



“The Dodo never had a chance. He seems to have been invented for the sole purpose of becoming extinct and that was all he was good for.”

Will Cuppy (1941) *How to Become Extinct*

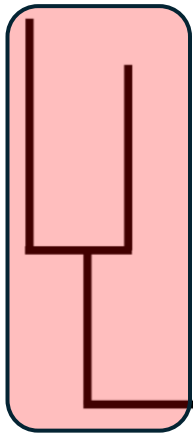
5.1 Definizioni, pattern e cause

1. Scomparsa definitiva di tutti gli individui all'interno di una specie

Extinction



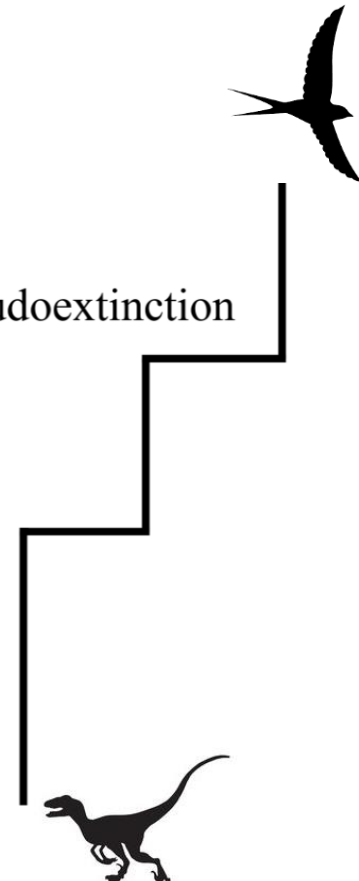
Extinction



2. Completa scomparsa di un lignaggio filogenetico (clade)

3. Pseudoestinzione:
transizione da una specie (o lignaggio) ancestrale ad una specie (o lignaggio) discendente

Pseudoextinction



Perchè le estinzioni sono un tema attuale ?

1) **Affascinano!** Le estinzioni di massa sono spettacolari
(...impatti di asteroidi, vulcanismo, glaciazioni, ecc)

2) **Hanno provocato la scomparsa di animali
"fantastici" che catturano la nostra
attenzione (vedasi i dinosauri...)**

3) **Studiare e capire le
estinzioni del passato è un
modo per capire, affrontare e
porre rimedio al più grande
problema che l'umanità sta
affrontando...**



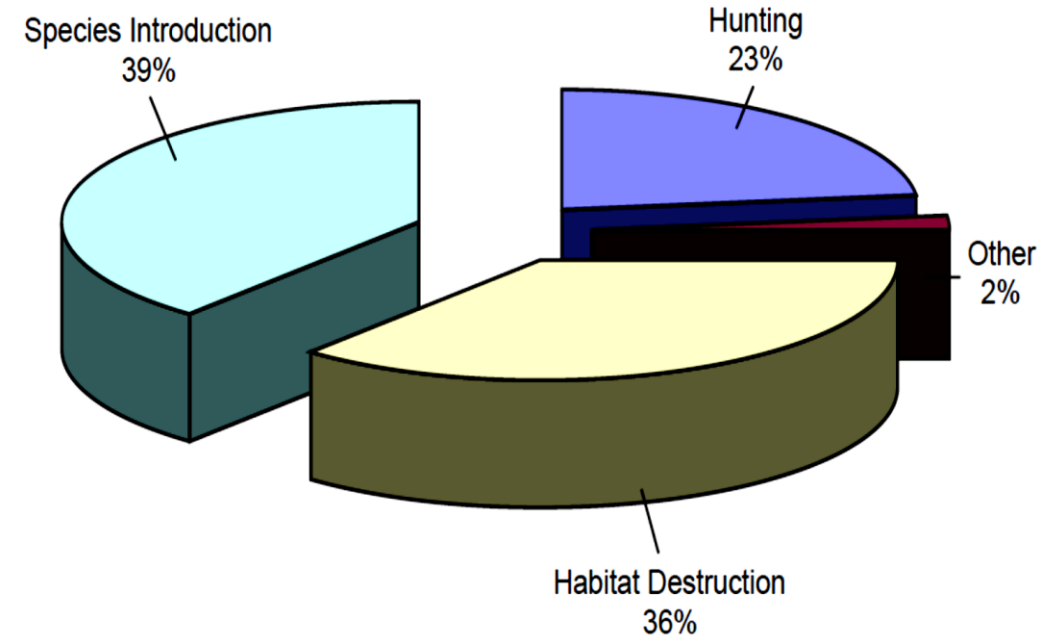
Perchè le estinzioni sono un tema attuale ?

...la 6° estinzione di massa...

humans are facing
mass extinction due
to climate change



Cause:

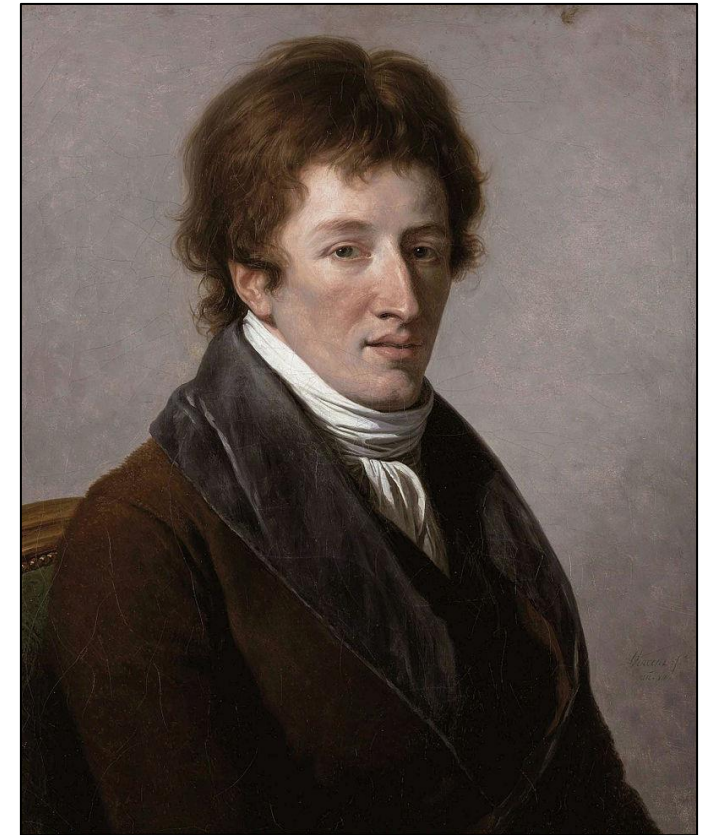
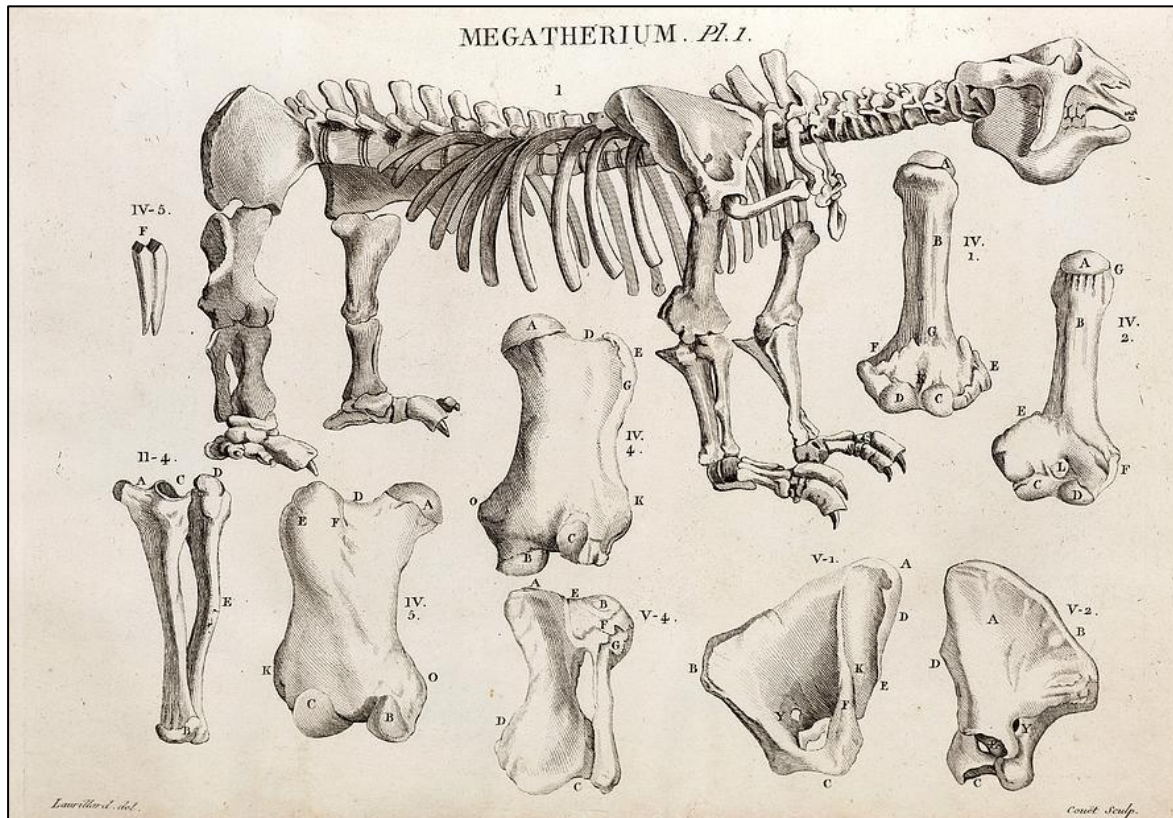


⇒ Conoscere la perdita della biodiversità passata e le cause che l'hanno prodotta potrebbero essere la chiave per affrontare il nostro presente e futuro.

⇒ Studiare il record fossile è importante per capire come e perché si estinguono le specie.

Estinzioni (in paleobiologia)

- Il primo che ipotizzò la possibilità che le specie si estinguono fu **George Cuvier** (1769-1832) che in contrapposizione al Creazionismo, introdusse il concetto di **Catastrofismo**, ovvero la Storia della Vita sulla Terra è stata punteggiata da catastrofi globali che hanno prodotto estinzioni.

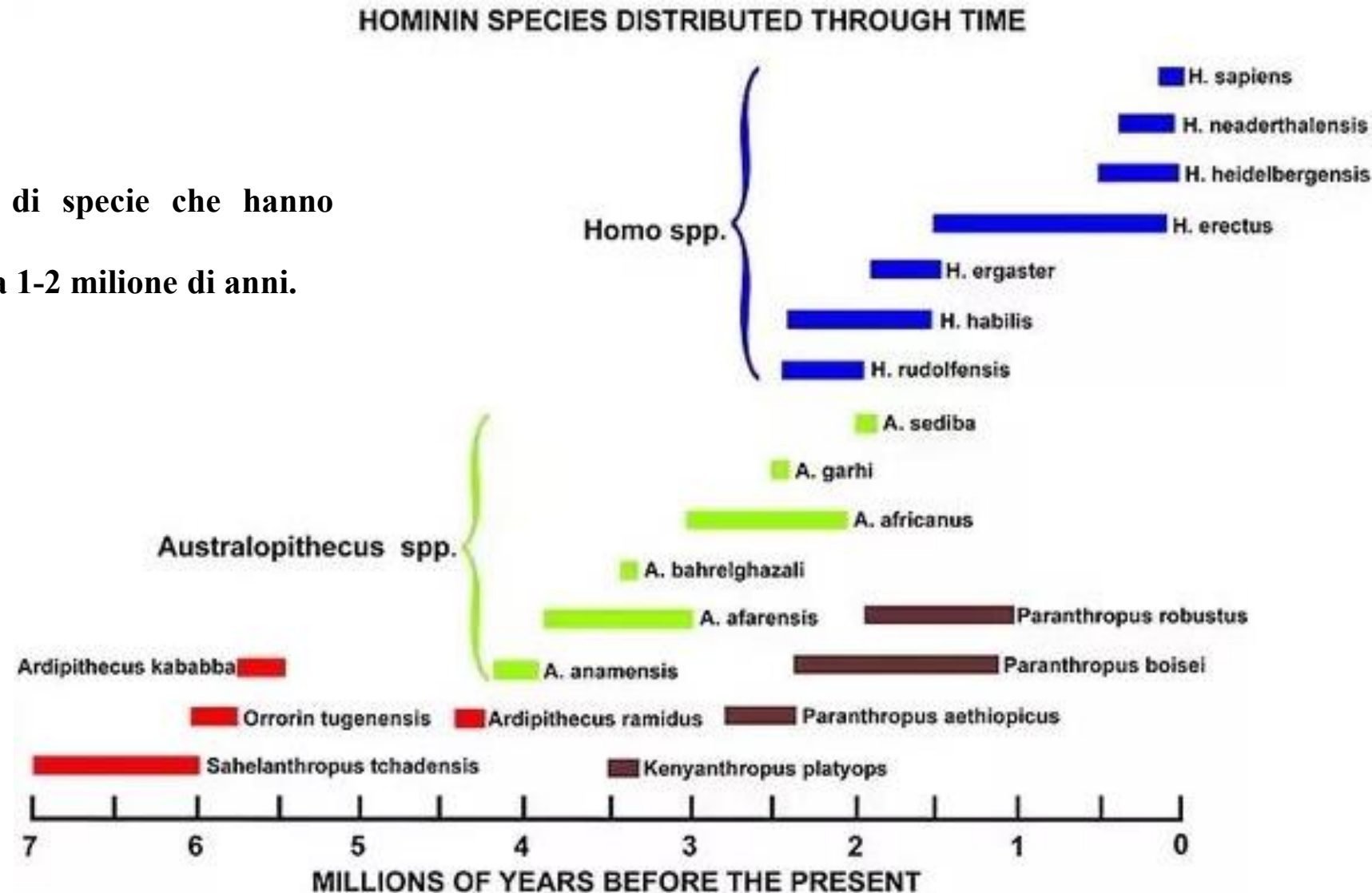


Estinzioni (in paleobiologia)

Il record fossile dimostra 3 fatti assoluti:

- 1) Le specie si estinguono
- 2) Le estinzioni sono sempre avvenute
- 3) Esiste un turnover (avvicendamento) di specie che hanno mediamente un'esistenza variabile intorno a 1-2 milione di anni.

Si stima inoltre che il **99.5%** delle specie comparse sulla Terra sono estinte.



Analizzare le estinzioni

Per capire se nel record fossile siamo in presenza di una estinzione dobbiamo produrre:

Osservazioni qualitative:

- Quali taxa scompaiono (specie, generi, famiglie, ordini, ecc)
- Scomparsa di taxa comuni e meno comuni
- Cambiamenti ecologici nell'associazione faunistica
- Cambiamenti nell'occupazione del morfospazio nel tempo

Osservazioni quantitative:

- Numero di taxa estinti per unità temporale (es. per milione di anni)
- Percentuale di taxa estinti per unità temporale ($\text{n. specie estinte} / \text{n. specie totali} / \text{tempo}$)
- Numero di taxa estinti per unità cronostratigrafica (es. nel Giurassico inferiore).
- Percentuale di taxa estinti in una unità cronostratigrafica ($\text{n. specie estinte} / \text{n. specie totali nel Giurassico inferiore}$)
- Velocità dell'estinzione
- Riduzione della biomassa (dedotta da proxies geologiche, geochimiche, biochimiche, ecc)
- Diminuzione della disparità nel tempo

Attenzione ai bias!

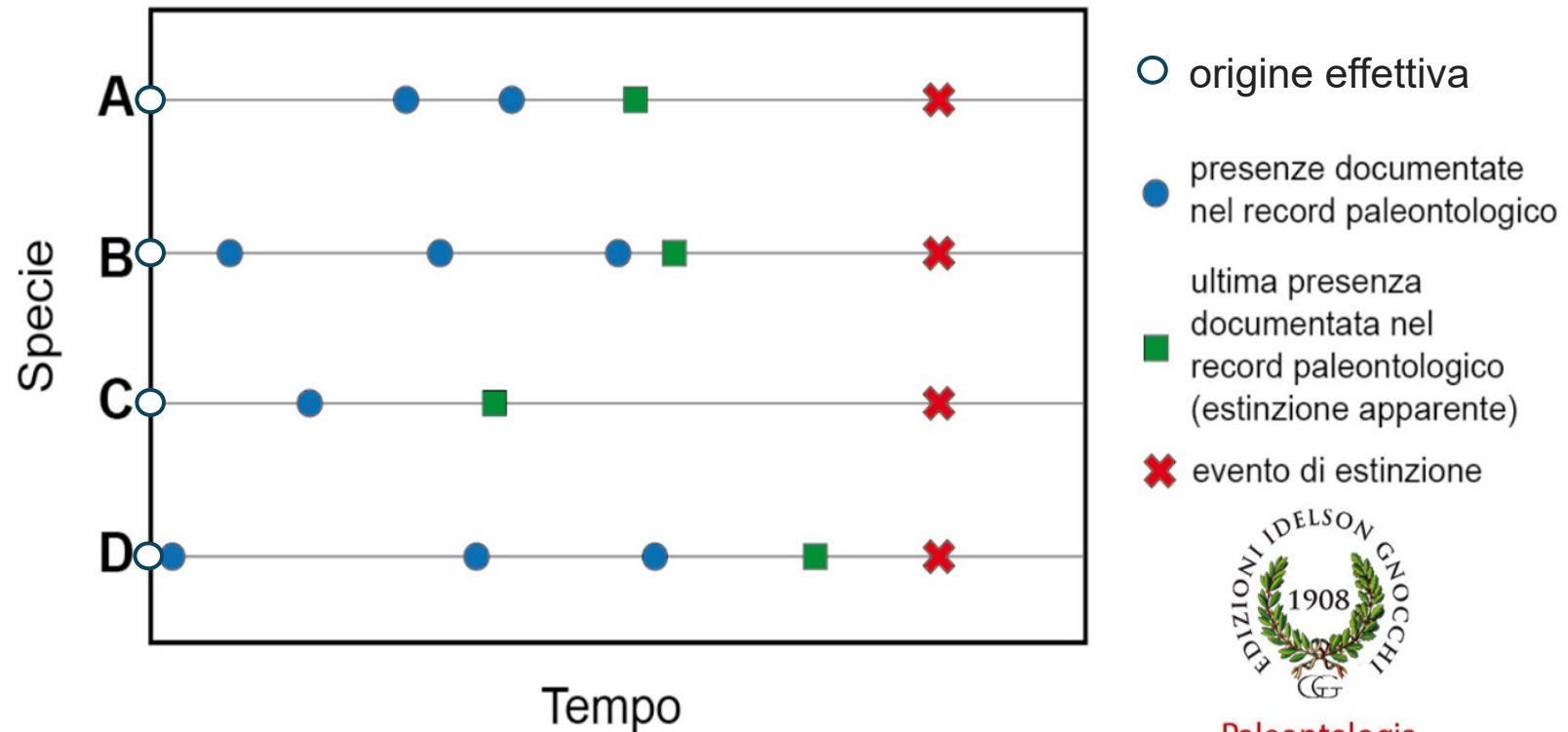
Bias delle estinzioni

1. Conseguenze dell'Effetto Signor-Lipps

«Dato che il record paleontologico degli organismi non è completo in nessun caso, né il primo né l'ultimo rappresentante di un determinato taxon saranno rinvenuti sotto forma di fossili» (Signor & Lipps 1982).

Conseguenze sulle estinzioni:

- Il record paleontologico tende a pre-datare (anticipare) l'estinzione di un taxon fossile rispetto al momento della sua reale scomparsa.
- Ne consegue che la durata reale di un evento di estinzione (inizio-fine) calcolata tramite la documentazione fossile sarà sempre più ridotta rispetto alla durata reale dell'estinzione.



Bias delle estinzioni

2. Truncation Effect

Apparente estinzione causata da un mancato campionamento di taxa.

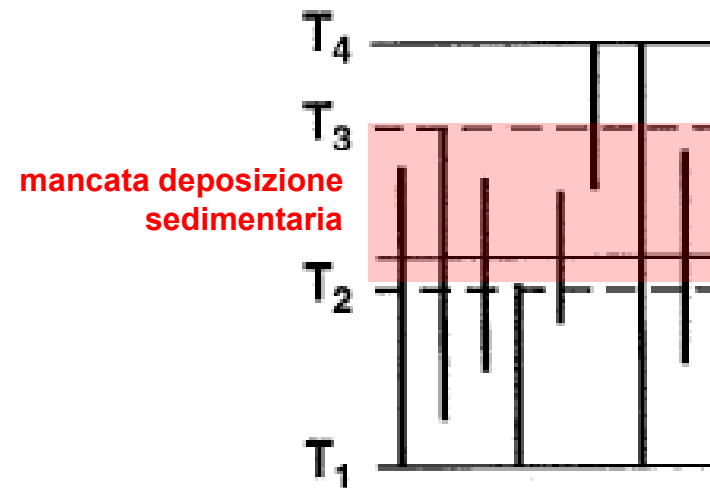
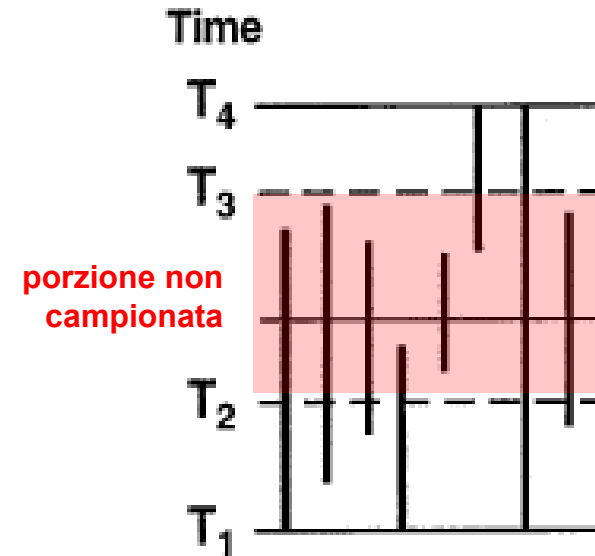
Effetto dovuto a:

- Porzioni di roccia non campionate (**iato**)
- Assenza di deposizione dei sedimenti (**condensazione**).

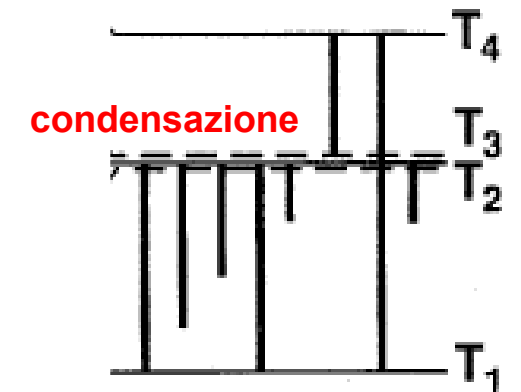
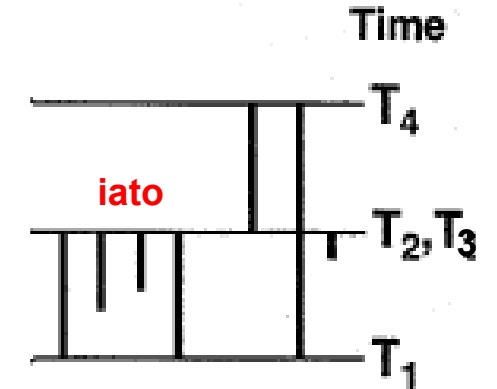
L'effetto porta dunque a riconoscere delle **false estinzioni**.

L'estinzione, in realtà, non c'è mai stata.

REALTA'



FALSA ESTINZIONE



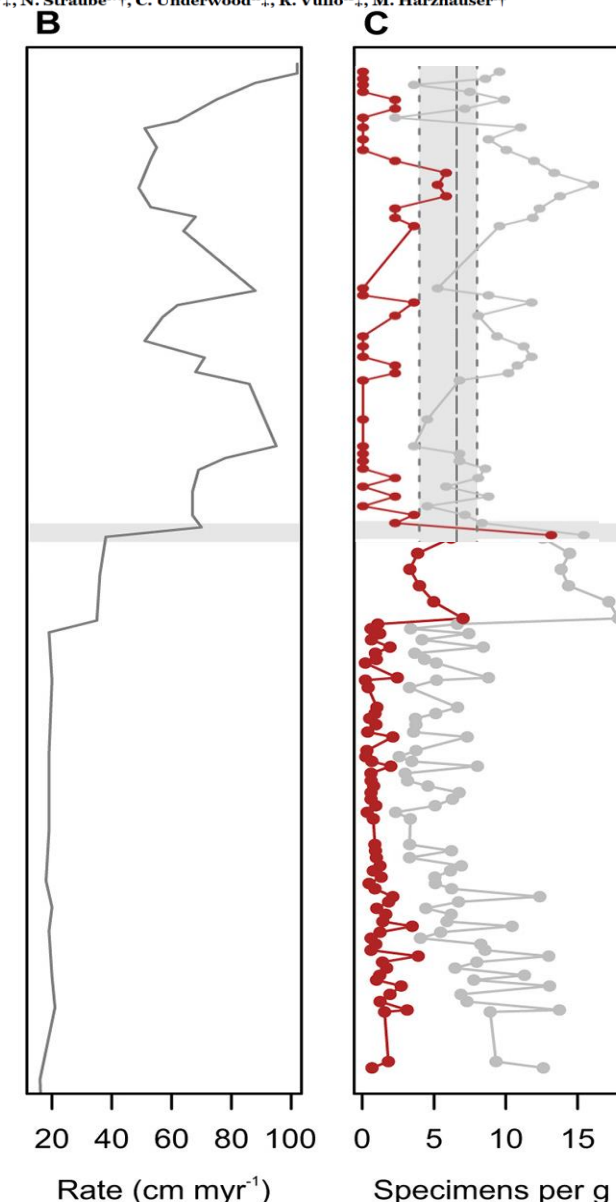
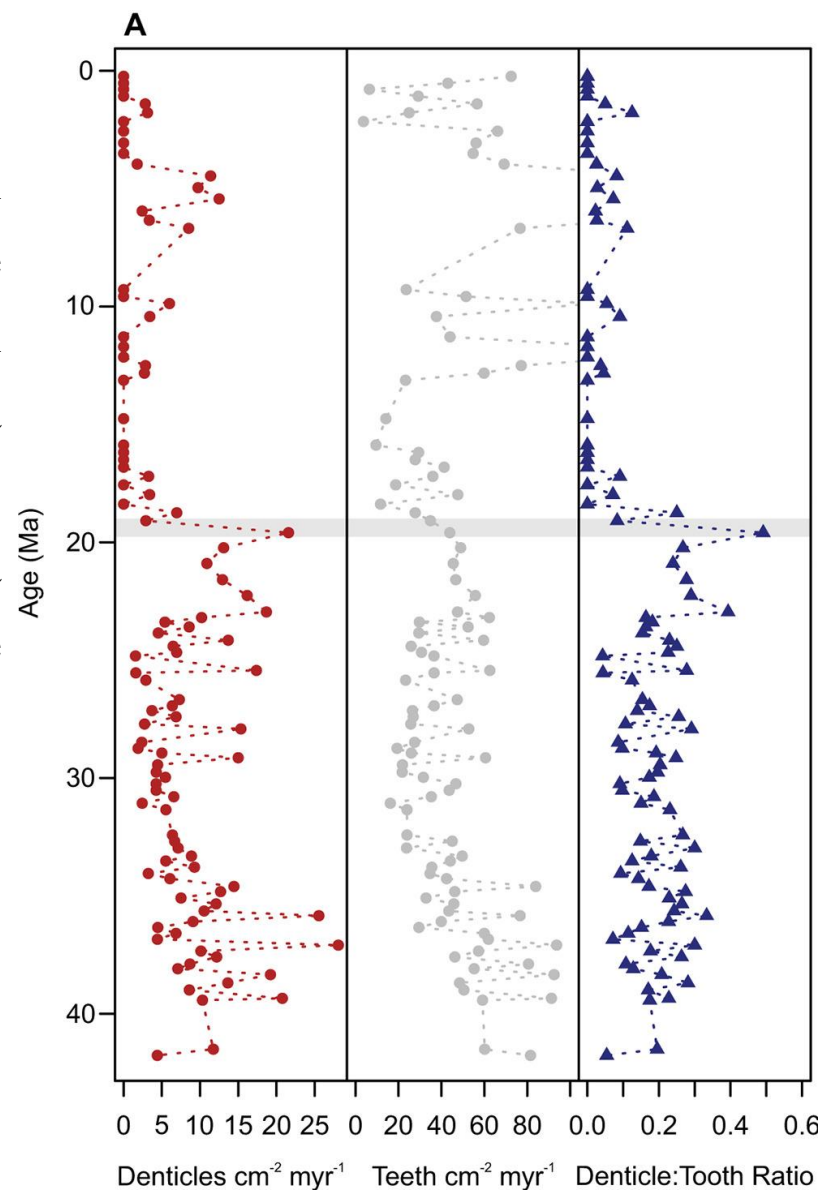
PALEONTOLOGY

An early Miocene extinction in pelagic sharks

Elizabeth C. Sibert^{1,2,3*} and Leah D. Rubin⁴

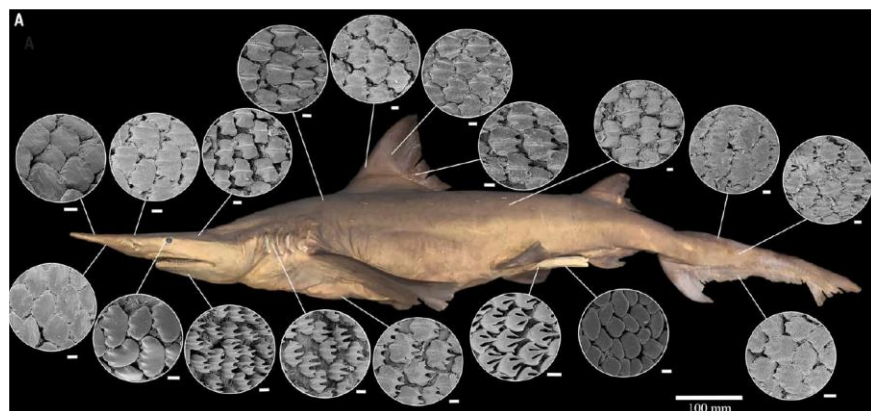
Comment on “An early Miocene extinction in pelagic sharks”

I. Feichtinger^{1,2*}, S. Adnet^{2,3}, G. Cuny^{2,3}, G. Guinot^{2,3}, J. Kriwet^{4,5}, T.A. Neubauer^{5,6*}, J. Pollerspöck^{7*}, K. Shimada^{8,9*}, N. Straube^{10*}, C. Underwood¹¹, R. Vullo¹², M. Harzhauser^{1*}



3. Bias di sedimentazione

- L'aumento del tasso di sedimentazione fa sì che la frequenza di fossili nella porzione campionata venga "diluata" in uno spessore di sedimenti maggiore (a causa dell'elevata sedimentazione).
- L'estinzione non è mai avvenuta e la presunta "scomparsa" è dovuta alla difficoltà di trovare fossili in un maggiore pacco di strati.



Bias delle estinzioni

3. Effetto Lazarus

- Taxa che riemergono nel record fossile in seguito a un periodo di presunta estinzione.
- L'estinzione non è mai avvenuta, oppure è avvenuta solo localmente.



4. Effetto Elvis

- Taxa che riemergono nel record fossile in seguito a un periodo di presunta estinzione.
- La «riapparizione» è dovuta a errori di identificazione del taxon «risorto».
- Il taxon originario è realmente estinto, e il taxon «risorto» ha solo una morfologia simile (convergenza evolutiva) ma non è imparentato con quello originario.



5. Effetto Zombie

- Taxa creduti estinti che riemergono in rocce più giovani (es. dinosauri nel Paleogene).
- In realtà i fossili ritrovati in rocce più giovani sono rimaneggiati (dilavati da rocce più antiche e risedimentati in rocce più giovani).
- L'estinzione del taxon è antecedente al nuovo ritrovamento.



Tipi di estinzioni

In base alla presenza o meno di turnover (sostituzioni ecologiche) si riconoscono due modelli di estinzione:

- **Estinzione con sostituzione**
- **Estinzione senza sostituzione**

Rispetto al fattore spazio:

- **Estinzione locale**
- **Estinzione regionale**
- **Estinzione globale**

Rispetto al fattore tempo:

- **Estinzione di fondo**
- **Estinzione di massa**

Tipi di estinzioni

In base alla presenza o meno di turnover (sostituzioni ecologiche) si riconoscono due modelli di estinzione:

- **Estinzione con sostituzione**
- **Estinzione senza sostituzione**

Rispetto al fattore spazio:

- **Estinzione locale**
- **Estinzione regionale**
- **Estinzione globale**

Rispetto al fattore tempo:

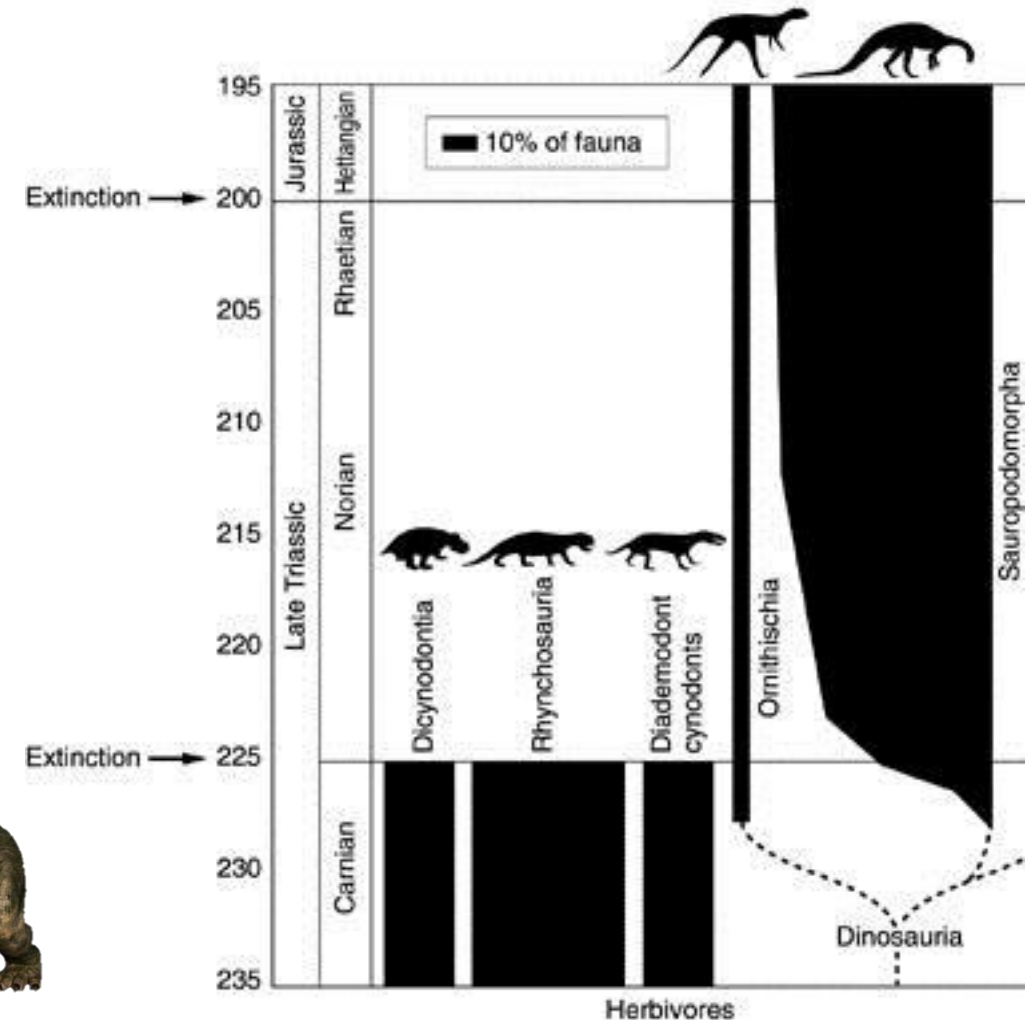
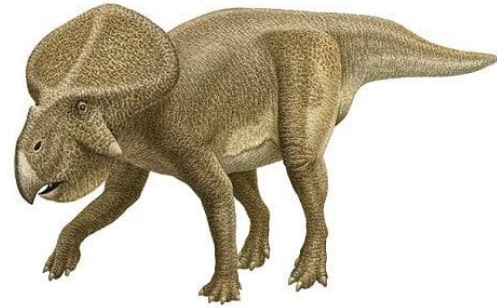
- **Estinzione di fondo**
- **Estinzione di massa**

Estinzioni con sostituzione

- Avvengono quando (sia in condizioni di equilibrio ambientale, sia durante sconvolgimenti ambientali) **specie diverse si avvicendano nel tempo, occupando la stessa nicchia ecologica**.
- Nella maggior parte dei casi, le sostituzioni sono date dai **vicarianti ecologici**, taxa non imparentati filogeneticamente ma che condividono la stessa nicchia trofica e che spesso sono simili anche morfologicamente.

Cambiano le specie ma non i ruoli che queste hanno nell'ambiente.

L'estinzione di fine Triassico (225-220 Ma) ha provocato la scomparsa di molti gruppi di rettili crurotarsi e di molti sinapsidi, le cui nicchie e ruoli ecologici sono stati successivamente occupati da dinosauri.



Pseudoextinction

Estinzioni con sostituzione

- Un particolare tipo di estinzioni con sostituzione sono quelle che avvengono nei casi di **gradualismo**, quando si ha, tramite trasformazione filetica, il passaggio da una specie ad un'altra, con la prima che va incontro ad una **pseudoestinzione**.
- Se la nuova specie occupa la stessa nicchia ecologica della precedente, si parla di estinzione con sostituzione.

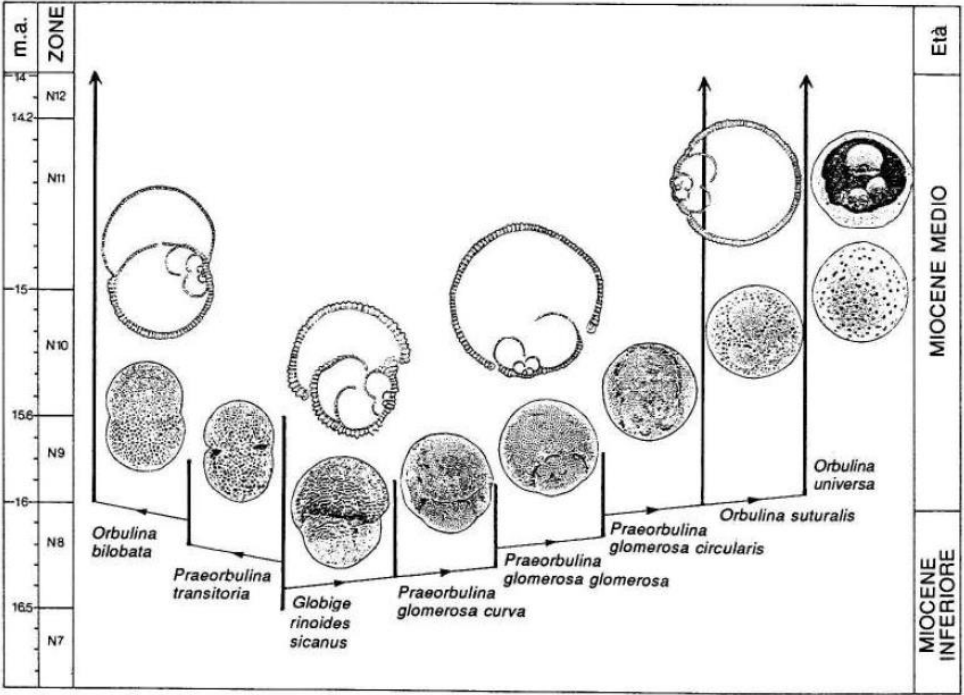
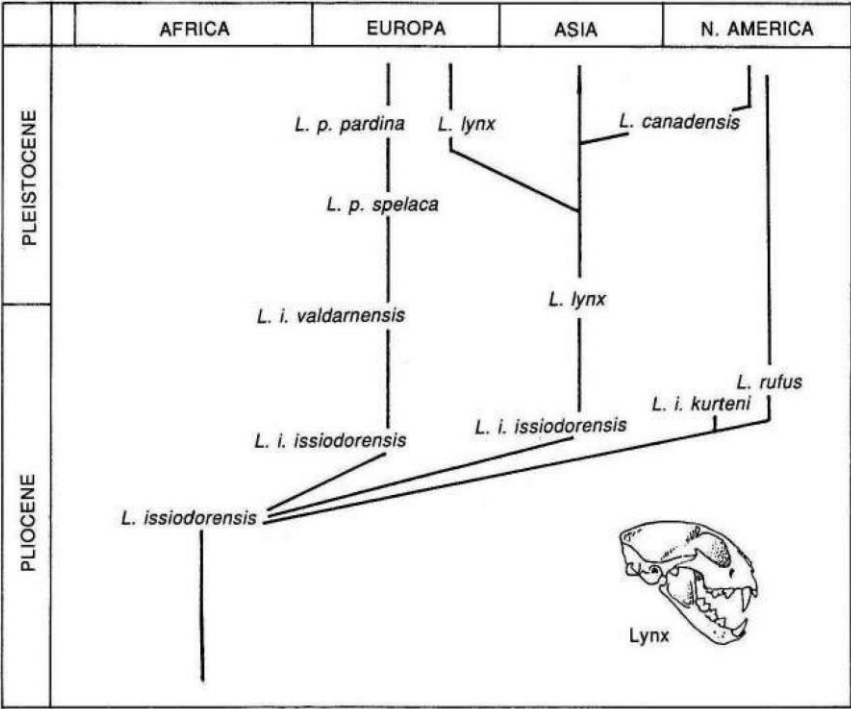
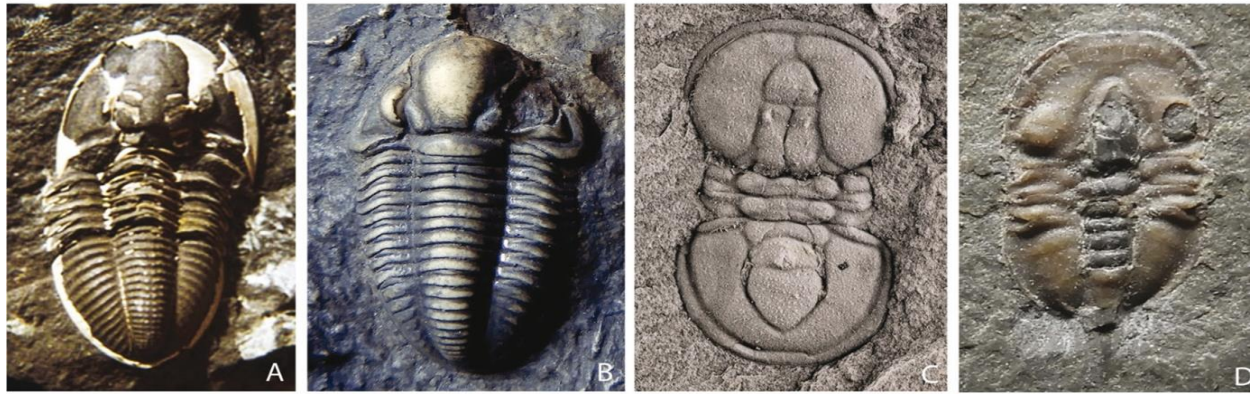


Fig. 4.15 – La filogenesi del genere *Lynx*, come ricostruita da Werdelin (1981), sembra costituire un buon esempio di gradualismo filetico (da Levinton, 1988).

Fig. 4.23 – Evoluzione del genere *Orbulina* dal genere *Globigerinoides* (da Banner & Lowry, 1985).

Estinzioni senza sostituzione

In condizioni di sconvolgimenti ambientali globali può avvenire l'estinzione di una specie o di un intero clade, senza che il loro ruolo venga più ricoperto da altre specie o altri cladi.



Il ruolo ecologico di trilobiti ed ammoniti negli ecosistemi marini, estintisi rispettivamente alla fine del Permiano (251 Ma) e del Cretaceo (66 Ma), non è stato più ricoperto da altri organismi.

Tipi di estinzioni

In base alla presenza o meno di turnover si riconoscono due modelli di estinzione:

- **Estinzione con sostituzione**
- **Estinzione senza sostituzione**

Rispetto al fattore spazio:

- **Estinzione locale**
- **Estinzione regionale**
- **Estinzione globale**

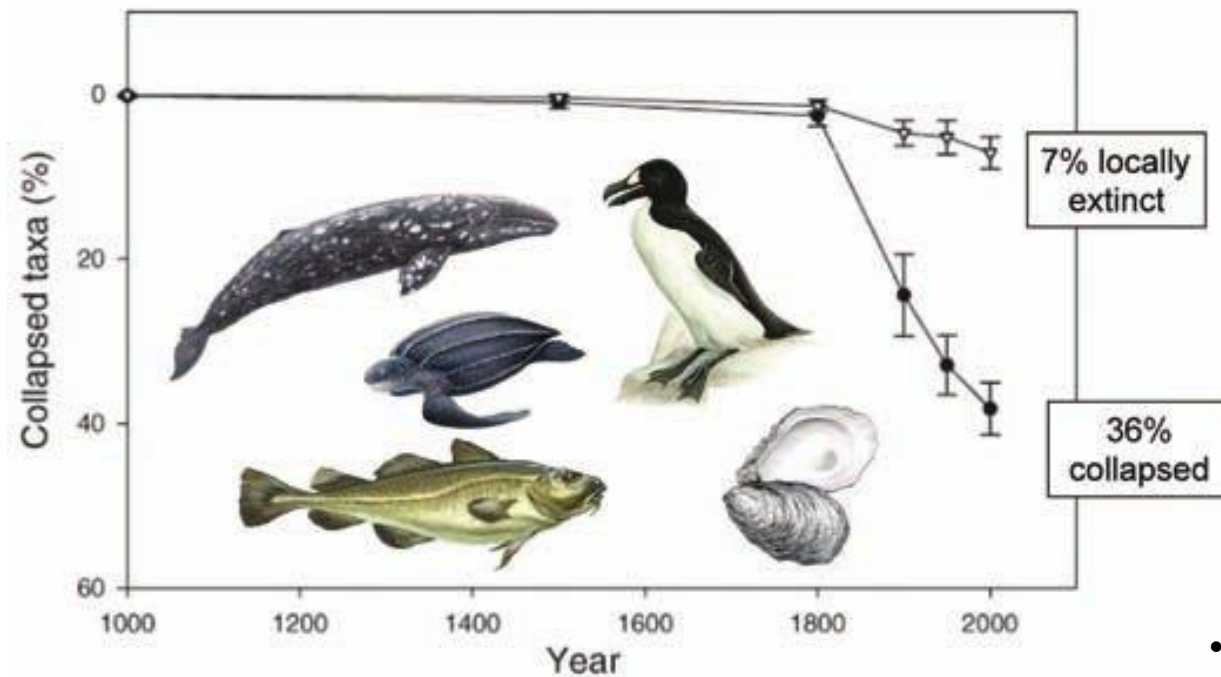
Rispetto al fattore tempo:

- **Estinzione di fondo**
- **Estinzione di massa**

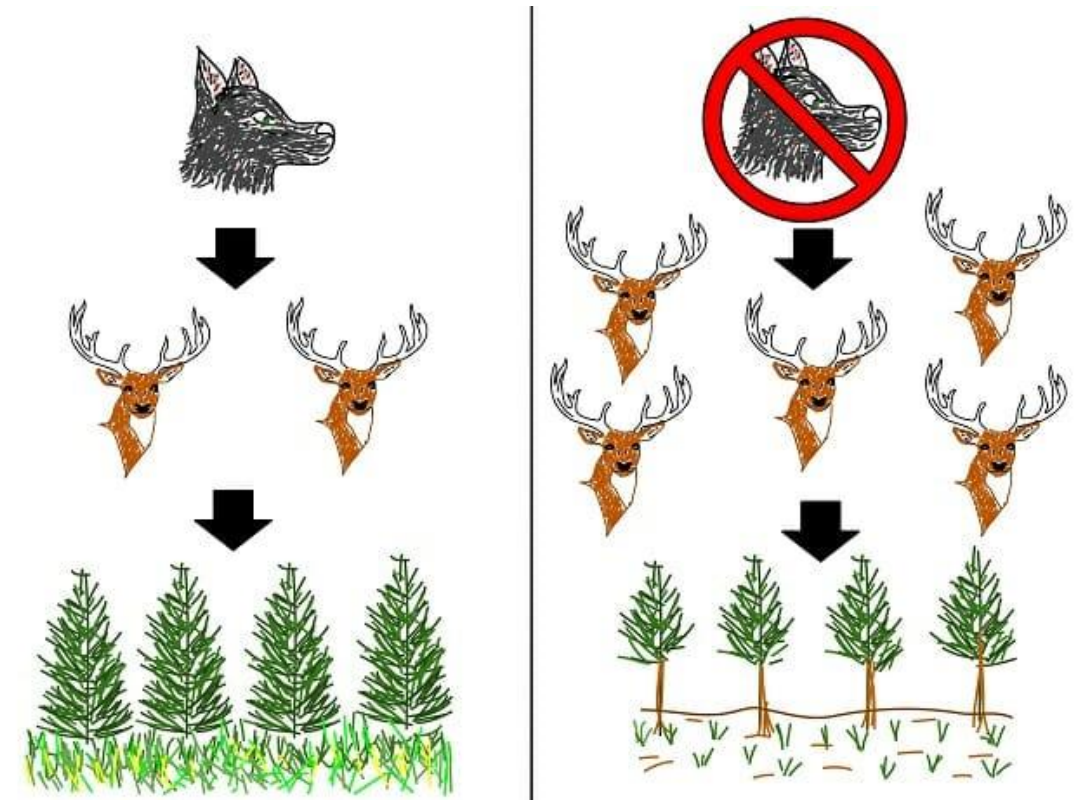
Estinzione locale

Estinzione di una o più specie in una specifica area geografica,
sebbene queste possano continuare ad esistere ancora altrove.

- Può essere seguita da una sostituzione di specie provenienti da altre località.



Long-term trend to local extinction and collapse of sea life. Source: Worm et al., 2006, Science 314:787-790

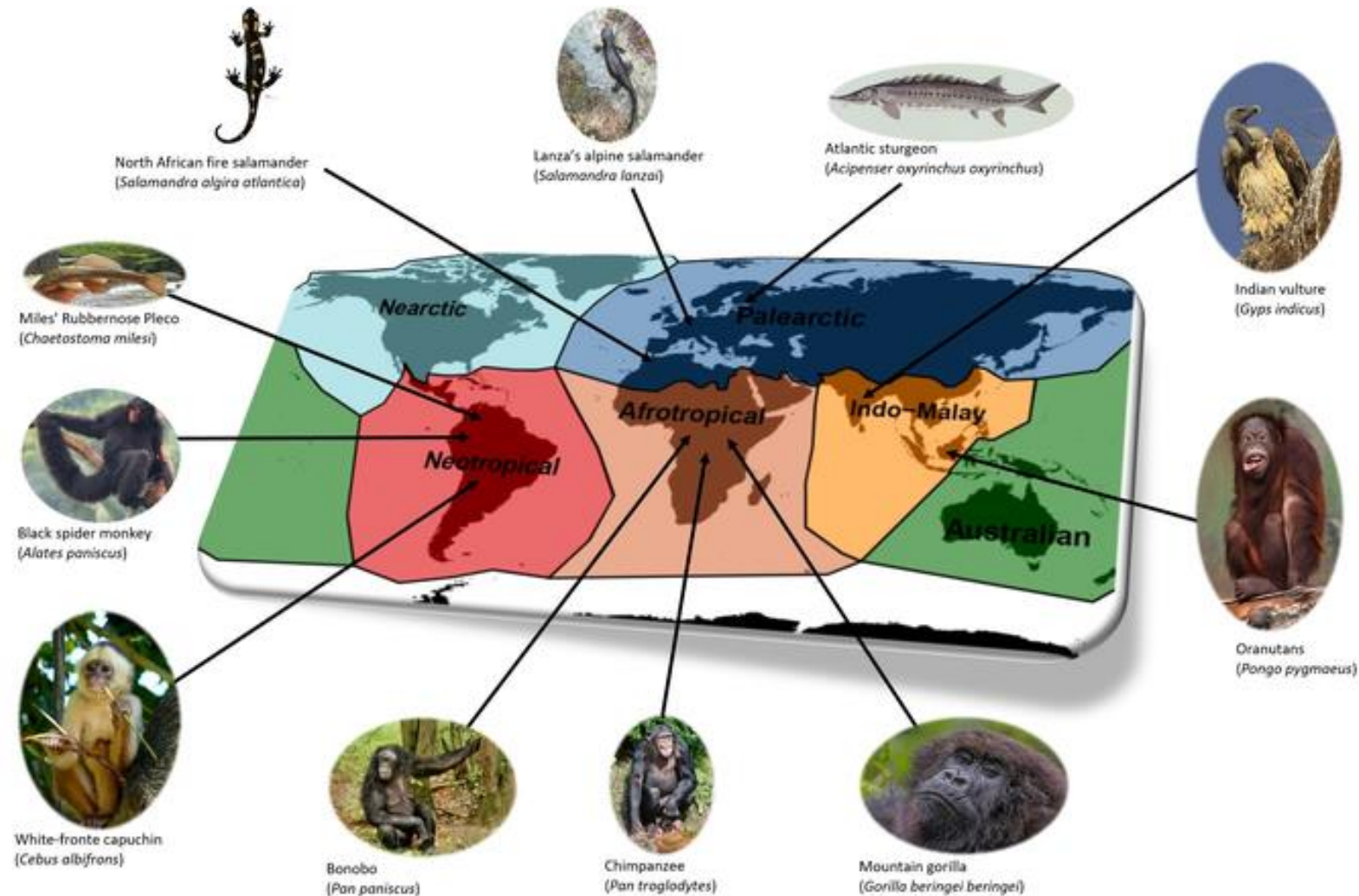


- Le estinzioni locali possono portare a un cambiamento nell'ecologia di un'area.
- Nel lungo termine, possono provocare il collasso della rete trofica.

Estinzione regionale

Estinzione di un singolo taxon o diversi taxa in una vasta regione.

- Le estinzioni regionali non incidono sulla diversità tassonomica di livello gerarchico più elevato della specie o del genere.
- Possono essere seguite da una sostituzione da specie provenienti da altre regioni.
- Portano a cambiamenti radicali nell'ecologia e relazioni trofiche a media scala.



Estinzione globale

Estinzione di diversi taxa in tutto il globo.

- Le estinzioni globali portano a cambiamenti radicali nell'ecologia e relazioni trofiche a grande scala (globale).
- Sono sempre seguite dai rinnovamenti biologici (recovery).



Tipi di estinzioni

In base alla presenza o meno di turnover si riconoscono due modelli di estinzione:

- **Estinzione con sostituzione**
- **Estinzione senza sostituzione**

Rispetto al fattore spazio:

- **Estinzione locale**
- **Estinzione regionale**
- **Estinzione globale**

Rispetto al fattore tempo:

- **Estinzione di fondo**
- **Estinzione di massa**

Estinzione di fondo

Detta anche estinzione di base, è una sorta di “rumore di fondo” dovuto alla durata naturale delle specie che va da qualche migliaio a pochi milioni di anni.

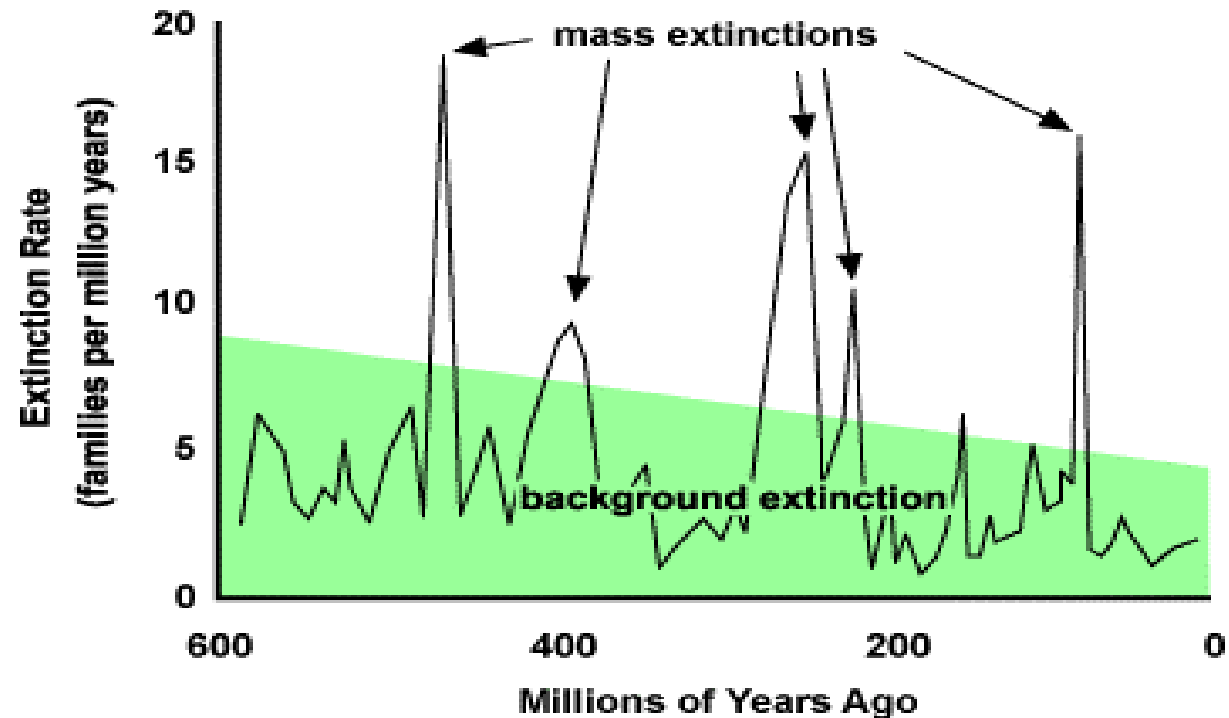
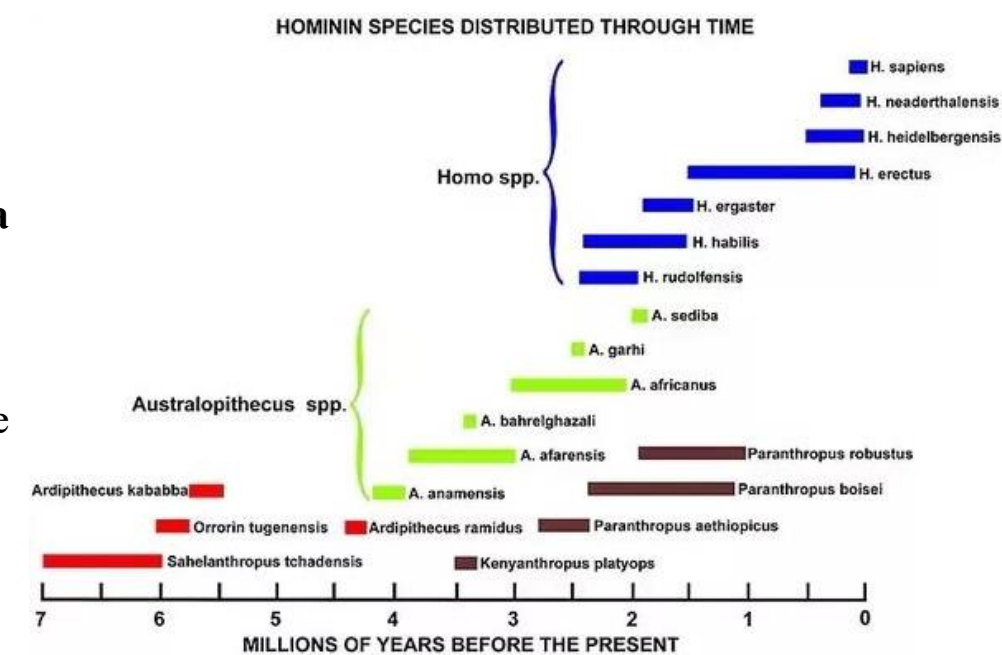
- Si stima che un certo numero di specie si estingua naturalmente in maniera costante (da 1 a 5 specie ogni anno per ogni milione di specie)
- Ovvero il 5-10% delle famiglie ogni milione di anni.

Caratteristiche

- Avviene con continuità costante nel tempo.
- Non necessita di sconvolgimenti a grande scala.
- Ha coinvolto **il 90-95%** delle specie estinte (Raup 1991)

Cause

- Normali processi di interazione biologica (competizione, predazione, invasioni)
- Variazioni paleoambientali minori e/o localizzate.
- Macroevoluzione.

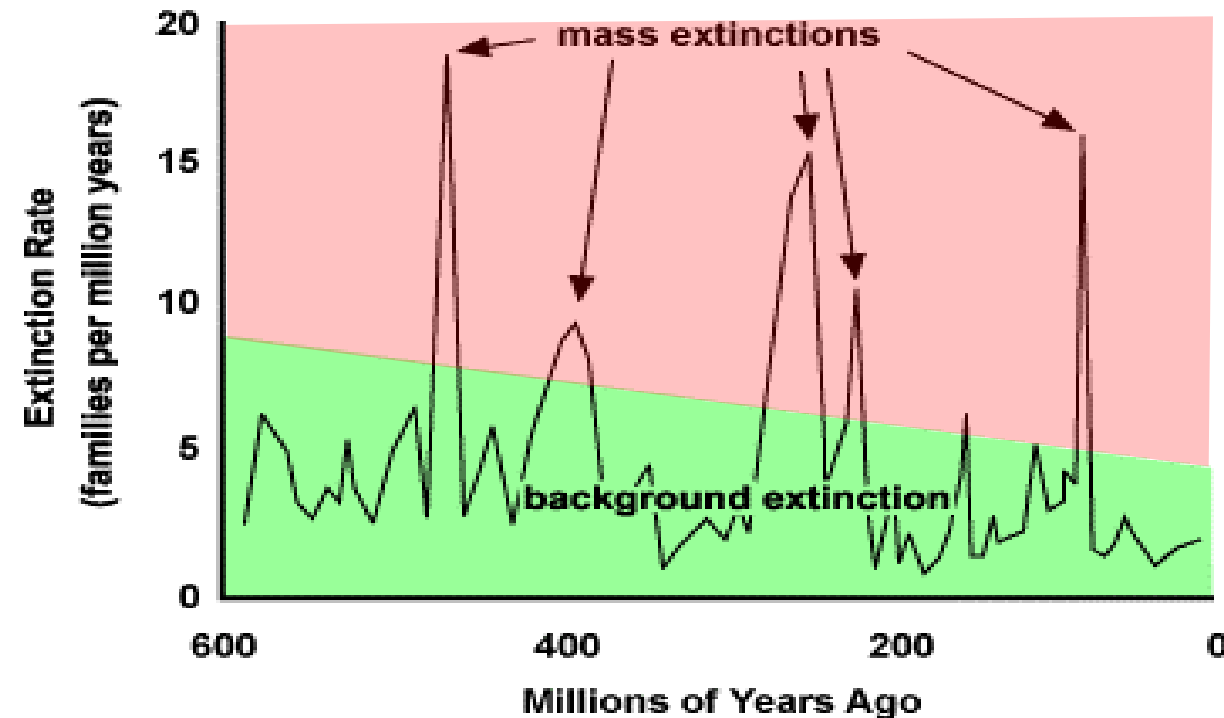


Estinzione di massa

Scomparsa improvvisa di un elevato numero di taxa in un periodo di tempo brevissimo, a causa di variazioni improvvise dei parametri ambientali che sconvolgono la maggior parte della rete ecologica.

Caratteristiche

- avvengono con frequenza **episodica e non prevedibile**
- avvengono in un **breve intervallo di tempo** (qlc decine di migliaia di anni)
- hanno portata globale
- interessano contemporaneamente continenti e oceani
- si estinguono **almeno il 30% delle specie** presenti in un dato momento
- avvengono per **una singola causa o un insieme di cause interconnesse**
- ampia gamma di gruppi tassonomici ed ecologie colpite
- il tasso di estinzione spicca rispetto all'estinzione di fondo
- hanno coinvolto **solo 5-10%** di tutte le specie estinte



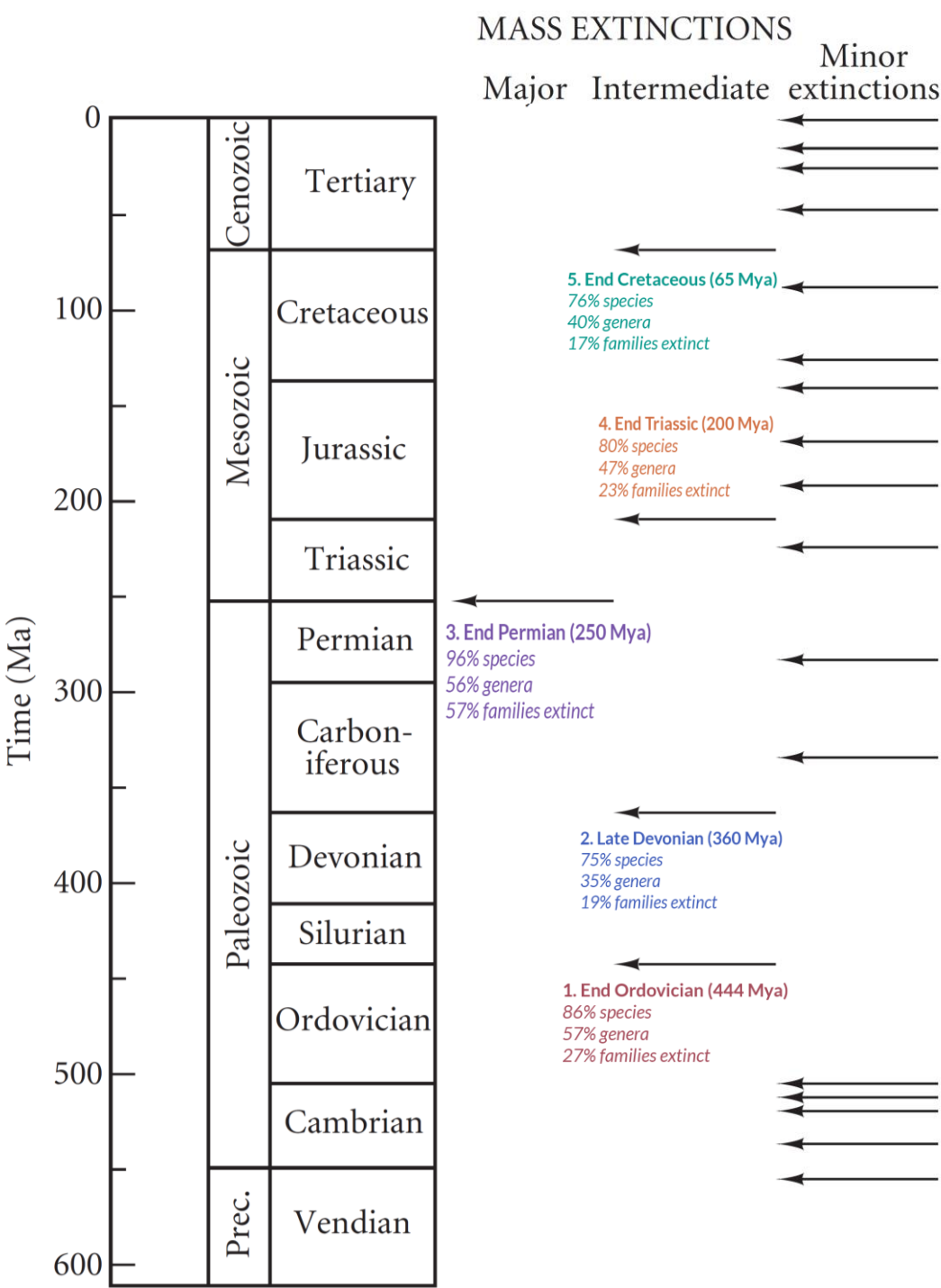
Estinzione di massa

Tipi di estinzioni di massa

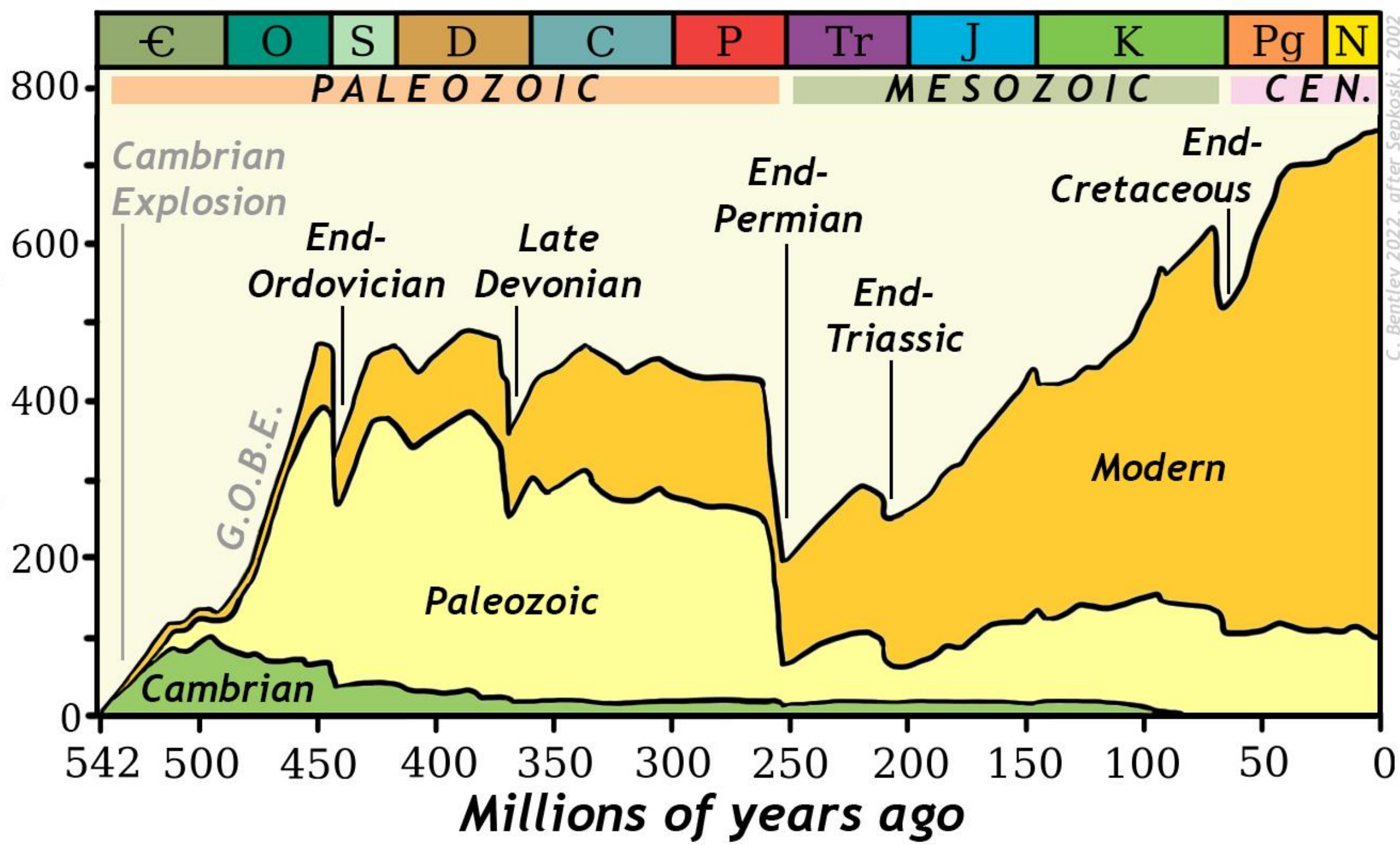
A seconda della portata dell'estinzione (in % di taxa estinti sul totale di taxa presenti in un dato momento) si distinguono:

- **Estinzioni minori** (17): 20-40% specie, 10% famiglie
- **Estinzioni intermedie** (4): >50% specie, 20-30% famiglie
- **Estinzione maggiore** (solo una): 96% specie, 57% famiglie

Le 4 estinzioni intermedie + la maggiore vengono anche chiamate **Big Five**.



Number of marine families



Pattern delle estinzioni di massa

E' generalmente ritenuto che l'evoluzione, durante i periodi di estinzioni di fondo, sia guidata dalla sopravvivenza dei più adatti e dall'estinzione dei non adatti, seguendo il corso della selezione naturale. Questa regola non varrebbe però durante le estinzioni di massa.

Raup (1991) propone infatti tre modelli attraverso i quali le estinzioni di massa agirebbero:

- **Caccia regolamentata:** l'estinzione di massa sarebbe "regolamentata" solo dall'intensità del processo, a discapito dei meno adatti.
- **Roulette Russa:** le estinzioni di massa sarebbero casuali negli effetti e la sopravvivenza sarebbe in gran parte dovuta alla fortuna.
- **Distruzione sfrenata:** le specie che sopravvivono sono solo quelle casualmente in possesso di tratti che migliorano la sopravvivenza durante le estinzioni di massa



E' probabile che le estinzioni non seguano un modello in particolare, ma piuttosto una **combinazione di questi 3 modelli**.

La tipologia di estinzione dipenderebbe cioè:

- 1) sia dall'intensità e tipologia di eventi che la producono
- 2) sia dagli organismi presenti in quel dato momento.

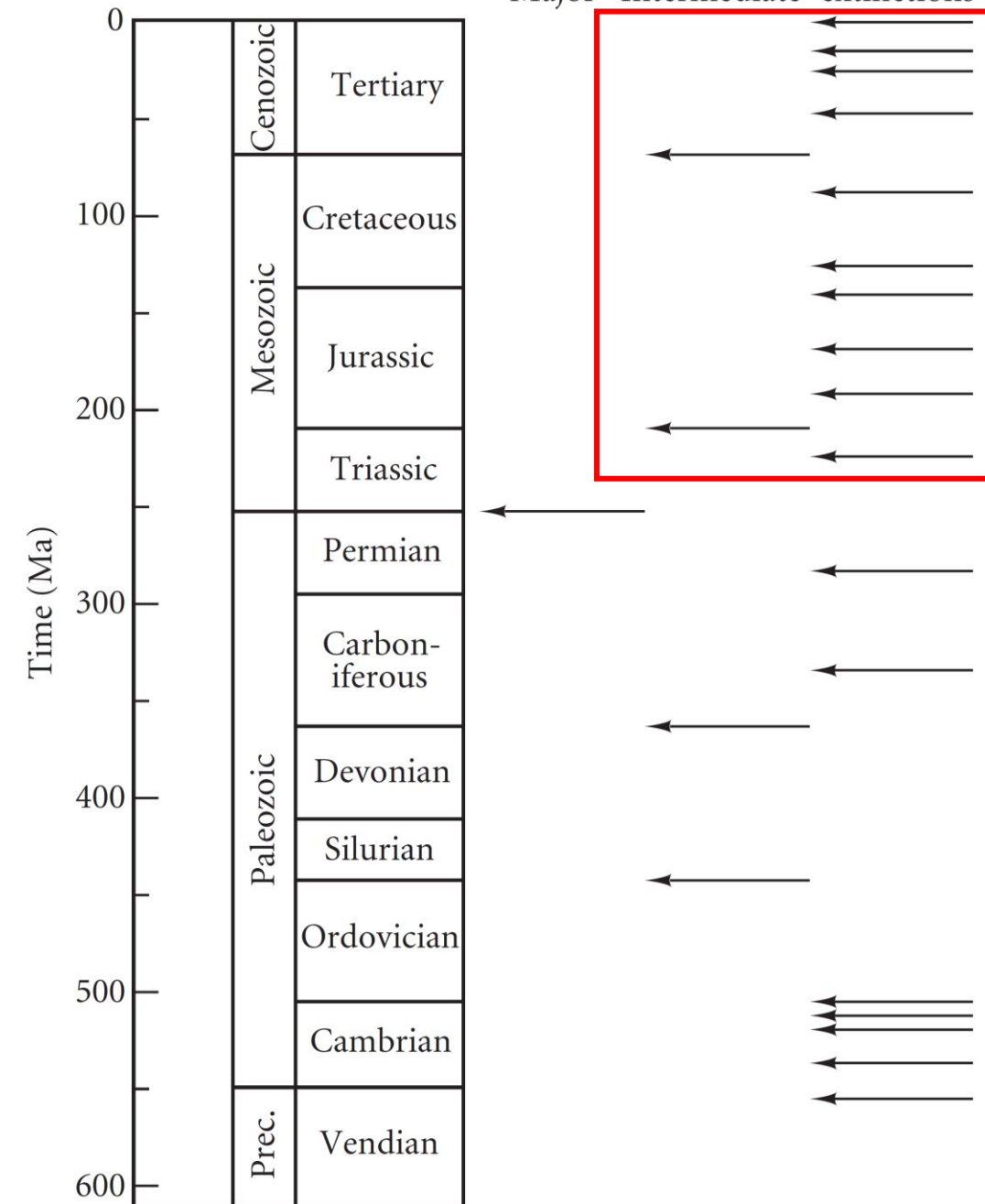
MASS EXTINCTIONS

	Major	Intermediate	Minor
extinctions			

1) Periodicità

The graph displays the percent extinction of species over time from 250 Ma to the present. The y-axis represents 'Percent extinction' on a logarithmic scale with major ticks at 2, 5, 10, 20, 30, 50, and 70. The x-axis represents 'Time (Ma)' from 250 to 0. The extinction rate is shown as a line graph with a shaded area underneath. A specific 26-million-year period is highlighted with a light gray background, spanning from approximately 194 Ma to 220 Ma. This period is labeled '26-my period'.

Time (Ma)	Percent extinction
250	70
240	25
230	15
220	45
210	3
200	12
194	16
180	8
170	12
160	4
150	7
140	6
130	22
120	3
110	3
100	10
90	7
80	11
70	21
65	7
50	15
40	25
35	70
30	25
20	25
10	50
0	15



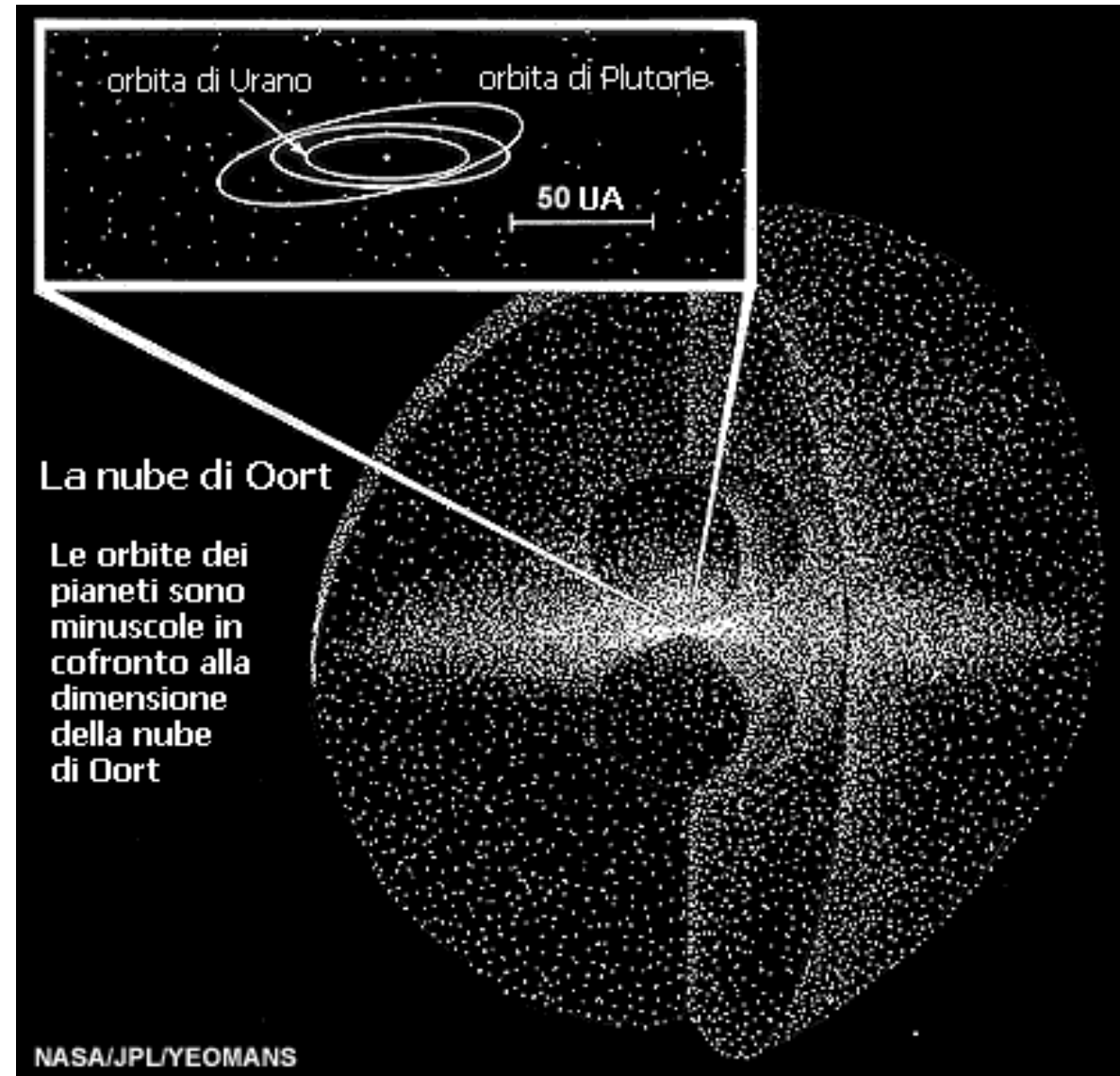
Pattern delle estinzioni di massa

1) Periodicità

Possibili cause:

- L'oscillazione del Sistema Solare (tiltaggio) nel piano della galassia.
- L'orbita molto eccentrica di una piccola stella gemella del Sole, chiamata Nemesis (non ancora scoperta) con una rivoluzione di 26-30 Ma.
- Gli effetti di un misterioso Pianeta X che si nasconderebbe oltre i bordi del sistema solare.

Le ultime due avrebbero effetti gravitazionali sulla nube di comete (Nube di Oort), posta a una distanza compresa tra 0,3 e 1,5 anni luce dal Sole, alcune delle quali verrebbero scagliate verso la Terra a causa dell'effetto fionda.



Pattern delle estinzioni di massa

2) Selettività

Sebbene le estinzioni di massa sembrano NON selettive, alcuni organismi hanno più probabilità di sopravvivere a un evento di estinzione, mentre altri sono più propensi ad estinguersi.

Maggiori probabilità di sopravvivenza

- specie tachiteliche
- specie R-strategie (opportuniste)
- taxa che occupano diverse nicchie ecologiche e aree geografiche ampie
- cladi che contengono molte specie
- organismi marini infaunali e/o di acque molto profonde
- organismi di piccola taglia
- organismi con metabolismo lento

Minori probabilità di sopravvivenza

- specie braditeliche
- specie K-strategie (specializzate)
- taxa che occupano solo una o poche nicchie ecologiche e aree geografiche ristrette
- cladi che contengono poche specie
- organismi marini epifaunali e/o di acque poco profonde
- organismi di grande taglia
- organismi con metabolismo elevato

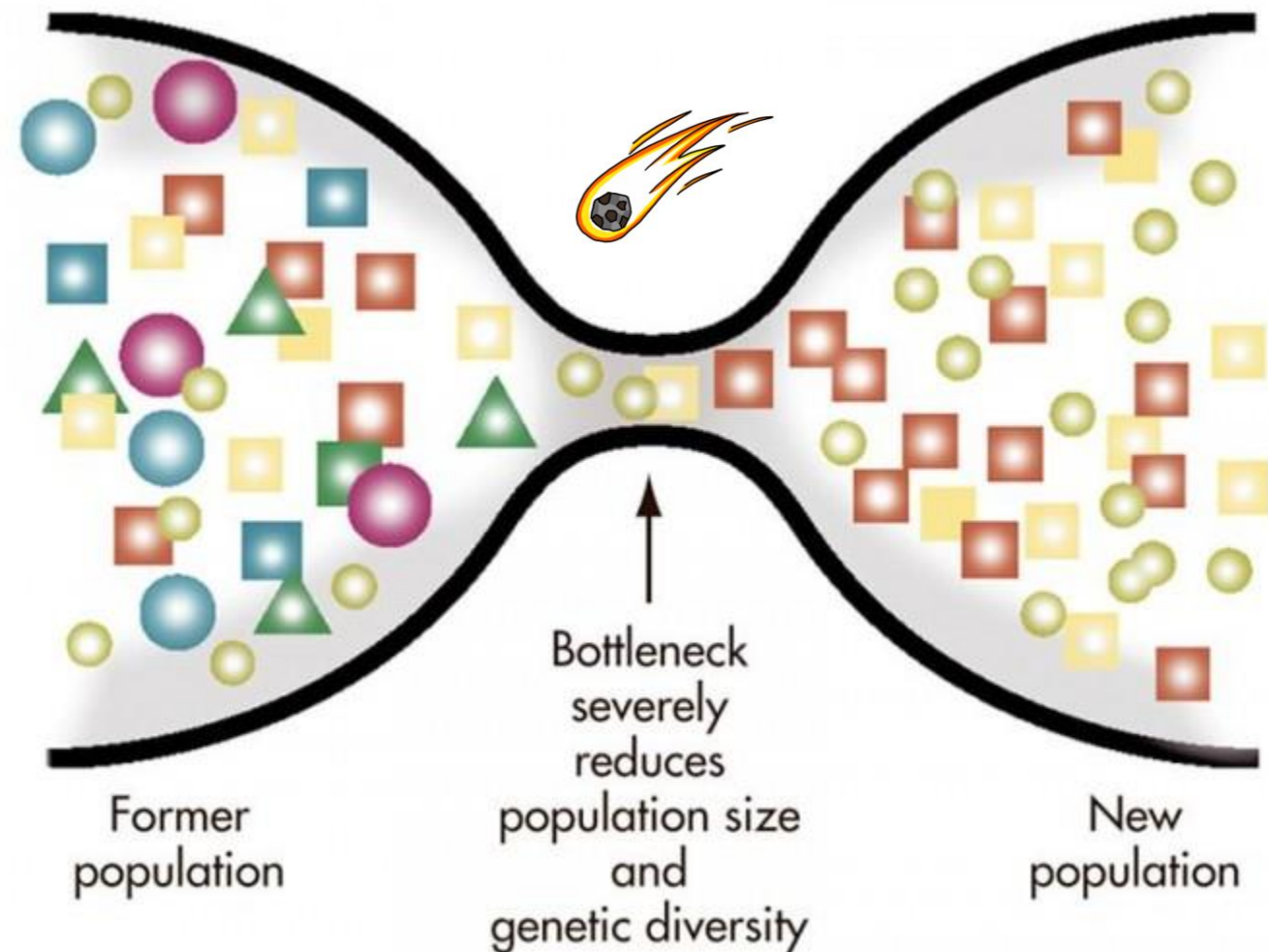
In realtà, non esistono regole assolute...

... ma la sopravvivenza dipende dal tipo di estinzione che le causa e dal tipo di organismi presenti in quel momento

Pattern delle estinzioni di massa

3) Effetto collo di bottiglia (bottleneck effect)

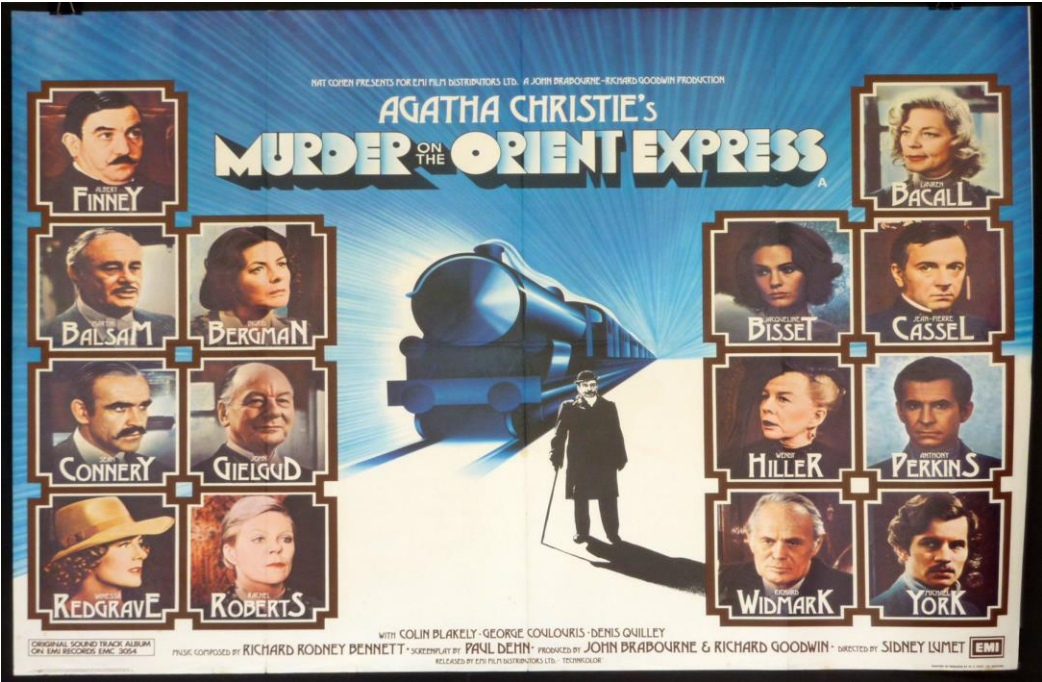
- I cladi che non si estinguono vanno incontro generalmente ad una riduzione sia della propria diversità biologica che della propria diversità genetica.
- Dopo l'estinzione, a riprodursi è una popolazione più piccola (con ridotta varietà del pool genetico) che trasmetterà una diversità genetica inferiore.
- Ne deriva un indebolimento dell'intero lignaggio.
- E' per questo motivo che alcuni lignaggi che sopravvivono di stretta misura ad una prima estinzione, si estinguono quando sopraggiunge a breve una seconda ondata di estinzione.



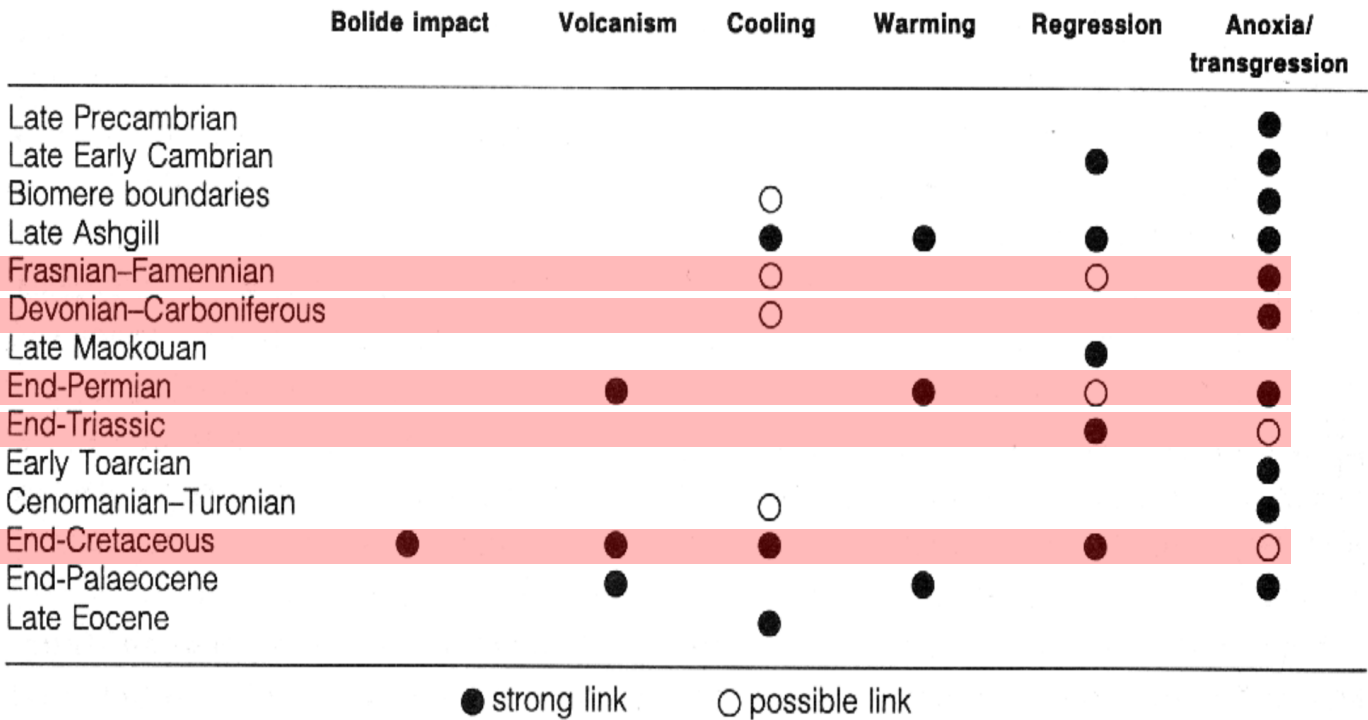
Pattern delle estinzioni di massa

4) Principio dell' *Omicidio sull'Orient Express*

- Causa singola o multipla?
- "Sospettare" sempre (come Hercule Poirot nel romanzo di Agatha Christie) che a causare l'estinzione sia stata NON una singola causa ma una serie di cause apparentemente indipendenti ma in realtà concatenate.



Big Five



In realtà, durante una estinzione di massa, i diversi organismi si estinguono non tanto per la sola causa scatenante ma da una serie di concause derivanti dal fattore scatenante.

Cause delle estinzioni di massa

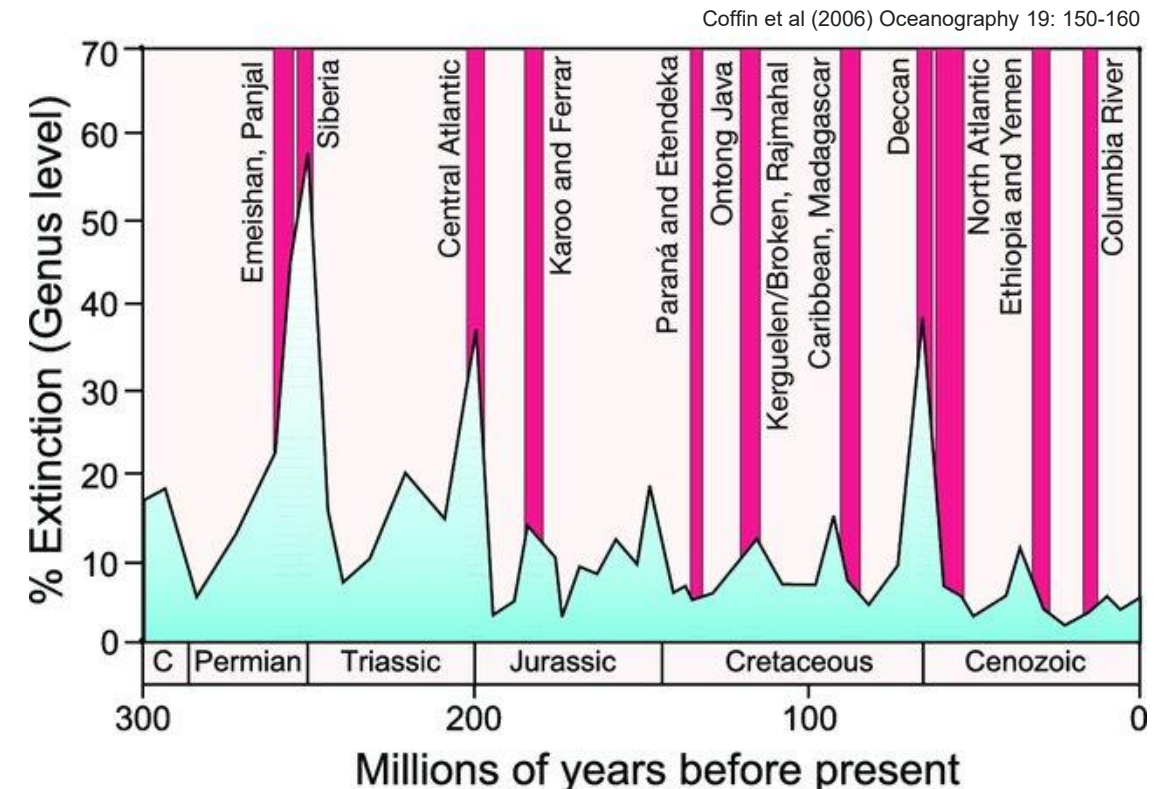
1) Vulcanismo

Osservazioni:

- Molte estinzioni sono avvenute in concomitanza di grandi eventi vulcanici evidenziati dalla presenza dei **trappi**, grandi formazioni rocciose formate da effusioni di basalto fuoriuscite nel corso di estese e prolungate eruzioni vulcaniche.



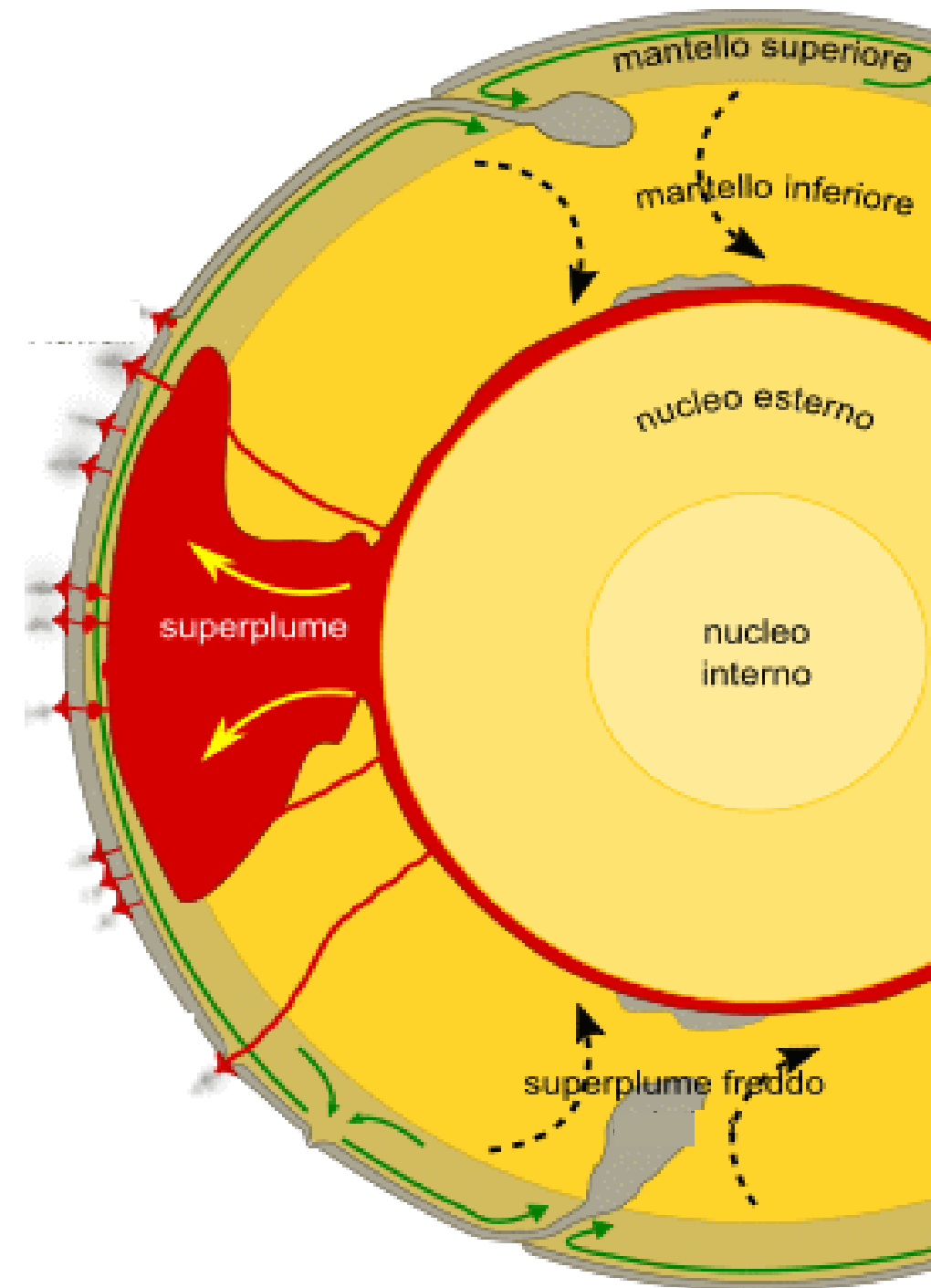
Il trappo cenozoico del Fiume Columbia (USA) in cui, grazie all'erosione del fiume, si notano le colate sovrapposte di basalto.



Cause delle estinzioni di massa

1) Vulcanismo

- Secondo la teoria del **Superplume** (Larson 1995) (letteralmente "superpennacchio") i trappi si formerebbero a seguito di enormi flussi di materiale fuso provenienti dal nucleo esterno, che avrebbero provocato fenomeni distensivi del mantello superiore e della crosta sovrastante, e quindi l'enorme attività vulcanica connessa.
- Un Superplume si formerebbe al limite fra nucleo e mantello e le correnti convettive forzerebbero il Superplume attraverso il mantello fino alla crosta.
- Superplumes possono verificarsi ovunque, sia in mezzo alla crosta oceanica che in mezzo alle placche continentali.



Cause delle estinzioni di massa

1) Vulcanismo

Meccanismi dell'estinzione

- Estrusione massiccia di anidride carbonica (CO_2) che provoca direttamente un gravissimo effetto serra, che a sua volta provoca il rilascio di metano (gas serra molto più potente) in un circolo vizioso.

Critiche:

- Trappi basaltici si formano anche con vulcanismo leggero, senza espulsione di materiali nell'alta atmosfera.
- Correlazione evento vulcanico / tempo estinzione non sempre buona.

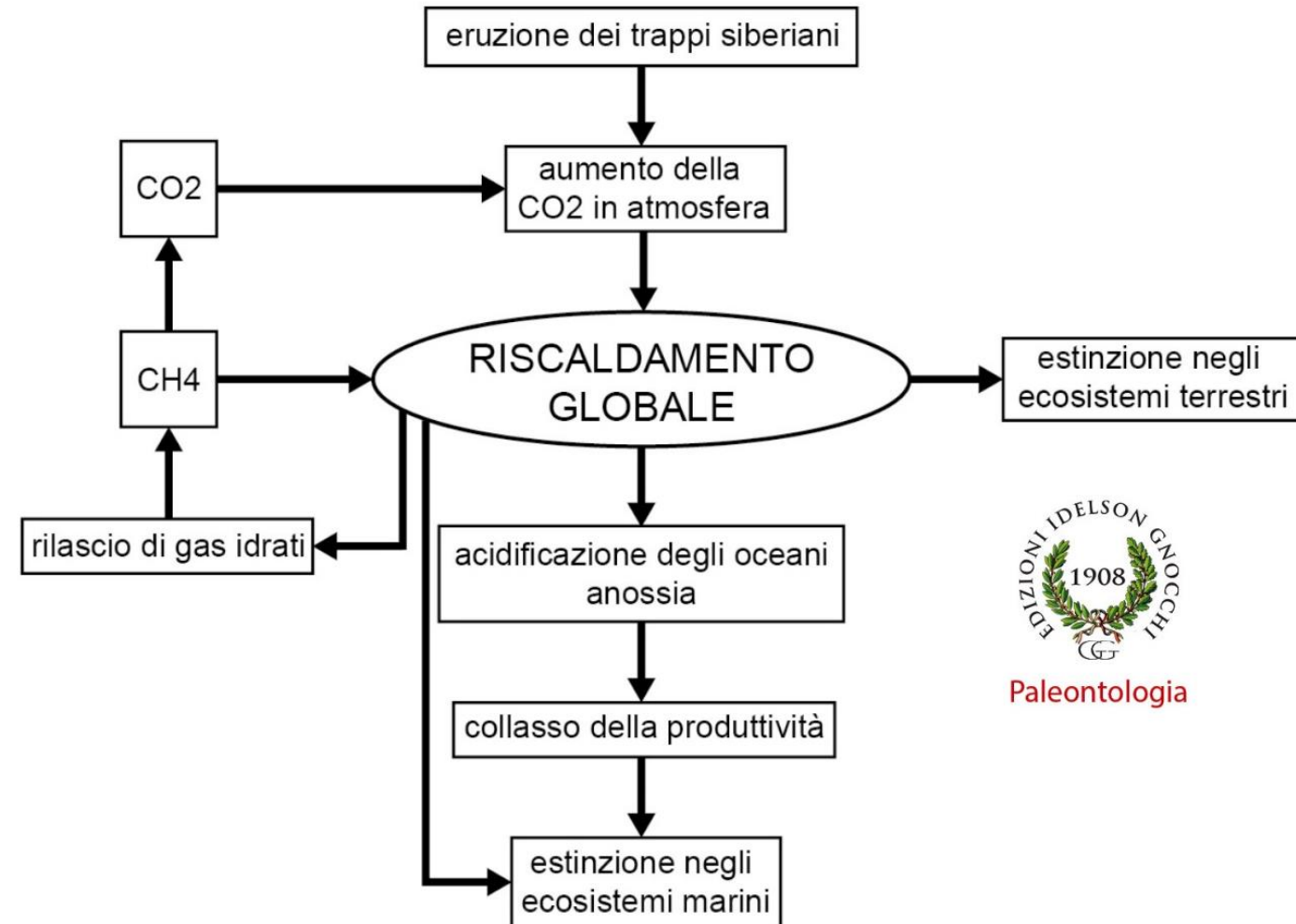


Figura 19.6. Ricostruzione della possibile catena di eventi avvenuta a seguito delle eruzioni basaltiche siberiane (trappi siberiani) alla fine del Permiano, circa 251 milioni di anni fa. Il riscaldamento globale causato dall'immissione di enormi quantità di gas serra ebbe effetti devastanti sulle comunità di organismi terrestri e, attraverso una consistente acidificazione degli oceani e una riduzione della circolazione oceanica, produsse eventi di locale anossia, il collasso della produttività primaria e una catastrofica estinzione negli oceani. Modificato da Benton & Harper (2009).

Cause delle estinzioni di massa

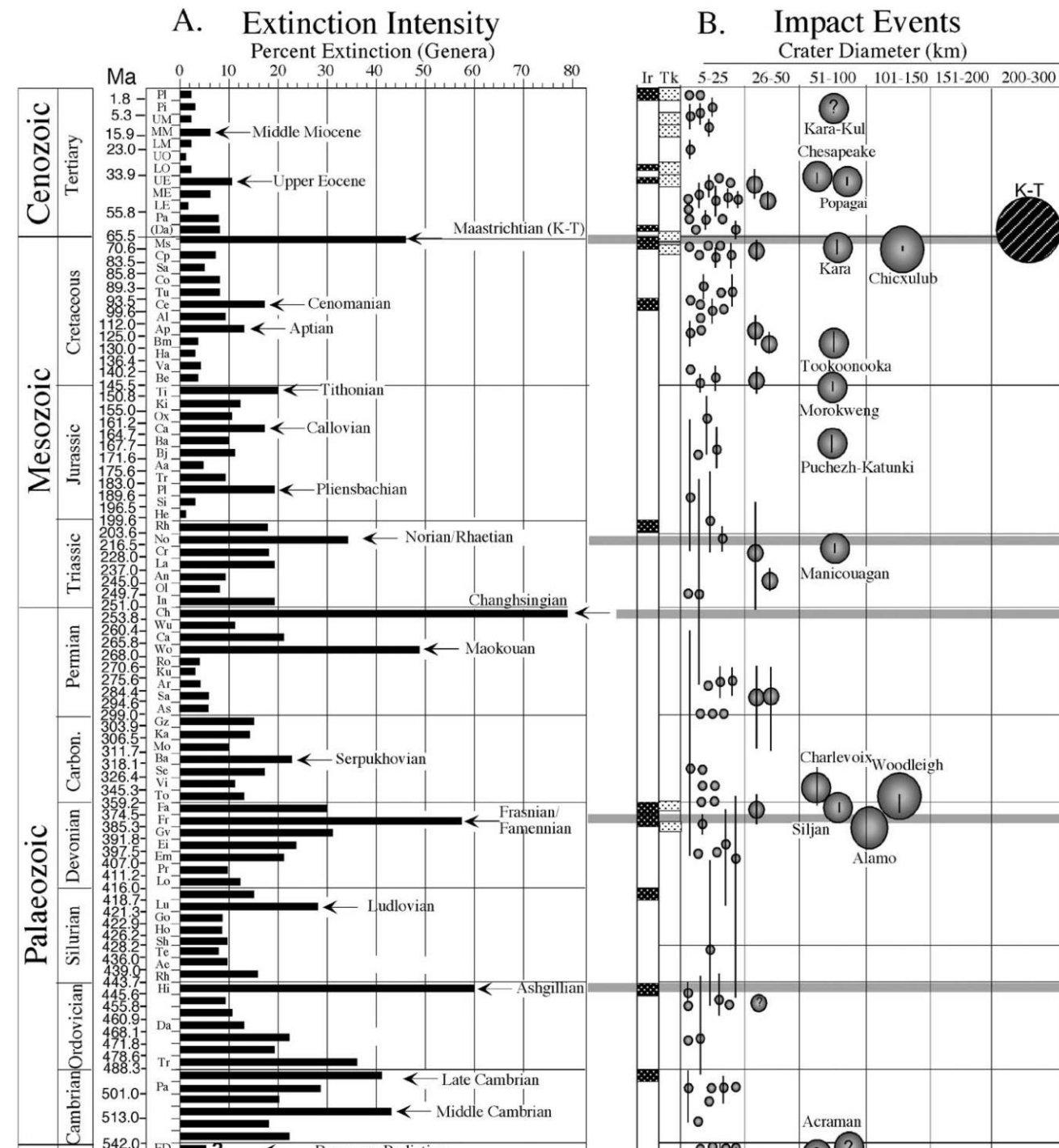
2) Impatto di asteroidi

Osservazioni:

- Crateri da impatto in concomitanza con alcune estinzioni



Il famoso Meteor Crater, Arizona, USA
1200 m di diametro, profondo 170 m, generato da un
asteroide di 46 m di diametro circa 49.000 anni fa



Cause delle estinzioni di massa

2) Impatto di asteroidi

Osservazioni:

- Elevate concentrazione di **iridio (Ir)** in alcuni livelli stratigrafici (ad es. i livelli sul limite Cretaceo-Paleogene (K-Pg) in concomitanza ad estinzioni di massa.
- L'iridio è un elemento chimico rarissimo sulla terra ma comune in asteroidi e comete.

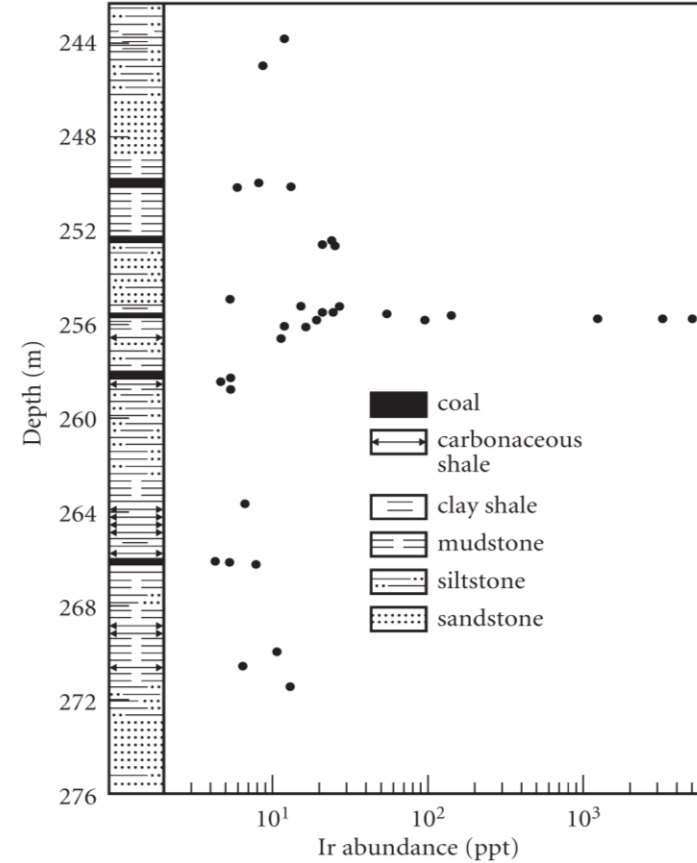


Figure 7.9 The iridium (Ir) spike and fern spike, as recorded in continental sediments in York Canyon, New Mexico. The Ir spike, measured in parts per trillion (ppt), an enhancement of 10,000 times normal background levels, is generally interpreted as evidence for a massive extraterrestrial impact. The fern spike indicates sudden loss of the angiosperm flora, and replacement by ferns. (Based on Orth et al. 1981.)

Cause delle estinzioni di massa

2) Impatto di asteroidi

Osservazioni:

- In prossimità dei livelli con picchi di iridio si osserva spesso il cosiddetto "**picco delle felci**" (misurato tramite il rapporto pollini di angiosperme/spore di felci), che indicherebbe un evento di deforestazione globale.

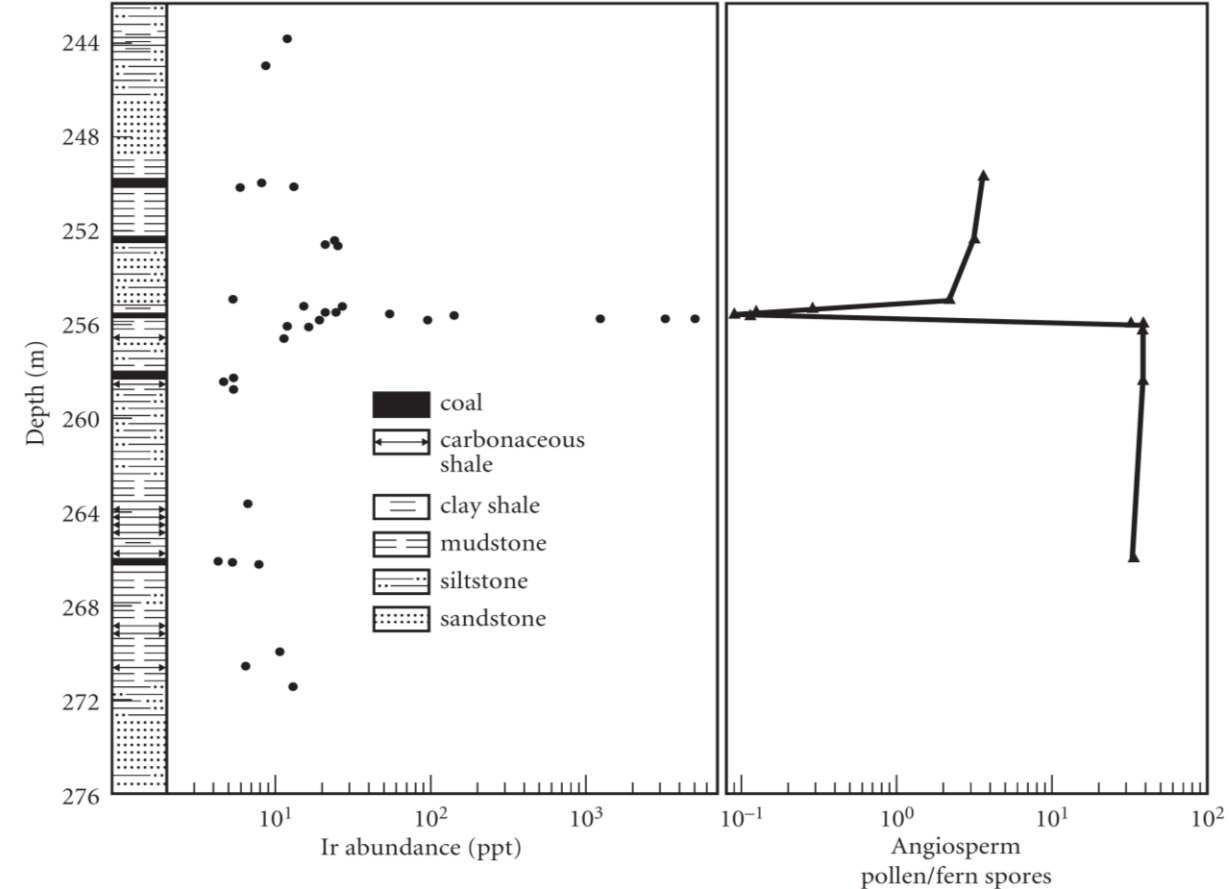


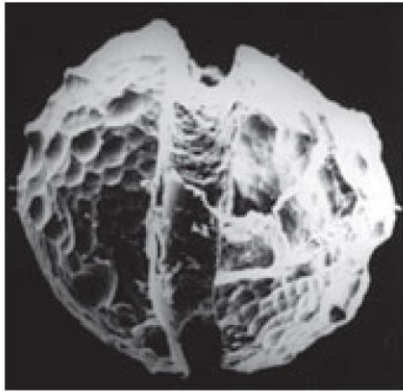
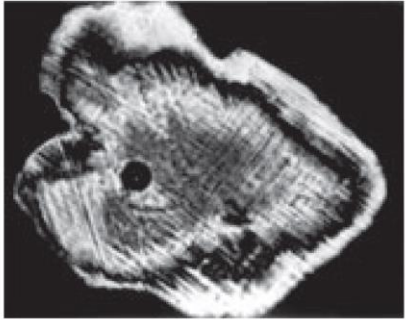
Figure 7.9 The iridium (Ir) spike and fern spike, as recorded in continental sediments in York Canyon, New Mexico. The Ir spike, measured in parts per trillion (ppt), an enhancement of 10,000 times normal background levels, is generally interpreted as evidence for a massive extraterrestrial impact. The fern spike indicates sudden loss of the angiosperm flora, and replacement by ferns. (Based on Orth et al. 1981.)

- Questo perchè le felci sono piante pioniere, tra le prime ad apparire dopo una deforestazione.
- Le felci oltre a resistere a condizioni di poca luce, si diffondono molto bene sulle cineriti fresche causate da eruzioni esplosive.

Cause delle estinzioni di massa

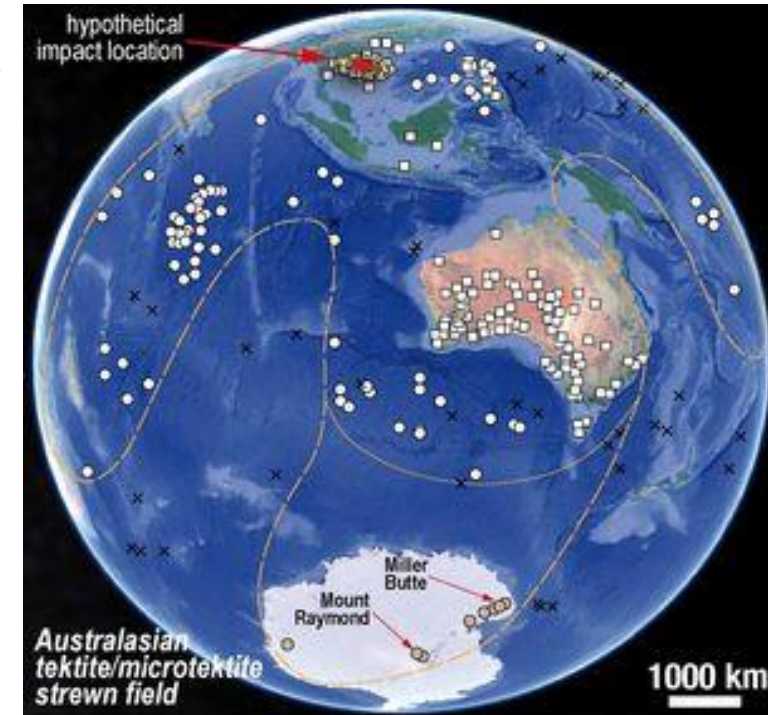
2) Impatto di asteroidi

Osservazioni:



- **Shistovite:** quarzo metamorfosato (modificato nella struttura) a causa delle elevate pressioni a seguito dell'impatto che si ritrova nelle immediate vicinanze del cratere.

- **Microtectiti:** goccioline vetrose di dimensioni millimetriche prodotte dalla fusione delle rocce durante un impatto, a seguito del quale possono essere disperse a scala continentale.



**IL
MECCANISMO**

Impatto di asteroidi



**Milioni di tonnellate di polveri e gas (H_2SO_4)
si disperdono nell'atmosfera**



**Brusco calo della luce e delle
temperature ("inverno nucleare")**



Le piante non fanno più fotosintesi



**Collasso intera catena trofica
in ambienti terrestri**

Piogge acide



**Inquinamento e
acidificazione degli oceani**



**Collasso dell'intera
catena trofica marina**

Cause delle estinzioni di massa

2) Impatto di asteroidi



Critiche:

- non tutti i grandi crateri sono associati ad estinzioni
- concentrazioni di iridio e quarzi metamorfosati possono avere altre origini (es. dal mantello).
- un qualsiasi corpo extraterrestre non sarebbe capace da solo di provocare una estinzione di massa, o di essere stato la causa di un'estinzione specifica.

Cause delle estinzioni di massa

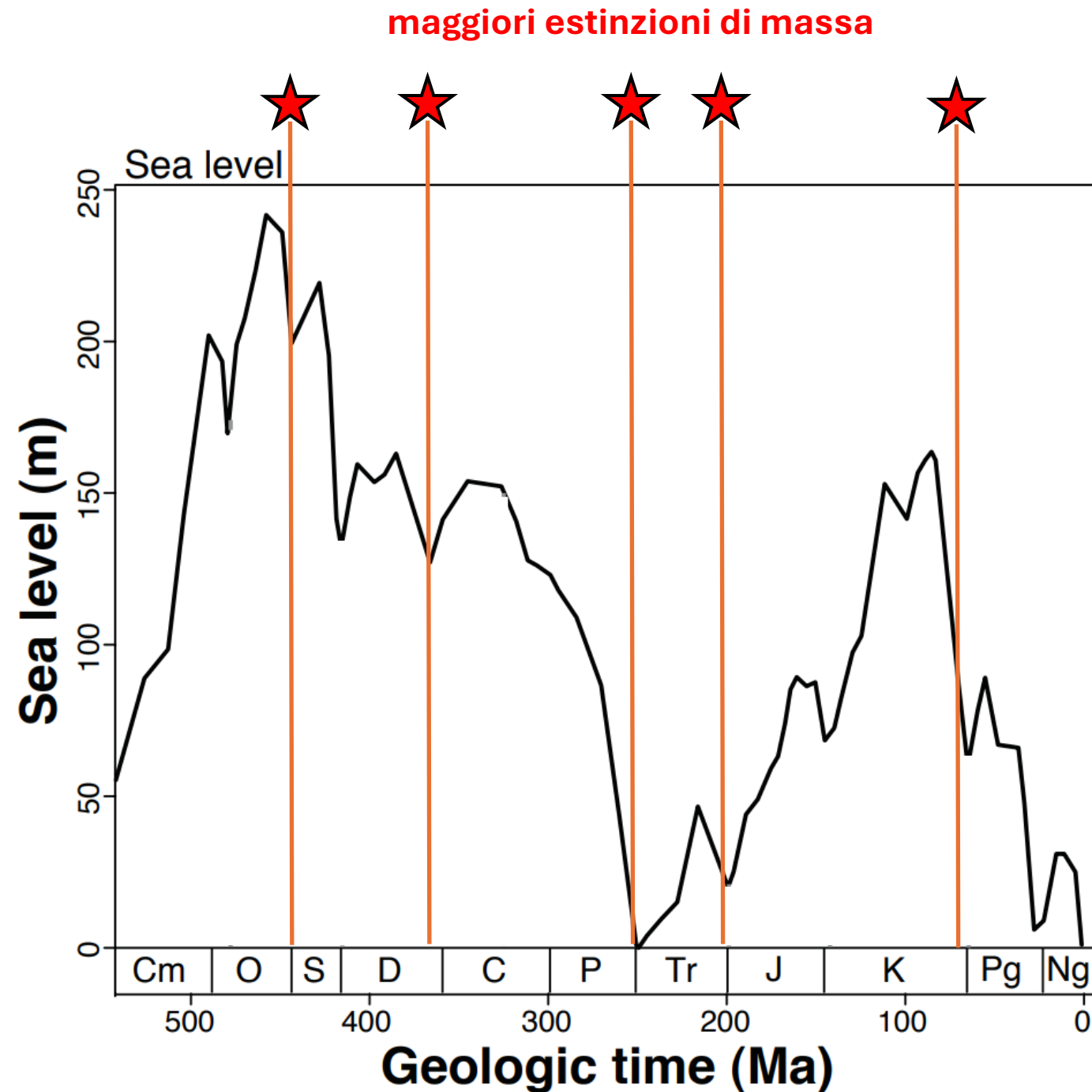
3) Oscillazioni del livello del mare

Osservazioni:

- tutte le estinzioni di massa sono associate a oscillazioni eustatiche, in particolare ad abbassamenti del livello marino (regressioni).

Cause:

- formazione dei ghiacci dovuti ad abbassamento delle temperature (oscillazione assoluta).
- movimenti tettonici che localmente o estensivamente provocano innalzamento della crosta oceanica o continentale (oscillazione relativa).



Cause delle estinzioni di massa

3) Oscillazioni del livello del mare

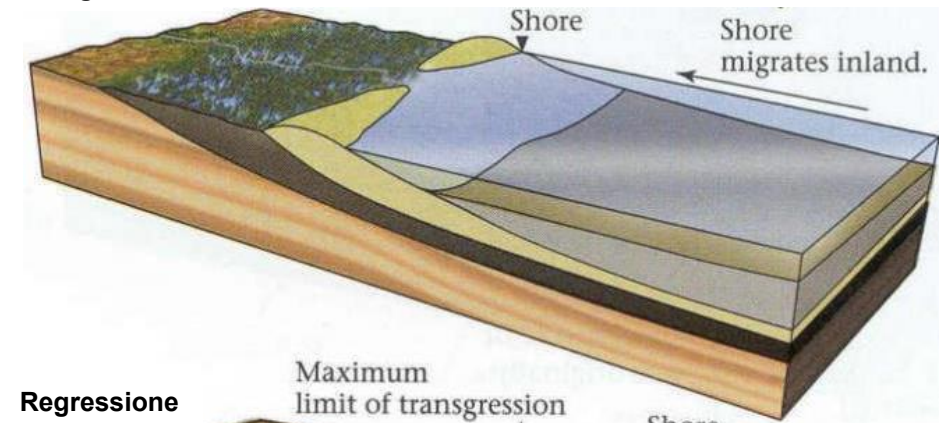
Meccanismi:

- Durante le regressioni marine avviene una riduzione dell'habitat degli organismi marini, che va ad influenzare la composizione e abbondanza di specie.
- La chiusura di collegamenti marini a seguito di movimenti tettonici può causare l'evaporazione dei bacini, portando alla riduzione/scomparsa di intere bioprovincie.

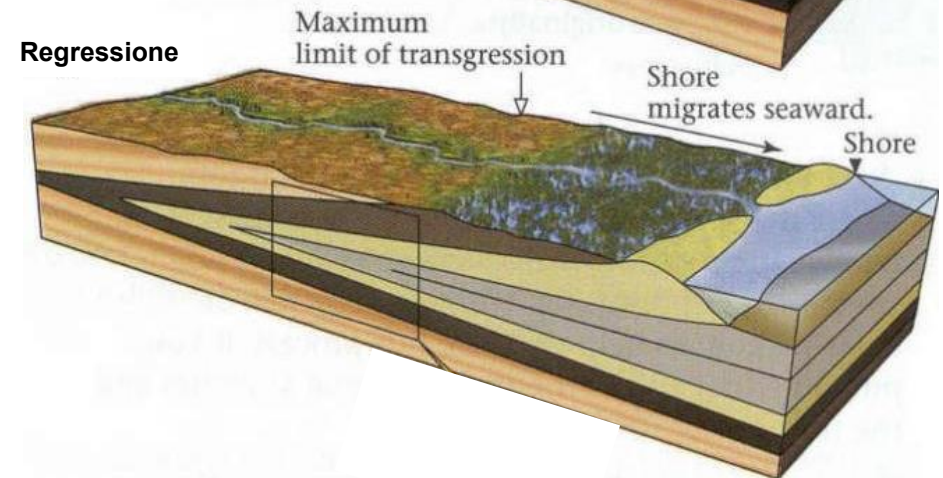
L'Europa durante la Crisi di Salinità Messiniana (6-5 Ma)



Trasgressione



Regressione



Critiche:

- In passato sono avvenute anche oscillazioni senza estinzioni.
- Le estinzioni non corrispondono sempre e necessariamente con il massimo delle regressioni, quanto invece con le prime fasi delle trasgressioni e con le fasi anossiche ad esse associate.
- Incompletezza del record fossile dopo le regressioni potrebbe simulare delle estinzioni.

Cause delle estinzioni di massa

4) Cambiamenti climatici

Osservazioni:

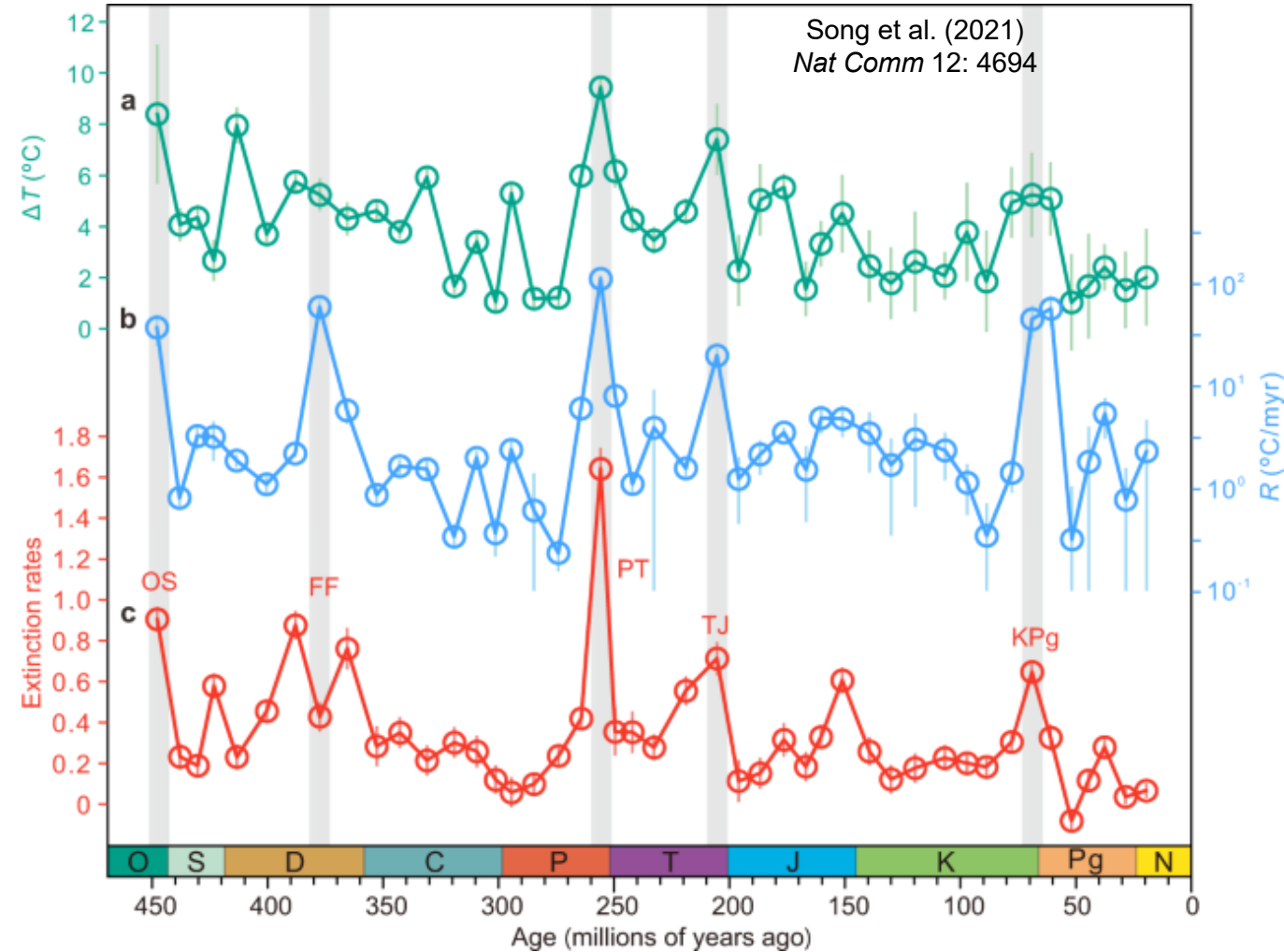
- Tutte le estinzioni di massa sono associate a forti variazioni di temperatura che possono essere rilevate misurando gli isotopi di alcuni elementi (es. Sr, O, C)

Cause:

- tutti gli eventi visti in precedenza, che causerebbero **effetti serra o glaciazioni**.

Meccanismi:

- La temperatura è un controllo importante sulla distribuzione geografica delle specie.
- Se i cambiamenti sono lenti, gli organismi normalmente si adattano alla variazione o migrano.
- Cambiamenti globali rapidi provocano invece la scomparsa di intere fasce climatiche: l'estinzione è potenzialmente molto grande ed ecologicamente molto incisiva.



Cause delle estinzioni di massa

5) Cambiamenti climatici

Effetti:

- Dal momento che gli organismi tropicali hanno il grado di biodiversità maggiore e si sono adattati ad un clima più stabile, le estinzioni maggiori avvengono a livello dei tropici, rispetto alle fasce subtropicali e temperate.

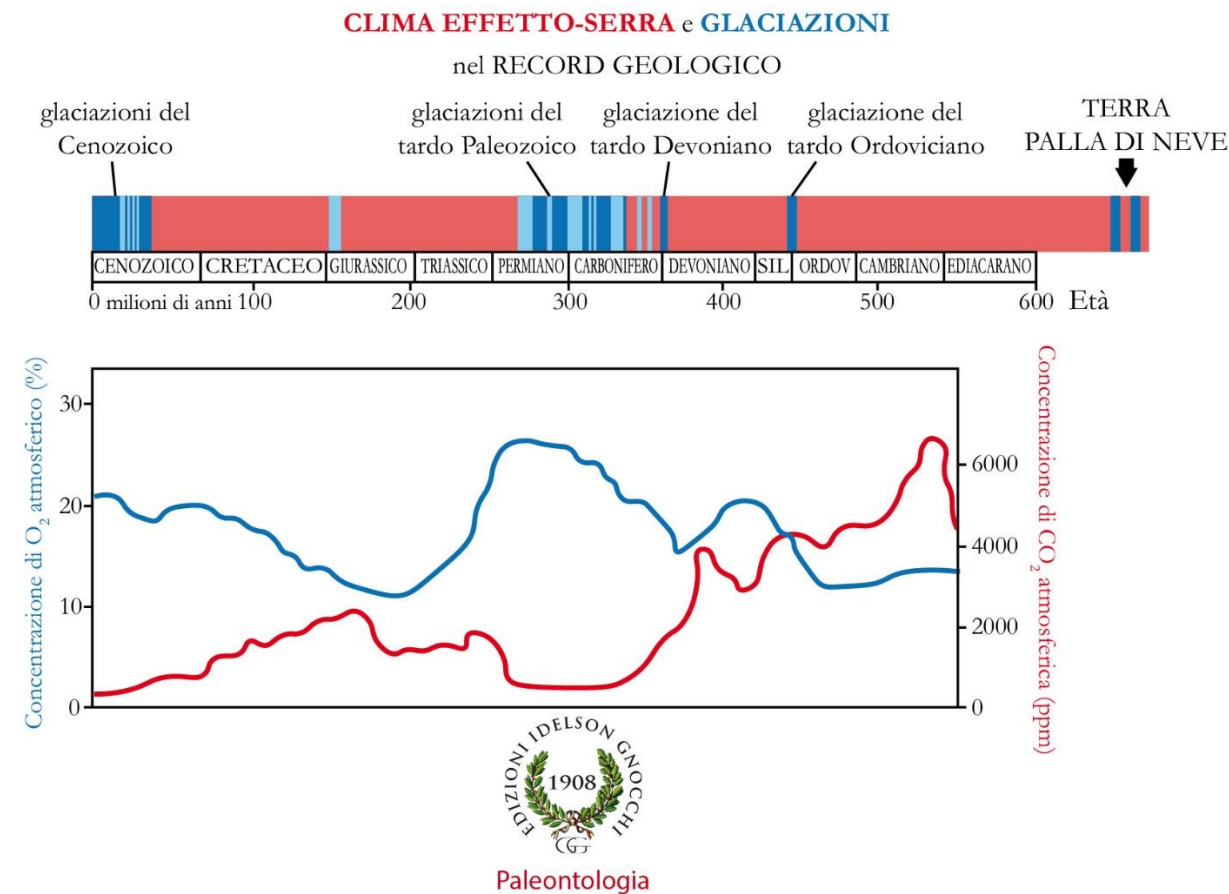


Figura 23.5. Intervalli caratterizzati da clima Effetto Serra e Glaciazioni globali negli ultimi 700 Ma. Nella parte inferiore sono riportate le variazioni di concentrazione di CO₂ e O₂ nell'atmosfera.

Critiche:

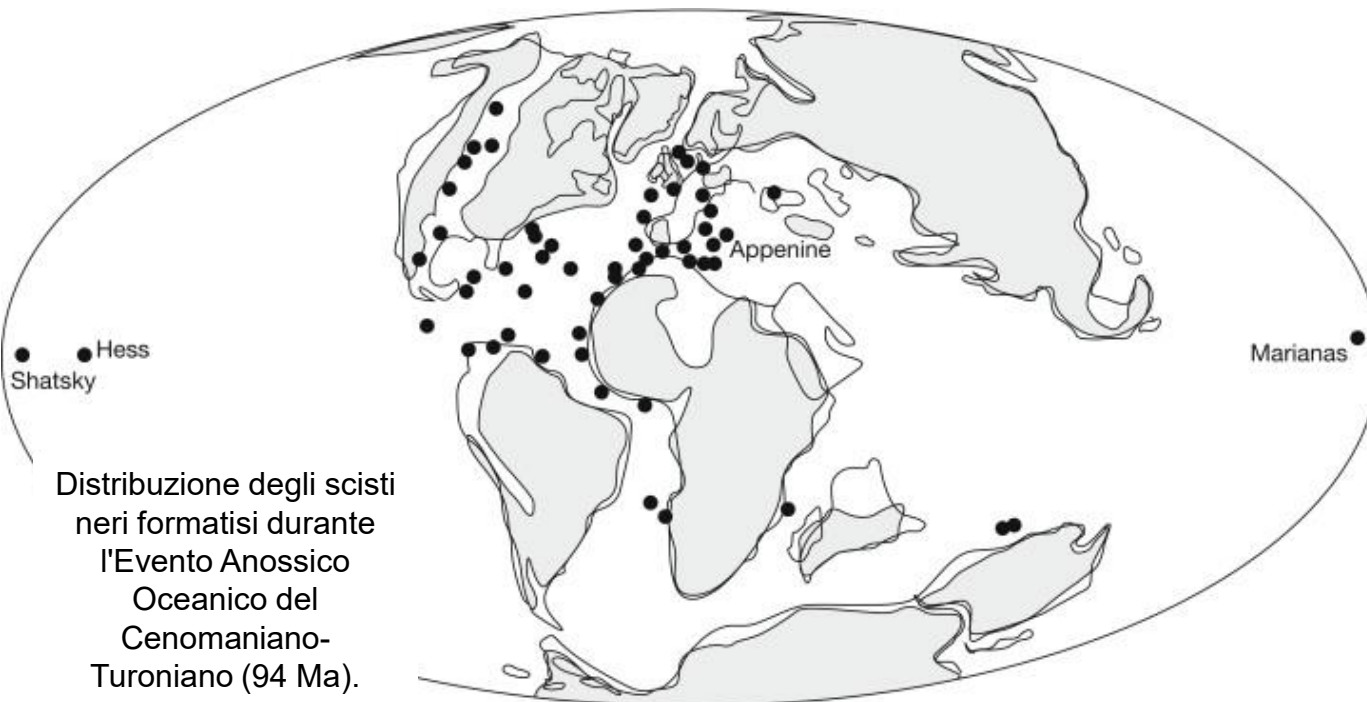
- Non sempre ad un cambiamento climatico corrisponde un'estinzione.
- L'aumento di temperatura non è generalmente ritenuto causa di grandi estinzioni.

Cause delle estinzioni di massa

6) Anossia

Osservazioni:

- In corrispondenza dei livelli associati alle estinzioni di massa e ad alcuni eventi minori, si ritrovano spesso a livello globale sedimenti marini chiamati **scisti neri (o black shales)**, di colore scuro perchè ricchi in carbonio che deriva dalla presenza di grande quantità di materia organica.

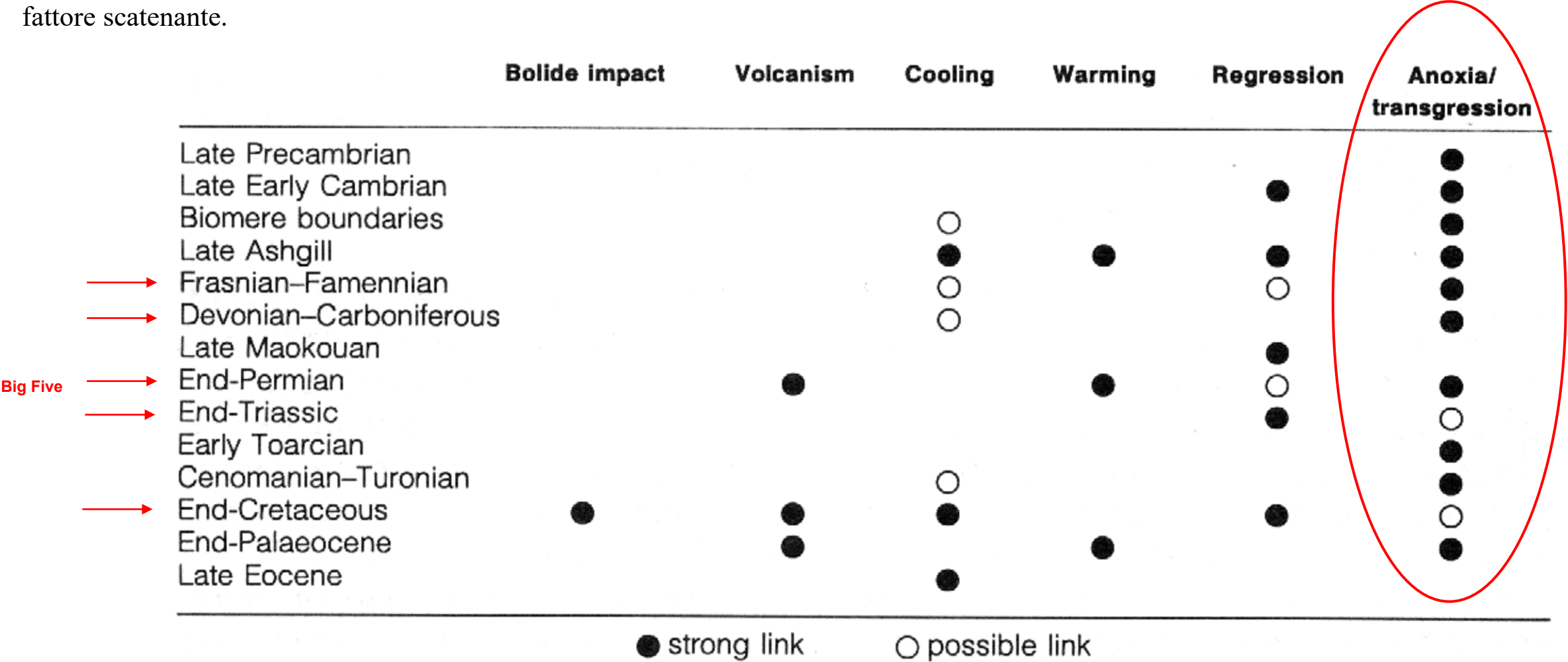


- Gli scisti neri sono rocce che si formano in **bacini marini anossici** quando la materia organica non decomposta viene sedimentata insieme alle particelle di sedimenti.
- La presenza di questi livelli dello stesso periodo a scala globale indicherebbe dunque che **l'anossia delle acque ha interessato l'intero globo in un dato momento.**

Cause delle estinzioni di massa

6) Anossia

- Eventi di anossia globali sono associati a quasi tutte le estinzioni, sebbene nella maggior parte dei casi essa è stata una delle concause, e non il fattore scatenante.



Cause delle estinzioni di massa

6) Anossia

Cause e meccanismi:

- **Riscaldamento globale:** dal momento che la solubilità dell'ossigeno disciolto è inversamente proporzionale alla temperatura, all'aumentare di essa la concentrazione di ossigeno diminuisce, arrivando ad assumere i valori (<1 mg/L), incompatibili con la vita acquatica.
- **Proliferazione foreste** (es. estinzione devoniana): a seguito della proliferazione delle foreste nel Carbonifero, la grande quantità di materia organica in decomposizione portata dai fiumi nei bacini marini avrebbe provocato un enorme aumento della proliferazione batterica. I batteri avrebbero consumato l'ossigeno disciolto in acqua, provocandone l'anossia.
- **Trasgressioni marine ed eventi tettonici** che causano, rispettivamente, stratificazione delle acque e arresto della circolazione oceanica. In entrambi i casi, l'assenza di circolazione sui fondali marini provoca la stagnazione delle acque. La decomposizione della materia organica al fondo, in assenza di ricircolo, avrebbe così provocato anossia.



Critiche

- Sebbene l'anossia può essere causa di morte in contesti locali, è discutibile che una fase anossica si sia potuta verificare a scala globale.
- Difficile che un evento di anossia abbia interessato contemporaneamente gli ecosistemi terrestri e quelli marini.

5.2 The Big Five

Qualche minuto
di pausa...

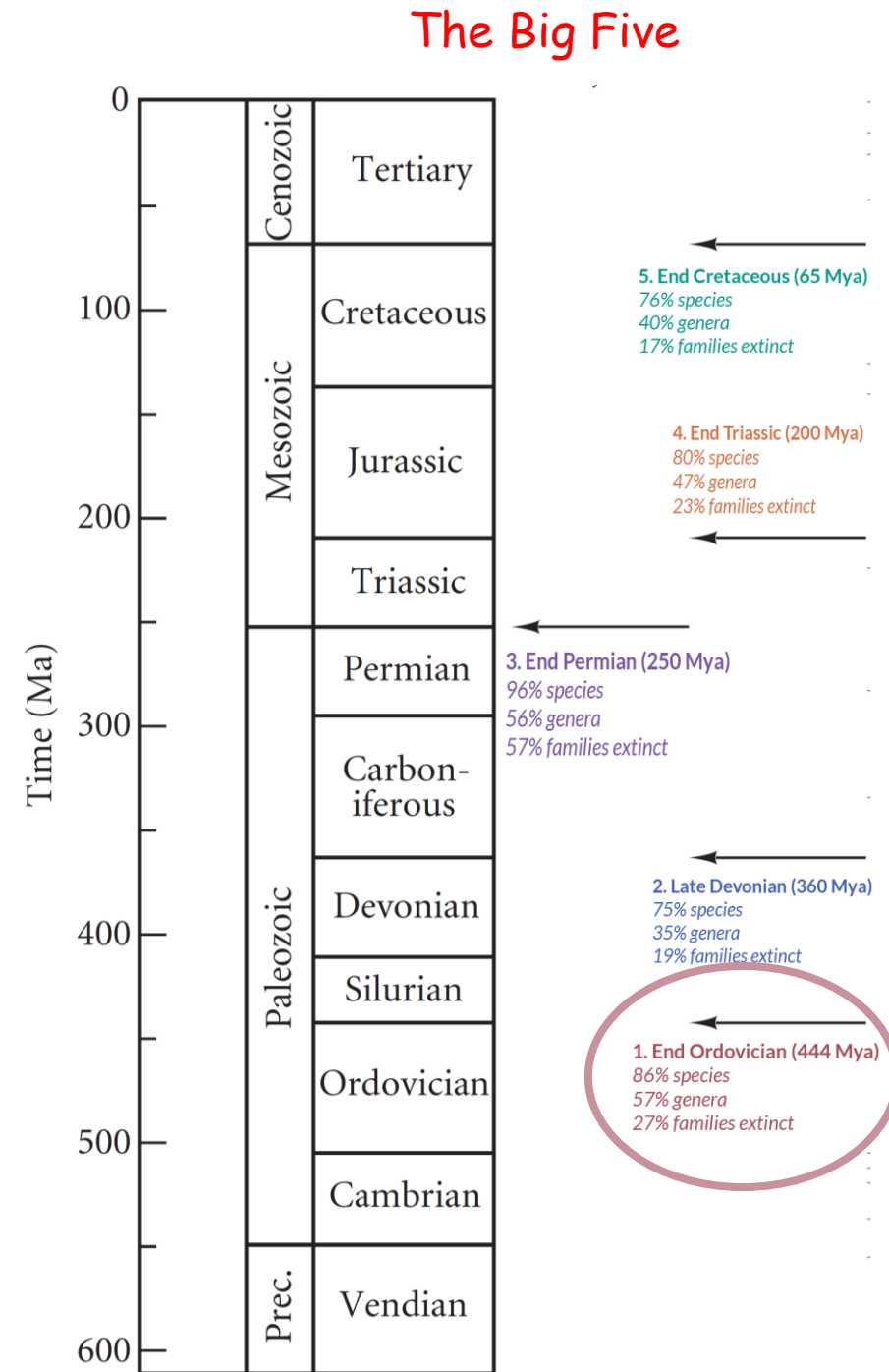
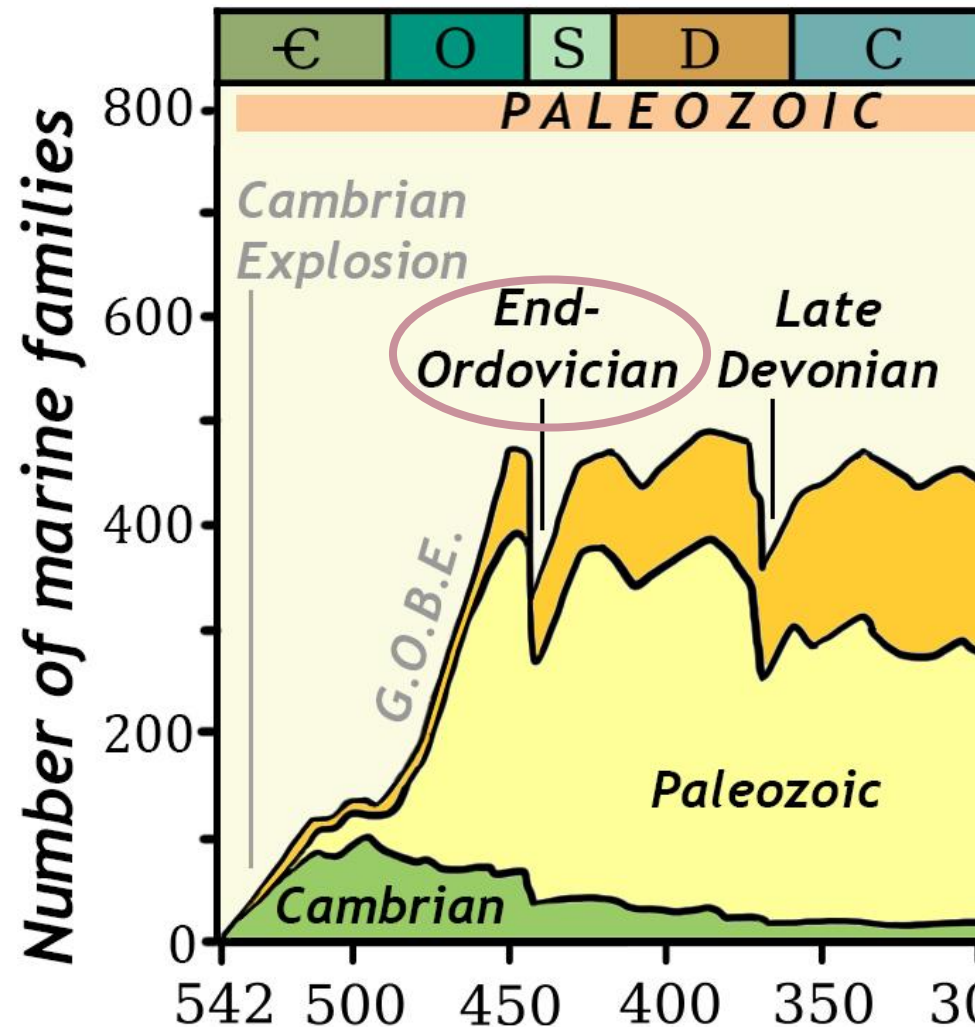


1) Estinzione Ordovicianiana (~445 Ma)

La prima grande estinzione di massa della Storia della Vita (la seconda per magnitudo dopo quella di fine Permiano) avvenne verso la fine dell'Ordoviciano Superiore.

Portata dell'estinzione:

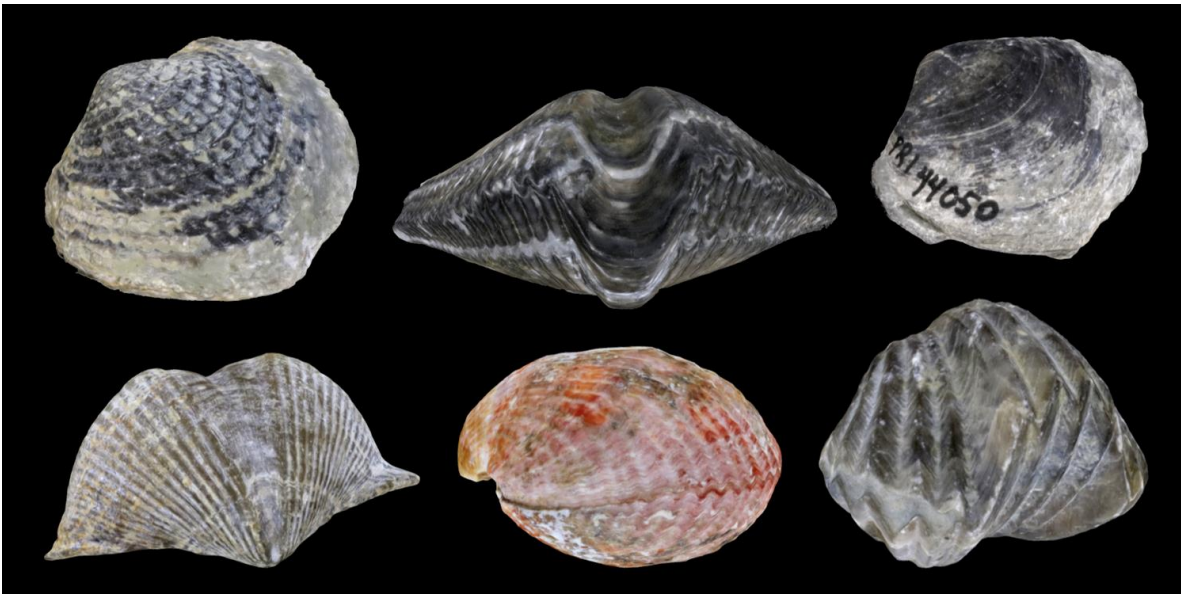
- 86% delle specie marine
 - 57% dei generi marine
 - 27% delle famiglie marine
- (la vita complessa era ancora confinata in mare)



1) Estinzione Ordovicianiana (~445 Ma)

Portata dell'estinzione:

- **Gruppi più colpiti:**
- trilobiti (75% delle specie)
- crinoidi (70%)
- brachiopodi (25%),
- echinoidi, ostracodi, bivalvi, briozoi, coralli.



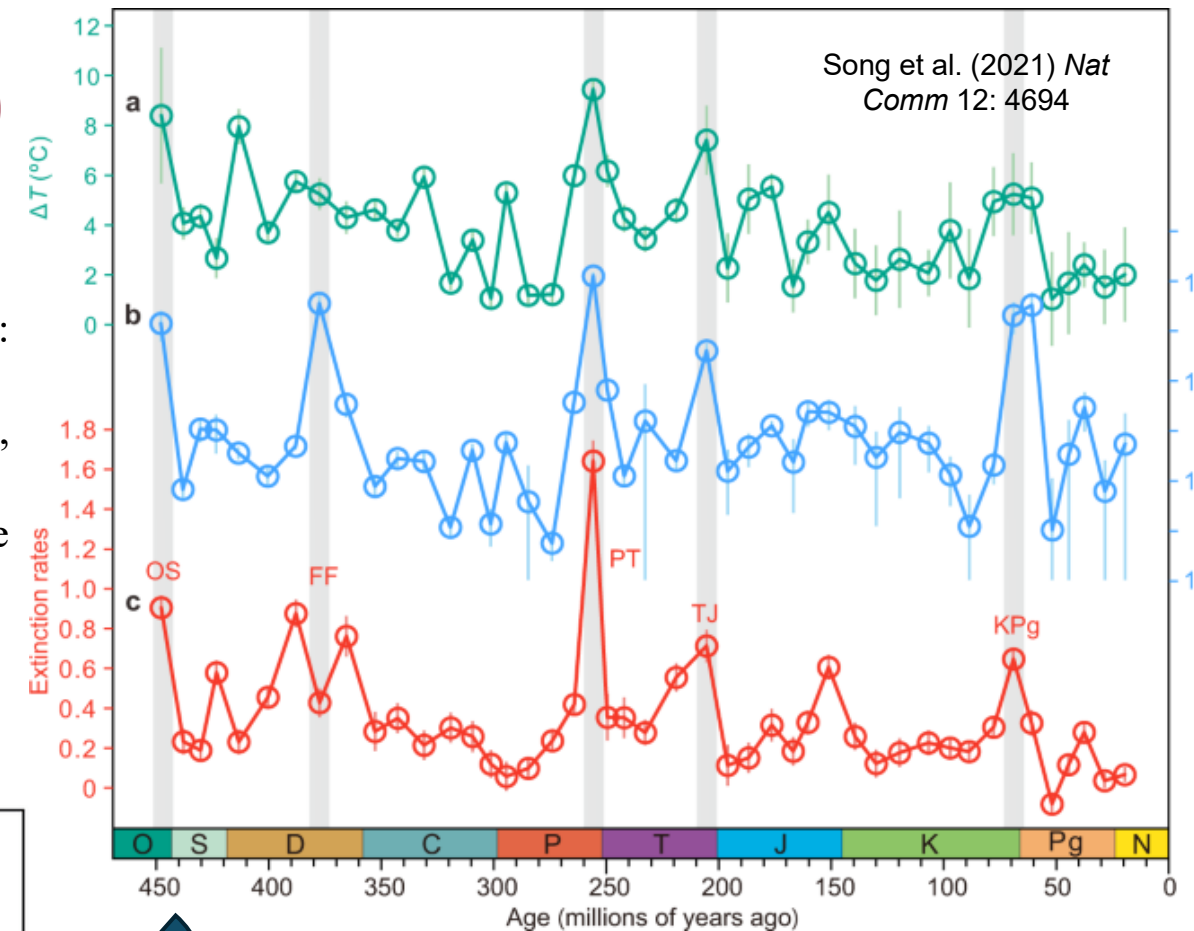
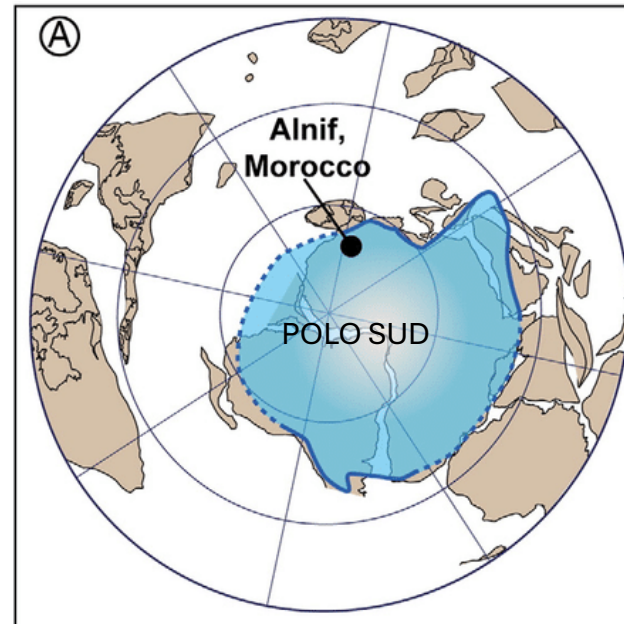
1) Estinzione Ordovicianiana (~445 Ma)

Causa:

Glaciazione che avrebbe coinvolto l'Africa Gondwaniana e il Sud America:

la formazione di grandi calotte glaciali, con la sottrazione di acque marine, avrebbe provocato l'abbassamento del livello del mare (regressione) e stagnazione delle acque marine anche profonde, causando quindi:

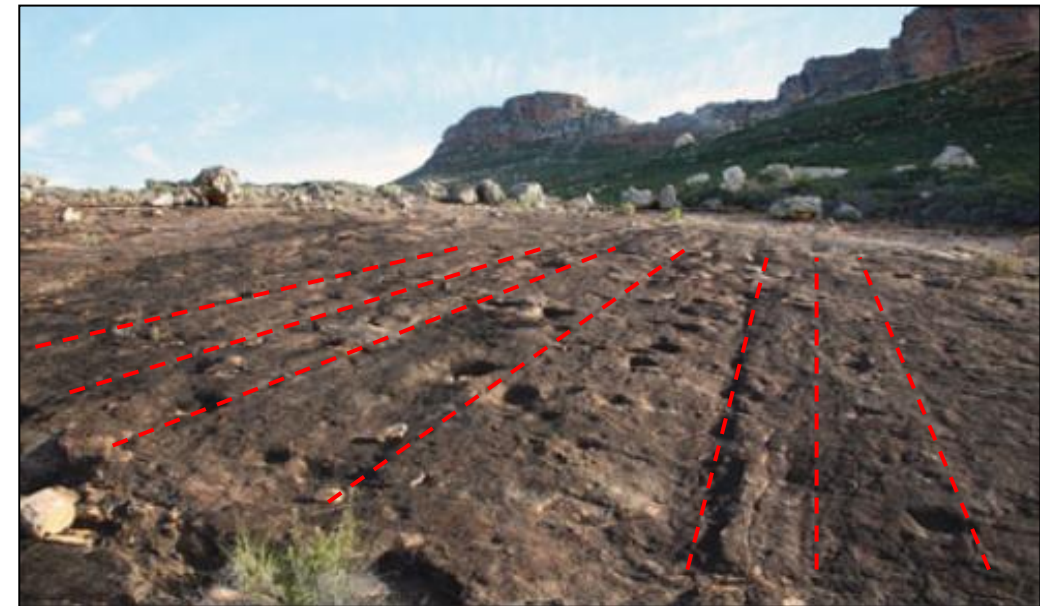
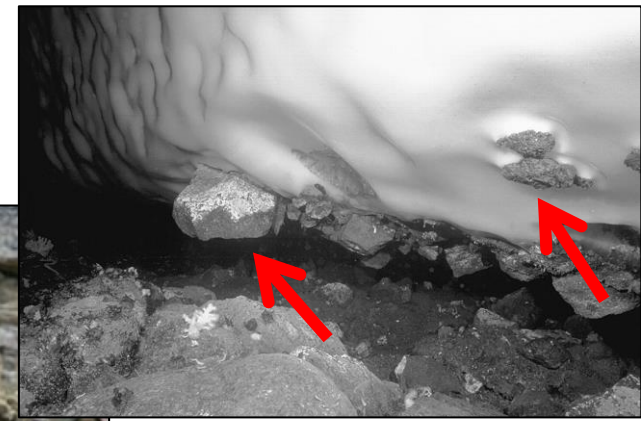
- accumulo di sostanze nutritive e tossiche (eutrofizzazione)
- anossia
- riduzione habitat



1) Estinzione Ordovicianiana (~445 Ma)

Evidenze della glaciazione

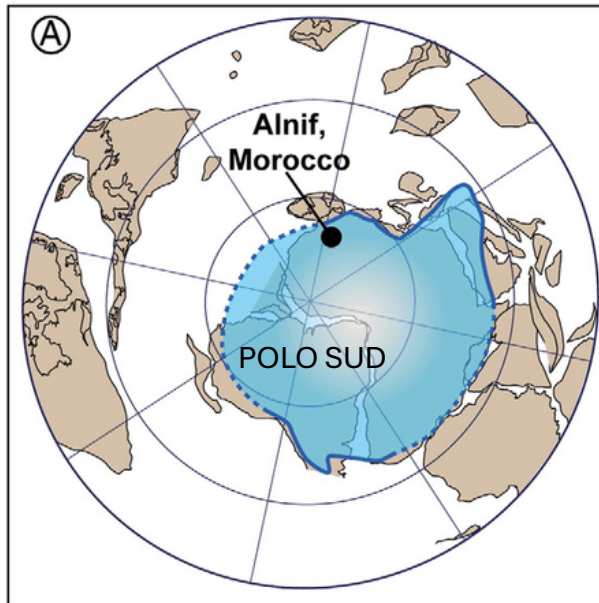
- In diverse località del mondo (es. Sud Africa) si rinvencono depositi di **tilliti**, strati finemente laminati (1 mm) che si sono formati per la precipitazione di particelle fini derivate dallo scioglimento di ghiacciai e iceberg, oltre a depositi morenici (particelle grossolane depositate dai ghiacciai stessi).
- Le prove della presenza di iceberg che migravano sopra l'ambiente marino di deposizione sono le cosiddette **dropstones**, rocce trasportate dagli iceberg che al loro scioglimento cadevano sul fondale.
- Altra prova è la presenza di **strie glaciali**, scanalature longitudinali e parallele dovute all'abrasione provocata dallo scorrimento di ghiacciai.



1) Estinzione Ordovicianiana (~445 Ma)

Causa della glaciazione ? Diverse ipotesi discordanti

A. Bombardamento di raggi gamma provenienti dall'esplosione di una supernova distante anni luce dalla Terra che avrebbe causato la distruzione dello strato di ozono con conseguenze dirette sugli organismi e reazioni chimiche in atmosfera con produzione di smog che avrebbe bloccato la radiazione solare (ipotesi difficile da dimostrare per la mancanza di prove dirette dell'esplosione di una supernova 445 Ma fa).



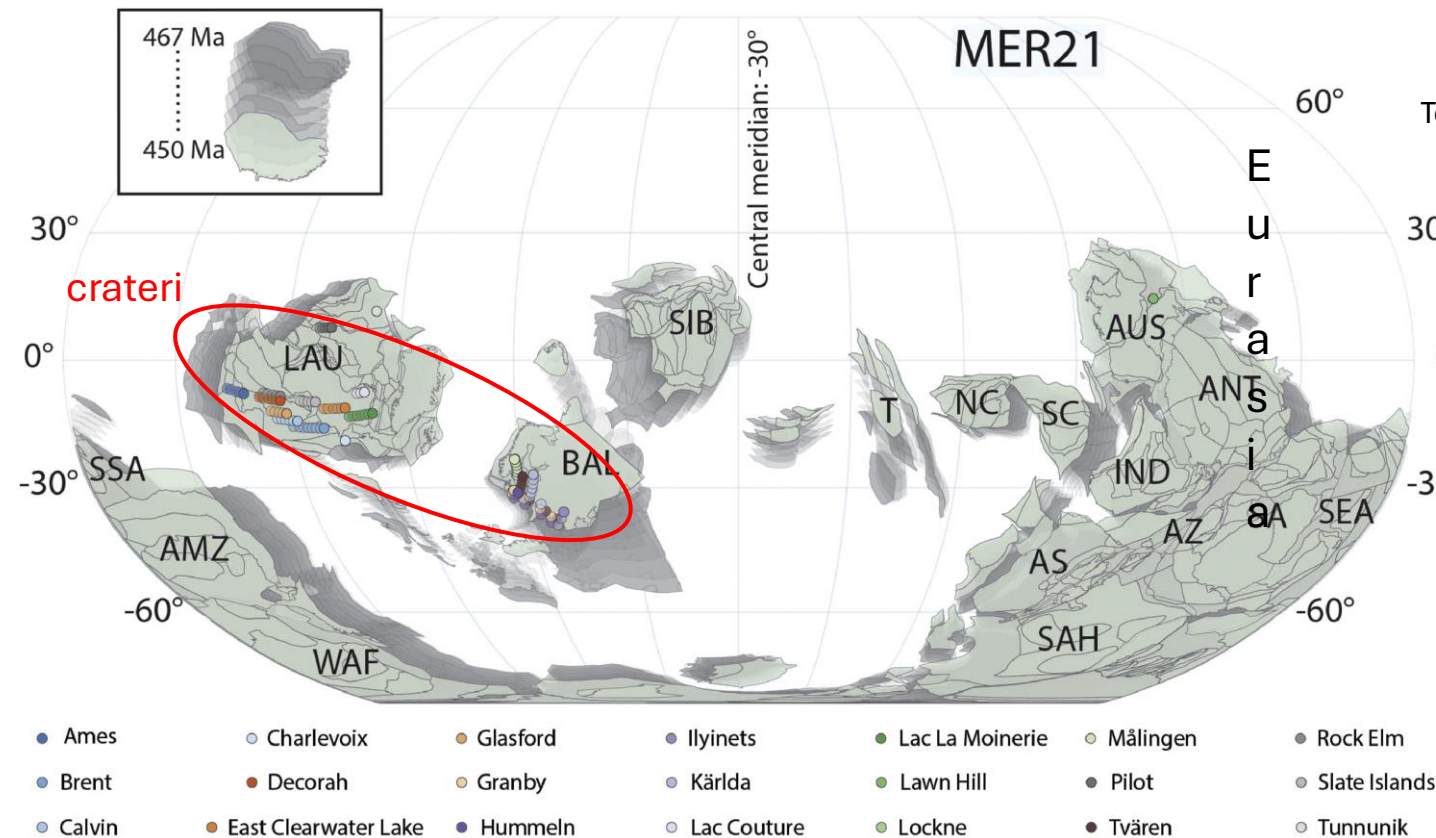
B. Deriva dei continenti che avrebbe causato lo spostamento di ricchi ecosistemi equatoriali verso il Polo Sud più freddo. Gli organismi adattati ad un clima stabile caldo non sarebbero riusciti ad adattarsi alle nuove condizioni ambientali.

1) Estinzione Ordovicianiana (~445 Ma)

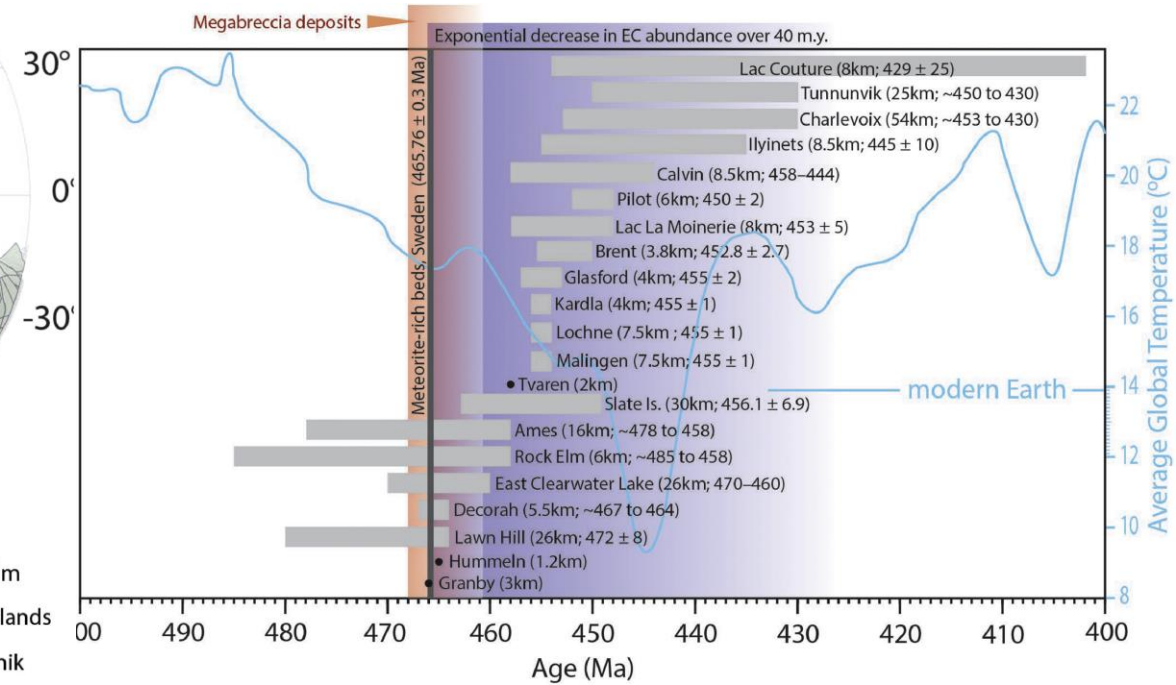
Causa della glaciazione ? Diverse ipotesi discordanti

C. Bombardamento da asteroidi.

- Un recente studio ha rilevato 21 crateri da impatto di asteroidi aventi distribuzione non casuale prodottisi in un periodo di appena 17 milioni di anni.
- La loro distribuzione nel tempo coincide con il calo delle temperature.

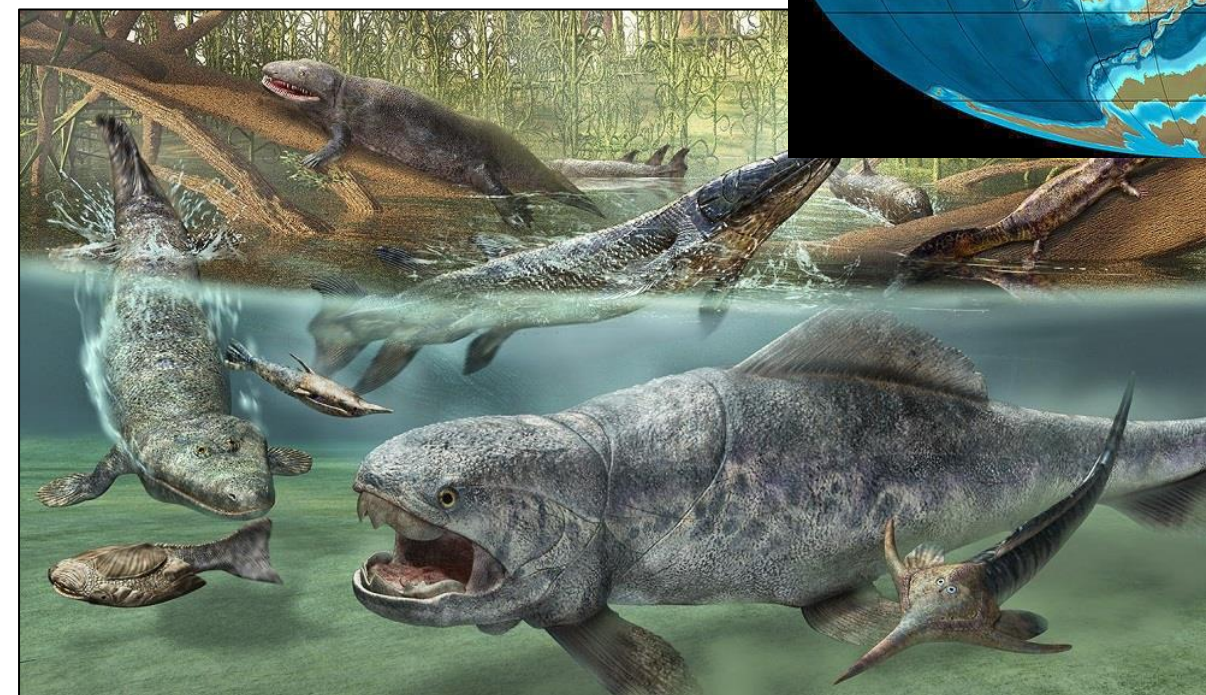
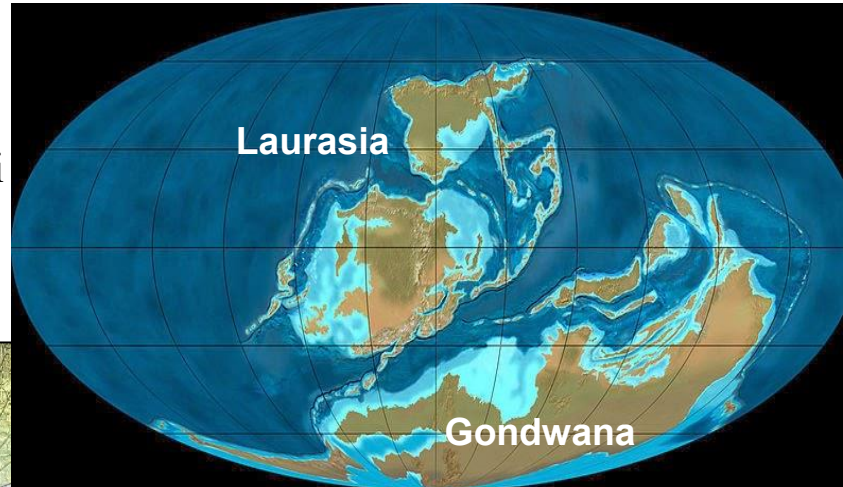


Tomkins et al (2024) Earth Plan. Sci. Lett. 646: 118991

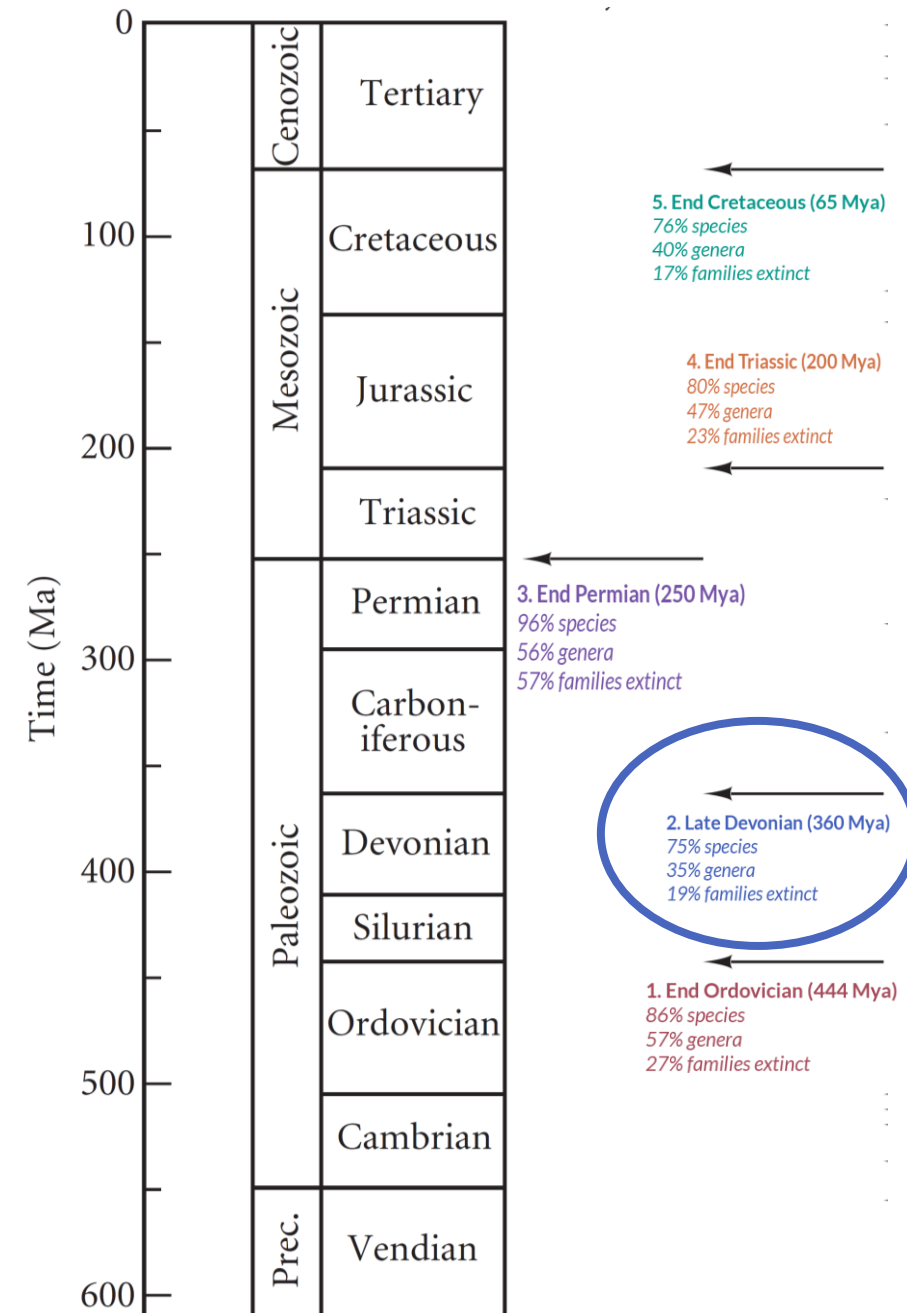


2) Estinzione Devoniana (~360 Ma)

- Laurasia e Gondwana nel Devoniano Sup. sono prossimi alla formazione della Pangea.
- Sono già presenti nelle terre emerse piante, insetti e i primi tetrapodi.
- E' l'età dei pesci: si originano tutti i maggiori gruppi attuali oltre ad altri cladi che successivamente si estingueranno.



The Big Five



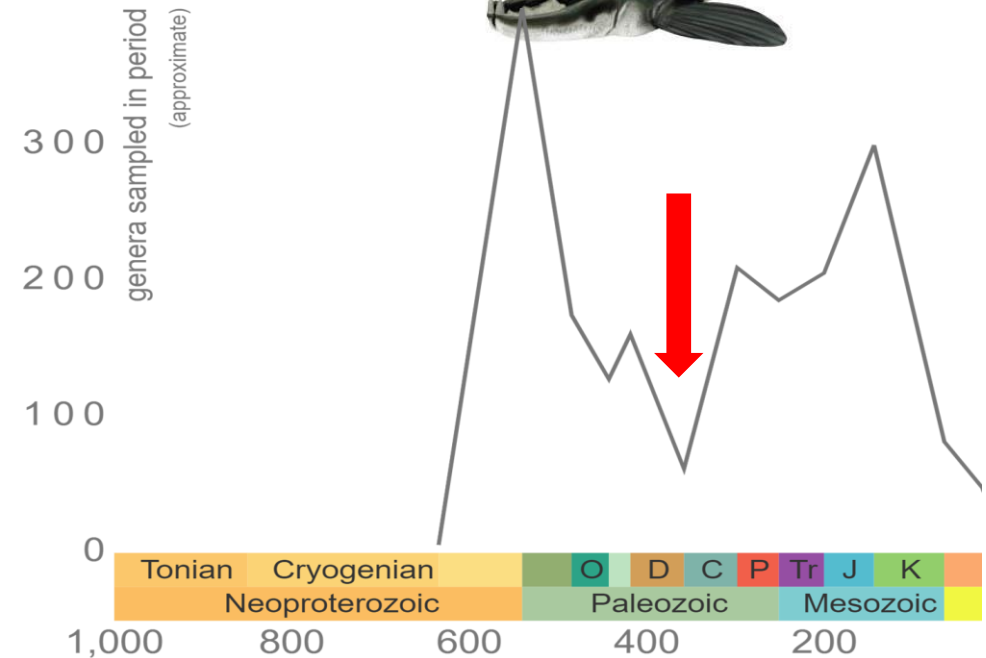
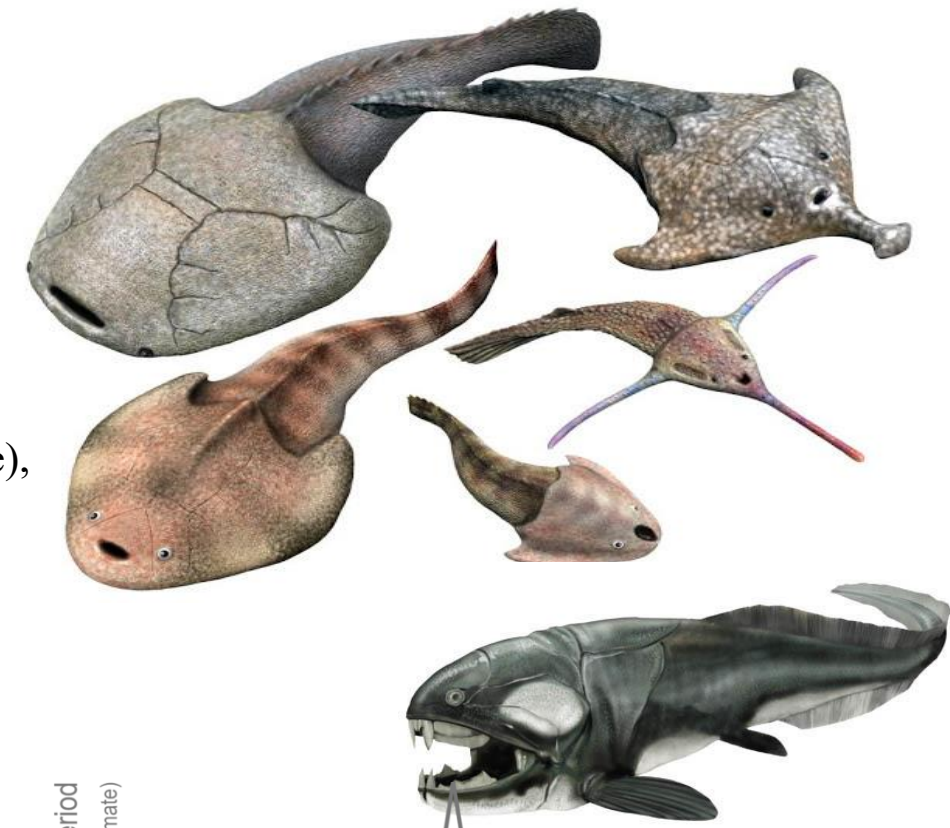
2) Estinzione Devoniana (~360 Ma)

Portata dell'estinzione:

- 75% delle specie, 35% dei generi, e 19% delle famiglie (quasi esclusivamente marine).
- **Gruppi estinti:** spugne stromatoporoidi; tutti i pesci agnati (eccetto missine e lamprede), pesci placodermi, graptoliti paleozoici (Hemichordata), cistoidi (Echinodermata).
- **Organismi più colpiti:** i costruttori di scogliere (coralli Tabulata e Rugosa); numerosi gruppi di brachiopodi, trilobiti, e ammoniti.



Le scogliere biocostruite, nel Devoniano principalmente da spugne stromatoporoidi, hanno un crollo da cui si riprenderanno completamente solo 100 milioni di anni dopo, grazie alla comparsa dei coralli Scleractinia.



2) Estinzione Devoniana (~360 Ma)

Caratteristiche

- Tra le Big Five è la più "piccola" per portata.
- Dati recenti suggeriscono la concomitanza di varie concause che avrebbero provocato l'estinzione in una serie di pulsazioni attraverso un intervallo di 1-2 milioni di anni già a partire da 372 Ma.

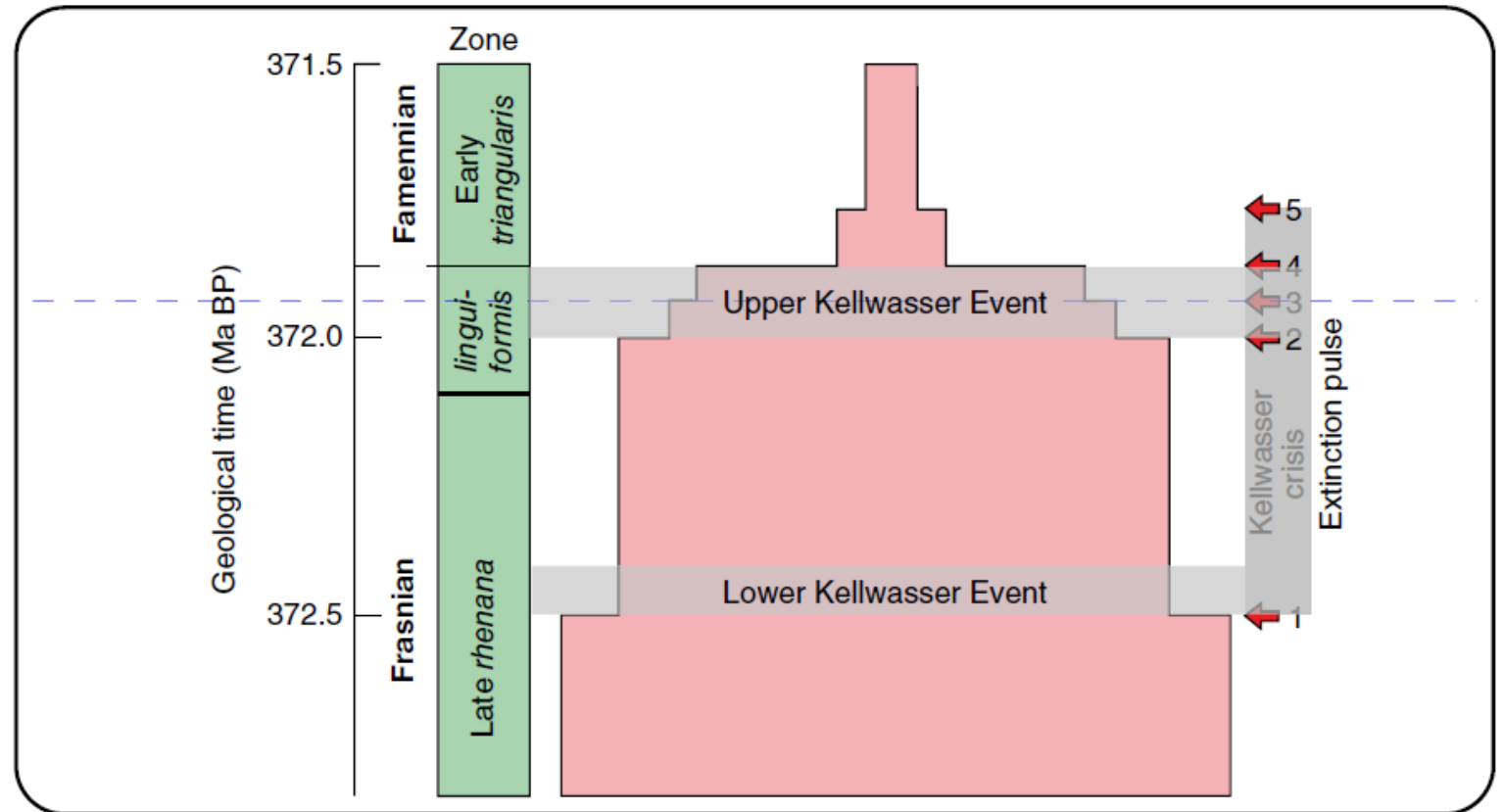


Figure 1 Temporal pattern of biotic diversity loss in the Late Devonian mass extinction (time scale after Da Silva *et al.* (2020)). Five extinction pulses (numbered in the right margin of the figure) occurred during the latest Frasnian and earliest Famennian. Da Silva, A.-C., Sinnesael, M., Claeys, P., Davies, J. H. F. L., de Winter, N. J., Percival, L. M. E., Schaltegger, U., & De Vleeschouwer, D. (2020). Anchoring the Late Devonian mass extinction in absolute time by integrating climatic controls and radio-isotopic dating. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69097-6>.

2) Estinzione Devoniana (~360 Ma)

Possibili cause

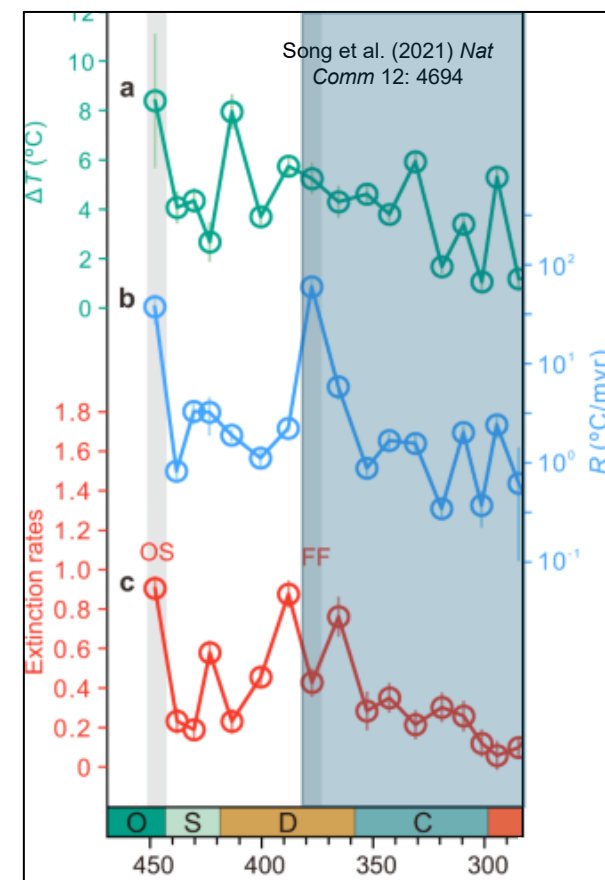
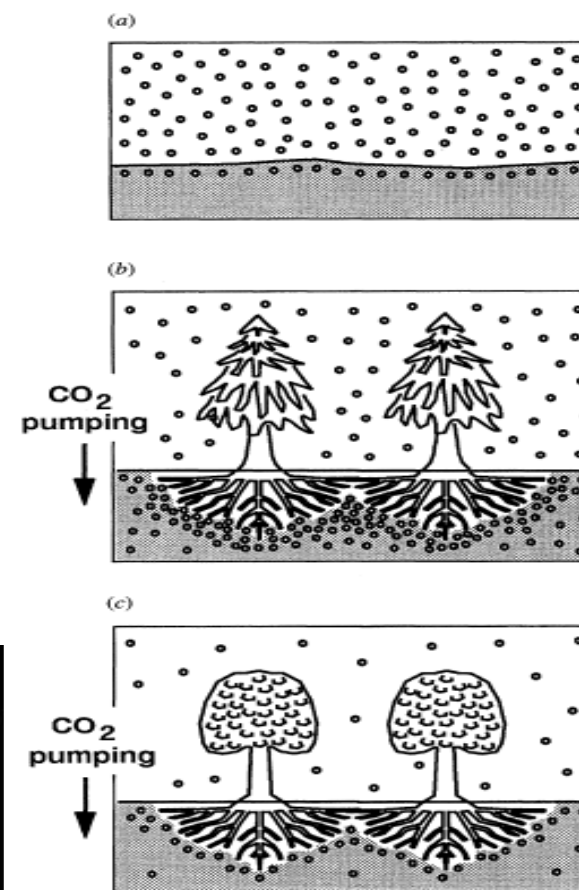
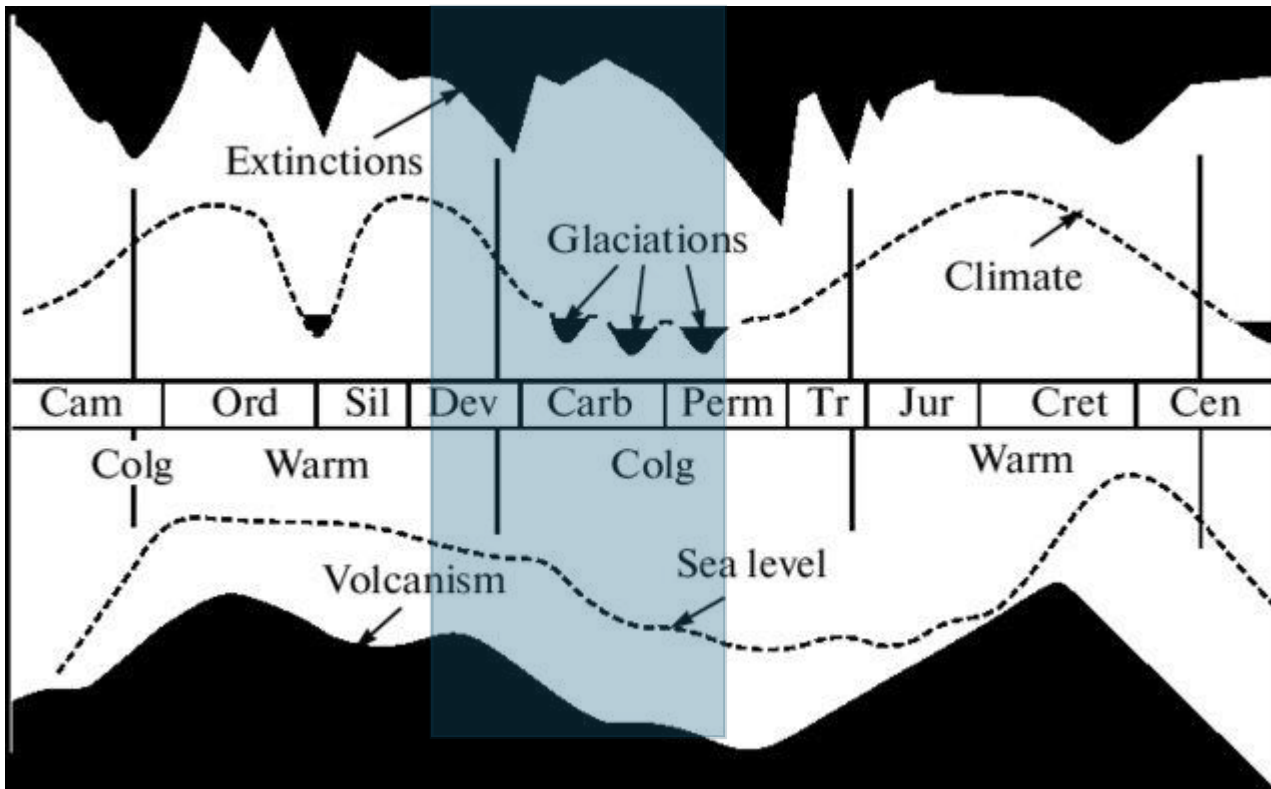
- A seguito della comparsa delle foreste devoniane, l'enorme quantità di materia organica in decomposizione (non essendo prontamente smaltita dai consumatori primari) avrebbe provocato grandi proliferazioni batteriche.
- I batteri avrebbero consumato l'ossigeno disciolto in acqua provocando **l'anossia delle acque**.
- Per gli animali acquatici, il declino dell'ossigeno è stato esacerbato dal fatto che l'acqua contiene 1/30 dell'ossigeno dell'aria, pur essendo 800 volte più densa.



2) Estinzione Devoniana (~360 Ma)

Possibili cause

- Inoltre, lo sviluppo delle foreste terrestri avrebbe consentito l'instaurarsi del meccanismo della **pompa a CO₂**: enormi quantità di CO₂ sarebbero passati dall'aria al suolo e ai sedimenti marini provocando un "effetto serra" al contrario.

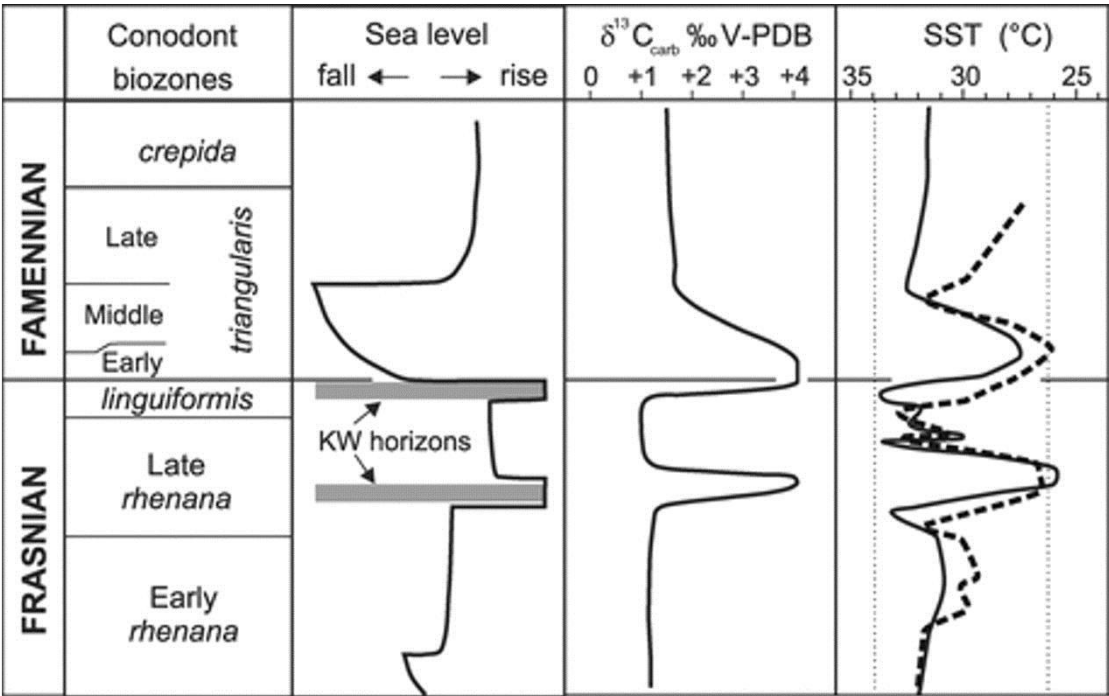


- Lo sviluppo delle foreste avrebbe cioè ridotto il livello di CO₂ nell'atmosfera e favorito l'avvio di una **glaciazione**.
- Una delle conseguenze delle glaciazioni è l'**abbassamento del livello del mare** che a sua volta avrebbe portato a una riduzione del fondale marino abitabile.

2) Estinzione Devoniana (~360 Ma)

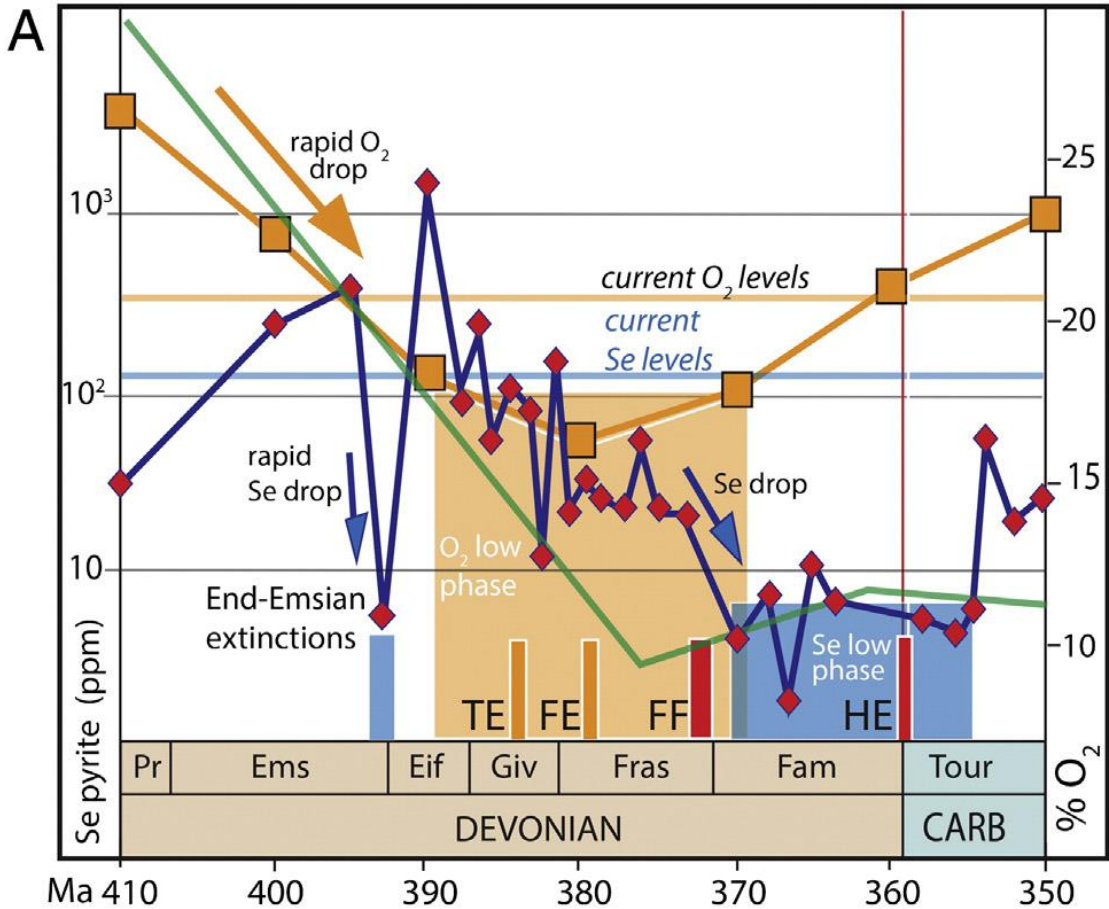
Evidenze

A partire dall'inizio del Devoniano Superiore diversi segnali di cambiamento ambientale sono registrati nelle rocce e nel record fossile, come la **variazione di parametri biotici e abiotici**.



Tra questi:

- riduzione O₂ marino, temperature, e livello del mare.
- scomparsa di molti organismi bentonici, principalmente nei tropici e nelle comunità di reef (scogliera).



2) Estinzione Devoniana (~360 Ma)

Altre cause?

Meno probabili cause o possibili concause dell'estinzione devoniana sono:

- impatto di un asteroide
- vulcanismo



Cratere da impatto di Siljan (Svezia), datato a circa 370 milioni di anni fa. Con un diametro di 55 km è il cratere da impatto più grande d'Europa.

Il contesto geologico di Dniepr-Donets (Ucraina) mostra **trappi** formati da attività magmatica che durò diversi milioni di anni nel Devoniano Superiore.

3) Estinzione Permo/Triassica (~252 Ma)

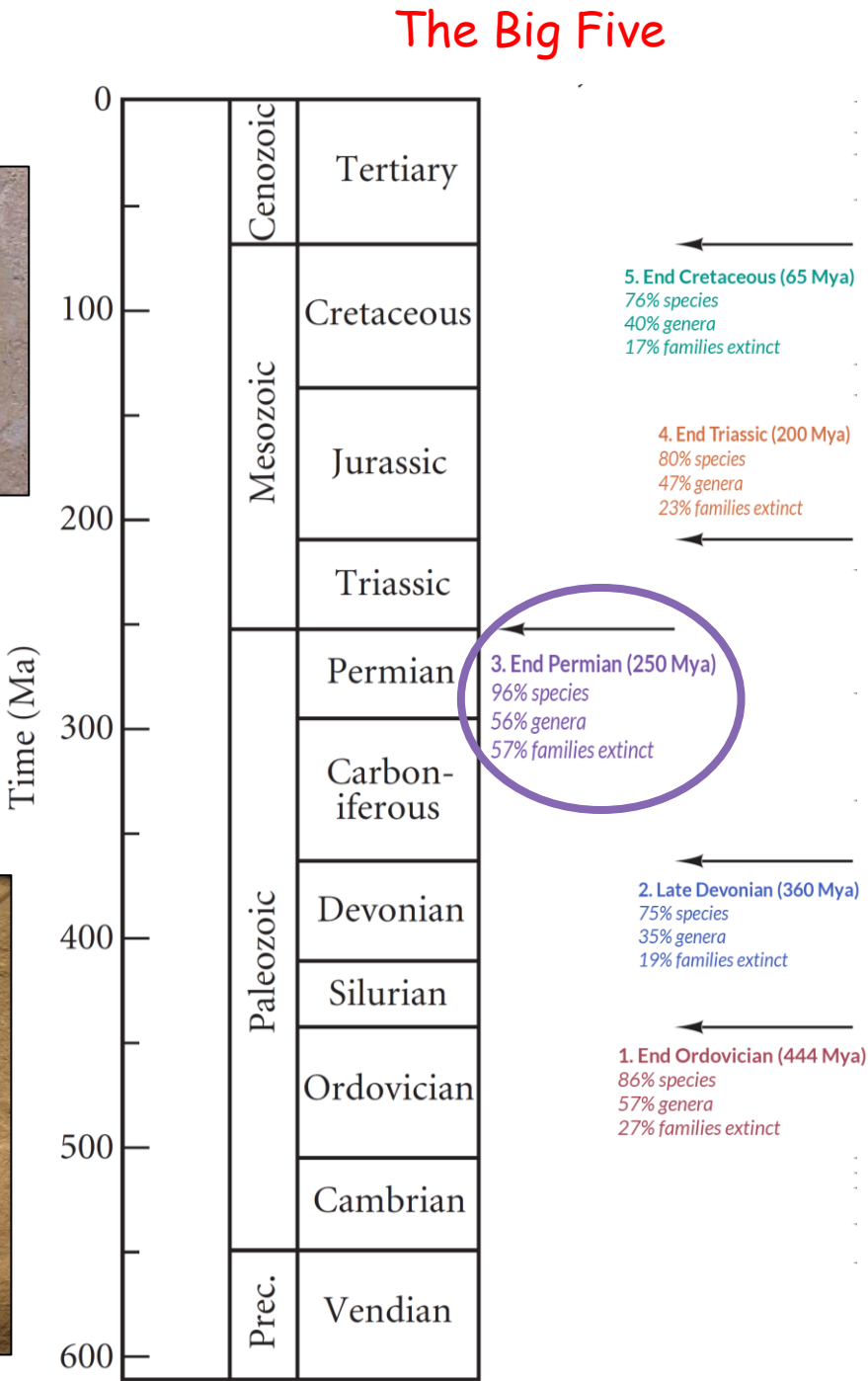
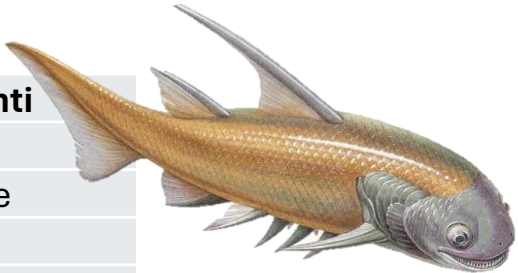
La più devastante di tutte le estinzioni (catastrofica).

Durata brevissima, poco più di 30.000 anni.

Portata dell'estinzione

- 96% delle specie marine, 70% delle specie terrestri
- 56% dei generi e 57% delle famiglie.

Estinzioni marine	% generi estinti	Gruppi estinti
Foraminiferi (plancton)	97%	Fusulinidae
Radiolari (plancton)	99%	
Cnidari (meduse, coralli, ecc.)	96%	Tabulata e Rugosa
Briozoi	79%	
Brachiopodi	96%	Orthidae e Productidae
Bivalvi	59%	
Gasteropodi	98%	
Ammonoidi (cefalopodi)	97%	Goniatitida
Crinoidi (echinodermi)	98%	Inadunata e Camerata
Blastoidi (echinodermi)	100%	Tutti
Trilobiti (artropodi)	100%	Tutti
Euripteridi (artropodi)	100%	Tutti
Ostracodi (crostacei)	59%	
Pesci acantodi	100%	Tutti



3) Estinzione Permo/Triassica (~252 Ma)

Osservazioni

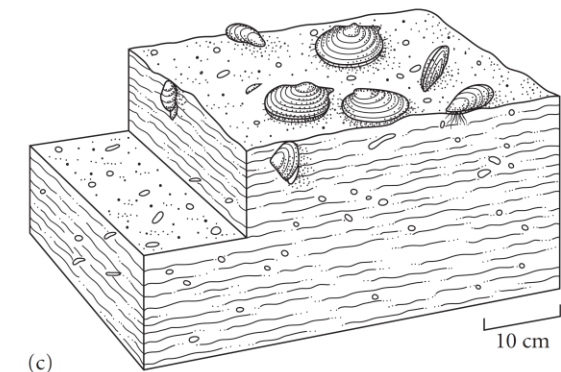
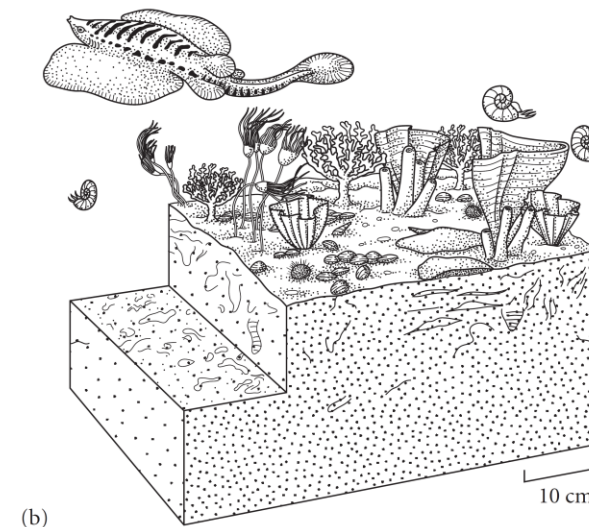
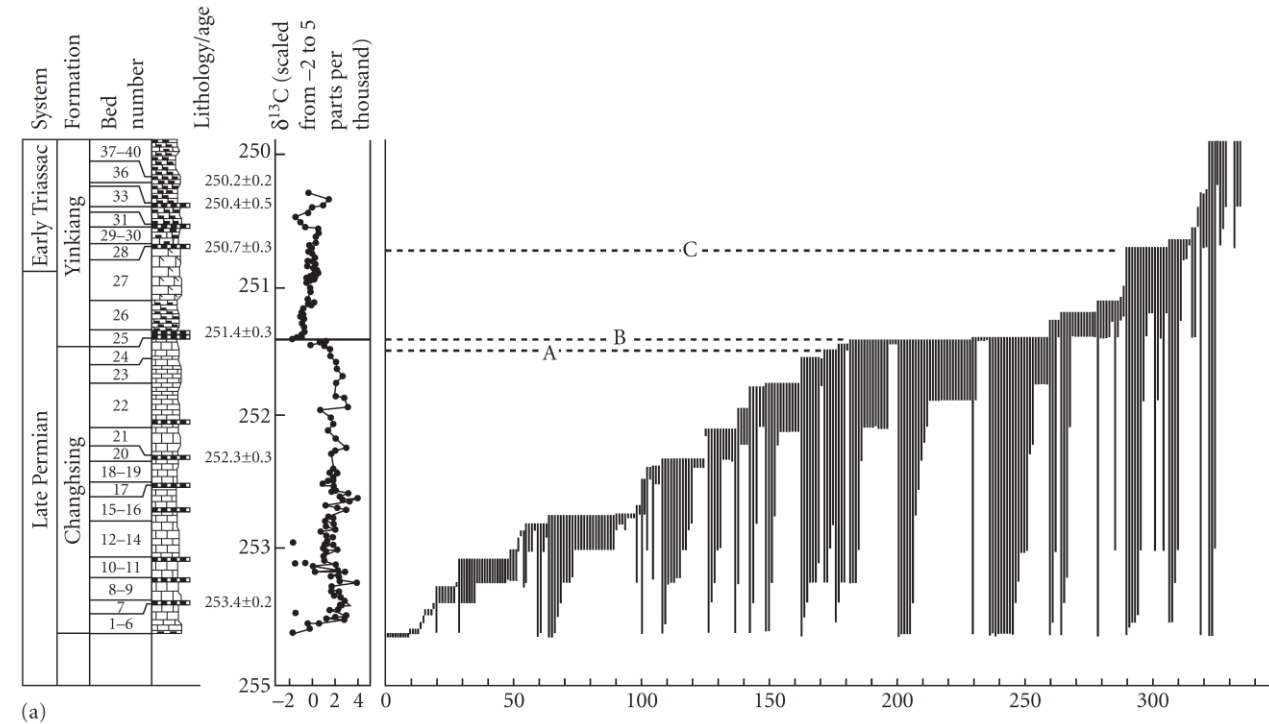
L'estinzione P-Tr si può seguire benissimo lungo alcune sezioni di sedimenti ininterrotte in varie parti del globo, ad es. in Cina.

a) Rappresentazione schematica dell'estinzione di 333 specie di animali marini lungo una sezione di 90 metri che abbraccia il limite P-Tr. Le linee verticali rappresentano la distribuzione delle specie.

A, B e C sono tre eventi di estinzione.

b) I sedimenti del Permiano sono ricchi di **bioturbazioni** e di **organismi bentonici**, indicando **fondali ben ossigenati**.

c) I sedimenti di inizio Triassico sono **scuri** e ricchi di **pirite** che indica una situazione di **anossia**. Sono rarissimi i fossili di organismi bentonici e le bioturbazioni.



3) Estinzione Permo/Triassica (~252 Ma)

Osservazioni

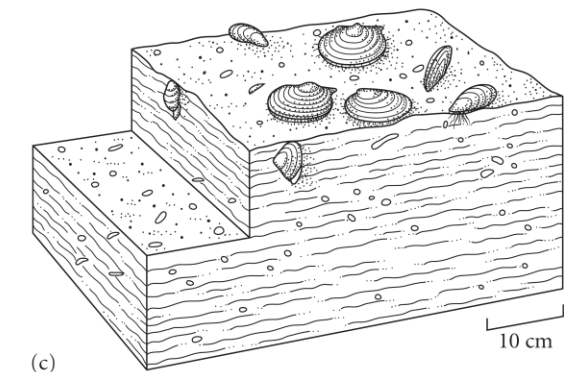
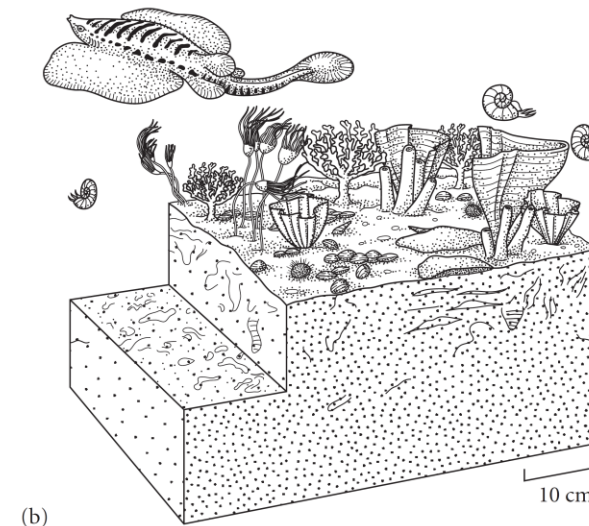
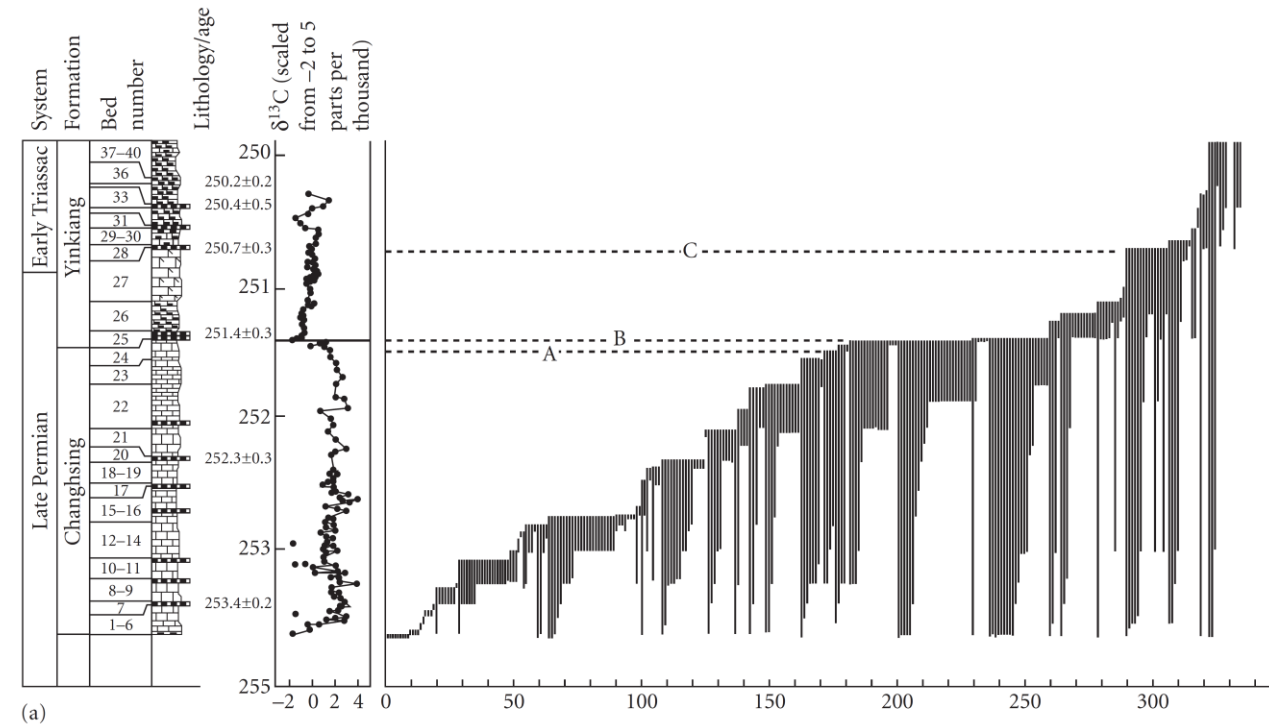
Avviene anche un cambiamento dell'ecologia delle comunità

Prima della crisi

- Nei periodi antecedenti l'estinzione P-Tr circa il 70% degli animali marini erano sessili e ancorati al substrato.
- Ecosistemi marini semplici e complessi erano ugualmente comuni (rapporto 1:1).

Dopo la crisi

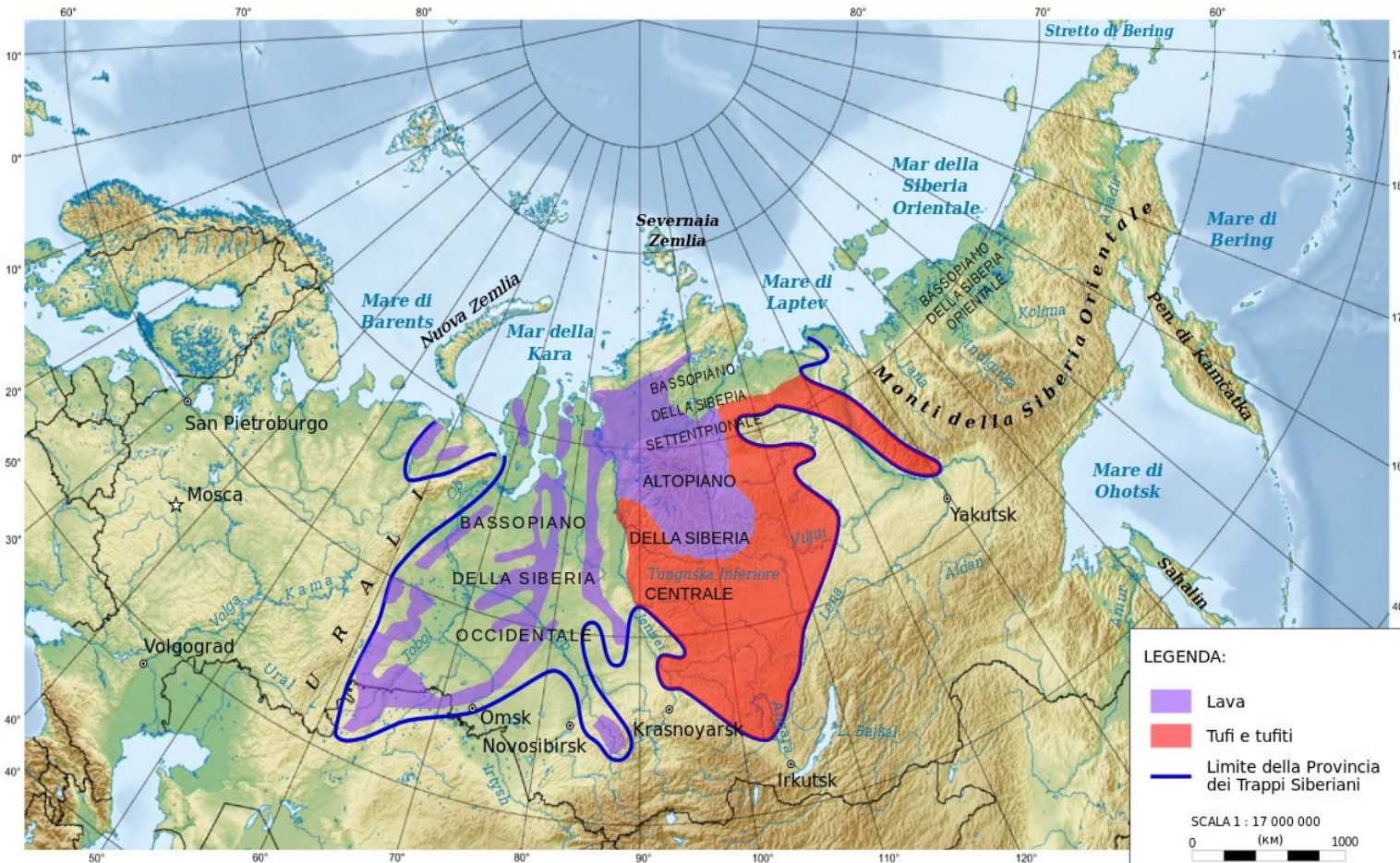
- Meno della metà degli organismi marini è caratterizzato da modo di vita sessile (es. crinoidi), mentre la maggior parte sono vagili (gasteropodi, echinoidi e granchi).
- Le comunità ecologicamente semplici divennero nettamente dominanti su quelle complesse (rapporto 3:1).



3) Estinzione Permo/Triassica (~252 Ma)

Possibili cause:

Intenso vulcanismo (molto probabile)



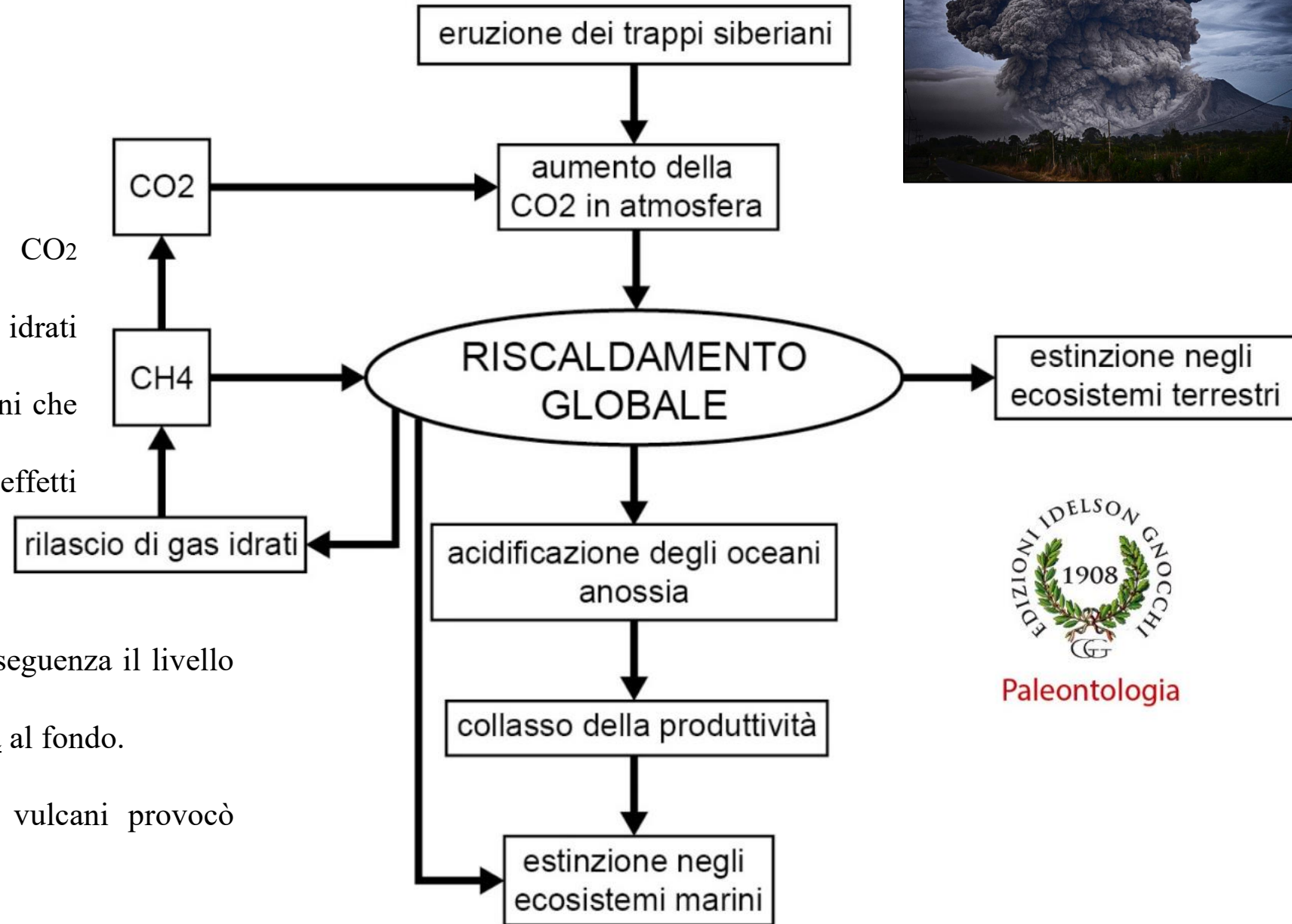
Enormi volumi di basalti e lapilli eruttati in Siberia (1.6 Milioni km² superficie x 1-3 km di spessore) in poche centinaia di migliaia di anni, formarono i cosiddetti **Trappi Siberiani**, ancora oggi visibili in buona parte dell'Asia settentrionale.

3) Estinzione Permo/Triassica (~252 Ma)

Possibili cause:

Intenso vulcanismo (molto probabile)

- Il riscaldamento globale causato dalla CO₂ emessa, produsse sublimazione dei gas idrati (ghiaccio+metano solido) dai fondali marini che condusse a ulteriore surriscaldamento, con effetti devastanti sugli ecosistemi.
- L'aumento di temperatura abbassò di conseguenza il livello di O₂ negli oceani, provocandone l'anossia al fondo.
- Inoltre, l'anidride solforosa emessa dai vulcani provocò anche l'acidificazione delle acque.



3) Estinzione Permo/Triassica

Possibili cause:

Intenso vulcanismo (molto probabile)

L'intenso vulcanismo è anche evidenziato da alcuni parametri isotopici misurati in diverse parti del mondo (es. Tibet) nello stesso periodo:

- aumento del rapporto tra isotopi dello stronzio (Sr^{87}/Sr^{86}) che indicherebbe un aumento del vulcanismo.
- diminuzione dei valori dell'isotopo dell'ossigeno O^{18} che indicano un aumento della temperatura globale.

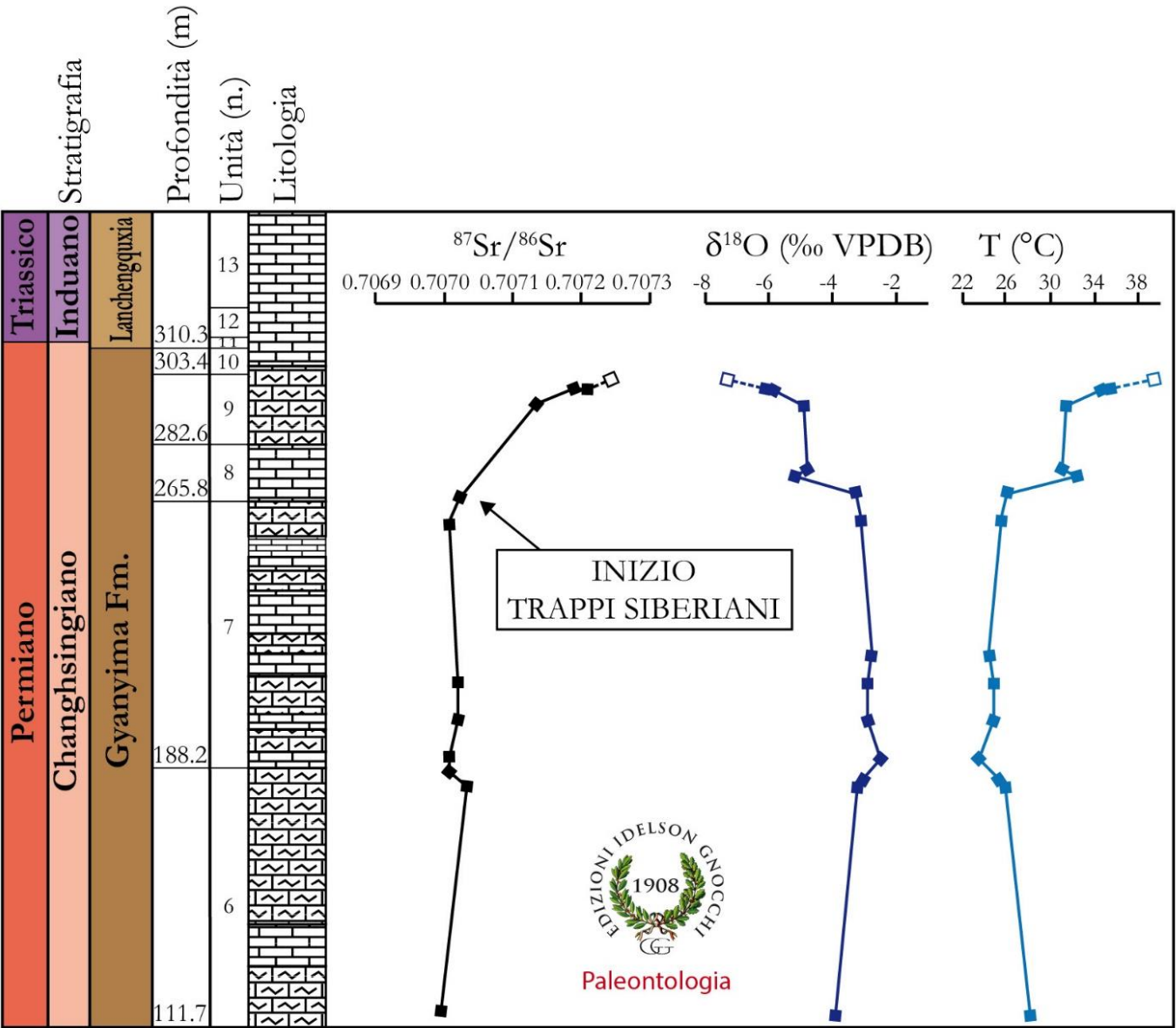


Figura 23.7. Variazioni di temperatura ricostruite in una successione in Tibet datata al Permiano terminale. La curva del rapporto $^{87}Sr/^{86}Sr$ indica nella parte superiore valori sempre più radiogenici causati dalla costruzione dei Trappi Siberiani. I valori degli isotopi dell'ossigeno sono piuttosto stabili nelle unità 6 e 7, mentre si evidenziano escursioni negative nelle unità 8 e 9 ad indicare un rapido e significativo riscaldamento la cui entità è quantificata dalla curva delle paleotemperature (°C). Modificato da Garbelli et al. (2016).

3) Estinzione Permo/Triassica (~252 Ma)

Possibili cause:

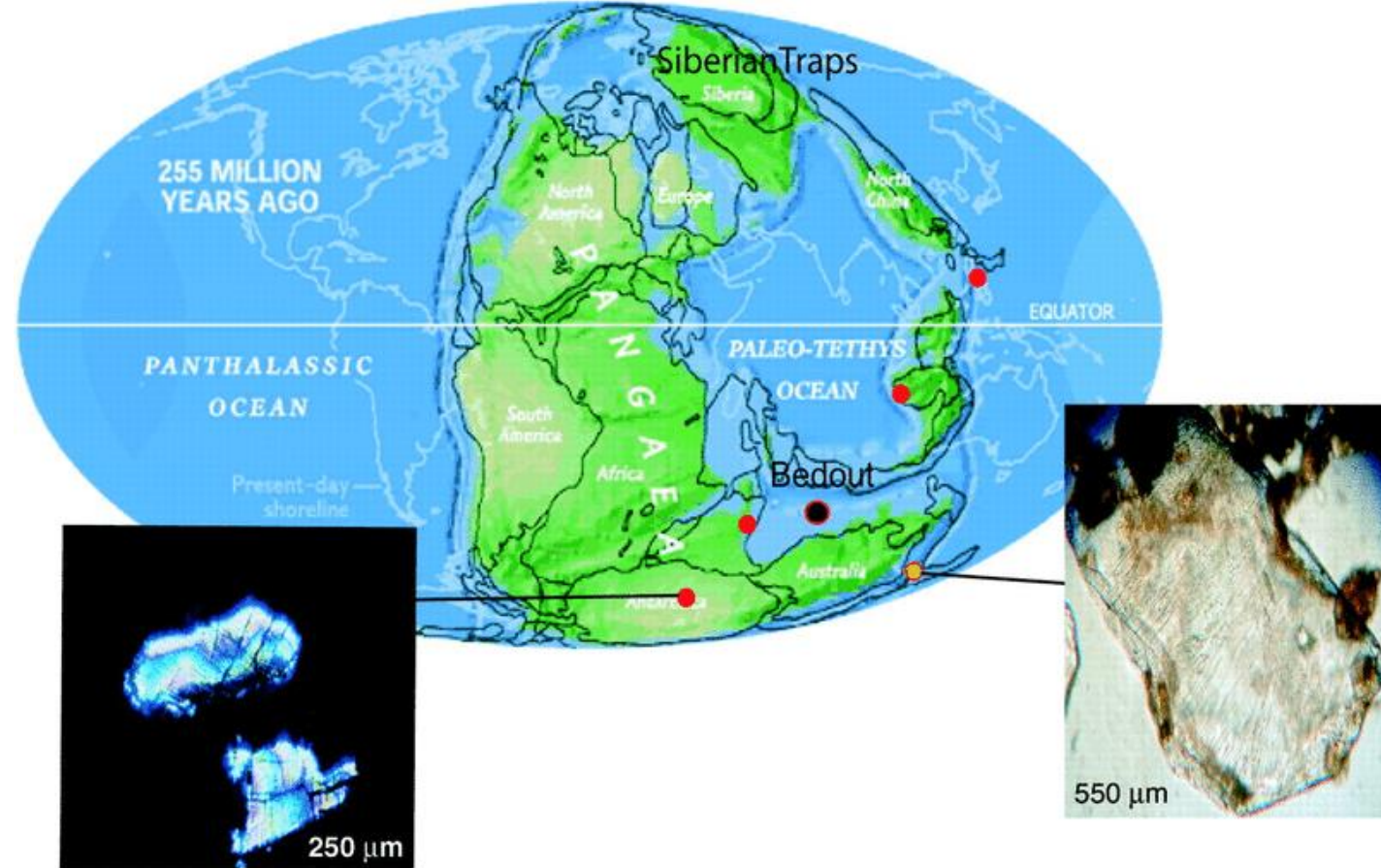
Impatti da asteroide (poco probabile)

Alcuni crateri da impatto trovati in Australia e Antartide:

- Wilkes Land Crater (Antartide), un cratere di 500 km, a 1,5 km sotto i ghiacci.
- Bedout Crater (Australia), cratere di ~250 km

Critiche:

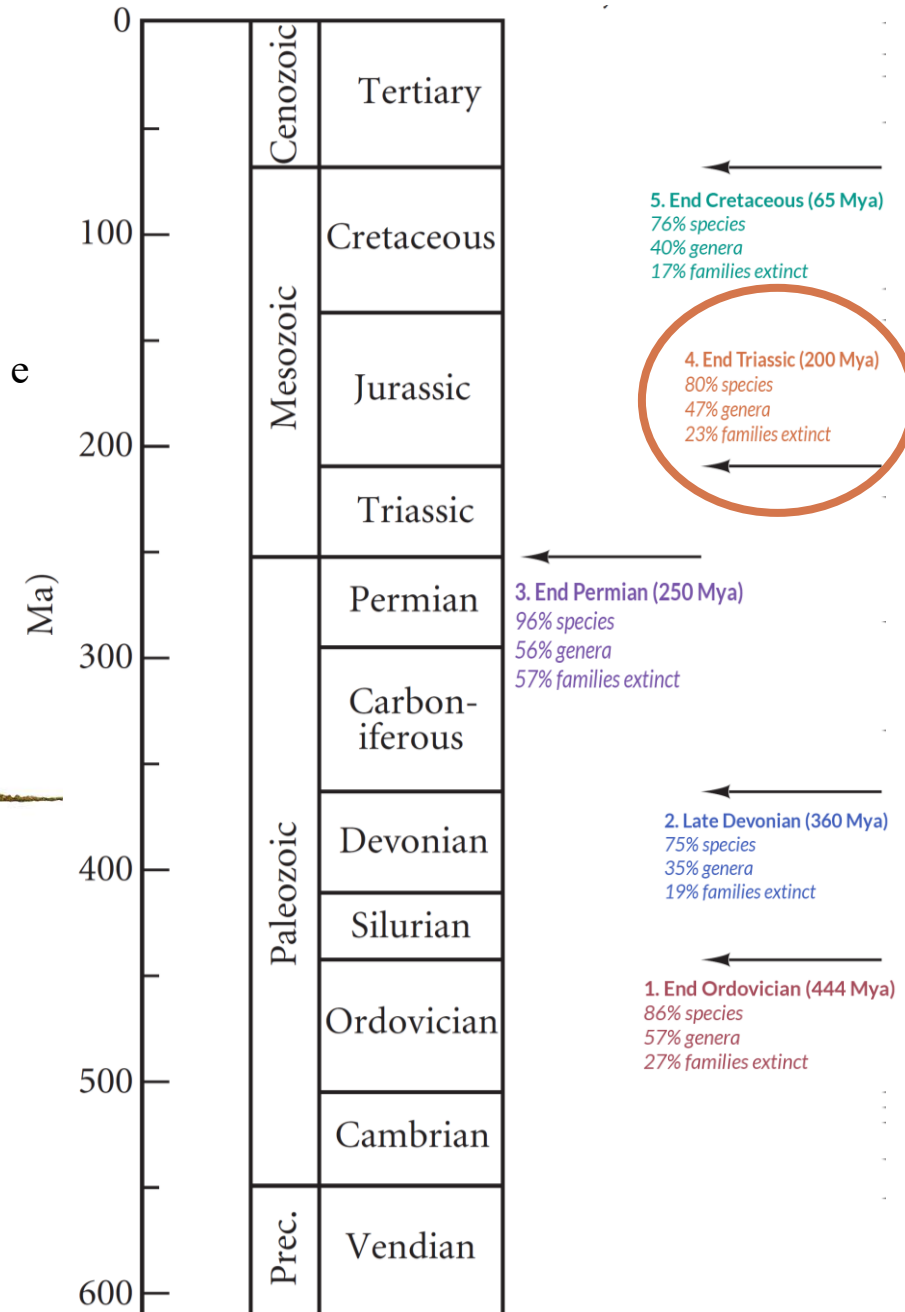
- La datazione degli impatti è incerta.
- Sebbene è presente quarzo metamorfosato, non vi sono evidenze di iridio o microtectiti.



4) Estinzione fine Triassico (215-201 Ma)

Portata dell'estinzione

- 80% delle specie, 47% dei generi, 23% delle famiglie
- **Gruppi estinti:** pesci conodonti, placodonti (rettili marini), crurotarsi, fitosauri, aetosauri e rauisuchi (tutti rettili arcosauri non-dinosauriani e non-coccodrillomorfi).
- **Gruppi più colpiti:** ittiosauri, anfibi, ammoniti, brachiopodi, bivalvi e gasteropodi.

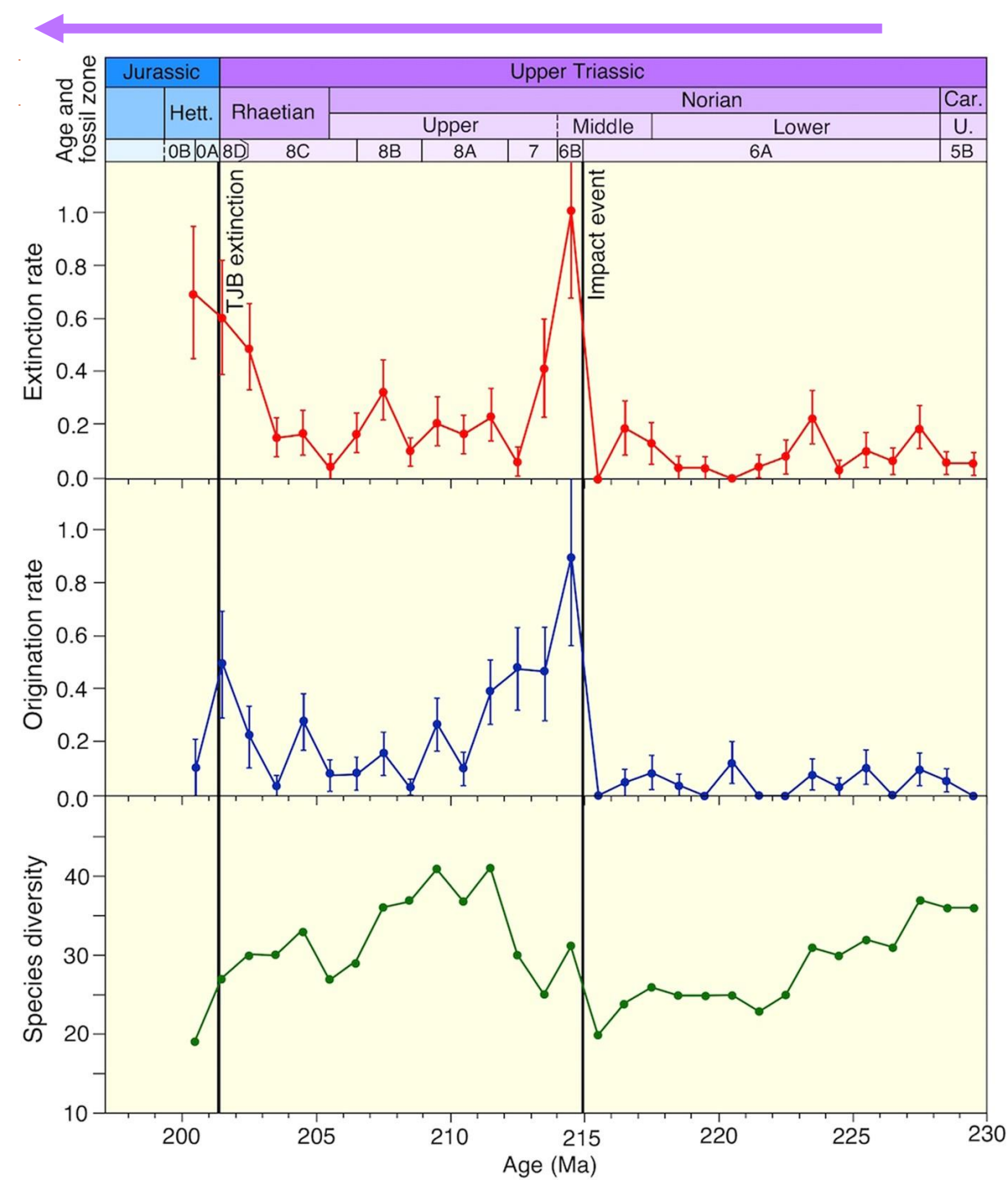


4) Estinzione fine Triassico (215-201

Osservazioni

Perturbazioni della **paleobiodiversità** (sia marina che continentale) suggeriscono l'esistenza di due fasi di estinzione di massa nel Triassico Superiore, separate tra loro da circa 14 milioni di anni:

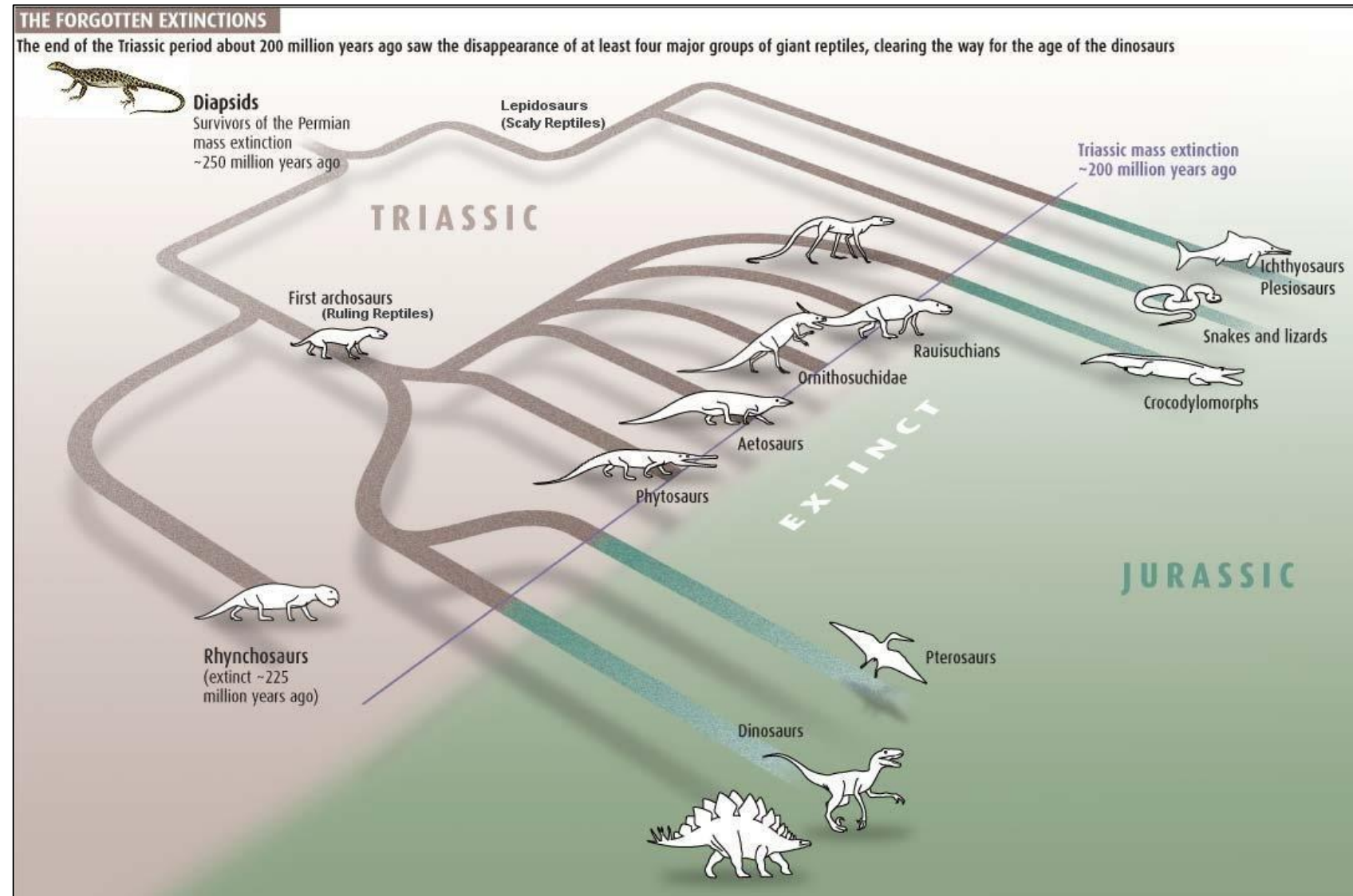
1. primo evento avvenuto nel Norico Medio (215 Ma).
2. secondo evento a ridosso del limite Triassico-Giurassico (201 Ma).



4) Estinzione fine Triassico (215-201 Ma)

Conseguenze

- I crurotarsi e altri grandi rettili marini (es. placodonti), già decimati anche a seguito dell'Evento Pluviale Carnico (233 Ma) si estinsero definitivamente durante l'estinzione di massa di fine Triassico (215-201 Ma).
- La loro estinzione rese vacanti numerose nicchie ecologiche consentendo ai dinosauri, cocodrillomorfi e rettili marini (ittiosauri, plesiosauri, pliosauri) di occuparle e assumere ruoli chiave nel successivo periodo Giurassico (**estinzione con sostituzione**).



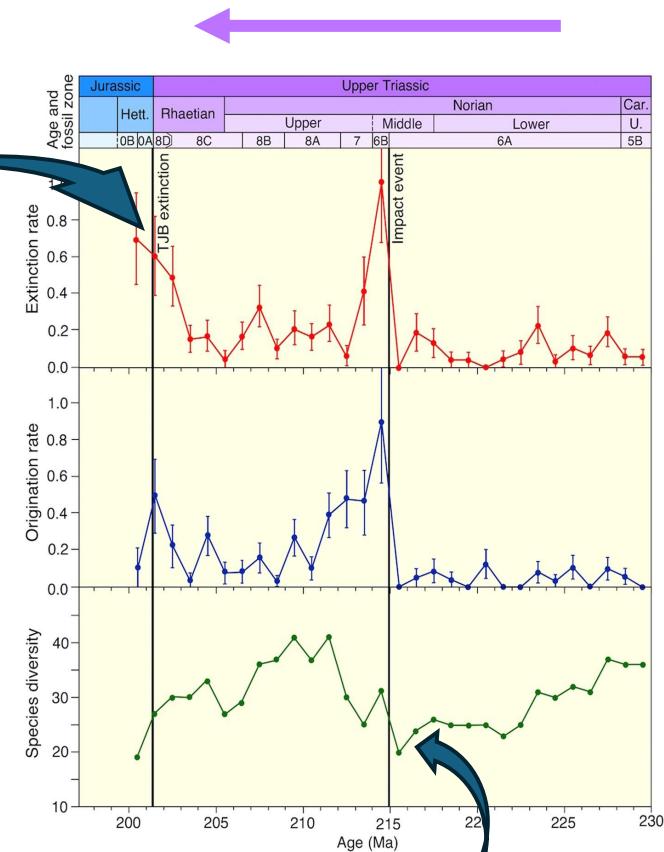
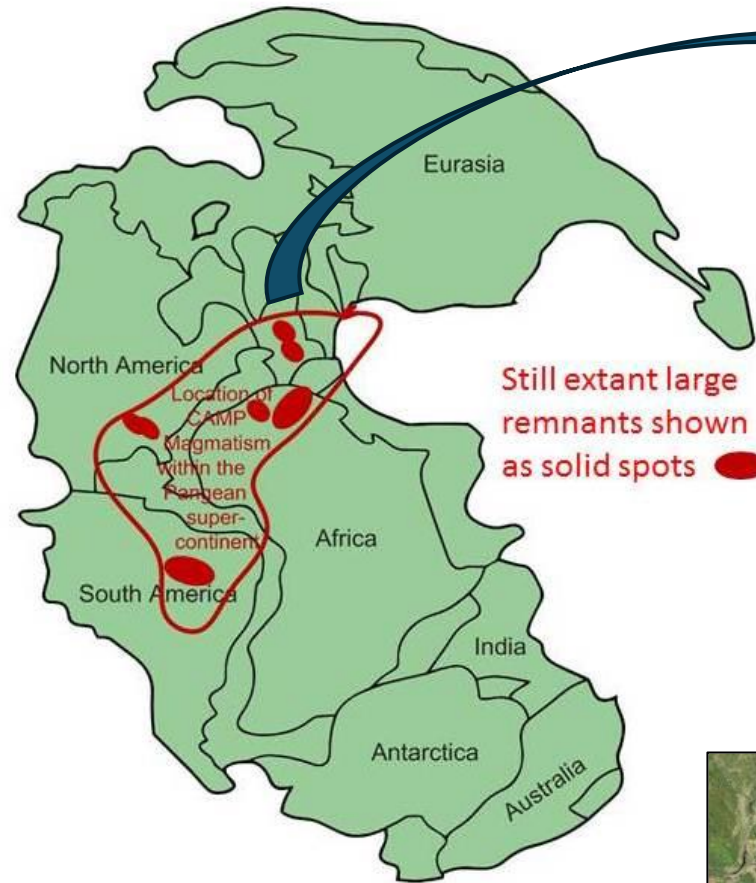
4) Estinzione fine Triassico (215-201 Ma)

Possibili cause

Tra le Big Five, è l'estinzione dalle cause meno chiare.

Due ipotesi:

- **Imponente vulcanismo** dovuto alla frammentazione del Pangea, in particolare nella Provincia Magmatica Centro Atlantica (che causerà l'apertura dell'Oceano Atlantico), con aumento di CO₂ e successivo riscaldamento globale.
- **Impatto di asteroidi:** il primo, di 5 km, avrebbe lasciato un cratere di 100 km oggi occupato dal Lago Manicouagan (Quebec, Canada) e si suppone abbia dato avvio alla prima fase dell'estinzione (215 Ma). Il cratere francese Rochechouart-Chassenon datato 201 Ma, benchè coincide con la seconda fase, sarebbe invece troppo piccolo (50 km).

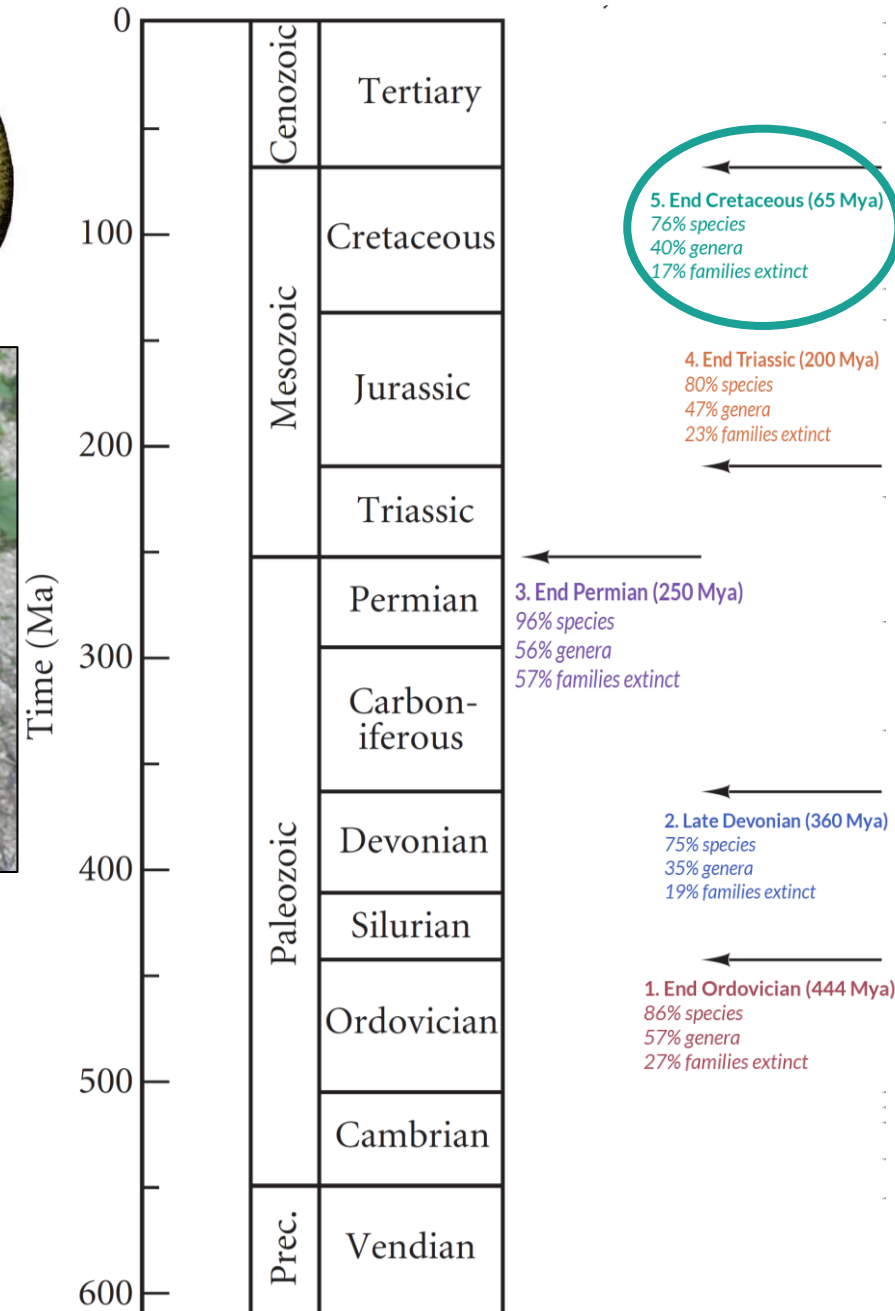


The Big Five

5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Portata dell'estinzione

- 76% delle specie, 40% dei generi, 12% delle famiglie
- **Gruppi estinti:** dinosauri non aviani, rettili marini e volanti, rudiste (bivalvi), ammoniti e belemniti.
- **Gruppi più colpiti:** molti gruppi di anfibi e rettili, marsupiali, molluschi, e plancton calcareo.



5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

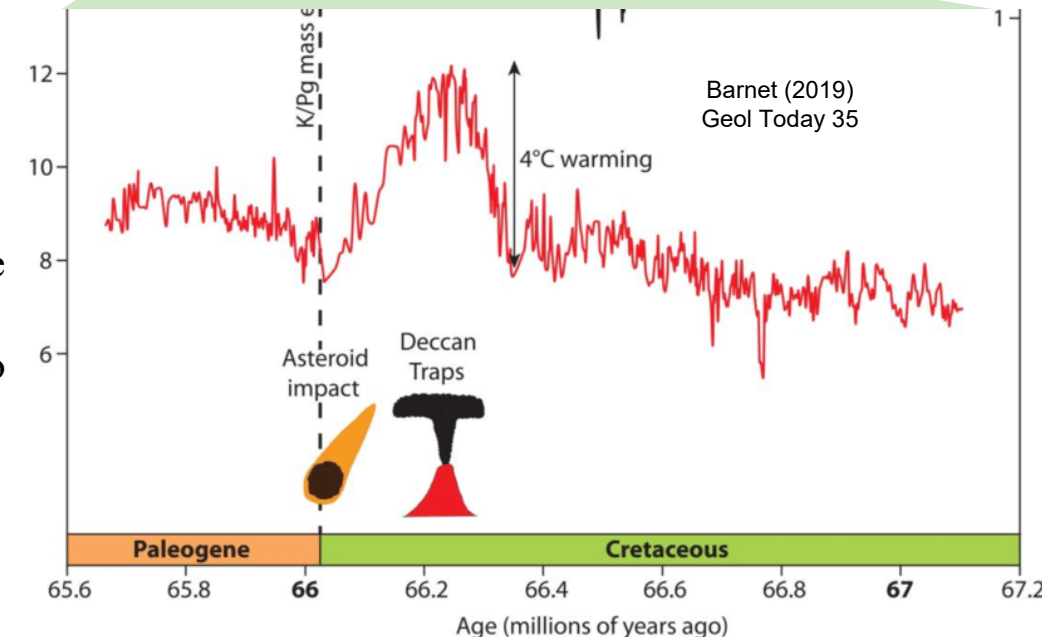
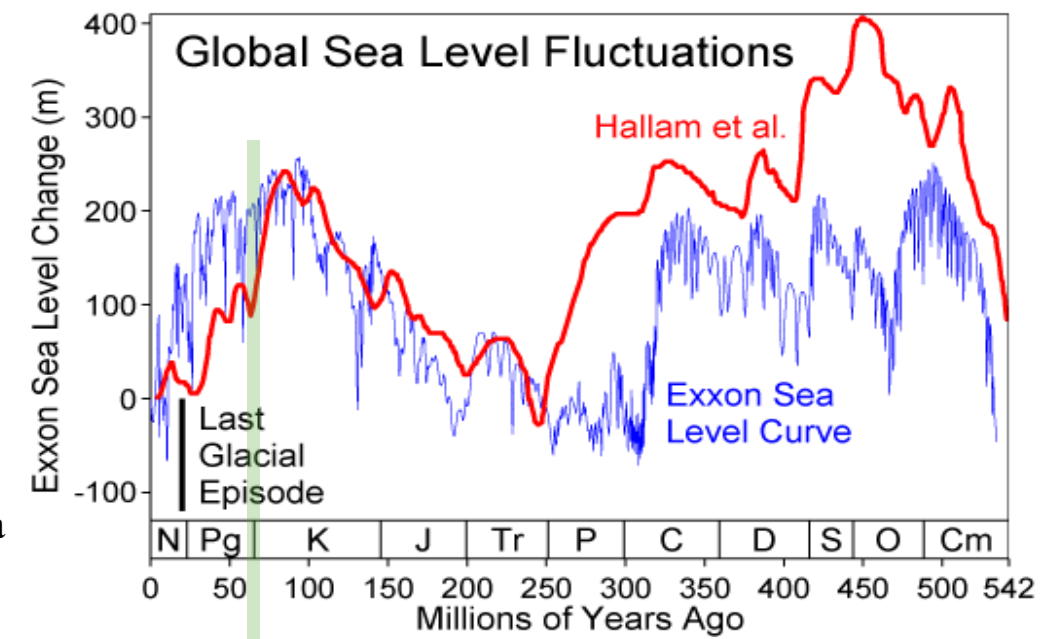
Osservazioni:

Regressione marina

- Il livello marino si abbassò notevolmente verso la fine del Cretaceo, arrivando a uno dei livelli più bassi registrati nell'intera Era Mesozoica.
- Conseguenza immediata fu la riduzione degli habitat delle piattaforme continentali.

Aumento delle temperature delle acque marine

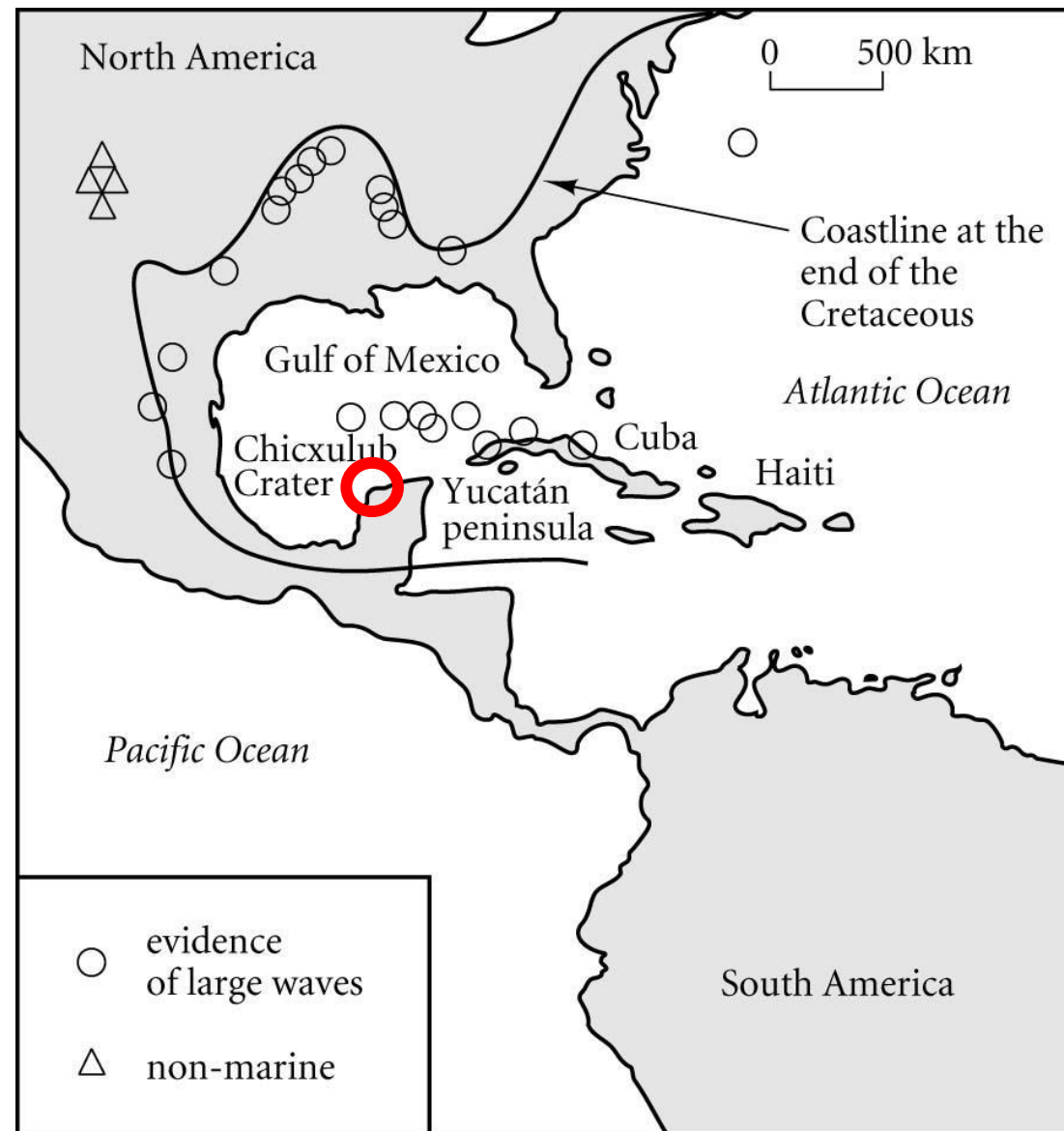
- Tra 200.000 e 400.000 anni prima del limite K-Pg (Cretaceo/Paleogene), le acque superficiali e profonde si sono riscaldate rapidamente di circa 4°C e poi si sono raffreddate di nuovo durante gli ultimi 100.000 anni del tardo Cretaceo.
- La paleobiodiversità sembra essere diminuita durante la fase di raffreddamento.



5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Causa probabile

Impatto di un asteroide di circa 10 km di diametro che avrebbe prodotto il cratere di Chicxulub (Yucatan, Messico) ampio 180 km.



Ubicazione del cratere di Chicxulub
sulla penisola dello Yucatán, in Messico.

**IL
MECCANISMO**

Impatto di asteroidi



**Milioni di tonnellate di polveri e gas (H_2SO_4)
si disperdono nell'atmosfera**



**Brusco calo della luce e delle
temperature ("inverno nucleare")**



Le piante non fanno più fotosintesi



**Collasso intera catena trofica
in ambienti terrestri**

Piogge acide



**Inquinamento e
acidificazione degli oceani**



**Collasso dell'intera
catena trofica marina**

5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

- Sarebbero stati necessari almeno 10 anni per dissipare completamente polveri e gas, un intervallo di tempo sufficiente per l'estinzione delle piante, del fitoplancton e degli organismi da essi dipendenti (erbivori e predatori).
- Organismi di dimensioni ridotte che vivevano in "rifugi" (detritivori, fossori) ebbero più possibilità di sopravvivere.
- Incendi di dimensioni globali potrebbero essere stati innescati dal calore e dalla ricaduta di frammenti incandescenti prodotti nell'impatto.
- L'ampia diffusione degli incendi avrebbe certamente prodotto un aumento della CO₂ atmosferica e causato un temporaneo **effetto serra**, probabilmente mantenuto dalla coltre di polveri. Queste condizioni avrebbero potuto sterminare quegli organismi che erano sopravvissuti alla fase di "inverno nucleare".



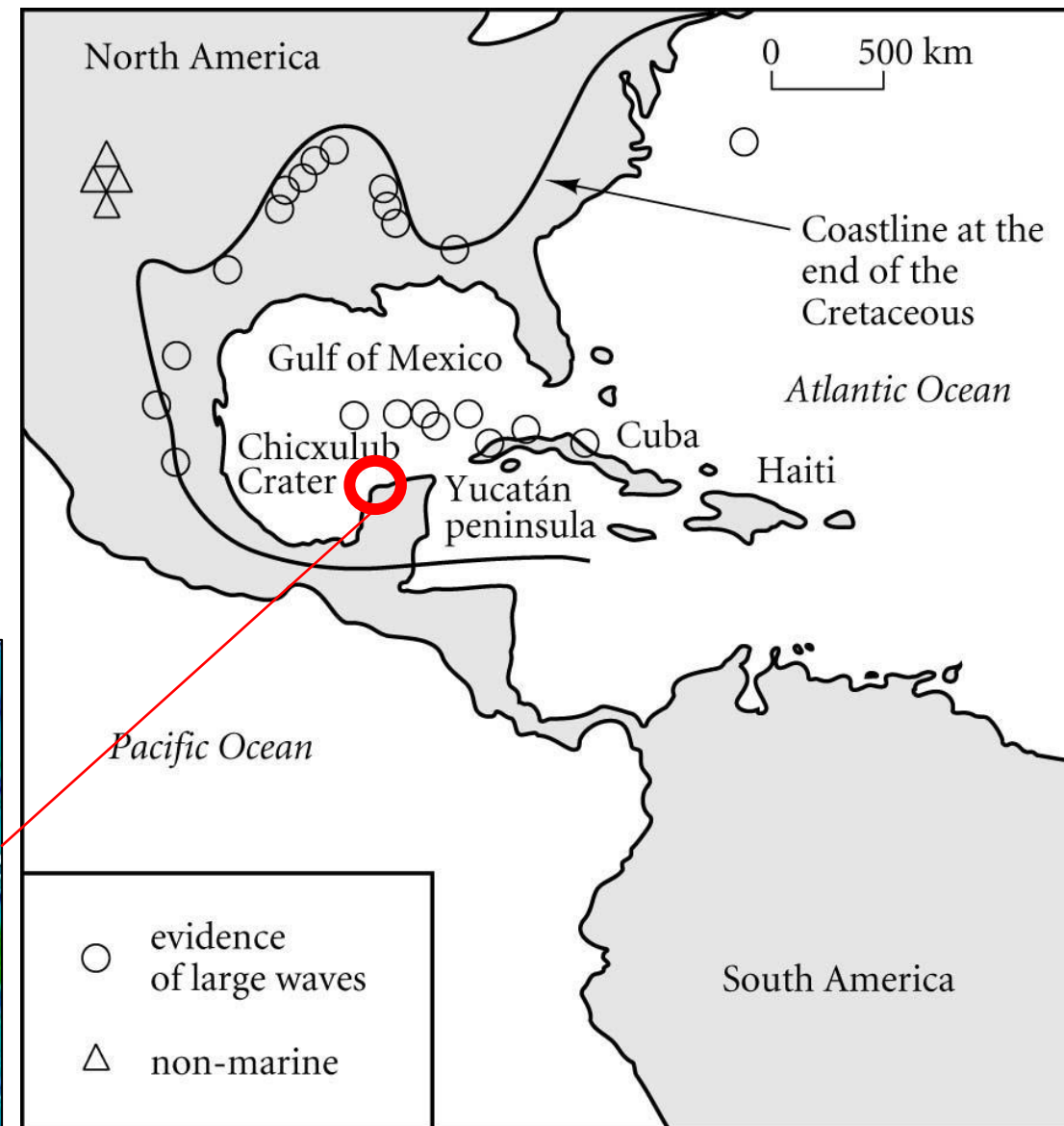
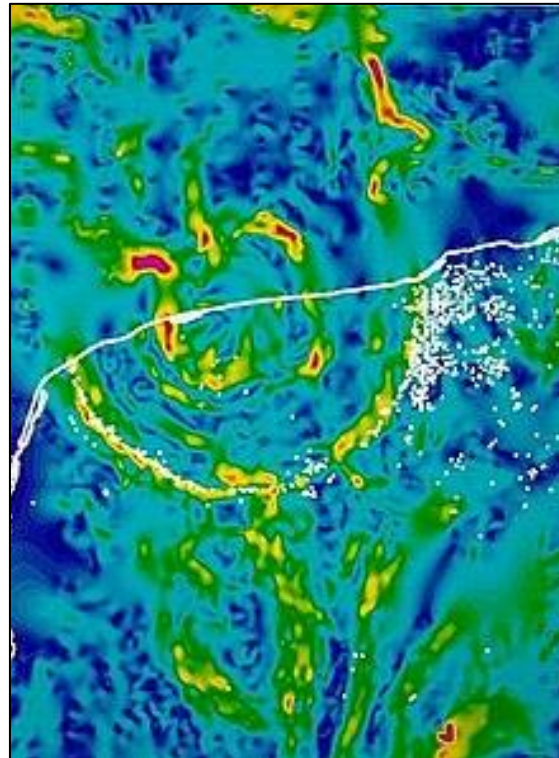
5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Evidenze

1) Il cratere da impatto

- Fu scoperto nel 1997 nella penisola dello Yucatan, in Messico, grazie al rilevamento di anomalie gravimetriche in parte sottomarine e in parte sulla terraferma.
- Il cratere è ampio circa 180 km e sarebbe stato prodotto dall'impatto di un asteroide di circa 10 km di diametro.

Carta delle anomalie gravimetriche della Penisola dello Yucatán



Ubicazione dello Chicxulub Crater sulla penisola dello Yucatán. Notare la distribuzione di tsunamiti (sedimenti prodotti da enormi tsunami) lungo la linea di costa dove era ubicata nel Cretaceo Superiore.

5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Evidenze

2) Tsunami

L'asteroide impattò nell'oceano provocando enormi **tsunami** (alti fino a 5 km) la cui evidenza sedimentaria è stata rilevata in varie regioni dei Caraibi e degli Stati Uniti per la presenza di sedimenti marini ricchi di organismi marini mescolati a sedimenti di origine continentale ricchi di animali e vegetali terrestri. Questi sedimenti prendono il nome di **tsunami**.



Ubicazione dello Chicxulub Crater sulla penisola dello Yucatán. Notare la distribuzione di tsunami (sedimenti prodotti da enormi tsunami) lungo la linea di costa dove era ubicata nel Cretaceo Superiore.

5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Evidenze

2) Tsunami

- **Tanis** è un sito paleontologico in North Dakota (USA) che comprende una successione di rocce che erano parte di un'ansa di un antico fiume sulla sponda ovest del Mare Interno Occidentale che sembra registrare gli eventi dai primi minuti fino a poche ore dopo l'impatto del gigantesco asteroide Chicxulub.



- Megatsunami avrebbero raggiunto l'area dieci minuti dopo l'impatto, creando onde alte tra 10 e 100 m. Il sito fu inondato con grande forza da queste onde, che trasportavano acque e sedimenti marini e terrestri, animali e piante d'acqua dolce e salata e altri detriti per centinaia di km nell'entroterra.

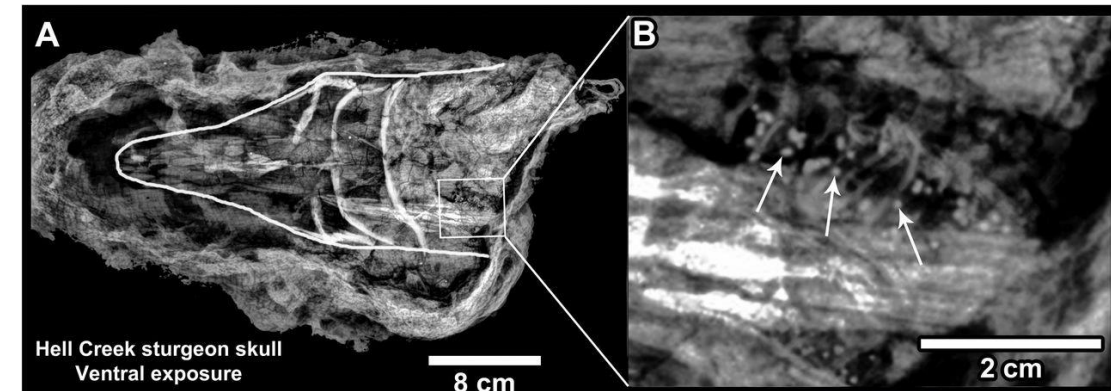
5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Evidenze

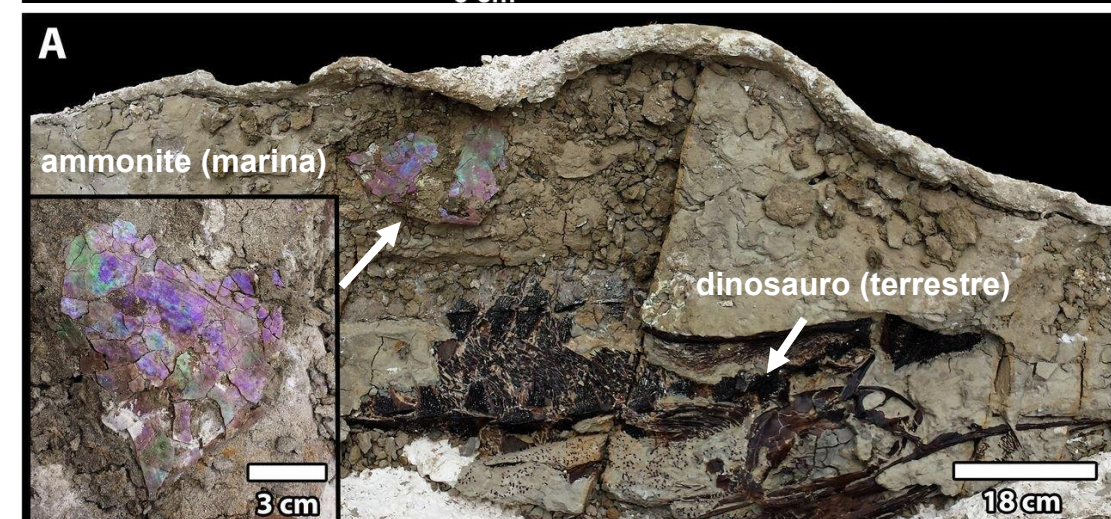
2) Tsunami



Microtectite nell'ambra

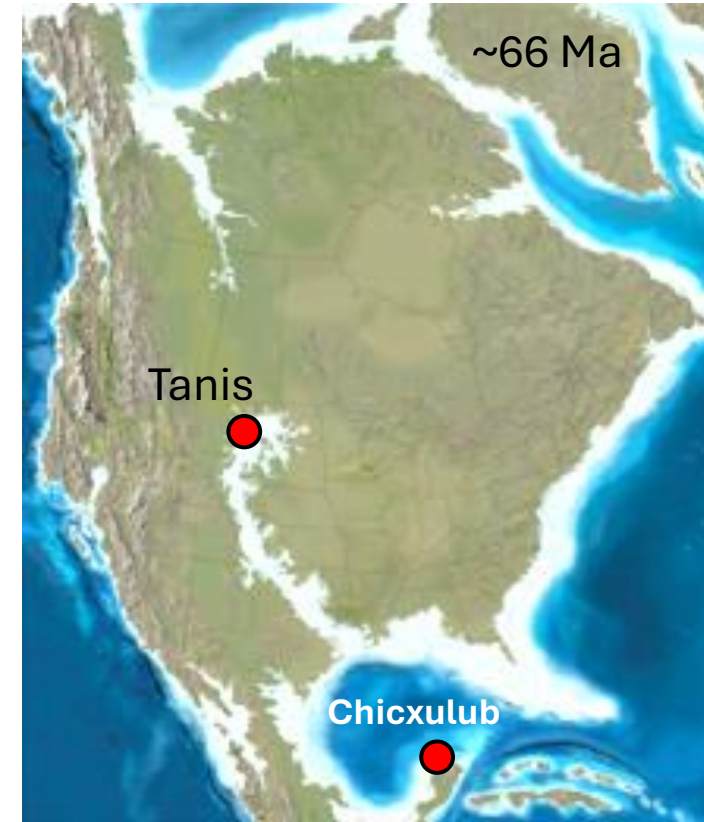


Pesce d'acqua dolce (storione) con microtectiti nelle branchie



I fossili rinvenuti comprendono:

- animali e vegetali terrestri e acquatici (sia d'acqua dolce che marina) trovati insieme (ad esempio dinosauri e ammoniti)
- pesci con microtectiti nelle loro branchie
- microtectiti sepolte contemporaneamente ai fossili e conservate nell'ambra su tronchi d'albero
- una tartaruga uccisa per impalamento da un ramo di un albero
- tane di mammiferi e formicai annegati con animali all'interno con le camere piene di tectiti e microtectiti



5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Evidenze

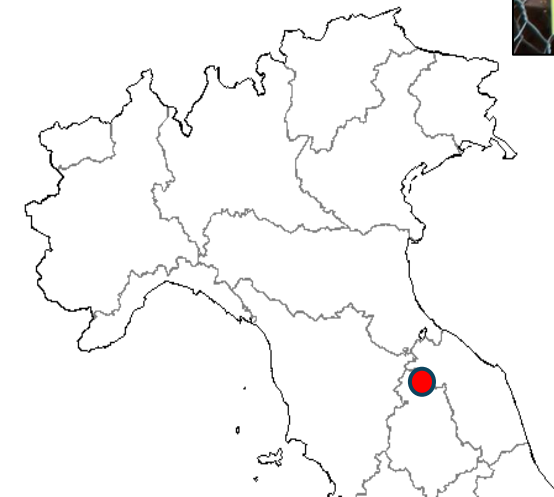
3) Alte concentrazioni di iridio

- L'iridio è un elemento chimico raro sulla terra, ma molto abbondante negli asteroidi. Si ritrova in molti livelli di fine Cretaceo di tutto il globo (es. Gubbio, PG).
- La correlazione tra iridio e impatti da asteroidi venne proposta dagli Alvarez (padre e figlio) nel 1980.



Luis Alvarez

Walter Alvarez



Il limite KT
nella Gola del
Bottaccione a
Gubbio

5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

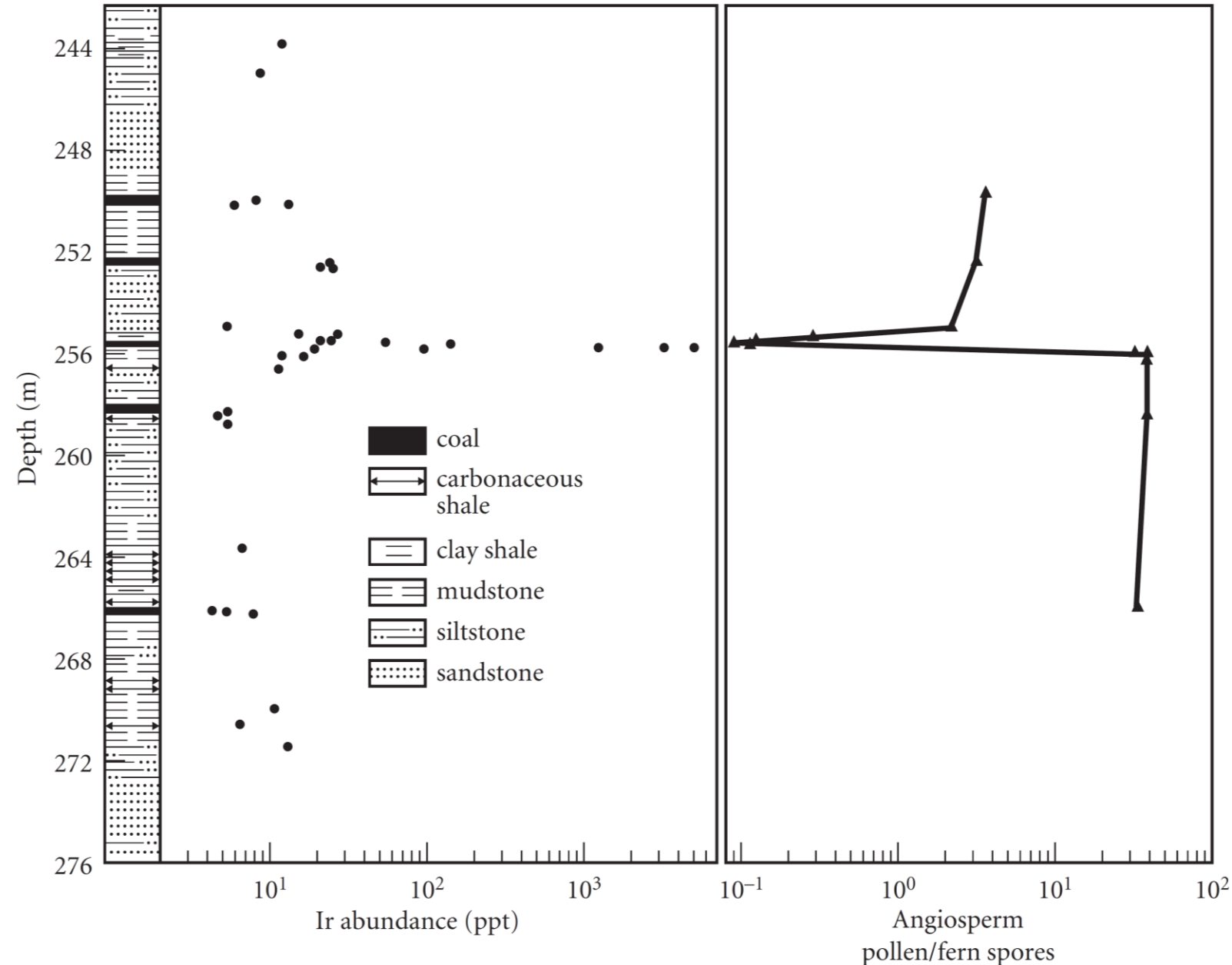
Evidenze

4) Picco delle felci

- Associati ai picchi di iridio, i **picchi delle felci** sono documentati in tutto il mondo nei livelli al limite K-Pg, indicando un evento di deforestazione globale.
- Le felci sono taxa pionieri, tra le prime piante ad apparire dopo un evento di deforestazione.



Figure 7.9 The iridium (Ir) spike and fern spike, as recorded in continental sediments in York Canyon, New Mexico. The Ir spike, measured in parts per trillion (ppt), an enhancement of 10,000 times normal background levels, is generally interpreted as evidence for a massive extraterrestrial impact. The fern spike indicates sudden loss of the angiosperm flora, and replacement by ferns. (Based on Orth et al. 1981.)

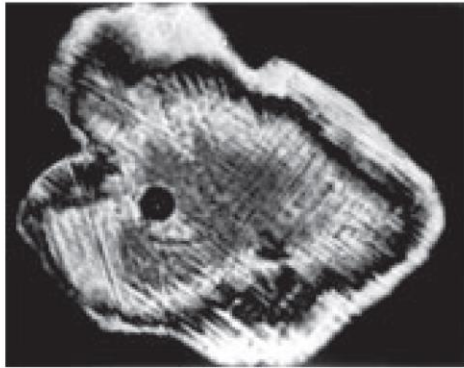


5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

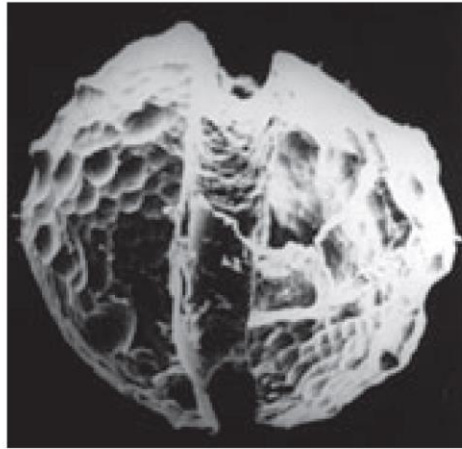
Evidenze

5) Shistovite

- Quarzo metamorfofato dallo shock, ritrovato vicino al cratere.



(a)



(b)

Figure 7.11 Evidence for a KT impact in the Caribbean. (a) Shocked quartz from a KT boundary clay. (b) A glassy spherule from the KT boundary section at Mimbral, northeast Mexico, evidence of fall-out of volcanic melts from the Chicxulub Crater (about 1.5 mm in diameter). (Courtesy of Philippe Claeys.)

6) Tectiti e microtectiti

- Goccioline vetrose di dimensioni millimetriche e submillimetriche prodotte dalla fusione durante un impatto e disperse per centinaia o migliaia di km di distanza.



5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Altre ipotesi (meno probabili o concomitanti)

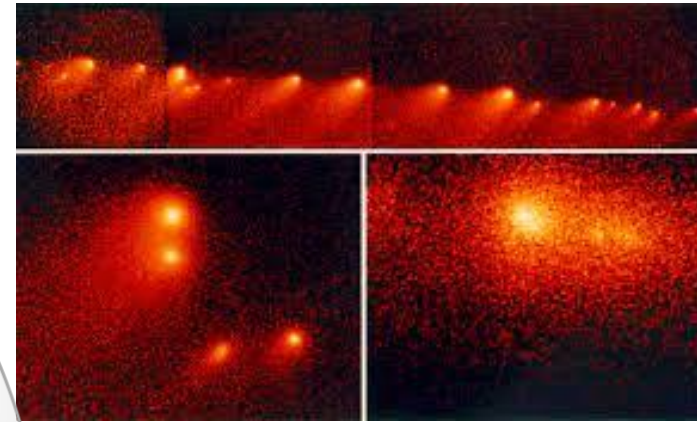
1) **Impatti multipli simultanei** provocati dalla frammentazione di una cometa con modalità simili a quelle osservate nel 1994 nell'impatto della cometa Shoemaker-Levy-9 contro Giove.

Infatti oltre al cratere Chicxulub, sono noti:

- Cratere Boltysh (24 Km, Ucraina, 64-66 Ma)
- Cratere Silverpit (20 Km, Mar del Nord, 60-66 Ma)
- Cratere Shiva (600 Km, Oceano Indiano, 65-66 Ma)



Shoemaker-Levy 9 impact on Jupiter 1994



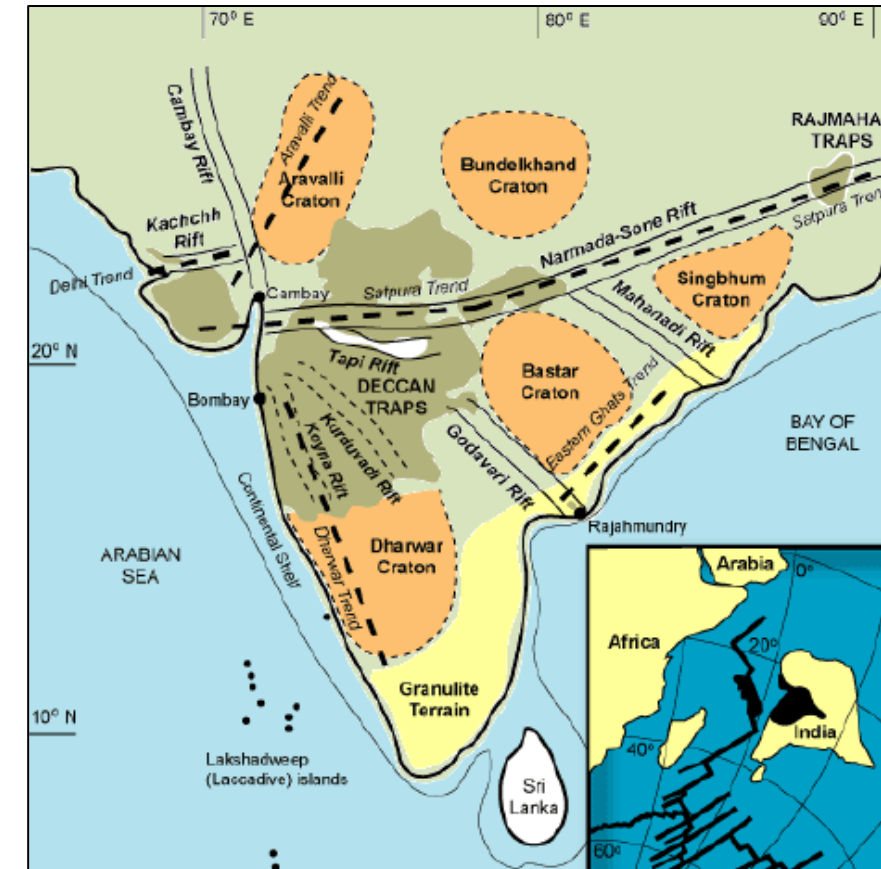
Immagini della Cometa Shoemaker-Levy-9
(21 frammenti; 17 maggio 1994)

5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Altre ipotesi (meno probabili o concomitanti)

2) **Intenso vulcanismo** con eruzioni di enormi volumi di basalti in India, a ridosso del limite K/T che durarono 800.000 anni. Il materiale lavico prodotto forma oggi una grande provincia vulcanica nota come **Trappi del Deccan**.

I Trappi del Deccan sarebbero stati provocati da un'eruzione che avrebbe provocato l'estinzione attraverso le modalità viste per l'estinzione Permiana.



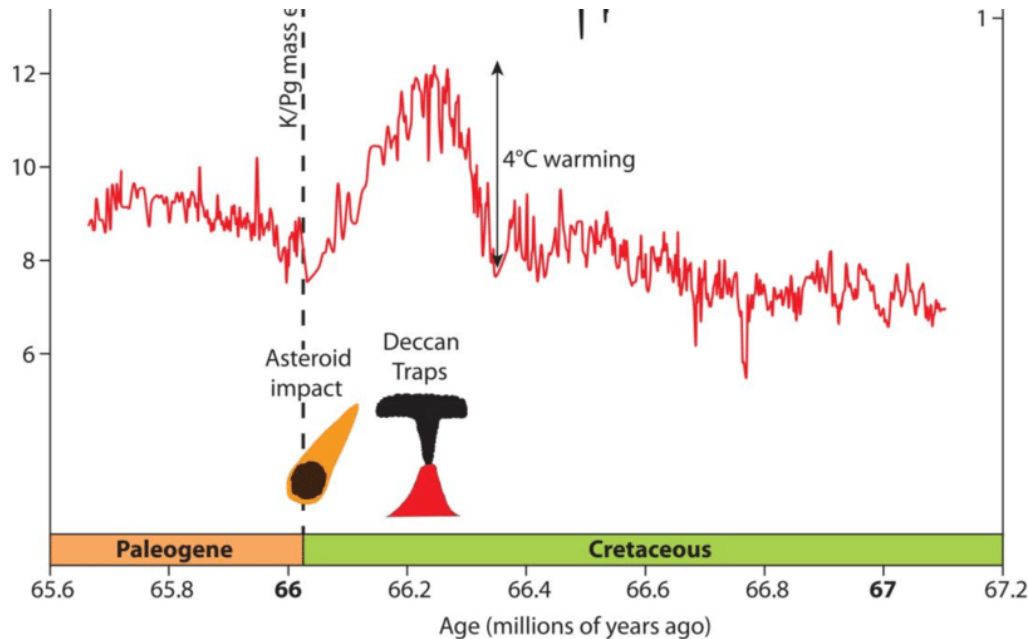
5) Estinzione fine Cretaceo (~66 Ma)

Altre ipotesi (meno probabili o concomitanti)

3) Scenario integrato

Analizzando i vari scenari, le singole cause da sole non sembrano essere state sufficientemente devastanti per causare un'estinzione di tale ampiezza sia in tutti gli ecosistemi marini e terrestri contemporaneamente.

Per questo è stata ipotizzato uno scenario integrato che ipotizza come cause dell'estinzione il susseguirsi casuale di **attività vulcanica** e **l'impatto di asteroide**, nell'arco di pochissimo tempo.



5.3 Rinnovamenti Biologici

