

INDICATORI DI SENSIBILITÀ AL CAMBIAMENTO CLIMATICO DELLE FONTI DI APPROVVIGIONAMENTO IDRICO PER LA PIANIFICAZIONE DEI SISTEMI ACQUEDOTTISTICI

Gianfranco BECCIU^{*}, Silvia CASATTA^{*},
Umberto SANFILIPPO^{*}, Francesca SCARPA^{*}

Parole Chiave: Risorse idriche, siccità, cambiamento climatico, acquedotti, pianificazione, indicatori di prestazione.

SOMMARIO

La crescita dei fabbisogni idrici, in parte dovuta a sprechi, ma anche all'inefficienza dei sistemi acquedottistici, ha alimentato e alimenta tuttora la continua ricerca di nuove fonti di approvvigionamento, sempre più difficili da reperire anche in relazione a vincoli ambientali e di qualità. È quindi cresciuta l'esigenza di sviluppare criteri di pianificazione e gestione dei sistemi acquedottistici che includano, oltre al controllo dei consumi e la riduzione degli sprechi, anche il fattore cambiamento climatico.

In questo contesto si colloca il presente lavoro, il cui obiettivo è appunto individuare gli elementi caratteristici delle diverse fonti di approvvigionamento di acqua per uso idropotabile che possano essere messi in relazione alla loro sensibilità al cambiamento climatico. A questo scopo sono state studiate le caratteristiche generali delle fonti alla luce di un utilizzo di lungo periodo, individuando i parametri geo-morfologici e idrologici idonei a formare un indice sintetico che consenta di comparare risorse idriche diverse nei processi di pianificazione dei sistemi acquedottistici.

^{*} Dipartimento DIIAR, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni si è registrata anche in Italia una maggiore frequenza e una maggiore durata degli eventi di siccità, non sempre chiaramente ascrivibili alla naturale variabilità climatica e quindi riconducibili all'alternarsi normale di periodi di abbondanza e carenza della disponibilità delle risorse idriche. Perfino aree da sempre ritenute immuni da fenomeni di questo tipo, in quanto inserite in contesti di abbondanza di risorse idriche, hanno dovuto affrontare delle crisi derivanti dalla insufficienza delle risorse idriche disponibili rispetto alle richieste da parte degli utenti. Ad aggravare la situazione si aggiungono fattori evolutivi ormai evidenti, che vanno dalle forti dinamiche urbanistiche, alle variazioni dell'uso del suolo, passando per la crescente obsolescenza delle infrastrutture di convogliamento e distribuzione dell'acqua.

Appare ovvio che lo squilibrio tra fabbisogni idrici crescenti e disponibilità idriche in diminuzione dovrebbe essere affrontato intervenendo principalmente sulla riduzione delle perdite e degli sprechi, sull'educazione al consumo responsabile delle risorse e su una migliore gestione dei sistemi acquedottistici. Tuttavia questo tipo di interventi hanno un'efficacia nel breve-medio periodo e consentono solo parzialmente di risolvere alcune delle criticità derivanti dalle citate tendenze evolutive di lungo periodo. È quindi opportuno porsi il problema di una pianificazione dell'uso delle risorse idriche tenendo conto anche di fattori quali il possibile cambiamento climatico [Commissione Europea, 2008].

L'obiettivo di questo lavoro preliminare è, in primo luogo, quello di individuare gli elementi caratteristici delle diverse fonti di approvvigionamento di acqua per uso idropotabile che possano essere messi in relazione alla loro sensibilità al cambiamento climatico. In secondo luogo, si propone un indice sintetico che consente di quantificare la sensibilità al cambiamento climatico delle risorse idriche. Questo indice, di struttura semplice, può essere utilizzato, insieme ad altri indici di prestazione sistemici e ambientali, nelle fasi di pianificazione dei sistemi acquedottistici [Coelho, 1997; AWWA, 2004; Alegre et al., 2006; Becciu et al., 2009a e 2009b].

2. INFLUENZA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUI SISTEMI ACQUEDOTTISTICI

In generale i sistemi acquedottistici per la loro alimentazione devono far affidamento su risorse idriche che risultino in grado di soddisfare i fabbisogni dell'utenza sia in termini di quantità che di qualità. La criticità principale è, come noto, la variabilità nel tempo sia della disponibilità idrica, in relazione alla tipologia delle fonti di approvvigionamento considerate, sia dei fabbisogni.

In condizioni stazionarie, l'utilizzo di serbatoi di compenso consente, entro certi limiti, di compensare tali variabilità, purché la disponibilità idrica sia maggiore o uguale alle richieste in media su periodi più o meno lunghi. In uno scenario non stazionario, tuttavia, la disponibilità può variare nel tempo non solo in termini di media, ma anche di fluttuazioni attorno alla media (vedi Figura 1). In relazione all'entità e alla velocità di tali variazioni, in alcuni casi può risultare difficile, se non impossibile, evitare che si abbiano situazioni conseguenti di carenza idrica.

Gli scenari di cambiamento climatico di cui si sta discutendo negli ultimi vent'anni sono caratterizzati da possibili variazioni del ciclo idrologico che siano in grado d'incidere significativamente sulla disponibilità idrica per l'alimentazione dei sistemi acquedottistici [Kundzewicz et al., 2007]. I principali fattori del cambiamento climatico, in particolare le variazioni delle precipitazioni e delle temperature, incidono infatti sui processi di formazione dei deflussi superficiali e sulle dinamiche di ricarica delle falde acquifere, nonché sui fenomeni di accumulo della precipitazione solida nei nevai e nei ghiacciai. I modelli climatici utilizzati per simulare gli scenari del possibile cambiamento climatico in Italia pongono una distinzione tra le regioni settentrionali e quelle meridionali, caratterizzate da regimi climatici differenti. In entrambi i casi, tuttavia, questi scenari evidenziano la possibilità di un aumento della temperatura media e della diminuzione della precipitazione [Faggian e Giorgi, 2009].

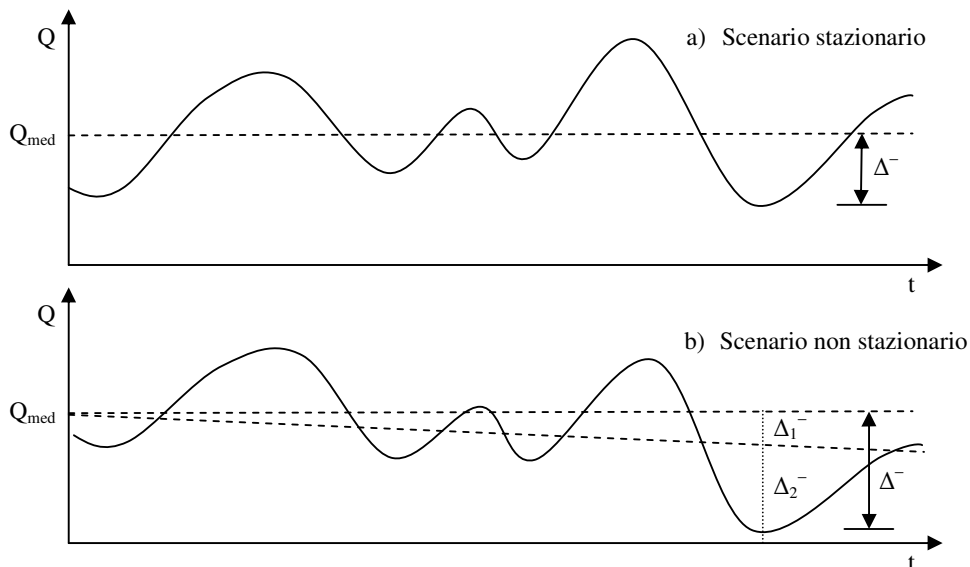


Figura 1 – Effetti della non stazionarietà climatica sulla disponibilità di una risorsa idrica variabile nel tempo.

Per quanto riguarda la precipitazione, i risultati dei modelli climatici evidenziano anche la possibile variazione significativa della sua distribuzione temporale, sia in termini di numero di giorni piovosi, sia in termini di incremento degli eventi brevi ed intensi [Barontini et al., 2009]. Come si può notare, le variazioni sia in termini di valori medi che di distribuzione interannuale sono significative soprattutto nel lungo periodo.

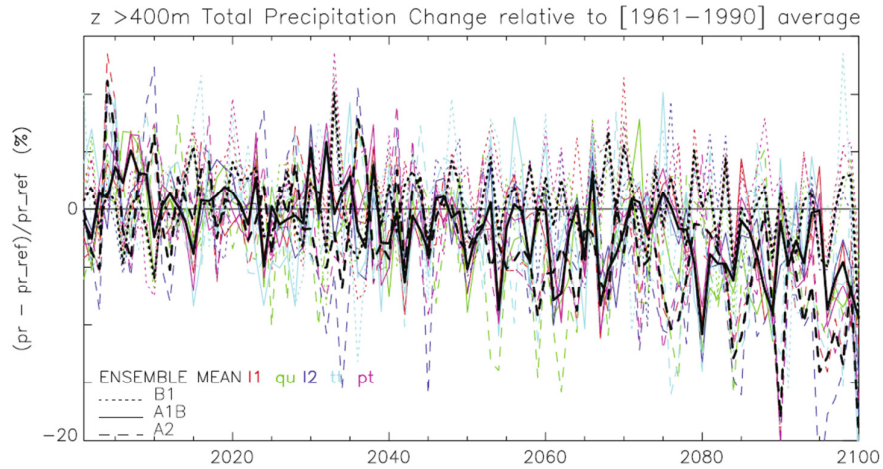


Figura 2 – Proiezioni delle variazioni delle precipitazioni medie annue nella regione alpina (GAR) dal 2001 al 2100, rispetto al periodo 1961-1990 per diversi scenari di emissione di CO₂ (in nero la media degli scenari) [Faggian e Giorgi, 2009].

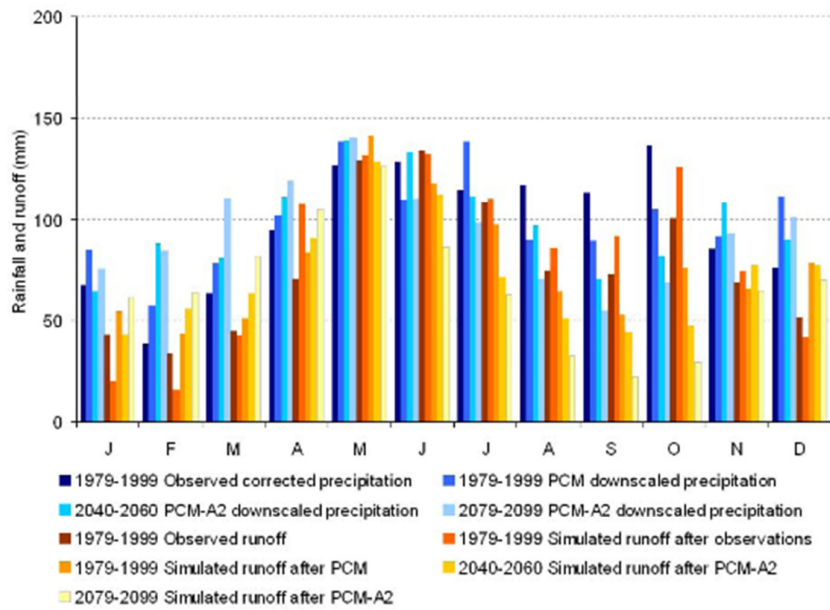


Figura 3 – Proiezioni delle variazioni delle precipitazioni medie e del deflusso del Fiume Oglio chiuso all'imbocco del Lago d'Iseo [Barontini et al., 2009].

Esse quindi non hanno un significativo effetto sulla gestione attuale, ma assumono importanza nell'ambito della pianificazione futura dei sistemi acquedottistici. In particolare, tenendo conto delle difficoltà già oggi incontrate nell'individuazione di fonti di approvvigionamento idonee, risulta importante tenere conto già oggi di questi scenari per limitare la sensibilità dell'approvvigionamento idrico alla possibile variabilità climatica futura.

È bene osservare che nella valutazione di queste criticità, l'aspetto quantitativo non è evidentemente l'unico. I cambiamenti climatici, infatti, comportano potenzialmente effetti anche sulla qualità dell'acqua di alcune risorse idriche, influenzando sia la diluizione degli inquinanti sia i processi di autodepurazione. La variazione della qualità può incidere non solo sulla qualità dell'ambiente in generale, ma limitare le possibilità di utilizzo dell'acqua per usi prioritari come quelli idropotabili. Per questi usi, inoltre, il degrado della qualità dell'acqua potrà aumentare i costi della potabilizzazione, richiedendo trattamenti addizionali e più attenti monitoraggi.

3. SENSIBILITÀ DELLE RISORSE IDRICHE AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Le principali caratteristiche che deve avere una risorsa idrica per essere idonea all'approvvigionamento di un sistema acquedottistico sono quattro: disponibilità, affidabilità, rinnovabilità e qualità della risorsa. Queste caratteristiche sono evidentemente legate tra loro. La disponibilità della risorsa, in particolare, essendo intesa come possibilità di prelevare una portata e/o un volume idrico minimi in un periodo di riferimento, non può essere disgiunta dalla continuità nel tempo di tale possibilità e quindi deve essere valutata insieme alla affidabilità e alla rinnovabilità. Inoltre, se come nel caso degli acquedotti ad uso civile potabile, l'acqua prelevata deve rispettare precisi standard di qualità, l'affidabilità nel tempo della risorsa deve essere valutata anche da questo punto di vista.

L'instaurarsi di eventuali trend di cambiamento climatico, in particolare se associati ad una riduzione della precipitazione e a un aumento dell'evapotraspirazione, può chiaramente influire su tutte e quattro queste caratteristiche. Tuttavia, corpi idrici diversi possono essere più o meno sensibili, in termini di riduzione della disponibilità nel tempo delle quantità idriche prelevabili, a questi scenari di cambiamento, in relazione principalmente ai meccanismi di ricarica e all'entità della risorsa stessa.

Allo scopo di evidenziare la sensibilità al cambiamento climatico delle diverse tipologie di risorse idriche, si sono ricercati quei fattori descrittivi generali che consentissero una "quantificazione" euristica e globale di queste quattro caratteristiche. L'attenzione è stata rivolta, in particolare, a quegli elementi conoscitivi semplici che possono essere disponibili in una fase di pianificazione preliminare, quando possono non essere disponibili approfonditi studi specifici. Le tipologie di risorsa idrica analizzate sono quattro: falde acquifere, sorgenti, corsi d'acqua superficiali, laghi naturali e laghi artificiali. Non è stato preso in considerazione il mare, in quanto le sue caratteristiche in termini di disponibilità rispetto ai fabbisogni – anche dal punto di vista della qualità delle acque, data la natura dei processi di potabilizzazione occorrenti per tale tipo di

risorsa idrica – sono tali da far ritenere trascurabili ai fini dell’approvvigionamento di sistemi acquedottistici gli effetti di eventuali cambiamenti climatici.

3.1 FALDE ACQUIFERE

La sensibilità delle falde acquifere al cambiamento climatico è essenzialmente legata alla possibile variazione della sua ricarica. La dimensione quantitativa dei volumi idrici disponibili nelle falde acquifere è un elemento che in genere le rende relativamente poco sensibili alle variazioni stagionali della precipitazione, se queste non comportano variazioni significative della precipitazione totale annua.

Tuttavia è bene osservare che l’aumento di eventi piovosi più brevi e più intensi, ancor più se associato ad un aumento dell’evapotraspirazione indotta da temperature in media più elevate, comporta una diminuzione dei volumi che si infiltrano e raggiungono le falde acquifere. Questa diminuzione influisce sulla rinnovabilità della risorsa e può quindi risultare critica in situazioni, tutt’altro che rare, in cui le quantità d’acqua prelevate sono al limite dei volumi medi di ricarica.

I parametri descrittivi della risorsa da considerare sono quindi da individuare tra quelli che influiscono principalmente sui fenomeni di ricarica delle falde superficiali. Limitando il numero a quelli più significativi e meno difficilmente conoscibili si propongono i seguenti parametri:

- estensione dell’area di ricarica;
- impermeabilità media dei terreni dell’area di ricarica;
- profondità;
- rapporto tra prelievi e volumi medi di ricarica.

3.2 SORGENTI

La maggior criticità delle sorgenti dal punto di vista dell’approvvigionamento idrico è la variabilità nel tempo delle portate. Questo aspetto è quindi quello da cui deriva la sensibilità accentuata di questo tipo di risorsa idrica al cambiamento climatico.

Per alcuni aspetti la dinamica di alimentazione delle sorgenti è analoga a quella della ricarica delle falde acquifere. Tuttavia, l’entità dell’acquifero sotterraneo di alimentazione delle sorgenti è solitamente molto minore. Quindi, anche se le sorgenti mantengono comunque una certa capacità di smorzare le variazioni nel tempo della ricarica determinata dalle precipitazioni, è evidente che un cambiamento della distribuzione e delle caratteristiche degli eventi meteorici incide sulle fluttuazioni della loro portata. Se il valore minimo naturale della portata della sorgente è poco superiore alla portata da derivare, anche piccole fluttuazioni evolutive possono causare scenari critici per l’alimentazione dall’acquedotto. Ovviamente la presenza di componenti della ricarica meno variabili nel tempo perché associati ad un volume di accumulo, come nevai, ghiacciai e invasi, è un fattore che riduce la sensibilità al cambiamento climatico.

I parametri descrittivi della risorsa da considerare sono in questo caso da individuare tra quelli che influiscono principalmente sulla variabilità naturale delle sorgenti:

- entità della portata media;
- estensione del bacino di alimentazione;
- presenza all'interno del bacino di alimentazione di depositi nivali e/o ghiacciai;
- presenza all'interno del bacino di alimentazione di invasi naturali o artificiali.

3.3 CORSI D'ACQUA SUPERFICIALI

Anche per i corsi d'acqua la maggiore criticità dal punto di vista dell'approvvigionamento idrico è la variabilità nel tempo delle portate. In questo caso tale variabilità può essere anzi ancora più marcata, visti i tempi caratteristici minori della formazione del deflusso superficiale.

In particolare a risultare critiche sono le portate di magra che si hanno nei periodi di tempo secco. Come è noto, esse derivano dall'interscambio tra l'alveo fluviale e la falda superficiale e presentano nei periodi di tempo secco un andamento decrescente nel tempo approssimativamente esponenziale. In condizioni naturali, i valori minimi delle portate di magra sono quindi da mettere in relazione all'entità dell'interscambio con la falda superficiale e con la durata dei periodi secchi. Nei corsi d'acqua antropizzati, questi minimi sono fortemente determinati anche dall'entità delle derivazioni idriche, in particolare di quelle senza restituzione diretta in alveo come quelle irrigue.

I fattori di sensibilità al cambiamento climatico sono quindi quelli legati alla variabilità dell'interscambio con la falda superficiale e alla dinamica dei prelievi antropici. Per quanto riguarda il primo aspetto, è bene osservare che pur essendoci delle analogie, le dinamiche del deflusso ipodermico superficiale che governano l'interscambio alveo-falda superficiale sono generalmente più rapide di quelle della ricarica e del trasporto che caratterizzano le falde profonde, normalmente utilizzate per l'approvvigionamento idrico. In particolare risultano più marcati gli effetti dei cambiamenti climatici sul rapporto tra deflusso superficiale e infiltrazione, determinati dalla variazione della tipologia e della distribuzione stagionale degli eventi meteorici. Per quanto riguarda invece l'aspetto dello sfruttamento antropico, un'eventuale tendenza all'aumento della temperatura, con conseguente aumento dell'evapotraspirazione, porterebbe ad un incremento dei fabbisogni irrigui e quindi ad un potenziale disequilibrio tra disponibilità e fabbisogni.

In questo caso, dunque, i parametri descrittivi proposti sono stati individuati relativamente all'interscambio con la falda superficiale e all'entità dei prelievi idrici:

- densità di drenaggio;
- ordine hortoniano del tratto di prelievo;
- area del bacino idrografico a monte della sezione di presa;
- impermeabilità superficiale media del bacino idrografico;
- grado di sfruttamento;
- presenza di ghiacciai o depositi nivali all'interno del bacino idrografico a monte della sezione di presa.

3.4 LAGHI

I laghi, come tutti gli invasi, consentono, entro certi limiti, di modulare le portate in uscita indipendentemente dall'andamento temporale delle portate che li alimentano; questa capacità dipende dal volume dinamico del lago e dalle possibilità di regolazione del suo livello, purché i valori medi delle prime risultino minori o uguali a quelli delle seconde in un certo periodo caratteristico di periodicità di funzionamento. Tale caratteristica rende però i laghi sensibili, come risorse idriche, più alla diminuzione dei valori medi del deflusso superficiale che alle sue variazioni stagionali [Cohen 1987, Sanderson e Wong, 1987].

In uno scenario di cambiamento climatico, quindi, i fattori di sensibilità sono legati principalmente alla capacità di regolazione e al rapporto tra volume dinamico e superficie, indicativo della significatività dell'evaporazione sulla disponibilità della risorsa. I parametri che perciò qui si propone di considerare per i laghi sono i seguenti:

- volume dinamico;
- superficie dello specchio liquido;
- origine;
- presenza di organi di regolazione.

4. INDICE DI SENSIBILITÀ AL CAMBIAMENTO CLIMATICO DELLE RISORSE IDRICHE

Sulla base dei parametri individuati per ogni tipologia di risorsa idrica, si è cercata una semplice formulazione matematica che potesse esprimere in termini quantitativi la sensibilità al cambiamento climatico. Questa formulazione è stata sviluppata in forma di indice sintetico tale da consentire valutazioni comparative tra risorse e quindi consentisse, insieme ad altri indici di valutazione, di orientare le scelte in fase di pianificazione.

In primo luogo si è scelto di distinguere tra sensibilità quantitativa, ovvero sensibilità alla diminuzione della disponibilità e della rinnovabilità, e sensibilità qualitativa, ovvero legata alla possibilità del peggioramento delle caratteristiche dell'acqua e quindi alla variazione delle necessità di trattamento e più in generale della sua idoneità all'uso previsto. Per quanto riguarda la sensibilità quantitativa si propone la seguente semplice formulazione additiva:

$$S_{qn} = \alpha \cdot I_{clim} + \beta \cdot \sum_{i=1}^N (W_{i,r} \cdot I_{i,r}) \quad (1)$$

dove

- I_{clim} = fattore espressivo del contesto climatico generale, compreso tra 0.5 e 1;

- $I_{i,r}$ = fattori di valutazione numerica dei parametri caratteristici di sensibilità quantitativa della risorsa;
- α e β = coefficienti di peso, minori o uguali dell'unità, da valutare anche in relazione alla scala spaziale a cui viene effettuata la pianificazione. In ogni caso deve risultare $\alpha + \beta = 1$;
- $W_{i,r}$ = pesi, minori o uguali all'unità, attribuiti a ogni parametro caratteristico della risorsa;

I fattori I_{clim} e $I_{i,r}$ sono espressi da valori compresi tra zero (rilevanza nulla) e uno (rilevanza massima), L'indice S_{qn} è anch'esso compreso tra zero (sensibilità nulla) e uno (sensibilità massima). Per quanto riguarda la sensibilità qualitativa S_{ql} , essa si propone di considerarla come elemento che amplifica o riduce la sensibilità quantitativa, combinando quindi le due sensibilità in uno schema moltiplicativo:

$$S_{cc} = \frac{(1+S_{ql})}{2} \cdot S_{qn} = \frac{(1+S_{ql})}{2} \cdot [\alpha \cdot I_{clim} + \beta \cdot \sum_{i=1}^N (W_{i,r} \cdot I_{i,r})] \quad (2)$$

dove S_{ql} varia tra zero (sensibilità qualitativa nulla) e uno (sensibilità qualitativa massima).

5. CONCLUSIONI

L'analisi delle quattro principali tipologie di risorse idriche ha consentito di individuare i principali parametri descrittivi che possono essere messi in relazione alla loro sensibilità ai cambiamenti climatici. Questi parametri sono stati selezionati anche in base alla loro semplicità e alla loro frequente conoscenza anche in assenza di studi specifici, in modo da poter essere valutati anche in fase di pianificazione preliminare di sistemi acquedottistici.

A ciascuno di questi parametri è stato associato un fattore che può assumere un valore compreso tra zero e uno. Un indice S_{cc} è stato quindi proposto, come funzione di tali fattori, in modo da poter quantificare in modo euristico la maggiore o minore sensibilità al cambiamento climatico di una risorsa idrica. L'analisi della formulazione proposta per questo indice consente di fare le seguenti osservazioni.

La forma sostanzialmente lineare della relazione consente di prevenire l'amplificazione di alcune particolarità della risorsa, che potrebbe portare a valutazioni eccessivamente penalizzanti, pur lasciando adeguati margini di flessibilità nella valutazione dell'importanza reciproca dei vari fattori attraverso i pesi da attribuire a ciascuno di essi.

L'introduzione del fattore climatico I_{clim} , con un valore minimo maggiore di zero, consente di non avere mai un indice di sensibilità quantitativa S_{qn} uguale a zero, se non nel caso limite di peso $\alpha = 0$; si ritiene, infatti, che la disponibilità di una risorsa idrica dei tipi che sono stati considerati non sia mai completamente insensibile ai cambiamenti climatici. Considerazione analoga può essere fatta sull'indice complessivo S_{cc} .

6. BIBLIOGRAFIA

- AWWA, *Selection and Definition of Performance Indicators for Water and Wastewater Utilities*, AWWA, Denver, USA, 2004.
- Barontini S., Grossi G., Kouwen N., Maran S., Scaroni P, Ranzi R., *Impacts of climate change scenarios on runoff regimes in the southern Alps*, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, April 2009.
- Becciu G.; Paoletti A.; Sanfilippo U., *Indicators of Environmental Compatibility for the Planning of Water Supply Systems*, In: Performance indicators for the planning, design and management of water supply systems (ed. By Ciaponi C.), CSDU, Milano, 2009a.
- Becciu G.; Paoletti A.; Sanfilippo U., *Performance Indicators for the Analysis of Water Supply Systems at Planning Level*, In: Performance indicators for the planning, design and management of water supply systems (ed. By Ciaponi C.), CSDU, Milano, 2009b.
- Alegre H., Baptista J.M., Cabrera E.Jr, Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R., *Performance Indicators for Water Supply Services*, Second Edition, IWA Publishing, London 2006.
- Coelho S.T., *Performance in Water Distribution: A Systems Approach*, Research Studies Pr. Ltd, 1997.
- Cohen S.J., *Sensitivity of water resources in the Great Lakes region to changes in temperature, precipitation, humidity, and wind speed, The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987), IAHS Publ. no. 168, 1987.
- Commissione Europea, *L'azione dell'UE contro il cambiamento climatico: adattarsi al cambiamento climatico*, Ufficio pubblicaz. ufficiali Comunità europee, Lussemb., 2008.
- Faggian P., Giorgi F., *An analysis of global model projections over Italy, with particular attention to the Italian Greater Alpine Region (GAR)*, Climatic Change, July 2009, Springer Science + Business Media, 2009.
- Kundzewicz Z.W., Mata L.J., Arnell N.W., Döll P., Kabat P., Jiménez B., Miller K.A., Oki T., Sçen Z., Shiklomanov I.A., *Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210, 2007.
- Sanderson M., Wong L., *Climatic change and Great Lakes water levels, The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 168, 1987.