

Programma di ricerca sul record di piattaforma carbonatica delle perturbazioni globali del ciclo del carbonio dalla fine del Triassico al Giurassico medio.

Tutor Mariano Parente

L'archivio geologico della materia organica marina e continentale e dei carbonati marini, è caratterizzato da alcune escursioni negative del rapporto isotopico del carbonio di grande ampiezza e geologicamente brevi (da decine a centinaia di migliaia di anni). Queste escursioni isotopiche sono state interpretate come "brevi" episodi di iniezione di grandi quantità di CO₂ nel sistema atmosfera-oceano (vedere Jenkyns, 2010, per una review). Una grande massa di dati geochemici e paleontologici indica che queste perturbazioni globali del ciclo del carbonio sono sempre associate con cambiamenti climatici rapidi e gravi crisi paleoambientali (Jenkyns, 2003). Questi episodi del passato geologico, causati da un rapido aumento della CO₂ atmosferica per fenomeni naturali, sono di grande interesse in quanto possono servire per testare modelli previsionali dei cambiamenti globali indotti dalla CO₂-antropogenica. Circa un terzo della CO₂ rilasciata nell'atmosfera da sorgenti antropogeniche viene trasferita negli oceani, dove reagisce per formare acido carbonico (Sabine et al., 2004). Di conseguenza, il pH e la saturazione in carbonato di calcio dell'oceano diminuiscono: questo processo è stato chiamato acidificazione dell'oceano (Doney et al., 2009; Raven et al., 2005). Effetti dannosi sugli organismi calcificatori, che usano minerali carbonatici per costruire il proprio guscio protettivo o parti scheletriche interne, sono stati documentati in laboratorio (Fabry et al., 2008) e negli oceani (Hall-Spencer et al., 2008). Tuttavia, a causa dei limiti spazio-temporali delle manipolazioni di laboratorio e delle osservazioni sul campo di comunità di organismi marini, l'impatto di lungo termine sugli ecosistemi marini e il potenziale adattativo della fauna e flora marina possono essere investigati più accuratamente studiando il record geologico di episodi di acidificazione dell'oceano (IPCC, 2011; Hönisch et al., 2012; Zeebe, 2012). Fra gli episodi di perturbazione paleoambientale legati all'aumento della pCO₂ atmosferica, nell'intervallo di tempo geologico considerato in questo progetto, quelli studiati in maggior dettaglio sono l'evento della fine del Triassico e l'evento anossico oceanico del Toarciano inferiore (T-OAE).

La parte finale del Triassico, intorno a 201.7 +/- 0.3 Ma, è stata caratterizzata da tre eventi globali: 1) la messa in posto della Provincia Magmatica dell'Atlantico Centrale (CAMP); 2) l'estinzione di massa della fine del Triassico; 3) una severa perturbazione del ciclo del carbonio (Marzoli et al., 2004; Schoene et al., 2010; Blackburn et al., 2013; Bond & Wignall, 2014; Wotzlaw et al., 2014). Quest'ultima è evidenziata da tre marcate escursioni negative del $\delta^{13}\text{C}$ della materia organica e dei carbonati marini, che indicano un massiccio input di grandi quantità di CO_2 impoverita in ^{13}C (Hesselbo et al., 2002; Ruhl et al., 2011; Dal Corso et al., 2014). Tenuto conto della coincidenza temporale, la messa in posto della sembra la causa più probabile di queste escursioni isotopiche negative (Marzoli et al., 2004; Cirilli et al., 2009; Davies et al., 2017). Negli ambienti marini, l'acidificazione dell'oceano condizionò moltissimo gli organismi a guscio calcareo (Hautmann, 2004; van de Schootbrugge et al., 2007; Kiessling et al., 2009). Una significativa diminuzione della produzione di carbonato è stata registrata nel dominio pelagico e in alcune piattaforme carbonatiche (Greene et al., 2012). Il pattern di estinzione nelle piattaforme subtropicali, che ha riguardato selettivamente gli ipercalcificatori, viene considerato una forte evidenza di acidificazione dell'oceano (Kiessling and Simpson 2011; Hönisch et al., 2012).

Dopo la severa perturbazione dell'intervallo intorno al limite Triassico-Giurassico, il ciclo del carbonio sembra essersi stabilizzato fino al limite Hettangiano-Sinemuriano. La stabilizzazione del ciclo del carbonio sembra essere coincidente con il recupero delle associazioni biologiche di produttori di carbonato. Durante il Giurassico inferiore, le piattaforme carbonatiche dell'Oceano peri-Tetideo subirono significativi cambiamenti nella loro architettura e nella composizione delle associazioni biotiche. A partire dal Pliensbachiano, si sviluppò una prolifica "carbonate factory" dominate da grandi bivalve (i cosiddetti bivalve lithiotidi) ed alghe dasicladali. Secondo Franceschi et al. (2014, 2019), la sostituzione della "carbonate factory" microbale della parte iniziale del Giurassico con questa "carbonate factory" dominata da metazoi, avvenne intorno al limite Sinemuriano-Pliensbachiano, e coincise con una perturbazione globale del ciclo del carbonio.

Successivamente un cambiamento ancora più drammatico delle associazioni biotiche degli ambienti di piattaforma carbonatica avvenne in corrispondenza dell'evento anossico oceanico del Toarciano inferiore (T-OAE; ~183 My). Questo evento, considerato una delle perturbazioni più severe del ciclo del carbonio nell'era Mesozoica, è associato con una escursione negativa molto forte del $\delta^{13}\text{C}$, riscaldamento globale, crisi di biocalcificazione, aumento della produttività primaria (stimolato dall'aumento dei flussi di nutrienti dai continenti e dall'intensificazione dell'upwelling a causa del riscaldamento globale dovuto all'effetto serra (Jenkyns, 2010; Erba, 2004). La documentazione del T-OAE in ambienti di mare basso è frammentaria (Merino-Tomé et al., 2012; Trecalli et al., 2012; Sabatino et al., 2013; Han et al., 2018), ma la selettività dell'estinzione (si veda anche Kiessling and Simpson, 2011) e il brusco passaggio da una produzione di carbonato biotica ad una produzione abiotica, supportano l'ipotesi che la scomparsa degli ipercalcificatori delle piattaforme carbonatiche fu causata dall'acidificazione dell'oceano (Trecalli et al., 2012; Posenato et al., 2018).

Dopo il T-OAE, ulteriori perturbazioni del ciclo globale del carbonio, associate con escursioni negative e positive del $\delta^{13}\text{C}$ deicarbonato marini e della materia organica, sono state registrate intorno al limite Aaleniano-Bajociano (Hesselbo et al., 2003) e Bajociano inferiore (Bodin et al., 2017; Erba et al., 2019). Anche per queste perturbazioni la documentazione negli ambienti di piattaforma carbonatica è molto scarsa e frammentaria.

L'obiettivo principale di questo progetto di ricerca è studiare la risposta delle piattaforme carbonatiche tropicali alle perturbazioni globali del ciclo del carbonio nell'intervallo di tempo che va dalla fine del Triassico al Giurassico medio. In particolare, studieremo i cambiamenti nella composizione della "carbonate factory" ed i cambiamenti nell'abbondanza, diversità e pattern di mineralizzazione nei principali biocalcificatori. Un ulteriore obiettivo è quello di studiare il record di una serie di indicatori geochimici che possono fornire informazioni sulle variazioni di importanti parametri paleoambientali, come la saturazione in carbonato e lo stato di ossidazione

dell'oceano, il timing e l'intensità dell'attività vulcanica, l'intensità del weathering continentale.

Proposta per una borsa di dottorato

Questo progetto è parte di un programma di ricerca più ampio, finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (PRIN2017, coordinatore nazionale Prof. Elisabetta Erba, , Università di Milano), dal titolo "Biota resilience to global change: biomineralization of planktic and benthic calcifiers in the past, present and future"). Il dottorando contribuirà allo studio di successioni di piattaforma carbonatica dell'Appennino meridionale e centrale che coprono gli intervalli stratigrafici indicati nel precedente paragrafo. Per ogni successione, la prima fase del progetto di dottorato comporterà uno studio sedimentologico-stratigrafico basato sull'integrazione dei seguenti dataset: analisi di facies e microfacies; ciclostratigrafia e stratigrafia sequenziale; biostratigrafia; stratigrafia isotopica. Gli isotopi stabili del carbonio (nel carbonato e nella materia organica) e dell'ossigeno saranno analizzati presso laboratori esterni (Università di Bochum e Università di Lausanne) nel quadro di una collaborazione scientifica stabilita durante precedenti progetti di ricerca. Gli isotopi dello stronzio e la concentrazione degli elementi minori e in traccia saranno analizzati nei laboratori di geochimica del Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse dell'Università di Napoli Federico II.

La seconda fase comporterà l'analisi quantitativa della diversità e dell'abbondanza delle associazioni biotiche, con particolare attenzione ai principali biocalcificatori. La terza fase riguarderà lo studio di indicatori geochimici di importanti parametri paleoambientali, fra i quali: il rapporto isotopico dell'Uranio ($\delta^{238}\text{U}$) come indicatore dello stato redox dell'oceano (Romaniello et al., 2013), la concentrazione di Mercurio come indicatore dell'intensità dell'attività vulcanica globale (Percival et al., 2018); il contenuto di Fosforo come indicatore dell'intensità del weathering continentale (Mort et al., 2007). Gli isotopi dell'Uranio saranno analizzati presso l'Arizona State University, nel laboratorio diretto dal Prof. Thomas Algeo, nel quadro di una cooperazione scientifica stabilita per un progetto più ampio che è stato sottomesso per

il finanziamento alla National Science Foundation degli Stati Uniti d'America. Le concentrazioni di Mercurio e di Fosforo saranno analizzate nei laboratori dell'Università di Lausanne. Il dottorando si occuperà della preparazione dei campioni e prenderà parte alla fase di analisi in laboratorio nell'università di Napoli e presso i laboratori esterni citati sopra.

Lavori citati

Blackburn TJ, Olsen PE, Bowring SA, McLean NM, Kent DV, Puffer J, McHone G, Rasbury ET, Et-Touhami M. (2013). Zircon U-Pb geochronology links the end-Triassic extinction with the Central Atlantic Magmatic Province.

Science, 340(6135): 941-5. doi: 10.1126/science.1234204

Bodin, S., Höning, M. R., Krencker, F.-N., Danisch, J., & KABIRI, L. (2017). Neritic carbonate crisis during the Early Bajocian: Divergent responses to a global environmental perturbation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 468, 184–199. <http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.12.017>

Bodin, S., Höning, M. R., Krencker, F.-N., Danisch, J., & KABIRI, L. (2017). Neritic carbonate crisis during the Early Bajocian: Divergent responses to a global environmental perturbation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 468, 184–199. <http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.12.017>

Cirilli, S., Marzoli, A., Tanner, L., Bertrand, H., Buratti, N., Jourdan, F., et al. (2009). Latest Triassic onset of the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) volcanism in the Fundy Basin (Nova Scotia): New stratigraphic constraints. Earth and Planetary Science Letters, 286(3-4), 514–525. <http://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.07.021>

Dal Corso, J., Marzoli, A., Tateo, F., Jenkyns, H. C., Bertrand, H., Youbi, N., et al. (2014). The dawn of CAMP volcanism and its bearing on the end-Triassic carbon cycle disruption. Journal of the Geological Society, 171(2), 153–164. <http://doi.org/10.1144/jgs2013-063>

Davies, J. H. F. L., Marzoli, A., Bertrand, H., Youbi, N., Ernesto, M., & Schaltegger, U. (2017). End-Triassic mass extinction started by intrusive CAMP activity. Nature Communications, 8, 15596. <http://doi.org/10.1038/ncomms15596>

- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science*, 1(1), 169–192. <http://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>
- Erba, E., Gambacorta, G., & Tiepolo, M. (2019). The lower Bajocian Gaetani level: lithostratigraphic marker of a potential oceanic anoxic event. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia (Research in Paleontology and Stratigraphy)*, 125(1), 219–230. <http://doi.org/10.13130/2039-4942/11390>
- Erba, E., 2004. Calcareous nannofossils and Mesozoic oceanic anoxic events. *Mar. Micropaleontol.* 52, 85–106.
- Fabry, V.J., Seibel, B.A., Feely, R.A., Orr, J.C., 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES J. Mar. Sci.* 65, 414–432.
- Franceschi, M., Dal Corso, J., Cobianchi, M., Roghi, G., Penasa, L., Picotti, V., & Preto, N. (2019). Tethyan carbonate platform transformations during the Early Jurassic (Sinemurian–Pliensbachian, Southern Alps): Comparison with the Late Triassic Carnian Pluvial Episode. *Geological Society of America Bulletin*. <http://doi.org/10.1130/B31765.1>
- Franceschi, M., Dal Corso, J., Posenato, R., Roghi, G., Masetti, D., & Jenkyns, H. C. (2014). Early Pliensbachian (Early Jurassic) C-isotope perturbation and the diffusion of the Lithiotis Fauna: Insights from the western Tethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 410, 255–263. <http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.05.025>
- Greene, S. E., Martindale, R. C., Ritterbush, K. A., Bottjer, D. J., Corsetti, F. A., & Berelson, W. M. (2012). Recognising ocean acidification in deep time: An evaluation of the evidence for acidification across the Triassic-Jurassic boundary. *Earth Science Reviews*, 113(1-2), 72–93. <http://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.03.009>
- Hall-Spencer, J.M., Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S., Ransome, E., Fine, M., Turner, S.M., Rowley, S.J., Tedesco, D., Buia, M.-C., 2008. Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature* 454, 96–99.
- Han, Z., Hu, X., Kemp, D. B., & Li, J. (2018). Carbonate-platform response to the Toarcian Oceanic Anoxic Event in the southern hemisphere: Implications for climatic

change and biotic platform demise. *Earth and Planetary Science Letters*, 489, 59–71. <http://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.02.017>

Hautmann, M. (2004). Effect of end-Triassic CO₂ maximum on carbonate sedimentation and marine mass extinction. *Facies*, 50(2). <http://doi.org/10.1007/s10347-004-0020-y>

Hesselbo, S. P., Robinson, S. A., Surlyk, F., & Piasecki, S. (2002). Terrestrial and marine extinction at the Triassic-Jurassic boundary synchronized with major carbon-cycle perturbation: A link to initiation of massive volcanism? *Geology*, 30(3), 251–254. <http://doi.org/10.1130/0091-7613>

Hesselbo, S. P., Bell, H. S. M., McElwain, J. C., Rees, P. M., Robinson, S. A., & Ross, C. E. (2003). Carbon-Cycle Perturbation in the Middle Jurassic and Accompanying Changes in the Terrestrial Paleoenvironment. *The Journal of Geology*, 111(3), 259–276. <http://doi.org/10.1086/373968>

Honisch, B., Ridgwell, A., Schmidt, D. N., Thomas, E., Gibbs, S. J., Sluijs, A., et al. (2012). The geological record of ocean acidification. *Science*, 335(6072), 1058–1063. <http://doi.org/10.1126/science.1208277>

IPCC, 2011. Workshop report of the intergovernmental panel on climate change workshop on impacts of ocean acidification on marine biology and ecosystems. Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Mastrandrea, M.D., Tignor, M., Ebi, K.L. (Eds.), IPCC Working Group II Technical Support Unit, Carnegie Institution, Stanford, California, United States of America, p. 164.

Jenkyns, H.C., 2003. Evidence for rapid climate change in the Mesozoic–Palaeogene greenhouse world. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A* 361, 1885–1916.

Jenkyns, H.C., 2010. Geochemistry of oceanic anoxic events. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11, Q03004, <http://dx.doi.org/10.1029/2009GC002788>.

Kiessling, W., Simpson, C., 2011. On the potential for ocean acidification to be a general cause of ancient reef crises. *Global Change Biol.* 17, 56–67.

Kiessling, W., Roniewicz, E., Villier, L., Léonide, P., & Struck, U. (2009). An Early Hettangian Coral Reef in Southern France: Implications for the End-Triassic Reef Crisis. *Palaios*, 24, 657–671. <http://doi.org/10.2110/palo.2009.p09-030r>

Marzoli, A., Bertrand, H., Knight, K.B., Cirilli, S., V erati, C., Nomade, S., Martini, R., Youbi, N., Allenbach, K., Neuwerth, R., Buratti, N., Rapaille, C., Zaninetti, L., Bellieni, G., Renne, P.L., 2004. Synchrony of the Central Atlantic magmatic province and the Triassic–Jurassic boundary climatic and biotic crisis. *Geology* 32, 973–976.

Merino-Tom e, O., Della Porta, G., Kenter, J.A., Verwer, K., Harris, P.M., Adams, E.W., Playton, T., Corrochano, D., 2012. Sequence development in an isolated carbonate platform (Lower Jurassic, Djebel Bou Dahar, High Atlas, Morocco): influence of tectonics, eustacy and carbonate production. *Sedimentology* 59, 118–155.

Mort, H. P., Adatte, T., Follmi, K. B., Keller, G., Steinmann, P., Matera, V., et al. (2007). Phosphorus and the roles of productivity and nutrient recycling during oceanic anoxic event 2. *Geology*, 35(6), 483. <http://doi.org/10.1130/G23475A.1>

Percival, L. M. E., Jenkyns, H. C., Mather, T. A., Dickson, A. J., Batenburg, S. J., Ruhl, M., et al. (2018). Does Large Igneous Province Volcanism Always Perturb the Mercury Cycle? Comparing the Records of Oceanic Anoxic Event 2 and the End-Cretaceous to Other Mesozoic Events. *American Journal of Science*, 318(8), 799–860. <http://doi.org/10.2475/08.2018.01>

Posenato, R., Bassi, D., Trecalli, A., & Parente, M. (2017). Taphonomy and evolution of Lower Jurassic lithiotid bivalve accumulations in the Apennine Carbonate Platform (southern Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 489, 261–271. <http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.10.017>

Raven, J., Caldeira, K., Elderfield, H., Hoegh-Guldberg, O., Liss, P., et al., 2005. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Policy Document 12/05. The Royal Society, London, 57 pp.

Romaniello, S. J., Herrmann, A. D., & Anbar, A. D. (2013). Uranium concentrations and ²³⁸U/²³⁵U isotope ratios in modern carbonates from the Bahamas: Assessing a novel paleoredox proxy. *Chemical Geology*, 362, 305–316. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.10.002>

Ruhl, M., Bonis, N. R., Reichart, G. J., Damste, J. S. S., & K urschner, W. M. (2011). Atmospheric Carbon Injection Linked to End-Triassic Mass Extinction. *Science*, 333(6041), 430–434. <http://doi.org/10.1126/science.1204255>

- Sabatino, N., Vlahović, I., Jenkyns, H. C., Scopelliti, G., Neri, R., Prtoljan, B., & Velić, I. (2013). Carbon-isotope record and palaeoenvironmental changes during the early Toarcian oceanic anoxic event in shallow-marine carbonates of the Adriatic Carbonate Platform in Croatia. *Geological Magazine*, 150(06), 1085–1102. <http://doi.org/10.1017/S0016756813000083>
- Sabine, C.L., Feely, R.A., Gruber, N., Key, R.M., Lee, K., Bullister, J.L., Wanninkhof, R., Wong, C.S., Wallace, D.W.R., Tilbrook, B., Millero, F.J., Peng, T.-H., Kozyr, A., Ono, T., Rios, A.F., 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science* 305, 367–371.
- Schoene, B., Guex, J., Bartolini, A., Schaltegger, U., & Blackburn, T. J. (2010). Correlating the end-Triassic mass extinction and flood basalt volcanism at the 100 ka level. *Geology*, 38(5), 387–390. <http://doi.org/10.1130/G30683.1>
- Trecalli, A., Spangenberg, J., Adatte, T., Follmi, K. B., & Parente, M. (2012). Carbonate platform evidence of ocean acidification at the onset of the early Toarcian oceanic anoxic event. *Earth and Planetary Science Letters*, 357–358, 214–225. <http://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.09.043>
- van de Schootbrugge, B., Tremolada, F., Rosenthal, Y., Bailey, T. R., Feist-Burkhardt, S., Brinkhuis, H., et al. (2007). End-Triassic calcification crisis and blooms of organic-walled “disaster species.” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 244(1–4), 126–141. <http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.06.026>
- Wotzlaw, J. F., Guex, J., Bartolini, A., Gallet, Y., Krystyn, L., McRoberts, C. A., et al. (2014). Towards accurate numerical calibration of the Late Triassic: High-precision U-Pb geochronology constraints on the duration of the Rhaetian. *Geology*. <http://doi.org/10.1130/G35612.1>
- Zeebe, R.E., 2012. History of seawater carbonate chemistry, atmospheric CO₂, and ocean acidification. *Annual Rev. Earth Planet. Sci.* 40, 141–165.

Progetti

Responsabile dell'unità di ricerca dell'Università degli Studi di Napoli Federico II nell'ambito del progetto PRIN 2017 “Biota resilience to global change: biomineralization of planktic and benthic calcifiers in the past, present and future”; coordinatore nazionale: Elisabetta Erba, Università di Milano. Durata: 36 mesi. Importo cofinanziato per l'unità di Napoli: circa 80000 €