



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea  
**Scienze Biologiche**

La natura e le cause della crisi idrica globale:  
Sindromi da una meta-analisi di studi accoppiati  
uomo-acqua

The nature and causes of the global water crisis:  
Syndromes from a meta-analysis of coupled  
human-water studies

Tesi di Laurea di:  
di:  
Ionela Daniela Clemente

Docente Referente  
Chiar.mo Prof.  
Emanuela Fanelli

Sessione Estiva

Anno Accademico 2023/2024



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE**

**Corso di Laurea:  
SCIENZE BIOLOGICHE**

**La natura e le cause della crisi idrica globale:  
Sindromi da una meta-analisi di studi accoppiati uomo-acqua**

**The nature and causes of the global water crisis:  
Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies**

**Tesi di Laurea di:  
Ionela Daniela Clemente**

**Docente referente:  
Emanuela Fanelli**

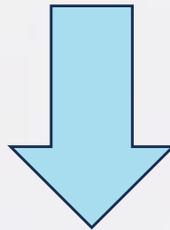
**SESSIONE: ESTIVA**

**ANNO ACCADEMICO: 2023/2024**



Studi precedenti si basano su **indicatori di stress idrico:**

- Clima
- Precipitazioni
- Deflusso
- Densità di popolazione
- Caratteristiche delle falde acquifere
  - Biodiversità



**Le crisi idriche sono inevitabili**

## PERCORSI DI STUDIO:

### **Top-down** (su larga scala):

Pro: dati facilmente reperibili e comparabili

Contro: enfatizzano le variabili di stato

### **Bottom-up** (su piccola scala):

Pro: ricchi di dettagli

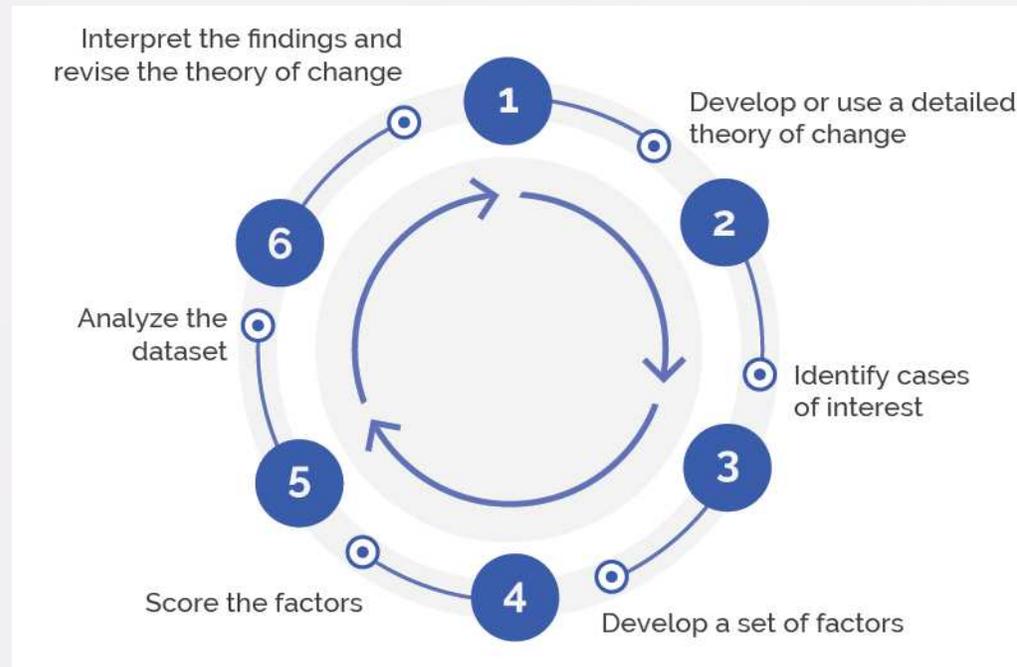
Contro: difficile ricerca di percorsi causali comuni



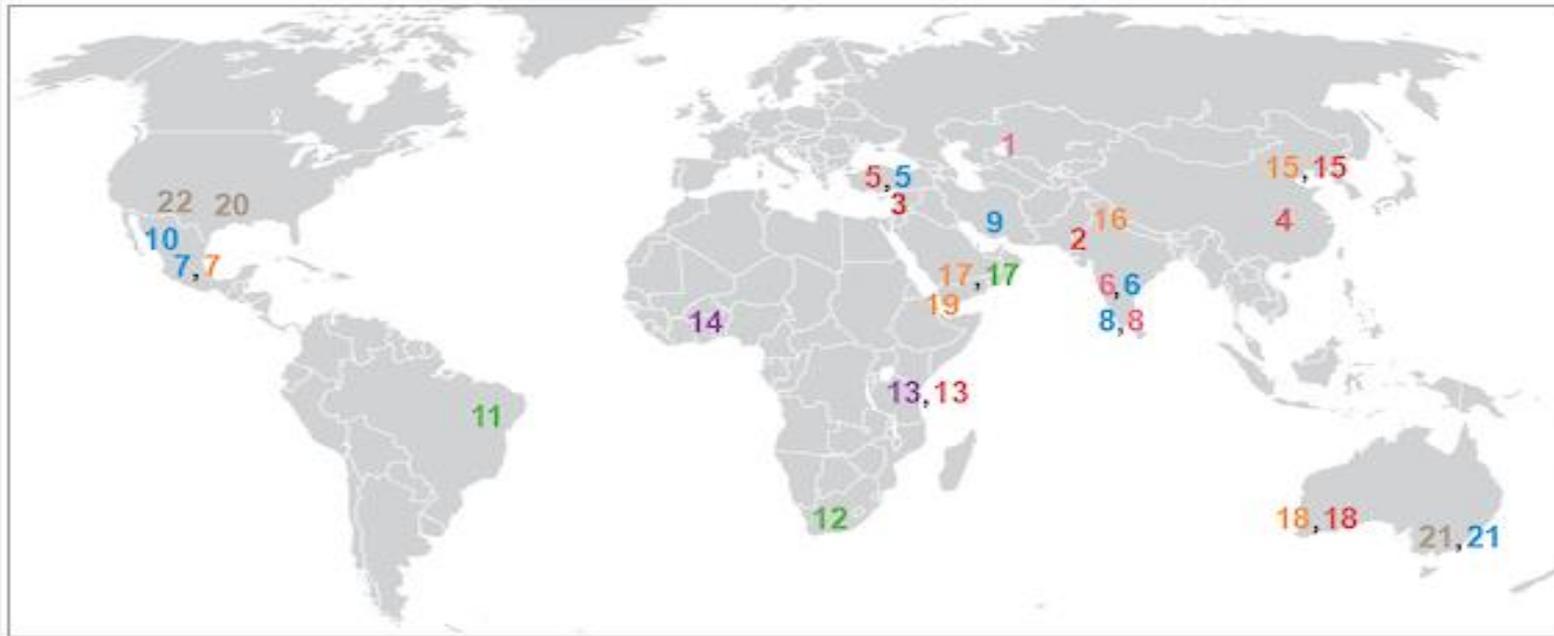
## ANALISI COMPARATIVA QUALITATIVA (QCA):

esamina i dati in modo diverso rispetto alle procedure standard dell'analisi statistica che non sa gestire risultati che derivano dalla combinazione di condizioni che si verificano simultaneamente.

Fasi dell'implementazione

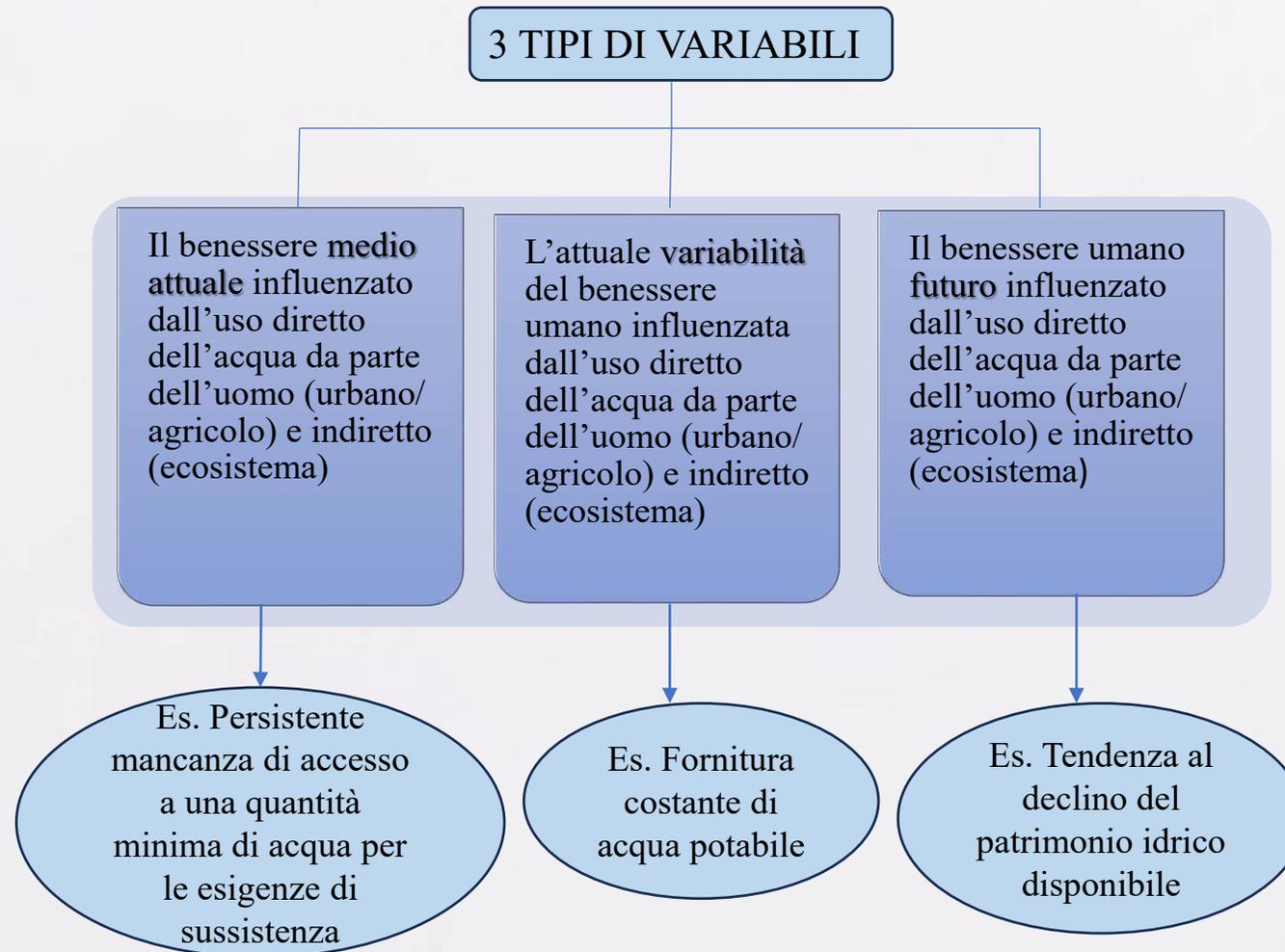


## FASE 1: Identificazione di 22 casi di studio



- |                                   |                                       |                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Aral Sea Basins                 | 11 Jaguarube Basin, Brazil            | 20 Edwards Aquifer, USA           |
| 2 Indus Basin, Pakistan           | 12 Olifants River, South Africa       | 21 Murray-Darling, Australia (21) |
| 3 Lower Jordan Basin, Jordan      | 13 Ruaha, Tanzania (13)               | 22 Rio Grande, New Mexico         |
| 4 Yellow River, China             | 14 Volta Basin, Ghana                 |                                   |
| 5 Gediz Basin, Turkey (5)         | 15 Hai River Basin, China (15)        |                                   |
| 6 Krishna Basin, India (6)        | 16 Punjab, India                      |                                   |
| 7 Lerma Chapala Basin, Mexico (7) | 17 Sadah, Yemen (17)                  |                                   |
| 8 Bhavani Basin, India (8)        | 18 Swan Coastal Plain, Australia (18) |                                   |
| 9 Zayandeh-Rud, Iran              | 19 Ta'iz ,Yemen                       |                                   |
| 10 Yaqui Valley, Mexico           |                                       |                                   |

## FASE 2: Identificazione delle variabili indipendenti (variabili di esito)



## FASE 3: Codifica delle variabili dipendenti (fattori o variabili causali)

CATEGORIA DI VARIABILE	FATTORI CAUSALI PROSSIMALI
Disponibilità delle risorse	1. Scarsa dotazione di risorse
	2. Fattori esterni che riducono la disponibilità di risorse idriche di superficie
Domanda di acqua (umana e ambientale)	3. Aumento della domanda antropica urbana o agricola
	4. Aumento della domanda ecologica di acqua
Istituzioni di governo	5. Controllo inefficace sui diritti d'acqua o sui flussi di fiume
	6. Presenza di meccanismi di riallocazione
Infrastrutture di accesso	7. Infrastrutture insufficienti e inadeguate
	8. Vasta infrastruttura di acque sotterranee

### Esempi

- Stoccaggio dell'acquifero scarso o nullo
- Diminuzione dell'acqua disponibile a causa di siccità prolungata
- Aumento popolazione che vive nelle città
- Interesse esterno per la protezione di specie endemiche/hotspot di biodiversità
- Leggi che proteggono specie e aree specifiche
- Infusione fondi federali per acquisto/ritiro di terreni agricoli
- Inadeguata capacità amministrativa
- Programmi di credito per pozzi tubolari degli agricoltori.





## **FASE 4: Applicazione dell'algoritmo della QCA**

- ❖ Eliminazione delle variabili dipendenti per ottenere formule minime di condizioni che spiegano tutti i risultati dei casi (generalizzazione delle conclusioni di fronte alla complessità)
- ❖ Organizzazione dei dati in tabelle di verità dove ogni riga corrisponde a una combinazione logica di valori con un determinato valore di esito, ovvero una configurazione (per  $n$  condizioni ci sono  $2^n$  configurazioni logicamente possibili)



Tutti i casi risultano essere caratterizzati da **6 sindromi**:

- Esaurimento delle acque sotterranee
- Distruzione ecologica
- Conflitti dovuti alla siccità
- Esigenze di sussistenza non soddisfatte
- Cattura delle risorse da parte delle élite
- Riallocazione dell'acqua alla natura \*

# RISULTATI

## Esempi



Fiume Giordano, Giordania



Fiume Ruaha, Tanzania



Fiume giallo, Cina



Fiume Bhavani, India

15/22 CASI



**Distruzione ecologica**

Distruzione ecologica  
+  
Esaurimento delle acque sotterranee  
+  
Conflitti dovuti alla siccità



Verde-Lerma, Messico



# CONCLUSIONI

**Per prevedere il verificarsi di crisi idriche e trovare soluzioni, gli analisti e i pianificatori di queste risorse dovrebbero rivolgere maggiore attenzione ai fattori alla base della domanda e alle istituzioni politiche stesse che ne regolano l'estrazione e, infine, sviluppare politiche idriche migliori volte a ridurre la vulnerabilità, l'inequità e l'insostenibilità dei sistemi di acqua dolce.**



GRAZIE  
PER L'ATTENZIONE



## RIASSUNTO

La scarsità di acqua dolce è stata citata come la principale crisi del XXI secolo, sebbene si preveda che la popolazione mondiale aumenterà fino a circa 9 miliardi di persone entro il 2050, la dotazione di acqua dolce accessibile e rinnovabile del pianeta rimarrà più o meno costante.

Per risolvere questo problema, è stata condotta una meta-analisi di 22 casi di studio accoppiati tra uomo e sistema idrico con un approccio "dal basso verso l'alto" per comprendere la natura e le cause delle crisi idriche.

I requisiti dei dati per le meta-analisi tradizionali sono piuttosto stringenti; per mettere insieme i dati di studi diversi, si deve disporre di dati standardizzati sulle stesse variabili in contesti comparabili.

Ciò limita l'utilità delle procedure statistiche standard o, addirittura, precludere del tutto l'uso dell'inferenza statistica (non sa gestire risultati che derivano da combinazioni di condizioni), ed è per questo che è stato scelto l'utilizzo della QCA.

Essa riconosce che alcuni risultati sono determinati dal verificarsi simultaneo di determinati fattori, evitando il problema della scelta arbitraria delle variabili e quindi mantenendo la complessità e la ricchezza della ricerca sui casi di studio, raggruppandoli in insiemi che presentano configurazioni causali simili.

Inoltre, le meta-analisi tradizionali non possono facilmente combinare fattori causali qualitativi e quantitativi.

L'implementazione della QCA prevede 4 fasi: l'identificazione dei casi di studio, l'identificazione variabili di esito (variabile indipendente), la codifica dei fattori o variabili causali (variabile dipendente) e, infine, l'applicazione dell'algoritmo della QCA per rintracciare le cause di ogni modello di utilizzo delle risorse nei casi di studio osservati.

I risultati hanno mostrato che tutti i 22 casi potevano essere caratterizzati sotto una delle 6 sindromi (ognuna corrisponde a un diverso utilizzo dell'acqua da parte degli utenti). Esse sono: l'esaurimento delle acque sotterranee, la distruzione ecologica, i conflitti causati dalla siccità, le esigenze di sussistenza non soddisfatte, la cattura delle risorse da parte delle élite e la riallocazione dell'acqua alla natura.

Per le sindromi che non hanno avuto adattamenti riusciti, tre caratteristiche hanno dato motivo di preoccupazione: insostenibilità, vulnerabilità e scarsità cronica.

Questo studio offre diversi spunti di riflessione sui sistemi accoppiati uomo-acqua: in primo luogo, l'acqua è utilizzata da più gruppi di soggetti interessati che hanno esigenze diverse in termini di qualità e di tempi; la prospettiva di un singolo stakeholder riguardo alla vulnerabilità dell'acqua o all'insostenibilità dell'approvvigionamento idrico è inadeguata; l'acqua viene spesso messa a disposizione di un gruppo di stakeholder a scapito di un altro, rendendo necessaria la comprensione dei compromessi tra i gruppi di stakeholder.

Le sindromi affrontano esplicitamente questo aspetto, distinguendo tra le tendenze nell'uso umano delle risorse idriche, l'acqua rimasta negli ecosistemi naturali e, infine, tra il benessere delle generazioni attuali e future.

# BIBLIOGRAFIA

- Abebe, H., M. Bedru, A. Ashine, G. Hilemeriam, B. Haile, D. Demtse e M. Adank (2008), Equitable water service for multiple uses: A case from Southern Nations Nationalities and Peoples Region (SNNPR), Ethiopia, *RIPPLE Working Pap.* 17, 67 pp., RIPPLE Publications, Dire Dawa, Etiopia.
- Alcamo, J., C. J. Vörösmarty, R. J. Naiman, D. Lettenmaier e C. Pahl-Wostl (2008), Una grande sfida per la ricerca sull'acqua dolce: comprendere il sistema idrico globale, *Environ. Res. Lett.*, **3**, 1–6.
- Allan, J. (1998), L'acqua virtuale: una risorsa strategica. Soluzioni globali ai deficit regionali, *Acque sotterranee*, **36**, 545-546.
- Bekesi, G., M. McGuire e D. Moiler (2009), Allocazione delle acque sotterranee utilizzando un metodo di gestione della risposta al livello delle acque sotterranee - Gngangara Groundwater System, Western Australia, *Water Resour. Manage.*, **23**, 1665–1683.
- Biswas, A. K. (2008), Gestione integrata delle risorse idriche: funziona? *Int. J. Water Resour. Dev.*, **24**(1), 5–22.
- Blöschl, G. (2006), Hydrologic synthesis: Across processes, places, and scales, *Water Resour. Res.*, **42**, W03S02, DOI:[10.1029/2005WR004319](https://doi.org/10.1029/2005WR004319).
- Booker, J. F., A. M. Michelsen e F. A. Ward (2005), Economic impact of alternative policy responses to extended and severe drought in the Rio Grande Basin, *Water Resour. Res.*, **41**, W02026, DOI:[10.1029/2004WR003486](https://doi.org/10.1029/2004WR003486).
- Cai, X., D. McKinney e M. Rosegrant (2003), Analisi di sostenibilità per la gestione dell'acqua di irrigazione nella regione del Lago d'Aral, *Agric. Syst.*, **76**, 1043-1066.
- Characklis, G. W., B. R. Kirsch, J. Ramsey, K. E. M. Dillard e C. T. Kelley (2006), Sviluppo di portafogli di trasferimenti di approvvigionamento idrico, *Water Resour. Res.*, **42**, W05403, DOI:[10.1029/2005WR004424](https://doi.org/10.1029/2005WR004424).
- Cook, C., e K. Bakker (2011), Sicurezza idrica: dibattito su un paradigma emergente, *Global Environ. Cambiamento*, **22**(1), 94–102.
- Dinar, A., K. Kemper, W. Blomquist, M. Diez, G. Sine e W. Fru (2005), Decentralization of river basin management. *Working Pap.*, **3637**, 91 pp., Banca Mondiale, Washington, D. C.
- Falkenmark, M. (1986), Fresh water: Time for a modified approach, *Ambio*, **15**(4), 194–200.
- Franks, T., e F. Cleaver (2007), Water governance and poverty: A framework for analysis, *Progr. Dev. Studies*, **7** (4), 291-306.
- Vetro, G. (1976), Primaria, secondaria e meta-analisi della ricerca, *Educ. Res.*, **5**, 3-8.
- Walker, P. (2005), Ecologia politica: dov'è l'ecologia? *Geogr.*, **29**, 73–82.
- Ward, F. A., and M. Pulido-Velázquez (2008), Efficiency, equity, and sustainability in a water quantity-quality optimization model in the Rio Grande basin, *Ecol. Econ.*, 66(1), 23–37, doi:[10.1016/j.ecolecon.2007.08.018](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.08.018).
- Wescoat, J. L. (2009), Comparative International Water Research, *J. Contemp. Water Res. Educ.*, 142, 61–66, doi:[10.1111/j.1936-704X.2009.00055.x](https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2009.00055.x).
- Geist, H. J. e E. F. Lambin (2002), Cause immediate e forze trainanti sottostanti della deforestazione tropicale, *BioScience*, **52** (2), 143-150.
- Giordano, M., e K. Villholth (2007), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development, Vol. 3: Comprehensive Assessment*, CABI Publ., Wallingford, U. K., 419 pp. Gleick, P. H. (2003), Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st century, *Science*, **302**(5650) 1524–1528.
- Gleick, P. H., e M. Palaniappan (2010), Peak water limits to freshwater withdrawal and use, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **107**, 11,155–11,162.
- Harou, J. J. e J. R. Lund (2008), Ending groundwater overdraft in hydrological-economic systems, *Hydrogeol. J.*, 16, 1039-1055.
- Hoekstra, A. Y., e A. Chapagain (2008), *Globalizzazione dell'acqua: condivisione delle risorse di acqua dolce del pianeta*, Wiley, Hoboken, N. J., 224 pp.
- Hoekstra, A. Y., e M. M. Mekonnen (2012), L'impronta idrica dell'umanità, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **109** (9), 3232-3237.
- Hubbard, S., e G. Hornberger (2006), Introduzione alla sezione speciale sulla sintesi idrologica, *Water resour. Res.*, **42**, W03S01, DOI:[10.1029/2005WR004815](https://doi.org/10.1029/2005WR004815).
- International Water Management Institute (IWMI) (2000), World water supply and demand in 2025, in *World Water Scenario Analyses*, a cura di F. R. Rijsberman, 14 pp., World Water Council, Marsiglia, Francia.
- Jowett, A. J. (1986), China's water crisis: The case of Tianjin (Tientsin), *Geogr. J.*, **152**, 9–18.
- Jury, W. A., and H. Vaux Jr. (2005), The role of science in solving the world's emerging water problems, *Proc. of the Natl. Acad. of Sci.*, 102(44), 15,715–15,720, doi:[10.1073/pnas.0506467102](https://doi.org/10.1073/pnas.0506467102).
- Kajikawa, Y., J. Ohno, Y. Takeda e K. Matsushima (2007), Creare un panorama accademico della scienza della sostenibilità: un'analisi della rete di citazioni, *Sustainability Sci.*, 2 (2), 221-231.
- Kumar, P. (2011), Tipologia di prevedibilità idrologica, *Water Resour. Res.*, **47**, W00H05, DOI:[10.1029/2010WR009769](https://doi.org/10.1029/2010WR009769).
- Lankford, B. A., S. Tumbo e K. Rajabu (2009), Water competition, variability and river basin governance: A critical analysis of the Great Ruaha River, Tanzania, in *River Basin Trajectories: Societies, Environments and Development*, a cura di F. Molle e P. Wester, CABI Publ., Wallingford, U. K., 311 pp., ISBN: 978-1-84593-538-2.
- Lichtenthaler, G. (2003), *Political Ecology and the Role of Water: Environment, Society and Economy in Northern Yemen*, 250 pp., Ashgate Publ. Ltd., Farnham, Surrey, U. K.
- Ludeke, M., G. Petschel-held, e H. Schellhuber (2004), Sindromi di cambiamento globale: la prima vista panoramica, *GAIA—Ecol. Perspec. Sci. Soc.*, **13**, 42-49.
- Lund, J. R., E. Hanak, W. E. Fleenor, W. A. Bennet, R. E. Howitt, J. F. Mount e P. B. Moyle (2009), Challenges of managing California's Sacramento-San Joaquin delta, in *World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers*, pp. 2355-2364, Kansas City, Mo., Am. Soc. Civil Eng., Baltimore, Md.
- Manuel-Navarrete, D., J. Gomez e G. Gallopin (2007), Sindromi di sostenibilità dello sviluppo per valutare la vulnerabilità dei sistemi accoppiati uomo-ambiente: il caso dei disastri idrometeorologici in America centrale e nei Caraibi, *Global Environ. Cambiamento*, **17**, 207–217.
- Marx, A., e A. Dusa (2011), Crisp-Set Qualitative Comparative Analysis (csQCA): Contradictions and consistency benchmarks for model specification, *Methodol. Innovations Online* **6**(2), 103–148.
- McCarl, B., C. Dillon, K. Keplinger, and R. Williams (1999), Limiting pumping from the Edwards Aquifer: An economic investigation of proposals, water markets, and spring flow guarantees, *Water Resour. Res.*, **35**, 1257–1268.