

### 3.2 Studio di metacomunità: confronto tra le diverse comunità coralline

Per rappresentare graficamente le differenti traiettorie di recupero dei coral reef nel tempo è stata effettuata un'analisi di metacomunità. Sono stati considerati separatamente i reef oceanici dai reef lagunari, in quanto le due categorie di scogliere coralline hanno sempre seguito traiettorie di recupero differenti.

Gli anni di studio sono stati raggruppati in: pre 1°bleaching, post 1°bleaching, 1°recovery, post 2°bleaching e 2°recovery. Non tutti i siti indagati possiedono dati per ogni categoria temporale. Sono stati creati grafici isometrici (nm)MDS in cui ciò che è importante è la posizione reciproca dei campioni che rappresentano i diversi siti lagunari (Fig.211) e oceanici (Fig.212) nei periodi temporali definiti precedentemente. Emboodhoo House Reef e Velidhoodhigaa, siti lagunari appartenenti all'atollo di Ari sono vicini in entrambe le categorie temporali. Questo non è evidenziabile per i siti lagunari (Alimathà e Dhiggaluvashee Kuda Kandu Etere) presenti nell'atollo di Felidhoo. Inoltre, si nota come il sito Villivaru Kuda Giri sembra avere una traiettoria che ritorna allo stato iniziale, ma, in realtà, lo stato iniziale è rappresentato dagli anni post 1°bleaching e questo sta a significare che il reef, a seguito della seconda anomalia termica, non ha recuperato.

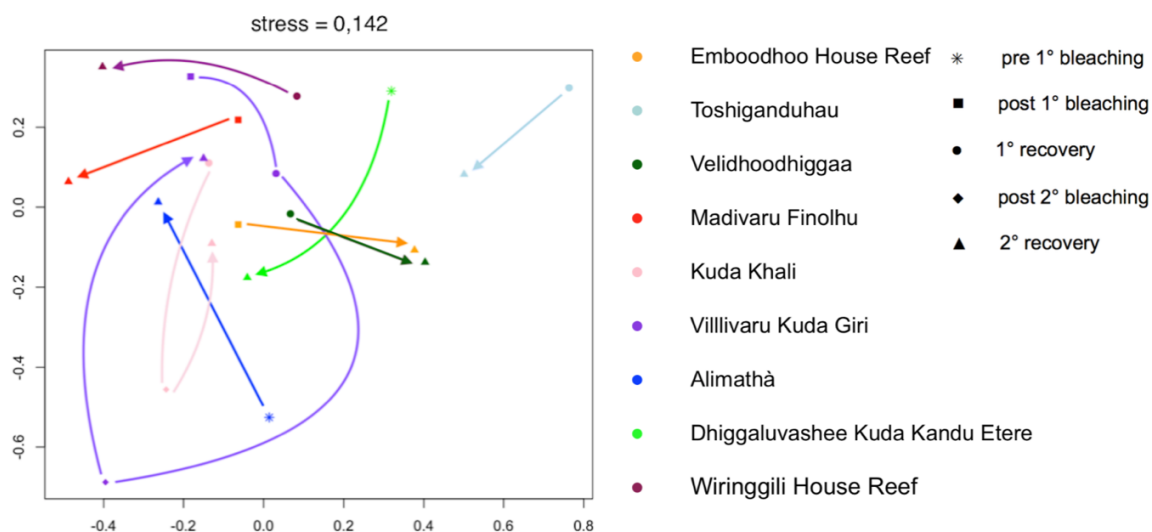


Figura 211: MDS dei reef lagunari in cui gli anni di indagine sono stati suddivisi in 5 periodi temporali.

Nel grafico (Fig.212) si nota come il sito Madivaru Kandu, presente nell'atollo di Rasdhoo, sia mutato in questi 25 anni di studio: le traiettorie di cambiamento hanno condotto il sito ad una posizione differente rispetto a quella pre 1°bleaching, confermando l'avvenuta di un *phase-shift*. In generale, si può affermare che ogni reef risulta recuperare ed evolvere diversamente dagli altri: non si riscontrano regolarità nelle traiettorie di cambiamento o nelle posizioni nel piano dei diversi reef, nei medesimi periodi temporali. Questo suggerisce che la metacomunità sembra essere sconnessa e che ogni sito è localmente diverso dagli altri.

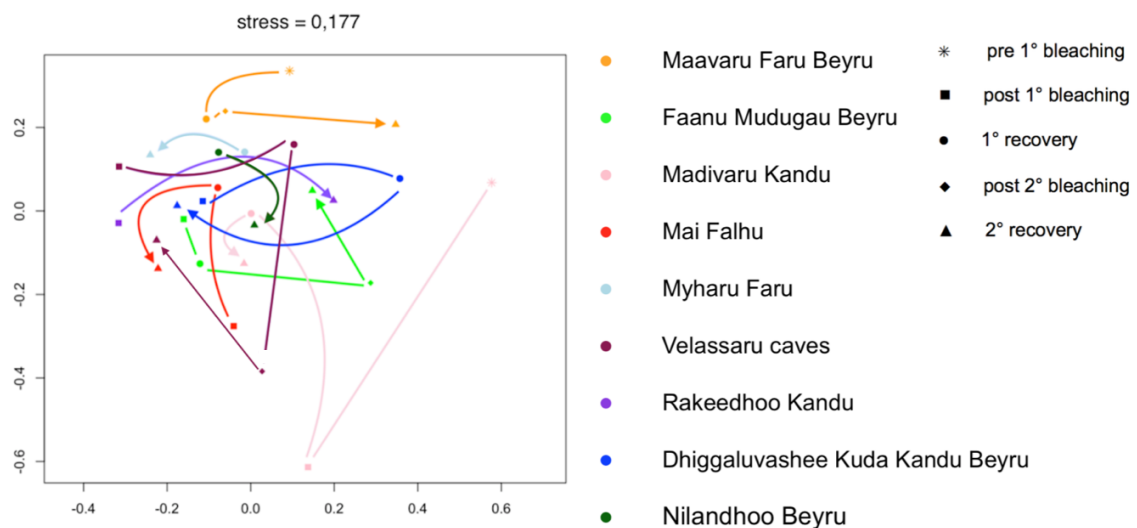


Figura 212: MDS dei reef oceanici in cui gli anni di indagine sono stati suddivisi in 5 periodi temporali.

Nel grafico in Figura 213 si possono osservare le traiettorie di cambiamento di ogni sito lagunare definite calcolando le distanze euclidee. Ogni traiettoria di cambiamento risulta coerente con la storia del reef corrispondente, descritta nel capitolo precedente. È stata poi definita la retta tra il primo anno di indagine e l'ultimo (Fig.217) e se ne è calcolato il coefficiente angolare (Fig.214) per definire quale sito abbia subito un maggior cambiamento nella comunità corallina. Si osserva come, ogni sito, ad eccezione di Villivaru Kuda Giri (Fig.217g), sia cambiato nei diversi anni. Villivaru Kuda Giri in realtà non risulta mutato poiché, a seguito dello sbiancamento del 1998, non ha mai più recuperato. La stessa analisi è stata effettuata e rappresentata graficamente per i siti oceanici (Fig.215). Anche in questo caso si osserva come la traiettoria di

cambiamento di ogni coral reef sia in accordo con la sua storia. Come per i reef lagunari, è stata definita la retta tra il primo anno di indagine e l'ultimo (Fig.218) e se ne è calcolato il coefficiente angolare (Fig.216).

Molti siti, tuttavia, possiedono un coefficiente angolare elevato poiché i primi anni di indagine corrispondono ai primi anni 2000, periodo in cui tutte le scogliere coralline risultavano devastate dall'anomalia termica del 1998; pertanto, il solo recupero della comunità corallina fa aumentare il coefficiente della retta, indipendentemente dal fatto che vi sia stato o meno un *phase-shift*. Eboodhoohuse House Reef (Fig.217a), Madivaru Finolhu (Fig.217d), Faanu Mudugau Beyru (Fig.218a) e Velassaru caves (Fig.218f) ne sono un esempio. I siti Villivaru Kuda Giri (Fig.217g) e Kuda Khali (Fig.217e) mostrano come l'evento di bleaching del 2016 abbia influito notevolmente sulla comunità corallina: la pendenza del segmento tra il 2015 e il 2016 per entrambi i siti risulta essere molto elevata. Al contrario, la traiettoria di cambiamento del sito oceanico Maavaru Faru Beyru (Fig.218b) conferma l'ipotesi che questo sito non abbia subito gli eventi di distruzione a seguito dell'anomalia termica del 2016, poiché il segmento tra 2012 e 2017 non risulta avere una pendenza elevata. Il sito Toshiganduhau (Fig.217b), possiede un coefficiente angolare di 0,019 (Fig.214) e questo significa che tra il 2012 e il 2021 la composizione della scogliera corallina non risulta differente e il recupero, a seguito delle anomalie termiche, è avvenuto e sta avvenendo con la dominanza degli stessi descrittori ecologici. Madivaru Kanduru (Fig.218c) possiede un coefficiente angolare della retta tra il primo e l'ultimo anno di indagine elevato, pari a 0,032; questo conferma l'avvenuta di un *phase-shift* tra il 1997 e il 2021.

I siti lagunari che hanno subito un cambiamento di fase e possiedono un coefficiente angolare molto elevato sono Dhiggaluvashsee Kuda Kanduru Etere (Fig.217i) e Wiringgili House Reef (Fig.217f), che possiede un coefficiente di  $\sim 0,08$  (Fig.214).

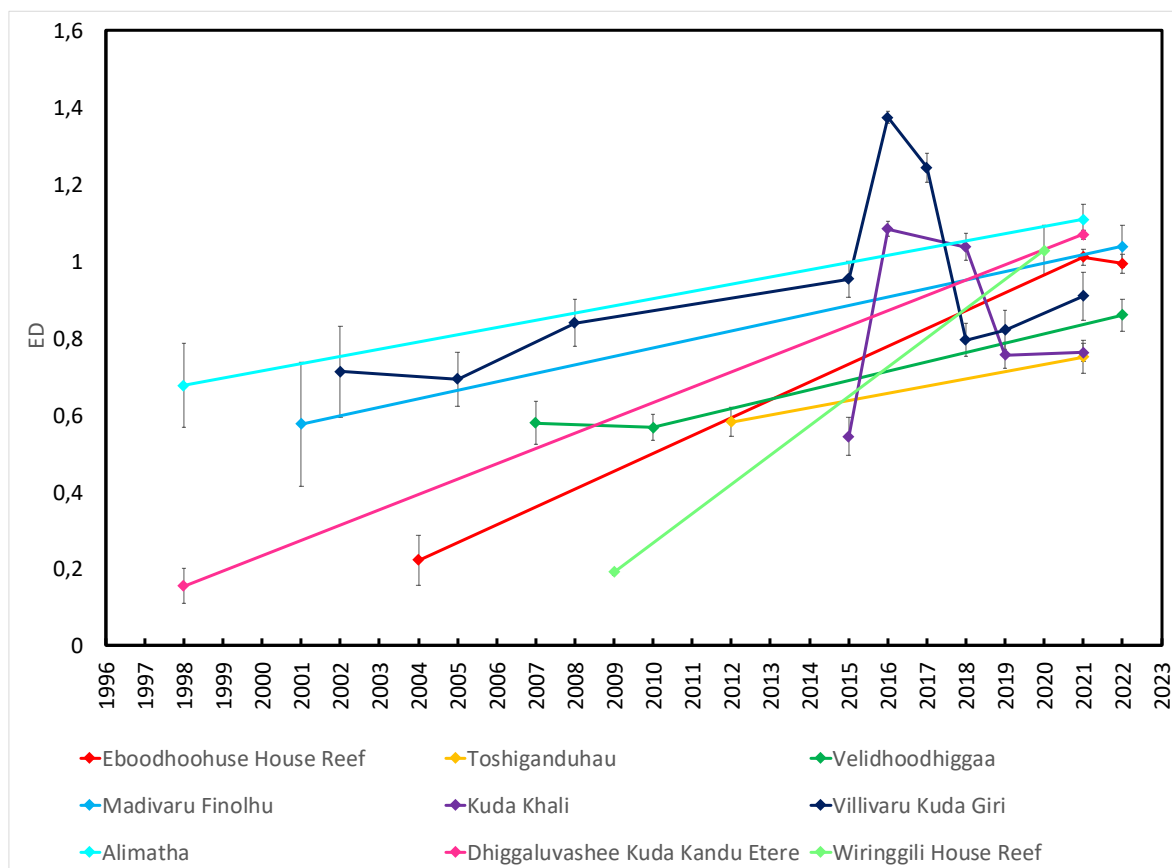


Figura 213: Traiettorie di cambiamento nel tempo di ogni sito lagunare, definite calcolando le distanze euclidee (ED).

Sito	coefficiente angolare
Eboodhoohuse House Reef	0,043
Toshiganduhau	0,019
Velidhoodhiggaa	0,019
Madivaru Finolhu	0,022
Kuda Khali	0,036
Villivaru Kuda Giri	0,010
Alimatha	0,019
Dhiggaluvashee Kuda Kandu Etere	0,040
Wiringgili House Reef	0,076

Figura 214: Coefficiente angolare della retta tra il primo e l'ultimo anno di indagine, per i reef lagunari.

I siti oceanici che hanno subito un cambiamento di fase e possiedono un coefficiente angolare elevato di  $\sim 0,04$  sono Madivaru Kandu (Fig.218c), Myharu Faru (Fig.218e) e Nilandhoo Beyru (Fig.218i).

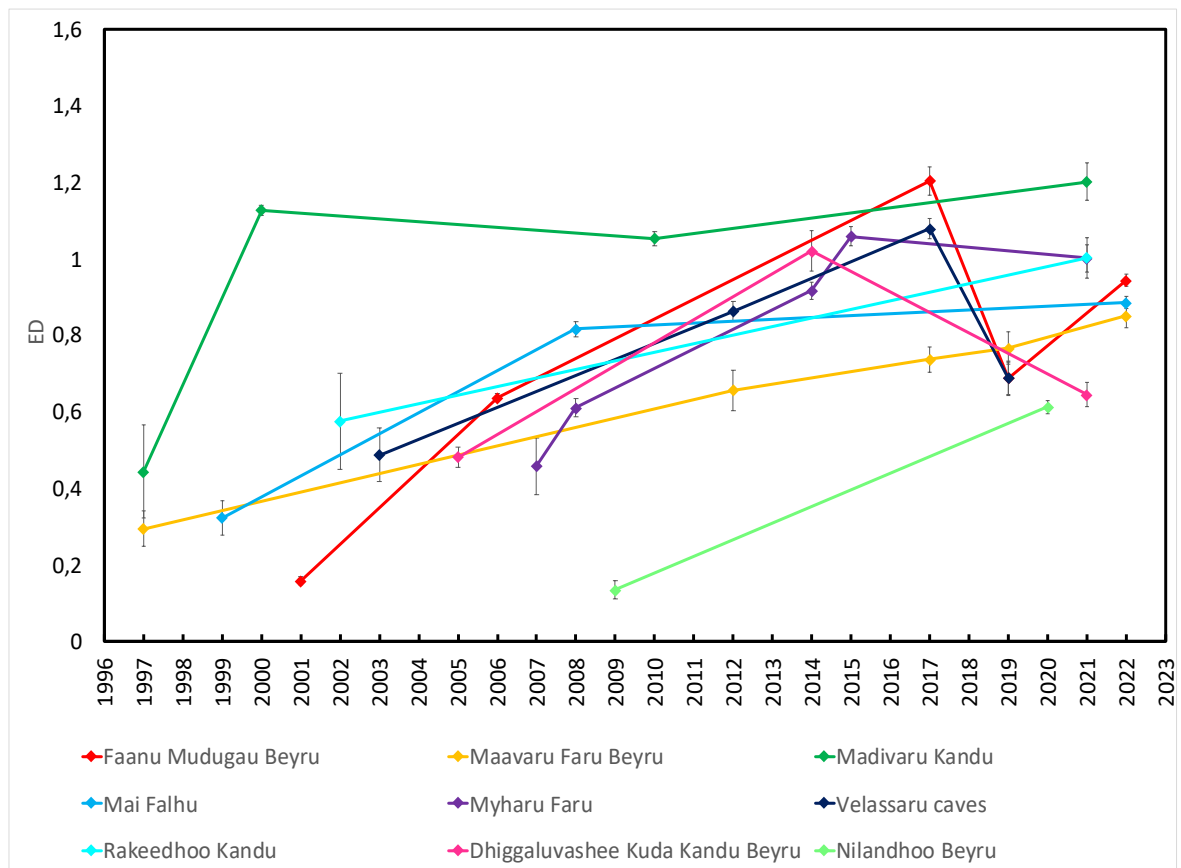
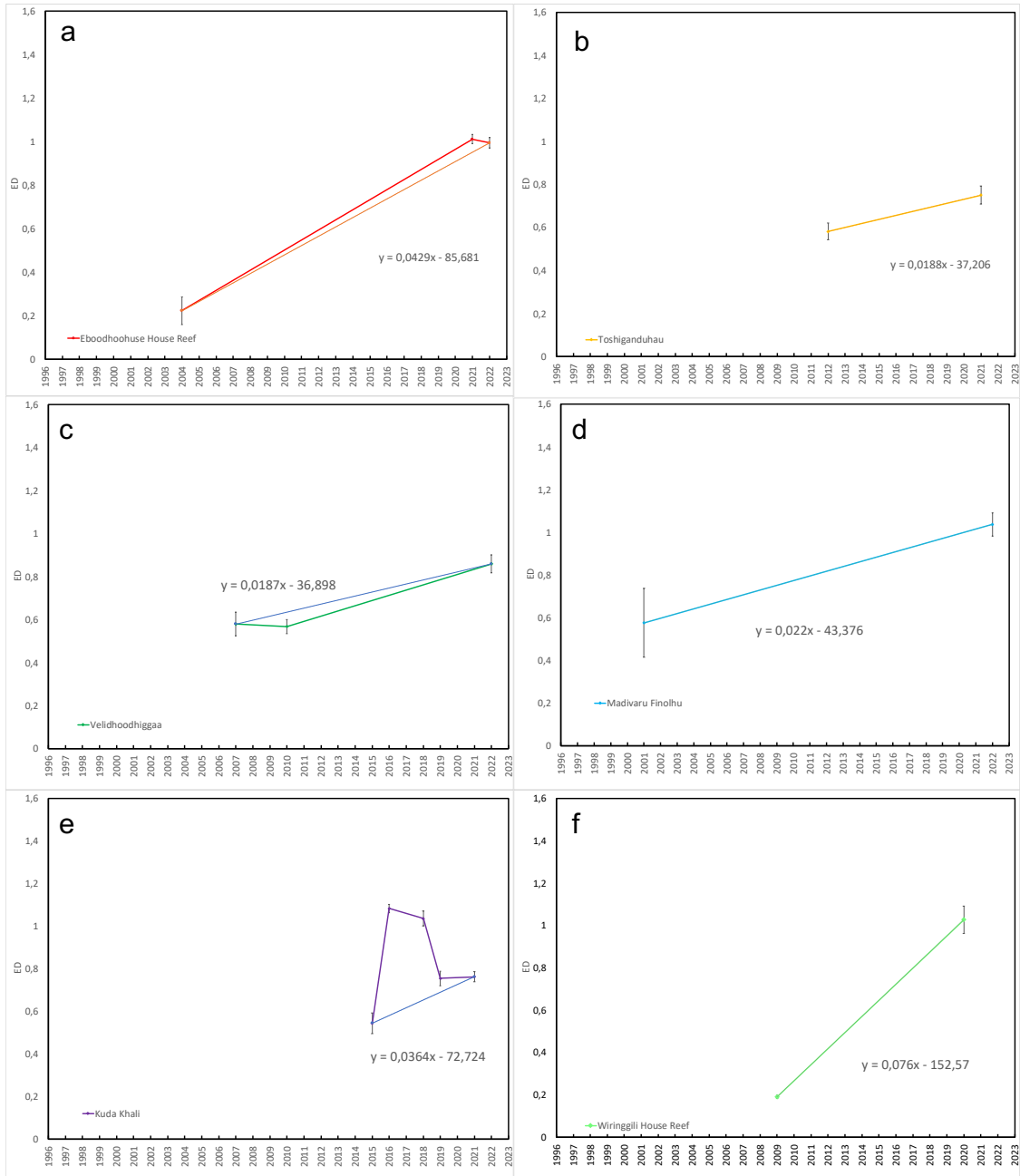
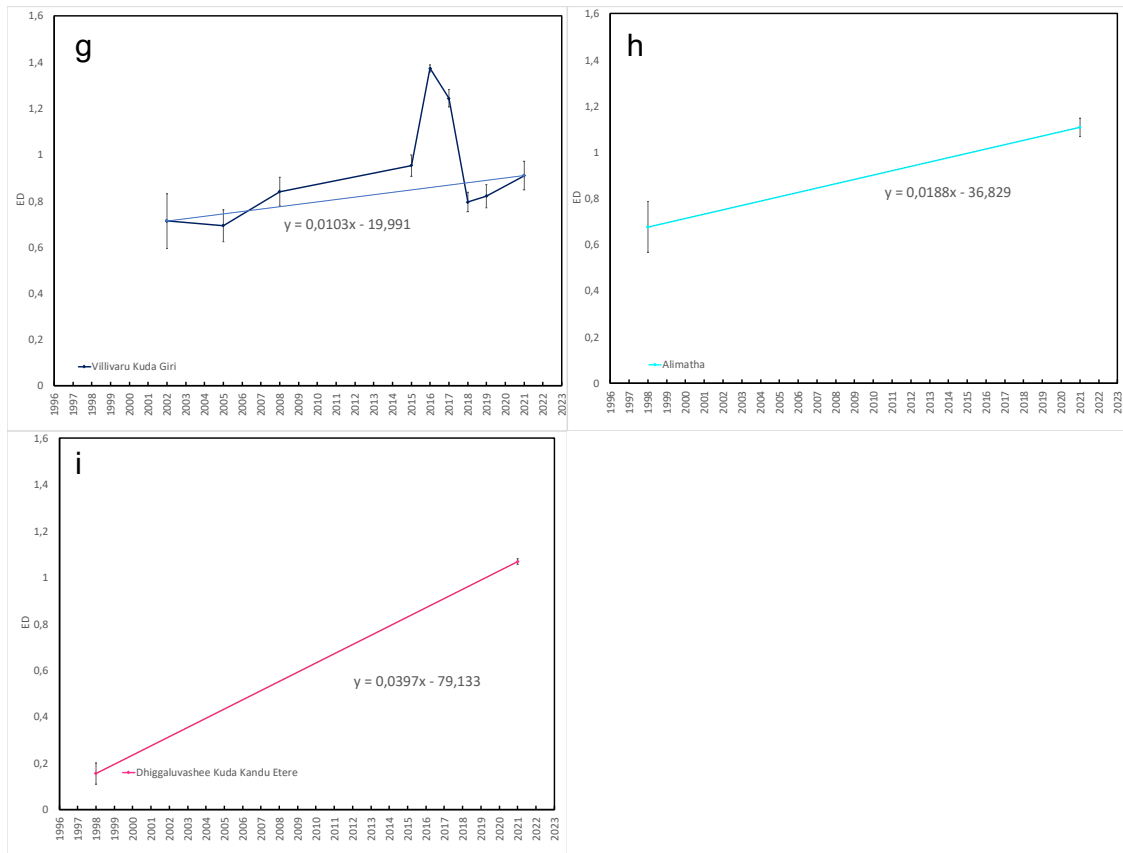


Figura 215: Traiettorie di cambiamento nel tempo di ogni sito oceanico, definite calcolando le distanze euclidee (ED).

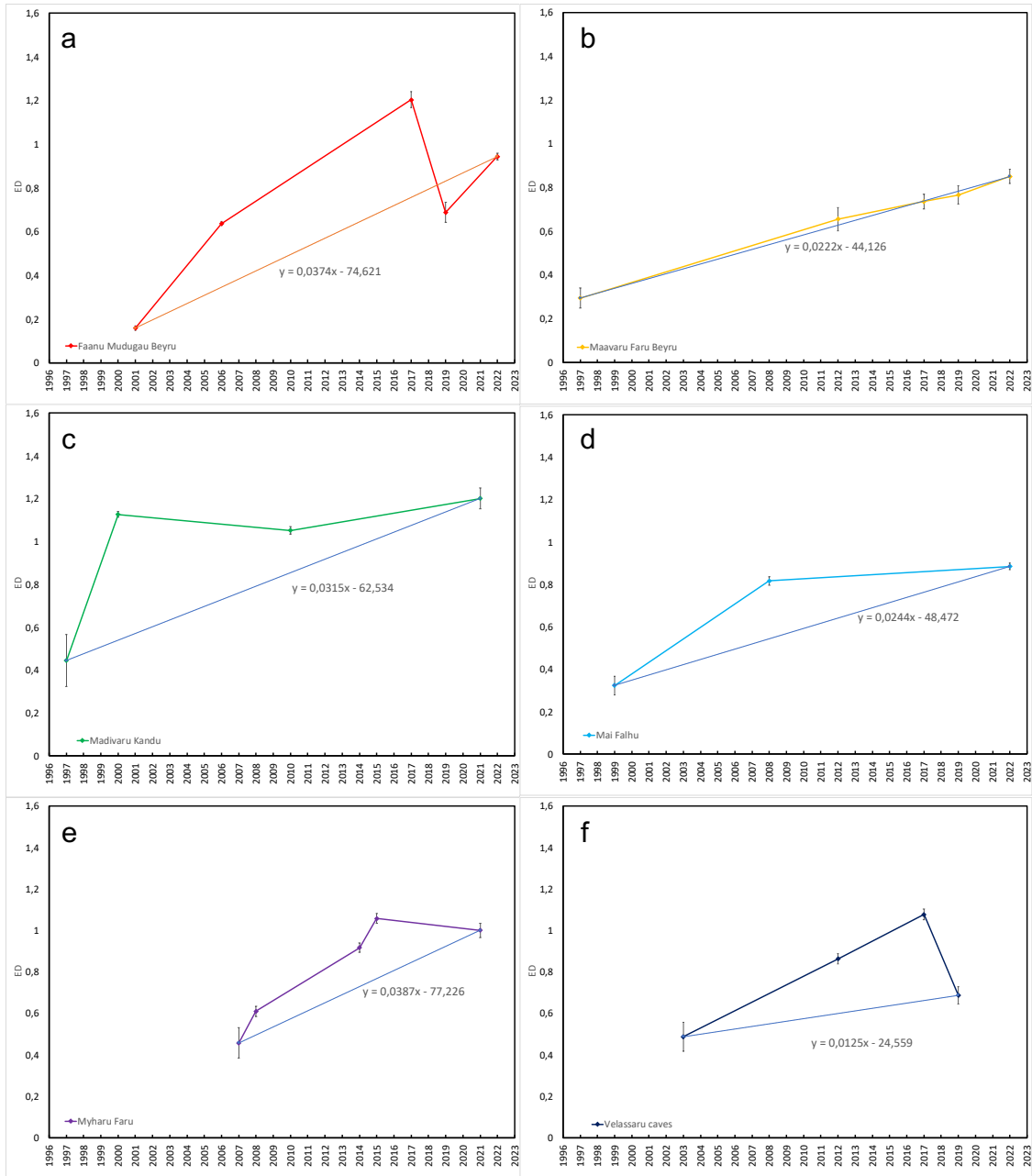
Sito	coefficiente angolare
Faanu Mudugau Beyru	0,037
Maavaru Faru Beyru	0,022
Madivaru Kandu	0,032
Mai Falhu	0,024
Myharu Faru	0,039
Velassaru caves	0,013
Rakeedhoo Kandu	0,023
Dhiggaluvashee Kuda Kandu Beyru	0,010
Nilandhoo Beyru	0,043

Figura 216: Coefficiente angolare della retta tra il primo e l'ultimo anno di indagine, per i reef oceanici.

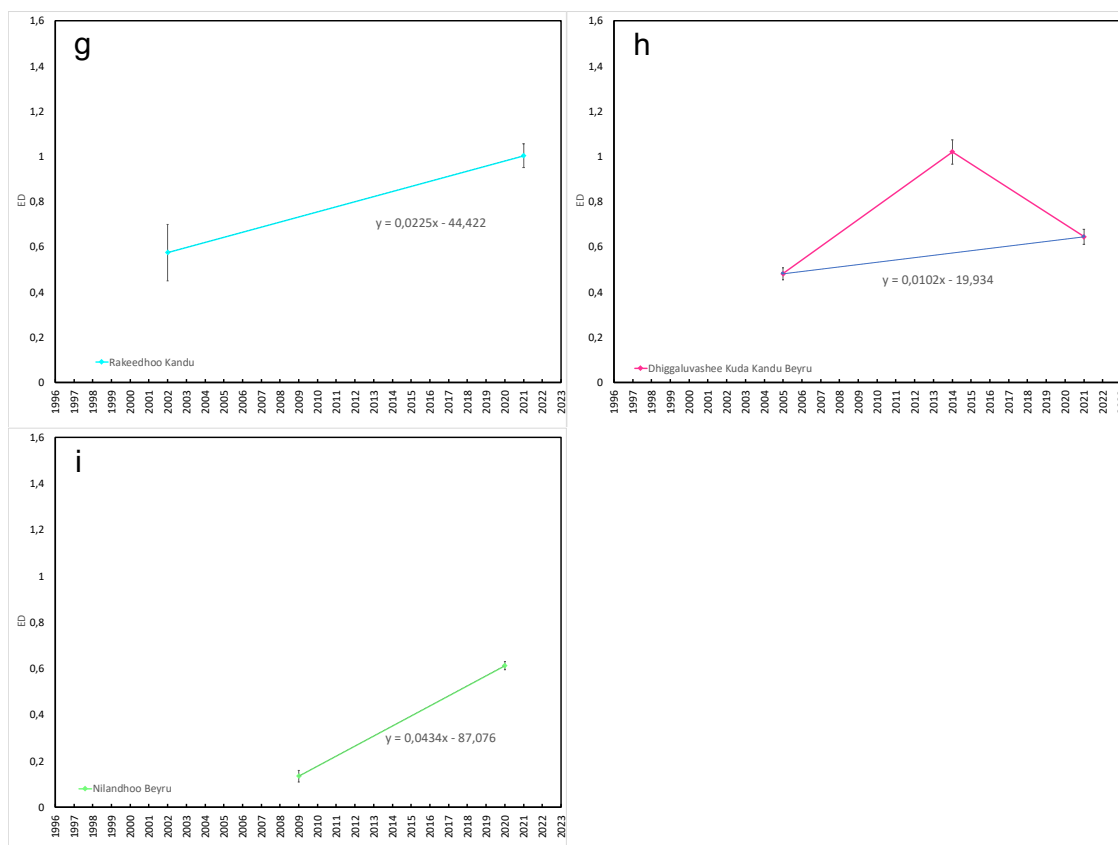




*Figura 217: Andamento nel tempo del descrittore ED (distanze euclidee) usato per misurare le differenze nelle comunità coralline nei diversi anni, rappresentazione della retta tra il dato iniziale e il dato finale e relativa equazione, per ogni sito lagunare.*







*Figura 218: Andamento nel tempo del descrittore ED (distanze euclidee) usato per misurare le differenze nelle comunità coralline nei diversi anni, rappresentazione della retta tra il dato iniziale e il dato finale e relativa equazione, per ogni sito oceanico.*

Si può quindi concludere affermando che:

- Non sussistono differenze tra i coefficienti angolari delle traiettorie di cambiamento dei siti oceanici e dei siti lagunari.
- È stata riscontrata solo una parziale regolarità tra l'aumento del coefficiente angolare e l'impatto antropico: i coefficienti angolari dei siti di Rasdhoo, Malé Nord, Malé Sud e Gaafu Alifu sono maggiori e i reef presenti in questi atolli si trovano vicino ad isole locali o, nel caso di Kuda Khali, vicino alla capitale Malé. Al contrario, le scogliere coralline isolate indagate nell'atollo di Ari e il reef di Alimatha, isola turistica molto impattata, hanno lo stesso coefficiente angolare.
- L'unico fattore che è stato riscontrato essere discriminante nel terminare il cambiamento avvenuto nella scogliera corallina è la posizione geografica e cioè l'atollo di appartenenza: nell'atollo di Ari sono presenti i siti che meno sono

mutati durante questi anni, infatti possiedono un basso coefficiente angolare, mentre nell'atollo di Gaafu Alifu sono presenti i siti che maggiormente hanno subito un cambiamento e, di conseguenza, possiedono un elevato coefficiente angolare.

Infine, attraverso un (Non-Metric) Multidimensional Scaling ((nm)MDS), si sono mostrate le differenze attuali tra i diversi siti (Fig.219).

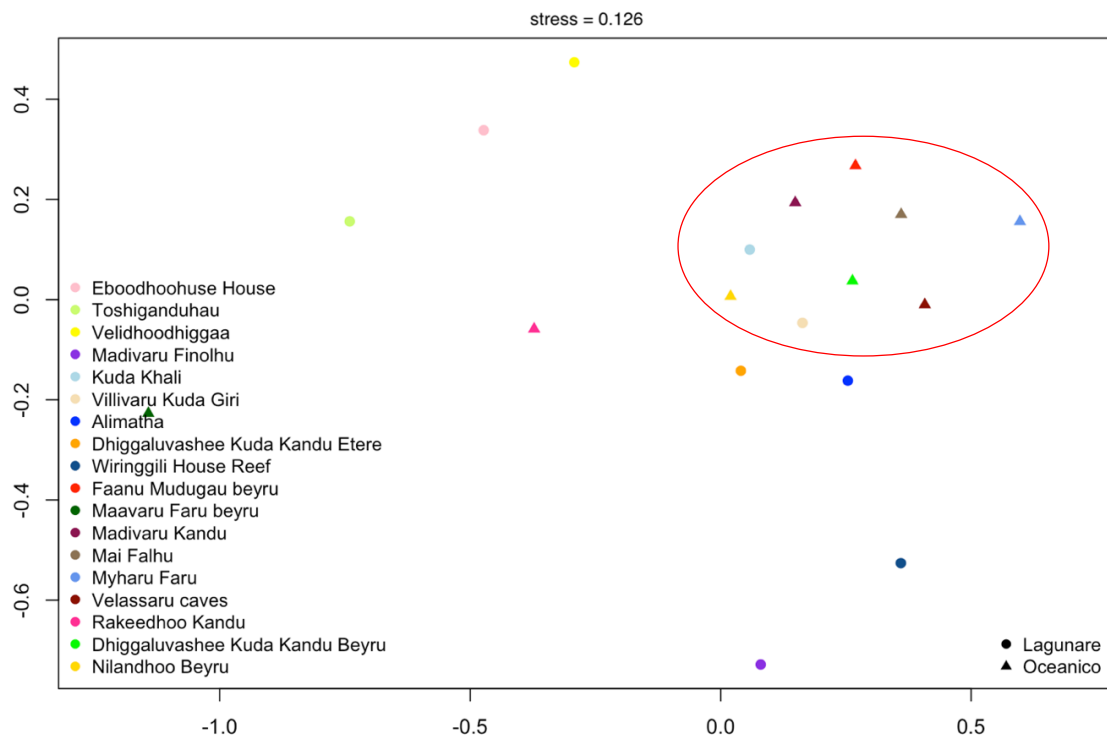


Figura 219: MDS di tutti siti, lagunari e oceanici, negli ultimi anni (2020-2021-2022); l'ovale racchiude la maggior parte dei reef oceanici.

Dal grafico si osserva come i siti oceanici, attualmente, siano simili nella composizione della comunità corallina, ad eccezione di Maavaru Faru Beyru e Rakeedhoo Kandu. Al contrario, i reef lagunari si posizionano in punti più distanti nello spazio MDS e questo significa che ogni reef lagunare ha delle comunità coralline con caratteristiche uniche e diverse dagli altri.

## CONCLUSIONE

Questo elaborato ha descritto la storia e l'evoluzione di ogni reef ed ha permesso di comprendere le probabili cause che possono aver influito sull'attuale composizione delle diverse comunità coralline. I siti, sia lagunari che oceanici, studiati nell'atollo di Ari, hanno mostrato, ad oggi, una copertura percentuale molto elevata di coralli del genere *Acropora*, ad eccezione del sito Faanu Mudugau Beyru che, invece, è risultato dominato da coralli massivi.

Nell'atollo di Rasdhoo i siti indagati sono geograficamente molto vicini, ma mentre il sito esterno è dominato da coralli massivi, quello interno risulta dominato da coralli incrostanti.

Gli atolli di Malé Nord e Malé Sud sono quelli più antropizzati dell'intero arcipelago; alcuni reef, sia oceanici che lagunari, non sono stati in grado di recuperare a seguito delle anomalie termiche, mentre altri, ad esempio il sito oceanico Myharu Faru, risultano aver recuperato grazie ad una percentuale maggiore di coralli massivi. L'atollo di Felidhoo, nonostante sia poco antropizzato, mostra siti ad oggi dominati da coralli massivi. L'unico sito in cui oggi dominano le diverse forme del genere *Acropora* è Rakeedhoo Kanduu, un sito oceanico situato a sud dell'atollo.

I due siti indagati nell'atollo Gaafu Alifu, hanno subito un cambiamento importante e il sito interno è oggi dominato da coralli incrostanti, mentre nel sito esterno dominano coralli ramificati e massivi.

Si può quindi concludere sostenendo che il cambiamento della comunità corallina e la capacità di recupero nel tempo sono influenzati da diversi fattori, ma ogni sito ha delle condizioni locali uniche, antropiche e naturali, la cui interazione influenza la struttura della comunità corallina e questi fattori non possono essere generalizzati a grande scala geografica.

Tuttavia, una discriminante importante può essere considerata è la zona geografica; in particolare, il genere *Acropora*, che è molto sensibile ai cambiamenti delle condizioni ambientali, è oggi maggiormente presente nei siti studiati nell'atollo di Ari.

Si potrebbe implementare questo lavoro andando a creare modelli idrodinamici per ogni coral reef, come proposto da Lange nello studio sulla composizione delle comunità coralline esposte al moto ondoso nelle isole Chagos (Lange et al., 2021). Inoltre, si potrebbero effettuare analisi chimiche per valutare la qualità delle acque e per identificare la possibile presenza di inquinanti che potrebbero essere correlati allo stato di salute del reef.

La NOAA Coral Reef Watch ha previsto una nuova ondata di calore per il periodo compreso tra fine aprile e la terza settimana di maggio 2023 (Fig.220); questo potrebbe rappresentare un serio problema per le comunità coralline, in quanto non sarebbero passati nemmeno 10 anni dal precedente fenomeno di anomalia termica.

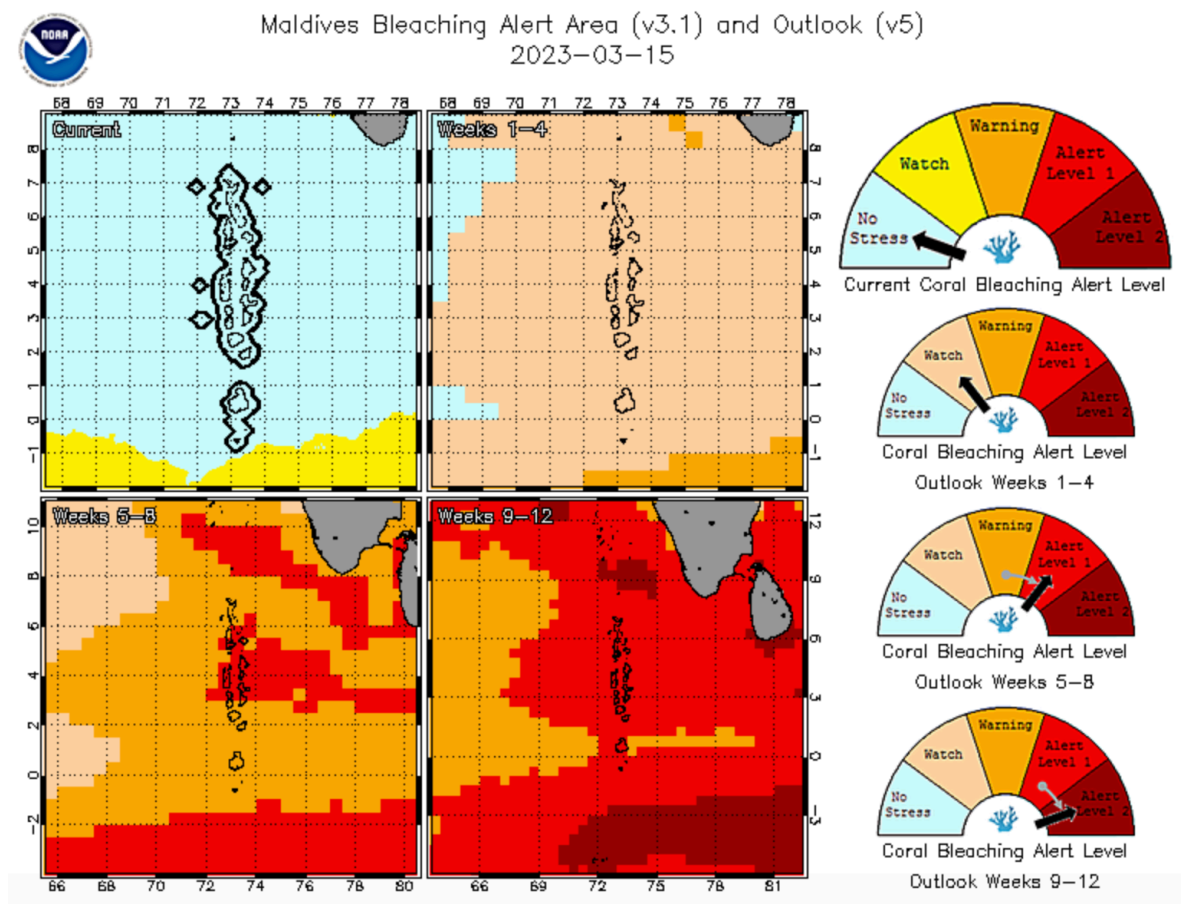


Figura 220: Previsione ondata di calore per aprile-maggio 2023 (Weeks 9-12), (NOAA Coral Reef Watch).

Lo scenario dell'IPCC prevede un innalzamento medio del livello del mare di 10 mm/a (Heron et al., 2017) ed un aumento della temperatura globale di circa 5–6°C entro il 2100 (Hughes et al., 2018). A causa di questi due fenomeni, oltre l'80% delle scogliere coralline presenti in tutto il mondo sarà degradato entro il 2040 (Heron et al., 2017). Il futuro delle scogliere coralline dipenderà quindi dalla frequenza con cui si verificheranno fenomeni di sbiancamento e da quanti centimetri si innalzerà il livello medio mare. Solo nel caso in cui i fenomeni di anomalia termica si verificassero ogni 10-15 anni e il livello medio mare aumentasse di 2 mm all'anno le scogliere coralline potranno sopravvivere.

Nonostante queste pessime previsioni, si può avere una visione positiva per il futuro delle scogliere coralline Maldiviane: come dimostrato da questo elaborato, alcuni siti sembrano aver addirittura resistito e non aver sofferto dell'anomalia del 2016. Questo potrebbe essere stato causato da particolari condizioni locali o da fenomeni di adattamento di alcune specie. Se così fosse, ci sarebbero delle speranze per la futura sopravvivenza dei reef Maldiviani.

## BIBLIOGRAFIA

Anderson, M.J., 2008. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26 (1), 32-46.

Anderson, R.C., Ahmed, H., 1993. The shark fisheries of the Maldives. Malé: Marine Research Centre, Ministry of Fisheries and Agriculture, 1-84.

Anderson, R.C., Adam, M.S., Kitchen-Wheeler, A.M., Stevens, G.M.W., 2011. Extent and economic value of manta ray watching in Maldives. *Tourism in Marine Environments* 7 (1), 15-27.

Anderson, R.C., Adam, M.S., Goes, J.I., 2011. From monsoons to mantas: seasonal distribution of *Manta alfredi* in the Maldives. *Fisheries Oceanography* 20 (2), 104-113.

Baker A.C., Glynn P.W., Riegl B., 2008. Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80 (4), 435-471.

Baird, A., Marshall, P., 2002. Mortality, growth and reproduction in scleractinian corals following bleaching on the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series* 237, 133-141.

Bianchi, C.N., 2001. Bioconstruction in marine ecosystems and Italian marine biology. In *Biologia Marina Mediterranea* 8, 112-130.

Bianchi, C.N., Morri, C., Pichon, M., Benzoni, F., Colantoni, P., Baldelli, G., Sandrini, M., 2006. Dynamics and pattern of coral recolonization following the 1998 bleaching event in the reefs of the Maldives. In Y. Suzuki, T. Nakamori, M. Hidaka, H. Kayanne, B.E. Casareto, K. Nadaoka, H. Yamano, e M. Tsuchiya (eds.), *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*. Japanese Coral Society, 30-37.

Bianchi, C.N., Morri, C., Lasagna, R., Montefalcone, M., Gatti, G., Parravicini, V., Rovere, A., 2017. The resilience of marine animal forests: lessons from Maldivian coral reefs after the mass mortality of 1998. In S. Rossi, L. Bramanti, A. Gori, e C. Orejas (eds.), *Marine Animal Forests: the ecology of benthic biodiversity hotspots*. Springer International Publishing, 1241-1269.

Bray, J.R., Curtis, J.T., 1957. An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27 (4), 325-349.

Brown, C.J., Sauders, M.I., Possingham, H.P., Richardson, A.J., 2013. Managing for Interactions between Local and Global Stressors of Ecosystems. *PLoS ONE* 8(6), e65765.

Cagua, E.F., Collins, N., Hancock, J., Rees, R., 2014. Whale shark economics: a valuation of wildlife tourism in South Ari Atoll, Maldives. *Peer J* 2, 1-17.

Chadwick, N.E., 1991. Spatial distribution and the effects of competition on some temperate Scleractinia and Corallimorpharia. *Marine Ecology Progress Series* 70 (1), 39-48.

Chase, J.M., Jeliaskov, A., Ladouceur, E., Viana, D.S., 2020. Biodiversity conservation through the lens of metacommunity ecology. *Special Issue: The Year in Ecology and Conservation Biology* 1469 (1), 86-104.

Chatfield, C., Collins, A.J., 1980. *Introduction to Multivariate Analysis*.

Corcione, C., 2022. Capacità di recupero delle scogliere coralline maldiviane a seguito di anomalie termiche su scala globale. *Università degli studi di Genova*.

D'Angelo, C., Wiedenmann, J., 2014. Impacts of nutrient enrichment on coral reefs: new perspectives and implications for coastal management and reef survival. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 7, 82-93.

Darwin, C., 1842. The Structure and Distribution of Coral Reefs, being the first Part of the Geology of the Voyage of the Beagle under the Command of Capt. Fitzroy, R.N. during the Years 1832 to 1836. Quarterly Journal of the Geological Society 1, 381-389.

Davenport, J., Davenport, J.L., 2006. The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review. Estuarine, Coastal and Shelf Science 67 (1-2), 280-292.

Davis, W., 1913. Submerged Valleys and Barrier Reefs. Nature 91, 423-424.

Donner, S.D., Rickbeil, G.J.M., Heron, S.F., 2017. A new, high-resolution global mass coral bleaching database. PLoS ONE 12 (4), e0175490.

Eakin, C.M., Liu, G., Gomez, A.M., De La Cour, J.L., Heron, S.F., Skirving, W.J., Geiger, E.F., Tirak, K.V., Strong, A.E., 2016. Global coral bleaching 2014-2017. Reef Encounter 31, 20-26.

Fallati, L., Savini, A., Sterlacchini, S., Galli, P., 2017. Land use and land cover (LULC) of the Republic of the Maldives: first national map and LULC change analysis using remote-sensing data. Environ Monit Assess 189, 417.

Gates, R.D., Baghdasarian, G., Muscatine, L., 1992. Temperature Stress Causes Host Cell Detachment in Symbiotic Cnidarians: Implications for Coral Bleaching. The Biological Bulletin 182 (3), 289-459.

Gili, E., Masse, J.P., Skelton, P.W., 1995. Rudists as gregarious sediment-dwellers, not reef-builders, on Cretaceous carbonate platforms. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 118 (3-4), 245-267.

Glynn, P.W., Manzello, D.P., 2015. Bioerosion and coral-reef growth: a dynamic balance. In C. Birkeland (ed.), Coral Reefs in the Anthropocene. Springer Science and Business Media Dordrecht, 67-97.



Grigg, R.W., 1998. Holocene coral reef accretion in Hawaii: a function of wave exposure and sea level history. *Coral Reefs* 17, 263-272.

Hamilton, S.M., Duce, S., Vila-Concejo, A., Roelfsema, C.M., Phinn, S.R., Carvalho, R.C., Shaw, E.C., Joyce, K.E., 2017. Estimating regional coral reef calcium carbonate production from remotely sensed seafloor maps. *Remote Sensing of Environment* 201, 88-98.

Harris, D.L., Rovere, A., Casella, E., Power, H., Canavesio, R., Collin, A., Pomeroy, A., Webster, J.M., Parravicini, V., 2018. Coral reef structural complexity provides important coastal protection from waves under rising sea levels. *Science Advances* 4 (2), eaao4350.

Hatcher B.G., Karl-Heinz, W., Zhong, R.Z., Lindsay, B.C., 2006. Origin of Blue Hole Structures in Coral Reefs: Houtman Abrolhos, Western Australia. *Journal of Coastal Research* 22 (1(221)), 202-208.

Head, C.E.I., Bayley, D.T.I., Rowlands, G, Roche, R.C., Tickler, D.M., Rogers, A.D., Koldewey, H., Turner, J.R., Andradi-Brown, D.A., 2019. Coral bleaching impacts from back-to-back 2015–2016 thermal anomalies in the remote central Indian Ocean. *Coral Reefs* 38, 605-618.

Heery, E.C., Hoeksema, B.W., Browne, N.K., Reimer, J.D., Ang, P.O., Huang, D., Friess, D.A., Chou, L.M., Loke, L.H.L., Saksena-Taylor, P., Alsagoff, N., Yeemin, T., Sutthacheep, M., Vo, S.T., Bos, A.R., Gumanao, G.S., Syed Hussein, M.A., Waheed, Z., Lane, D.J.W., Johan, O., Kunzmann, A., Jompa, J., Suharsono, S., Taira, D., Bauman, A.G., Todd, P.A., 2018. Urban coral reefs: Degradation and resilience of hard coral assemblages in coastal cities of East and Southeast Asia". *Marine pollution Bulletin* 135, 654-681.

Heron, S.F., Maynard, J.A., van Hooidek, R., Eakin, C.M., 2016. Warming trends and bleaching stress of the world's coral reefs 1985-2012". *Scientific Reports* 6, 38402.

Heron, S.F., Eakin, C.M., Douvère, F., 2017. Impacts of climate change on World Heritage Coral Reefs: a first global scientific assessment. UNESCO World Heritage Centre.

Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P.J., Hooten, A.J., Steneck, R.S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C.D., Sale, P.F., Edwards, A.J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C.M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R.H., Dubi, A., Hatzioiols, M.E., 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318, 1737-1742.

Hughes T. P., Kerry J. T., Álvarez Noriega M., Álvarez Romero J.G., Andreson K. D., Baird A.H., Babcock, R.C., Beger, M., Bellwood, D.R., Berkelmans, R., Bridge, T.C., Butler, I.R., Byrne, M., Cantin, N.E., Comeau, S., Connolly, S.R., Cumming, G.S., Dalton, S.J., Diaz-Pulido, G., Eakin, C.M., Figueira, W.F., Gilmour, J.P., Harrison, H.B., Heron, S.F., Hoey, A.S., Hobbs, J.A., Hoogenboom, M.O., Kennedy, E.V., Kuo, C.Y., Lough, J.M., Lowe, R.J., Liu, G., McCulloch, M.T., Malcolm, H.A., McWilliam, M.J., Pandolfi, J.M., Pears, R.J., Pratchett, M.S., Schoepf, V., Simpson, T., Skirving, W.J., Sommer, B., Torda, G., Wachenfeld, D.R., Willis, B.L., Wilson, S.K., 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543, 373-377.

Hughes, T.P., Anderson, K.D., Connolly, S.R., Heron, S.F., Kerry, J.T., Lough, J.M., Baird, A.H., Baum, J.K., Berumen, M.L., Bridge, T.C., Claar, D.C., Eakin, C.M., Gilmour, J.P., Graham, N.A.J., Harrison, H., Hobbs, J.A., Hoey, A.S., Hoogenboom, M., Lowe, R.J., McCulloch, M.T., Pandolfi, J.M., Pratchett, M., Schoepf, V., Torda, G., Wilson, S.K., 2018. Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene". *Science* 359, 80-83.

Insalaco, E., 1998. The descriptive nomenclature and classification of growth fabrics in fossil scleractinian reefs. *Sedimentary Geology* 118 (1-4), 159-186.

Januchowski-Hartley, F.A., Graham, N.A.J., Wilson, S.K., Jennings, S., Perry, C.T., 2017. Drivers and predictions of coral reef carbonate budget trajectories. *Proceedings of the Royal Society* 284 (1847), 20162533.

Knowlton, N., Brainard, R.E., Fisher, R., Moews, M., Plaisance, L., Caley, M.J., 2010. Coral Reef Biodiversity. In A. McIntyre (ed), *Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance*. John Wiley & Sons, 65-77.

Kruskal, J.B., Wish, M., 1978. Multidimensional scaling. In E.M. Uslaner, *Stage Universitu papers* 11.

Kuguru, B.L., Mgya, Y.D., Öhman, M.C., Wagner, G.M., 2004. The reef environment and competitive success in the Corallimorpharia. *Marine Biology* 145, 875-884.

Kundur, S.K., 2012. Development of tourism in Maldives. *International Journal of Scientific and Research Publication* 2(4), 223-227.

Lange, I.D., Benkwitt, C.E., McDevitt-Irwin, J.M., Tietje, K.L., Taylor, B., Chinkin, M., Gunn, R.L., Palmisciano, M., Steyaert, M., Wilson, B., Holly, K.E., Turner, T., Graham N.A.J., Perry, C.T., 2021. Wave exposure shapes reef community composition and recovery trajectories at a remote coral atoll. *Coral Reefs* 40, 1819-1829.

Montefalcone, M., Morri, C., Bianchi, C.N., 2018. Long-term change in bioconstruction potential of Maldivian coral reefs following extreme climate anomalies. *Global Change Biology* 24 (12), 5629-5641.

Montefalcone, M., Morri, C., Bianchi, C.N., 2020. Influence of Local Pressures on Maldivian Coral Reef Resilience Following Repeated Bleaching Events, and Recovery Perspectives. *Frontiers Marine Science* 7, 587.

Muir, P.R., Marshall, P.A., Abdulla, A., Aguirre, J.D., 2017. Species identity and depth predict bleaching severity in reef-building corals: shall the deep inherit the reef? *Proceedings Royal Society* 284 (1864), 20171551.

Myroie, J.E., Carew, J.L., Moore, A.I., 1995. Blue holes: Definition and genesis. *Carbonates and Evaporites* 10, 225-233.

Nepote, E., Bianchi, C.N., Chiantore, M., Morri, C., Montefalcone, M., 2016. Pattern and intensity of human impact on coral reefs depend on depth along the reef profile and on the descriptor adopted. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 178, 86-91.

Pancrazi, I., Ahmed, H., Cerrano, C., Montefalcone M., 2020. Synergic effect of global thermal anomalies and local dredging activities on coral reefs of the Maldives. *Marine Pollution Bulletin* 160, 111585.

Perry, C.T., Smithers, S.G., 2010. Evidence for the episodic “turn on” and “turn off” of turbid-zone coral reefs during the late Holocene sea-level highstand. *Geology* 38 (2), 119-122.

Perry, C.T., Morgan, K.M., 2017a. Bleaching drives collapse in reef carbonate budgets and reef growth potential on southern Maldives reefs. *Scientific Reports* 7, 40581.

Perry, C.T., Morgan, K.M., 2017b. Post-bleaching coral community change on southern Maldivian reefs: is there potential for rapid recovery? *Coral Reefs* 36, 1189-1194.

Plass-Johnson, J.G., Cardini, U., van Hoytema, N., Bayraktarov, E., Burghardt, I., Naumann, M.S., Wild, C., 2015. Coral bleaching. In R.H. Armon, O. Hänninen (eds.), *Environmental Indicators*. Springer, 117-146.

Purdy, E.G., 1974. Reef Configurations: Cause and Effect. In L.F. Laporte (ed), *Reefs in Time and Space: Selected Examples from the Recent and Ancient*. SEPM Society for Sedimentary Geology 18, 9-76.

Riegl, B., 2001. Inhibition of reef framework by frequent disturbance: examples from the Arabian Gulf, South Africa, and the Cayman Islands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 175 (1-4), 79-101.

Sasamal, S.K., 2007. Island wake circulation off Maldives during boreal winter, as visualised with MODIS derived chlorophyll-a data and other satellite measurements. *International Journal of Remote Sensing* 28 (5), 891-903.

Shankar, D., Vinayachandran, P.N., Unnikrishnan A.S., 2002. The monsoon currents in the north Indian Ocean. *Progress in Oceanography* 52, 63-120.

Sheppard, C., Sheppard, A., Mogg, A., Bayley, D., Dempsey, A.C., Roche, R., Turner, J., 2017. Coral bleaching and mortality in the Chagos Archipelago. *Atoll Research Bulletin* 613, 1-26.

Stevens, G.M.W., 2016. *Conservation and Population Ecology of Manta Rays in the Maldives*. University of York.

Stevens, G.M.W., Froman, N., 2019. The Maldives Archipelago. In C. Sheppard (ed), *World Seas: an Environmental Evaluation*. Elsevier, 211-236.

Stoddart, D.R., Steers, J.A., 1977. The nature and origin of coral reef islands. In O.A. Jones, *Biology and Geology of Coral Reefs V4: Geology* 2, 60-102.

Thompson, R.O.R.Y., Golding, T.J., 1981. Tidally induced 'upwelling' by the Great Barrier Reef. *Journal of Geophysical Research* 86 (7), 6517-6521.

Wilson, S.K., Graham, N.A.J., Polunin, N.V.C., 2007. Appraisal of visual assessments of habitat complexity and benthic composition on coral reefs. *Marine Biology* 151, 1069-1076.

Wooldridge, S.A., Heron, S.F., Brodied, J.E., Done, T.J., Masiri, I., Hinrichs, S., 2017. Excess seawater nutrients, enlarged algal symbiont densities and bleaching sensitive reef locations: 2. A regional-scale predictive model for the Great Barrier Reef, Australia". *Marine Pollution Bulletin* 114 (1), 343-354.

## **Ringraziamenti**

Ringrazio la Prof.ssa Monica Montefalcone per la sua estrema disponibilità e per avermi concesso la possibilità di svolgere una tesi inerente ad un argomento che ho sempre desiderato studiare. La ringrazio per ogni parola di supporto e per avermi accompagnata sott'acqua e fuori dall'acqua nella stesura di questo elaborato. Grazie per il suo importante sostegno e per avermi fatto amare ancora di più il mondo marino.

Ringrazio il Prof.re Carlo Nike Bianchi, per i suoi preziosi suggerimenti che mi hanno indirizzata e aiutata nella stesura di questo elaborato, e la Prof.ssa Carla Morri, per la sua disponibilità nel fornirmi dati che furono raccolti più di 20 anni fa.

Grazie alla Dott.ssa Annalisa Azzola per la sua disponibilità e alla Dott.ssa Alice Oprandi per avermi accompagnata sott'acqua in questi due anni di crociera scientifica.

Infine, ringrazio il Prof.re Giorgio Bavestrello per aver accettato di essere il correlatore di questa tesi.