



CORSO DI LAUREA:
SCIENZE BIOLOGICHE

CAMBIAMENTI DI TEMPERATURA ED ESTINZIONI DI MASSA
THRESHOLDS OF TEMPERATURE CHANGE FOR MASS EXTINCTIONS

Tesi di laurea di:
Niccolò Donvito

Docente referente:
Professoressa Emanuela Fanelli

Sessione Straordinaria, Anno Accademico 2020/2021

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico influisce in modo critico sulla biodiversità.

La correlazione tra cambiamenti nella temperatura ed estinzione di specie, tuttavia, non è ancora del tutto chiara.

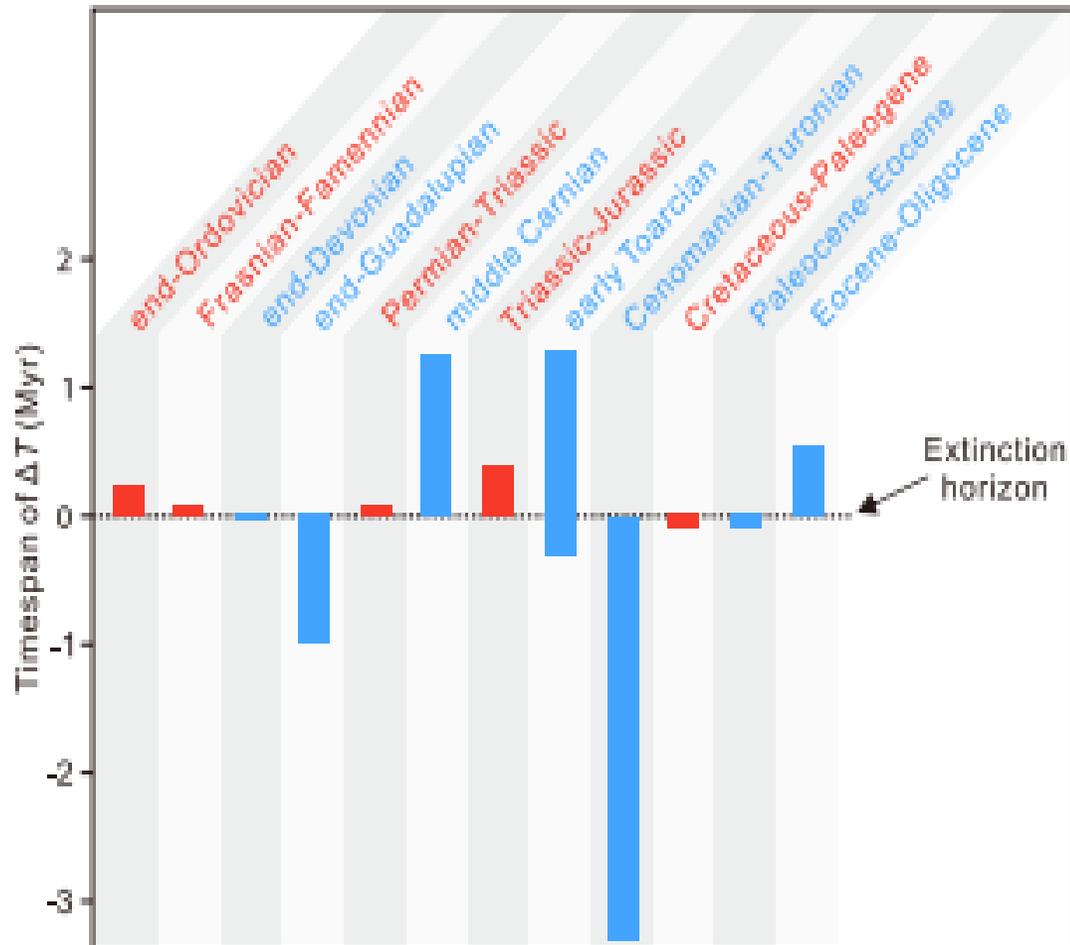
450 milioni di anni fa, si sono succedute 5 grandi estinzioni di massa chiamate « the *BIG 5* ». In ognuno di questi eventi, più del 75% delle specie marine si è estinto.

Analizzando i bruschi cambiamenti climatici, caratterizzati dall'alternanza di riscaldamenti o glaciazioni, ed i tassi di estinzione dei fossili marini, gli autori dell'articolo hanno cercato di verificare se estinzioni di massa ed estinzioni minori sono direttamente o indirettamente correlate al cambiamento di temperatura.

Si è analizzata, ad esempio, l'estinzione di massa permiano-triassica (~252 Ma), la più grande del Fanerozoico.

Tale estinzione si è verificata all'interno di un breve intervallo di ~60.000 anni ed è stata associata al rapido riscaldamento climatico. La coincidenza temporale tra il cambiamento climatico e l'estinzione è chiara. C'è, tuttavia, un basso numero di analisi quantitative che indaga il rapporto preciso tra ampiezze e tassi di variazione della temperatura e le estinzioni che avvennero in questo periodo.

SUDDIVISIONE DEGLI INTERVALLI (BINS)



- Il periodo analizzato parte dal tardo Ordoviciano sino al Miocene. Questo grande lasso di tempo è stato suddiviso in 45 intervalli, approssimativamente uniformi, di circa 10 milioni di anni.
- Sono stati esclusi intervalli privi di eventi, in modo da analizzare finestre temporali limitate, costanti e comparabili, delle quali si possano confrontare i vari avvenimenti.

QUANTIFICAZIONI DEI DATI

I dati della paleotemperatura sono stimati da:
ISOTOPI DELL'OSSIGENO ($\delta^{18}O$), DATI ORGANICI E GEOCHIMICI (TEX_{86}).

Per quantificare le estinzioni in ogni intervallo di tempo, si possono usare due estimatori:

- GAP-FILLER (GF), calcolato usando dati dal *paleobiology database* che include tutti i metazoi esclusi i quattro gruppi terrestri.
- THREE-TIMER (T3), meno efficace in caso di rapidi turn-over o campionamento inefficiente.

I dati usati per ogni intervallo sono selezionati mediante 3 criteri:

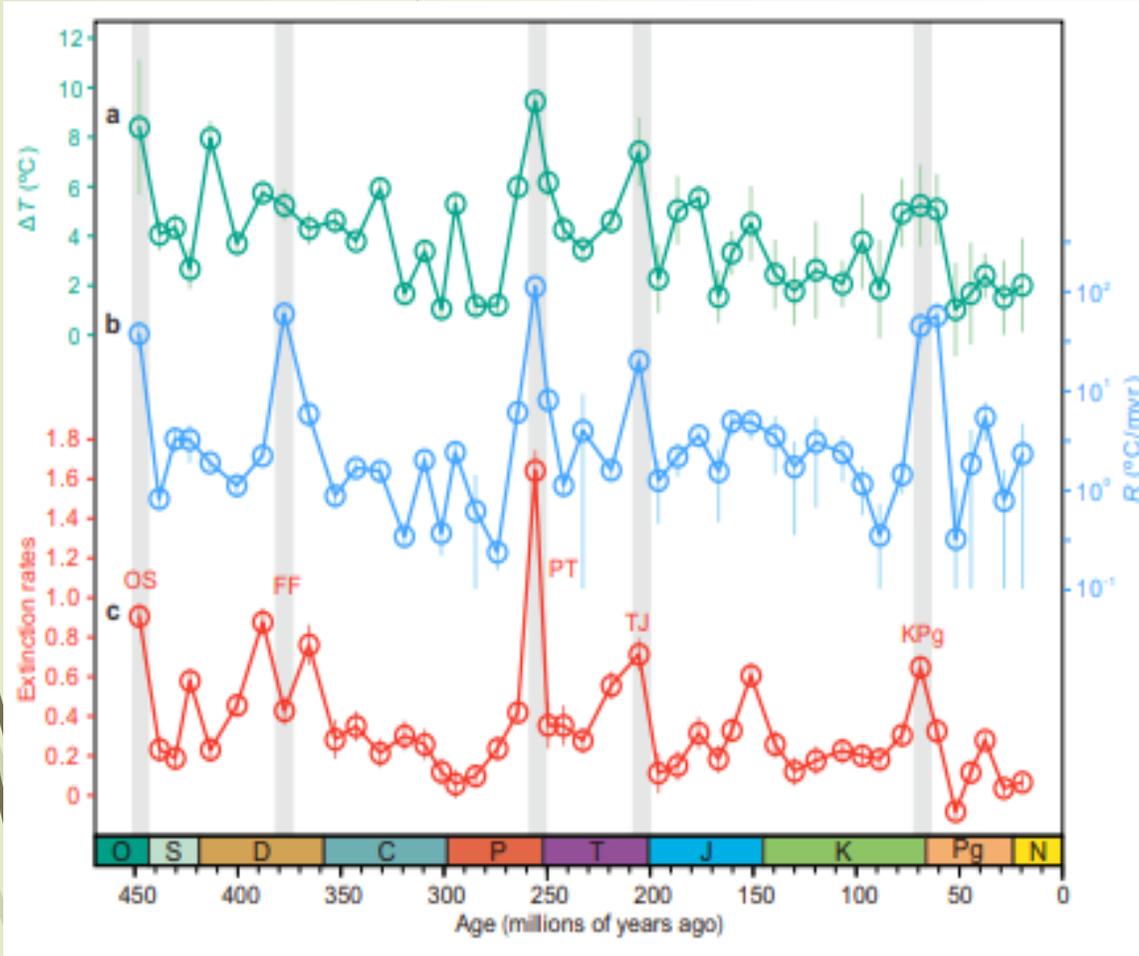
- Alta risoluzione di tempo
- Dati con età ben vincolate
- Dati da regioni tropicali o sub-tropicali.

OSSERVAZIONI

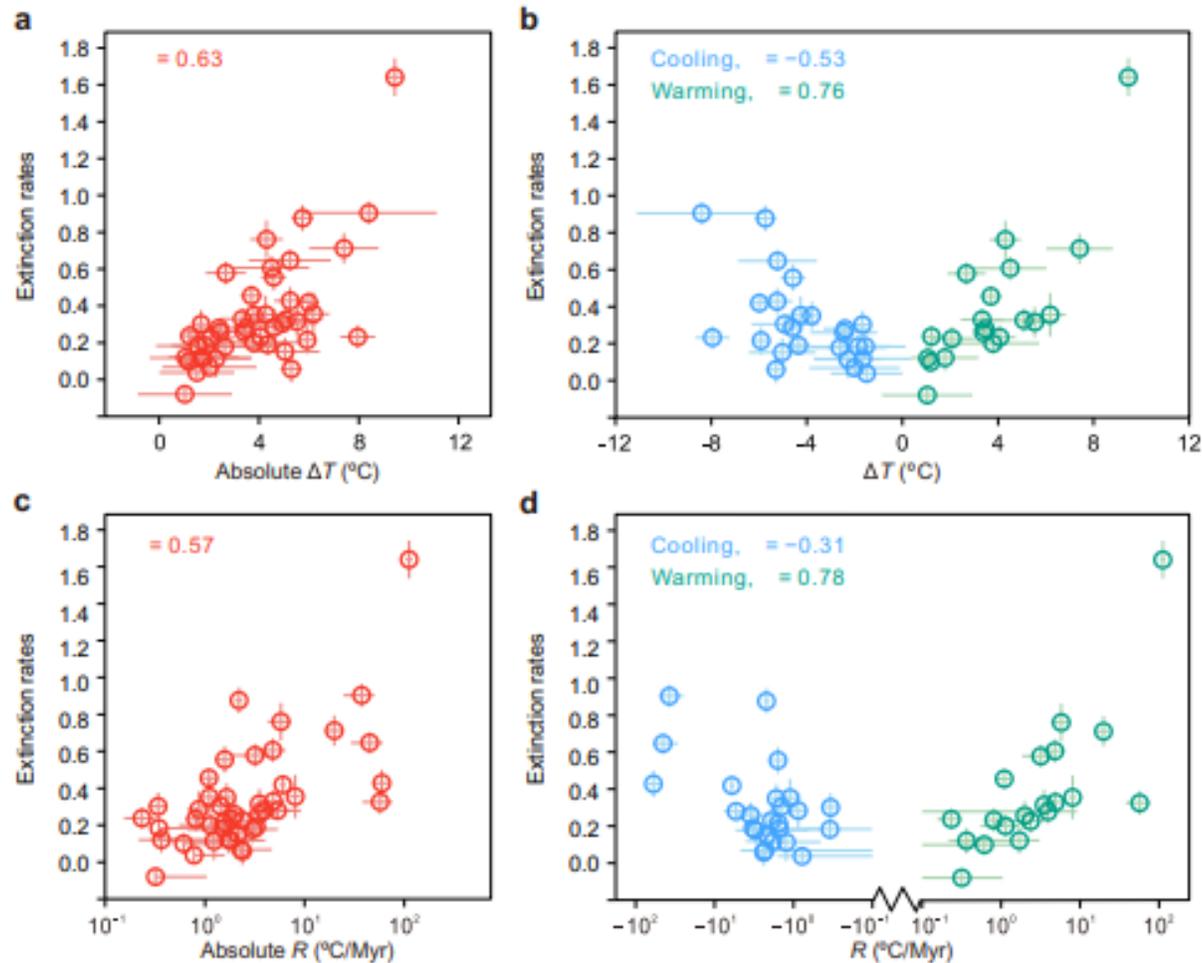
Grazie a questi dati, per ogni intervallo è stata quantificata:

- la variazione di temperatura (ΔT)
 - la velocità di variazione della temperatura (R)
 - la durata (Δt) costante per ogni intervallo
 - il tasso di estinzione (Extinction rate)
- (Il grafico utilizza il metodo gap-filler)

Si riscontra la presenza di picchi sovrapponibili sui 3 grafici.



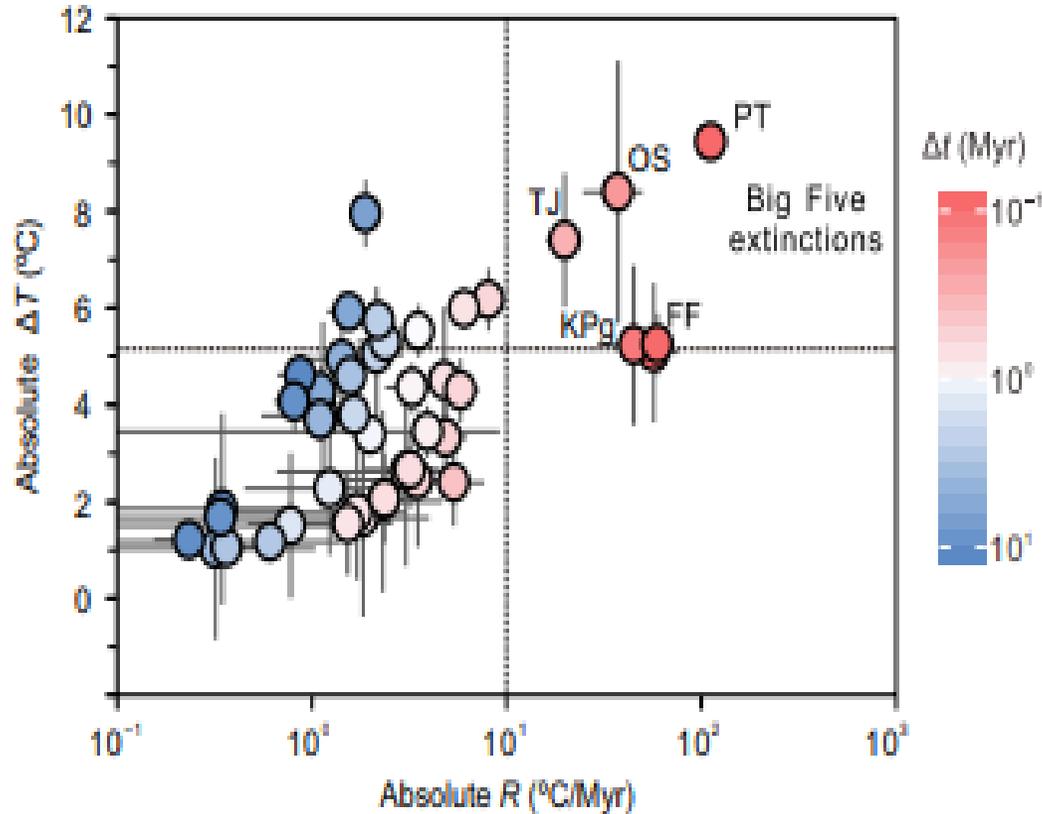
RISULTATI E DISCUSSIONI



I dati visualizzati sul grafico sono correlati anche utilizzando 3T come metodo per calcolare l'estinzione rate.

Nel separare **riscaldamenti** e **glaciazioni** si può notare come la correlazione resti ed il picco di estinzione è più ripido con il riscaldamento. Tuttavia non c'è una differenza significativa tra glaciazioni e riscaldamenti.

RELAZIONE TRA CAMBIAMENTI CLIMATICI ED ESTINZIONI MINORI



- Per testare la relazione tra ΔT ed estinzioni minori, sono state escluse le BIG 5 dai dati e sono state ripetute le analisi. Il ΔT ed il tasso di estinzione restano correlati sia con GF che con 3T, ma la correlazione è significativamente più bassa.
- Si nota, in oltre, che ad eccezione delle BIG 5, solo un evento climatico ha avuto una velocità (R) $> 10^\circ\text{C}/\text{Ma}$. Ciò dimostra che, al di sotto di questo valore soglia, abbiamo un'influenza più debole del ΔT sul tasso di estinzione.
- Si osserva anche che per tutte le BIG 5, il ΔT supera i 5°C .

Si può quindi dedurre che 5°C sia una temperatura limite (associata a $R > 10^\circ\text{C}/\text{Ma}$) al di sopra della quale si osservano estinzioni di pari entità alle BIG 5.

CAMBIAMENTO CLIMATICO E HABITAT

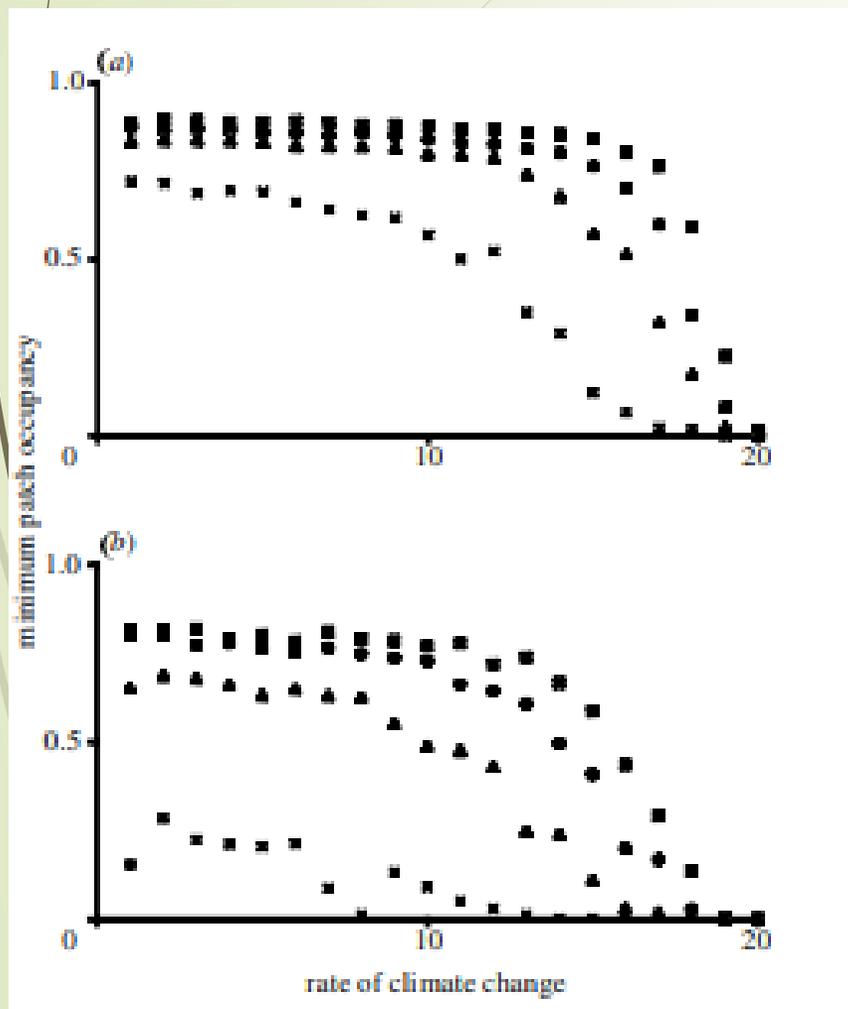
Il cambiamento climatico determina modificazioni nelle interazioni tra specie e rapide variazioni di temperatura che possono causare la perdita di habitat.

Lo studio della perdita dell'habitat è stato possibile grazie alla suddivisione di un ambiente iniziale in una serie di zone. Ad ogni zona è stato assegnato uno dei 5 tipi di habitat. Quindi, dopo aver introdotto differenti specie con caratteristiche proprie all'interno dell'ambiente iniziale, un algoritmo elimina in maniera randomica la percentuale di habitat richiesta. Successivamente è possibile simulare la dinamica di popolazione con il modello di metapopolazione di Levins.

I risultati dello studio dell'influenza della perdita dell'habitat sul tasso di estinzione, rivelano che la perdita dell'habitat riduce notevolmente la capacità di una specie di tenere il passo con il cambiamento climatico. Il valore soglia di variazione della temperatura al di sopra del quale è associata un'estinzione, viene modificato in base all'entità della perdita dell'habitat.

Per valori di velocità del cambiamento climatico superiori al valore critico, la specie non è in grado di mantenere un alto tasso di occupazione delle zone e decade rapidamente.

CAMBIAMENTO CLIMATICO E HABITAT



I risultati dimostrano che una specie sopporta una particolare perdita dell'habitat oppure un'elevata velocità di variazione della temperatura (R) quando queste si verificano separatamente. Qualora questi due fattori dovessero verificarsi contemporaneamente, l'estinzione sarebbe inevitabile.

Il grafico *a*, indica densità di popolazione di un habitat in relazione alla velocità di variazione della temperatura:

- habitat non compromesso
- perdita del 20%
- ▲ perdita del 40%
- × perdita del 60%.

Nel caso del grafico *b*, la specie presa in considerazione dispone del 60% dell'habitat iniziale.

Si noti come il valore soglia della sopravvivenza di una specie si modifichi abbassandosi notevolmente.

L'IMPATTO DELL'UOMO ED ESTINZIONI OGGI

I dati sull'uso intenso dei combustibili fossili e le emissioni di carbonio da parte dell'uomo, oltre al forte impatto sugli ecosistemi marini (che va dal sovrasfruttamento dei mari all'introduzione di specie aliene ed invasive), permettono di prevedere il raggiungimento della temperatura limite per un'estinzione di massa entro il 2100.

Inoltre, il massiccio rilascio di CO₂ causa fenomeni di anossia negli oceani che, unitamente ad una diminuzione della velocità di correnti, può determinare un incremento del tasso di estinzione.

È tuttavia difficile stimare precisamente la portata di un'estinzione oggi e confrontarla con una delle big 5. Questo perché i dati della paleontologia si concentrano principalmente sugli invertebrati marini. Lo stato di conservazione della biodiversità marina oggi, è tristemente sottostimato rispetto agli organismi terrestri. Le enormi differenze tra i campioni per biomi esistenti e biomi fossili, compromettono il confronto, possibile solo a seguito di una normalizzazione dei risultati in funzione del patrimonio di dati a disposizione.

BIBLIOGRAFIA

- Raup, D. M. & Sepkoski, J. J. J. Mass extinctions in the marine fossil record. *Science* 215, 1501–1503 (1982).
- Jablonski, D. & Chaloner, W. G. Historical perspective: extinctions in the fossil record *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 344, 11–17 (1994).
- Stanley, S. M. Estimates of the magnitudes of major marine mass extinctions in earth history. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 113, E6325–E6334 (2016).
- Somero, G. N. The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine 'winners' and 'losers'. *J. Exp. Biol.* 213, 912–920 (2010).
- Foote, M. Pulsed origination and extinction in the marine realm. *Paleobiology* 31, 6–20 (2005).
- Lakin, J. A., Marshall, J. E. A., Troth, I. & Harding, I. C. Greenhouse to icehouse: a biostratigraphic review of latest Devonian–Mississippian glaciations and their global effects. *Geol. Soc., Lond., Spec. Publ.* 423, 439–464 (2016).
- Alroy, J. et al. Effects of sampling standardization on estimates of Phanerozoic marine diversification. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 98, 6261–6266 (2001).
- Song, H., Wignall, P. B., Song, H., Dai, X. & Chu, D. Seawater Temperature and dissolved oxygen over the past 500 million years. *J. Earth Sci.* 30, 236–243 (2019).
- Travis, J. M. J. Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 270, 467–473 (2003).
- O'Neill, B. C. & Oppenheimer, M. Climate change impacts are sensitive to the concentration stabilization path. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 101, 16411–16416 (2004).
- O'Brien, C. L. et al. Cretaceous sea-surface temperature evolution: constraints from TEX86 and planktonic foraminiferal oxygen isotopes. *Earth Sci. Rev.* 172, 224–247 (2017).
- McArthur, J. M. et al. Palaeotemperatures, polar ice-volume, and isotope stratigraphy (Mg/Ca, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$): the early cretaceous (Berriasian, Valanginian, Hauterivian). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 248, 391–430 (2007).
- Foote, M. Origination and extinction components of taxonomic diversity: Paleozoic and post-Paleozoic dynamics. *Paleobiology* 26, 578–605 (2000).

RIASSUNTO

In questa analisi, si intende trattare la correlazione tra cambiamenti di temperatura ed estinzioni di massa in ambiente marino 450 milioni di anni fa.

Dopo aver suddiviso in intervalli di tempo regolari il periodo analizzato, si procede alla misurazione, con differenti estimatori, della paleotemperatura e delle sue variazioni. In maniera analoga alla temperatura, si ricava il tasso di estinzione delle specie marine.

Con i risultati ottenuti si riscontra una correlazione positiva tra i vari parametri analizzati. Analizzando separatamente glaciazioni e riscaldamenti, così come estinzioni di massa ed estinzioni minori, le correlazioni anche se minori risultano significative.

Si ricavano, un valore soglia di variazione di temperatura correlato ad un valore soglia di velocità di variazione di temperatura. Al di sopra di tali valori ci si aspetta un'estinzione di massa di pari entità a quelle verificatesi nel periodo analizzato.

Si prende in considerazione l'impatto del cambiamento climatico sull'habitat marino, osservando come la perdita dell'habitat influenzi il valore soglia per la sopravvivenza di una specie.

In conclusione, in questa analisi si è osservato l'impatto dell'uomo sul cambiamento di temperatura, tracciando una previsione sul raggiungimento di un'estinzione di massa di pari entità a quelle trattate fin ora entro il 2100.