

CAMBIAMENTI CLIMATICI ED ECOSISTEMI LAGUNARI

Laura Mancini, Camilla Puccinelli, Stefania Marcheggiani
 Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Gli ecosistemi di transizione sono ambienti che a causa della loro peculiarità, posti al confine tra il mare aperto e le terre emerse, presentano un elevato grado di complessità. La presenza di cordoni litoranei, canali, barene generano particolari idrodinamismi e confinamenti, associata generalmente a una scarsa profondità. Questi elementi rendono gli ecosistemi lagunari particolarmente sensibili alle variazioni stagionali della temperatura e all'irraggiamento solare che possono innescare fenomeni di produttività primaria elevata e di distrofia del sistema con ipossie e anossie maggiormente significative rispetto ad altri ecosistemi acquatici. La presenza del dominio pelagico e bentonico con la colonna d'acqua, il materiale particolato in sospensione, i sedimenti e le acque interstiziali interagiscono tra loro e ne determinano pH, salinità, condizioni ossido-riduttive e lo stato ecologico e di salute dell'ecosistema (Europa, 2000). In questo contesto i sedimenti giocano un ruolo chiave sia a livello diretto come target di potenziali impatti, sia di possibile rischio per la salute dell'ecosistema.

L'Unione Europea, con l'emanazione della Direttiva quadro acque 2000/60/CE e l'attuazione da parte degli Stati membri, assegna infatti una particolare attenzione alle acque di transizione, essendo identificate come uno dei corpi idrici da tutelare e salvaguardare (art. 1, Direttiva 2000/60/CE). Le acque di transizione sono definite: come "corpi idrici superficiali in prossimità della foce di un fiume, che sono parzialmente di natura salina a causa della loro vicinanza alle acque costiere, ma sostanzialmente influenzati dai flussi di acqua dolce" (art. 2, Direttiva 2000/60/CE). In questa definizione, vengono dunque compresi tutti gli ambienti di acque salmastre: l'elevata eterogeneità di questi ambienti ha sempre costituito un problema per una loro individuazione univoca e per gli interventi di tutela e salvaguardia (McLusky & Elliott, 2007; Ferreira *et al.*, 2006; Tagliapietra *et al.*, 2006; Bricker, 2003). Nell'area geografica mediterranea, questi ecosistemi sono stati distinti in acque correnti di transizione come gli estuari, e acque lentiche di transizione come laghi costieri e lagune (Basset *et al.*, 2006). Per la loro descrizione sono stati presi in considerazione parametri ambientali che influenzano lo sviluppo delle comunità biologiche: l'escursione di marea, la salinità, la profondità, la superficie e la granulometria del substrato (Barron *et al.*, 2002; Munari *et al.*, 2003; Ayadi *et al.*, 2004). Nella regione mediterranea sono presenti circa 400 lagune costiere, con una superficie di oltre 641000 ha (Cataudella *et al.*, 2015). In Italia, i sistemi lagunari più estesi si trovano nelle regioni settentrionali (Basset *et al.*, 2004).

Le lagune sono specchi d'acqua situati lungo la costa o bacini costieri in cui penetrano sia le acque marine sia quelle continentali. Sono separate dal mare da cordoni litorali e sono dominate dalle maree: le "vere" lagune italiane si trovano solo nell'Alto Adriatico (Lagune di Venezia, Grado, Marano) dove si verificano escursioni di marea accentuate di 110-120 cm (Brambati, 1998; Puccinelli, 2007).

Negli ambienti di transizione le biocenosi, le fitocenosi i sedimenti rappresentano i target più importanti dei contaminanti che derivano dalle attività antropiche (Eggleton & Thomas, 2004) e soggetti a monitoraggio da parte dei Paesi dell'Unione Europea (Europa, 2000).

Le lagune sono ecosistemi altamente produttivi e forniscono una gamma di servizi naturali di primaria importanza e soggette a continui cambiamenti motivati da fattori sia naturali che antropici (Costa, 2018): raccolgono le acque durante le piene fluviali, ripristinano le falde acquifere e sono luogo di elevati tassi di ricicli di azoto, zolfo e carbonio. Il flusso continuo

proveniente dai corsi d'acqua e la scarsa corrente permettono la sedimentazione del materiale detritico organico e inorganico rendendo queste zone altamente produttive. Queste peculiarità e fragilità li rendono anche serbatoi di biodiversità e fonte di ricchezza, in termini di capitale naturale, di un Paese.

Le lagune costiere storicamente sono state gestite controllando l'entità dello scambio con il mare o gli apporti di acqua dolce e controllando la profondità e la topografia per consentire la produzione a scopo alimentare e per fornire risorse e servizi ecosistemici impedendo di fatto che seguano il percorso evolutivo naturale (Chapman, 2011).

La pesca e varie forme di acquacoltura sono state tradizionalmente effettuate nelle lagune costiere del Mediterraneo fin dai tempi antichi e fanno parte del patrimonio culturale della regione. La gestione tradizionale lagunare, legata all'acquacoltura estensiva e alla pesca, ha certamente contribuito, nel tempo, a preservare questi peculiari ecosistemi, sebbene gran parte delle aree lagunari costiere siano progressivamente scomparse a causa di bonifiche e altri usi.

Nonostante ciò una serie di pressioni antropiche e naturali hanno fortemente modificato sia la struttura che il funzionamento di questi fragili ecosistemi costieri (Cataudella *et al.*, 2015).

Le aree critiche che risentono maggiormente degli effetti negativi, sia sulla salute sia sull'ecosistema, determinati dalle variazioni estreme delle condizioni meteo climatiche quali ad esempio alluvioni, *flash flooding*, sono le aree marino-costiere e i bacini idrografici altamente urbanizzati, in quanto ecosistemi altamente stressati e densamente popolati (Marcheggiani *et al.*, 2010).

Infatti, le aree costiere e le lagune sono particolarmente suscettibili agli impatti del cambiamento climatico globale sia a causa delle attività antropiche ma anche dei processi naturali (Costa, 2018). Caratteristiche come profondità, connessioni con il mare, dinamica dei sedimenti, estensione, così come le temperature dell'acqua e la produttività, e l'innalzamento del livello del mare sono tutte influenzate dal cambiamento climatico in atto (De Wit, 2011). Variazioni dei parametri fisici e chimici dell'acqua, come temperatura, pH, salinità, erosione, temperatura dell'aria e le radiazioni UV possono aumentare la diffusione di specie alloctone, alterare le comunità e l'equilibrio ecologico nonché modificare i modelli di distribuzione delle bio e fitocenosi (Cataudella *et al.*, 2015).

Le lagune sono ambienti ideali, per il carico trofico sia naturale e sia di origine antropica per lo sviluppo di fioriture algali. Queste – se dovute a specie tossiche (*Bacillariophyceae* e *Dinophyceae*) – rappresentano un rischio per la salute umana; l'aumento della loro incidenza è legato anche all'innalzamento della temperatura (Marcheggiani *et al.*, 2010).

Questi effetti sono maggiormente tangibili nella regione mediterranea e in lagune poco profonde, con importanti conseguenze sulla rete trofica pelagica (MAP-UNEP Barcellona *Convention*, 2017; Milano *et al.*, 2013 Vidussi *et al.*, 2011).

Uno degli effetti più evidenti del cambiamento climatico, in particolare per un bacino chiuso come il Mar Mediterraneo, è l'innalzamento del livello del mare, il cui tasso attuale è già molto più veloce di quello osservato nel tempo geologico (Brochier & Ramieri, 2001) e che potrebbe mettere a repentaglio l'equilibrio dell'ecosistema (Jones & Clark, 2013; European Commission, 2009).

In mancanza di azioni di gestione l'erosione può accelerare la scomparsa di lagune poiché potrebbero essere convertite in "aree" aperte o ripiegare verso l'entroterra, fenomeno naturale durante i periodi di innalzamento del livello del mare (De Wit, 2011).

Ovviamente questa possibilità dipende anche dalle condizioni geomorfologiche e fisiche dell'area. In molte aree del Mediterraneo questo fenomeno potrà essere ostacolato dall'urbanizzazione del litorale o da strutture artificiali costruite per proteggere il terreno da erosione e/o allagamento (Cataudella *et al.*, 2015).

Considerando sia la componente di innalzamento del mare che quella di abbassamento del suolo, sono stati calcolati tre scenari di inondazione potenziale all'anno 2100, corrispondenti a +54, +94 e +134 cm. Nell'ipotesi più pessimistica si assisterà quasi al raddoppio della superficie delle aree in depressione assoluta, ovvero aree con quote minori del livello medio marino. Con l'aumentare del livello relativo del mare inoltre si può facilmente prevedere un aumento del numero degli eventi di acque alte durante l'anno, con i conseguenti impatti sui Paesi costieri e sulle spiagge – Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (FVG) (ARPA-FVG, 2018).

Assume quindi notevole importanza l'innalzamento del livello del mare e l'impatto che può avere su questa parte del territorio regionale (Bezzi *et al.*, 2015). A questo scopo la Regione FVG sta operando sin dal 2004 per verificare lo stato di salute degli argini e intervenire laddove sia necessario adeguare le opere – Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del FVG (ARPA-FVG, 2018).

Azioni globali rivolte alla connessione tra cambiamenti climatici e salute nella visione prospettica che nell'ecosistema è compreso anche l'uomo debbono essere affrontati al fine della salvaguardia e del ripristino.

L'Assemblea generale dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) nell'anno 2019 ha siglato una risoluzione per i 10 anni dedicati al ripristino degli ecosistemi e la giornata mondiale dell'ambiente del 2021 ha aperto il nuovo decennio (2021-2030) (UNEMG, 2021).

Secondo il *United Nations Environment Programme* (UNEP) e la *Food and Agriculture Organization* (FAO) gli investimenti per la natura (riforestazione, tutela degli ecosistemi e della biodiversità) dovranno triplicare da qui al 2030 e quadruplicare nel 2050, se si vogliono superare le crisi interconnesse della perdita di biodiversità, del degrado del suolo e del clima. Di fronte alla triplice minaccia del cambiamento climatico, della perdita di natura e dell'inquinamento:

“il mondo deve mantenere il suo impegno per ripristinare almeno un miliardo di ettari di terra degradati nel prossimo decennio, un'area delle dimensioni della Cina (...). I Paesi devono anche prevedere impegni simili per gli oceani” e “l'umanità sta utilizzando circa 1,6 volte la quantità di servizi che la natura può fornire in modo sostenibile” (UNEP-FAO, 2021).

Il degrado degli ecosistemi sta già colpendo il benessere di circa 3,2 miliardi di persone, ovvero il 40% della popolazione mondiale, mentre ogni anno perdiamo servizi ecosistemici che valgono più del 10% della nostra produzione economica globale. Gli effetti del cambiamento climatico nel 2020 sono costantemente aumentati nonostante la situazione pandemica (WMO, 2021). Il tempo è in scadenza per invertire la rotta come riportato nella “Carta Internazionale di Roma su Salute e Cambiamenti Climatici”.

La Carta è il frutto di una riflessione dei 3 giorni di lavori nel “First Scientific Symposium on Health and Climate Change” (Roma 3-5 dicembre 2018), alla quale hanno partecipato oltre 500 ricercatori provenienti da più di 27 Paesi.

La Carta nasce come strumento d'indirizzo capace di fornire raccomandazioni e suggerire azioni utili innanzitutto ai decisori politici ma anche come strumento per far crescere la consapevolezza su queste tematiche cercando di porle al centro di tutte le agende.

Il documento è basato sulle evidenze scientifiche ed è suddiviso in 24 Raccomandazioni che comprendono le azioni necessarie per contrastare e contenere i rischi sulla salute prodotti dai cambiamenti climatici. Nasce dalla consapevolezza che come scienziati si ha il dovere di richiamare l'attenzione su questo problema, farlo diventare una priorità e indicare strategie (Marcheggiani *et al.*, 2021) per invertire questa drammatica tendenza prima che sia troppo tardi (Ricciardi *et al.*, 2020; Ricciardi & Mancini, 2021).

Bibliografia

- ARPA-FVG (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia). *Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia. I report. Supporto alla predisposizione di una strategia regionale di adattamento ai cambiamenti climatici e per le azioni di mitigazione*. Udine: ARPA-FVG; 2018.
- Bezzi A, Boccali C, Calligaris C, Colucci RR, Cucchi F, Finocchiaro F, Fontolan G, Martinucci D, Pillon S, Turpaud P, Zavagno E, Zini L, Toffolon G. *Impatti dei cambiamenti climatici sul territorio fisico regionale Studio sullo stato di fatto concernente la conoscenza d'insieme del territorio fisico regionale per la valutazione degli impatti dovuti ai cambiamenti climatici*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia; 2015. p. 23. Disponibile all'indirizzo: https://www.regione.fvg.it/rafvfg/export/sites/default/RAFVG/ambiente-territorio/geologia/FOGLIA22/allegati/Impatti_dei_cambiamenti_climatici_sul_territorio_fisico_regionale.pdf; ultima consultazione 20 giugno 2022.
- Brochier F, Ramieri E. *Climate change impacts on the mediterranean coastal zones*. Milano: Fondazione Eni Enrico Mattei; 2001. p. 37-61 (April 2001). Disponibile all'indirizzo: <http://ssrn.com/abstract=277549>; ultima consultazione 2 giugno 2022.
- Cataudella S, Crosetti D, Massa F (Ed.). *Mediterranean coastal lagoons sustainable management and interactions among aquaculture, capture fisheries and the environment*. General fisheries commission for the mediterranean: studies and reviews n. 95. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2015. Disponibile all'indirizzo: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/95%20Mediterranean%20coastal%20lagoons.pdf>; ultima consultazione 20 giugno 2022.
- Chapman PM. Management of coastal lagoons under climate changel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2012;110:32-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.01.010>.
- Costa S, Picado A, Vaz N, Coelho C, Portela L, Dias JM. Climate change effects on suspended sediment dynamics in a coastal lagoon: Ria de Aveiro (Portugal). Proceedings from the International Coastal Symposium (ICS). *Journal of Coastal Research* 2018;85:521-25.
- De Wit R. *Biodiversity of coastal lagoon ecosystems and their vulnerability to global change, ecosystems biodiversity*. Rijeka (HR): Intech Open; 2011. Disponibile all'indirizzo: <https://www.intechopen.com/chapters/25321>; ultima consultazione 20 giugno 2022.
- Eggleton J, Thomas KV. A Review of Factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environmental International* 2004;30(7):973-80.
- Ehler CN, Cicin-Sain B, Knecht R, South R, Weiher R. Guidelines to assist policy makers and managers of coastal areas in the integration of coastal management programs and national climate-change action plans *Ocean & Coastal Management* 1997;37(1):7-27.
- Europa. Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. *Gazzetta ufficiale delle Comunità Europee* L 327/1 del 22 dicembre 2000.
- European Commission. *Ecosystems goods and services*. Bruxelles: European Commission; 2009. Disponibile all'indirizzo: <https://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/ecosystem.pdf>; ultima consultazione 20 giugno 2022.
- Jones N, Clark JRA. Social capital and climate change mitigation in coastal areas: A review of current debates and identification of future research directions. *Ocean & Coastal Management* 2013;80:12-19.
- MAP-UNEP (Mediterranean Action Plan-United Nations Environment Programme). Barcellona Convention. *2017 Mediterranean quality status repor*. Nairobi: UNEP; 2017. Disponibile all'indirizzo: https://www.medqsr.org/sites/default/files/inline-files/2017MedQSR_Online_0.pdf; ultima consultazione 20 giugno 2022.

- Marcheggiani S, Carere M, Della Bella V, Grifoni R, Funari E, Mancini L. Epidemie veicolate dall'acqua. In: Sinisi L (Ed.). *Cambiamenti climatici e salute: criticità e proposte progettuali per una strategia d'adattamento ambientale – Conferenza Nazionale Cambiamenti Climatici 2007*. Roma: ISPRA Pubblicazioni; 2010. (ISPRA Rapporti 110/2010) p. 25-35.
- Marcheggiani S, Puccinelli C, Tancioni L, Mancini L, Chiudioni F, Lacchetti I, Carere Mario. Aquatic ecosystems and climate changes: data gaps in relation to flooding events. *Austin Environ Sci* 2021;6(1):1055.
- Micheletti S, Cicogna A. 2014. Cambiamenti climatici in Friuli Venezia Giulia, evidenze recenti e prospettive. *Meteorologica* (12)2:8-11.
- Milano M, Ruelland D, Fernandez S, Dezetter A, Fabre J, Servat E, Fritsch JM, Ardoin-Bardin S, Thivet G. Current state of Mediterranean water resources and future trends under climatic and anthropogenic changes. *Hydrological Sciences Journal* 2013;58(3):498-518.
- Puccinelli C. *Diatomee e macroinvertebrati delle zone umide e delle acque di transizione*. [Tesi di Laurea]. Roma: Università degli Studi "Sapienza"; 2007. p. 1-105
- Ricciardi W, Mancini L. Health and climate change. International conference. *Journal of Moral Theology* 2021;2020:14-26.
- Ricciardi W, Marcheggiani S, Puccinelli C, Carere M, Sofia T, Giuliano F, Dogliotti E, Mancini L, Agrimi U, Alleva E, Busani L, De Castro P, Gaudi S, Michelozzi P, Rezza G, Testai E, Vella S. Focus health and climate change: science calls for global action. *Ann Ist Super Sanità* 2020;55(4):323-9. DOI: 10.4415/ANN_19_04_04.
- UNEMG (United Nations Environment Management Group). *Ecosystem restoration playbook. A practical guide to healing the planet. developed for world environment day 2021 to kick off the united nations decade on ecosystem restoration (2021-2030)*. Geneva: UNEMG; 2021. Disponibile all'indirizzo: <https://unemg.org/wp-content/uploads/2021/04/Ecosystem-Restoration-Playbook.pdf>; ultima consultazione 20 giugno 2022.
- UNEP-FAO (United Nations Environment Programme-Food and Agriculture Organization). *Becoming #GenerationRestoration: ecosystem recovery for people, nature and climate*. UNEP-FAO; 2021. Nairobi: UNEP; 2021. Disponibile all'indirizzo: <https://www.unep.org/resources/ecosystem-restoration-people-nature-climate>; ultima consultazione 20 giugno 2022.
- Vidussi F, Mostajir B, Fouilland E, Le Floc'H E. Effects of experimental warming and increased ultraviolet B radiation on the Mediterranean plankton food web. *Limnol Oceanogr* 2011;56: 206-18.
- WMO (World Meteorological Organization). *The State of the Global Climate 2020* (n. 1264). Geneva: WMO; 2021.

CONSIDERAZIONI FINALI

Il Gruppo di Lavoro (GdL), composto da esperti dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS), dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), della Regione Friuli Venezia Giulia (FVG) e dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Friuli Venezia Giulia (ARPA-FVG), è stato formato con l'obiettivo primario di valutare il valore limite locale che è stato proposto per il mercurio dalla Regione FVG, per la movimentazione a mare dei sedimenti, ai sensi del DM 173/2016; tale Decreto ha rappresentato un'importante evoluzione attraverso un approccio di valutazione integrato chimico-ecotossicologico che tiene conto anche delle diverse tipologie di riutilizzo dei materiali di dragaggio. In tale Decreto sono stati individuati dei valori limite nazionali (L1 e L2) per il mercurio che tengono conto di aspetti ambientali e sanitari.

Le riunioni del GdL che si sono succedute hanno portato a un lavoro fruttuoso in cui gli esperti nazionali e regionali hanno condiviso dati, informazioni e metodologie per poter pervenire a un risultato condiviso che è rappresentato dal presente rapporto.

Le tematiche tecnico-scientifiche incluse nel rapporto hanno riguardato, *inter alia*:

- aspetti gestionali relativi alla movimentazione dei fondali nella regione fvg in relazione anche agli eventi di piena;
- metodologie per la derivazione di valori limite per il mercurio;
- aspetti ecotossicologici;
- ruolo del bioaccumulo e biomagnificazione;
- valutazione del rischio per la salute umana;
- rischi connessi agli effetti neurotossici del mercurio;
- aspetti microbiologici;
- effetti potenziali dei cambiamenti climatici sulle lagune e le fasce costiere.

È necessario infine ricordare anche gli obblighi Europei: il mercurio è stato infatti ampiamente regolamentato nel corso degli anni nell'ambito della strategia di implementazione della Direttiva Quadro Acque (Direttiva 2000/60/CE), è stato individuato già nel 2001 (Decisione dell'Unione Europea 2455/2001/CE) come sostanza pericolosa prioritaria per la quale è necessario eliminare scarichi, rilasci, emissioni e perdite entro specifiche scadenze temporali; di conseguenza ciò indica la necessità di continuare ad applicare il principio di precauzione nella gestione e movimentazione dei sedimenti contenenti mercurio negli ecosistemi.

I cambiamenti climatici inoltre comportano fenomeni estremi sempre più frequenti e necessitano di misure di adattamento sempre più urgenti in ambienti fragili quali quelli lagunari e marino-costieri della Regione FVG; tali misure di adattamento e gestionali devono però seguire i principi di sostenibilità ambientale e garantire a lungo termine la tutela della salute degli ecosistemi come ampiamente ribadito da tutti gli esperti che hanno partecipato alle attività del GdL e alla redazione del rapporto.

In conclusione si può affermare che le considerazioni e raccomandazioni principali incluse nel rapporto sono tutte improntate sulla consapevolezza che lo sviluppo sostenibile rappresenta l'unica strada percorribile per poter salvaguardare gli aspetti ambientali e sanitari garantendo al contempo anche le attività produttive ed economiche.