

Risposte biologiche delle Corallinales ai cambiamenti climatici globali: proposta di un percorso didattico per imparare a pensare la complessità dell'ecosistema

FULVIA BRADASSI

I. C. Divisione Julia, Trieste
Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste
FULVIA.BRADASSI @phd.units.it

FRANCESCO CUMANI

Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste

GUIDO BRESSAN

Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste

SUNTO

La riduzione del pH dell'acqua marina (ocean acidification) causata del progressivo aumento della CO₂ atmosferica sembra essere un fenomeno poco noto. Con l'obiettivo di creare un canale diretto fra la ricerca ed il sistema scolastico, l'Università di Trieste ha instaurato un rapporto di collaborazione con una scuola media, offrendo un corso sperimentale per gli studenti sul tema dei cambiamenti climatici globali e acidificazione del mare. Durante il corso sono state evidenziate le reazioni all'acidificazione di alghe rosse calcaree durante la fase riproduttiva. Gli studenti hanno imparato a usare strumenti, a raccogliere dati quantitativi e qualitativi, a rappresentarli, elaborarli e trarre conclusioni dai risultati. Il corso è stato un'opportunità per trasferire ai giovani conoscenze sui cambiamenti climatici globali e per utilizzare un metodo didattico innovativo con lo scopo di implementare abilità e competenze scientifiche a livello scolastico.

PAROLE CHIAVE

ALGHE ROSSE CALCAREE / CALCAREOUS RED ALGAE; ACIDIFICAZIONE / OCEAN ACIDIFICATION; DIDATTICA SPERIMENTALE / HANDS-ON EXPERIMENT; COMPETENZE SCIENTIFICHE / SCIENTIFIC LITERACY.

1. INTRODUZIONE

L'aumento della pressione parziale della anidride carbonica atmosferica potrebbe raddoppiare rispetto ai valori attuali (circa 366 μ atm) entro la fine di questo secolo

arrivando a circa 800 μatm (Feely *et al.*, 2004), raggiungendo così, secondo i modelli elaborati dall'*International Panel on Climate Change* (Parry *et al.*, 2007) una percentuale considerevolmente più alta rispetto a tutto il Quaternario (Pearson & Palmer, 2000).

L'aumento della concentrazione di CO_2 in atmosfera non solo è probabile concausa del surriscaldamento globale, ma inevitabilmente produce un aumento della concentrazione di CO_2 nelle acque marine superficiali, che si solubilizza secondo le leggi fisiche della diffusione di un gas in un liquido. Quando la CO_2 si discioglie nell'acqua di mare, reagisce formando acido carbonico (H_2CO_3), che si dissocia formando ioni bicarbonato (HCO_3^-), ioni carbonato (CO_3^{2-}) e ioni (H^+). In tal modo l'oceano può assorbire grandi quantità di CO_2 ed immagazzinarle come carbonio inorganico disciolto (DIC, *Dissolved Inorganic Carbon*), ovvero somma delle concentrazioni di queste specie ioniche. All'aumentare della $p\text{CO}_2$ (pressione parziale di CO_2), aumenta anche il carbonio inorganico disciolto, ma le singole componenti non aumentano in modo proporzionale: l'equilibrio del sistema dei carbonati si sposta verso percentuali più alte di CO_2 e HCO_3^- , mentre diminuisce la concentrazione degli ioni CO_3^{2-} con conseguente abbassamento del pH dell'acqua marina. Questo fenomeno, ipotizzato in linea teorica, trova riscontro nel confronto di serie storiche di misure sia su scala globale, sia a livello locale nel bacino dell'Adriatico Settentrionale (Luchetta *et al.*, 2010). Tali cambiamenti nella chimica dei carbonati, spesso definiti "acidificazione degli oceani", stanno quindi già avvenendo e sono destinati a intensificarsi in futuro: i modelli attuali prevedono che il pH delle acque superficiali, che in media oscilla ormai attorno ad un pH di 8.1, a seconda del bacino idrico considerato, potrebbe scendere fino a 7.8 nell'anno 2100 (Parry *et al.*, 2007).

La cosiddetta "acidificazione" degli oceani avrà probabilmente un grosso impatto sulla vita nei mari e sui processi biogeochimici ad essa correlati. I potenziali effetti dell'aumento dell'anidride carbonica sugli ecosistemi marini non sono tuttavia ancora sufficientemente conosciuti (Gao *et al.*, 1993; Langdon, 2002; Riebesell *et al.*, 2010). Per tali motivi la valutazione dell'impatto dell'acidificazione dell'acqua

marina sugli ecosistemi costieri è stata riconosciuta di alta priorità solo nell'ultimo decennio (SCOR-UNESCO, 2004) e sta riscontrando vasta eco negli ambienti scientifici, dove numerosi sono i progetti internazionali di ricerca ad essa dedicati. Attualmente gli studi, sviluppati sia in laboratorio (in microcosmi o mesocosmi, grazie ai quali vengono simulate le condizioni previste dai modelli), sia in ambiente naturale, indagano le reazioni degli organismi calcificatori e degli ecosistemi. Fra questi numerosi sono i lavori dedicati ai coralli, perché legati alla conservazione degli ambienti di barriera corallina, ai molluschi ed echinodermi (Dupont *et al.*, 2010), ma anche a organismi calcificatori microscopici, come foraminiferi e coccolitofori. Fra i vegetali le alghe rosse calcaree (Corallinaceae) rappresentano un gruppo di organismi strategici per la ricerca sull'acidificazione del mare. Le Corallinaceae infatti sono macrofite caratterizzate da un tallo di natura calcarea, nel quale la calcificazione avviene a livello della parete cellulare.

Questi organismi risultano infatti particolarmente rispondenti alle alterazioni ambientali (*bio-marker*) tanto che il loro studio sembra giustificato non solo dall'ampia distribuzione geografica e batimetrica, dai cicli vitali e riproduttivi relativamente lunghi (Bressan & Babbini, 2003), dalla lunga permanenza in natura anche allo stato fossile (*paleo-marker*), ma soprattutto dalla reattività all'incremento della concentrazione di CO₂, ampiamente dimostrata da diversi autori (Leclerq *et al.*, 2002; Hall-Spencer *et al.*, 2008; Jokiel *et al.*, 2008; Kuffner *et al.*, 2008; Martin *et al.*, 2008; Martin & Gattuso, 2009).

2. SCOPO

Dal momento che i risultati preliminari sembrano suggerire che l'aumento dell'anidride carbonica disciolta nell'acqua, e il conseguente abbassamento del pH, influiscano negativamente sulla produzione di spore, sulla sopravvivenza e sviluppo dei talli nelle prime fasi di vita (Cumani *et al.*, 2010), gli scopi dell'esperimento sono stati così delineati: da una parte, quello di osservare in ambiente scolastico come la fase riproduttiva di *Lithophyllum incrustans* Philippi, una

specie incrostante di alghe rosse calcaree (Fig. 1), venga influenzata appunto dall'acidificazione dell'acqua di mare; dall'altra di verificare l'ipotesi dell'applicabilità di metodi e strumenti propri della ricerca scientifica alla didattica nella scuola, attribuendone la connotazione di un vero e proprio “esperimento didattico”.



Fig. 1. Campioni di *Lithophyllum incrustans* utilizzati per la coltura

3. MATERIALI

Gli studi sono stati condotti in particolare sulle fasi riproduttive delle alghe, ovvero sulla sporulazione e sullo sviluppo morfogenetico delle spore di Corallinaceae. Perciò campioni adulti di *L. incrustans* sono stati raccolti con immersione in apnea ad una profondità di circa 3-4 metri in corrispondenza del lungomare della riviera triestina, in una località nota come bagni “Topolini” (45° 41' 21.79” N; 13° 44' 32.07” E). Il campionamento è stato svolto dagli autori, con l'aiuto di un docente.

I campioni sono stati immediatamente portati a scuola, dove era stato precedentemente allestito un laboratorio con i seguenti materiali:

- due acquari da 22 litri cadauno (Fig. 2), dotati di pompa per movimentazione dell'acqua e illuminazione crono-regolata (12 ore di luce e 12 ore di buio);
- sistema per insufflazione di anidride carbonica, regolato da pH-metro collegato con elettrovalvola a *feedback* negativo (Milwaukee);

- bombola di diossido di carbonio;
- termometro centigrado;
- Vetrini portaoggetto;
- microscopio ottico (Konus);
- acqua marina.

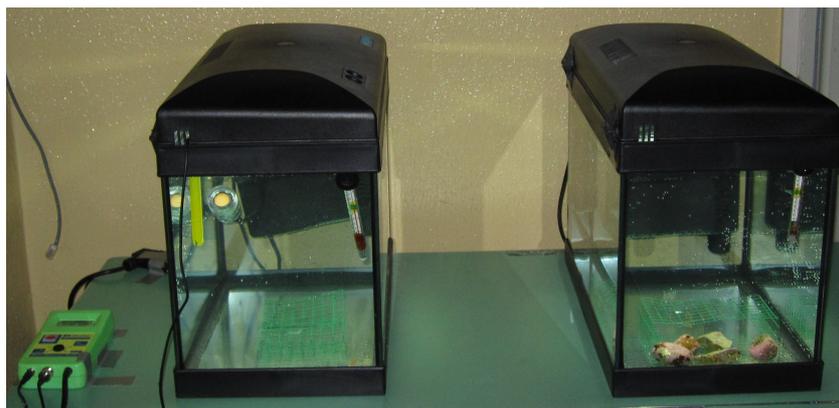


Fig. 2. Acquari utilizzati nel progetto didattico ¹

4. METODI

Nell'ambito del laboratorio di fitoecologia marina del dipartimento di Scienze della Vita dell'Università di Trieste è già attiva un'Unità di Ricerca (Cumani *et al.*, 2009) che opera sulle risposte biologiche all'acidificazione dell'acqua di mare da parte di talli di diverse specie di Corallinaceae. In questo contesto nel gennaio 2008 è stato realizzato un impianto di coltura di laboratorio atto alla caratterizzazione della calcificazione delle alghe rosse calcaree sottoposte a differenti condizioni di $p\text{CO}_2$. ² La riproducibilità e l'affidabilità dei risultati fin qui ottenuti in laboratorio, come anche la presenza nel nostro gruppo di specifiche competenze legate al mondo della didattica, ha rappresentato lo spunto per proporre un percorso sperimentale per ragazzi della scuola media.

¹ Gli acquari sono stati messi a disposizione dalla Esperimentoteca del C.I.R.D..

² La ricerca è stata inserita nell'ambito del progetto V.E.C.T.O.R. (Vulnerabilità delle Coste e degli ecosistemi marini italiani ai cambiamenti climatici e loro ruolo nei cicli del Carbonio mediterraneo) del CoNISMA.

Le alghe incrostanti, una volta portate in classe, sono state sottoposte ad uno *shock* termico rispetto alle temperature in mare al fine di indurre la pervietà dei concettacoli (corpi riproduttivi), e il conseguente rilascio di spore. Le alghe sono state prima pulite con un pennellino (l'operazione di pulizia va eseguita mantenendo immersi in acqua i campioni), quindi sono state sospese negli acquari, appoggiandole sopra un sostegno in rete metallica costruito *ad hoc*. Nel primo acquario sono state mantenute condizioni di coltura il più possibile simile a quelle naturali. Nel secondo acquario è stata fatta gorgogliare CO₂ determinando una riduzione del pH sino al valore prefissato (7.8) corrispondente al valore previsto dall'IPCC per la fine del secolo (Parry *et al.*, 2007). Al raggiungimento del pH *target* è stato interrotto il flusso della CO₂, tramite un controllo a *feedback* negativo ottenuto con un'elettrovalvola collegata al pH-metro.

Al fine di raccogliere opportunamente le spore liberatesi, immediatamente al di sotto delle alghe progenitrici, è stato predisposto un pavimento, o "letto", di 10 vetrini portaoggetti da microscopia ottica, per ciascuna vasca, preliminarmente lavati, sgrassati, sterilizzati e marcati con codici.

Di norma le spore delle Corallinaceae aderiscono al substrato mediante briglie mucopolisaccaridiche ed iniziano rapidamente a dividersi, secondo un piano morfogenetico caratteristico, con piani di clivaggio specie - specifici; così infatti è stato e lo si può osservare nella Fig. 3.



Fig. 3. Giovane tallo di *Lithophyllum incrustans*.

Trascorse 24 ore dall'inseminazione, i ragazzi, hanno iniziato a censire il numero di talli presenti su ogni vetrino, tramite conta diretta al microscopio (Konus, ingrandimento 10X).

Gli allievi in questa fase hanno lavorato in piccoli gruppi di tre-quattro persone per volta, alternandosi al microscopio. Durante la coltura sono stati regolarmente monitorati i dati chimico fisici rilevanti per la crescita delle alghe, ovvero: pH, temperatura, nitriti, nitrati, fosfati, durezza e la concentrazione di Calcio e Magnesio disciolti in acqua. Il pH è stato monitorato con pH-metro e con test per acquari; la temperatura è stata rilevata con un termometro e con una sonda a termocoppia DB2 Texas Instruments; i parametri chimici sono stati rilevati utilizzando test specifici per acquario. I dati sono stati raccolti e tabulati in tabelle Excel per Windows e rappresentati con grafici.

La sperimentazione è stata ripetuta due volte nel corso dell'anno, in dicembre e aprile. Ogni ciclo di sperimentazione ha avuto una durata di due settimane, durante le quali i ragazzi si sono dati il turno nella gestione del laboratorio. I dati raccolti sono stati organizzati in tabelle e rappresentati con grafici ottenuti con il *software* Microsoft Excel.

5. IL PROGETTO

Sotto il profilo pedagogico è stato ideato un percorso didattico tematico e sperimentale per la scuola secondaria di primo grado. Il tema proposto è stato quello dei cambiamenti climatici globali. Le alghe rosse calcaree, note come indicatrici della qualità dell'ambiente, sono state utilizzate dai ragazzi in fase sperimentale per osservare le risposte biologiche alle variazioni ambientali.

“I cambiamenti climatici globali” sono stati scelti in quanto rappresentano un tema attuale e perché permettono di contestualizzare un percorso che sviluppi competenze cognitive complesse, quali saper cogliere relazioni (approccio sistemico), controllare e rielaborare i risultati ottenuti, esprimere i risultati utilizzando un appropriato linguaggio matematico/statistico.

Un corso prodromico alla sperimentazione didattica, svolto durante l'anno scolastico 2009/2010, presso l'Istituto Comprensivo Divisione Julia di Trieste e sostenuto dal C.I.R.D, è stato finalizzato a far comprendere la complessità degli ecosistemi marini, a evidenziare come l'attività umana possa minacciare la sopravvivenza degli organismi sensibili a determinati agenti stressogeni.

Il corso ha avuto come obiettivo quello di rendere i ragazzi parte attiva nella conservazione degli ecosistemi locali, quindi in linea con quell'educazione ambientale che rientra a pieno titolo nei *curricula* scolastici (Ministero della Pubblica Istruzione, 2007).

Il percorso, ideato per alunni della classe terza della scuola secondaria di primo grado, è stato articolato in 16 unità didattiche extracurricolari in classe ed un lavoro sperimentale che ha coinvolto gli studenti a gruppi di tre alla volta, per un totale di 42 unità didattiche laboratoriali (in modo da garantire ad ogni allievo almeno sei ore effettive di laboratorio). Il corso è stato proposto ad un gruppo interclasse di 21 alunni. I ragazzi che hanno partecipato hanno poi coinvolto nella propria esperienza i propri compagni di classe (*peer education*) in una giornata destinata alla presentazione della ricerca svolta.

Prima di essere attuato il progetto è stato sottoposto e approvato dal Collegio dei Docenti della scuola.

6. LA DIDATTICA

Sebbene l'argomento trattato sia di portata planetaria, le attività proposte sono partite dall'analisi della realtà territoriale, approcciata con metodo sperimentale; si è lavorato su:

- definizione geografica del Golfo di Trieste;
- parametri chimico-fisici dell'acqua marina e principali misure oceanografiche con particolare attenzione all'evoluzione strumentale e metodologica, con lettura di diagrammi di dati preesistenti;
- composizione chimico fisica dell'acqua marina;

- gli *habitat* costieri;
- principali organismi vegetali e animali che popolano gli ecosistemi locali, le alghe ed in particolare le alghe calcaree;
- cambiamenti climatici globali: cenni alle previsioni dell'IPCC³ – aumento dell'anidride carbonica in atmosfera, effetto serra;
- effetti dei cambiamenti climatici globali sulla chimica dell'acqua marina, in particolare sul sistema dei carbonati (Acidificazione del mare).

Le lezioni si sono svolte in orario extracurricolare, e sono state distribuite nel corso dell'anno scolastico. Durante questi momenti i ragazzi sono stati riuniti tutti assieme.

L'attività didattica è stata svolta adottando un approccio induttivo (*bottom-up strategy*): - partendo dal dato sperimentale osservato in microcosmo (acquario); - accoppiando il dato con le conoscenze acquisite sull'ambiente marino del Golfo di Trieste; - passando per un processo di modellizzazione atto a comprendere il funzionamento di un sistema complesso (Randler & Bogner, 2009), quale è un ecosistema, e comprendere i possibili effetti dei cambiamenti climatici globali a scala locale.

7. RISULTATI DELL'ESPERIMENTO

Durante la sperimentazione condotta in dicembre gli studenti hanno censito 167 giovani talli nella vasca di controllo e 60 nella vasca acida. In aprile 2010 sono stati contati 1094 nella vasca di controllo e 217 nella vasca acida.

In entrambi gli esperimenti è stata osservata una riduzione nel numero di spore prodotte dagli individui sottoposti a trattamento con CO₂ rispetto alla vasca di controllo (fig. 4).

³ IPCC – International Panel on Climate Change

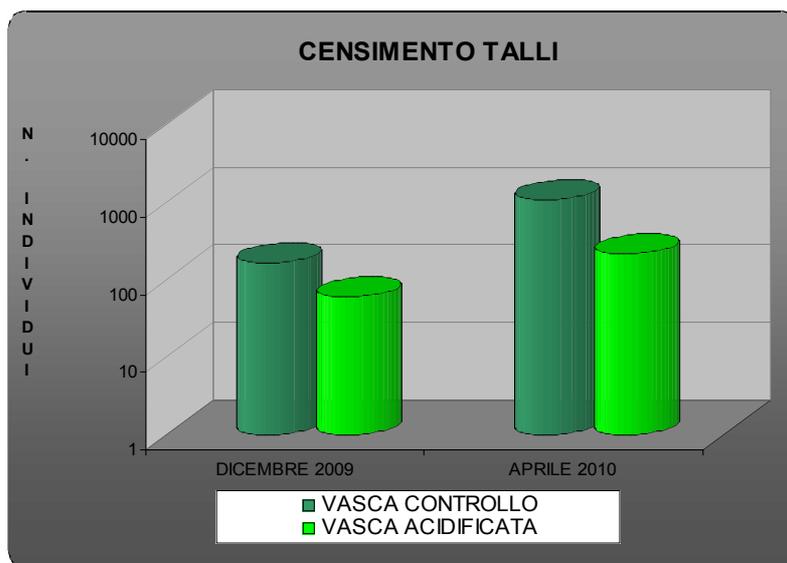


Fig. 4. Risultati dei censimenti effettuati dagli allievi.

8. CONCLUSIONI

Sebbene il microcosmo costruito nel laboratorio scolastico non possa garantire il condizionamento preciso di tutti i parametri chimico-fisici del sistema - per ovvi motivi di contenimento dei costi e di semplicità di conduzione - esso ha assolto egregiamente la funzione didattica per la quale era stato ideato. I risultati ottenuti, in termini di produzione di spore in microcosmo acidificato *versus* microcosmo di controllo, sono coerenti con precedenti osservazioni ottenute dagli autori in esperimenti condotti presso il Dipartimento di Scienze della Vita dell'Università di Trieste (Cumani *et. al*, 2010). I risultati delle due insemminazioni effettuate presso l'Istituto comprensivo Divisione Julia di Trieste nel corso dell'anno scolastico 2009-2010 sembrano confermare che l'esperimento "hands-on" con le alghe calcaree sia utilizzabile in un contesto scolastico per dimostrare gli effetti dell'acidificazione dell'acqua di mare su organismi calcificatori: i ragazzi che hanno partecipato all'esperimento hanno osservato e discusso i risultati; essi hanno dedotto che l'aumento della CO_2 atmosferica potrebbe avere degli effetti negativi sulla riproduzione in natura delle alghe calcaree. Alcuni hanno inoltre suggerito che, in considerazione di tutti i legami che gli organismi hanno fra loro all'interno di un

ecosistema, la possibile riduzione della diffusione delle Corallinaceae potrebbe avere delle ripercussioni anche su altre specie che occupano gli stessi habitat, come anche alcune attività umane, quali la pesca o l'attività ricreativa, potrebbero risentire negativamente dell'acidificazione del mare.

A conclusione dell'esperienza e per contribuire ad incentivare comportamenti di maggiore consapevolezza nella conservazione delle risorse naturali da parte dei giovani, gli allievi che hanno partecipato al progetto hanno proposto ai compagni di scuola un incontro dove hanno presentato e discusso in prima persona il lavoro svolto. Gli incontri, a cui hanno partecipato i ragazzi, gli insegnanti ed i ricercatori coinvolti nel progetto, hanno rappresentato un momento di confronto fra i giovanissimi, il mondo della scuola e della ricerca.

In sintesi, il percorso sperimentale sopra illustrato sembra aver risposto egregiamente nei tempi, nei modi, negli strumenti agli obiettivi prefissati, nell'ottica di sviluppare una didattica attuale delle scienze naturali.

RINGRAZIAMENTI

Se non avessimo avuto il sostegno del C.I.R.D., l'accoglienza dell'Istituto Comprensivo Divisione Julia di Trieste, la collaborazione degli insegnanti e soprattutto l'entusiasmo dei ragazzi, questo lavoro non sarebbe giunto a termine: a tutte queste persone un sentito ringraziamento.

BIBLIOGRAFIA

BRESSAN G. & L. BABBINI

2003, *Corallinales del Mar Mediterraneo: guida alla determinazione*, Genova, S.I.B.M.

CUMANI F., DI PASCOLI A. E BRESSAN G.

2009, *Preliminary results of the CO₂ increase effects on spores of Corallinales in artificial culture*, II workshop V.E.C.T.O.R. – Roma 25 – 26 febbraio 2009

CUMANI F., BRADASSI F., DI PASCOLI A. E BRESSAN G.

2010, *Marine Acidification Effects On Reproduction And Growth Rates Of Corallinaceae Spores (Rhodophyta)*, in Rapp. Comm. int. Mer Médit., n. 39: pag. 735.

DUPONT S., LUNDVE B., THORNDYKE M.

2010, *Near future ocean acidification increases growth rate of the lecithotrophic larvae and juveniles of the sea star Crossaster papposus*, in Exp. Zool (Mol. Dev. Evol.) 314B, pp. 1-8.

FEELY, R. A., SABINE CL, LEE K, BERELSON W, KLEYPAS J, FABRY VJ, MILLERO FJ.

2004, *Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans*, in Science 305, pp. 362–366.

GAO K., ARUGA Y., ASADA K., ISHIHARA T., AKANO T., KIYOHARA M.

1993, *Calcification in the articulated coralline alga Corallina pilulifera, with special reference to the effect of elevated CO₂ concentration*, in Marine Biology n. 117(1): pp. 129-132.

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*, in Nature n. 454: pp. 96-99

JOKIEL P. L., RODGERS K. S., KUFFNER I. B., ANDERSSON A. J., COX E. F., MACKENZIE F. T.

2008 *Ocean acidification and calcifying reef organisms: a mesocosm investigation*. Coral Reefs 27: 473–483

KUFFNER I. B., ANDERSSON A. J., JOKIEL P. L., RODGERS K. S., MACKENZIE F. T.

2008 *Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification*, in Nature Geoscience 1: pp. 114 - 117.

MINISTERO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE

2007, *Indicazioni per il curricolo per la scuola dell'infanzia e per il primo ciclo d'istruzione*, Roma

LANGDON, C.

2002, *Review of experimental evidence for effects of CO₂ on calcification of reef builders*, in Proc. 9th Int. Coral Reef Sym. Vol 2: pp. 1091-1098.

LECLERQ N., GATTUSO J.P. AND JAUBERT J.

2002, *Primary production, respiration, and calcification of a coral reef mesocosm under increased CO₂ partial pressure*, in Limnol. Oceanogr. n. 47(2): pp. 558-564.

LUCETTA A., CANTONI C., CATALANO G.

2010, *New observations of CO₂-induced acidification in the northern Adriatic Sea over the last quarter century*, in Chemistry and Ecology n. 26(1): pp. 1–17.

MARTIN S. AND GATTUSO J.-P.

2009, *Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature*, in *Global Change Biology* n. 6: pp 1-12

MARTIN S., RODOLFO-METALPA R., RANSOME E., ROWLEY S., BUIA M.-C., GATTUSO J.-P. AND HALL-SPENCER J.

2008, *Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts*, in *Biol. Lett.* N. 4, pp. 689–692.

PARRY M., CANZIANI O., PALUTIKOF J., VAN DER LINDEN P., HANSON C.

2007, *Climate Change 2007 Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press.

PEARSON, P. N. & PALMER, M. R.

2000 *Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years*. *Nature* n. 406: pp. 695–699.

RANDLER C., BOGNER F.X.

2009, *Efficacy of two different instructional methods involving complex ecological content*, in *International Journal of Science and Mathematics Education National Science Council, Taiwan* n. 7: pp. 315-337

RIEBESSELL U., FABRY V. J., HANSSON L. & GATTUSO J.-P. (Eds.)

2010, *Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting*, Luxembourg, Publications Office of the European Union.

SCOR-UNESCO (SCIENTIFIC COMMITTEE ON OCEANIC RESEARCH-UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION)

2004, *The ocean in a high CO2 world*, Paris, UNESCO