

R. GUASTELLA¹, A. MARCHINI¹, J. EVANS², A. CARUSO³, L. LANGONE⁴,
R. LECCI⁵, N. MANCINI¹

¹Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università di Pavia, Italia.

²Department of Biology, University of Malta, Malta.

³DISTEM, Università di Palermo, Italia.

⁴ISP-CNR, Bologna, Italia.

⁵CMCC, Lecce, Italia.

agnese.marchini@unipv.it

L'INVASIONE DI AMPHISTEGINA LOBIFERA (FORAMINIFERA) "SULL'ONDA" DEL RISCALDAMENTO DEL MAR MEDITERRANEO

THE INVASION OF AMPHISTEGINA LOBIFERA (FORAMINIFERA) "ON THE WAVE" OF THE MEDITERRANEAN SEA WARMING

Abstract - The benthic foraminifer *Amphistegina lobifera* Larsen, 1976, a non-indigenous unicellular species coming from the Red Sea through the Suez Canal, is currently well-established and abundant in the Maltese Islands (Central Mediterranean), where it was recorded for the first time in 2006. Here, we backdate of several decades its first arrival, from the analysis of two sediment cores collected in the Marsamxett Harbour, Malta. Results show that *A. lobifera* had already occurred in Malta in the 1940s with considerable implications for previous hypothesis of its spreading patterns and rates. Nonetheless the species occurred with low abundance until 1990, when it sharply increased in abundance. We suggest that this abundance pattern has been favoured by the rising sea-surface temperature experienced by the Mediterranean Sea during the last decades.

Key-words: benthic Foraminifera, non-indigenous species, radiometric dating, global warming, Mediterranean Sea.

Introduzione - A seguito della realizzazione del Canale di Suez nel 1869, il Mar Mediterraneo è andato incontro ad un progressivo processo di colonizzazione da parte di specie indo-pacifiche provenienti dal Mar Rosso. Un microorganismo marino particolarmente invasivo è *Amphistegina lobifera* Larsen, 1976, un foraminifero bentonico (Protista) che ad oggi risulta essere estremamente diffuso ed abbondante nel Mediterraneo Orientale (Langer *et al.*, 2012). Negli ultimi decenni *A. lobifera* è stata segnalata anche nel Mediterraneo Centrale, dove uno dei primi rinvenimenti è avvenuto nelle isole maltesi nel 2006 (Yokes *et al.*, 2007). Oggi questa specie aliena delle dimensioni di un granello di sabbia è presente con elevate abbondanze in tutto l'arcipelago (Guastella *et al.*, 2019) ed è probabile che la sua prima reale comparsa nell'area risalga a ben prima del 2006. Lo scopo di questo studio è quello di datare il primo effettivo arrivo di *A. lobifera* a Malta e di ricostruire nel tempo il suo processo di invasione, valutando se l'incremento della temperatura superficiale (SST) del Mar Mediterraneo, registrato soprattutto negli ultimi 30 anni, ha favorito la sua crescente abbondanza e diffusione. Le informazioni qui descritte sono state ricavate dallo studio multidisciplinare di due carote di sedimento, vincolate cronologicamente attraverso analisi radiometriche e analizzate nel loro contenuto micropaleontologico.

Materiali e metodi - Dopo un'accurata scelta del sito di campionamento, le due carote di sedimento sono state prelevate a maggio 2018 e settembre 2019, nel porto di Marsamxett, Malta (Lat. 35°54'16.7"N; Long. 14°30'27.5"E), a pochi metri di distanza l'una dall'altra ed a una batimetria, rispettivamente, di 16 m e 17 m (CORE18; CORE19). Le due carote sono state tagliate longitudinalmente in due metà e poi sezionate centimetro per centimetro. Tutti i campioni sono stati preparati per le analisi:

granulometrica, radiometrica e micropaleontologica. Per l'analisi granulometrica è stata applicata la metodologia descritta da Blott e Pye (2012) ottenendo pesi percentuali della frazione ghiaiosa, sabbiosa e pelitica di ciascun campione. I dati granulometrici sono stati utilizzati per valutare la continuità dei record analizzati e la presenza di sedimento fine utile per la datazione radiometrica. Per l'analisi micropaleontologica, i campioni di sedimento sono stati asciugati, pesati (circa 7 g) ed infine lavati su un setaccio di 63 μm ; i residui sono stati analizzati allo stereomicroscopio, al fine di ottenere l'abbondanza assoluta di *Amphistegina lobifera* (numero di individui per grammo di sedimento secco, Ng^{-1}). Le analisi radiometriche sono state eseguite tramite la misurazione delle concentrazioni dell'isotopo ^{210}Pb , che presenta un'emivita di 22,3 anni, e dell'isotopo figlio ^{210}Po , considerando un equilibrio secolare tra i due. I tassi di sedimentazione sono stati calcolati seguendo il modello di Flusso/Sedimentazione costanti (Robbins, 1978). Infine, è stata presa in considerazione la temperatura superficiale del mare (SST) simulata dalle analisi del Mar Mediterraneo [ref. MEDSEA_REANALYSIS_PHY_006_009, ris. spaziale $\sim 6\text{km}$] e disponibile come medie mensili per l'intervallo temporale 1955-2015. È stata sotto-campionata ed analizzata la temperatura alla profondità di 15 m per il punto griglia del modello più prossimo al sito di campionamento delle carote [Lat. $35^{\circ}56'15''\text{N}$; Long. $14^{\circ}30'0''\text{E}$]. A partire dai dati di SST a disposizione, sono state calcolate le medie annuali e le medie invernali considerando i mesi di gennaio, febbraio e marzo.

Risultati - In entrambe le carote (CORE18 e CORE19), i record sono risultati continui e con sedimenti fini adatti alla datazione radiometrica. Le curve di concentrazione del ^{210}Pb mostrano il tipico profilo decrescente con la profondità (Fig. 1). Il tasso di accumulo dei sedimenti (*sediment accumulation rate* - SAR) risulta costante ed è pari a circa 0,22 cm all'anno; il modello di età che ne deriva indica che ciascun centimetro di sedimento depositato corrisponde ad un intervallo temporale di circa 4,5 anni (Fig. 1). Anche le curve di abbondanza assoluta di *A. lobifera* mostrano un andamento decrescente andando in profondità nella carota. La specie è continuamente presente dal cm 0-1 fino al cm 16-17 sotto il fondale marino (*below sea floor* - bsf). Nella porzione superiore delle carote, a partire dal cm 6-7 bsf, *A. lobifera* aumenta esponenzialmente in abbondanza con un picco al cm 2-3 bsf. Sulla base del modello di età risulta che la prima comparsa di *A. lobifera* nel sito indagato è avvenuta negli anni '40 del Novecento. Durante i primi decenni della sua colonizzazione e fino agli anni '80, sebbene presente con continuità, *A. lobifera* mostra un numero di individui estremamente basso. A partire dagli anni '90, invece, questa specie non-indigena aumenta sempre più rapidamente in abbondanza, registrando il suo picco tra il 2005 ed il 2010, proprio quando è stata segnalata da Yokes *et al.* (2007) per la prima volta nell'arcipelago maltese. Poiché *A. lobifera* è una specie termofila di origine indo-pacifica, il fattore che probabilmente ne controlla la distribuzione ed abbondanza in Mediterraneo è la temperatura delle acque superficiali (Langer *et al.*, 2012). La correlazione di Spearman tra i valori di abbondanza assoluta di *A. lobifera* e quelli di SST misurata nei pressi del sito di campionamento, calcolata sia come media annuale, sia come media invernale, rivelano in entrambe le carote analizzate una stretta relazione, altamente significativa, tra le due variabili (Tab. 1).

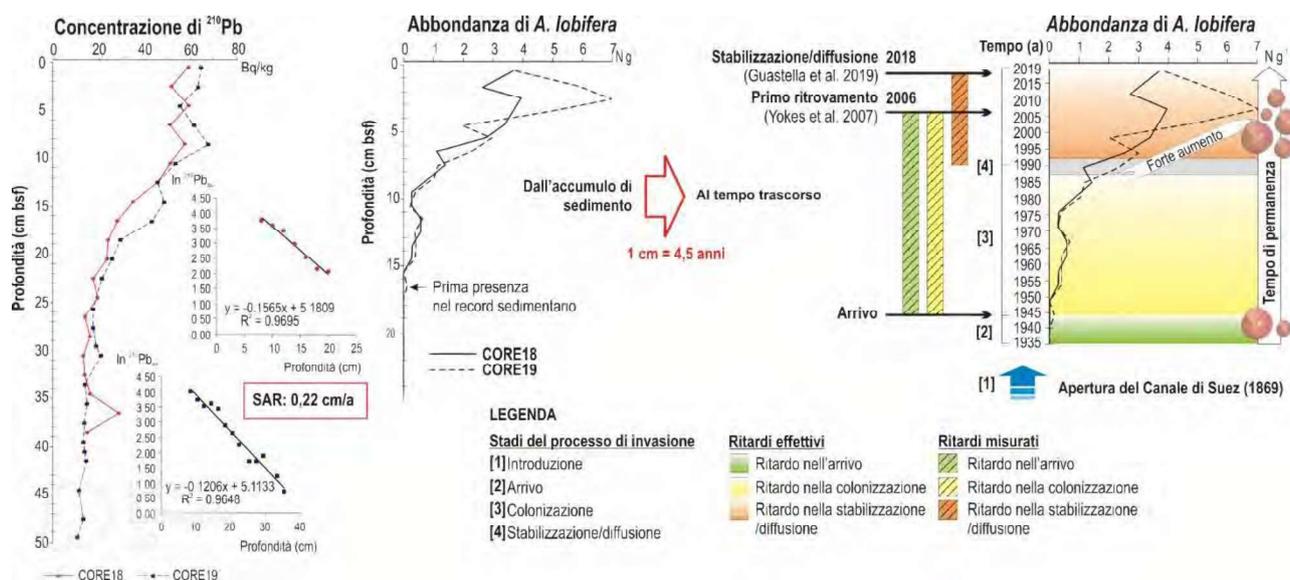


Fig. 1 - Curve della concentrazione di ^{210}Pb e di abbondanza assoluta di *A. lobifera* lungo le carote studiate espresse in profondità. A destra, schema con le diverse fasi d'invasione e i ritardi effettivi e misurati datati in anni. Si noti come il primo ritrovamento segnalato da Yokes *et al.* nel 2006 sia avvenuto con un ritardo di circa 60 anni rispetto all'effettivo primo arrivo nell'area.
*Curves of ^{210}Pb concentration and absolute abundance of *A. lobifera* along the studied records reported in depth. On the right, scheme of the different steps of invasion and the actual and measured lag times dated in years. It is noteworthy that the first finding documented by Yokes et al. in 2006 occurred with a lag time of about 60 years.*

Tab. 1 - Correlazione tra abbondanze assolute di *A. lobifera* e valori di SST media annuale e SST media invernale, calcolata come coefficiente di Spearman (r).
*Correlation between absolute abundances of *A. lobifera* and average annual and winter SST, calculated with Spearman's coefficients (r).*

Coefficienti di Spearman	SST – media annuale		SST – Media invernale	
	r	p	r	p
CORE18	0,74556	0,00221	0,78406	0,0009
CORE19	0,84846	0,00013	0,80876	0,00046

In particolare, nell'intervallo in cui *A. lobifera* comincia nettamente ad aumentare, ovvero tra gli anni '80 e gli anni '90, anche la SST annuale media aumenta progressivamente, portando a registrare oggi un incremento complessivo medio di circa 1 °C. Questa correlazione è supportata dagli elevati valori dei coefficienti di Spearman (0,75 in CORE18 e 0,85 in CORE19). La correlazione positiva è ancor più marcata, con valori di r_s rispettivamente di 0,78 e 0,81 nelle due carote, se si confronta l'incremento in abbondanza assoluta di *A. lobifera* con i valori di SST della stagione invernale. Basandosi quindi sull'ipotesi che a limitare l'aumento e l'espansione geografica di *A. lobifera* in Mediterraneo sia soprattutto l'isoterma invernale 14 °C (Langer *et al.*, 2012 e referenze al suo interno), si può ragionevolmente affermare che il progressivo aumento della SST avvenuto durante gli ultimi 30 anni, soprattutto nella stagione invernale, abbia aperto le porte del Mediterraneo Centrale a questa specie non-indigena.

Conclusioni - L'analisi di carote di sedimento datate radiometricamente ha permesso di retrodatare di oltre 60 anni il primo arrivo della specie non-indigena *Amphistegina lobifera* nel porto di Marsamxett (Malta), rispetto alla prima segnalazione nell'arcipelago maltese avvenuta nel 2006 (Yokes *et al.*, 2007). L'andamento delle abbondanze di *A. lobifera* segue con buona corrispondenza quello della temperatura delle acque superficiali: la specie ha infatti iniziato ad aumentare a partire dagli anni '90, momento in cui anche la SST del Mediterraneo ha raggiunto valori di quasi 1 °C superiori rispetto a quelli registrati nei decenni precedenti. I nostri risultati suggeriscono quindi che il processo di colonizzazione del Mediterraneo da parte di questa specie indo-Pacificca stia effettivamente seguendo il cambiamento climatico attualmente in corso. L'approccio micropaleontologico e paleontologico in generale, ancora molto poco utilizzato in biologia marina, risulta di fatto estremamente utile se applicato allo studio della colonizzazione di specie non-indigene di dimensioni ridotte che producono resti mineralizzati facilmente conservabili nei sedimenti (Albano *et al.*, 2021). I foraminiferi e altri protisti possono sfuggire all'occhio umano e passare inosservati per decenni fino a che la loro colonizzazione è talmente avanzata da causare danni all'ambiente invasivo. L'analisi di carote di sedimento consente non solo d'indagarne la storia dell'invasione in continuità temporale fin dal primo arrivo, ma consente anche di effettuare dei confronti diretti con alcuni dei parametri controllanti le dinamiche d'invasione, come la temperatura marina superficiale.

Bibliografia

- ALBANO P.G., STEGER J., BOŠNJAK M., DUNNE B., GUIFARRO Z., TURAPOVA E., HUA Q., KAUFMAN D.S., RILOV G., ZUSCHIN M. (2021) - Native biodiversity collapse in the eastern Mediterranean. *Proc. R. Soc. B*, **288**: 20202469.
- BLOTT S.J., PYE K. (2012) - Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: review and recommended procedures. *Sedimentology*, **59** (7): 2071-2096.
- GUASTELLA R., MARCHINI A., CARUSO A., COSENTINO C., EVANS J., WEINMANN A.E., LANGER M.R., MANCIN N. (2019) - "Hidden invaders" conquer the Sicily Channel and knock on the door of the Western Mediterranean Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **225**: 106234.
- LANGER M.R., WEINMANN A.E., LÖTTERS S., RÖDDER D. (2012) - "Strangers" in paradise: modelling the biogeographic range expansion of the foraminifera *Amphistegina* in the Mediterranean Sea. *J. Foramin. Res.*, **42** (3): 234-244.
- ROBBINS J.A. (1978) - Geochemical and geophysical applications of radioactive lead. In: Nriagu J.O. (ed), *Biogeochemistry of lead in the environment*. Elsevier Scientific, Amsterdam: 285-393.
- YOKES M.B., MERIC E., AVSAR N. (2007) - On the presence of alien foraminifera *Amphistegina lobifera* Larsen on the coasts of the Maltese Islands. *Aquat. Invasions*, **2** (4): 439-441.