



Numero monografico

Cambiamenti climatici e ciclo idrologico:

Cambiamenti climatici e biosfera. **3**

Analisi ed effetti del cambiamento climatico in ambiente Alpino, sui laghi e sulla risorsa idrica **5**

Habitat fluviali e organismi macrobentici: fattori climatici, comunità acquatiche e stato ecologico in area mediterranea **8**

Riflessioni e idee sull'impatto dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi lacustri **11**

Idati a lungo termine per lo studio degli effetti dei cambiamenti climatici sui cicli biogeochimici negli ecosistemi acquatici **14**

Il comportamento di alcune alghe non-indigene nel Mar Piccolo di Taranto può essere una risposta al cambiamento climatico? **17**

Cambiamenti climatici e possibili effetti sul destino ambientale dei contaminanti emergenti in acque superficiali **20**

Modellistica integrata a supporto dell'implementazione di misure di adattamento ai cambiamenti climatici **23**

Approvigionamento idrico in un contesto di cambiamenti climatici - processi stocastici, non stazionarietà e non linearità: osservazioni e modellistica **26**

Editoriale

I fenomeni di alterazione del clima, imprescindibilmente connessi al ciclo dell'acqua, coinvolgono tanto i processi fisici relativi all'atmosfera, l'oceano, la criosfera, l'idrologia terrestre, quanto quelli biologici ed ecologici dai quali dipende, direttamente o indirettamente, il sostentamento della vita dell'uomo. I cambiamenti climatici, la cui causa è in massima parte attribuita agli effetti dei gas serra di origine antropica, rappresentano un ulteriore elemento di pressione sulle risorse ambientali, che si aggiunge e si combina a quelli già fortemente impattanti sull'ambiente, connessi allo sviluppo industriale e demografico, quali il sovrasfruttamento del suolo e delle acque o, più in generale, della biosfera.

Nello studio degli effetti dei cambiamenti climatici sui regimi idrologici e morfologici dei corpi idrici superficiali e marini, e sulle caratteristiche degli ecosistemi acquatici ad essi connessi, l'IRSA ha accumulato importanti esperienze negli ultimi 20 anni con il coinvolgimento di numerosi ricercatori di tutte le sedi dell'istituto. Come istituto interdisciplinare attivo nella ricerca di politiche di gestione sostenibile del ciclo idrico integrato, è da rilevare anche la partecipazione a progetti di ricerca nazionali ed internazionali per l'individuazione ed implementazione di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici.

Aspetti specifici connessi ai cambiamenti climatici sono oggetto di ricerche in corso in molte delle aree tematiche dell'IRSA, in primis nell'area "Gestione Risorse Idriche" e in quella "Funzionalità degli ecosistemi acquatici, comportamento dei contaminanti e relativi effetti", ma non mancano riferimenti ai cambiamenti climatici anche nelle altre 3 aree ("Processi e tecnologie innovative per il trattamento delle acque", "Recupero di risorse ed energia dal trattamento di reflui, rifiuti, biomasse" e "Caratterizzazione e bonifica di siti contaminati").

Su tali premesse, i colleghi Nicolas Guyennon, Ivan Portoghese, Emanuele Romano e Franco Salerno, ricercatori IRSA che operano nel settore della gestione sostenibile delle risorse idriche, sono stati i promotori di un workshop tematico aperto a tutti coloro che in IRSA sono interessati sia agli scenari quantitativi di cambiamento climatico che agli impatti in termini di quantità e/o qualità della risorsa idrica, ed alterazioni degli ecosistemi acquatici e terrestri.

Avviato nel mese di settembre 2020 con la modalità della *call-for-interest*, estesa a tutta la rete di ricerca dell'Istituto, il processo di adesione al workshop ha raccolto l'interesse di 24 ricercatori su tutte e 5 le sedi. Vista la molteplicità delle competenze interessate all'argomento, lo scopo principale del workshop è stato fare il punto sulle ricerche svolte in tale ambito, in modo da favorire la condivisione delle esperienze, delle tecniche e degli strumenti di analisi utilizzati dai diversi gruppi di lavoro, con l'obiettivo ultimo di favorire una più stretta collaborazione tra i ricercatori dell'Istituto che si occupano di Cambiamento Climatico nei suoi diversi aspetti.

Il workshop è stato strutturato nei tre seguenti macro-temi:

- 1) "**Ciclo idrologico criosfera, acque superficiali, acque sotterranee**". In tale tematica ricadono le attività rivolte principalmente

agli aspetti quantitativi connessi alle risorse idriche, comprese le analisi degli scenari climatici da *Earth-System-Models*, i metodi per il *downscaling* di tali scenari e il loro impiego in modelli idrologici a scala di bacino, lo studio delle evoluzioni climatiche mediante analisi di dati storici anche rivolti alla criosfera.

- 2) **“Ecosystem Services”**. In tale tematica sono comprese le attività riguardanti gli studi sulle alterazioni dei cicli biogeochimici, dei regimi idrologici e termici dei corpi idrici, degli habitat, connesse ai cambiamenti climatici e degli apporti atmosferici di inquinanti.
- 3) **“Socio-Hydrology”**. In questa tematica si intendono comprese le ricerche rivolte allo sviluppo di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici attraverso l'utilizzazione sostenibile del territorio e delle risorse idriche sulla base delle necessità delle comunità e delle esigenze di sviluppo socio-economico. In tale tematica si sviluppano modelli concettuali e matematici per la valutazione delle disponibilità idriche, dell'impatto antropico, delle concentrazioni di inquinanti e del bilancio tra disponibilità e domanda idrica in relazione ai cambiamenti climatici.

Il workshop, organizzato nell'arco dell'intera giornata del 13 gennaio 2021, ha visto la partecipazione di circa 60 persone tra ricercatori, tecnologi, assegnisti di ricerca e dottorandi. Dalle presentazioni, spesso effettuate a più voci in base ai raggruppamenti creati dai ricercatori, è emersa una forte interconnessione tra i 3 macro-temi, a conferma della prevalente vocazione multidisciplinare dell'IRSA, che si è dimostrata spesso vincente nella ricerca di soluzioni articolate a problematiche complesse quali quelle connesse ai cambiamenti climatici.

Per rendere in forma scritta i contenuti delle presentazioni, i ricercatori che hanno contribuito al workshop hanno riportato i contenuti del proprio intervento nella forma degli *extended abstract* raccolti nel presente numero speciale del Notiziario dei metodi Analitici & IRSA news, evidenziando i punti chiave della propria attività nell'ambito dei cambiamenti climatici, con opportuni riferimenti a pubblicazioni, progetti di ricerca e possibili future cooperazioni interdisciplinari.

L'idea di raccontare i risultati finali del workshop sul Notiziario IRSA è nata durante la discussione conclusiva nella quale sono emersi in maniera evidente i fili conduttori tra i diversi gruppi che nell'Istituto si sono occupati e si occupano di ricerche sugli impatti dei cambiamenti climatici sui corpi idrici, sugli ecosistemi ad essi connessi e sulla ricerca di strategie per l'adattamento. Pur rappresentando soprattutto un momento importante di riflessione e di confronto interno all'Istituto, si condividono i frutti di questa esperienza con la speranza che i contenuti possano essere di interesse anche per tutti coloro che in ambito istituzionale e non si occupano di gestione della risorsa idrica nei suoi molteplici aspetti interdisciplinari.

Simona Rossetti
*Direttrice f.f. dell'Istituto di
Ricerca sulle Acque*

Cambiamenti
climatici e ciclo
idrologico:
*una panoramica delle
attività dell'Istituto di
Ricerca sulle Acque*

Cambiamenti climatici e criosfera

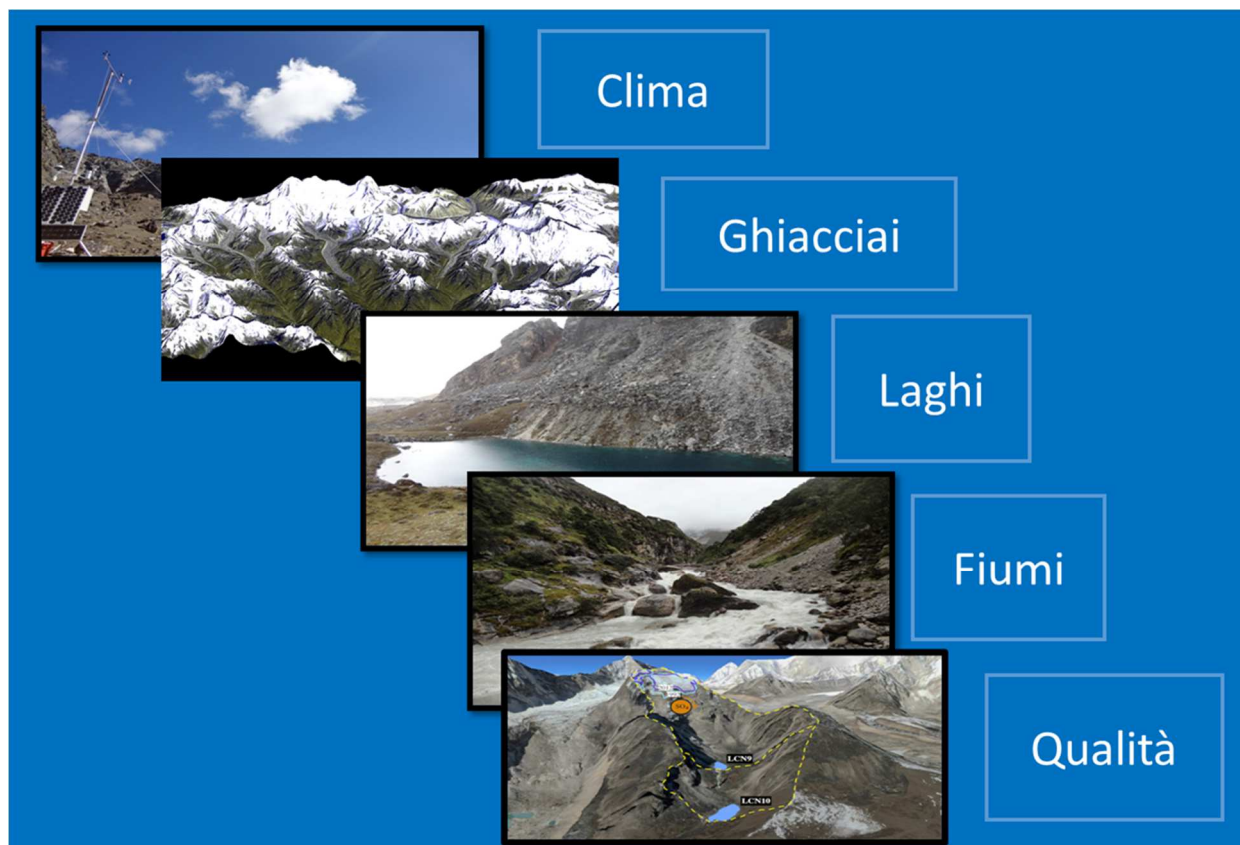
a cura di

Franco Salerno (*), Gianni Tartari, *IRSA - Brugherio*

Nicolas Guyennon, Emanuele Romano, *IRSA - Roma*

Thakuri Sudeep, *Tribuvan University - Katmandu*

Nicola Colombo, *Università degli Studi di Torino*



SITI DI INDAGINE

Gli studi condotti sulle aree montane si sono svolti principalmente in:

- Himalaya (Nepal), in particolare nell'ambito delle attività di ricerca svolte in collaborazione con l'osservatorio Piramide gestito dall'organizzazione Ev-K2-CNR
- Parco dello Stelvio (Lombardia Italia), ossia in alta Valtellina, in collaborazione con l'Università di Milano
- Valle d'Aosta, presso l'Istituto Angelo Mosso gestito dall'Università di Torino

STUDI CLIMATICI IN ALTA QUOTA

Questi studi sono stati condotti principalmente in Nepal per mezzo dei dati meteorologici dell'EvK2CNR. Queste stazioni sono collocate a un range altitudinale che va dai 2800 fino agli 8000 m di quota. Per la serie della Piramide i dati sono stati acquisiti dal 1994. Si tratta indubbiamente della serie meteorolo-

gica più alta al mondo. Il maggiore contributo è stato dato al mantenimento della continuità della serie e per la ricostruzione dei dati mancanti (Salerno et al., 2015). Alcuni studi si sono focalizzati sulla caratterizzazione delle dinamiche climatiche in alta quota (Yang et al., 2018). Altri studi invece si sono focalizzati sulla relazione tra quota e aumento della temperatura, tema particolarmente attuale in letteratura (Thakuri et al., 2019).

IMPATTO DEL CAMBIAMENTO DEL CLIMA SULLA CRIOSFERA

Le attività di ricerca si sono concentrate nel Parco dello Stelvio (Salerno et al., 2014), ma soprattutto in Nepal. Si sono condotti studi sulle variazioni superficiali e di massa dei ghiacciai (Thakuri et al., 2014) e sugli aspetti morfometrici che hanno influenzato tali variazioni (Salerno et al., 2017). Alcuni studi hanno permesso anche evidenziare l'impatto del cambiamento del clima ha avuto sulla fusione glaciale (Soncini et al., 2016). Comunque la maggior parte delle ricerche hanno interessato le variazioni morfometriche dei laghi. Ossia attraverso il supporto di dati

* franco.salerno@irsa.cnr.it

satellitari si sono tracciate le variazioni di superficie intercorse negli ultimi 50 anni. Questi studi hanno permesso di evidenziare le dinamiche di creazione di laghi proglaciali a rischio rottura della diga frontale (GLOF) (Thakuri et al., 2016). Altre ricerche hanno permesso di fare delle inferenze tra cambiamento delle dimensioni dei laghi e fattori climatici che le hanno generate, permettendo in questo modo di tracciare l'evoluzione del clima in zone dove misure meteorologiche non sono disponibili (Salerno et al., 2016).

IMPATTO DEL CAMBIAMENTO DEL CLIMA SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE

Le attività di ricerca si sono concentrate sui laghi alpini d'alta quota. Su questi siti sono stati raccolti dati chimici e chimico-fisici nel contesto di ricerche sull'evoluzione a lungo termine delle acque superficiali in risposta ai cambiamenti climatici. Gli effetti sui laghi sono spesso legati al ruolo della criosfera (copertura nevosa, permafrost, ghiacciai e *rock glacier*). Gli studi sono stati condotti principalmente in Val D'Aosta in collaborazione con l'Università di Torino (e.g., Colombo et al., 2018) e in Nepal su alcuni laghi che sono stati inseriti nel *network* europeo per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine (LTER) (e.g., Salerno et al., 2016).

PROGETTI DI RICERCA

- HKKH Partnership Project. 2006-2010. Decision Support System (DSS), Methodologies and Tools for the Management of Mountain Protected Areas: Mount Everest (Nepal, China) and K2 (Pakistan) Regions
- SHARE Stelvio 2010-2012 An Observatory at high elevation.
- SHARE Rivers 2012-2014 A long term monitoring of quantity and quality of rivers and running waters in Sagarmatha National Park, Nepal.

BIBLIOGRAFIA

FENOCCHI, A., ROGORA, M., SIBILLA, S., CIAMPITIELLO, M., DRESTI, C., (2018): "Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland)". *Climate Dynamics*, 51, p. 3521-3536.

COLOMBO, N., GRUBER, S., MARTIN, M., MALANDRINO, M., MAGNANI, A., GODONE, D., FREPPAZ, M., FRATIANNI, S., SALERNO, F. (2018): "Rainfall as primary driver of discharge and solute export from rock glaciers: The Col d'Olen Rock Glacier in the NW Italian Alps". *Science of the Total Environment*.

SALERNO, F., GAMBELLI, S., VIVIANO, G., THAKURI, S., GUYENNON, N., D'AGATA, C., DIOLAIUTI, G., SMIRAGLIA, C., STEFANI, F., BOCCHIOLA, D., TARTARI, G. (2014): "High alpine ponds shift upwards as average temperatures increase: A case study of the Ortles-Cevedale mountain group (Southern Alps, Italy) over the last 50 years. *Global and Planetary*

Change.

SALERNO, F., GUYENNON, N., THAKURI, S., VIVIANO, G., ROMANO, E., VUILLERMOZ, E., CRISTOFANELLI, P., STOCCHI, P., AGRILLO, G., MA, Y., TARTARI, G. (2015): "Weak precipitation, warm winters and springs impact glaciers of south slopes of Mt. Everest (central Himalaya) in the last 2 decades (1994-2013)". *Cryosphere*.

SALERNO, F., ROGORA, M., BALESTRINI, R., LAMI, A., TARTARI, G., THAKURI, S., GODONE, D., FREPPAZ, M., TARTARI, G. (2016): "Glacier Melting Increases the Solute Concentrations of Himalayan Glacial Lakes". *Environment Science and Technology*.

SALERNO, F., THAKURI, S., GUYENNON, N., VIVIANO, G., TARTARI, G. (2016): "Glacier melting and precipitation trends detected by surface area changes in Himalayan ponds". *Cryosphere*.

SALERNO, F., THAKURI, S., TARTARI, G., NNIMURA, T., SUNAKO, S., SAKAI, A., FUJITA, K. (2017): "Debris-covered glacier anomaly? Morphological factors controlling changes in the mass balance, surface area, terminus position, and snow line altitude of Himalayan glaciers". *Earth and Planetary Science Letters*, 471, 19-31..

SONCINI, A., BOCCHIOLA, D., CONFORTOLA, G., MINORA, U., VUILLERMOZ, E., SALERNO, F., VIVIANO, G., SHRESTHA, D., SENESE, A., SMIRAGLIA, C., DIOLAIUTI, G. (2016): "Future hydrological regimes and glacier cover in the Everest region: The case study of the upper Dudh Koshi basin". *Science of the Total Environment*, 565, 1084-1101.

THAKURI, S., DAHAL, S., SHRESTHA, D., GUYENNON, N., ROMANO, E., COLOMBO, N., SALERNO, F. (2019): "Elevation-dependent warming of maximum air temperature in Nepal during 1976-2015". *Atmospheric Research*, 228, 261-269.

THAKURI, S., SALERNO, F., BOLCH, T., GUYENNON, N., TARTARI, G. (2016): "Factors controlling the accelerated expansion of Imja Lake, Mount Everest region, Nepal". *Annals of Glaciology*, 57(71), 245-257..

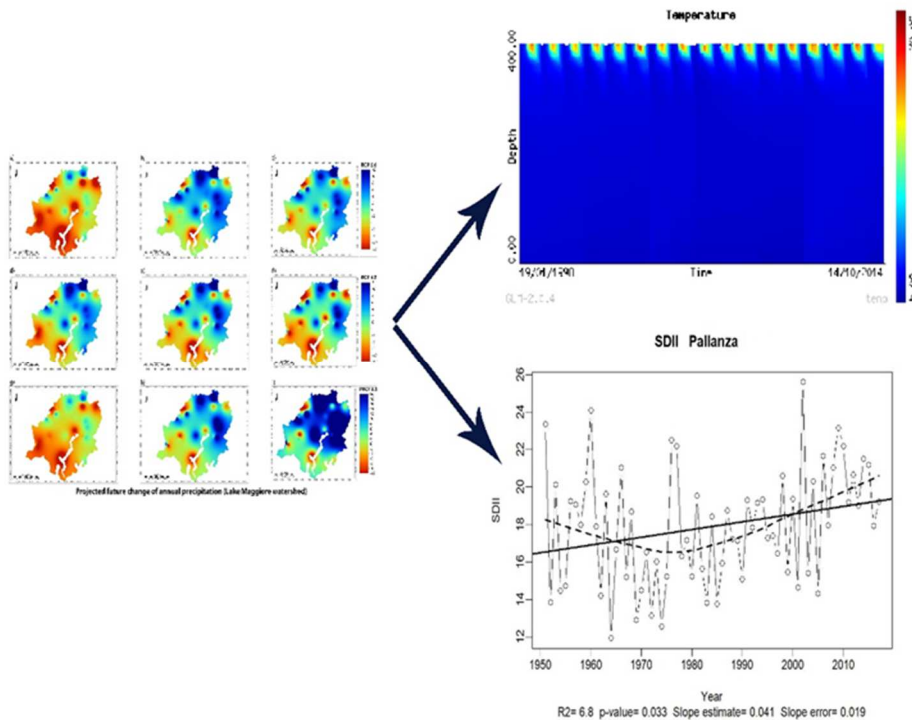
THAKURI, S., SALERNO, F., SMIRAGLIA, C., BOLCH, T., D'AGATA, C., VIVIANO, G., TARTARI, G. (2014): "Tracing glacier changes since the 1960s on the south slope of Mt. Everest (central Southern Himalaya) using optical satellite imagery". *The Cryosphere*, 8(4), 1297-1315.

YANG, K., GUYENNON, N., OUYANG, L., TIAN, L., TARTARI, G., SALERNO, F. (2018): "Impact of summer monsoon on the elevation-dependence of meteorological variables in the south of central Himalaya". *International Journal of Climatology*, 38(4), 1748-1759.

Analisi ed effetti del cambiamento climatico in ambiente Alpino, sui laghi e sulla risorsa idrica

a cura di

Marzia Ciampittiello (*), Helmi Saidi, Claudia Dresti, Dario Manca, IRSA - Verbania



Le attività di ricerca che si sono sviluppate e si stanno sviluppando vertono in particolare, ma non solo, sulle analisi degli eventi estremi di pioggia. Questo tema è diventato di particolare interesse, sia perché la presenza di questi eventi potrebbe rappresentare un segnale del cambiamento climatico in atto, sia perché l'analisi dell'evoluzione nel tempo può diventare uno strumento di supporto nella gestione delle risorse idriche del territorio alpino. Prima di tutti ci siamo occupati della raccolta delle serie storiche di precipitazioni brevi e intense con il recupero di dati cartacei (da 5 minuti a 24 ore per periodi superiori ai 50 anni) tramite la loro digitalizzazione e validazione. Abbiamo quindi adottato metodi di analisi di frequenza regionale per gli eventi piovosi estremi (Ciampittiello et al., 2019 e precedenti; Saidi et al., 2013; Saidi et al., 2014; Saidi et al., 2015) suddividendo la nostra area di studio in zone omogenee dal punto di vista di tali eventi, grazie al progetto Interreg-STRADA. Saidi et al (2018) ha cercato di stimare gli effetti antropogenici e climatici sulla portata naturale di un affluente del Lago Maggiore, calibrando alcuni metodi relativi alla sensibilità idrologica, all'elasticità climatica e ad un modello idrologico, utilizzando i dati raccolti grazie al progetto CIP AIS. Un progetto COST Action (NETLAKE) ha finan-

ziato un importante lavoro di ricerca dove, in collaborazione con un partner Tedesco, abbiamo cercato di quantificare le emissioni di gas serra provenienti da reservoirs di acqua potabile in Germania (Saidi & Koschorreck., 2017). A questo scopo abbiamo usato un database di monitoraggio di lungo periodo per il calcolo dei flussi di CO₂ tra le acque di superficie e l'atmosfera. Un metodo di *Downscaling* Statistico (SDSM) ci ha permesso di fare una proiezione climatica per diversi scenari futuri mediante un modello climatico globale (CanESM2), per l'areale del Lago Maggiore. La conseguenza di questo cambiamento climatico (Saidi et al., 2020) potrebbe essere la diminuzione della disponibilità idrica nella zona e l'aumento della frequenza di evento di piena del lago con potenziali ricadute sulle attività produttive e sulla popolazione insediata nel bacino del lago Maggiore.

Da pochi anni si sono iniziate anche analisi sull'andamento del vento sia come raffiche che come evoluzione spaziale e temporale (Ciampittiello et al., 2019, grazie al progetto CIP AIS) per valutare e verificare quanto questo parametro sia cambiato nel tempo e quante informazioni aggiuntive ci può dare, per quanto riguarda le analisi del cambiamento climatico in atto.

Le analisi degli eventi estremi di piogge intense e/o prolungate nel tempo e di prolungati periodi di siccità

* marzia.ciampittiello@irsa.cnr.it

sono state utilizzate per definire, analizzare e studiare i loro effetti sull'idrologia (Dresti et al, 2016; Dresti et al. 2015), grazie a due Convenzioni con la Provincia del Verbano-Cusio-Ossola, valutando gli eventi di piena in particolare del lago Maggiore e dei suoi affluenti (Dresti et al., 2014, grazie al progetto CIP AIS), ma anche del Lago d'Orta (Saidi et al., 2016) e del Lago di Mergozzo. Si sono valutati anche gli effetti di prolungati periodi siccitosi, in particolare sui livelli del Lago Maggiore (Ciampittiello et al., 2016) e i problemi legati al dissesto idrogeologico (Ciampittiello et al, 2021). Inoltre gli effetti del cambiamento climatico si sono visti anche sui principali parametri che definiscono il bilancio idrologico, in particolare per il Lago di Candia (Ciampittiello et al., 2017), grazie ad una convenzione con la Città Metropolitana di Torino e sulla falda per quanto riguarda il Lago di Viverone, grazie ad un incarico da parte del Comune di Viverone.

I cambiamenti climatici hanno impatti anche sull'idrodinamica dei laghi, influenzando la temperatura delle acque e la profondità di mescolamento, che a loro volta hanno effetti sulle concentrazioni di ossigeno disciolto e sui cicli dei nutrienti. Nei laghi profondi subalpini si sono ad esempio osservati, a causa del mancato mescolamento completo, una progressiva diminuzione dell'ossigeno disciolto nello strato profondo e un accumulo di fosforo in profondità, con mancato rifornimento di questo nutriente agli strati superficiali nel momento della circolazione tardo-invernale (Rogora et al. 2018). Gli effetti dei cambiamenti climatici sui laghi possono essere studiati attraverso l'utilizzo di modelli, sia monodimensionali che tridimensionali. Un esempio di applicazione è stato effettuato sul Lago Maggiore, in cui si è utilizzato prima un modello 1D puramente idrodinamico (GLM, General Lake Model, Hypsey et al. 2014) e successivamente un modello accoppiato idrodinamico-ecologico (GLM-AED2, Hypsey et al., 2013) per valutare gli effetti di scenari di aumento della temperatura dell'aria sulle dinamiche di mescolamento, sull'ossigeno e sui cicli dei nutrienti del lago (Fenocchi et al., 2017, 2018, 2019, 2020).

Si sono anche iniziati a valutare gli effetti di tali cambiamenti climatici sulle biocenosi (Morabito et al., 2018).

Riteniamo che altri argomenti siano di particolare interesse e meritino ulteriori approfondimenti:

- gli eventi estremi anche rispetto ai lunghi periodi siccitosi e le loro conseguenze sulla risorsa idrica;
- la risposta delle biocenosi a piogge brevi ed intense rispetto a prolungati periodi piovosi, per capire quali dei due fenomeni ha un maggiore impatto su di esse e in che modo;
- gli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi e i loro servizi, già particolarmente degradati dalle attività umane, anche con lo sviluppo di modellistica ecologica.

Siamo convinti che solo ecosistemi in salute riescono a sostenere le attività umane che si sviluppano grazie a loro. Quindi diventa di basilare importanza proporre soluzioni di gestione della risorsa idrica che abbiamo

al centro la salute e la tutela degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi in generale.

PROGETTI DI RICERCA

- CIP AIS – Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere - Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore, aspetti limnologici – “Caratteristiche idrologiche: Pluviometria del bacino imbrifero e Deflussi” dal 2001 <http://www.cipais.org/>
- Studio delle fluttuazioni del livello del lago di Viverone, incarico dal Comune di Viverone. Dal 01/04/2019 al 31/12/2019.
- Contratto per il servizio di indagine limnologica ed idrologica sul Lago e sulla palude di Candia – Città Metropolitana di Torino
- STRADA – Progetto INTERREG STRADA – “Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali”, Programma Operativo di Cooperazione Transfrontaliera Italia-Svizzera 2007-2013 - misura 1.1 "Gestione dei rischi naturali", (2010-2013) - analisi statistica delle piogge brevi ed intense nell'areale del Lago Maggiore.
- Convenzione con la Provincia del Verbano-Cusio-Ossola – “Analisi idrologiche e cambiamento climatico in rapporto agli utilizzi umani della risorsa idrica e determinazione della formulazione del Deflusso Minimo Vitale” (2009-2011 e 2011-2013)

BIBLIOGRAFIA

CIAMPITIELLO, M., DRESTI, C., SAIDI, H., MANCA, D., (2019): “Indagini sul bacino imbrifero. Caratteristiche idrologiche - Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma triennale 2016-2018. Campagna 2018 e relazione triennio 2016-2018”. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.), p. 9-21 e 96-100.

CIAMPITIELLO, M., SAIDI, H., DRESTI, C., (2016): “L'andamento delle Magre del Lago Maggiore”. Le Rive, vol. 2, p. 29-35.

CIAMPITIELLO, M., SAIDI, H., DRESTI, C. ET AL., (2021): “Landslides along the Lago Maggiore western coast (northern Italy): intense rainfall as trigger or concomitant cause?”. Natural Hazards. P. 1-26.

CIAMPITIELLO, M., VOLTA P., SAIDI H., DRESTI, C., CERUTTI, I., ZELLINO, C., MORABITO G., (2017): “Relazione finale sulle attività oggetto del contratto per il servizio di indagine limnologica sul lago e sulla palude di Candia”. Report CNR-ISE, 01.17.

DRESTI, C., BECCIU, G., SAIDI, H., CIAMPITIELLO, M., (2016): “The hydromorphological state in mountain rivers subject to human impacts: a case study in the North-West of Italy”. Environmental Earth Sciences, 75(6), p. 1-11.

DRESTI, C., BECCIU G., SAIDI, H., CIAMPITIELLO,

- M., (2015): "Hydrological regime alteration and ecological flow evaluation in mountain rivers". *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 199, p. 23-34.
- DRESTI, C., SAIDI, H., CIAMPITIELLO, M., (2014): "Eventi piovosi estremi in Ossola e loro analisi temporale". *Nimbus*, 72, p.163-165.
- FENOCCHI, A., ROGORA, M., SIBILLA, S., DRESTI, C., (2017): "Relevance of inflows on the thermodynamic structure and on the modeling of a deep subalpine lake (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland)". *Limnologica* 63, p 42-56.
- FENOCCHI, A., ROGORA, M., SIBILLA, S., CIAMPITIELLO, M., DRESTI, C., (2018): "Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland)". *Climate Dynamics*, 51, p. 3521-3536.
- FENOCCHI, A., ROGORA, M., MORABITO, G., MARCHETTO, A., SIBILLA, S., DRESTI, C., (2019): "Applicability of a one-dimensional coupled ecological-hydrodynamic numerical model to future projections in a very deep large lake (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland)". *Ecological Modelling*, 392, p. 38-51.
- FENOCCHI, A., ROGORA, M., MARCHETTO, A., SIBILLA, S., DRESTI, C., (2020): "Model simulations of the ecological dynamics induced by climate and nutrient load changes for deep subalpine Lake Maggiore (Italy/Switzerland)". *Journal of Limnology*, 79(3), p.221-237.
- HIPSEY, M.R., BRUCE, L.C., HAMILTON, D.P., (2013): "Aquatic EcoDynamics (AED) model library: science manual". AED Report. The University of Western Australia, Perth, Australia, p. 1-34.
- HIPSEY, M.R., BRUCE, L.C., HAMILTON, D.P., (2014): "GLM - General Lake Model: model overview and user information". AED Report #26. The University of Western Australia, Perth, Australia, p. 1-42.
- MORABITO, G., ROGORA, M., AUSTONI, M., CIAMPITIELLO, M., (2018): "Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process?". *Hydrobiologia*, 824, p. 163-175.
- ROGORA, M., BUZZI, F., DRESTI, C., LEONI, B., PATELLI, M., LEPORI, F., MOSELLO, R., SALMASO N., (2018): "Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy". *Hydrobiologia*, 824, p. 33-50.
- SAIDI, H., CIAMPITIELLO, M., DRESTI, C., GHIGLIERI, G., (2015): "Assessment of trends in extreme precipitation events: a case study in Piedmont (North-West Italy)". *Water Resource Management*, 29, p. 63-80.
- SAIDI, H., CIAMPITIELLO, M., DRESTI, C., TURCONI, L., (2014): "Extreme rainfall events: evaluation with different instruments and measurement reliability". *Environment Earth Science*, p. 4607-4616.
- SAIDI, H., DRESTI, C., CIAMPITIELLO, M., (2014): "Il cambiamento climatico e le piogge: analisi dell'evoluzione delle piogge stagionali e degli eventi estremi negli ultimi 50 anni nella stazione di Pallanza". *Biologia Ambientale*, 28(2), p. 1-12.
- SAIDI, H., DRESTI, C., CIAMPITIELLO, M., (2016): "Fluctuations of Lake Orta water levels: preliminary analyses". *Journal of Limnology*, 75(s2), p. 86-92.
- SAIDI, H., KOSCHORRECK, M., (2017): "CO2 emissions from German drinking water reservoirs". *Science of the Total Environment*, 581, p. 10-18.
- SAIDI, H., CIAMPITIELLO, M., DRESTI, C., GHIGLIERI, G., (2013): "Observed variability and trends in extreme rainfall indices and Peaks-Over-Threshold series". *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10(5), p. 6049-6079.
- SAIDI, H., DRESTI, C., MANCA, D., CIAMPITIELLO, M., (2018): "Quantifying impacts of climate variability and human activities on the streamflow of an Alpine river". *Environmental Earth Sciences*, 77(19), p. 1-16.
- SAIDI, H., DRESTI, C., MANCA, D., CIAMPITIELLO, M., (2020): "Climate projections in Lake Maggiore watershed using statistical downscaling model". *Climate Research*, 81, p. 113-130.

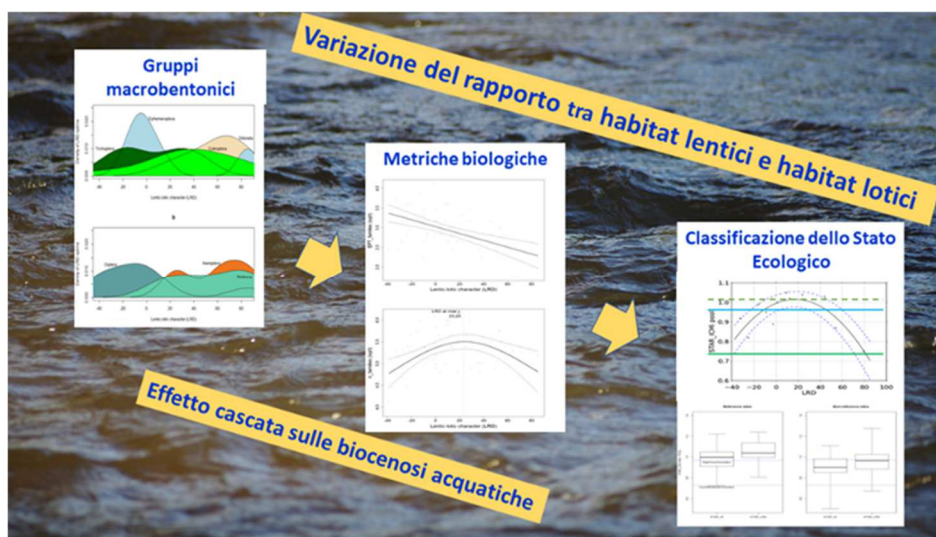
Habitat fluviali e organismi macrobentonici: fattori climatici, comunità acquatiche e stato ecologico in area mediterranea

a cura di

Andrea Buffagni (*), Stefania Erba, Marcello Cazzola, Laura Verzino, Laura Terranova, Giorgio Pace, Raffaella Balestrini, *IRSA - Brugherio*

Anna Maria De Girolamo, Emanuele Barca, *IRSA - Bari*

Roberta Tenchini, Carlo Belfiore, *IRSA - Brugherio e Università della Tuscia - Viterbo*



In ambiente mediterraneo, dove già un'elevata percentuale di fiumi mostra carattere temporaneo, tutti i principali scenari climatici futuri prevedono una consistente diminuzione delle risorse idriche. Si prevedono importanti diminuzioni di portata nella stagione secca, che potrebbero accentuare il grado di temporaneità dei corsi d'acqua, o rendere intermittenti fiumi fino ad oggi ritenuti perenni.

Per uno studio efficace delle biocenosi acquatiche, i fiumi mediterranei – in particolare - richiedono un'adeguata e dettagliata descrizione delle condizioni dell'habitat al momento del campionamento biologico. Ponendo l'accento sulla natura continua delle transizioni di habitat legate a condizioni di portata differenti, è stato proposto il concetto di carattere lentico-lotico per le aree fluviali. Secondo questo approccio, sulla base di una serie di caratteristiche dell'habitat connesse principalmente alle condizioni idrauliche locali (ad esempio, tipi di flusso, dimensioni del substrato, presenza di macrofite), il rapporto complessivo tra habitat lentici e lotici può essere quantificato per ciascun tratto fluviale, definendone il carattere lentico-lotico. Esso esprime la combinazione di importanti caratteristiche dell'habitat, che possono influenzare la presenza e la distribuzione degli organi-

smi acquatici, e la sua rilevanza è stata dimostrata, in termini generali, per i fiumi europei. Il rapporto tra le caratteristiche lentiche e lotiche osservate deriva dal modo in cui la portata fluente occupa l'alveo fluviale, determinando la presenza e la proporzione delle diverse caratteristiche di habitat. Oltre che da una serie di fattori antropici, le effettive condizioni lentico-lotiche osservate in un dato momento dipendono in primo luogo da fattori naturali: climatici, stagionali e sovragionali. Nei fiumi mediterranei in particolare, anche in assenza di disturbo antropico, gli habitat acquatici a carattere lentico aumentano e gli habitat lotici diminuiscono gradualmente con l'avanzare della stagione calda e l'avvicinarsi dei periodi di magra o di asciutta, con il permanere di "pozze" che spesso si disconnettono l'una dall'altra nel periodo più secco. Tali importanti variazioni di habitat sono anche osservabili da un anno all'altro, in funzione delle condizioni climatiche, e si stima che – in seguito ai cambiamenti globali in atto – esse potranno assumere proporzioni molto rilevanti.

In questo contesto, gli studi da noi condotti si sono concentrati su due aspetti in particolare: l'influenza delle condizioni lentico-lotiche sulle comunità macrobentoniche fluviali e l'impatto che tali condizioni di habitat possono avere sulle metriche biologiche in uso per la classificazione dello stato ecologico.

La distribuzione della maggior parte dei taxa bentoni-

* andrea.buffagni@irsa.cnr.it

ci è risultata chiaramente legata al carattere lenticolotico dei tratti fluviali dove essi vivono. I principali gruppi bentonici colonizzano aree con un diverso rapporto tra gli habitat lentici e quelli lotici, dimostrando di avere condizioni ottimali di presenza diversificate lungo il gradiente lenticolotico. Odonati, coleotteri, emetteri e molluschi preferiscono condizioni chiaramente lentiche. I ditteri si trovavano principalmente sul lato lotico del gradiente, mentre i tricoteri si distribuiscono in modo relativamente uniforme lungo il gradiente. La maggior parte degli efemerotteri predilige condizioni lenticolotiche intermedie, con alcune specie invece legate ad habitat estremamente lentici. Queste preferenze sono state definite in situazioni di assenza di rilevante disturbo antropico (e.g. in siti di riferimento), in relazione alle variazioni di habitat legate alle condizioni idrologiche, principalmente determinate dai fattori climatici e stagionali.

Ai fini della Direttiva Quadro sulle Acque, la risposta delle biocenosi acquatiche agli impatti antropici viene spesso quantificata mediante l'utilizzo di metriche e indici biologici, calcolati a partire dalle liste dei taxa presenti nei siti fluviali in esame. Una conseguenza, forse inevitabile, del distribuirsi delle preferenze ecologiche dei diversi taxa lungo il gradiente lenticolotico è quindi che tali indici risentiranno anch'essi delle condizioni di habitat e, quindi, delle variazioni climatiche. Ciò a prescindere dall'effettiva presenza di disturbo di origine antropica. A tale proposito, quasi tutte le metriche biologiche testate hanno mostrato un'associazione diretta e significativa con le condizioni lenticolotiche osservate al momento del campionamento. L'elevata percentuale di varianza spiegata per tali metriche (fino al 28%) dal solo rapporto tra habitat lentici e lotici è probabilmente collegabile al fatto che esso è calcolato a partire da un numero relativamente elevato di caratteristiche idromorfologiche e di habitat. Infatti, il metodo utilizzato per quantificare tale rapporto - il descrittore LRD - si basa su una serie di singole informazioni, raccolte a diverse scale spaziali e riassunte a scala di sito. Oltre alle differenze dovute al ciclo vitale degli organismi acquatici e al disturbo degli eventi di piena, le variazioni temporali a breve e medio termine legate al clima e ai periodi di siccità possono portare a previsioni distorte delle cosiddette "condizioni di riferimento" e, quindi, a inferenze errate. Come visto, questi fattori influenzano il rapporto tra habitat lentici e lotici che, a sua volta, determinerà quali taxa siano presenti e, quindi, i valori assunti dalle metriche biologiche utili alla classificazione dello stato ecologico. L'intero processo di classificazione si basa su una definizione precisa e accurata delle condizioni di riferimento, sempre utilizzate - attraverso un semplice rapporto matematico tra valori osservati e attesi per determinate metriche biologiche - per derivare la classe di stato ecologico. Di conseguenza, se i fattori climatici determinano una variazione nei valori assunti dalle metriche biologiche, si potrà assistere all'introduzione di un bias sistematico nella valutazione dello stato ecologico. Esso può essere quantificato e corretto mediante l'analisi delle caratteristiche lenticolotiche del sito in esame e attraverso una modulazione sito-specifica della classificazione.

Studiare l'influenza del rapporto tra habitat lentici e

lotici sulla struttura e sulla funzione delle comunità di invertebrati bentonici è perciò fondamentale per affinare la nostra capacità previsionale degli impatti dei cambiamenti climatici, per guidare monitoraggi futuri e per una corretta gestione degli ambienti fluviali.

PROGETTI DI RICERCA

- EUROLIMPACS (2004-2008) "*Climate - hydro-morphology interactions*". *Integrated Project to evaluate the Impacts of Global Change on European Freshwater Ecosystem - Workpackage 2. EC 6th Framework Programme*, Protocollo EU EUROLIMPACS GOCE-CT-2003-505540.
- EUROLIMPACS (2004-2008) "*Indicators of Ecosystem Health*". *Integrated Project to evaluate the Impacts of Global Change on European Freshwater Ecosystem - Workpackage 7. EC 6th Framework Programme*, Protocollo EU EUROLIMPACS GOCE-CT-2003-505540.
- MIRAGE (2009-2011) "*Mediterranean Intermittent River manAGEMENT*". *EC 7th Framework programme - FP7-ENV-2007-1*.
- INHABIT (2010-2014). "*Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes*". *LIFE + Environment Policy and Governance 2008 programme EC, LIFE08 ENV/IT/000413*

BIBLIOGRAFIA

- BROUZYNE, Y., DE GIROLAMO, A.M., ABOUBDILLAH, A., BENAABIDATE, L., BOUCHAOU, L., CHEHBOUNI, A., (2021): "Modeling alterations in flow regimes under changing climate in a Mediterranean watershed: An analysis of ecologically-relevant hydrological indicators". *Ecological Informatics*, 61: 101219
- BUFFAGNI, A., ARMANINI, D.G., ERBA, S., (2009): "Does the lentic-lotic character of rivers affect invertebrate metrics used in the assessment of ecological quality?". *J. Limnol.*, 68(1): 92-105
- BUFFAGNI, A., CASALEGNO, C., ERBA S., (2009): "Hydromorphology and land use at different spatial scales: expectations in a changing climate scenario for medium-sized rivers of the Western Italian Alps". *Fundamental and Applied Limnology*, 68: 7-25
- BUFFAGNI, A., CAZZOLA, M., LÓPEZ-RODRÍGUEZ, M.J., ALBA-TERCEDOR, J., ARMANINI, D.G., (2009): "Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms". Volume 3. *Ephemeroptera*. In: Schmidt-Kloiber, A., Hering, D. (Eds.), *Pensoft Publisher, Sofia-Moskow* (ISBN 954642508-7). 254 pp
- BUFFAGNI, A., ERBA, S., ARMANINI, D.G., (2010): "The lentic-lotic character of Mediterranean rivers and its importance to aquatic invertebrate communities". *Aquatic Sciences*, 72: 45-60
- BUFFAGNI, A., ERBA, S., CAZZOLA, M., BARCA, E., BELFIORE, C., (2020): "The ratio of lentic to lotic habitat features strongly affects macroinvertebrate

metrics in use in southern Europe for ecological status classification". *Ecological Indicators*, 117: 106563.

BUFFAGNI, A., (2021): "The lentic and lotic characteristics of habitats determine the distribution of benthic macroinvertebrates in Mediterranean rivers". *Freshwater Biology*, 66: 13–34.

CID, N., VERKAIK, I., GARCÍA-ROGER, E.M., RIERADEVALL, M., BONADA, N., SÁNCHEZ-MONTOYA, M.M., GÓMEZ R., SUÁREZ M.L., VIDAL-ABARCA M.R., DEMARTINI D., BUFFAGNI A., ERBA S., KARAOUZAS I., N. SKOULIKIDIS N., PRAT, N., (2016): "A biological tool to assess flow connectivity in reference temporary streams from the Mediterranean Basin". *Sci. Total Environ.* 540: 178-190.

DE GIROLAMO, A. M., BOURAOUI, F., BUFFAGNI, A., PAPPAGALLO, G. & LO PORTO, A., (2017): "Hydrology under climate change in a temporary river system: Potential impact on water balance and flow regime". *River Res Applic.*, 33: 1219–1232.

GALLART, F., PRAT, N. E., GARCIA-ROGER, M., LA-

TRON, J., RIERADEVALL, M., LLORENS, P., BARBERA, G.G., BRITO D., DE GIROLAMO, A.M., LO PORTO, A., BUFFAGNI, A., ERBA, S., NEVES, R., NIKOLAIDIS, N.P., PERRIN, J.L., QUERNER, E.P., QUINONERO, J.M., FROEBRICH, J., (2012): "A novel approach to analysing the regimes of temporary streams in relation to their controls on the composition and structure of aquatic biota". *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16: 3165–3182.

SKOULIKIDIS, N.T., SABATER, S., DATRY, T., MORAIS, M.M., BUFFAGNI, A., DÖRFLINGER, G., ZOGARIS, S., DEL MAR SÁNCHEZ-MONTOYA, M., BONADA, N., KALOGIANNI, E., ROSADO, J., (2017): "Non-perennial Mediterranean rivers in Europe: status, pressures, and challenges for research and management". *Sci. Total Environ.* 577: 1–18.

Riflessioni e idee sull'impatto dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi lacustri

a cura di

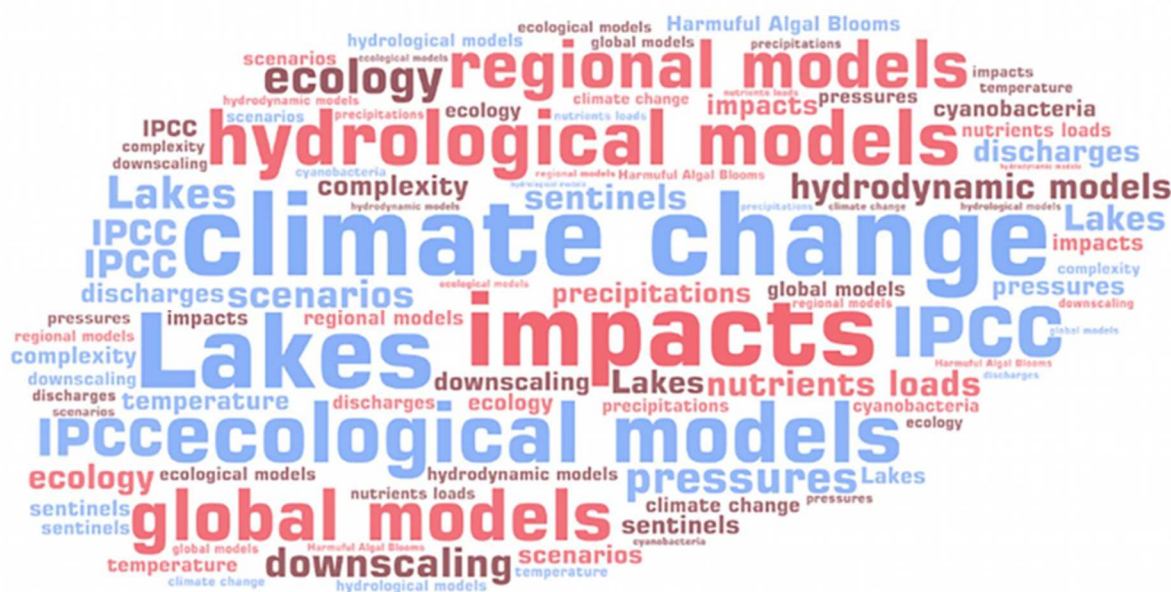
Diego Copetti (*), Gianni Tartari, Franco Salerno, *IRSA - Brugherio*

Claudia Dresti, Michela Rogora, *IRSA - Verbania*

Nicolas Guyennon, *IRSA - Roma*

Fabio Buzzi, *ARPA - Lombardia*

Andrea Fenocchi, *UNI - Pavia*



Le attività di ricerca pregresse si sono svolte principalmente nell'ambito del Progetto CIRCE (<https://cordis.europa.eu/project/id/36961/it>) attivo tra il 2007 e il 2011. CIRCE è stato un progetto FP6 della comunità europea avente come obiettivo lo studio dei cambiamenti climatici nell'area mediterranea. L'approccio, molto ampio, comprendeva sia lo sviluppo di modelli globali e regionali sia lo studio degli impatti, comprendendo anche implicazioni sociali ed economiche.

Nell'ambito di CIRCE sono state condotte attività di ricerca volte alla valutazione delle risposte fisiche ed ecologiche dei laghi della fascia sub-alpina ai cambiamenti climatici. Gli studi sono stati condotti sui casi di studio del lago di Como e Pusiano. Il primo ambiente profondo e di grandi dimensioni, il secondo un ambiente di medie dimensioni. La partecipazione al Progetto CIRCE ha consentito di utilizzare scenari modellistici ottenuti attraverso l'interazione tra un modello a scala globale (ECHAM5-MPIOM) e un modello a scala regionale (PROTHEUS). Gli scenari del modello regionale sono stati poi soggetti a *downscaling* (Guyennon et al., 2013) al fine di ottenere una risolu-

zione adeguata agli studi d'impatti locale. I dati del *downscaling* sono stati utilizzati per alimentare un modello idrodinamico monodimensionale (DYRESM) al fine di valutare l'impatto dei cambiamenti climatici sulla temperatura media annuale di entrambi i casi di studio (Copetti et al., 2013). Utilizzando lo scenario A1b dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) le simulazioni idrodinamiche hanno evidenziato un aumento della temperatura media annuale di 0.04 °C a-1 per il periodo 1970-2000 e di 0.03 °C a-1 per il periodo 2001-2050, valori in linea con differenti ricerche condotte in altri ambienti della regione peri-alpina e più in generale della regione temperata. Il lavoro svolto in Copetti et al. (2013) può essere considerato, per certi aspetti, pionieristico per l'utilizzo di modelli caratterizzati da scale tra loro molto differenti.

Per il Lago di Pusiano sono state svolte anche ricerche per valutare l'effetto congiunto di impatti a scala globale (quali i cambiamenti climatici) e di cambiamenti a scala locale (quali i carichi di nutrienti) sull'ecologia del lago (Carraro et al., 2012b). In Carraro et al. (2012b) un modello idrodinamico-ecologico (DYRESM-CAEDYM) è stato utilizzato per produrre quattro diversi scenari caratterizzati da diverse pres-

* diego.copetti@irsa.cnr.it

sioni globali e locali. Le simulazioni hanno riguardato il periodo compreso tra il 1960 e il 2010. Lo scenario "Current" è stato calibrato con dati reali e presentava sia l'impatto locale sia l'impatto globale; lo scenario "Global pressure" presentava solo l'impatto a scala globale, lo scenario "local pressure" solo l'impatto locale, mentre lo scenario "Undisturbed" non presentava alcuna pressione. In questo ultimo scenario dai dati di input del modello (in particolare temperatura atmosferica) erano stati eliminati, attraverso opportuni approcci statistici, gli effetti dei cambiamenti climatici. Inoltre, i carichi di nutrienti da bacino erano stati generati attraverso un modello idrologico (SWAT) considerando solo il dilavamento di suoli naturali. Il confronto tra i quattro scenari suggeriva che, almeno per questo caso di studio, i carichi di nutrienti da bacino avevano un peso maggiore rispetto ai cambiamenti climatici su alcuni macro-descrittori (nutrienti e clorofilla-a) dell'ecologia del lago.

Altre attività di ricerca hanno riguardato applicazioni di modelli tridimensionali sempre sui casi di studio del Lago di Como e Pusiano (Morillo et al., 2009; Laborde et al., 2010; Carraro et al., 2012; Guyennon et al., 2014; Copetti et al., 2020). L'utilizzo di modelli tridimensionali su scale temporali ampie, adatte allo studio del cambiamento climatico risulta ancora abbastanza scarso a causa dei tempi di calcolo troppo lunghi soprattutto in domini piuttosto grandi quali il Lago di Como. Questi studi, tuttavia, possono fornire indicazioni su modificazioni della fisica e dell'ecologia lacustre dovuti ad eventi estremi quali portate degli immissari particolarmente alte degli immissari indotte da eventi precipitativi particolarmente intensi (Laborde et al., 2010; Copetti et al., 2020).

Attualmente sono in corso attività di ricerca sulla modellazione monodimensionale del Lago di Como utilizzando modelli idrodinamici (*General Lake Model*, GLM) ed ecologici (*AquaticEcoDynamics*, AED) open source. Lo studio vede la collaborazione di diversi ricercatori dell'IRSA-CNR, dell'Università di Pavia e dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Regione Lombardia. Un aspetto caratterizzante lo studio risiede nel fatto che sia i dati di input (meteorologici, idrologici) sia i dati utilizzati per la calibrazione/validazione delle simulazioni modellistiche (limnologici) provengono dalla rete di monitoraggio di ARPA Lombardia. Le attività sono inserite nel Progetto Interreg I-CH SIMILE (<https://interregitaliasvizzera.eu/progetti/simile/>). Oltre ad obiettivi di carattere scientifico, le attività si pongono anche l'obiettivo di fornire indicazioni sull'evoluzione fisica ed ecologica dell'ecosistema del Lago di Como in risposta ai cambiamenti climatici e alle politiche di gestione dei carichi di nutrienti.

I laghi rispondono a driver meteo-climatici e idrologici e sono sentinelle del cambiamento climatico, in prospettiva quindi sarebbe opportuno pianificare un maggiore collaborazione tra linee di ricerca indirizzate allo studio dei laghi e linee di ricerca orientate all'idrologia. Tale collaborazione risulterebbe di sicuro interesse anche in un'ottica gestionale, in particolare in casi di studio specifici dove sia possibile fare massa critica anche con altre istituzioni scientifiche, di monitoraggio e gestionali. Un argomento di interesse

può essere la gestione delle fioriture di specie planctoniche potenzialmente tossiche (i così dette *Harmful Algal Blooms*, HABs) quali i cianobatteri. Nella gestione di tali fenomeni complessi l'integrazione di una modellistica lacustre con una modellistica da bacino può fornire un forte contributo gestionale, in particolare quando l'approccio da bacino include anche la quantificazione degli apporti di nutrienti. Il monitoraggio in continuo di variabili chiave sia nel bacino (immissari) sia nel lago può risultare un elemento importante nella comprensione e nella gestione degli impatti di eventi meteorologici estremi (es. picchi precipitazione-portata risposta dell'ecosistema). In questi contesti l'utilizzo di una modellistica 3D potrebbe fornire un importante supporto alla comprensione dei processi in ambienti di grandi dimensioni e/o a morfologia complessa.

PROGETTI DI RICERCA

- SIMILE (Sistema Informativo per il Monitoraggio Integrato dei Laghi insubrici e dei loro Ecosistemi) finanziato nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V A Italia - Svizzera 2014-2020. Durata: 2019-2022.
- CIRCE (Climate Change and Impact Research: the Mediterranean Environment). Progetto finanziato da Commissione Europea (FP6, Global Change and Ecosystem). Durata: 2007-2011.
- WAEES (West Arm Exchange Enhancement System. Convenzione finanziata dal Centro di Cultura Scientifica Alessandro Volta. Durata: 2006-2008.

BIBLIOGRAFIA

- CARRARO, E., GUYENNON, N., HAMILTON, D., VALSECCHI, L., MANFREDI, E., VIVIANO, G., SALERNO, F., TARTARI, G., COPETTI, D., 2012a. "Coupling high-resolution measurements to a three-dimensional lake model to assess the spatial and temporal dynamics of the cyanobacterium *Planktothrix rubescens* in a medium-sized lake". *Hydrobiologia* 698: 77-95.
- CARRARO, E., GUYENNON, N., VIVIANO, G., MANFREDI, E.C., VALSECCHI, L., SALERNO, F., TARTARI, G., COPETTI, D., 2012b. "16 - Impact of Global and Local Pressures on the Ecology of a Medium-Sized Pre-Alpine Lake", in: Ferenc, J., Sven Erik, J. (Eds.), *Developments in Environmental Modelling*. Elsevier, pp. 259-274.
- COPETTI, D., CARNIATO, L., CRISE, A., GUYENNON, N., PALMERI, L., PISACANE, G., STRUGLIA, M., TARTARI, G., 2013. "Impacts of Climate Change on Water Quality", in: Navarra, A., Tubiana, L. (Eds.), *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean*, *Advances in Global Change Research*. Springer Netherlands, pp. 307-332.
- COPETTI, D., GUYENNON, N., BUZZI, F., 2020. "Generation and dispersion of chemical and biological gradients in a large-deep multi-basin lake (Lake Como, north Italy): The joint effect of external driv-

ers and internal wave motions". *Science of The Total Environment* 749: 141587.

GUYENNON, N., ROMANO, E., PORTOGHESE, I., SALERNO, F., CALMANTI, S., PETRANGELI, A.B., TARTARI, G., COPETTI, D., 2013. "Benefits from using combined dynamical-statistical downscaling approaches-lessons from a case study in the Mediterranean region". *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 705–720.

GUYENNON, N., VALERIO, G., SALERNO, F., PILOTTI, M., TARTARI, G., COPETTI, D., 2014. "Internal wave weather heterogeneity in a deep multi-basin subalpine lake resulting from wavelet transform and numerical analysis". *Advances in Water Resources* 71: 149–161.

LABORDE, S., ANTENUCCI, J.P., COPETTI, D., IMBERGER, J., 2010. "Inflow intrusions at multiple

scales in a large temperate lake". *Limnology and Oceanography* 55: 1301–1312.

MORILLO, S., IMBERGER, J., ANTENUCCI, J.P., COPETTI, D., 2009. "Using impellers to distribute local nutrient loadings in a stratified lake". *Journal of Hydraulic Engineering* 135: 564–574.

I dati a lungo termine per lo studio degli effetti dei cambiamenti climatici sui cicli biogeochimici negli ecosistemi acquatici

a cura di

Michela Rogora (*), Angela Boggero, Rossana Caroni, Claudia Dresti, Riccardo Fornaroli, Paola Giacomotti, Lyudmila Kamburska, Andrea Lami, Dario Manca, Aldo Marchetto, Rosario Mosello, Simona Musazzi, Arianna Orru', Gabriele Tartari, Rocco Tiberti, IRSA - Verbania



Gli ambienti oggetto di ricerca sono di due tipologie: 1) i grandi laghi profondi subalpini, in particolare il Lago Maggiore; 2) i laghi alpini d'alta quota o altri ecosistemi acquatici in aree remote. Su questi siti vengono raccolti dati chimici e chimico-fisici (pH, conducibilità, alcalinità, ossigeno disciolto, principali anioni e cationi, nutrienti) da oltre 3 decenni, nel contesto di ricerche sull'evoluzione a lungo termine delle acque superficiali in risposta a fattori quali gli apporti dal bacino, le deposizioni atmosferiche e i cambiamenti climatici. Le ricerche sono svolte nel contesto di programmi di ricerca nazionali, quali le campagne limnologiche sul Lago Maggiore finanziate dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIP AIS), e internazionali (Progetti UE EMERGE, RECOVER:2010, EUROLIMPACS, Programma ONU-ECE ICP WATERS). Grazie alla disponibilità di lunghe serie di dati, alcuni dei siti sono stati inseriti nei network italiano ed europeo per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine (LTER Italy e LTER Europe). Alcuni laghi d'alta quota sono inoltre siti della Rete NEC Italia per il monitoraggio degli impatti degli inquinanti atmosferici

sugli ecosistemi.

Le serie pluridecennali di dati, raccolti con metodi standard e confrontabili nel tempo, hanno permesso di valutare le variazioni a lungo termine dei principali parametri chimici, ad esempio il recovery dall'acidificazione dei laghi alpini d'alta quota, sotto forma di una ripresa dei valori di pH e alcalinità e diminuzione delle concentrazioni di alluminio, avvenuta grazie alla riduzione delle deposizioni atmosferiche di composti acidificanti (Rogora et al., 2013; Rogora et al., 2015). I dati relativi ai composti dell'azoto per una serie di siti (laghi e corsi d'acqua) nell'areale del Lago Maggiore hanno evidenziato il ruolo preponderante delle deposizioni nel determinare il contenuto di azoto delle acque: diversi bacini hanno dimostrato inoltre di essere in una condizione di saturazione da azoto rispetto agli apporti ricevuti, con conseguente lisciviazione di nitrati alle acque superficiali; anche in questo caso si assiste però ad un'inversione di tendenza negli ultimi anni, grazie ad una diminuzione delle deposizioni di azoto, in particolare nella forma ossidata (Rogora et al., 2012).

I cambiamenti climatici in questo contesto svolgono il ruolo di "confounding factors" nella risposta degli ecosistemi acquatici a fattori di perturbazione antropica.

* michela.rogora@irsa.cnr.it

pici. Un esempio è rappresentato dal ruolo delle temperature nelle dinamiche del ciclo dell'azoto e il ruolo di eventi meteorologici estremi, o comunque che si discostano dalla media di lungo periodo, nell'influenzare le risposte delle acque alle variazioni negli apporti di azoto (Rogora, 2007) o la ripresa dall'acidificazione (Rogora et al., 2013).

Nel caso del Lago Maggiore i cambiamenti climatici si stanno dimostrando il fattore più importante nel regolare il regime termico e l'idrodinamica lacustre, con effetti a catena sul chimismo delle acque, le dinamiche di ossigeno e nutrienti e le reti trofiche (Rogora et al., 2018a; Tanenzap et al., 2020). Si assiste ad esempio a una progressiva riduzione dell'ossigeno disciolto nello strato profondo (al di sotto dei 200 m) e ad un accumulo di fosforo negli stessi strati, con mancato rifornimento di questo elemento agli strati superficiali nel momento della circolazione tardo-invernale (Rogora et al., 2018a).

Gli ecosistemi d'alta quota sono considerati ottimi indicatori degli effetti dei cambiamenti climatici (Rogora et al., 2018b). Gli effetti sui laghi o più in generale sulle acque in quota sono prevalentemente indiretti e spesso legati al ruolo della criosfera (copertura nevosa, permafrost, ghiacciai). Si è osservato ad esempio un ruolo importante della presenza di permafrost nel bacino e della sua degradazione a causa del riscaldamento climatico sulla composizione chimica delle acque dei laghi, in particolare sul contenuto in soluti (Rogora et al., 2020). Anche la presenza di *rock glaciers* gioca un ruolo importante, influenzando ad esempio i livelli di metalli nelle acque e la composizione delle comunità biologiche (Rotta et al., 2018; Tolotti et al., 2020). Infine il ritiro dei ghiacciai può avere impatti significativi sui laghi, aumentando la complessità delle reti trofiche ma determinando al contempo la perdita di habitat (Tiberti et al., 2019).

PROGETTI DI RICERCA

- Ricerche limnologiche sul Lago Maggiore finanziate dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS) <http://www.cipais.org>
- eLTER H2020 Starting Communities project. Integrated European Long-Term Ecosystem & Socio-Ecological Research Infrastructure <https://www.lter-europe.net/elter>
- Programma ONU-ECE ICP-WATERS: International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring Effects of Air Pollution on Rivers and Lakes <http://www.icp-waters.no/>
- NEXTData-LTER-Mountain (Harmonisation and standards for existing and newly collected Data and MetaData on LTER sites in Italian Mountain ecosystems) <http://www.nextdatapoint.it/?q=en/content/wp-17-mountain-ecosystems-and-biodiversity>
- EUROLIMPACS (EU project): European project to evaluate impacts of global change on freshwater ecosystems (2004-2009) <https://cordis.europa.eu/project/id/505540>

- EMERGE (EU project): European Mountain lake Ecosystems: Regionalisation, diagnostics & socio-economic Evaluation (EVK1-CT-1999-00032) (2000-2003) <http://147.231.250.18/emerge/www.mountain-lakes.org/emerge/index-2.html>
- RECOVER:2010 (EU Project): Predicting recovery in acidified freshwater by the year 2010, and beyond (EVK1-CT-1999-00018) (2000-2003) <https://macaulay.webarchive.hutton.ac.uk/recover/>

BIBLIOGRAFIA

- ROGORA, M., SOMASCHINI, L., MARCHETTO, A., MOSELLO, R., TARTARI, G.A., PARO, L. (2020): "Decadal trends in water chemistry of Alpine lakes in calcareous catchments driven by climate change". *Science of the Total Environment*, 708: 135180.
- ROGORA, M., BUZZI, F., DRESTI, C., LEONI, B., PATELLI, M., LEPORI, F., MOSELLO, R., SALMASO, N. (2018a): "Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy". *Hydrobiologia*, 824: 33-50.
- ROGORA, M., FRATE, L., CARRANZA, M.L., FREPPAZ, M., STANISCI, A., BERTANI, I., BOTTARIN, R., BRAMBILLA, A., CANULLO, R., CARBOGNANI, M., CERRATO, C., CHELLI, S., CREMONESE, E., CUTINI, M., DI MUSCIANO, M., ERSCHBAMER, B., GODONE, D., IOCCHI, M., ISABELLON, M., MAGNANI, A., MAZZOLA, L., MORRA DI CELLA, U., PAULI, H., PETEY, M., PETRICCIONE, B., PORRO F., PSENNER R., ROSSETTI G., SCOTTI A., SOMMARUGA R., TAPPEINER U., THEURILLAT J.-P., TOMASELLI, M., VIGLIETTI, D., VITERBI, R., VITTOZ, P., WINKLER, M. MATTEUCCI, G. (2018b): "Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines". *Science of the Total Environment*, 624: 1429-1442.
- ROGORA M., COLOMBO, L., LEPORI, F., MARCHETTO, A., STEINGRUBER, S., TORNIMBENI, O. (2013): "Thirty years of chemical changes in alpine acid-sensitive lakes in the Alps". *Water Air and Soil Pollution*, 224:1746.
- ROGORA, M., ARISCI, S., MARCHETTO, A. (2012): "The role of nitrogen deposition in the recent nitrate decline in lakes and rivers in Northern Italy". *Science of the Total Environment*, 417-418: 214-223.
- ROGORA, M. (2007): "Synchronous trends in N-NO₃ export from N-saturated river catchments in relation to climate". *Biogeochemistry*, 86: 251-268.
- ROTTA, F., CERASINO, L., OCCHIPINTI-AMBROGI, A., ROGORA, M., SEPPI, R., TOLOTTI, M. (2018): "Diatom diversity in headwaters influenced by permafrost thawing: First evidence from the Central Italian Alps". *Advances in Oceanography and Limnology*, 9(2): 79-96.
- TOLOTTI, M., CERASINO, L., DONATI, C., PINDO, M., ROGORA, M., SEPPI, R., ALBANESE, D. (2020): "Alpine headwaters emerging from glaciers and

rock glaciers host different bacterial communities. Ecological implications for the future". *Science of the Total Environment*, 717: 137101.

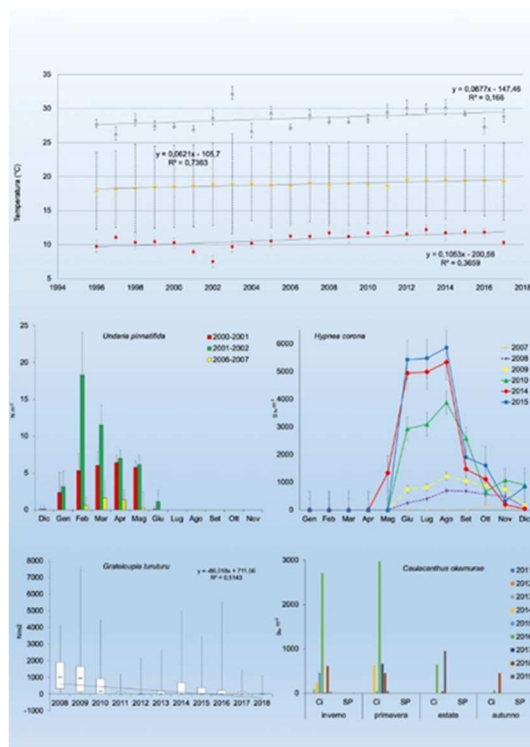
TANENTZAP, A.J., MORABITO, G., VOLTA, P., ROGORA, M., YAN, N.D., MANCA, M. (2020): "Climate warming restructures an aquatic food web over 28 years". *Global Change Biology*, 26: 6852–6866.

TIBERTI, R, BUSCAGLIA, F., CALLIERI, C., ROGORA, M., TARTARI, G., SOMMARUGA, R.. (2019): "Food web complexity of high mountain lakes is largely affected by glacial retreat". *Ecosystems*, 23: 1093-1106.

Il comportamento di alcune alghe non-indigene nel Mar Piccolo di Taranto può essere una risposta al cambiamento climatico?

a cura di

Antonella Petrocelli (*), Giorgio Alabiso, Giuseppe Portacci, Ester Cecere, IRSA - Taranto



La disponibilità di serie storiche di dati chimico-fisici e biologici e di osservazioni sistematiche è una base imprescindibile per la verifica dei cambiamenti climatici e la comprensione dei loro effetti sugli ecosistemi, e consente di distinguere i cambiamenti naturali da quelli indotti dall'uomo. Su tali presupposti si basa la "ricerca ecologica di lungo termine" (*Long Term Ecological Research*, LTER) che analizza fenomeni e processi in un intervallo di tempo pluridecennale. Il Mar Piccolo di Taranto fa parte della rete italiana LTER dal 2011, grazie alle serie storiche di dati ecologici in possesso dell'Istituto Talassografico "A. Cerruti" (CNR-IRSA sede di Taranto). Di particolare rilievo sono le serie storiche di variabili chimico-fisiche dell'acqua di mare, ovvero temperatura, salinità, e ossigeno disciolto (Kralj et al. 2016). Altrettanto importanti sono le serie di dati sulla biodiversità del fitobenthos, la cui raccolta qualitativa, avviata all'inizio degli anni '20, è diventata sistematica nella seconda metà degli anni '80, arricchendosi anche di dati quantitativi (Petrocelli et al., 2019). Lo studio sistematico dei popolamenti fitobentonici ha consentito di avviare le ricerche sull'introduzione delle specie di macroalghe non-indigene,

la quale risulta strettamente legata alla globalizzazione economica ma anche ai cambiamenti climatici. Questa è una problematica di grande rilevanza mondiale date le pericolose implicazioni che alcune di queste specie, le cosiddette invasive, hanno a livello di ambiente, economia e salute umana. La prima segnalazione per il Mar Piccolo, ma anche per il Mediterraneo, risalente al 1986, riguarda due specie di origine atlantica, *Agardhiella subulata* (C. Agardh) Kraft & M.J. Wynne e *Solieria filiformis* (Kützinger) P.W. Gabrielson (Rhodophyta, Gigartinales) (Perrone e Cecere, 1994). In circa trent'anni, il Mar Piccolo è diventato il terzo hot spot nel Mediterraneo per numero di macroalghe non-indigene (Petrocelli et al., 2019). Il comportamento di alcune di queste specie è stato ed è studiato con particolare attenzione dato il carattere di invasività che queste hanno mostrato in altre aree geografiche. In particolare, considerando che la temperatura, soprattutto nei suoi valori estremi, è una variabile ambientale importante nel determinare il ciclo riproduttivo delle macroalghe, e che a partire dal 1996, i valori medi e quelli estremi di temperatura (i.e. settimana più fredda e settimana più calda) delle acque superficiali del Mar Piccolo hanno mostrato una tendenza all'incremento, è stato messo in relazione il comportamento di queste specie con l'anda-

* antonella.petrocelli@irsa.cnr.it

mento della temperatura nel corso degli anni.

Undaria pinnatifida (Harvey) Suringar (Ochrophyta, Laminariales) - In aprile 1998, furono osservati i primi esemplari di questa specie originaria delle acque temperato-fredde del Giappone. Sono state condotte tre campagne di misurazione negli anni 2000-2001, 2001-2002 e 2006-2007, per valutare l'insediamento della specie in Mar Piccolo poiché essa poteva rappresentare un serio pericolo per gli impianti di mitilicoltura. Si è osservato che: la densità dei talli è variata notevolmente negli anni; il valore più elevato è stato registrato in febbraio 2002; le densità misurate nell'inverno 2002 sono state molto più alte di quelle dell'anno precedente; nel 2007, i primi talli sono apparsi in ritardo rispetto agli anni precedenti e la densità media non ha superato i 2 individui per m². Dal 2010, la specie è completamente scomparsa dal bacino (Cecere et al., 2016).

Hypnea corona Huisman & Petrocelli (Rhodophyta, Gigartinales) - È una specie originaria delle acque temperato-calde dell'Indo-Pacifico. È stata ritrovata per la prima volta nel Mar Piccolo nel dicembre 2000, con pochi esemplari attaccati su gusci di molluschi e pietre sparse (Cecere et al., 2004 come *Hypnea cornuta* (Kützinger) J. Agardh). Lo studio quantitativo condotto dal 2007 al 2015, ha mostrato che: la biomassa è aumentata regolarmente ogni anno; la specie nel 2007 è stata rinvenuta in una seconda stazione; il ciclo di sviluppo è stagionale, con un periodo di crescita da maggio a dicembre, e un periodo di quiescenza da gennaio ad aprile, durante il quale la specie rimane rappresentata soltanto dagli organi di *overwintering*; la biomassa è risultata massima durante la stagione estiva (Cecere et al., 2016). Nel 2016, *H. corona* è stata rinvenuta in una terza area del Mar Piccolo, ma, ad oggi, non sembra essere dannosa per il sistema (Huisman et al., 2021). Tuttavia, è stato programmato uno studio mirato di valutazione di impatto che sarà avviato in tempi brevi.

Grateloupia turuturu Yamada (Rhodophyta, Halymeniales) - È una specie originaria delle acque temperato-fredde del Giappone. È stata ritrovata per la prima volta nel Mar Piccolo nel marzo 2007, insediata su retine da mitilicoltura abbandonate sul fondo (Cecere et al. 2011). A partire dal 2008 fino al 2018, il monitoraggio mensile di *G. turuturu* ha mostrato che: l'andamento delle densità dei talli è risultato altamente variabile nel tempo; dopo un primo periodo di espansione del popolamento, la specie è ormai stabilmente insediata ma con densità molto basse; non si è rivelata invasiva, infatti non è stata trovata in nessun altro luogo del Mar Piccolo; la messa in atto di strategie di *overwintering* tramite forme crostose del tallo potrebbe garantire la sua permanenza (Petrocelli et al., 2020a). Tuttavia, data la sua affinità biogeografica, in analogia con *U. pinnatifida*, *G. turuturu* potrebbe scomparire nei prossimi anni, se la temperatura dell'acqua dovesse ulteriormente aumentare.

Caulacanthus okamurae Yamada (Rhodophyta, Gigartinales) - I primi talli di questa specie di piccole dimensioni, originaria del Pacifico nord-orientale, sono stati raccolti in Mar Piccolo nel settembre 2012 (Petrocelli et al, 2020b). Le osservazioni sistematiche hanno mostrato che: è ormai ben insediata nel baci-

no, nella stazione di primo ritrovamento e con sporadiche presenze anche in altre zone del Mar Piccolo; le stagioni di maggiore sviluppo sono l'inverno e la primavera; dopo un picco di biomassa registrato nel 2016, i valori si sono notevolmente ridotti negli anni successivi fino al 2019. Poiché *C. okamurae* è una specie ad affinità fredda, difficilmente potrà avere un comportamento invasivo nel Mar Piccolo. Resta da vedere se sarà capace di mettere in atto strategie di adattamento che le consentano la permanenza, anche a bassa densità, o se, in mancanza di queste, scomparirà del tutto.

Sulla base delle osservazioni condotte, si può concludere che, nelle condizioni attuali, il cambiamento climatico su base locale esercita una notevole influenza sul destino delle specie aliene. Il Mar Piccolo sembra troppo caldo per le specie ad affinità fredda e non troppo freddo per quelle ad affinità calda. Inoltre, gli studi filogenetici condotti su *G. turuturu* e *C. okamurae* hanno dato maggior valore all'ipotesi che tali specie vengano introdotte tramite i molluschi importati sui quali si insediano o le spore o le plantule (Cecere et al. 2011; Petrocelli et al. 2020a).

PROGETTI DI RICERCA

- Progetto VECTOR: “Vulnerabilità delle Coste e degli ecosistemi marini italiani ai cambiamenti climatici e loro ruolo nei cicli del carbonio mediterraneo”
- Progetto Bandiera RITMARE
- Rete LTER Italia

BIBLIOGRAFIA

- CECERE, E., PETROCELLI, A., VERLAQUE, M. (2004): “Morphology and vegetative reproduction of the introduced species *Hypnea cornuta* (Rhodophyta, Gigartinales) in the Mar Piccolo of Taranto (Italy, Mediterranean Sea)”. *Botanica Marina*, 47: 381-388. <https://doi.org/10.1515/BOT.2004.056>
- CECERE, E., ALABISO, G., CARLUCCI, R., PETROCELLI, A., VERLAQUE, M. (2016): “Fate of two invasive or potentially invasive alien seaweeds in a central Mediterranean transitional water system: failure and success”. *Botanica Marina*, 59: 451-462. <https://doi.org/10.1515/bot-2016-0053>
- CECERE, E., MORO, I., WOLF, M.A., PETROCELLI, A., VERLAQUE, M., SFRISO, A. (2011): “The introduced seaweed *Grateloupia turuturu* (Rhodophyta, Halymeniales) in two Mediterranean transitional water systems”. *Botanica Marina*, 54: 23-33. <https://doi.org/10.1515/BOT.2011.009>
- HUISMAN, J.M., D'ARCHINO, R., NELSON, W., BOO, S.M., PETROCELLI, A. (2021): “Cryptic cryptogam revealed: *Hypnea corona* (Gigartinales: Cystocloniaceae), a new red algal species described from the *Hypnea cornuta* complex”. *Pacific Science* (in press).
- KRALJ, M., DE VITTOR, C., COMICI, C., RELITTI, F., AURIEMMA, R., ALABISO, G., DEL NEGRO, P. (2016): “Recent evolution of the physical-chemical characteristics of a Site of National Interest—the Mar Piccolo of

Taranto (Ionian Sea)—and changes over the last 20 years”. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 12675-12690.

PERRONE, C., CECERE, E. (1994): “Two solieriacean algae new to the Mediterranean: *Agardhiella subulata* and *Solieria filiformis* (Rhodophyta, Gigartinales)”. *Journal of Phycology*, 30: 98-108. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1994.00098.x>

PETROCELLI, A., CECERE, E., RUBINO, F. (2019): “Successions of phytobenthos species in a Mediterranean transitional water system: the importance of long term observations”. *Nature Conservation*, 34: 217-246. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30055>.

PETROCELLI, A., ALABISO, G., CECERE, E., RICCI, P., CARLUCCI, R. (2020a): “Invasive or not? The case of

Grateloupia turuturu (Rhodophyta, Halymeniales) in the Northern Ionian Sea (Mediterranean Sea)”. *Marine Pollution Bulletin*, 161: 111748.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111748>.

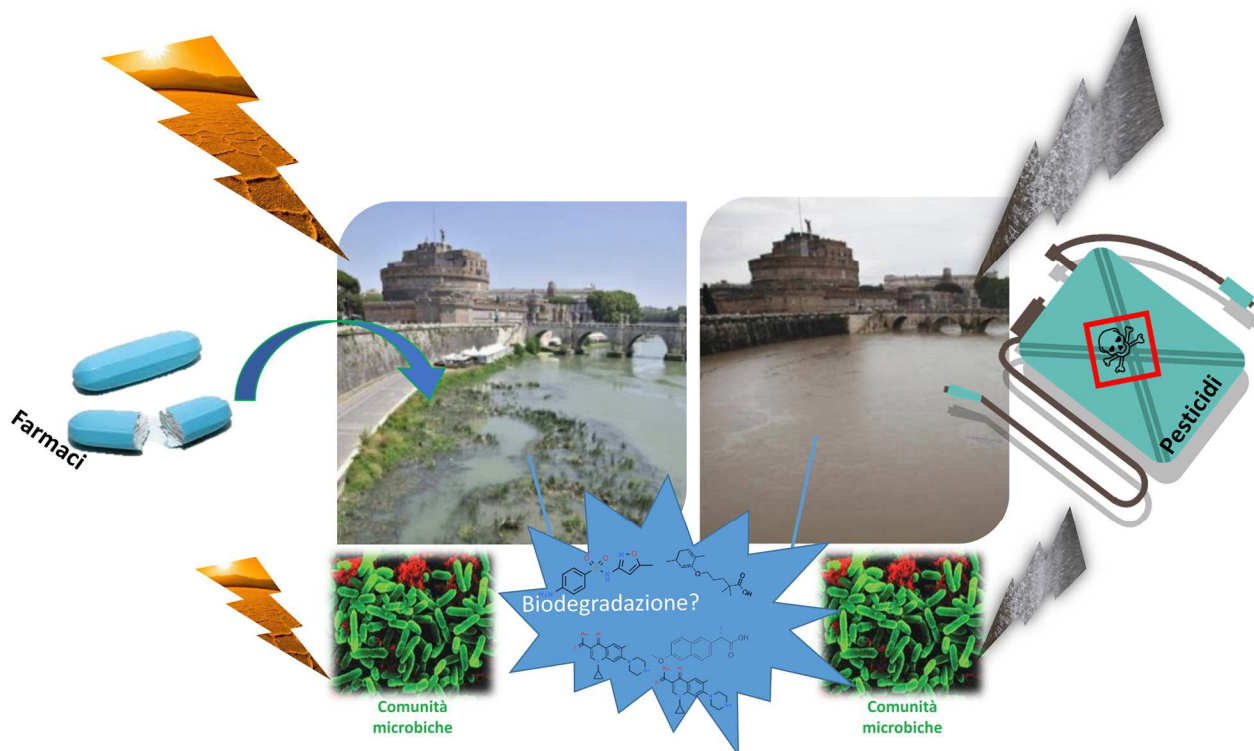
PETROCELLI, A., WOLF, M.A., CECERE, E., SCIUTO, K., SFRISO, A. (2020b): “Settlement and spreading of the introduced seaweed *Caulacanthus okamurae* (Rhodophyta) in the Mediterranean Sea”. *Diversity*, 12: 129. <https://doi.org/10.3390/d12040129>

Cambiamenti climatici e possibili effetti sul destino ambientale dei contaminanti emergenti in acque superficiali

a cura di

Paola Grenni(*), Anna Barra Caracciolo, IRSA - Roma

Luisa Patrolecco, ISP - Roma



RUOLO DELLE COMUNITÀ MICROBICHE NELLA DEGRADAZIONE DI CONTAMINANTI NORMATI ED EMERGENTI.

I contaminanti presenti nei corpi idrici possono essere distinti in normati, come ad esempio molti pesticidi inclusi nella Direttiva quadro europea (2000/60/CE e s.m.i) e emergenti. Questi ultimi sono molecole non necessariamente di nuova generazione, ma le cui conoscenze sul loro destino ambientale e sugli effetti sull'uomo e sugli ecosistemi sono ancora incomplete e pertanto non sono state ancora fissate soglie limite di concentrazione ambientali e non ancora incluse nella normativa vigente. Tra i contaminanti emergenti vi sono i farmaci, fra i quali gli antibiotici e i relativi geni della resistenza (Grenni et al., 2018), microcontaminanti per i quali vi è una particolare attenzione, poiché il loro crescente uso e la conseguente diffusione di multiresistenza pongono gravi rischi per la salute umana e degli animali di allevamento.

Le comunità microbiche naturali (batteri, archea, microrganismi), attraverso le loro molteplici funzioni ecosistemiche, hanno un ruolo chiave nel funzionamento degli ecosistemi acquatici e nell'assicurare la qualità dell'acqua. Infatti, sono coinvolte nei cicli dei nutrienti e nella mineralizzazione della sostanza organica. Inol-

tre, grazie alla loro versatilità metabolica, sono tra i principali responsabili delle capacità omeostatiche degli ecosistemi e hanno la capacità di degradare i contaminanti, fornendo servizi ecosistemici di regolazione (Grenni et al., 2020). Tuttavia, il recupero dalla contaminazione è possibile solo se la tossicità delle molecole non ostacola l'attività microbica. La conoscenza della capacità naturale delle comunità microbiche di recupero dalla contaminazione permette di valutare se le molecole contaminanti possano passare ai livelli superiori della catena trofica (Artigas et al., 2012). Numerosi studi effettuati presso i laboratori IRSA-CNR di Roma hanno identificato ed isolato ceppi o consorzi batterici in grado di degradare diversi contaminanti organici, quali erbicidi triazinici (Barra Caracciolo et al., 2010; Grenni et al., 2009) e tensioattivi anionici (Rolando et al., 2020).

FATTORI ABIOTICI E LORO INFLUENZA SULLA BIODEGRADAZIONE

L'attività microbica nei corpi idrici è fortemente modulata dai fattori abiotici, quali la temperatura, il pH, l'ossigeno, il contenuto di sostanza organica. Se i cambiamenti climatici influiscono e modificano questi fattori, la decomposizione della sostanza organica e

* paola.grenni@irsa.cnr.it

la degradazione dei contaminati possono essere fortemente alterate. La maggior parte dei contaminanti che giungono alle acque derivano dal suolo (tramite fenomeni di dilavamento o di lisciviazione) e pertanto la presenza o meno di precipitazione, nonché la sua intensità e frequenza, può influenzare il loro destino ambientale.

Nell'ambito di un Accordo Bilaterale Italia-Ungheria tra l'IRSA-CNR e l'Hungarian Academy of Sciences) è stato recentemente svolto uno studio sul fiume Danubio in 3 punti a diverso impatto antropico (a monte, a valle e nella città di Budapest); i risultati hanno mostrato come la piovosità influenzi sia il trasporto dei contaminanti dalla fonte di emissione (es. impianti di trattamento acque reflue) a siti più lontani, sia la loro concentrazione ("effetto diluizione"). È stato anche osservato come la diversità della comunità microbica viene modulata dal livello di contaminazione, dal contenuto di sostanza organica e dalla temperatura (Barra Caracciolo et al., 2019). Inoltre, la presenza di geni della resistenza può essere riconducibile alla presenza di concentrazioni residuali di antibiotici.

Al contrario, l'assenza prolungata di precipitazioni può concentrare i contaminanti e questo fenomeno può essere particolarmente rilevante nei corpi idrici intermittenti, dove le comunità microbiche soggette all'essiccamento dei sedimenti risultano poco attive (Amalfitano et al., 2008). Quest'ultimo aspetto è stato osservato in sedimenti di diversi fiumi temporanei dell'Europa Meridionale nell'ambito del Progetto TempQsim.

Nell'ambito del Progetto Europeo Microcokit, in collaborazione con il JRC, il *Marine Biological Association* (UK) e due industrie (LGC Limited, UK; Natural Biotech SL, ES), è stata studiata la struttura delle comunità microbiche naturali in relazione alle diverse pressioni antropiche presenti lungo il fiume Tevere; nello studio sono state considerate eventuali variazioni sulla qualità del corpo idrico dovute a fenomeni stagionali, previsti o imprevisti.

Per particolari contaminanti emergenti, quali alcuni farmaci, sono stati effettuati anche degli studi di biodegradazione in microcosmi; è emerso che la presenza di maggiori quantità di carbonio organico disciolto può rallentare la biodegradazione/biodisponibilità di alcuni composti (come nel caso del farmaco utilizzato come regolatore lipidico gemfibrozil), avendo una maggiore affinità per la sostanza organica (Grenni et al., 2014; Grenni et al., 2018).

Per quanto riguarda alcuni antibiotici studiati (es. il sulfametossazolo e la ciprofloxacina) è stato dimostrato che le comunità microbiche fluviali presenti a valle degli effluenti degli impianti di trattamento sono in grado di degradare tali molecole, sebbene esista anche un ruolo della fotodegradazione; quest'ultima, tuttavia, risulta fortemente limitata ai primi centimetri della colonna d'acqua ed è influenzata dalla torbidità del corpo idrico (Patrolecco et al., 2018; Barra Caracciolo et al., 2018; Grenni et al., 2019).

Studiando la struttura della comunità microbica in funzione del diverso grado e tipologia di contaminazione del fiume Tevere, dalla sorgente alla foce, è emerso che l'abbondanza microbica riflette la quantità di carbonio organico disciolto presente e alcuni

gruppi microbici (es. *Archaea*) hanno mostrato una forte correlazione con la stagionalità. In generale la struttura della comunità è risultata influenzata anche dalla presenza di specifici contaminanti. In tal senso, le comunità microbiche possono essere considerate ottimi indicatori di qualità ambientale (Saccà et al., 2019).

Nell'ambito dello stesso progetto Microcokit, sono state messe a punto due sonde oligonucleotidiche per l'identificazione al microscopio ad epifluorescenza (mediante tecniche FISH e CARD-FISH) di cianobatteri (*Microcystis aeruginosa*, sia a livello di genere che di specie) che possono produrre cianotossine in seguito alle sempre più frequenti condizioni climatiche estreme. Le sonde oligonucleotidiche disegnate possono essere utilizzate per un'identificazione a livello molecolare di questa specie tossica che causa bloom algali (Barra Caracciolo et al., 2019).

Dall'insieme dei risultati ad oggi ottenuti, e da quelli in corso di elaborazione, si conferma il ruolo chiave delle comunità microbiche naturali nella degradazione e rimozione dei contaminanti. Lo studio della struttura e funzione dei microorganismi permette di comprendere gli effetti sulle funzioni ecosistemiche e il destino ambientale dei contaminanti in diverse condizioni ambientali. È evidente che tutti i fattori abiotici che possono essere alterati dai cambiamenti climatici avranno un'influenza significativa sui processi microbici quali la degradazione della sostanza organica e la biodegradazione dei contaminanti, con conseguenze sulla funzionalità e stabilità degli ecosistemi acquatici.

PROGETTI DI RICERCA

- Accordo Bilaterale CNR/HAS (MTA) Italia-Ungheria (2016-2018) Interdisciplinary collaboration between Pharmacology and environmental sciences to assess drug Occurrence in the environment by using advanced Spectrochemistry and analytical methods.
- European Project (2013-2018) FP7 People-2012 -IAPP - Microbial Community-based sequencing analysis linked to anthropogenic pressures: MicroCoKit to address the water quality-Industry-Academia Partnerships and Pathways - MicroCoKit, N° 324518 <https://cordis.europa.eu/project/id/324518/it>
- European Project TempQsim (2002-2006) Evaluation and improvement of water quality models for application to temporary waters in Southern European catchments, EVK1-CT-2002-00112 <https://cordis.europa.eu/project/id/EVK1-CT-2002-00112/it>

BIBLIOGRAFIA

- AMALFITANO, S., FAZI, S., ZOPPINI, A., BARRA CARACCILO, A., GRENNI, P., PUDDU A. (2008): "Responses of benthic bacteria to experimental drying in sediments from Mediterranean temporary rivers". *Microbial Ecology* 55: 270-279.
- ARTIGAS, J., ARTS, G., BABUT, M., BARRA CARACCI-

OLO, A., CHARLES, S., CHAUMOT, A., COMBOURIEU, B., DAHLÖF, I., DESPRÉAUX, D., GARRIC, J., GEFFARD, O., GOURLAY-FRANCÉ, C., HEIN, M., HJORTH, M., KRAUSS, M., KÜSTER, E., DE LANGE, H., LAHR, J., LEHTONEN, K., LETTIERI, T., LIESS, M., LOFTS, S., MAYER, P., MORIN, S., PASCHKE, A., SVENDSEN, C., USSEGLIO-POLATERA, P., VAN DEN BRINK, N., VINDIMIAN, E., WILLIAMS, R. (2012). "Towards a renewed research agenda in Ecotoxicology". *Environmental Pollution* 160: 201-206.

BARRA CARACCILO, A., FAJARDO, C., GRENNI, P., SACCÀ, M.L., AMALFITANO, S., CICCOLI, R., MARTIN, M., GIBELLO, A. (2010): "The role of a groundwater bacterial community in the degradation of the herbicide terbuthylazine". *FEMS Microbiology Ecology* 71 (1): 127-136.

BARRA CARACCILO, A., GRENNI, P., RAUSEO, J., ADEMOLLO, N., CARDONI, M., PATROLECCO, L. (2018): "Degradation of a fluoroquinolone antibiotic in an urbanized stretch of the River Tiber". *Microchemical Journal* 136: 43-48.

BARRA CARACCILO, A., DEJANA, L., FAJARDO, C., GRENNI, P., MARTIN, M., MENGES, G., SÁNCHEZ-FORTÚN, S., LETTIERI, T., SACCÀ, M.L., MEDLIN, L. (2019): "A new fluorescent oligonucleotide probe for in situ identification of *Microcystis aeruginosa* in freshwater". *Microchemical Journal* 148: 503-513.

BARRA CARACCILO A., PATROLECCO L., GRENNI P., DI LENOLA M., ADEMOLLO N., RAUSEO J., ROLANDO L., SPATARO F., PLUTZER J., MONOSTORY K., SPERLAGH B., (2019). Chemical mixtures and natural microbial community in an urbanized stretch of the River Danube. *Microchem J* 14: 985-994.

GRENNI, P., GIBELLO, A., BARRA CARACCILO, A., FAJARDO, C., NANDE, M., VARGAS, R., SACCÀ, M.L., MARTINEZ-IÑIGO, M.J., CICCOLI, R., MARTÍN, M. (2009): "A new fluorescent oligonucleotide probe for in situ detection of s-triazine-degrading *Rhodococcus wratislaviensis* in contaminated groundwater and soil samples". *Water Research* 43: 2999-3008.

GRENNI, P., PATROLECCO, L., ADEMOLLO, N., DI LENOLA, M., BARRA CARACCILO, A. (2014): "Capability of the natural microbial community in a river water ecosystem to degrade the drug Naproxen". *Environmental Science and Pollution Research* 21 (23): 13470-9.

GRENNI P., PATROLECCO L., ADEMOLLO N., DI LENOLA M., BARRA CARACCILO A. (2018): "Assessment of gemfibrozil persistence in river water alone and in co-presence of naproxen". *Microchemical Journal* 136: 49-55.

GRENNI P., ANCONA V., BARRA CARACCILO A. (2018): "Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: a review". *Microchemical Journal* 136: 25-39.

GRENNI P., PATROLECCO L., RAUSEO, J., SPATARO, F., DI LENOLA, M., AIMOLA G., ZACCHINI, M., PIETRINI F., DI BACCIO, D., STANTON, I.J., GAZE, W., BARRA CARACCILO A. (2019): Sulphamethoxazole

persistence in a river water ecosystem and its effect on the natural microbial community and *Lemna* minor plant. *Microchemical Journal* 149: 103999.

GRENNI, P., BARRA CARACCILO, A. (2020): "Effetti della contaminazione sugli ecosistemi naturali e attività della SETAC Italia". In: L. MANCINI, I. LACCHETTI, S. CACIOLLI, M. CARERE (A cura di): *Ecotoxicologia e salute: approcci metodologici. Rapporti ISTISAN 20/6*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020, pp. 14-22.

PATROLECCO, L., RAUSEO, J., ADEMOLLO, N., GRENNI, P., CARDONI, M., LEVANTESI, C., LUPRANO, M.L., ROLANDO, L., RAUSEO, J., PESCATORE, T., PATROLECCO, L., GARBINI, G.L., VISCA, A., GRENNI, P., BARRA CARACCILO, A. (2018): "Persistence of the antibiotic sulfamethoxazole in river water alone or in the co-presence of ciprofloxacin". *Science of the Total Environment* 640-641: 1438-1446.

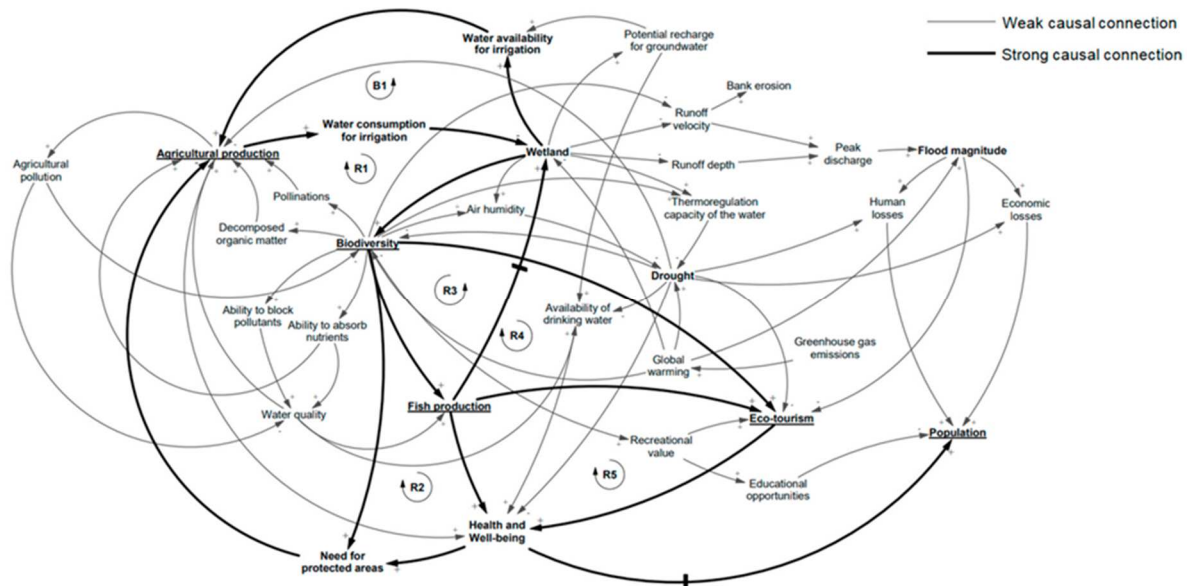
ROLANDO, L., GRENNI, P., RAUSEO, J., PESCATORE, T., PATROLECCO, L., GARBINI, G.L., VISCA, A., BARRA CARACCILO, A. (2020): "Isolation and characterization in a soil conditioned with foaming agents of a bacterial consortium able to degrade sodium lauryl ether sulfate". *Frontiers in Microbiology* 11: 1542.

SACCÀ, M.L., FERRERO, V.E.V., LOOS, R., DI LENOLA, M., TAVAZZI, S., GRENNI, P., ADEMOLLO, N., PATROLECCO, L., HUGGETT, J., BARRA CARACCILO, A., LETTIERI, T. (2019): "Chemical mixtures and fluorescence in situ hybridization analysis of natural microbial community in the Tiber River". *Science of the Total Environment* 673 :7-19.

Modellistica integrata a supporto dell'implementazione di misure di adattamento ai cambiamenti climatici

a cura di

Alessandro Pagano (*), Raffaele Giordano, Ivan Portoghese, IRSA - Bari



CONTESTO SCIENTIFICO

L'integrazione di strumenti modellistici specifici è utile per la descrizione delle interazioni dinamiche che connettono, da una parte i fenomeni fisici caratteristici dei processi idrologici, dall'altra la rete delle azioni antropiche che agiscono sullo sfruttamento delle risorse idriche e del territorio, sia nelle condizioni climatiche attuali che con riferimento ai possibili scenari di cambiamento climatico. La rappresentazione dei processi idrologici di base e l'analisi dei loro effetti rappresentano due dei livelli sui quali diviene importante investigare, tenendo ovviamente in debito conto la componente antropica. Tale contesto assume un ruolo cruciale per la definizione di politiche ed azioni in grado di incrementare la capacità di adattamento dei sistemi socio-ambientali rispetto a condizioni di scarsità idrica, limitando gli impatti sulle risorse e riducendo al minimo i rischi per la popolazione locale e per il patrimonio naturale.

APPROCCIO METODOLOGICO

Nella gestione delle risorse idriche, l'impiego di modelli in grado di rappresentare adeguatamente la complessità dei fenomeni reali è una pratica largamente diffusa e adottata negli studi sul possibile sfruttamento delle risorse idriche e sul dimensionamento di opere ingegneristiche. Tale approccio si è arricchito negli anni di nuovi sviluppi legati: alla pianificazione sostenibile dei prelievi mediante processi

partecipativi, alla valutazione della sostenibilità a medio-lungo termine anche per effetto dei cambiamenti climatici, alle problematiche legate alla gestione multi-risorsa e multi-utenza in condizioni di variabilità climatica e di diverse politiche di utilizzo della risorsa, all'integrazione di informazioni da telerilevamento nei modelli idrologici.

Tra gli sviluppi più recenti, è significativa la definizione di modelli per la gestione integrata di risorse superficiali e sotterranee ottenuta coniugando modelli di bilancio idrologico con modelli decisionali legati all'accesso e allo sfruttamento delle risorse idriche. La modellazione dei comportamenti degli utilizzatori rispetto all'impiego delle risorse disponibili consente di elaborare e analizzare scenari relativi alla pressione sulla falda e/o sui corpi idrici superficiali, e l'efficacia nell'attuazione di politiche di protezione, basate sul coinvolgimento attivo dei gestori e dell'utenza.

ATTIVITÀ DI RICERCA

Partendo da questi presupposti, sono stati proposti vari approcci di integrazione di strumenti modellistici di differente natura volti a individuare politiche efficaci per la gestione sostenibile delle risorse idriche e l'adattamento ai cambiamenti climatici. A tal fine, sono stati approfonditi alcuni temi principali quali:

Analisi dei possibili impatti ambientali e individuazione di misure di adattamento ai cambiamenti climatici mediante lo sviluppo dei seguenti strumenti:

- Modellistica idrologica ed integrata (PSDM: stock

* alessandro.pagano@ba.irsna.cnr.it

and flow, CLD, FCM) per la stima degli impatti di *water-related risks* e misure di adattamento a scala urbana e/o di bacino, quali le *Nature-based Solutions* (Portoghese et al. 2013; Giordano et al. 2015; Pagano et al. 2019a; Giordano et al. 2020a; Gómez Martín et al. 2020; Coletta et al. 2021)

- Analisi di scenario (*Exploratory scenario analysis*) e stima efficacia misure di adattamento (Pluchinotta et al. 2021).
- *Social Network Analysis* per l'identificazione di barriere all'implementazione delle misure di adattamento (Giordano et al. 2017)
- Integrazione di modellistica e monitoraggio per l'*assessment* dell'efficacia delle misure di adattamento.
- Approccio WEFN (*Water-Energy-Food-Nexus*) alla gestione sostenibile delle risorse idriche:
- Modellistica idrologica ed integrata per l'analisi delle principali implicazioni ed interconnessioni tra i settori W-E-F (de Vito et al. 2017)
- Supporto alla partecipazione di stakeholder per la selezione ed analisi delle implicazioni di *sectoral policy* (Pluchinotta et al. 2018).
- Analisi di scenario, con integrazione di modellistica fisica e bilancio idrologico. (de Vito et al. 2019; Portoghese et al. 2021)
- Resilienza dei sistemi di approvvigionamento idrico potabile:
- Analisi degli impatti di eventi estremi sulla domanda idrica (ad es. *flood e drought*)
- Sviluppo di sistemi di supporto alle decisioni per la gestione di emergenze connesse all'approvvigionamento idrico potabile (Pagano et al. 2018; Pagano et al. 2019b; Pagano et al. 2021)
- Sviluppo di sistemi esperti per la gestione di situazioni emergenziali e definizione di linee guida operative.
- Modellistica idraulica ed integrata (PSDM) a supporto della resilienza dell'approvvigionamento idrico potabile. (Pagano et al. 2017)
- Sviluppo di *Climate Services* innovativi per il supporto alle azioni di adattamento ai CC:
- Co-design di *Climate Services* a supporto della pianificazione urbana per l'adattamento; Definizione delle principali *information need* dei decisori; Sviluppo di servizi *user-oriented*; Concettualizzazione innovativa di CS per il *collaborative planning* per l'adattamento. (Giordano et al. 2020b)

PROGETTI DI RICERCA

- NAIAD - NAture Insurance value: Assessment and Demonstration (H2020-EU.3.5.2 Grant N. 730497, 2016-2020) <http://naiad2020.eu/>. NAIAD project aims to operationalise "Natural Assurance Schemes", defined as a range of schemes to internalise the insurance value of river systems.
- RESET - Restarting the Economy in Support of Environment, through Technology (H2020-EU.1.2.2. -

FET Proactive, 2021-2023 <https://cordis.europa.eu/project/id/101017857/it>. RESET aims to leverage developments in spatial modelling, artificial intelligence and interoperable environmental sensing to better understand pathways to RESET agricultural and urban development across Europe for sustainability.

- INTERACTION (Integrated Assessment of Climate Impacts on Ecosystem Functions and Productivity of Critical-Zone Eco-Hydrology), Belmont Call 2020 "Towards Sustainability of Soils and Groundwater for Society"; 2021-2023.
- MIGRAD, progetto della Fondazione FCRP sull'integrazione dei processi decisionali nei modelli di gestione delle acque sotterranee; 2009-2011.
- LENSES - Learning and action alliances for Nexus environments in an uncertain future (PRIMA Section 1 Nexus 2020, 2021-2024 start date 1st May 2021). LENSES aims to contribute to improved water allocation, enhanced food security while preserving ecosystems and aiding climate change adaptation, by supporting the operationalization of the Nexus paradigm
- REXUS - Managing resilient Nexus systems through participatory systems dynamics modelling (H2020 Understanding Climate-WEFN and streamlining water-related policies, 2021-2024 start date 1st May 2021). REXUS offers a comprehensive strategy for mainstreaming Water-Energy-Food-Climate (WEFC) Nexus thinking and promoting Resilient Nexus
- Centro di competenza del Dipartimenti della Protezione Civile (DPC), varie convenzioni dal 2006 al 2022.
- MUHA - Multihazard framework for water related risks management (<https://muha.adrioninterreg.eu/> 2020-2022). The MUHA project will connect the observed and modelled hazards and risks related to the integrated water cycle with the existing and improved coping capacity developed by national, bilateral and EU Civil Protection Mechanisms, following the rationale defined by the Sendai framework.
- EU-MACS (EUropean Market for Climate Services) analysing market structures and drivers, obstacles and opportunities for successful CSs. (<http://eu-macs.eu/#>) 2016-2018.
- Proposal H2020 LC-GD-9-2-2020: Developing end-user products and services for all stakeholders and citizens supporting climate adaptation and mitigation.

BIBLIOGRAFIA

- COLETTA, V.R., PAGANO, A., PLUCHINOTTA, I., FRATINO, U., SCRIECIU, A., NANU, F., GIORDANO, R. (2021): "Causal Loop Diagrams for supporting Nature Based Solutions participatory design and performance assessment". *Journal of Environmental Management*, 280(111668).
- DE VITO, R., PORTOGHESE, I., PAGANO, A., FRATINO,

- U., VURRO, M. (2017): "An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the Water-Energy-Food Nexus framework". *Advances in Water Resources*, 110:423-436.
- DE VITO, R., PAGANO, A., PORTOGHESE, I., GIORDANO, R., VURRO, M., FRATINO, U. (2019): "Integrated Approach for Supporting Sustainable Water Resources Management of Irrigation Based on the WEFN Framework". *Water Resources Management*, 33(4):1281-1295.
- GIORDANO, R., PLUCHINOTTA, I., PAGANO, A., SCRIECIU, A., NANU, F. (2020a): "Enhancing Nature-Based Solutions acceptance through stakeholders' engagement in co-benefits identification and trade-offs analysis". *Science of the Total Environment*, 713(136552).
- GIORDANO, R., PILLI-SIHVOLA, K., PLUCHINOTTA, I., MATARRESE, R., PERRELS, A. (2020b): "Urban adaptation to climate change: Climate services for supporting collaborative planning". *Climate Services*, 17(100100).
- GIORDANO, R., PAGANO, A., PLUCHINOTTA, I., DEL AMO, R.O., HERNANDEZ, S.M., LAFUENTE, E.S. (2017): "Modelling the complexity of the network of interactions in flood emergency management: The Lorca flash flood case". *Environmental Modelling and Software*, 95:180-195
- GIORDANO, R., D'AGOSTINO, D., APOLLONIO, C., SCARDIGNO, A., PAGANO, A., PORTOGHESE, I., LAMADDALENA, N., PICCINNI, A.F., VURRO, M. (2015): "Evaluating acceptability of groundwater protection measures under different agricultural policies". *Agricultural Water Management*, 147:54-66.
- GÓMEZ MARTÍN, E., GIORDANO, R., PAGANO, A., VAN DER KEUR, P., MÁÑEZ COSTA, M. (2020): "Using a system thinking approach to assess the contribution of Nature Based Solutions to sustainable development goals". *Science of the Total Environment*, 738(13969).
- PAGANO, A., GIORDANO, R., VURRO, M. (2021): "A Decision Support System Based on AHP for Ranking Strategies to Manage Emergencies on Drinking Water Supply Systems". *Water Resources Management*, 35(2):613-628.
- PAGANO, A., PLUCHINOTTA, I., PENGAL, P., COKAN, B., GIORDANO, R. (2019a): "Engaging stakeholders in the assessment of NBS effectiveness in flood risk reduction: A participatory System Dynamics Model for benefits and co-benefits evaluation". *Science of the Total Environment*, 690:543-555.
- PAGANO, A., SWEETAPPLE, C., FARMANI, R., GIORDANO, R., BUTLER, D. (2019b): "Water Distribution Networks Resilience Analysis: a Comparison between Graph Theory-Based Approaches and Global Resilience Analysis". *Water Resources Management*, 33(8):2925-2940
- PAGANO A., PLUCHINOTTA I., GIORDANO R., VURRO M. (2017): "Drinking water supply in resilient cities: notes from L'Aquila earthquake case study". *Sustainable Cities and Society*, 29:435-449.
- PLUCHINOTTA, I., PAGANO, A., VILCAN, T., AHILAN, S., KAPETAS, L., MASKREY, S., KRIVTSOV, V., THORNE, C., O'DONNELL, E. (2021): "A Participatory System Dynamics Model to investigate sustainable urban water management in Ebbsfleet Garden City". *Sustainable Cities and Society*, 67(102709).
- PLUCHINOTTA, I., PAGANO, A., GIORDANO, R., TSOUKIÀS, A. (2018): "A System Dynamics Model for supporting decision-makers in irrigation water management". *Journal of Environmental Management*, 223:815-824.
- PORTOGHESE, I., GIANNOCCARO, G., GIORDANO, R., PAGANO, A. (2021): "Modeling the impacts of volumetric water pricing in irrigation districts with conjunctive use of surface and groundwater resources". *Agricultural Water Management*, 244 (106561).
- PORTOGHESE, I., D'AGOSTINO, D., GIORDANO, R., SCARDIGNO, A., APOLLONIO, C., VURRO, M. (2013): "An integrated modelling tool to evaluate the acceptability of irrigation constraint measures for groundwater protection". *Environmental Modelling & Software*, 46:90-103.

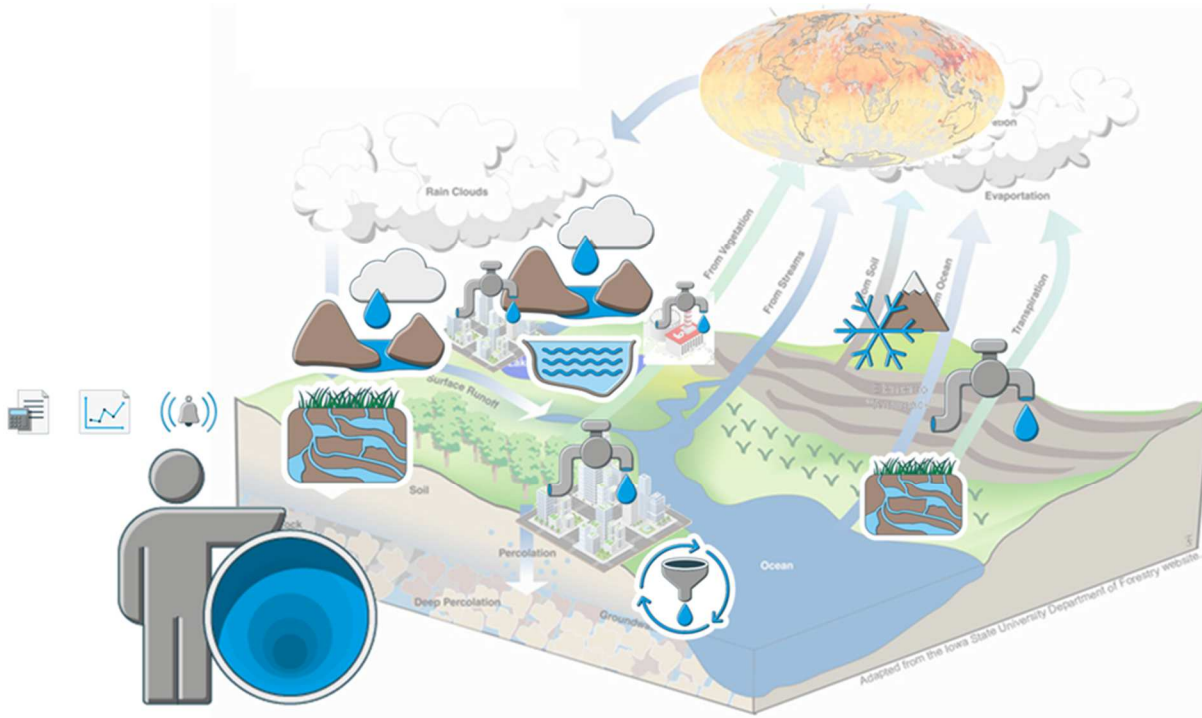
Approvvigionamento idrico in un contesto di cambiamenti climatici - processi stocastici, non stazionarietà e non linearità: osservazioni e modellistica

a cura di

Emanuele Romano (*), Nicolas Guyennon, Anna Bruna Petrangeli, IRSA - Roma

Franco Salerno, IRSA - Brughiero

Ivan Portoghese, IRSA - Bari



La gestione sostenibile delle risorse idriche convenzionali (acque superficiali e sotterranee) e non (es. acque reflue depurate) assume un ruolo strategico nella pianificazione dei prossimi decenni, considerati i molteplici usi spesso concorrenti (idropotabile, irriguo, produzione di energia, servizi ecosistemici, ricreativi, ecc.) e le tendenze evolutive dei fabbisogni idrici: da un lato i cambiamenti climatici in atto stanno modificando in maniera significativa i regimi idrologici e idrogeologici e dunque la disponibilità di risorse, dall'altro i sistemi di approvvigionamento idrico ed in generale il servizio idrico integrato risultano particolarmente vulnerabili a causa della vetustà delle infrastrutture di captazione e distribuzione, di significativi deficit informativi sullo stato quantitativo delle risorse e sull'effettiva pressione antropica sulle stesse e di una carenza di trasferimento dell'innovazione scientifica al mondo dei gestori. Di conseguenza la valutazione della vulnerabilità e resilienza dei sistemi di approvvigionamento idrico deve necessariamente adottare un approccio integrato che prenda in considerazione: a) i regimi meteorologici attuali e previsti in un contesto di cambia-

mento climatico e il loro impatto sulla variabilità stagionale e inter-annuale delle risorse superficiali e sotterranee; b) le infrastrutture, in relazione alla capacità di captazione e distribuzione del sistema; c) le pressioni sui corpi idrici, mediante la quantificazione della domanda attuale e futura nei diversi settori; d) le possibili interconnessioni tra sistemi di approvvigionamento; e) lo sviluppo di processi e tecnologie basati sul principio dell'eco-innovazione in grado di migliorare la qualità delle acque depurate massimizzando il loro riutilizzo; f) la sostenibilità socio-economica sul lungo periodo delle possibili soluzioni proposte in relazione al livello di accettabilità da parte dei differenti stakeholders.

Tra le diverse ricerche e applicazioni intraprese negli ultimi anni, gli Autori della presente nota, che si occupano in linea generale di siccità, scarsità idrica e gestione del rischio, stanno sviluppando un sistema di supporto alle decisioni chiamato INOPIA^{QGIS}, plugin *user friendly* per il software open source QGIS, che permette di simulare il funzionamento di un sistema di approvvigionamento idrico multirisorsamultiutenza. Il *tool* calcola, sulla base delle serie temporali disponibili di precipitazione e di afflusso agli invasi, dei fabbisogni di ciascuna utenza, delle carat-

* emanuele.romano@irsa.cnr.it

teristiche degli invasi superficiali e sotterranei, della topologia del sistema di distribuzione e delle modalità di gestione, il bilancio idrico alla scala mensile, identificando su base statistica il rischio di mancato soddisfacimento dei fabbisogni (deficit) su ciascuna utenza/risorsa o sull'intero sistema (Romano et al. 2017; Romano et al. 2018).

Alcuni elementi di non linearità e di non stazionarietà a diverse scale spaziali e temporali rendono complessa la stima della vulnerabilità dei sistemi di approvvigionamento idrico e l'identificazione di indicatori di *early warning* di mancato soddisfacimento del fabbisogno. Tali elementi sono stati oggetto di varie ricerche negli ultimi anni, in risposta alle seguenti problematiche scientifiche:

- l'analisi statistica degli eventi siccitosi risulta particolarmente complessa, dal momento che questi sono in generali "eventi rari" rispetto alla numerosità delle serie storiche abitualmente disponibili (Romano et al. 2011; Romano e Preziosi, 2013)
- la previsione delle variazioni del regime termopluviometrico alla scala regionale e locale richiede l'utilizzo di specifiche tecniche di *downscaling* a partire dagli scenari di cambiamento climatico previsti mediante *Global Circulation Models* (Portoghese et al. 2011; Guyennon et al. 2013)
- I processi di interazione suolo-atmosfera sono caratterizzati da una forte non-linearità che rende complessa la determinazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla disponibilità delle risorse idriche, in particolar modo di quelle sotterranee (Portoghese et al. 2013; Romano et al. 2013; Romano et al. 2015)
- La valutazione dell'impatto della variabilità del regime termopluviometrico sulle risorse idriche è spesso limitato dalla scarsità di dati storici osservati. In tale contesto l'utilizzo di tecniche di *machine learning* può risultare particolarmente efficace (Guyennon et al. 2021)
- Le variazioni della dinamica della criosfera giocano un ruolo determinante nella valutazione della disponibilità delle risorse idriche a diverse scale temporali. In particolare la stima della variabilità spazio-temporale dello *snow water equivalent* risulta particolarmente complessa alla scala regionale, sia per le difficoltà nella modellazione dei processi associati alla dinamica della densità della neve, sia per la scarsa disponibilità di osservazioni (Valt et al. 2018; Guyennon et al. 2019)
- La valutazione dei fabbisogni attuali e futuri per i diversi utilizzi ha una dipendenza non lineare da diversi fattori climatici e socio-economici a diverse scale temporali. Ad esempio, sul lungo periodo, la variazione del regime termopluviometrico determina la variazione dei fabbisogni a uso irriguo che a sua volta determina la variazione dell'impatto sulle risorse sia direttamente (variazione delle pressioni) sia indirettamente tramite la variazione dei termini di infiltrazione nel suolo modificando il regime idrologico nel suo complesso (Guyennon et al. 2016).

- L'elaborazione di opportune strategie di mitigazione necessita della valutazione degli effetti di diverse opzioni, spesso tra loro alternative o contrastanti (ad esempio ricarica artificiale vs incremento di invasi superficiali, Guyennon et al. 2017)

Sulla base delle linee di ricerca prima esposte, gli Autori hanno identificato le seguenti linee di sviluppo:

- Supporto alle decisioni per quantificare condizioni di mancato soddisfacimento della domanda: pressione antropiche, infrastruttura, gestione e *early warning*
- Gestione sostenibile di acquiferi costieri come *Water-Scarce Critical Zone*
- Integrazione della non stazionarietà nella domanda irrigua via Copernicus e altre tecnologie per il monitoraggio integrato
- Sviluppo di metodologie di analisi qualitative a supporto della redazione dei Piani di Sicurezza dell'Acqua
- Sensibilità dei sistemi di approvvigionamento idrico all'impatto dei C.C. sulle risorse idriche alimentate dal manto nevoso
- Analisi dei *Teleconnection patterns* e previsione a medio termine
- Impatto dell'aumento della variabilità (multi scala) delle anomalie di precipitazione sui termini di ricarica
- Contributo potenziale delle tecniche di *machine learning*.

PROGETTI DI RICERCA

- DPC2020 – Accordo di Collaborazione tra la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile e l'Istituto di Ricerca sulle Acque-CNR – WP1– Sviluppo di sistemi operativi informatici per il preannuncio delle crisi idriche in sistemi idrici multirisorsa – multiutenza (2020-2022)
- ADAPT - Acea Drought Adaptation Program and knowledge Transfer – (2020-2022)
- MUHA – Multihazard Framework for Water Related Risks Management – ADRION Interreg 2nd call (2020-2022)
- SWaRM-Net - Smart Water Resource Management – Networks – OR8 Sviluppo di sistemi di monitoraggio e gestione di eventi climatici estremi, Programma "Smart Cities e Social innovation nazionali D.D. 391/Ric del 05/07/2012 (2018-2021)

BIBLIOGRAFIA

GUYENNON, N., ROMANO, E., PORTOGHESE, I., SALLERNO, F., CALMANTI, S., PETRANGELI, A. B., ... & COPETTI, D. (2013). Benefits from using combined dynamical-statistical downscaling approaches-lessons from a case study in the Mediterranean

region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (2), 705.

GUYENNON, N., ROMANO, E., & PORTOGHESE, I. (2016). Long-term climate sensitivity of an integrated water supply system: The role of irrigation. *Science of The Total Environment*, 565, 68-81.

GUYENNON, N., SALERNO, F., PORTOGHESE, I., & ROMANO, E. (2017). Climate change adaptation in a Mediterranean semi-arid catchment: Testing managed aquifer recharge and increased surface reservoir capacity. *Water*, 9(9), 689.

GUYENNON, N., VALT, M., SALERNO, F., PETRANGELI, A.B., ROMANO, E. (2019). Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Italian Alps. *Cold Regions Science and Technology*, 167, 102859. doi: 10.1016/j.coldregions.2019.102859

GUYENNON, N., SALERNO, F., ROSSI, D., RAINALDI, M., CALIZZA, E., ROMANO, E. (2021). Climate change and withdrawal impacts on long-term level variability of the Bracciano Lake (Central Italy), a Random Forest approach. *Journal of Hydrology. Regional Studies*, under revision

PORTOGHESE, I., BRUNO, E., GUYENNON, N., & IACOBELLIS, V. (2011). Stochastic bias-correction of daily rainfall scenarios for hydrological applications. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(9), 2497.

PORTOGHESE, I., BRUNO, E., DUMAS, P., GUYENNON, N., HALLEGATTE, S., HOURCADE, J. C., ... & VURRO, M. (2013). Impacts of climate change on freshwater bodies: quantitative aspects. In *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean* (pp. 241-306). Springer, Dordrecht.

ROMANO, E., PREZIOSI, E., PETRANGELI, A.B., (2011). Spatial and Time Analysis of Rainfall in the Tiber River Basin (Central Italy) in relation to Discharge Measurements (1920-2010). *Procedia Environmental Sciences*, 258-263. doi: 10.1016/j.proenv.2011.07.045

ROMANO, E., PREZIOSI, E., (2013). Precipitation pattern analysis in the Tiber River basin (central Italy) using standardized indices. *International Journal of Climatology*. 33 (7) 1781-1792 doi: 10.1002/joc.3549

ROMANO, E., DEL BON, A., PETRANGELI, A.B., PREZIOSI, E., (2013). Generating synthetic time series of springs discharge in relation to standardized precipitation indices. Case study in Central Italy. *Journal of Hydrology*. 507, 86-99. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.020

ROMANO, E., CAMICI, S., BROCCA, L., MORAMARCO, T., PICA, F., PREZIOSI, E. (2015). Assessment of the impact of climate change to alluvial aquifers: an uncertainty analysis. *Advances in Watershed Hydrology* (Moramarco, Barbetta, Brocca Eds). Library of Congress Control Number: 2015934502 Water Resources Publications, LLC P. O. Box 630026, Highlands Ranch, Colorado 80163-0026, USA. ISBN-13: 978-1-887-20185-8. ISBN-10: 1-887201-

85-8

ROMANO, E., GUYENNON, N., DEL BON, A., PETRANGELI, A.B., PREZIOSI, E., (2017). Robust method to quantify the risk of shortage for water supply systems. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22 (8), 04017021 doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001540

ROMANO, E., GUYENNON, N., DURO, A., GIORDANO, R., PETRANGELI, A.B., PORTOGHESE, I., SALERNO, F. (2018). A stakeholder oriented Modelling Framework for the Early Detection of Shortage in Water Supply Systems. *Water*, 10(7262). doi:10.3390/w10060762

VALT M., GUYENNON, N., SALERNO, F., PETRANGELI, A. B., SALVATORI, R., CIANFARRA, P., ROMANO, E. (2018). Predicting new snow density in the Italian Alps: A variability analysis based on 10 years of measurements. *Hydrological Processes*. doi: 10.1002/hyp.13249



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Notiziario dei Metodi Analitici & IRSA News

**Pubblicazione quadrimestrale telematica dell'Istituto di Ricerca sulle Acque
del Consiglio Nazionale delle Ricerche**

ISSN 2465-017X

Autorizzazione Tribunale di Tivoli n°5/2015

Direzione e Redazione

Istituto di Ricerca sulle Acque, Area della Ricerca RM1, Montelibretti, S.P 35d, km 0,700
C.P. 10 - 00015 Monterotondo (RM)

Telefono: 06 90672 850

Fax: 06 90672 787

e-mail: notiziario@irsa.cnr.it

Direttore responsabile

Giuseppe Mascolo

Direttore Scientifico

Stefano Polesello

Comitato di Redazione

L. Campanella, P. Grenni, L. Guzzella, S. Polesello, L. Patrolecco, S. Valsecchi

Segreteria di Redazione

S. Ghergo



<http://www.irsa.cnr.it/Notiziario>