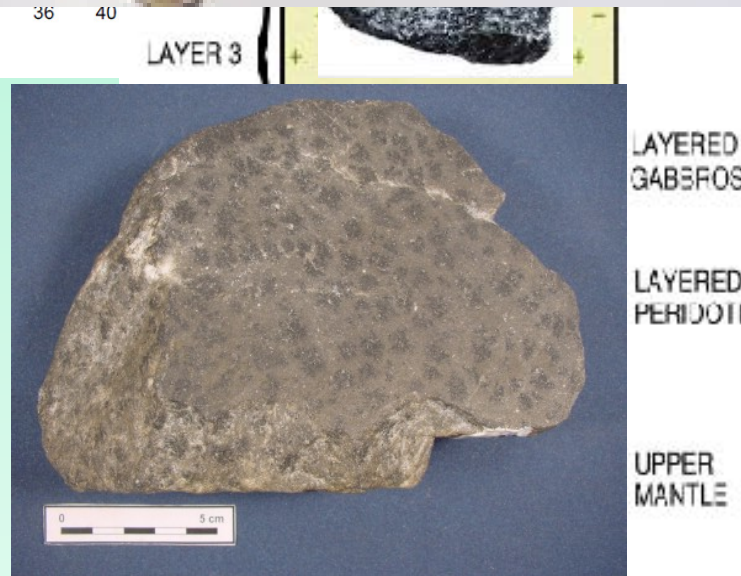
Subduzione tipo B:
oceano-continente



Elementi caratterizzanti di un margine di tipo B

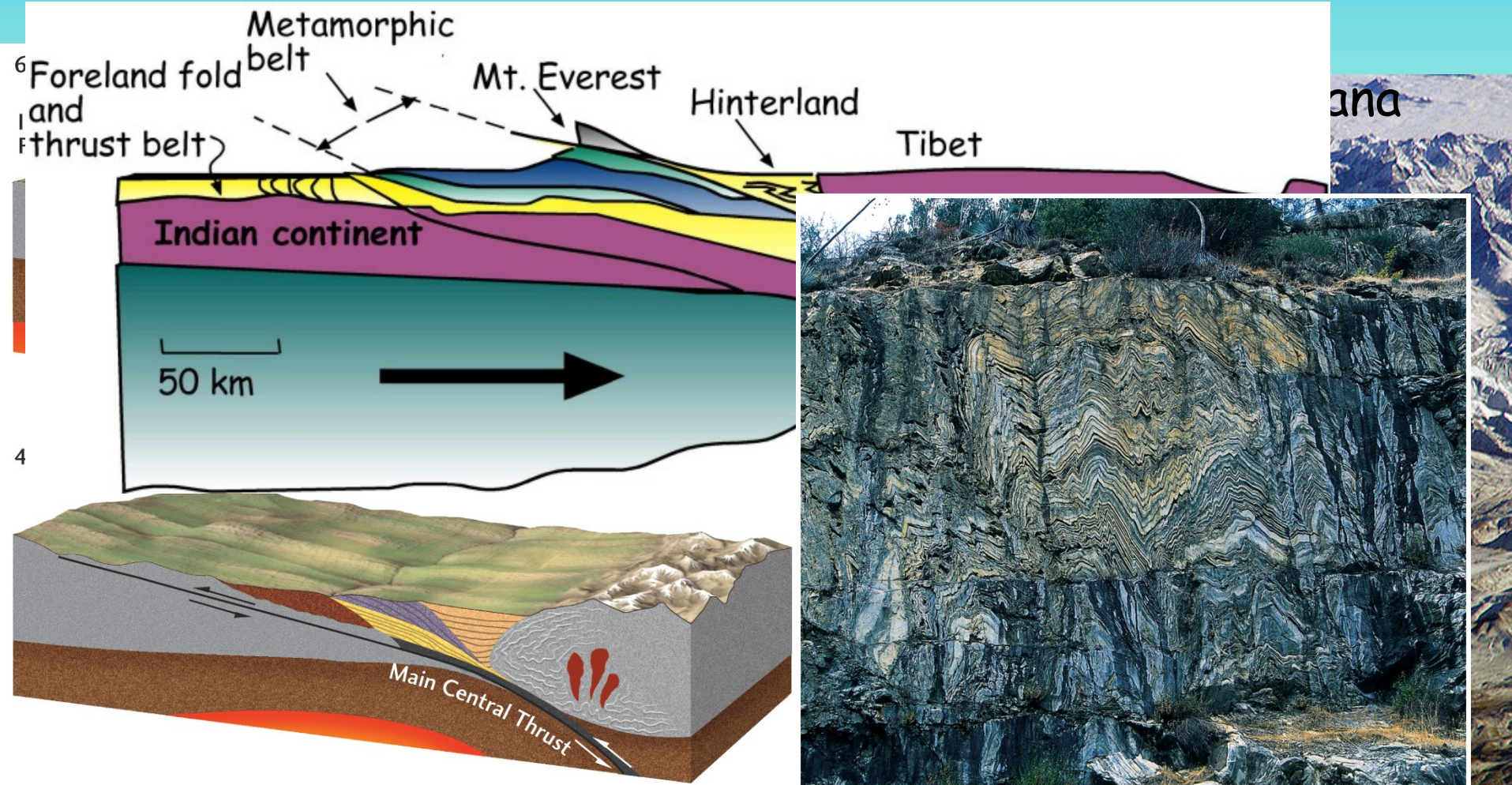


- Arco vulcanico all'interno del continente con magmatismo e grandi intrusioni granitoidi di tipo calc-alcalinio;
- Ofioliti (rocce che costituivano la crosta oceanica) al margine del continente;
- Fasce metamorfiche appaiate (rocce di alta pressione e rocce di bassa pressione)

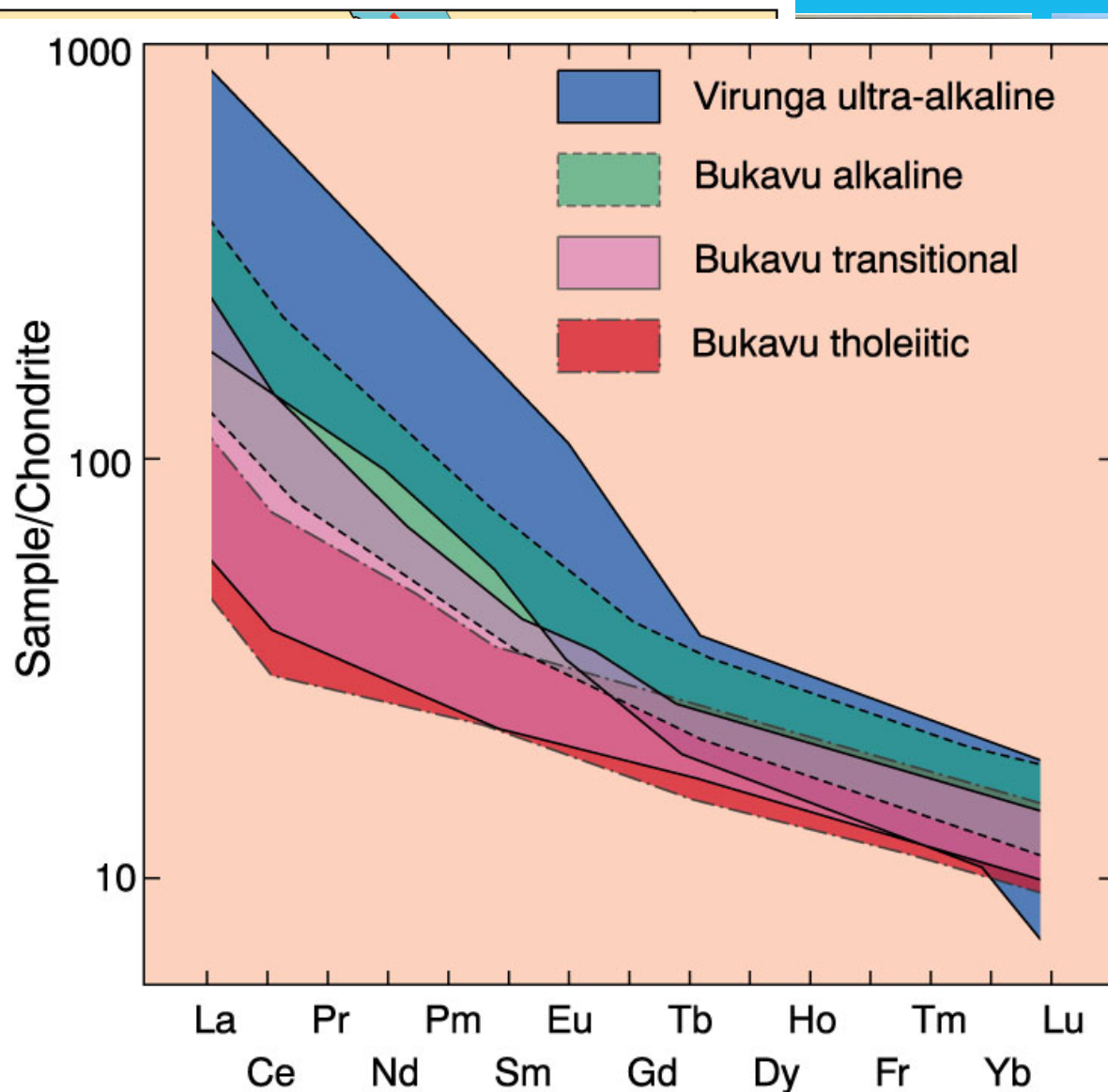


Il margine convergente di tipo A

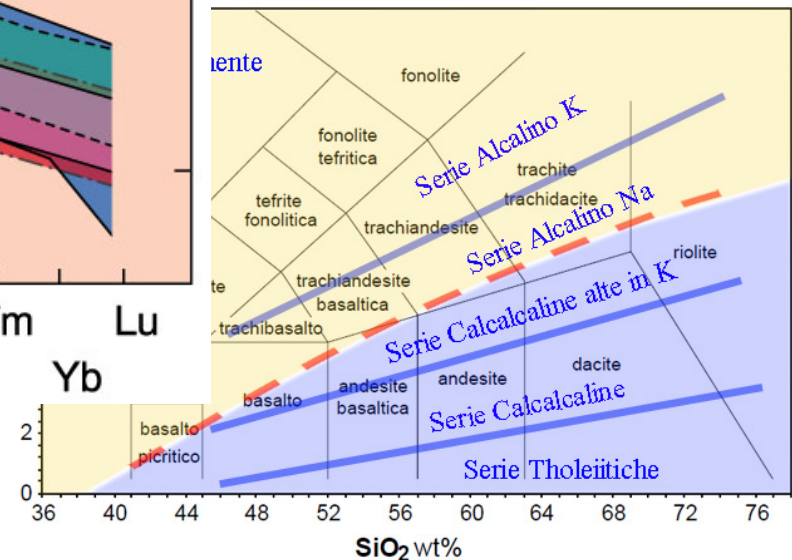
- a) Catene montuose molto imponenti e un forte ispessimento della crosta.
- b) Rocce magmatiche rare od assenti
- c) Fascia di "ofioliti" (rocce che costituivano la crosta oceanica) compresa fra rocce di basamento continentale
- d) Abbondanza di rocce metamorfiche spesso di origine diversa e di alta ed altissima pressione.



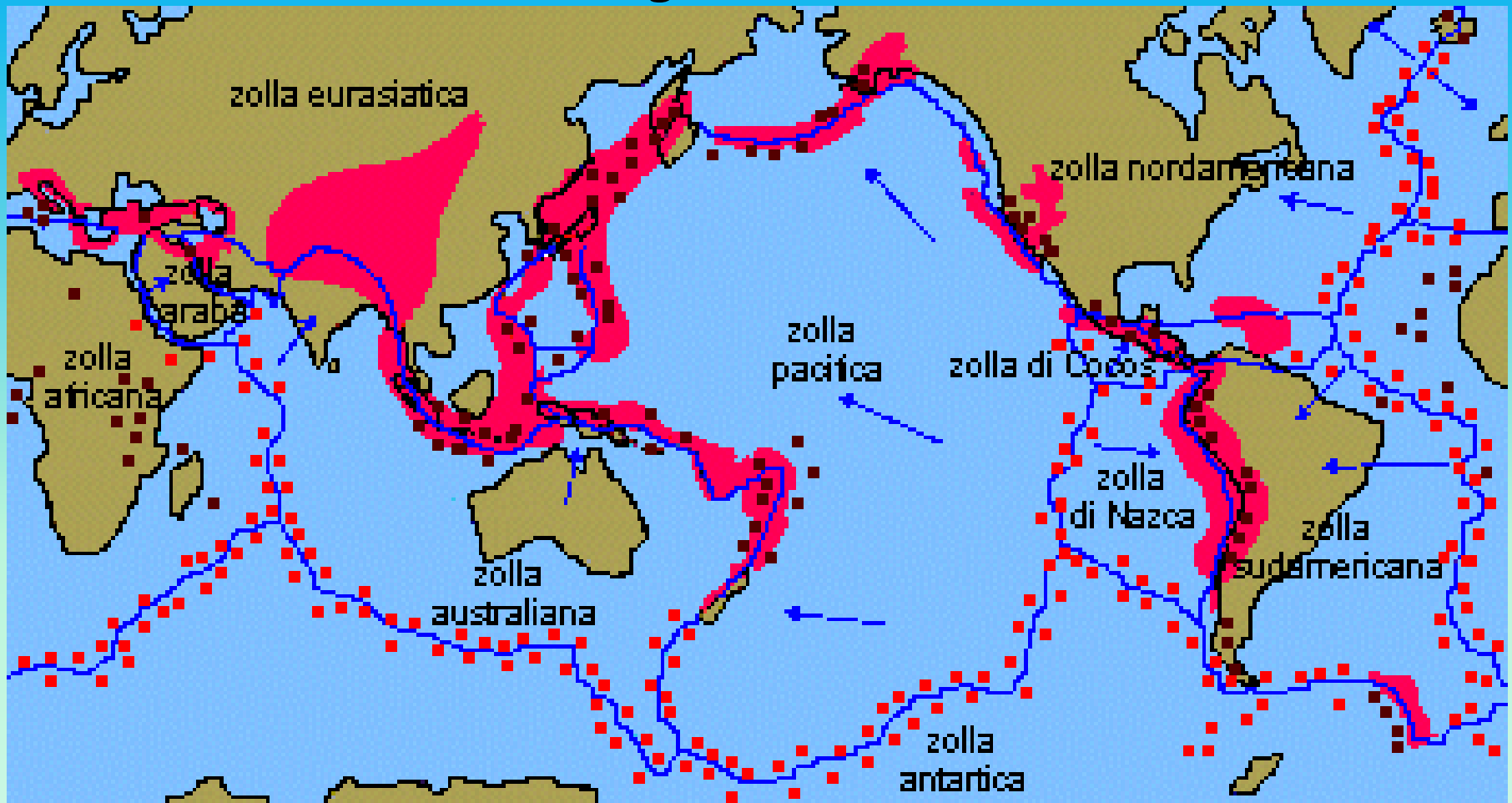
Rift in crosta continentale



Assenza di vulcani con
 rocce basaltiche di tipo
 olivino, che spesso hanno
 usi di mantello.



Orogeni e cratoni



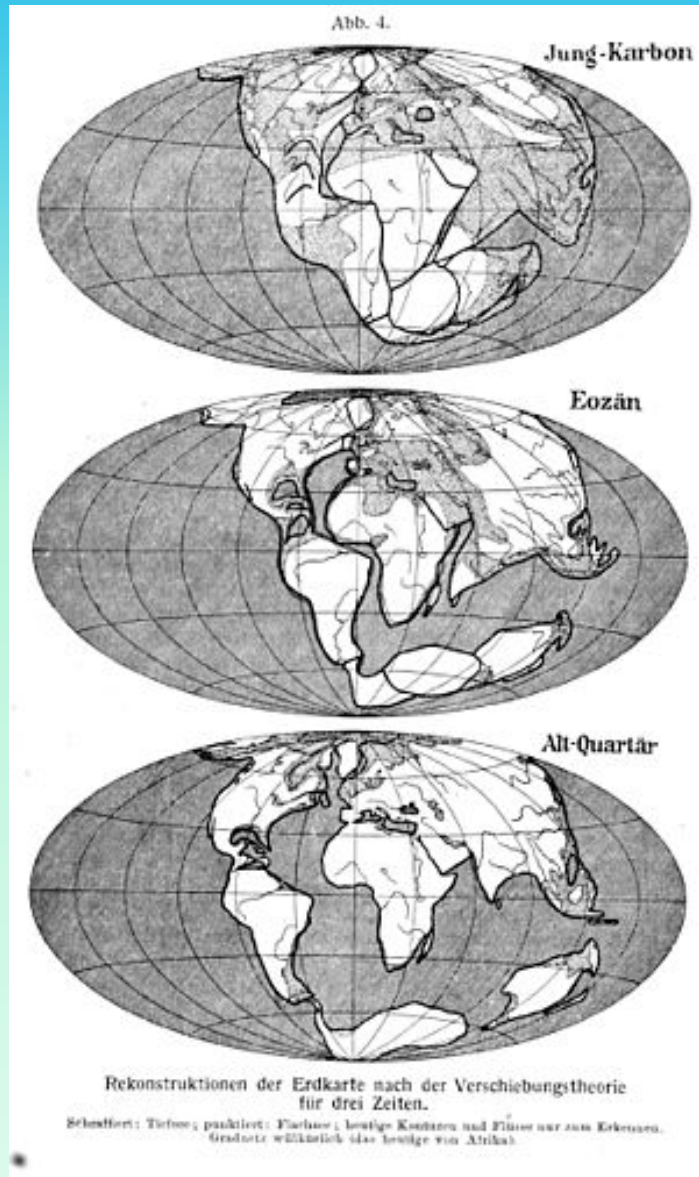
 Aree sismiche  Epicentri dei sismi  Vulcani attivi  Limite delle placche litosferiche

Orogeni: zone delle placche in cui si formano le montagne, è caratterizzata da terremoti e/o attività vulcanica e generalmente corrisponde ai margini convergenti.

Cratone: zone interne della placca caratterizzate da assenza di terremoti ed attività vulcanica. I cratoni sono le aree più antiche della Terra.

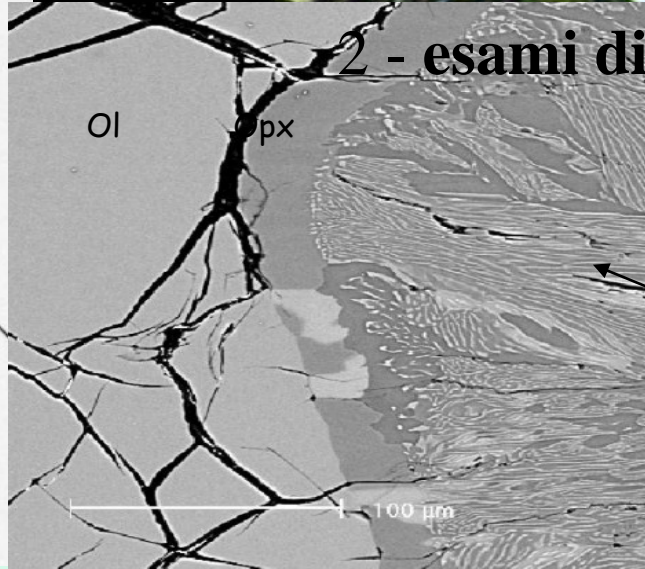
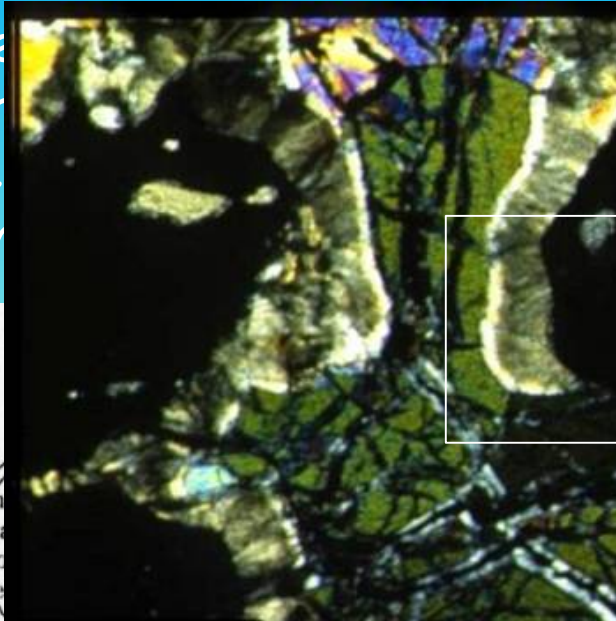
Come facciamo a ricostruire la storia geologica dei continenti?

Il principio dell'attualismo ci permette di applicare il modello della tettonica a placche al passato, cioè a milioni o miliardi di anni indietro.



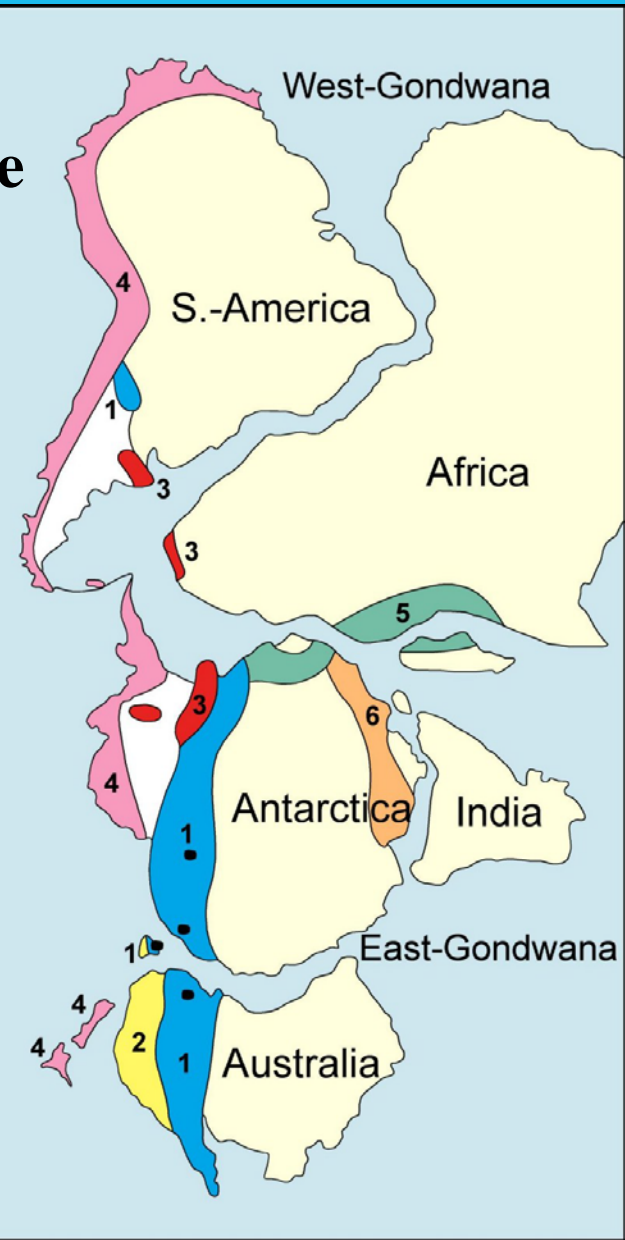
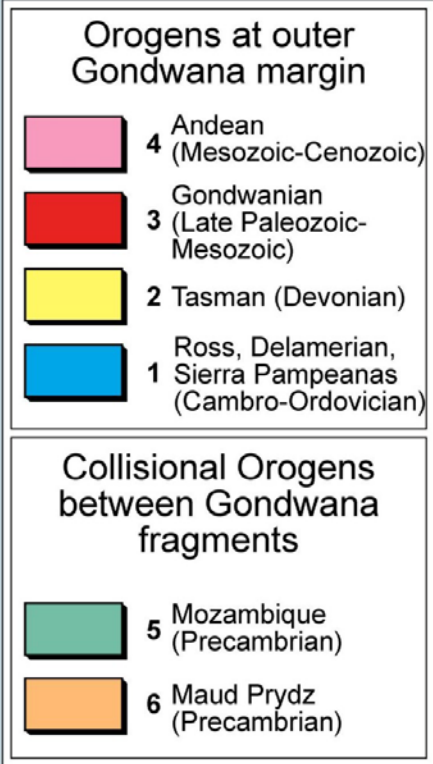
Come facciamo a ricostruire la storia geologica dei continenti

Wege
super
come
devor



2 - esami di

3- ricostruzioni paleogeografiche

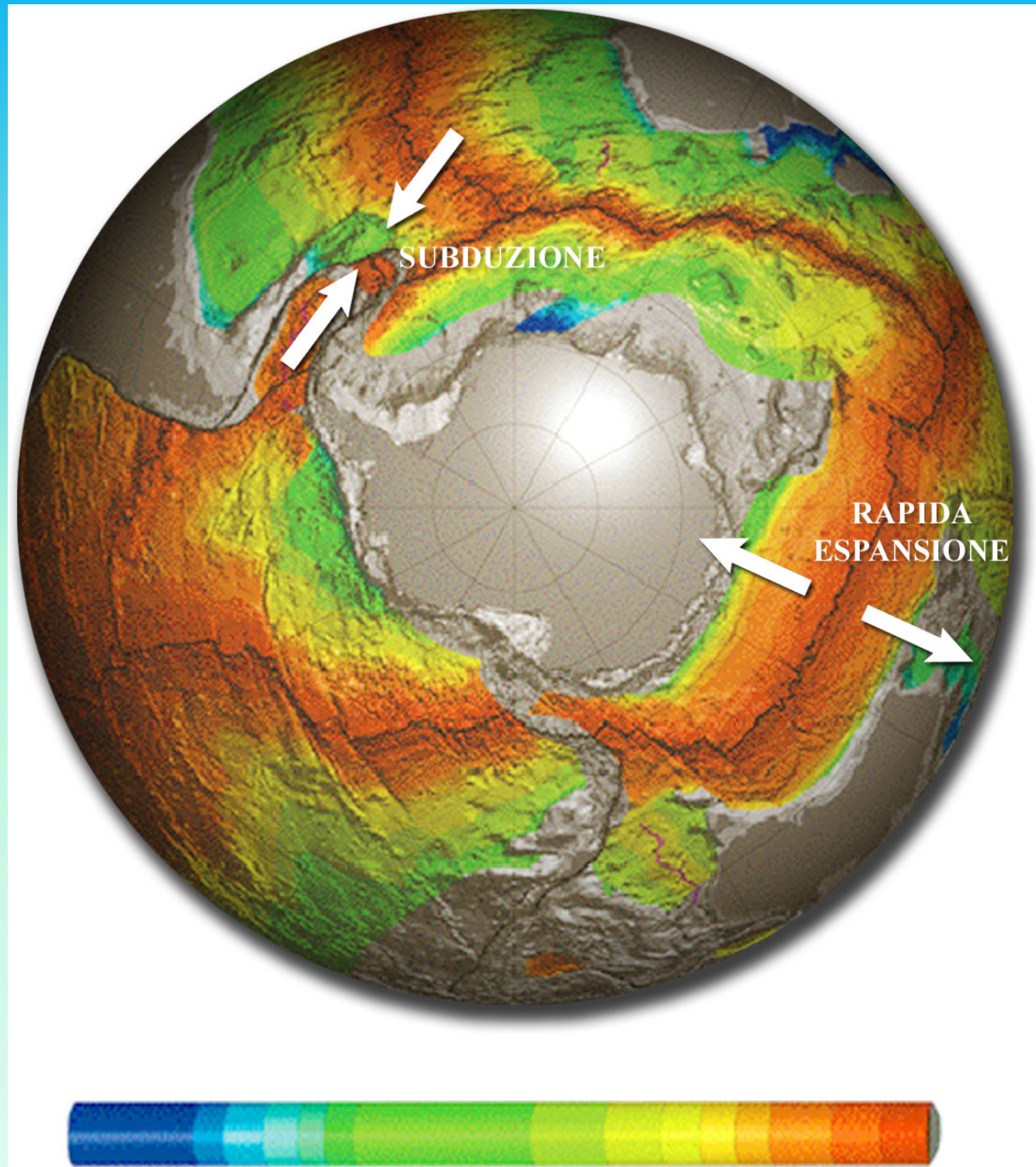


L'Antartide dal punto di vista della Tettonica delle Placche

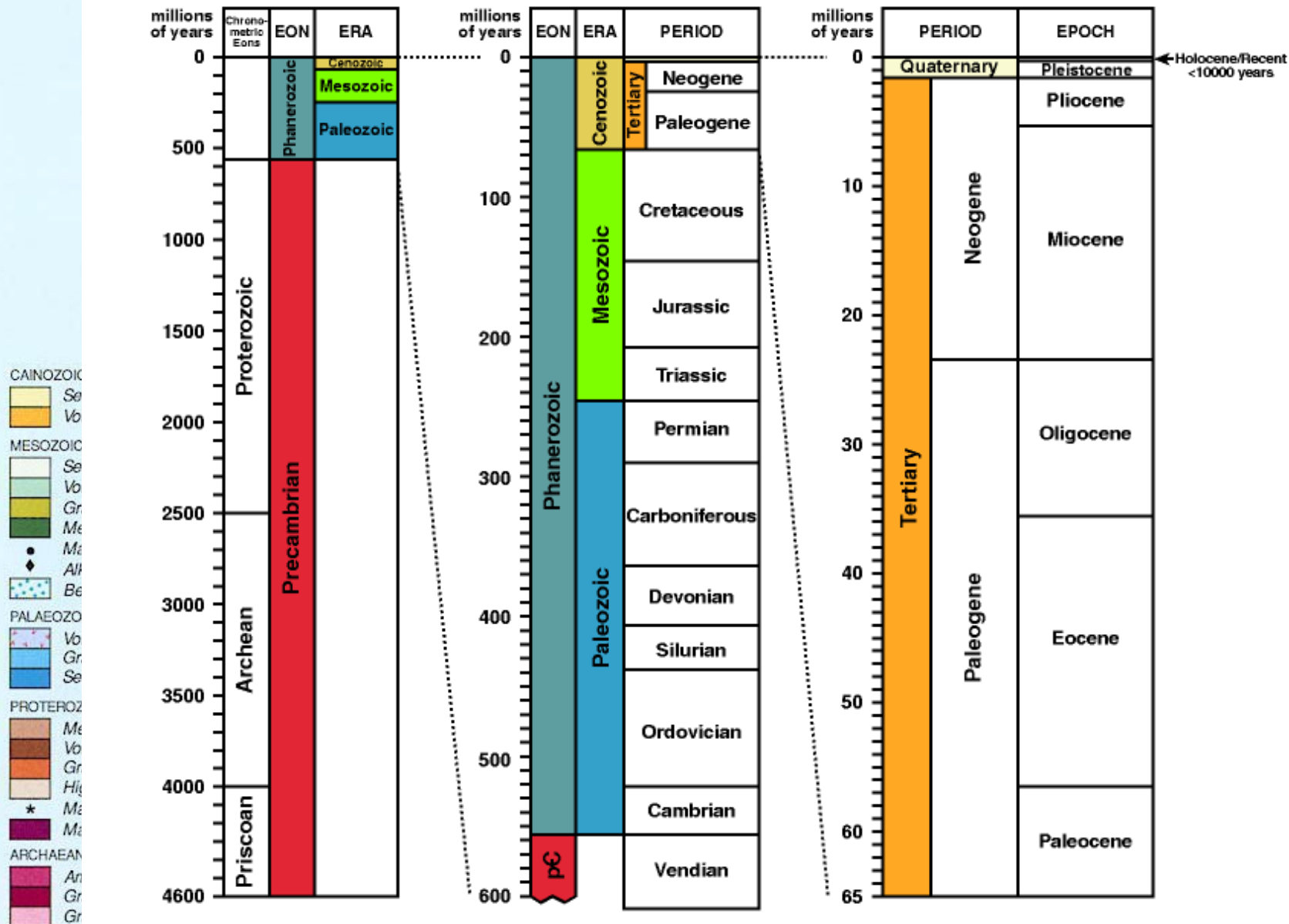
- La placca antartica è circondata da margini divergenti in rapida espansione

- L'Antartide è un cratone, infatti si registra una scarsa attività sismica e vulcanica

-...ma è sempre stato così?



Carta geologica dell'Antartide



La Terra primordiale (Eone Adeano)

Il termine “Adeano” viene dal greco “Hades” (Inferi).
Tale similitudine è adatta a descrivere le fasi primordiali della Terra,
quando la temperatura superficiale era intorno ai 110 gradi C.

Cause dell'elevata temperatura:

- 1) **Abbondanza nell'atmosfera di gas serra quali CH₄ e CO₂**
- 2) **Maggiore flusso di calore dall'interno della Terra dovuto a:**
 - **concentrazione di radionuclidi;**
 - **differenziazione planetaria;**
- 3) **Frequenti impatti con asteroidi**
- 4) **Intensa attività vulcanica**

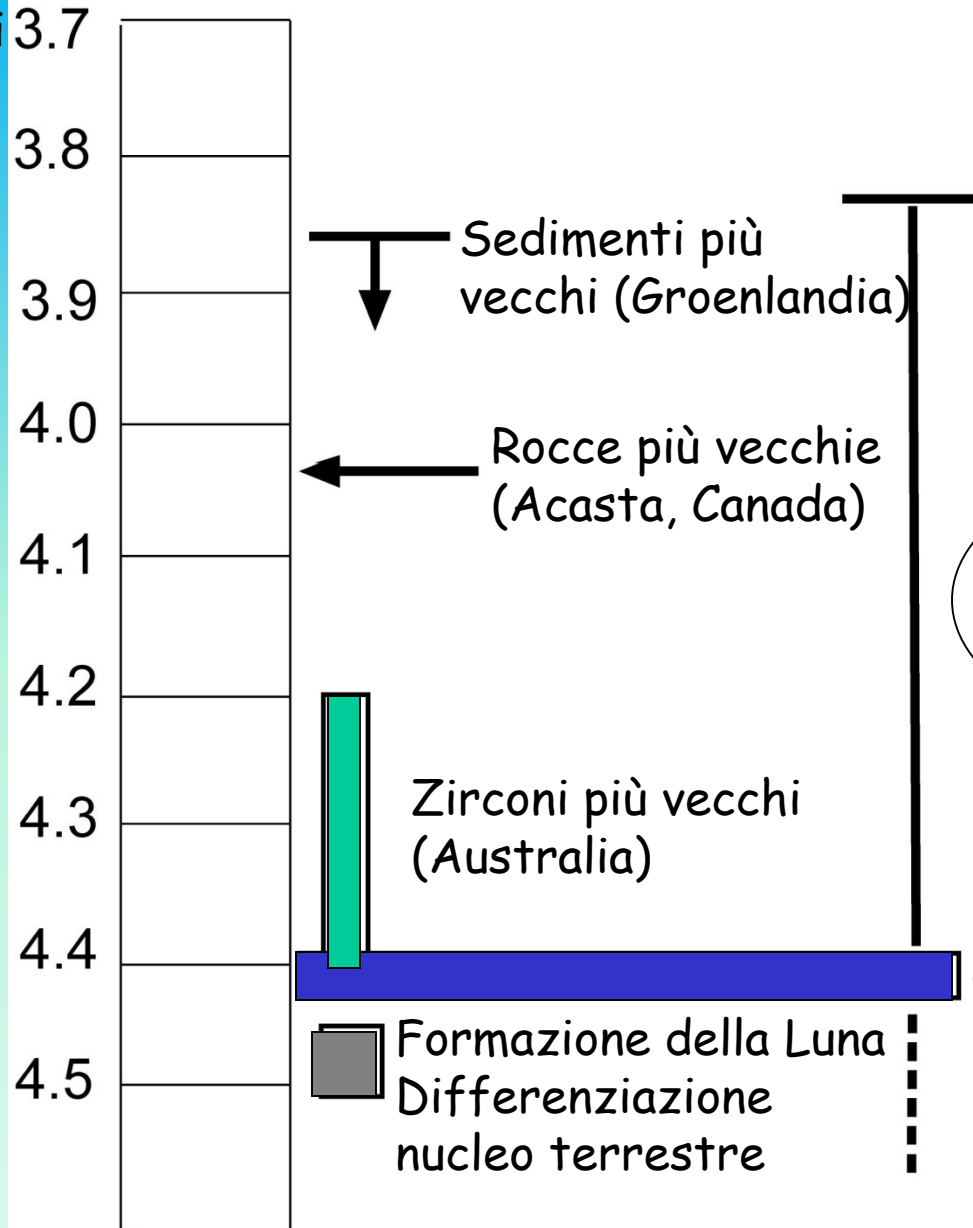
La Terra primordiale (Eone Adeano)

L'eone Adeano dura dalla formazione della Terra fino a 3.8 miliardi di anni fa, età delle più antiche rocce sedimentarie oggi preservate. Significa che di una grossa fetta della storia della Terra **non abbiamo informazioni provenienti da formazioni geologiche.**

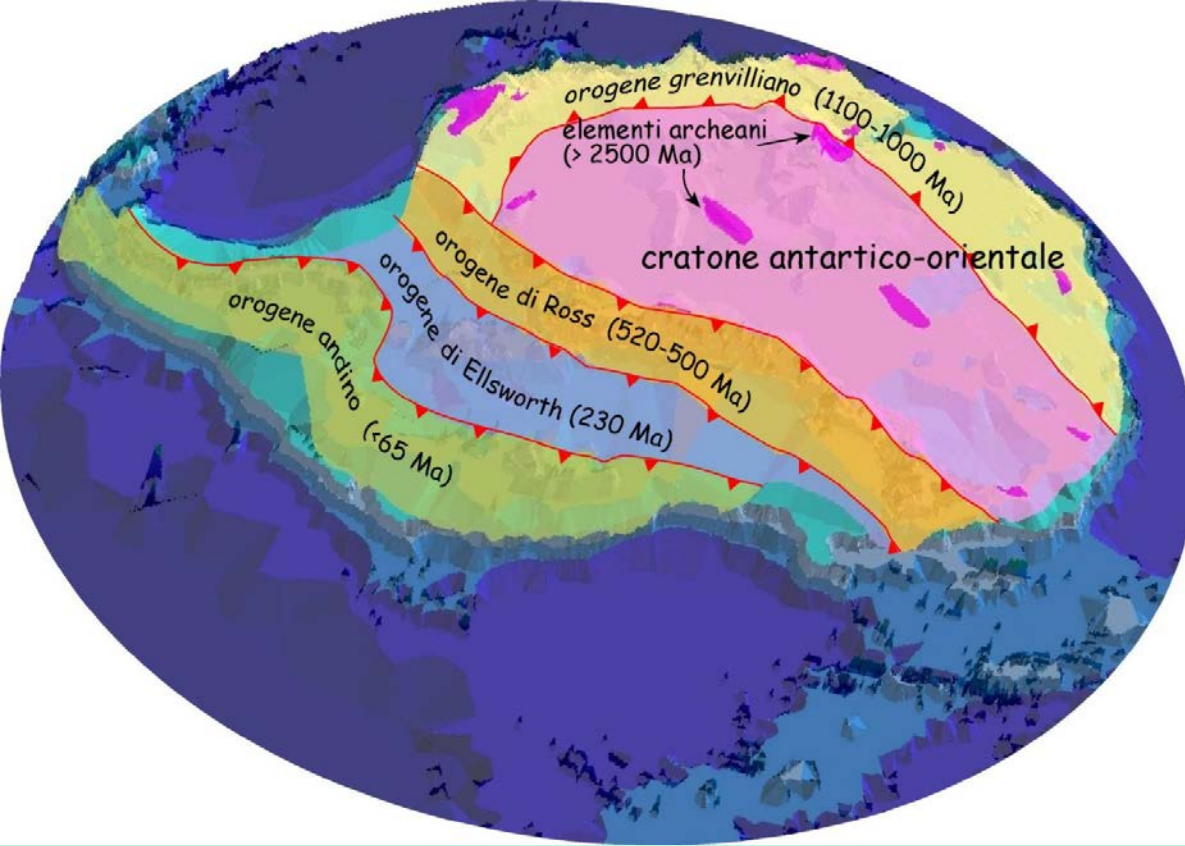
Tuttavia, all'interno di rocce Archeane nelle colline Jack Hills, in Australia, sono stati ritrovati degli **zirconi risalenti a 4.4 Ga.** Questi zirconi forniscono due preziose informazioni:

- 1) i rapporti isotopici dell'ossigeno potrebbero indicare la presenza di oceani già a quel tempo;
- 2) la roccia che contiene lo zircone indica una origine continentale.

Miliardi di anni 3.7



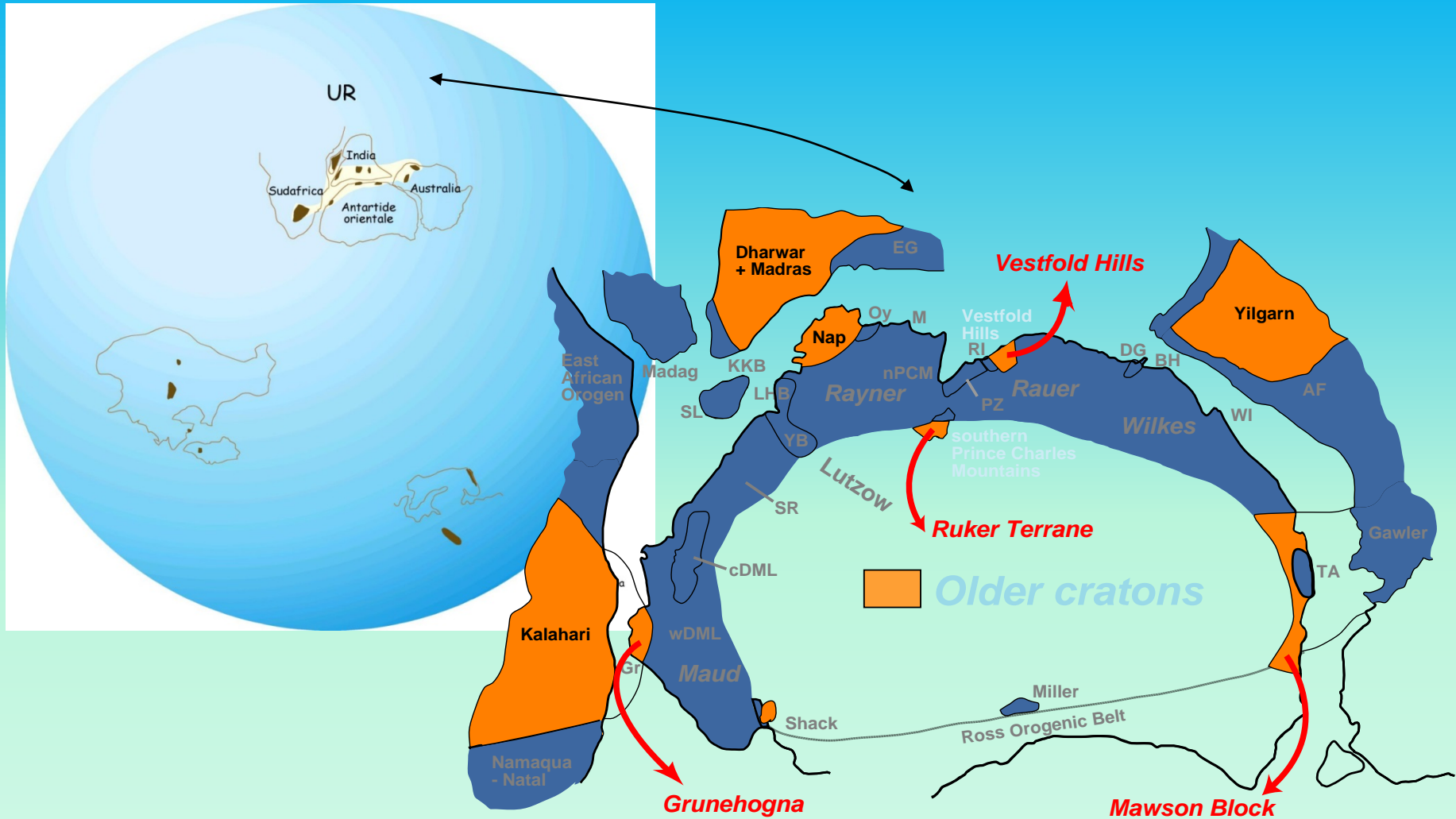
Zircone
Enderby Land



I momenti più importanti della storia geologica dell'Antartide (e anche della Terra):

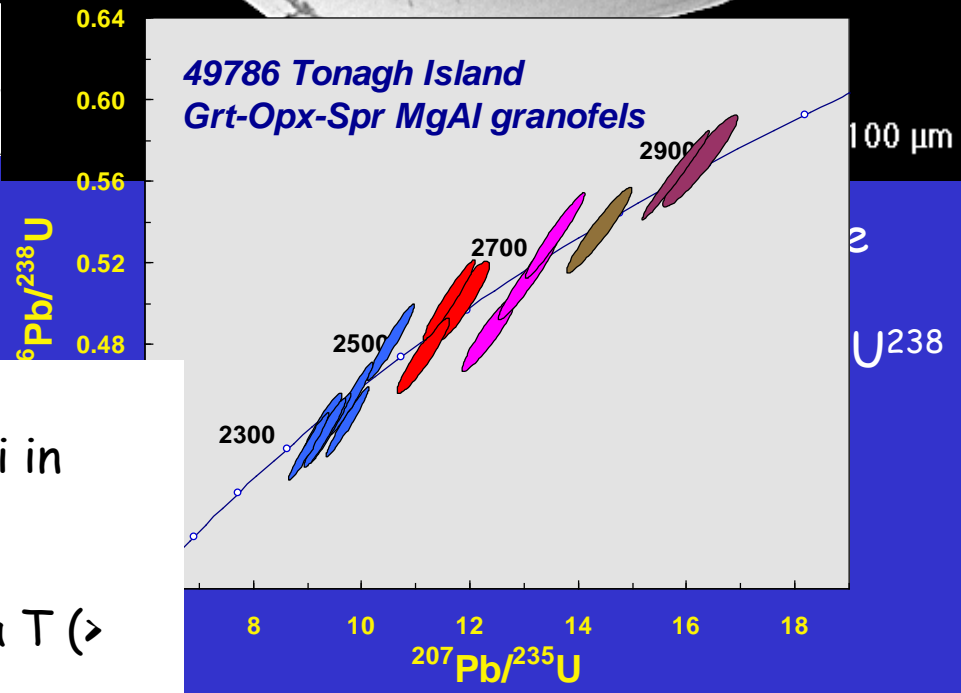
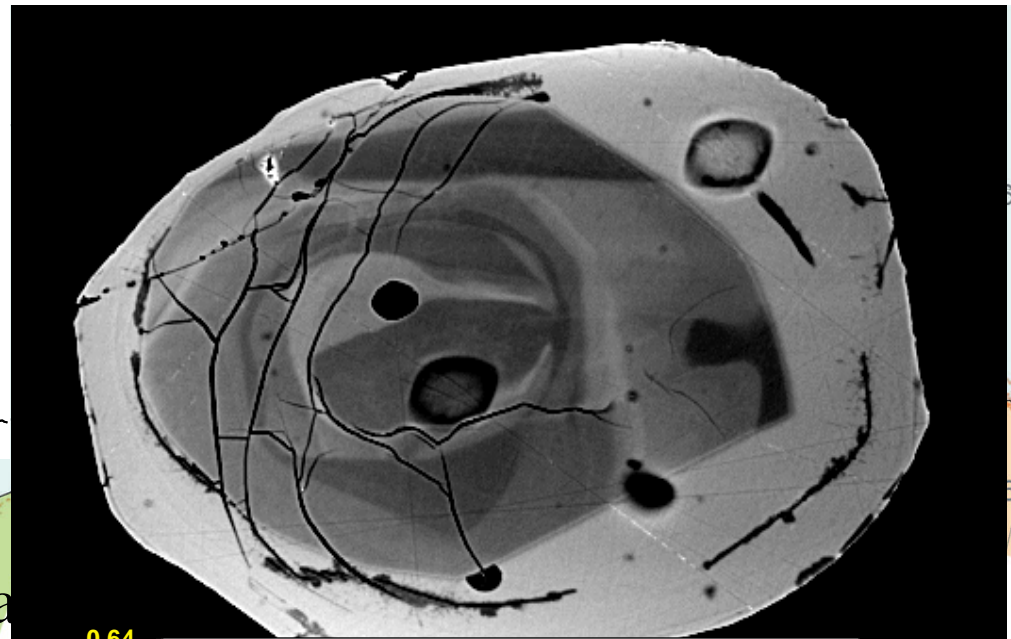
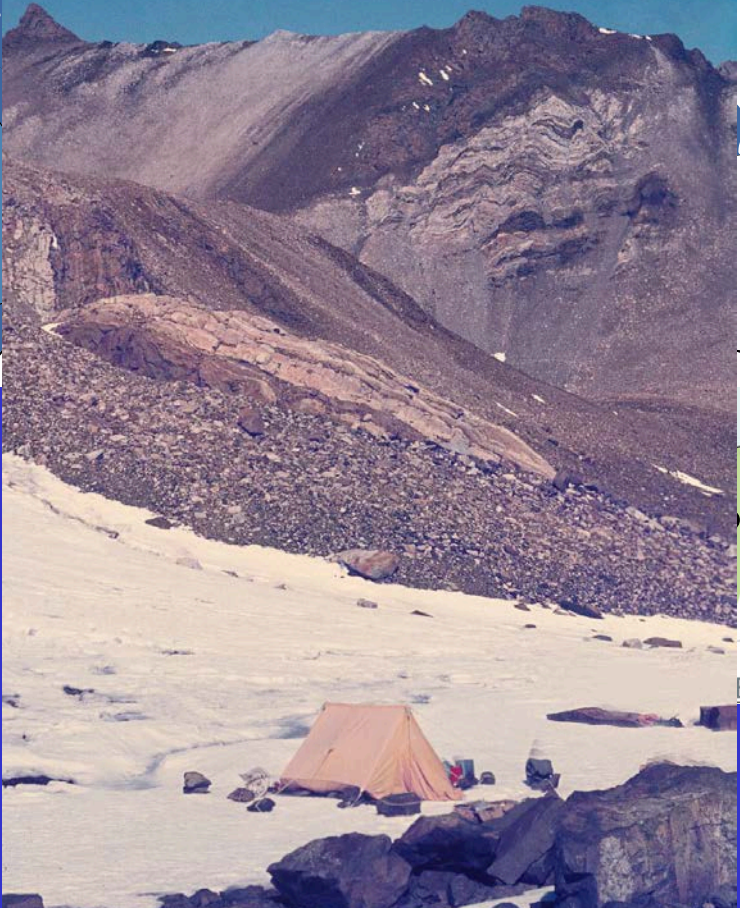
- Archeano (4000-2500 milioni anni [Ma])
- Proterozoico (2500-550 Ma comprende l'Orogene Grenvilliano)
- Paleozoico (550-250 Ma, comprende l'Orogene di Ross)
- Basso Mesozoico (250-180 Ma comprende l'Orogene Ellsworth e le sequenze Gondwaniane)
- Alto Mesozoico (180-65 Ma Orogene Andino)
- Cenozoico (<65 Ma Rift e vulcanismo recente)

L'Antartide durante l'Archeano



Ur il primo microcontinente
da 4.5 a 2.5 miliardi di anni fa

Terra di Enderby: Napier Complex

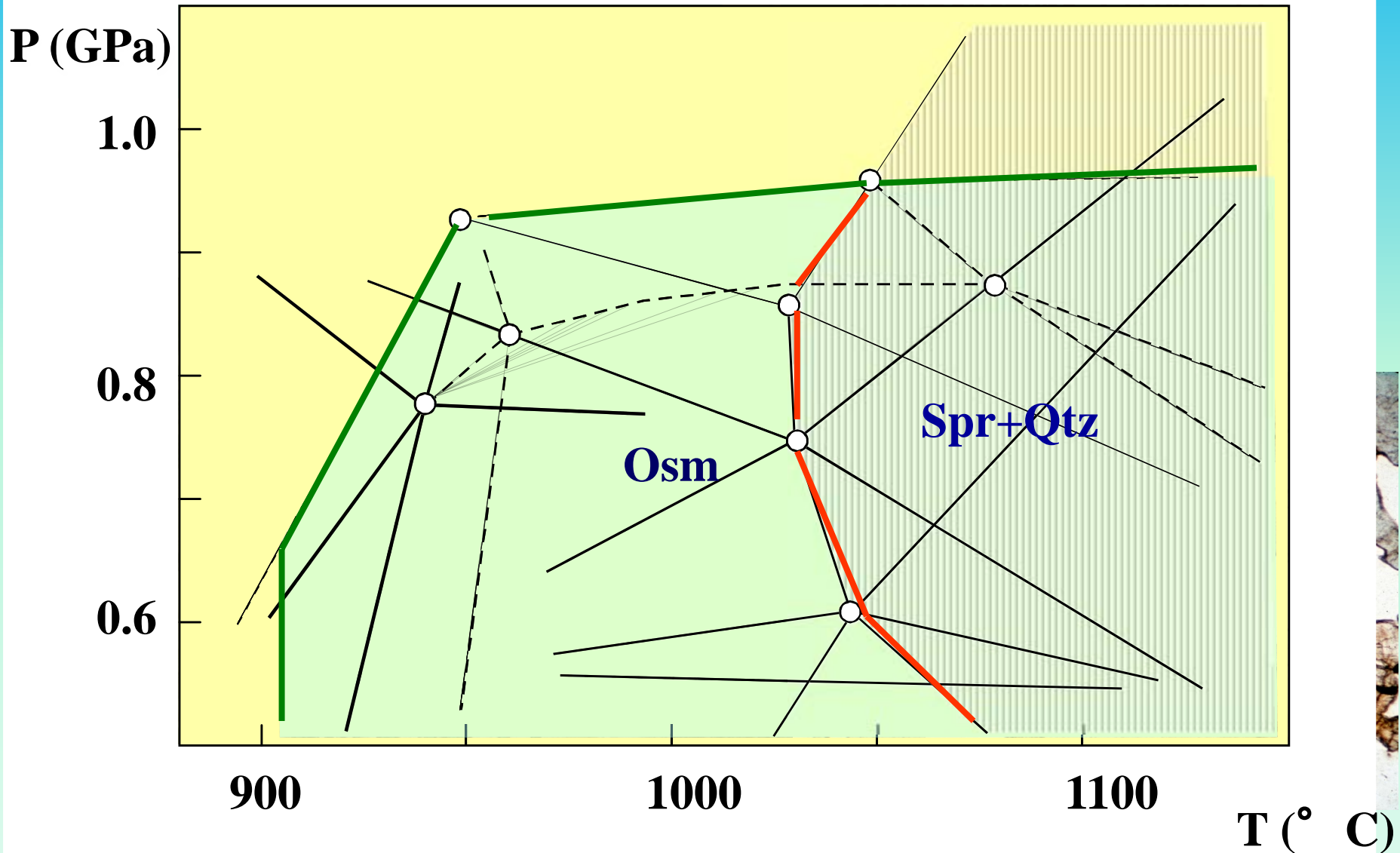


Rocce archeane del Napier Complex

- 1) 3.8 Ga: età di formazione di zirconi in granitoidi
- 2) 2.8-2.6 Ga: deformazione e metamorfismo granulitico di altissima T (> 1100°C e 7-12 kbar)

Metamorfismo UHT

Sono rocce molto rare infatti
si formano a 7-12 kbar ed a



Eone Archeano: da 3.8 a 2.5 miliardi di anni fa

Le rocce archeane forniscono evidenza certa della presenza della vita:

- Evidenza indiretta: dai **rapporti isotopici del carbonio** in alcune rocce marine o dai **banded iron beds**, i cui strati di ossido di ferro sono probabilmente dovuti all'interazione con batteri produttori di ossigeno.

- Evidenza diretta: **stromatoliti**, strutture sedimentarie (rocce carbonatiche) che mostrano l'azione di comunità di batteri (clorobatteri) che avevano una fotosintesi anossigenica. Le più antiche risalgono a 3.5 GA e sono state trovate nella regione Pilbara, in Australia.



Stromatolite di Pilbara, Australia (foto da www.fas.org)

I Protocontinenti

Proterozoico inferiore-medio da 2.5 a 0.9 miliardi di anni fa

Mather Peninsula, Rauer Islands

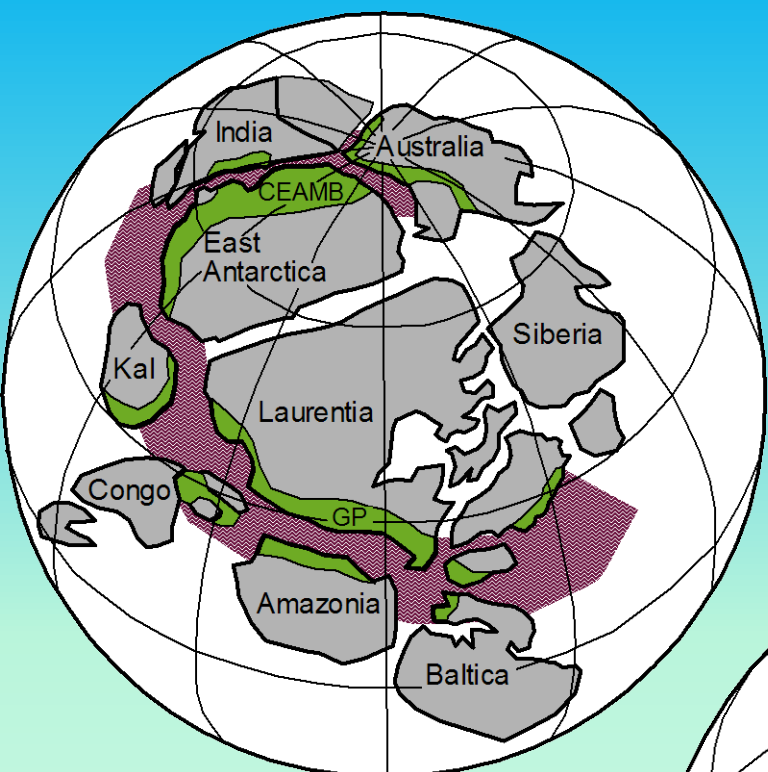
Questo è il momento in cui si forma il 70% della massa continentale attuale, si sviluppano i cianobatteri, produttori di ossigeno, che faranno cambiare il suo contenuto in atmosfera. A 2.45 Ga si ha la «catastrofe dell'ossigeno».

Archeano
circa 2.5 Ga

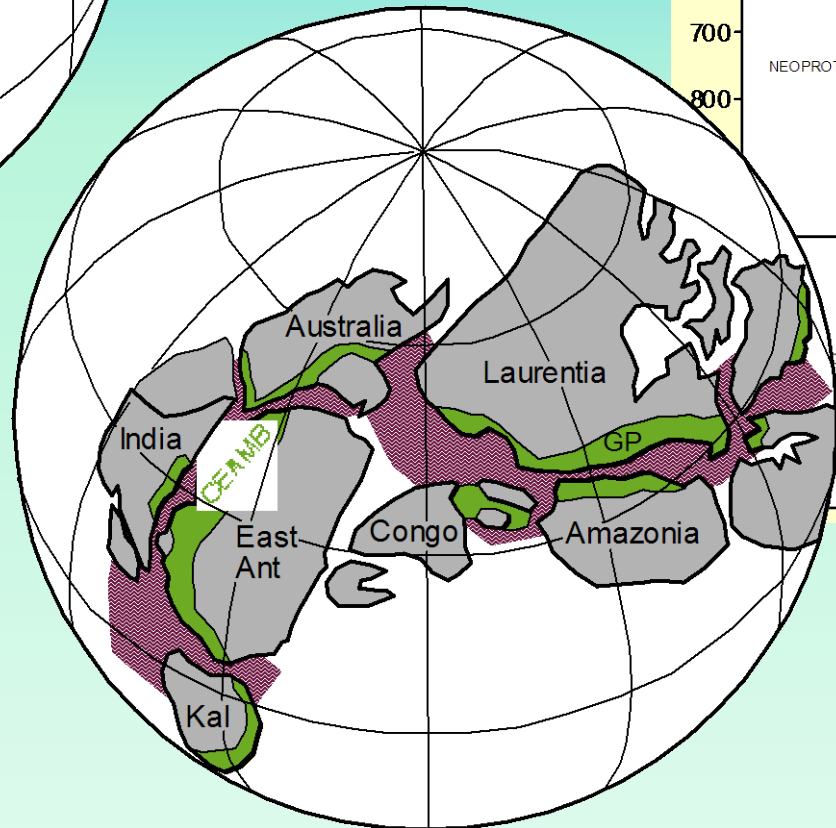
Proterozoico
circa 1 Ga

E
v
a circa 2 miliardi)

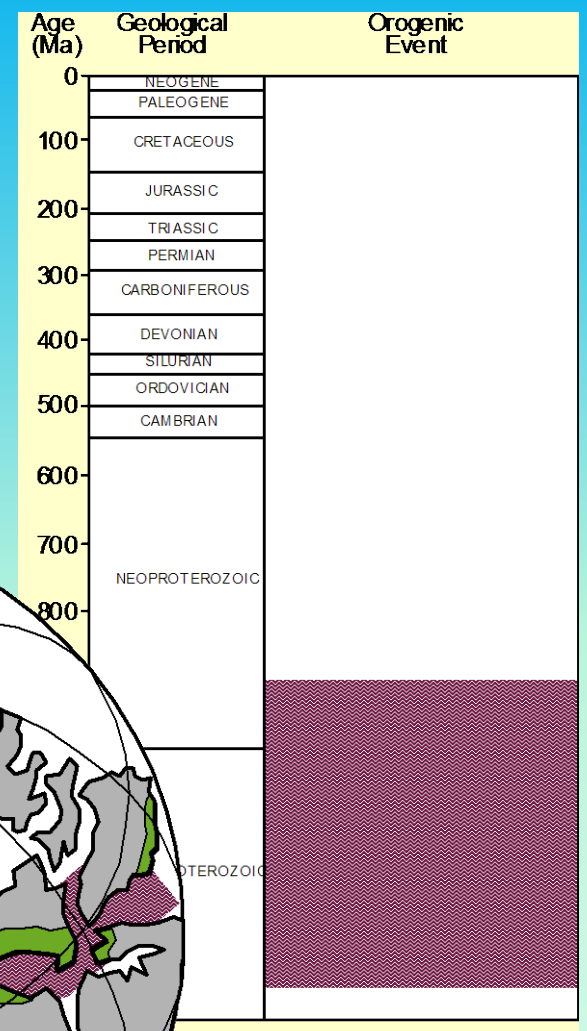
Orogenesi Grenvilliana: nascita del supercontinente **RODINIA**



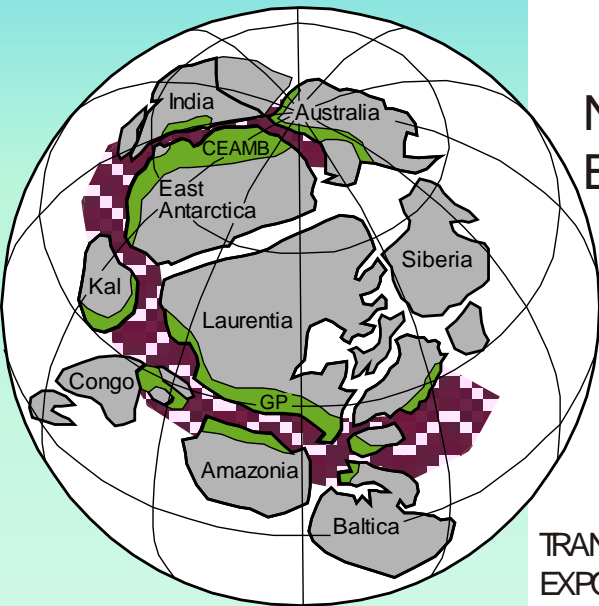
SWEAT fit
(South-West USA-
East Antarctica)



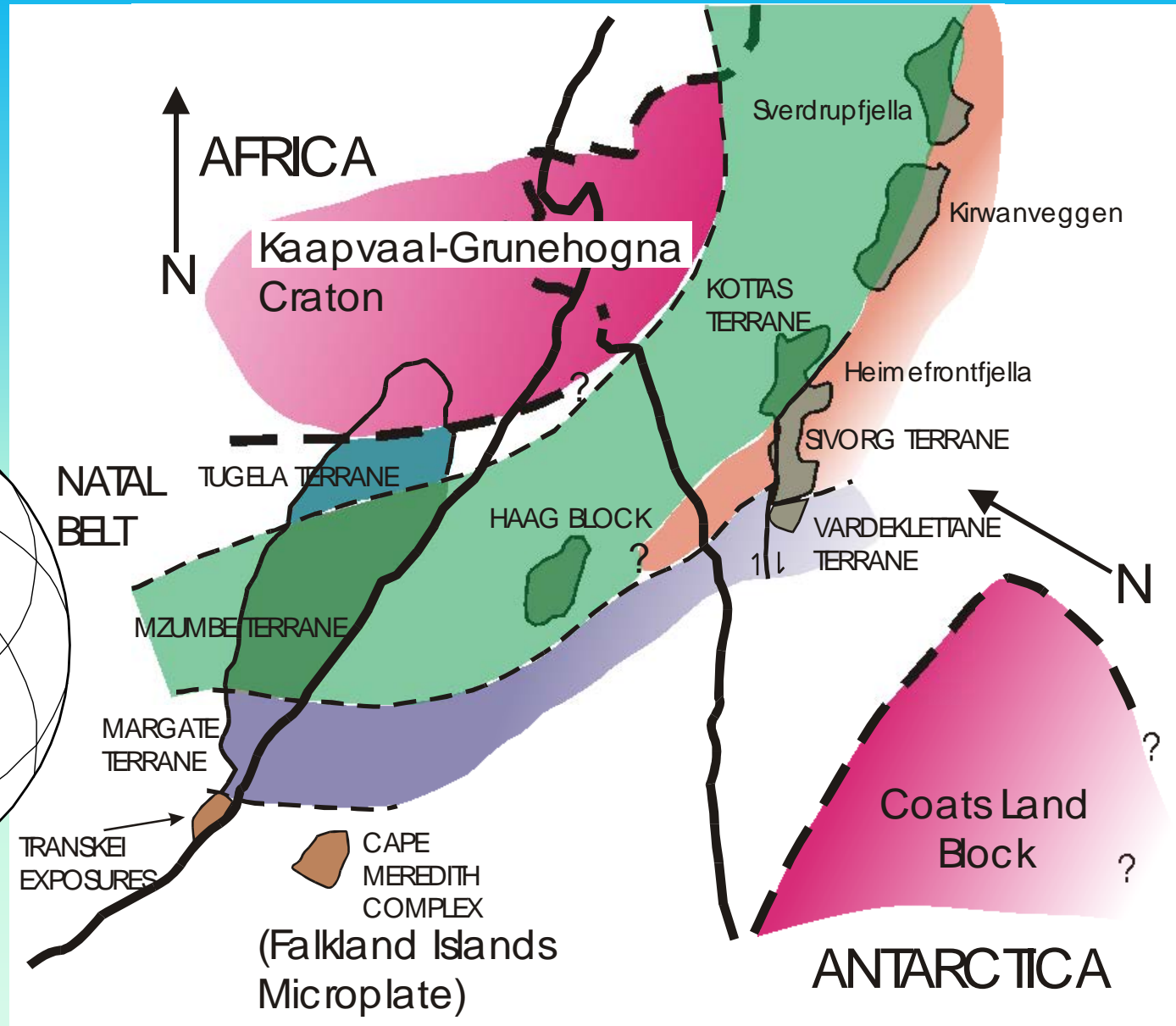
AUSWUS fit
(Australia-Western USA)



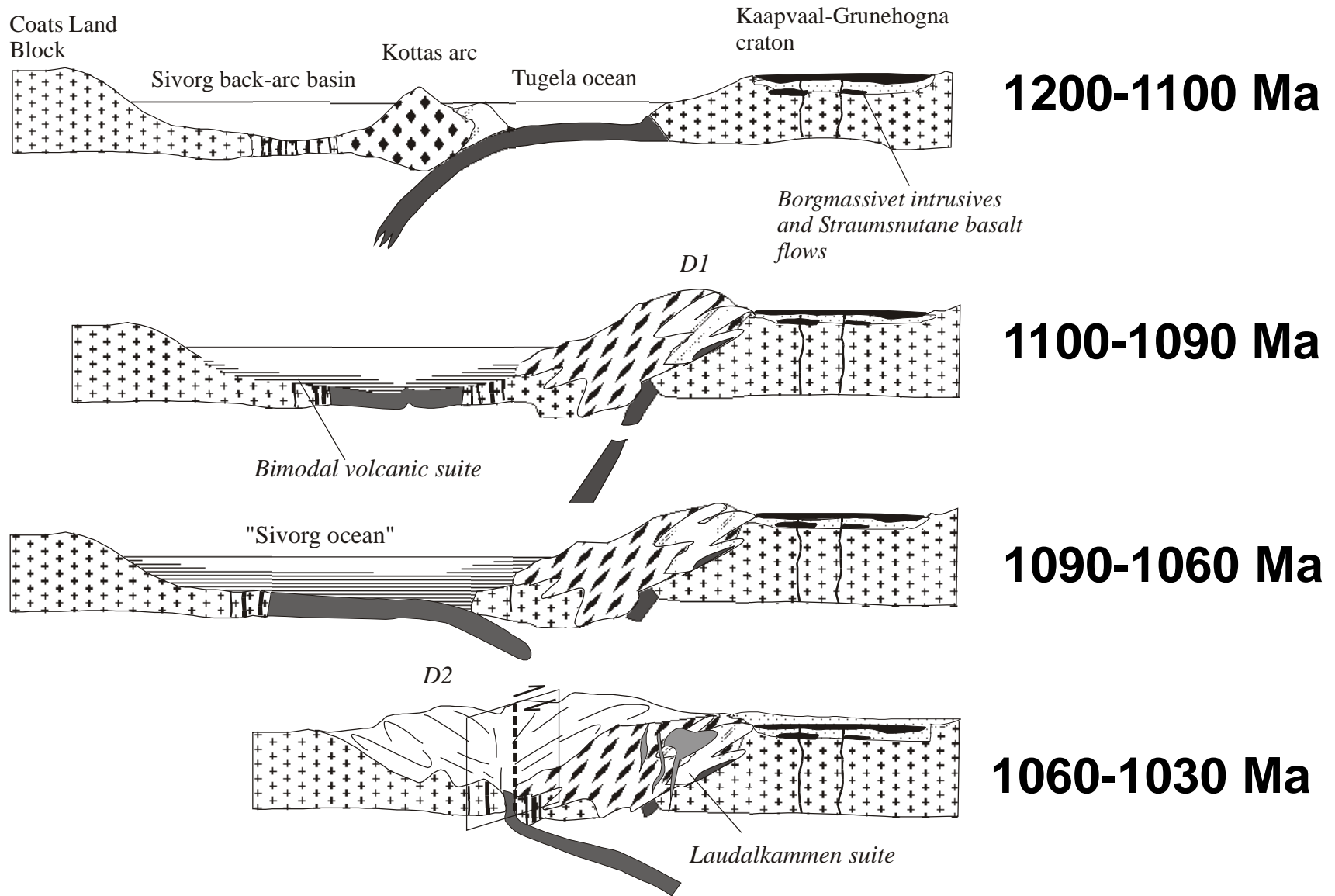
L'Orogenesi Grenvilliana è un orogene collisionale, cioè del tipo Alpino-Himalayano



Namaqua-Natal-Maud Belt



Orogenesi Grenvilliana: collisione Africa-Antartide

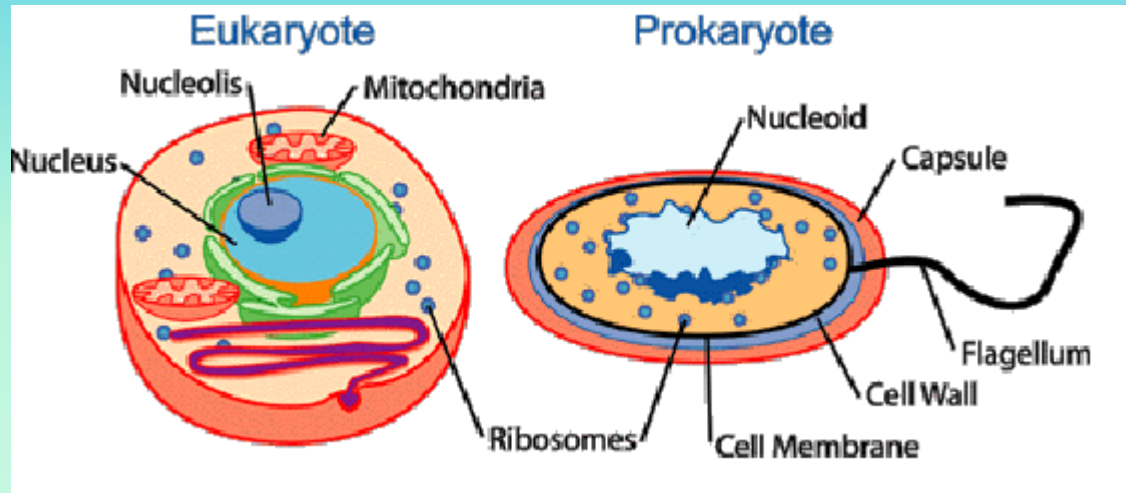


Eone Proterozoico: da 2.5 a 0.542 miliardi di anni fa

Una tappa fondamentale fu la **transizione dai procarioti agli eucarioti**, organismi con una struttura più complessa, dotati di una membrana nucleare e di altre strutture interne dette organelli.

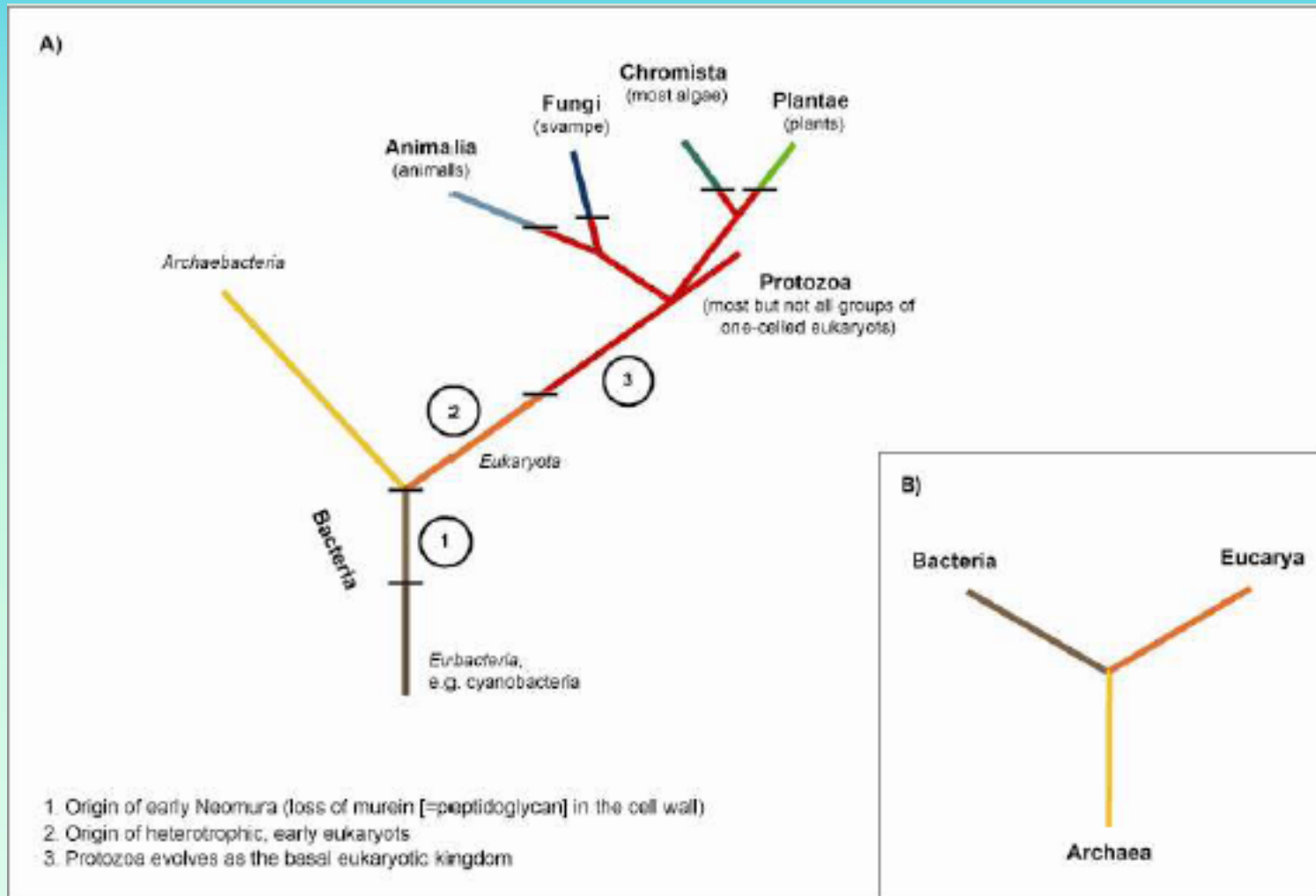
Si ritiene che il passaggio a questo nuovo anello della catena evolutiva sia avvenuto tramite il processo di **endosimbiosi**, in cui un procariota viene inglobato all'interno di un altro, e da organismo indipendente diventa un organello del nuovo organismo.

I più importanti organelli generati in questo modo furono i **mitocondri**, addetti alla respirazione, e i **cloroplasti**, addetti alla fotosintesi nelle cellule vegetali.

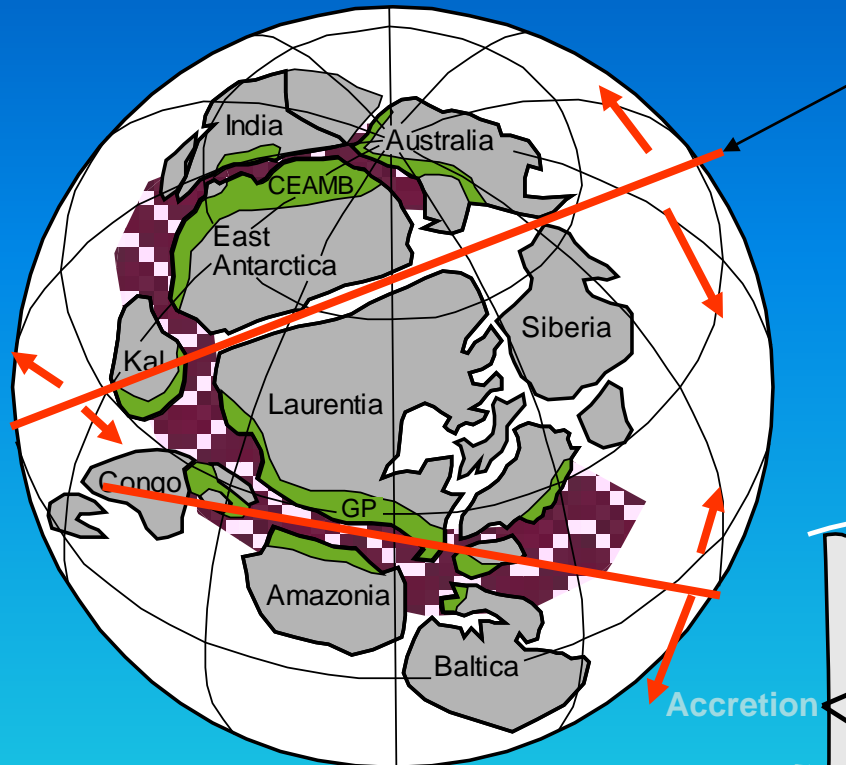


Eone Proterozoico: da 2.5 a 0.542 miliardi di anni fa

Dopo questa importante transizione, gli organismi eucarioti si sono evoluti diversificandosi in “phyla”, fino ad arrivare alla nascita dei primi animali alla fine del Precambriano.



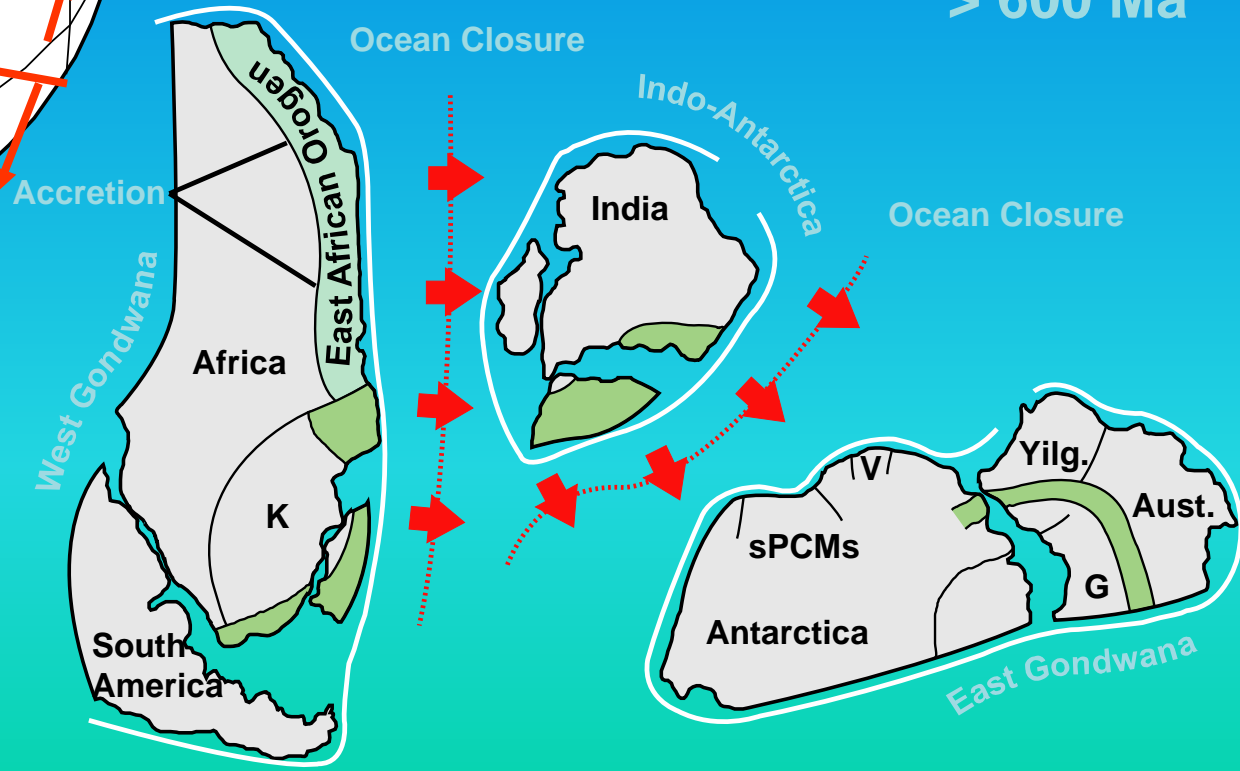
Frammentazione di Rodinia (inizio circa 800 Ma)



Apertura oceano Pacifico

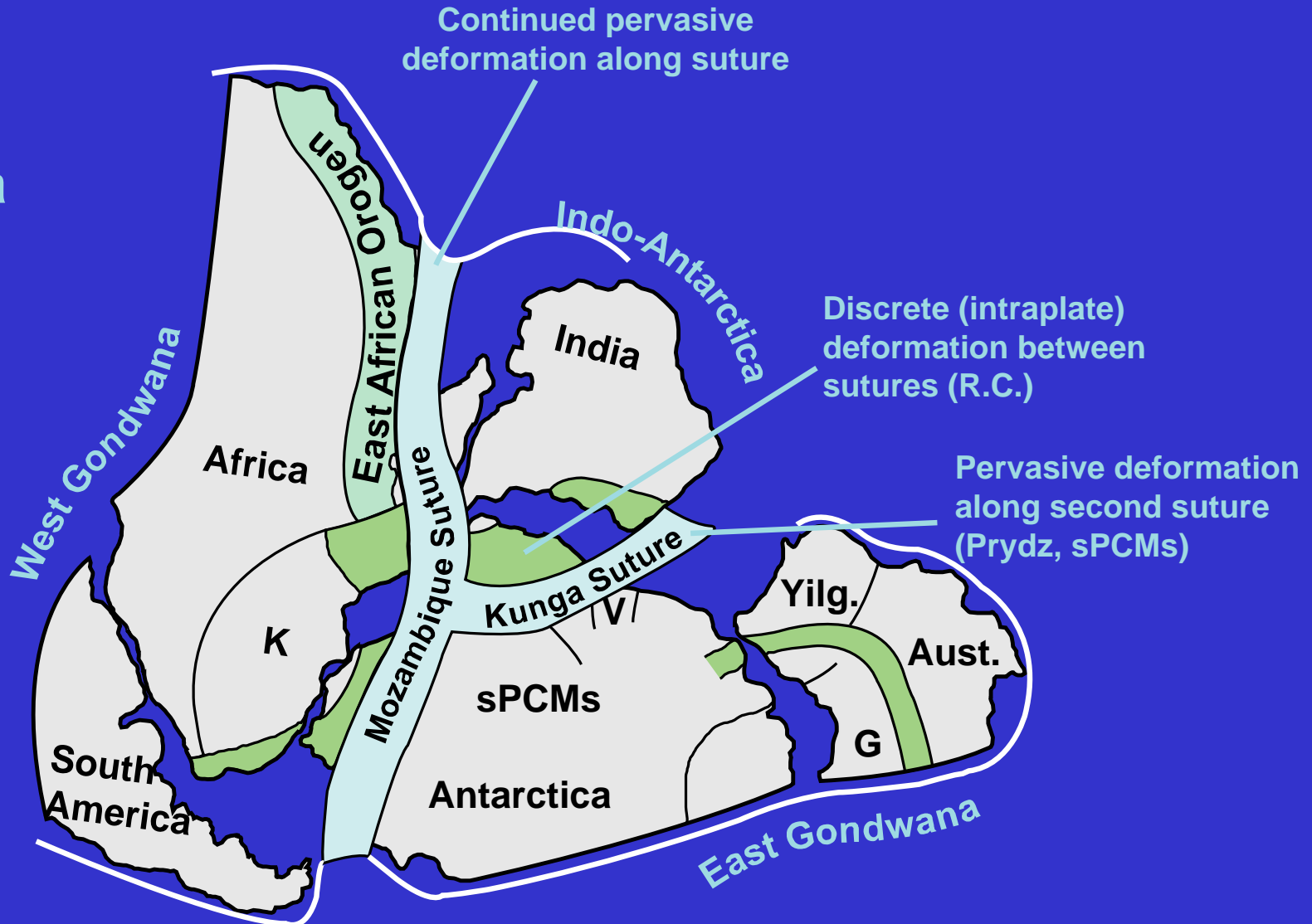
Orogenesi Pan-africana:
formazione di **Gondwana**

> 600 Ma



650-500 Ma East African/Antarctic Orogen (EAAO)

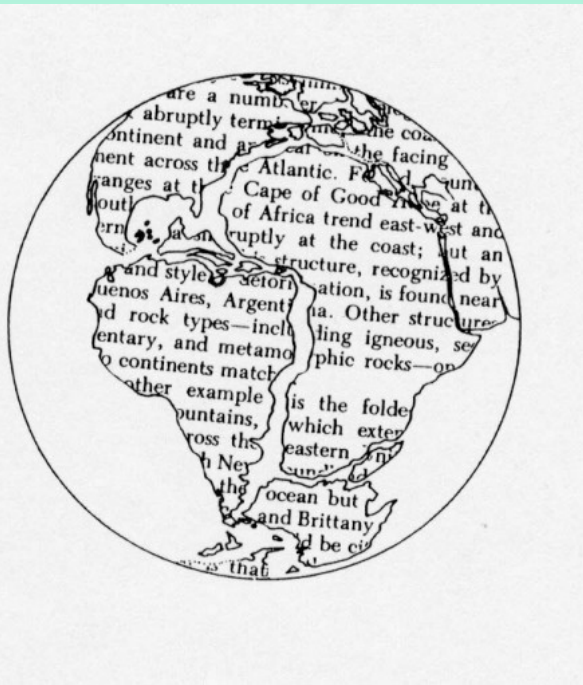
< 550 Ma



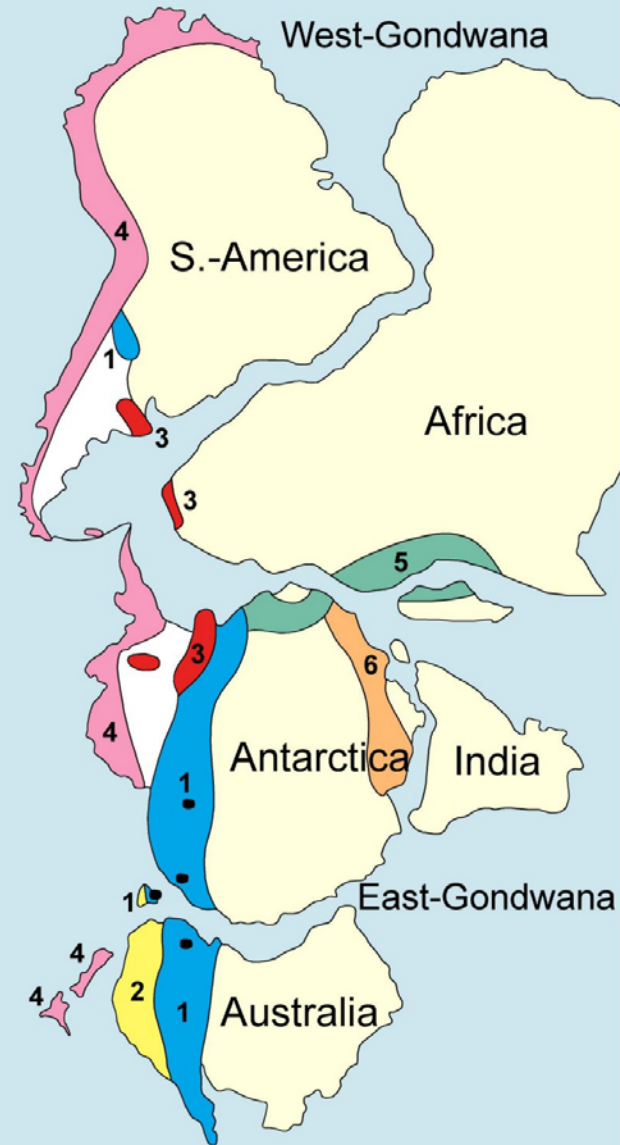
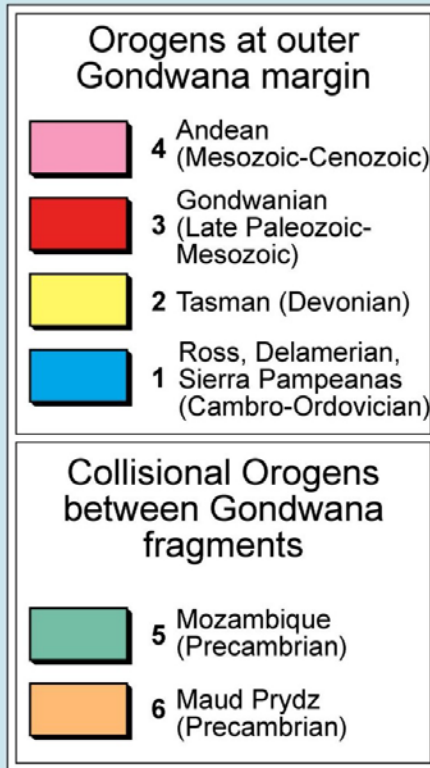
Il supercontinente Gondwana: dal Proterozoico/Paleozoico a Pangea e sua frammentazione

L'appartenenza dell'Antartide a Gondwana fu postulata già nel 1937 da A. Du Toit, ma non fu riconosciuta dalla comunità scientifica. Oggi esistono molte prove dell'esistenza di Gondwana.

- 1- la morfologia dei margini continentali;
- 2- elementi lineari quali l'orogene di Ross e le sequenze Gondwaniane.



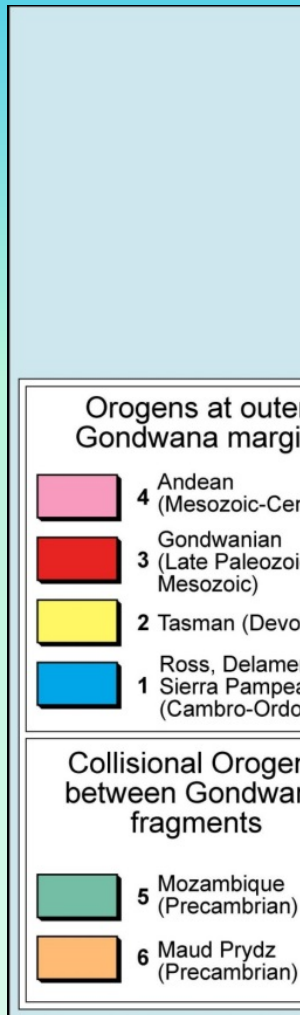
I punti 1 e 2 sono le prove geomorfologiche di Wegener



Altri eventi geologici durante l'esistenza di Gondwana (circa 550-180 Ma)

1- Orogenesi di Ross/Delamerian (530-480 Ma)

2- Sequenze Gondwaniane (340-180 Ma)



L'Orogenesi di Ross

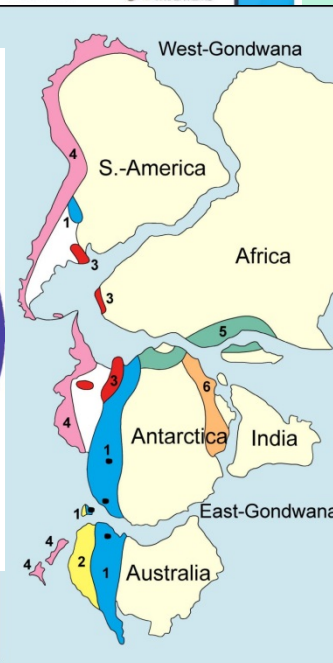
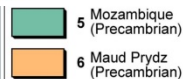
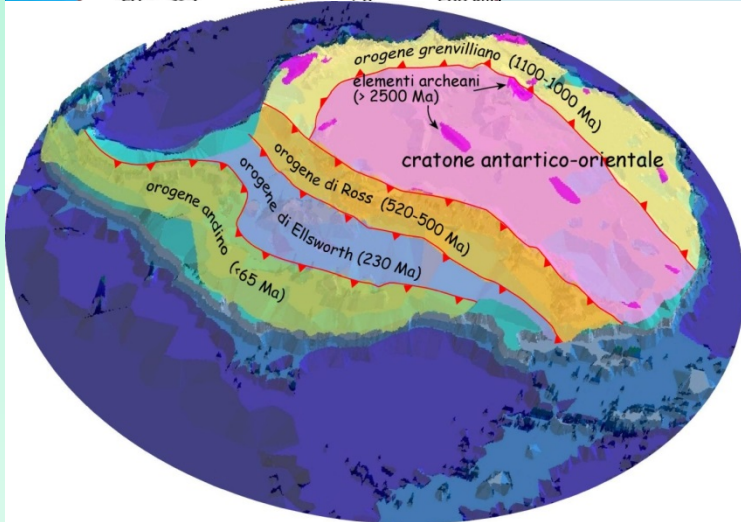
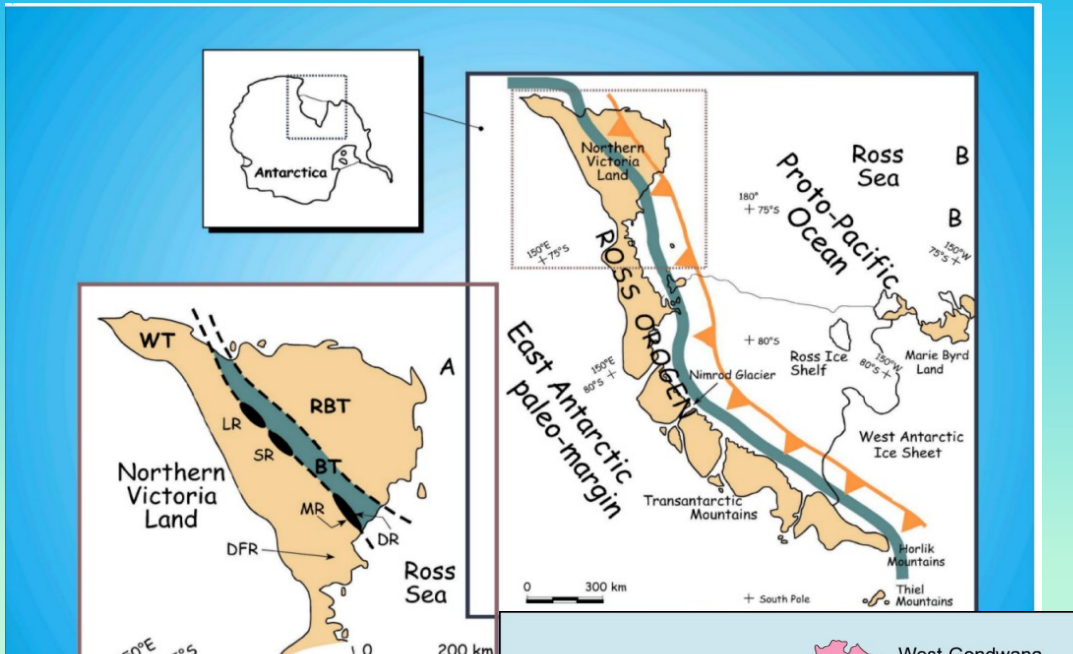
La Terra Vittoria settentrionale è un luogo ideale dove studiare questa orogenesi

È una tipica orogenesi dovuta alla subduzione della crosta oceanica (Pacifico) al di sotto di un continente (Gondwana)

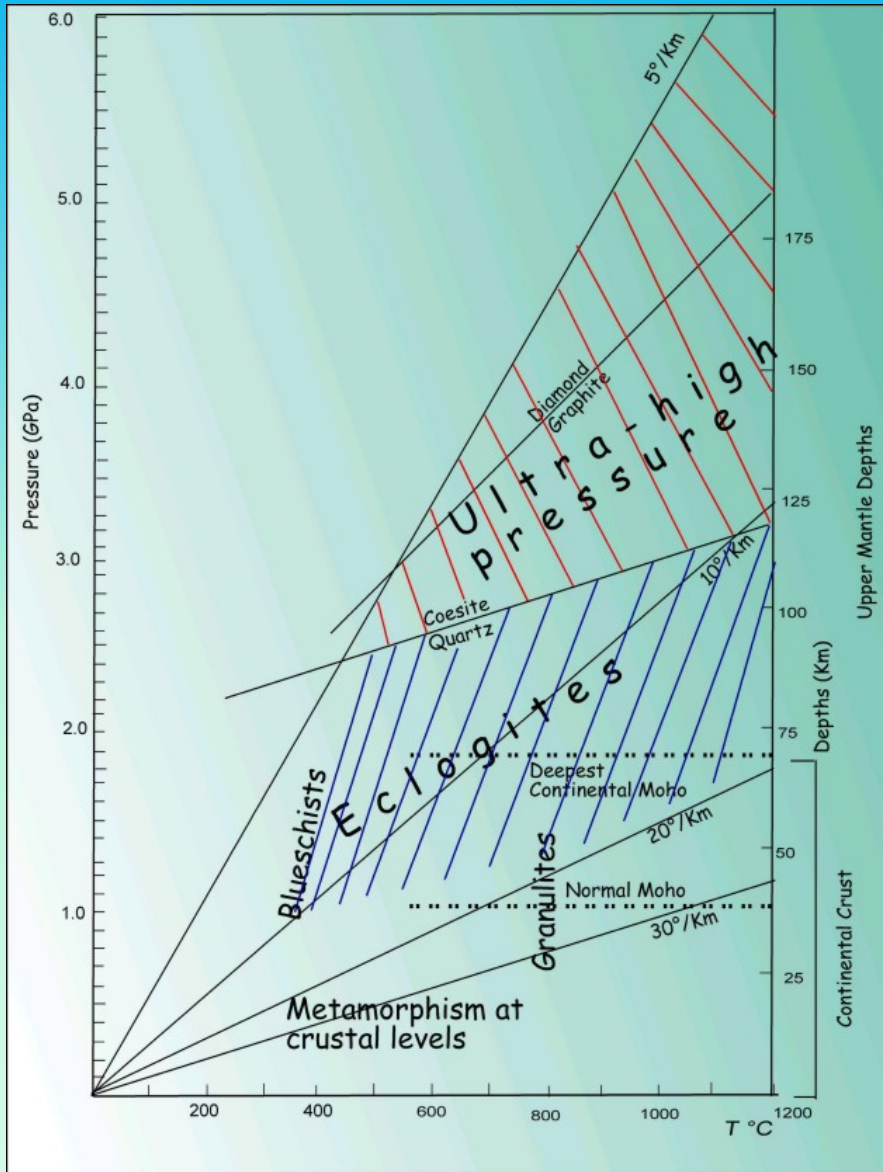
Elementi tipici sono:

- Arco magmatico di tipo calc-alcinalo
- fasce parallele di rocce metamorfiche con metamorfismo

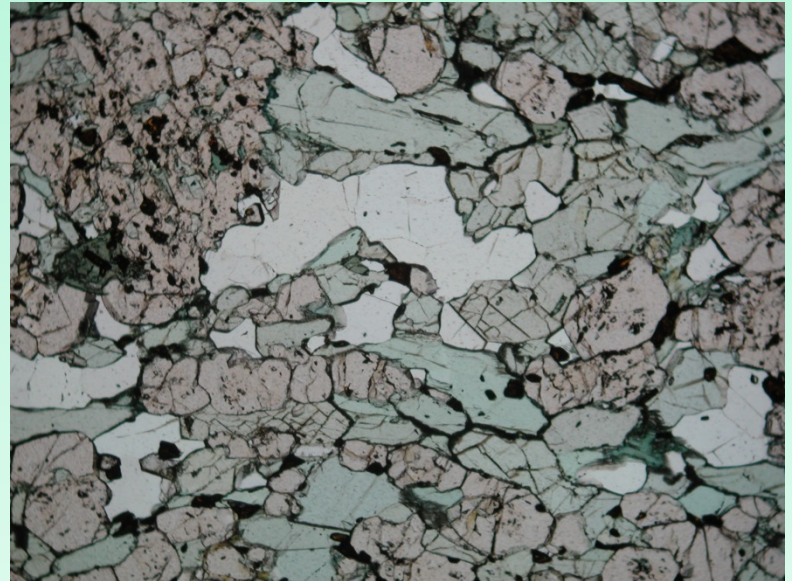
di alta pressione al margine dell' orogene e metamorfismo di alta temperatura e bassa pressione nelle zone interne, dove sono molto abbondanti i granitoidi.



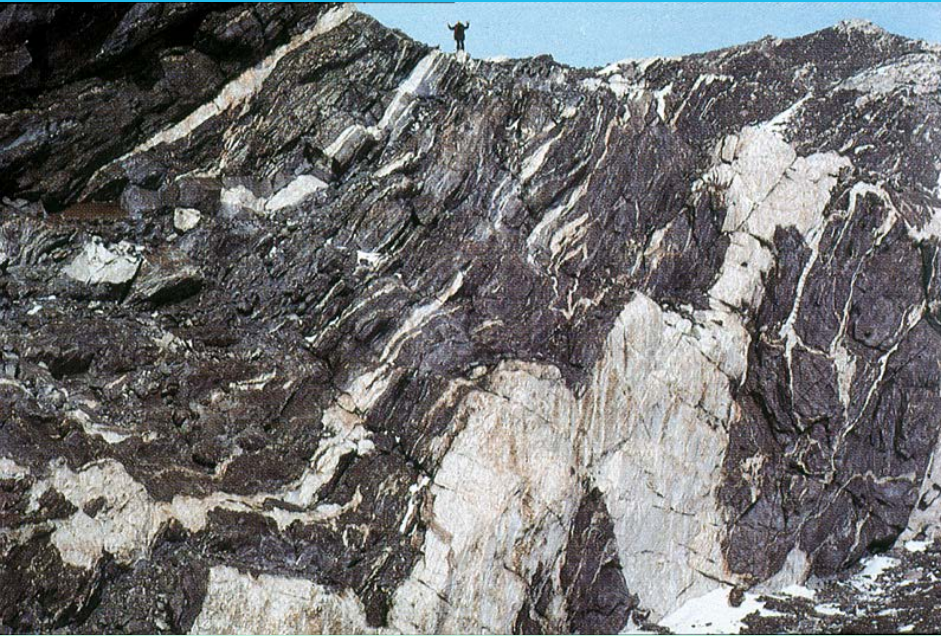
Fascia di alta pressione



Eclogite



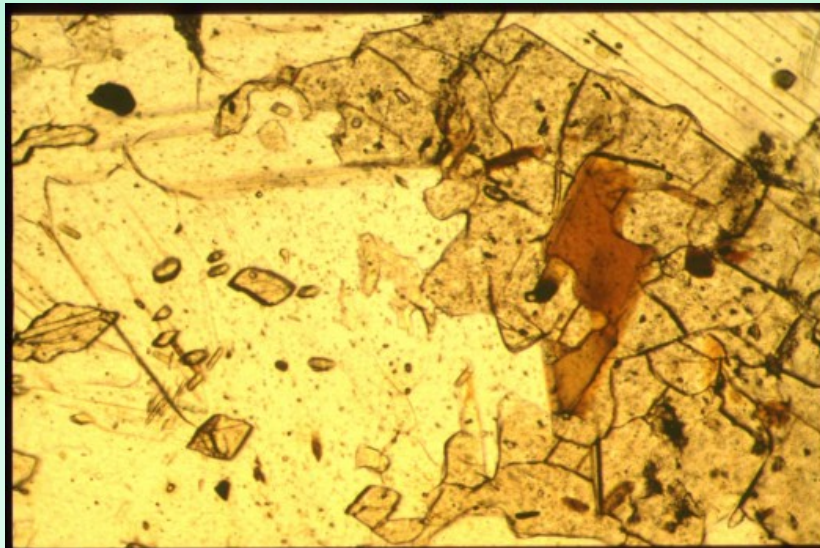
Fascia di bassa pressione



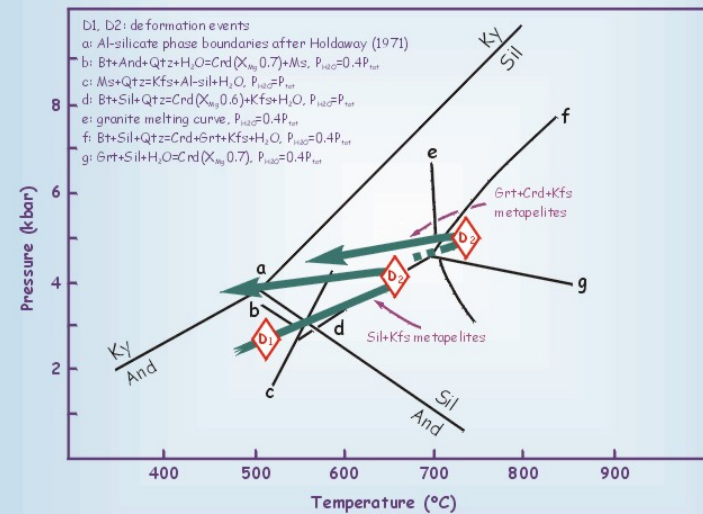
Scisto



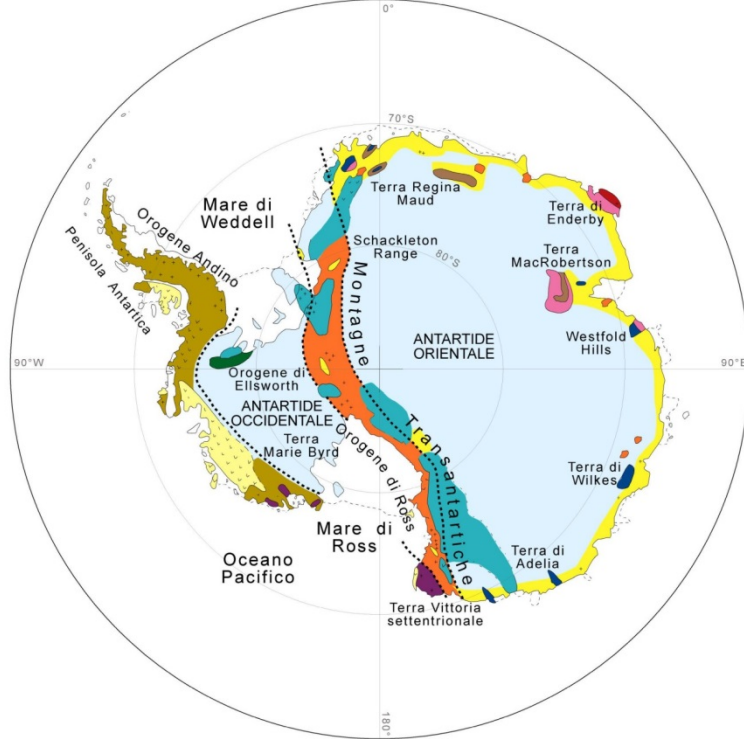
Granito



P-T-t PATHS OF THE LOW PRESSURE ROCKS OF INBOARD WILSON TERRANE (DEEP FREEZE RANGE)



Sequenze Gondwaniane (340-180 Ma)



LEGENDA

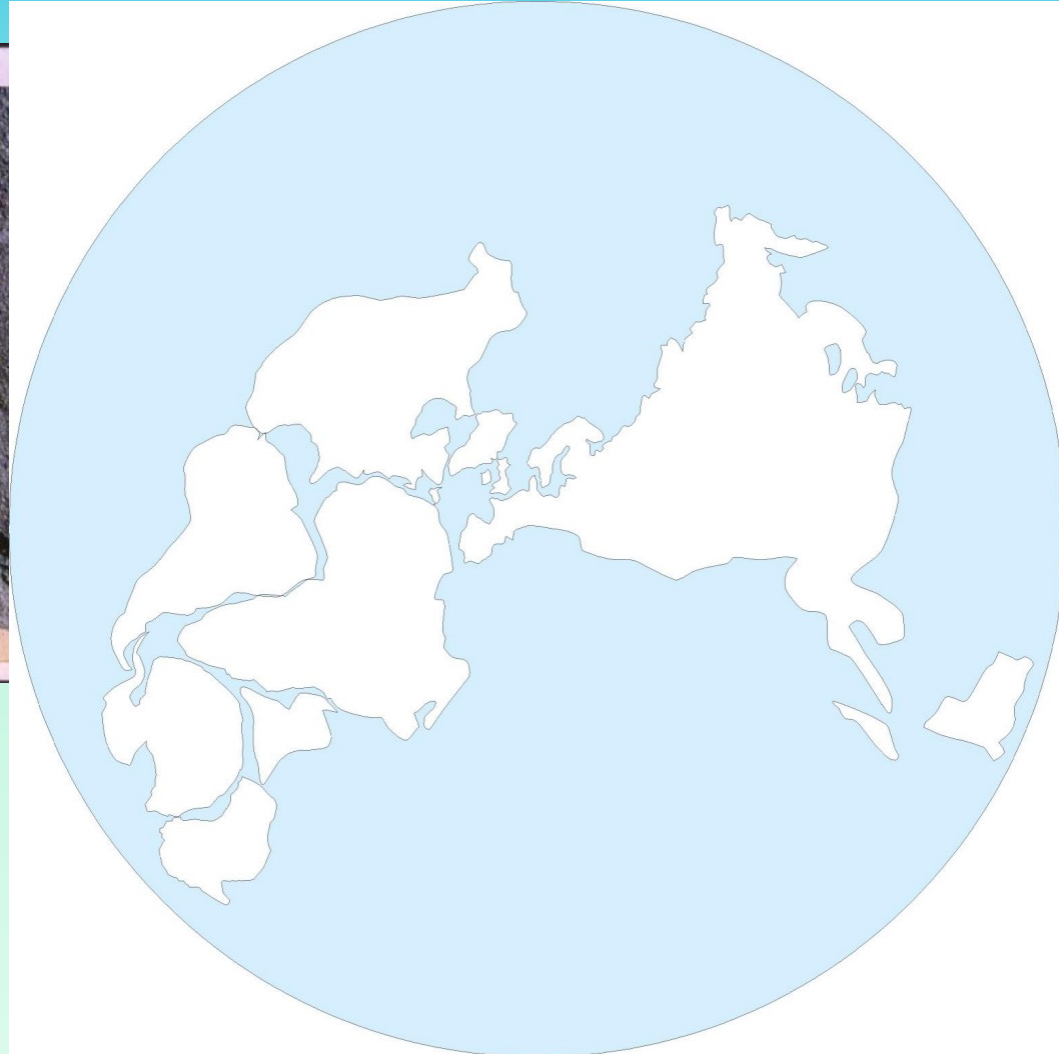
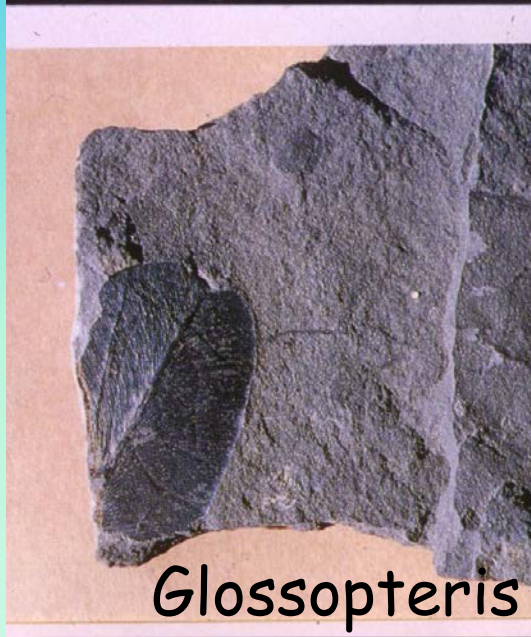
	< 65 Ma	Provincia vulcanica cenozoica		
	65-200 Ma	Orogene Andino: rocce metamorfiche con abbondanti granitoidi di età meso-cenozoica.		600-1000 Ma
	200-230 Ma	Orogene di Ellsworth: sequenze sedimentarie di età paleozoica deformate al limite paleo-mesozoico.		1000-1500 Ma
	160-380 Ma	Sequenze Gondwaniane: sequenze sedimentarie devono-triassiche e vulcaniti giurassiche.		1600-2500 Ma
	350-380 Ma	Orogene di Ross: sequenze sedimentarie e vulcaniche intruse da granitoidi devono-carboniferi.		2500-3400 Ma
	480-530 Ma	Orogene di Ross: rocce metamorfiche di grado variabile da basso ad alto, intruse da abbondanti granitoidi cambro-ordoviciani.		> 3400 Ga
				Unità Proterozoiche: rocce metamorfiche di basso grado (Proterozoico tardo) e rocce metamorfiche di alto grado e subordinati granitoidi.
				Unità Archeane: rocce metamorfiche di alto grado e subordinati granitoidi.



Penepiano di Kukri (Siluro-Devonico 438-408 Ma)

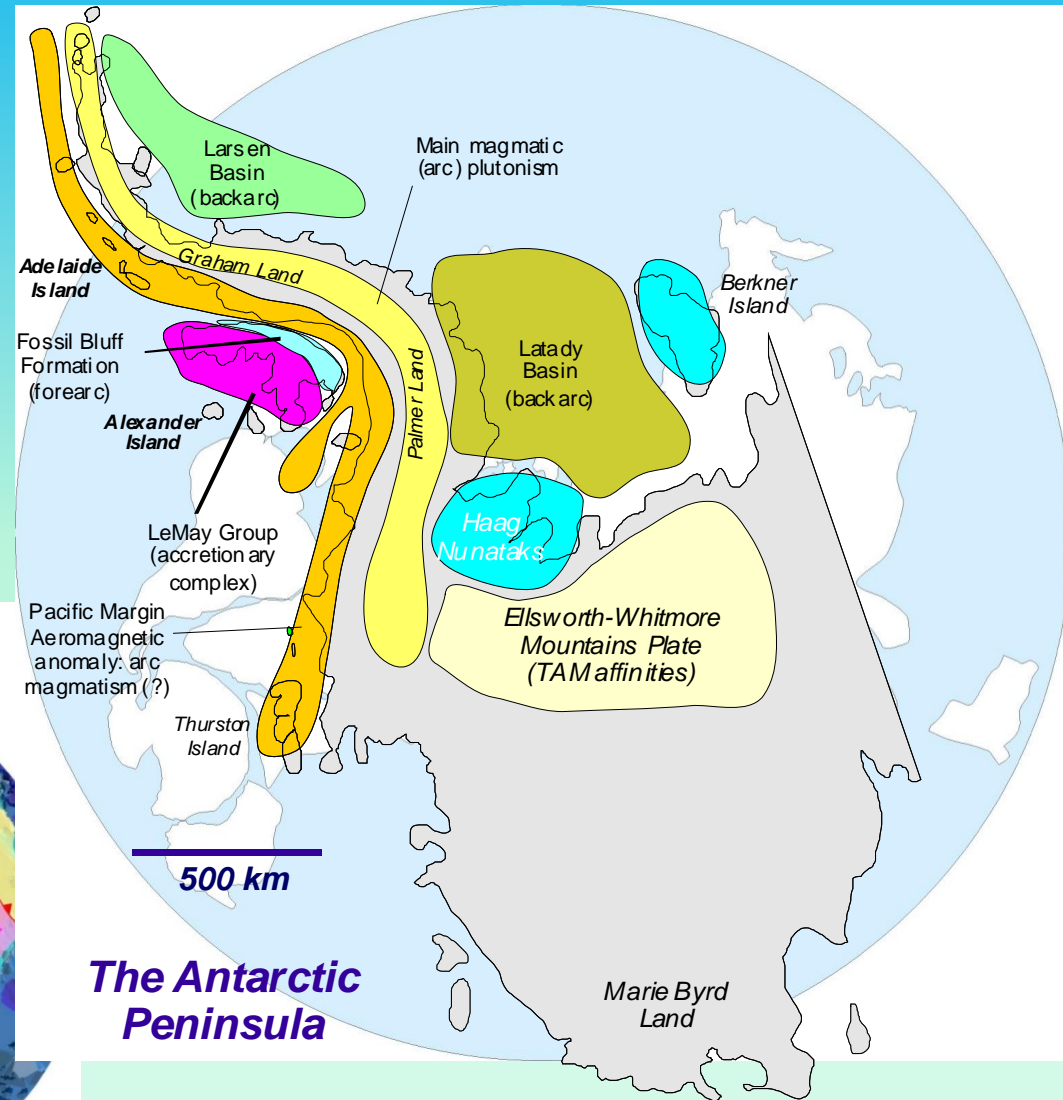
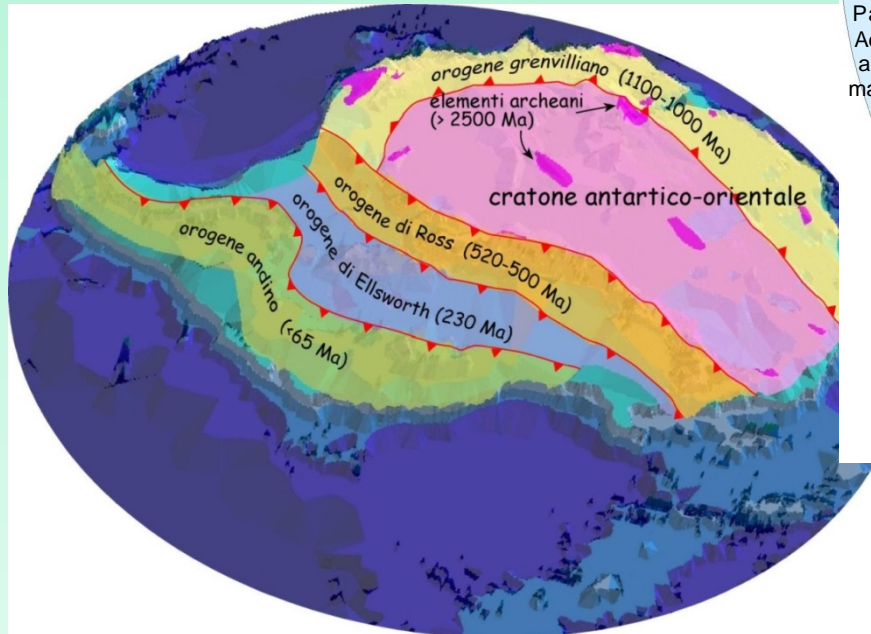
Al di sopra di tale superficie si sono deposte le arenarie di Beacon (età Carbonifero-Trias, 340-208 Ma) e successivamente le Doleriti di Ferrar (Giurassiche, 175-182 Ma)

Quando le arenarie Beacon si deprimevano, è avvenuto un altro importante evento a livello globale, l'aggregazione (per la seconda volta nella storia della Terra) di tutte le masse continentali. Era nato il Pangea (circa 300 Ma)



Mentre si depongono le sequenze del Beacon che succede al bordo di Gondwana?

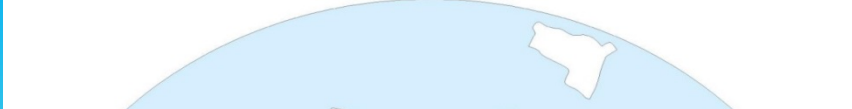
Sul bordo pacifico dell'Antartide, mentre avviene la deposizione delle arenarie Beacon, riprende la subduzione della placca oceanica del Pacifico sotto il continente (Gondwana/Antartide), che formerà una fascia di rocce parallele a Ross e note come orogene di Ellsworth



Frammentazione di Pangea/Gondwana



Lo stadio iniziale del "rifting" del
Gondwana, circa 180 milioni di anni fa.



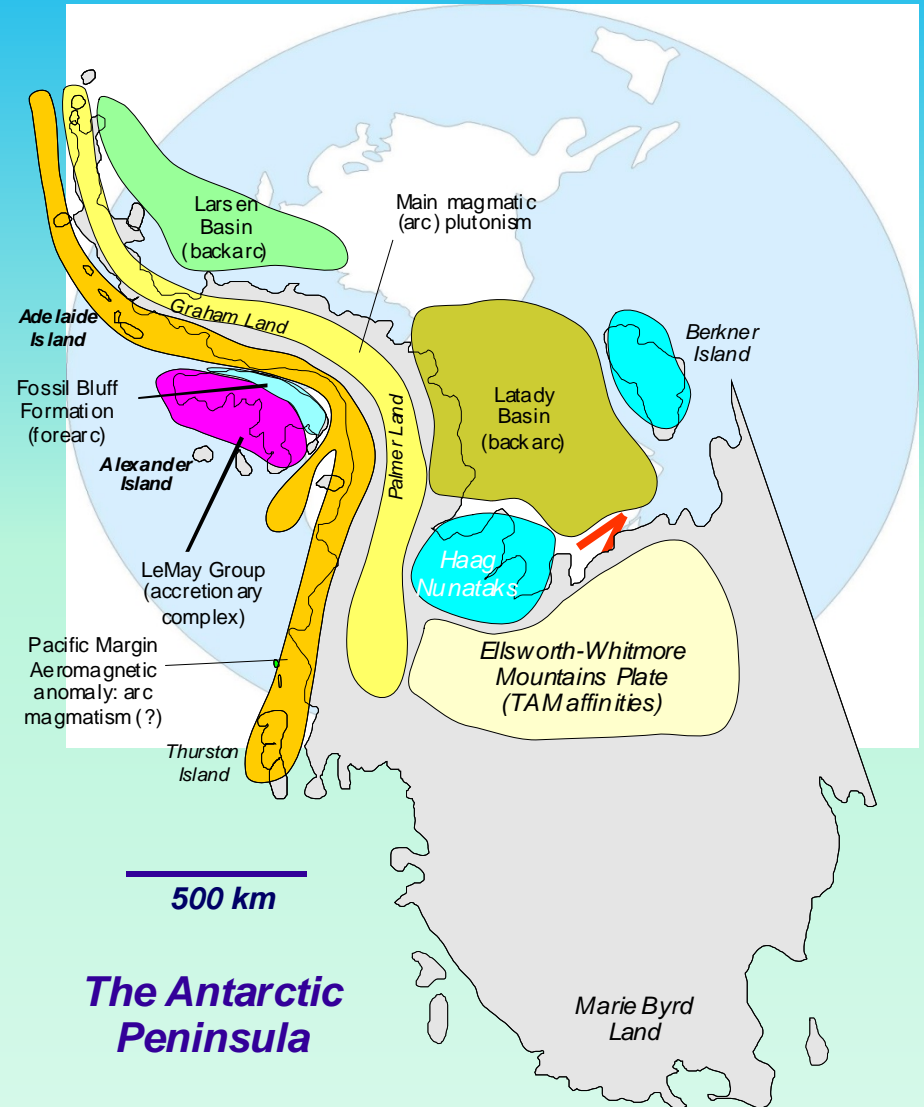
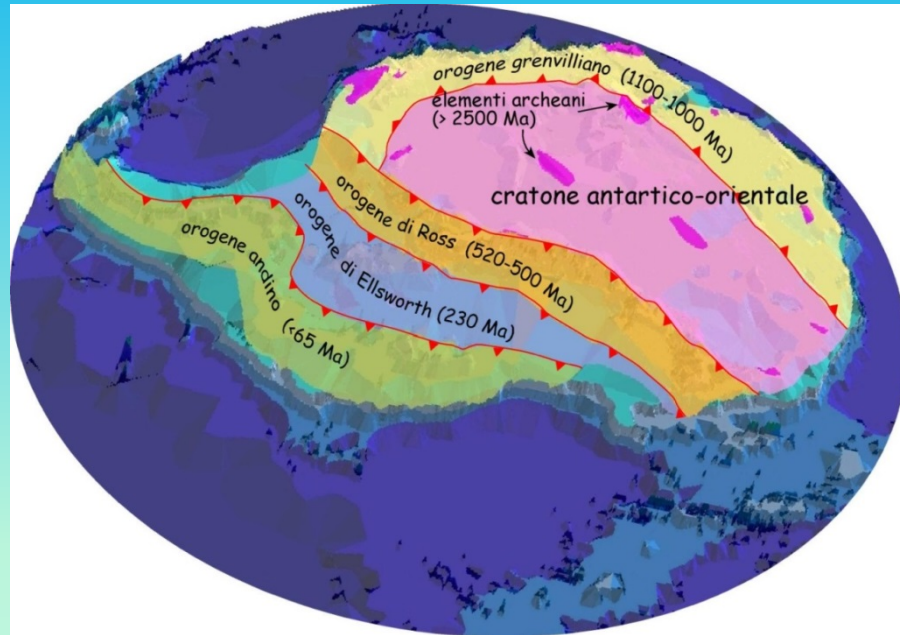
Ferrar

Beacon

Kukri

Orogene di Ross

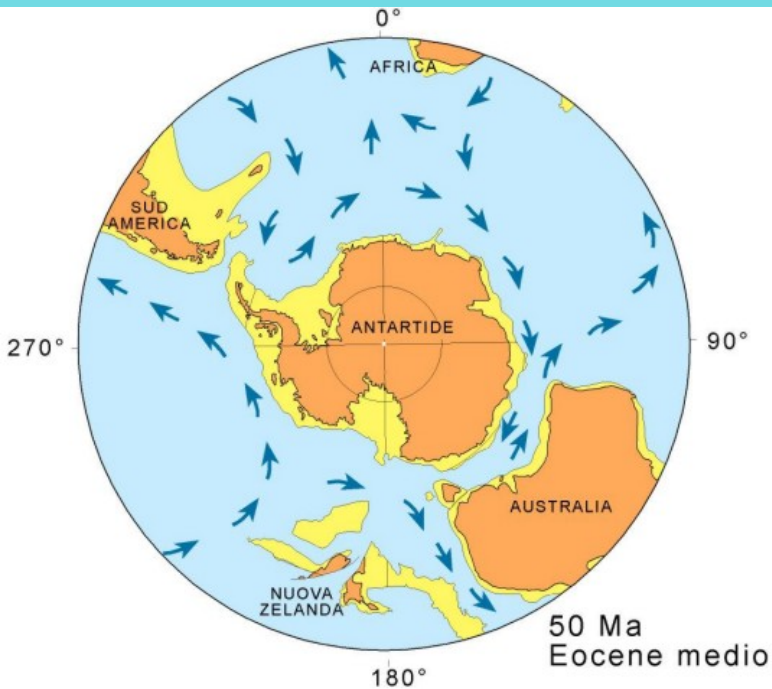
Mentre Gondwana/Pangea comincia a frammentarsi che succede al bordo pacifico di Antartide-America?



Sul bordo lungo il Pacifico riprende la subduzione della placca oceanica del Pacifico al di sotto del continente costituito da Antartide+America meridionale, e genera l'Orogene Andino (200-65 Ma)

L'Antartide durante la fase finale di frammentazione del Gondwana/Pangea (<95Ma)

A partire dal Cretaceo (oltre 70 Ma), in concomitanza della separazione della Nuova Zelanda dall'Antartide e successivamente dell'Australia, si sono formate le Montagne Transantartiche, i bacini del Mare di Ross e si è sviluppato il vulcanismo noto come provincia vulcanica Cenozoica.



The Transantarctic Mountains. Early explorers such as Roald Amundsen and Robert Scott had to find a way through this mountain range in order to reach the polar plateau.

Fase finale di frammentazione del Gondwana/Pangea

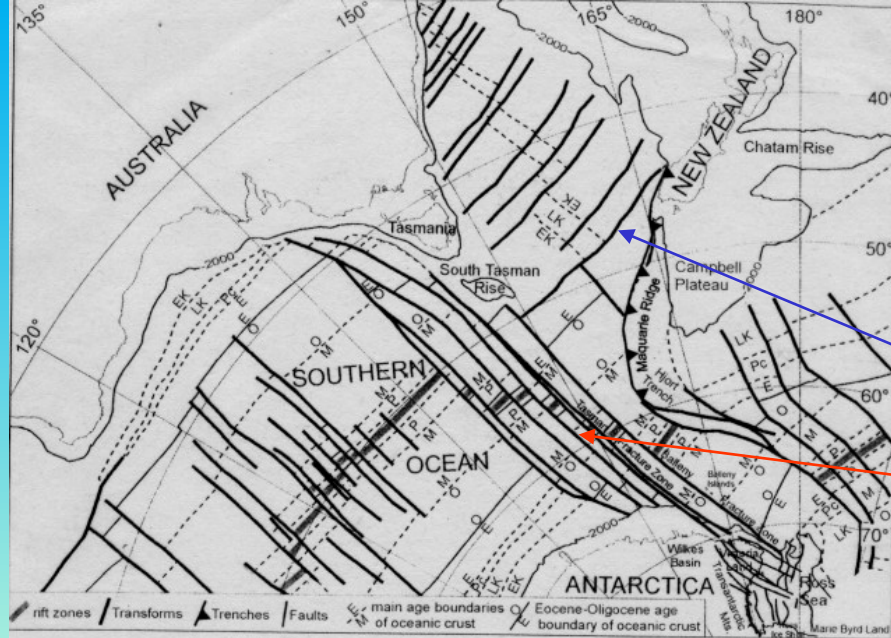
La separazione dell' Antartide dalla Nuova Zelanda e Australia porta alla formazione di rift prima di direzione

ENE-WSW

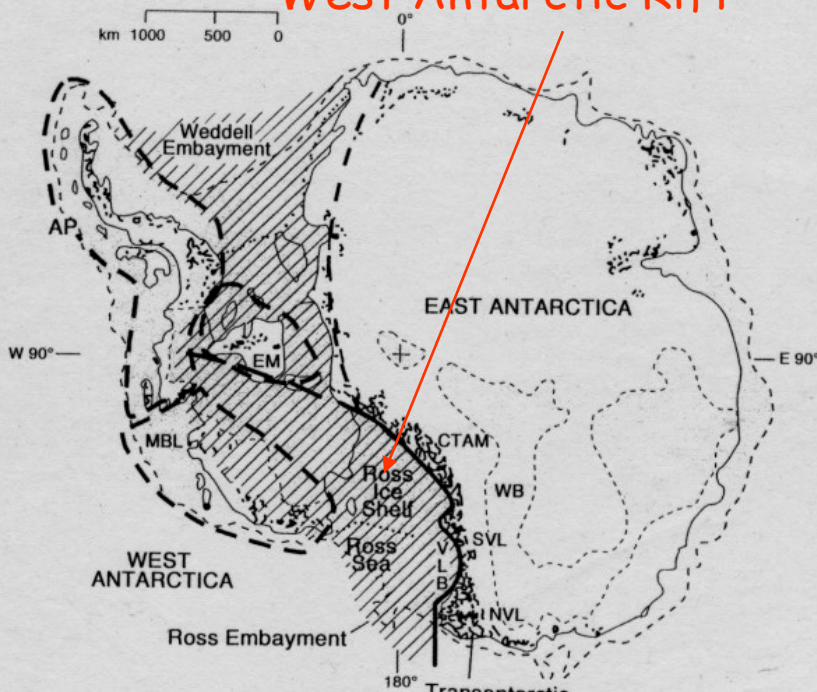
e poi

WNW-ESE, che genererà il "West Antarctic Rift system" che si estende dal Mare di Ross a quello di Weddell.

La catena Transantartica, estesa per oltre 3500 Km e con altitudini oltre i 4000 m, si è sollevata in seguito al rialzamento di uno dei fianchi del rift circa 55-40 Ma. E' quindi uno dei pochi esempi di catena che si genera in ambiente distensivo e l'unico di questo tipo con altezze medie di 3000 metri



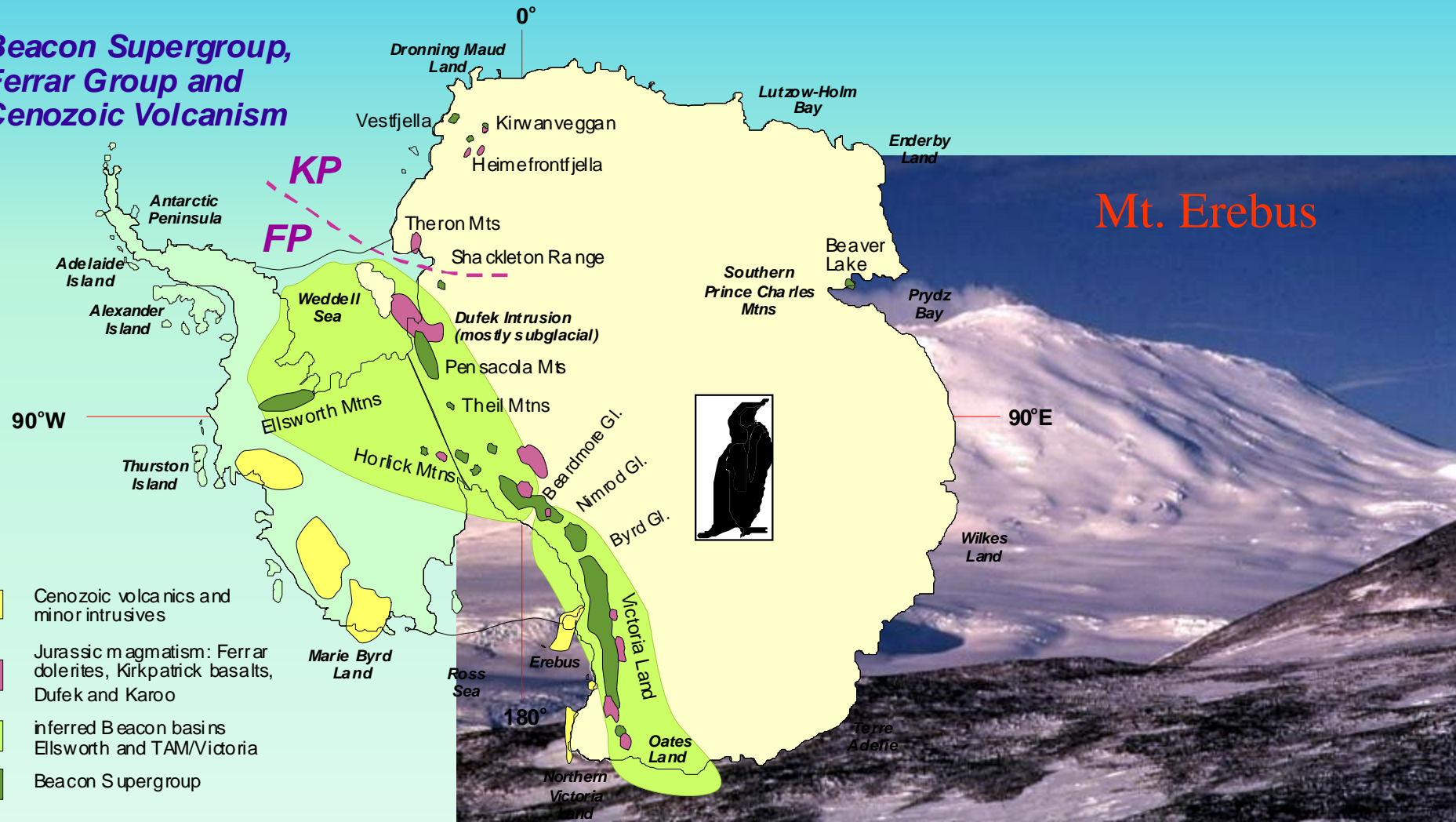
West Antarctic Rift



Fase finale di frammentazione del Gondwana/Pangea

Gli episodi di formazione di depressioni tettoniche (rifting) più recenti (a partire da c. 48 Ma) sono stati accompagnati da attività vulcanica (McMurdo Volcanic Group), tuttora presente in alcuni vulcani lungo la costa (Mt. Erebus, Mt. Melbourne)

Beacon Supergroup, Ferrar Group and Cenozoic Volcanism



Variazioni della distribuzione delle masse e loro conseguenza



- Terra emersa
- Piattaforte continentali
- Dorsali oceaniche (attuali)
- Correnti marine

noto di
nte a
anni fa
le
ime

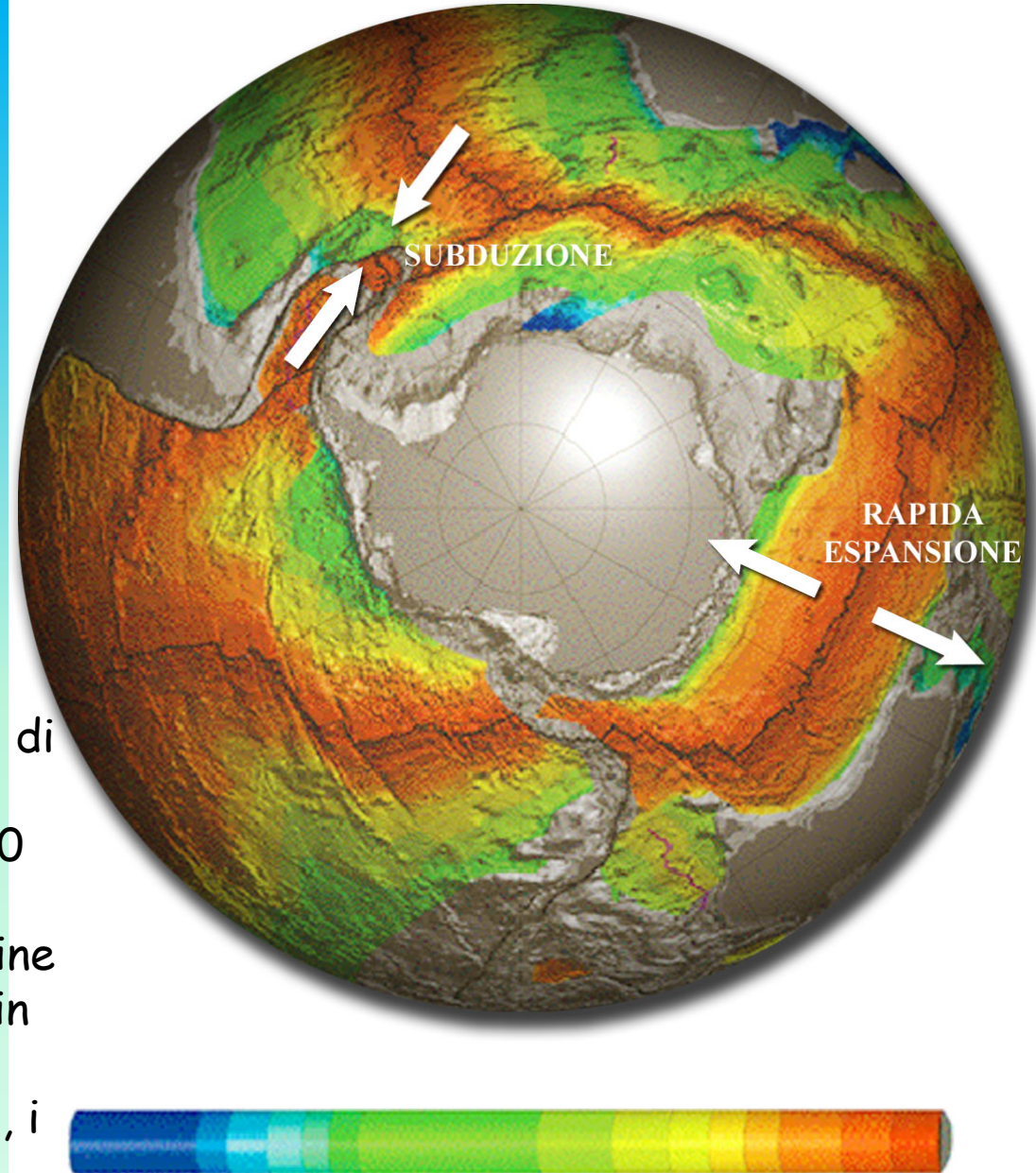
verso il
zzato
ene)

diversa
giocato
a

A partire da 30 Ma l'Antartide è diventata una placca con quasi tutti i margini distensivi, ed anche in questo è unica nel panorama geologico.

La piattaforma continentale

La storia sedimentaria, tettonica e glaciale sono documentate nei sedimenti e nell'assetto strutturale della piattaforma continentale. La piattaforma continentale, molto sviluppata in corrispondenza di Mari di Ross e di Weddell, si trova a profondità elevate (anche oltre 1000 m) ed è solcata da ampie incisioni. Queste anomalie devono la loro origine all'azione della calotta glaciale che, in ripetute fasi di avanzamento e arretramento ha eroso o depositato, i sedimenti glacio-marini della piattaforma.



Conclusioni

- L'Antartide, insieme a pochi altri cratoni Archeani raggruppati nel protocontinente Ur, può ancora fornire informazioni sul periodo più "oscuro" della storia della Terra che va da 4 a 4.5 miliardi di anni.
- L'Antartide per la sua posizione centrale in Rodinia e Gondwana/Pangea potrà ancora fornire dati molto importanti per definire le relazioni fra i vari frammenti crostali nei supercontinenti, e rappresenta quindi un luogo ideale dove testare la stessa tettonica a placche e quanto questo modello possa essere applicato man mano che si va indietro nel tempo.

