

CATERINA NICOLAIS

ANALISI E PROSPETTIVE DI RIDUZIONE DELLO STRESS IDRICO: IMPLICAZIONI TERRITORIALI E APPROCCI INNOVATIVI

Premessa. – Il patrimonio delle acque sotterranee, strettamente connesso al ciclo idrologico, è di importanza vitale per l'approvvigionamento potabile per scopi civili, oltre che per gli usi agricoli e industriali e quindi va particolarmente difeso e conservato. Purtroppo, va rilevato che negli ultimi decenni il generale degrado ambientale e le evidenti variazioni climatiche che direttamente influenzano il ciclo dell'acqua, lanciano segnali allarmanti circa la conservazione delle risorse di acqua di falda, da cui provengono le acque potabili, con molte preoccupazioni che riguardano sia gli aspetti quantitativi che qualitativi della risorsa.

Le azioni di monitoraggio idrogeologico e chimico dei singoli bacini sotterranei unitamente ad una adeguata modellazione dinamica del bilancio idrico in grado di offrire anche risultati predittivi, rappresentano moderni strumenti indispensabili per eseguire una corretta gestione fisica del sistema. Di altrettanta rilevanza risulta essere l'implementazione di nuove tecnologie e di un'attenta pianificazione politica e gestionale sull'uso degli acquiferi sotterranei, fondamentali per avviare un moderno e concreto programma di mitigazione dei rischi e di equilibrio sostenibile della preziosa risorsa. Il controllo periodico dello stato delle acque di superficie è fondamentale per valutare l'efficacia delle politiche ambientali. Tuttavia, collegare i risultati dei campionamenti alle fonti di inquinamento locali, come la densità di popolazione e le attività industriali, può risultare complesso, specialmente in ambienti dinamici soggetti a pressioni antropiche. A tal proposito, i Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono un valido supporto nell'interpretare i dati dei campionamenti delle acque dolci superficiali, grazie alla loro capacità di integrare diverse fonti di informazione, fornendo una visione più completa della situazione (Favretto, 2001).

L'essenzialità dell'acqua non è tuttavia proporzionale alla sua disponibilità (Salvemini, 2019), tant'è che si osserva un allarmante

aumento dello stress idrico in tutta l'Europa centrale ed occidentale (Zal, 2023) esponendo la società tutta a mancate risposte, in termini di qualità e quantità, di quello che dovrebbe essere un bene comune (La Torre, 2016; Ananasso, 2023), di fatto, trasformato in un interesse economico, il cui utilizzo pare ormai governato da logiche di mercato e di profitto. Senza dubbio, le reti idriche di distribuzione sono infrastrutture primarie complesse, caratterizzate da dimensioni molto elevate e da ridotta accessibilità, per cui la gestione risulta molto difficile e articolata.

Se consideriamo il contesto italiano, tale infrastruttura presenta molte criticità: obsolescenza delle tubazioni e dei dispositivi idraulici, basse prestazioni, in termini di pressione e qualità, elevate percentuali di perdita idrica, cattiva progettazione degli interventi di ampliamento della rete conseguenti all'espansione edilizia. Dunque, un processo di ammodernamento è inderogabile e grazie allo sviluppo delle nuove tecnologie di misura e controllo e una maggiore potenza di calcolo per i software di simulazione e verifica idraulica, è possibile trasformare il tradizionale approccio di analisi, progettazione e gestione delle reti di distribuzione acquedottistiche, basato su azioni prevalentemente di tipo passivo, ad un approccio intelligente di tipo attivo, in linea con i concetti di sostenibilità, innovazione ed economia circolare delle *smart cities*. Al contempo devono anche essere implementate da *governance* virtuose da parte di tutti gli utilizzatori della risorsa (civili, industriali, agricoli), riducendo l'impronta idrica derivante dai fattori antropici (Ananasso, 2023), che risultano ben noti determinanti dell'inquinamento diretto dei corsi d'acqua e, di conseguenza, delle falde acquifere, causando gravi criticità di difficile risoluzione (Favretto, 2001).

Il contributo si propone di analizzare i recenti approcci innovativi (in termini di digitalizzazione e strumentazione) che possono essere utilizzati per ridurre il crescente stress idrico a cui è soggetto il territorio nazionale, soffermandosi su esperienze concrete che possono rappresentare *best practice* da implementare in aree geografiche che presentano una maggiore vulnerabilità a situazioni di criticità idrica. Considerata la complessità della tematica affrontata su scala nazionale, si sta valutando la possibilità di approfondire l'analisi anche su scala locale, evidenziando il rapporto tra tale risorsa e l'impronta idrica in alcune aree specifiche. Tale analisi verrà condotta attraverso la ricostruzione del bilancio idrologico di uno o più acquiferi perimetrati, considerando la ricarica della risorsa e i prelievi, e

tenendo conto delle variazioni climatiche in atto attraverso modelli previsionali per diversi scenari futuri.

Lo stress idrico in Italia. – Le risorse del ciclo idrologico necessarie alle esigenze umane sono rappresentate dalle acque di ruscellamento (acque superficiali che defluiscono nelle reti naturali di drenaggio e alimentano i laghi, naturali e artificiali) e dalle acque sotterranee (che vanno a ricaricare i grandi serbatoi profondi delle falde acquifere).

Gli usi delle risorse idriche vengono comunemente suddivisi in civili, irrigui e industriali; essi sono stati sempre crescenti nel tempo fino a raggiungere valori che si avvicinano al limite della sostenibilità, misurato dall'indice di stress idrico, dato dal rapporto tra la quantità di risorse utilizzate e quelle disponibili in natura nello stesso intervallo temporale. Tale parametro è in rapida crescita in molte aree geografiche, compresa l'Italia (Salvemini, 2019; Zal, 2023) a causa dei consumi elevati ma anche a seguito dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla risorsa acqua.

Un confronto tra la disponibilità idrica e i consumi di acqua, riferiti ad una annualità, può essere effettuato a partire dalla stima del volume medio annuo delle piogge.

In Italia, tale dato è stato recentemente stimato dall'Ispra (Ispra, 2021) utilizzando il modello denominato BIGBANG (Braca e altri, 2023) che considera le componenti del bilancio a scala mensile sul territorio nazionale e regionale. Relativamente al trentennio 1991-2020, le precipitazioni totali annue in Italia sono risultate pari ad un volume di acqua di circa $288 \times 10^9 \text{ m}^3$. Di questi, quasi la metà torna in atmosfera per evapotraspirazione (evaporazione diretta e traspirazione dagli organismi viventi), mentre l'acqua rimanente costituisce il deflusso interno, composto dall'aliquota del ruscellamento e da quella della ricarica degli acquiferi. Quest'ultima, al netto degli scambi con l'esterno, rappresenta la risorsa idrica disponibile in modo rinnovabile.

Nella tabella 1 vengono riportati i valori medi annui delle componenti idriche prima indicate. Si evince che dal 1951 al 2019 la disponibilità media della risorsa idrica in Italia per la ricarica degli acquiferi è stata pari a circa $69.8 \times 10^9 \text{ m}^3$ all'anno e quella per ruscellamento pari a circa $69.0 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Tab. 1 – *Valori del bilancio idrologico medio annuo in Italia (1951-2019)*

Bilancio Idrologico annuo in Italia (Anni 1951-2019)									
Precipitazioni		Afflusso liquido (pioggia+ scioglimento nivale)		Evapotraspirazione		Ricarica degli acquiferi		Ruscellamento	
mm	10 ⁹ m ³	mm	10 ⁹ m ³	mm	10 ⁹ m ³	mm	10 ⁹ m ³	mm	10 ⁹ m ³
953.0	287.9	952.8	287.8	493.5	149.1	231.1	69.8	228.3	69.0

Fonte: elaborazione dell'autrice su dati Ispra, 2021

Nella tabella 2, relativamente alla media annua nel periodo 1951-2019, sono indicati, per ciascuno dei distretti idrografici nazionali, il volume medio annuo di ricarica degli acquiferi (A), il volume medio annuo di ruscellamento (B), il volume totale ($C = A+B$) corrispondente alla disponibilità media annua totale della risorsa rinnovabile, la percentuale media (D) del volume di acqua necessario all'equilibrio dei flussi idrici naturali (fiumi, laghi, ecc.), il volume medio annuo corrispondente a detta percentuale (E) e il volume di acqua medio annuo disponibile per gli usi umani ($F = C-E$).

Tab. 2 – *Distribuzione dei volumi annui di acqua nel periodo 1951-2019*

Distretti	area	A	B	C	%	E	F
	Km ²	10 ⁹ m ³					
Alpi orientali	34805	14.2	8.5	22.7	45.3	10.2	12.4
Bacino del Po	82977	18.2	24.2	42.4	46.7	19.8	22.6
Appennino settentrionale	24340	6.3	6.4	12.7	44.4	5.6	7.1
Appennino centrale	42373	10.1	8.0	18.1	51.0	9.2	8.9
Appennino meridionale	67646	15.4	14.1	29.5	36.7	10.8	18.7
Sardegna	24100	2.6	4.1	6.8	35.6	2.4	4.4
Sicilia	25832	3.0	3.6	6.6	22.7	1.5	5.1
Italia	302073	69.8	69.0	138.8	44.8	62.2	76.6

Fonte: Ispra, 2021 e Faø, Ispra e Istat, 2023

A questa disponibilità vanno raffrontati i relativi consumi. Va precisato preliminarmente che i dati sui consumi idrici in Italia presentano ancora ampi margini di incertezza perché la maggior parte dei prelievi, a

cominciare da quelli dell'agricoltura come di molte attività industriali, non sono ancora soggetti a misurazioni dirette (come lo sono, invece, i consumi domestici tracciati dai comuni contatori).

Secondo le ultime stime (Barbabella, Montanini, Ferrucci, 2023), per soddisfare tutti i bisogni (civile, agricoltura, industria, elettricità) in Italia nel 2017 sono stati prelevati circa $40 \times 10^9 \text{m}^3$ di acqua suddivisi come indicato in tabella 3.

Tab. 3 – *Consumi idrici*

Uso	Consumo %	Consumo in m^3
Civile	24	9.60×10^9
Agricoltura	41	16.40×10^9
Industria	20	8.00×10^9
Elettricità	15	6.00×10^9

Fonte: Barbabella, Montanini, Ferrucci, 2023

Nel rapporto Fao, Ispra e Istat (2023), con riferimento al 2015, sono indicati i consumi (tabella 4) per ciascun distretto idrografico.

Tab. 4 – *Consumi idrici per distretto idrografico anno 2015*

Distretti	area	Civile	Agricoltura	Industriale	Totale
	Km ²	10^9m^3	10^9m^3	10^9m^3	10^9m^3
Alpi orientali	34805	1.1	1.3	0.6	3.0
Bacino del Po	82977	2.9	11.6	1.8	16.3
Appennino settentrionale	24340	0.6	0.2	0.3	1.1
Appennino centrale	42373	1.5	0.5	0.4	2.4
Appennino meridionale	67646	2.4	2.0	0.4	4.8
Sardegna	24100	0.3	0.7	0.1	1.1
Sicilia	25832	0.7	1.2	0.2	2.1
Italia	302073	9.5	17.5	3.8	30.8

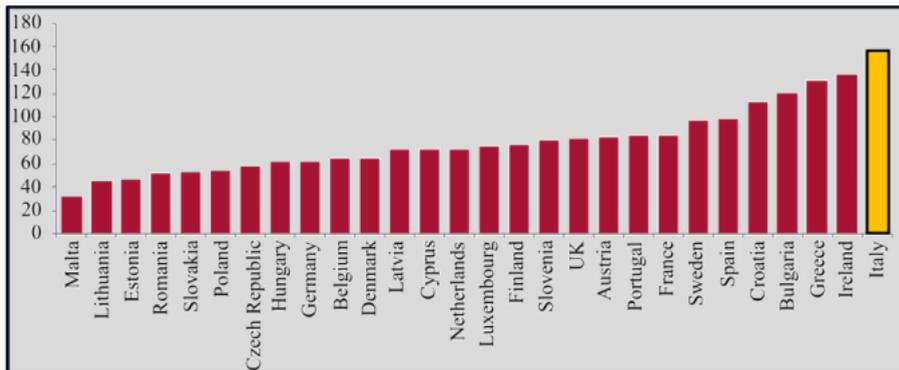
Fonte: Fao, Ispra e Istat, 2023

L'agricoltura si conferma il settore più idroesigente, seguito dagli usi civili e dalla produzione industriale.

Una fonte di informazione puntuale sui consumi riferiti al settore civile è fornita dall'Istat (2023) e si riferisce al volume di acqua potabile prelevato dalle reti comunali per gli usi domestici, pubblici, commerciali, produttivi. Con riferimento all'intero territorio nazionale è stato registrato

nel 2020 un consumo di $9,19 \times 10^9 \text{ m}^3$. Tale valore, peraltro in buon accordo con quanto prima indicato nella tabella 4, corrisponde ad un prelievo giornaliero di $25,1 \times 10^6 \text{ m}^3$, pari a 422 litri/abitante. L'Italia si conferma, da più di un ventennio, al primo posto tra i Paesi Ue per la quantità, in valore assoluto, di acqua dolce complessivamente prelevata per usi civili da corpi idrici superficiali e sotterranei (fig. 1).

Fig. 1 – *Prelievi di acqua potabile per uso civile nella Ue*



Fonte: Istat, 2023

È da osservare poi che, sempre dai dati Istat, l'85% circa del prelievo di acque per uso civile deriva da acque sotterranee (48,9% da pozzo e 35,8% da sorgente), il 16,1% da acque superficiali (9,6% da bacino artificiale, 5% da corso d'acqua superficiale e 0,5% da lago naturale) e il restante 0,1% da acque marine o salmastre (Di Natale e altri, 2020).

Con riferimento agli usi in agricoltura non sono reperibili dati aggiornati ma uno studio dettagliato relativo a dati del 2015 è quello effettuato dalla Fao et. al. (2023), in cui viene riportato un valore di consumo idrico in agricoltura pari $17,4 \times 10^9 \text{ m}^3$ per l'intero territorio nazionale, in buon accordo con i consumi riportati in tabella 3. Inoltre, in merito alle fonti di approvvigionamento delle acque per uso agricolo, queste vedono il 56% dei consumi prelevati da acque di invasi gestiti dai consorzi di bonifica e irrigazione, il 25% da acque sotterranee, il 15% da corpi idrici superficiali e il 4% da altre fonti.

Relativamente agli usi industriali, occorre precisare che le statistiche sono spesso molto frammentate e soffrono di eterogeneità dei dati e mancanza di standardizzazione. Nella stessa indagine, che conduce ai dati riportati in tabella 4, è stata effettuata una stima dei consumi basata sui dati

statistici derivati dall'attuale Rilevazione Campionaria Produzioni Comunitarie (PRODCOM) dell'Istat. Non vi sono dati sulle fonti di approvvigionamento che risultano molto diversificate (invasi artificiali, fiumi, falde, acque riciclate, ecc.).

Una stima dell'indice di stress idrico medio annuo da luogo ai valori riportati nella tabella 5.

Tab. 5 – *Stima dell'indice di stress idrico anno 2015*

Distretti	Prelievo A	Disponibilità B	<i>stress idrico</i> A/B
	10 ⁹ m ³	10 ⁹ m ³	
Alpi orientali	3.0	12.4	0.24
Bacino del Po	16.3	22.6	0.72
Appennino settentrionale	1.1	7.1	0.15
Appennino centrale	2.4	8.9	0.27
Appennino meridionale	4.8	18.7	0.26
Sardegna	1.1	4.4	0.25
Sicilia	2.1	5.1	0.41
Italia	30.8	76.6	0.40

Fonte: Fao, Ispra e Istat, 2023

Da quanto illustrato emerge che l'indice di stress idrico nazionale assume il valore medio di 0.4 con oscillazioni sensibili che vedono il bacino del Po nelle condizioni di maggiore difficoltà con un indice di stress 0.72.

Questi dati non sono da considerarsi rassicuranti in relazione al fatto che si tratta di valori medi nel tempo (periodo 1951-2019) e nello spazio (distretti idrografici). Se si passa infatti ad analizzare situazioni locali si registrano molti casi di minore disponibilità di precipitazioni e/o maggiori prelievi, condizioni che fanno crescere sensibilmente lo stress idrico puntuale fino a valori preoccupanti prossimi all'unità. Peraltro, va ricordato che l'Oms classifica l'Italia tra i Paesi a stress idrico medio-alto, poiché utilizza oltre un terzo delle sue risorse idriche rinnovabili (in crescita del 6% ogni 10 anni) e preleva acqua dolce per oltre il 75% del fabbisogno dalle acque sotterranee (Barbabella, Montanini, Ferrucci, 2023).

Con riferimento al tema della riduzione di disponibilità idriche nel prossimo futuro va ricordato che le variazioni climatiche in atto giocano un ruolo significativo sulla risorsa acqua (Spano e altri, 2020; Douville e altri, 2021). L'Italia si trova al centro dell'*hot-spot* climatico del Mediterraneo ed è un Paese particolarmente vulnerabile al riscaldamento

globale (Barbabella, Montanini, Ferrucci, 2023; Ministero per l’Ambiente e la Sicurezza Energetica, 2023). Negli ultimi anni i dati meteorologici confermano che la disponibilità idrica nazionale è in sensibile calo e nel 2022 si è verificato un minimo storico con un valore medio delle precipitazioni nette (ricarica + ruscellamento) di circa 221 mm, corrispondenti a un volume totale di $67 \times 10^9 \text{m}^3$ di risorsa idrica rinnovabile (Ispra, 2023). Tale valore ha rappresentato una riduzione del 52% circa rispetto alla media di $139 \times 10^9 \text{m}^3$ riferita al periodo 1951-2019 (tab. 1). A fronte di tale trend critico dei volumi di acqua disponibili, una stima futura del prelievo medio annuo di acqua dolce si attesta sui $40 \times 10^9 \text{m}^3$ (Spano e altri, 2020), in crescita del 30% rispetto a quello attuale di $30 \times 10^9 \text{m}^3$.

Nella tabella 6 vengono riportati i valori dell’indice di stress idrico medio nazionale qui stimati in presenza di possibili scenari di crisi idrica ipotizzati all’interno delle previsioni illustrate. In particolare, rispetto alla disponibilità idrica media del periodo 1951-2019, si sono ipotizzate riduzioni future del 20-30-40-50%; riguardo poi ai maggiori prelievi, a ciascuno dei casi prima indicati sono stati associati due possibili scenari in cui si prevede, un incremento del 30% (scenario 1) e un incremento del 40% (scenario 2).

Tab. 6 – *Indice di stress idrico calcolato in base alla sola riduzione del volume di acqua disponibile (scenario 1) e con l’aggiunta di un incremento dei prelievi (scenario 2).*

Riduzione disponibilità	Volumi idrici totali	volumi idrici disponibili per uso umano	Aumento dei prelievi	prelievo	Indice di stress	Aumento dei prelievi	prelievo	Indice di stress
	10^9m^3	10^9m^3		10^9m^3	Scenario 1		10^9m^3	Scenario 2
dati 1951-2019	139	76	dati 1951-2019	30.8	0.40	dati 1951-2019	30.8	0.40
20%	111	61	30%	30.8	0.51	40%	40.0	0.66
30%	97	53	30%	30.8	0.58	40%	40.0	0.75
40%	83	45	30%	30.8	0.68	40%	40.0	0.89
50%	69	38	30%	30.8	0.81	40%	40.0	1.05

Fonte: elaborazione dell’autrice su dati Ispra, 2021 e Fao, Ispra e Istat, 2023

Un’analisi delle cause antropiche che intervengono in modo significativo sul delicato equilibrio tra disponibilità e usi della risorsa acqua mette in evidenza innanzitutto che, particolarmente nel caso degli usi civili, il

problema degli sprechi è dovuto alle ingenti perdite nelle reti di trasporto e distribuzione e alla inadeguatezza delle attività gestionali (Istat, 2023; Di Natale e altri, 2020; Kuzma e altri, 2022).

Con riferimento alle risorse idriche utilizzate nel settore agricolo è da evidenziare una cronica carenza delle reti di distribuzione spesso obsolete a cui è da addebitare il notevole spreco dovuto anche in questo caso alle perdite. Inoltre, un ulteriore severo motivo che incrementa gli sprechi è la carenza di applicazioni tecnologiche in grado di garantire una irrigazione di precisione che consentirebbe un significativo risparmio idrico rispetto ai metodi tradizionali.

Nel settore delle acque per uso industriale, e in parte anche per quelle per uso irriguo, si pone il problema di associare agli aspetti quantitativi della risorsa anche quelli legati alla qualità. L'utilizzo prevalente di acque potabili di qualità pregiata è una prassi ancora molto diffusa con un aggravio ambientale notevole.

Alla luce di quanto prima illustrato, si evidenzia l'esigenza di avviare in tempi brevi una politica di grande respiro sull'uso della risorsa idrica, in grado di armonizzare le componenti giuridiche, economiche, tecniche e gestionali che concorrono ad una soluzione sostenibile del problema.

Nuove tecnologie per la mitigazione delle criticità. – Un approccio concreto al problema del contenimento dello stress idrico deve prevedere necessariamente un incremento delle risorse disponibili e, al contempo, una riduzione e/o ottimizzazione dei consumi. Circa il primo aspetto una risposta tecnica in tempi brevi potrebbe essere quella di un incremento significativo di piccoli invasi artificiali in grado di raccogliere e conservare le acque delle precipitazioni in eccesso rispetto ai periodi di bisogno. Nel 2022 erano presenti in Italia 528 grandi dighe e circa 26 mila piccoli invasi (Calcaterra, Gambino, Niceforo, 2022; Ispra, 2023) con una percentuale di acqua piovana invasata stimata intorno $35 \times 10^9 \text{ m}^3$ (12% circa) del volume complessivo di precipitazioni medie di circa $300 \times 10^9 \text{ m}^3$ (tab.1). Tale volume si è ridotto negli ultimi cinquant'anni di circa $9 \times 10^9 \text{ m}^3$ a causa prevalentemente degli interramenti non rimossi dagli invasi (Ananasso, 2023). Per sopperire a tali carenze è stato stimato che occorrerebbe costruire ex novo circa duemila piccoli invasi (D'Angelis, 2022).

Tale soluzione non potrebbe comunque risolvere da sola la copertura delle carenze di acqua potabile e/o di irrigazione ma potrebbe contribuire

alla soluzione di situazioni emergenziali quali ad esempio la laminazione delle piene fluviali, l'integrazione nei periodi più siccitosi del deflusso minimo vitale, l'accumulo di acqua per contrastare incendi boschivi.

Un'altra tecnica per incrementare le risorse idriche disponibili è quella della ricarica artificiale delle falde¹. I vantaggi principali sono rappresentati dal basso costo di investimento, dalla possibilità di immagazzinare anche grandi volumi di acqua, dalla messa in opera su aree limitate, dall'assenza di perdite per evaporazione e di formazione di depositi come avviene negli invasi.

Applicazioni di questa soluzione trovano rilevante diffusione negli Stati Uniti d'America, in Australia, Israele ma sono poco utilizzati in genere nel bacino del Mediterraneo. Un esempio italiano è quello eseguito sull'acquifero della Pianura del Cornia (Suvereto) con il progetto REWAT (Regione Toscana, 2014) e quello del progetto Marsol (Scuola Superiore di Studi Sant'Anna, 2016).

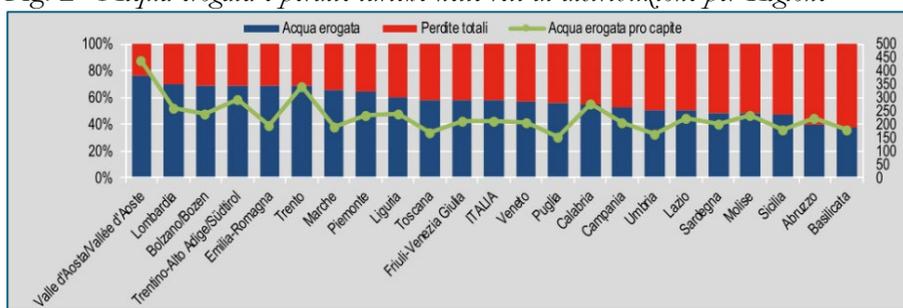
Un interesse applicativo più diffuso trovano gli interventi finalizzati alla riduzione e/o ottimizzazione dei consumi. Come accennato in precedenza, il delicato equilibrio tra disponibilità ed usi della risorsa idrica è fortemente compromesso dagli sprechi dovuti alle perdite nelle reti di trasporto e distribuzione e della inadeguatezza delle gestioni. Con riferimento a questo ultimo aspetto, per i soli usi civili e quindi alle reti acquedottistiche, si evidenzia un'elevata frammentazione della gestione in alcune aree del paese, con la presenza di 2391 gestori, di cui 1997 (83.5%) in economia e solo 394 (16.5%) specializzati. La spiccata parcellizzazione gestionale, conseguenza della incompleta attuazione della riforma idrica (legge Galli 36/94 sostituita dal D. Lgs. n. 152/2006), è particolarmente diffusa in Calabria, Campania, Molise, Sicilia, Valle d'Aosta e nelle province autonome di Bolzano e Trento. Molti sono i danni ambientali conseguenti ad uno schema gestionale non adeguato che si riversano non solo sulla efficacia, efficienza ed economicità dei servizi erogati ma anche nell'assenza di politiche coordinate per ridurre i consumi idrici. A questo proposito va ricordato che l'Italia è in testa ai Paesi Ue nei prelievi per uso

¹ Con gli interventi di ricarica delle falde in condizioni controllate (Managed Aquifer Recharge, MAR) il volume di acqua ordinariamente immagazzinato nel sottosuolo viene incrementato ad un tasso superiore alla ricarica naturale. Gli impianti sono interventi di geoingegneria ambientale in cui si ricaricano gli acquiferi con aliquote di acqua provenienti da fiumi, da pozzi, da invasi o acque non convenzionali. Per ulteriori approfondimenti, fare riferimento a Rossetto, Bonari, 2014.

potabile (fig. 1); se consideriamo la distribuzione geografica nazionale per regioni, si rilevano alcune differenze sostanziali, con la Lombardia che preleva il maggiore volume di acqua per uso potabile ($1.44 \times 10^9 \text{m}^3$ pari al 15.6% consumo totale nazionale), seguito dal Lazio ($1.15 \times 10^9 \text{m}^3$ pari al 12.5% del totale) e dalla Campania ($0.90 \times 10^9 \text{m}^3$ pari al 9.8 % del totale).

A questi volumi cospicui di prelievo si associano altrettanti valori elevati delle perdite che ci vedono ancora in testa ai paesi europei con valori medi nazionali del 42% circa che diventano più elevati in Basilicata (62.1%), Abruzzo (59.8%), in Sicilia (52.5%) e Sardegna (51.3%) (fig. 2).

Fig. 2 – *Acqua erogata e perdite idriche nelle reti di distribuzione per Regione*



Fonte: Istat, 2023

Le perdite nelle reti idriche vengono differenziate in perdite fisiche e amministrative rappresentate dai volumi prelevati illegalmente o non misurati. La stima delle perdite totali è complessa, e non è facile separare le due tipologie. Tuttavia, di solito le perdite fisiche sono prevalenti ed hanno gravi implicazioni sociali, economiche e ambientali, causando disagi dovuti alle carenze di erogazione, aumentando i costi energetici e comportando lo spreco della risorsa idrica, che viene sottratta al suo ciclo naturale. La localizzazione delle perdite fisiche nascoste è una sfida, data la natura interrata delle tubazioni. Diverse tecnologie sono impiegate per questo scopo, tra cui il metodo acustico tradizionale, che si basa sul rilevamento delle onde sonore generate da una rottura. Inoltre, l'evoluzione tecnologica nel settore include approcci moderni come il metodo vibrazionale-acustico, il metodo ottico, l'uso dell'IoT e altre applicazioni sensoristiche. Queste tecniche variano da rilevatori acustici per la prelocalizzazione computerizzata a termografia a raggi infrarossi, radar GPR, gas tracciante, metodo magnetico e scansioni satellitari.

Oltre alla localizzazione delle perdite, si fa riferimento anche ad approcci basati sul contenimento delle stesse. Una metodologia consiste nella limitazione delle perdite, attraverso il controllo del cielo piezometrico tramite valvole PRV (*Pressure Reducing Valve*). Queste valvole, posizionate strategicamente, riducono le pressioni e limitano le fuoriuscite d'acqua alle rotture delle tubazioni. Tuttavia, l'implementazione di questa tecnica richiede una conoscenza approfondita dell'idraulica della rete, un modello matematico di simulazione e tecniche di ottimizzazione per la gestione delle valvole. La distrettualizzazione (Di Nardo e altri, 2012) è una pratica consolidata che semplifica la gestione delle reti complesse, offrendo vantaggi come la facilitazione del bilancio idrico, l'efficienza del servizio, la riduzione delle perdite e la capacità di isolare porzioni di rete se necessario. Il settore è in continua evoluzione, con una crescente documentazione sulla modellazione matematica e l'uso di tecnologie avanzate, nel contesto più ampio della "digitalizzazione delle reti idrauliche" (REF Ricerche, 2024). Questo moderno approccio fornisce una visione di dettaglio, dal basso, sullo stato di condotte, strutture e utenze, dall'alto, con una visione complessiva dell'intero sistema acquedottistico. La digitalizzazione nel settore idrico inizia dalla gestione dell'enorme quantità di dati raccolta tramite sensori installati sulla rete che trasmettono informazioni sulle portate, sulle pressioni, sui parametri di qualità e sui consumi attraverso contatori intelligenti (*smart water meter*). L'elaborazione dei dati raccolti sul campo permette di approfondire il funzionamento delle complesse e articolate reti di distribuzione idrica e rendere più efficiente la gestione della risorsa acqua.

Dopo avere analizzato il caso delle acque ad uso civile distribuite negli acquedotti cittadini, va evidenziato il problema delle acque usate in agricoltura che, come si è visto, sono di gran lunga quelle che utilizzano più risorsa. La desalinizzazione delle acque per uso agricolo è una opzione in crescita adottata nelle regioni afflitte da siccità e da aumento della salinità dei terreni agricoli. Questa pratica offre una fonte affidabile di acqua per l'irrigazione, riducendo la dipendenza dalle risorse idriche dolci limitate e garantendo una produzione agricola costante e sostenibile. Tuttavia, comporta costi elevati, in termini economici, energetici e di impatto ambientale, richiedendo una valutazione attenta (Ward F.A., 2022). Analogamente alle reti di acquedotto cittadine, le reti di adduzione nei sistemi irrigui presentano vetustà e perdite idriche elevate. L'approccio

per ridurre i consumi idrici in agricoltura si concentra sull'ottimizzazione dell'uso dell'acqua, valutando le reali necessità di ogni coltura in base alle condizioni climatiche locali. La ricerca, anche in questo caso, si basa sull'impiego di tecnologie IoT e di intelligenza artificiale, utilizzando immagini satellitari per monitorare le colture. Questi sistemi permettono risparmi fino al 20% rispetto ai metodi tradizionali, evitando sprechi attraverso una gestione mirata dell'irrigazione. Un esempio di questo approccio è il Progetto Irrisat, attualmente in uso per irrigare 80 mila ettari in Campania (Regione Campania, 2020) (fig. 3).

Fig. 3 – *Il sistema Irrisat*



Fonte: Regione Campania, 2020

Un'ulteriore riflessione sulle tecniche per il risparmio della risorsa idrica potabile è legata al riuso in campo agricolo e industriale delle acque reflue, una volta processate e depurate (Water Reuse Europe, 2020). Dopo il trattamento delle acque reflue urbane e industriali, spesso è necessario un trattamento terziario per ottenere un effluente di qualità adatto allo smaltimento. Nonostante il mercato globale di questa soluzione sia cresciuto notevolmente dai primi anni Novanta, l'interesse nell'uso industriale e nell'irrigazione è ancora limitato. Gli ostacoli principali includono il divario di prezzo tra l'acqua riutilizzabile e quella prelevata dall'ambiente, la mancanza di chiari incentivi finanziari (REF Ricerche, 2020) e la necessità di infrastrutture adeguate. La fattibilità del riutilizzo dipende anche dalla compatibilità tra le acque, i suoli e le colture. Nonostante le tecnologie siano note, persistono questioni tecniche e scientifiche aperte, come l'identificazione e ottimizzazione della tecnologia appropriata, la rimozione dei microinquinanti e la necessità di controlli e monitoraggi efficaci per gestire i rischi tossicologici per la salute umana, animale e ambientale.

Un'altra tecnologia per il risparmio di acqua è quella che prevede il recupero e il riciclaggio delle acque meteoriche (*systems of rainwater*

harvesting), opzione spesso sottovalutata e trascurata nelle strategie per affrontare le sfide della sostenibilità delle produzioni agroalimentari a fronte dei cambiamenti climatici in atto (Colonna, 2020). Si tratta di una pratica antichissima di cui un ultimo esempio in Italia, utilizzato fino alla metà del Novecento, è il sistema di cisterne sotterranee di Matera.

L'importanza della raccolta dell'acqua piovana per far fronte a una parte dei consumi domestici è ormai ampiamente riconosciuta in tutto il mondo. In Australia, negli USA, in Germania e Inghilterra vi sono, ormai da tempo, numerose strutture pubbliche o associazioni private che promuovono e diffondono la cultura e la tecnica della raccolta della pioggia. Un impianto per il recupero e riuso dell'acqua piovana è costituito essenzialmente dai seguenti sistemi: sistema di raccolta, sistema di stoccaggio, sistema di distribuzione, sistema di trattamento (REF Ricerche, 2020; Pujol, 2011; Li e altri, 2010). Il calcolo del volume da assegnare al serbatoio di accumulo del sistema rappresenta un elemento importante di valutazione. Esso dipende strettamente dall'apporto netto di acqua piovana e dal fabbisogno di acqua di servizio e, sulla base di questi elementi, può essere direttamente stimato.

Sempre sul tema del riutilizzo delle acque piovane, in ambito urbano sta avendo particolare interesse, particolarmente negli USA, la tecnica denominata *Green Stormwater Infrastructure* (GSI), termine con il quale in letteratura (Meenar e altri, 2020) sono indicate una gamma di misure e manufatti che utilizzano sistemi vegetali o del suolo, pavimentazioni o altre superfici o substrati permeabili, per la raccolta e il riutilizzo dell'acqua piovana, immagazzinandola e infiltrandola, dove è possibile (De Paola e altri, 2018; Di Natale e altri, 2023). L'acqua raccolta trova impiego per usi urbani per i quali è sprecato utilizzare acqua potabile; peraltro, con questa tecnica si riducono anche gli apporti idrici verso i sistemi fognari o le acque superficiali, a vantaggio della mitigazione dei fenomeni di piena.

Considerazioni conclusive. – Alla luce dei dati riportati, si evidenzia che il coefficiente di stress idrico in Italia è, negli ultimi anni, in rapida crescita per effetto del cambiamento climatico, della carenza infrastrutturale pregressa nonché della eccessiva frammentazione dei sistemi di gestione.

Ciò comporta importanti ricadute a livello territoriale, con impatti significativi sull'agricoltura, con perdite di colture e diminuzione della resa, alterazioni degli ecosistemi dovute alla siccità dei corsi d'acqua, problemi

di approvvigionamento idrico urbano con razionamenti e aumenti dei costi, rischi per la sicurezza idrica che possono portare a implicazioni economiche negative e rischi per la salute pubblica legati alla carenza d'acqua potabile e alla contaminazione delle fonti. La pressione antropica crescente in alcune regioni densamente popolate e industrializzate contribuisce a rafforzare l'impronta ecologica umana sull'ecosistema idrico, amplificando le criticità e aumentando la vulnerabilità dei territori e delle comunità dipendenti da essi. Occorre quindi prendere coscienza che la carenza di risorse idriche pone la pressante questione non solo del risparmio idrico nelle attività antropiche, ma anche quella di reperire nuove fonti di approvvigionamento, altrimenti rischia di diventare a breve un'emergenza nazionale, ancorché sia stata talvolta o spesso sottostimata e non considerata una reale priorità.

Soluzioni di mitigazione e di adattamento devono essere attuate con urgenza e in sinergia tra gli *stakeholder* coinvolti, al fine di ottimizzare i risultati e contribuire a quella trasformazione non più rinviabile verso uno sviluppo sostenibile e resiliente del nostro territorio (Spano e altri, 2020).

Per contrastare le attuali condizioni di eccessivo consumo e di carenza idrica è necessario disporre di idonee tecnologie sempre più performanti che facciano uso dei moderni strumenti informatici; predisporre una mappatura capillare delle infrastrutture idriche monitorando lo stato di salute attraverso un controllo costante; emanare norme-quadro vincolanti con obiettivi, incentivi e sanzioni che equiparino il monitoraggio e la prevenzione agli obblighi di sicurezza delle infrastrutture critiche (Salvemini, 2019); destinare adeguate risorse economiche per fronteggiare i costi degli interventi necessari. Tali obiettivi possono essere raggiunti esclusivamente con la costruzione di una *governance* strutturata (Aurigemma, Ciobbo, Grieco, 2010), che coinvolga tutti i livelli di governo e tutti i portatori d'interesse pubblici e privati, fino alla società civile, al fine di intraprendere azioni coordinate e condivise con il territorio.

Va poi ricordato che il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)² ha previsto un asse di finanziamento di oltre 4,3 miliardi di euro dedicato al tema delle risorse idriche. In particolare, sono state ipotizzate quattro misure di grande impatto finalizzate a: costruzione di nuove

² Per un approfondimento esaustivo sulle ricadute socio-economiche e le implicazioni territoriali fare riferimento a *documenti geografici* 1/2022 sul tema "Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza: uno sguardo geografico" (Calandra L. M., Pascolini M.).

infrastrutture idriche primarie su tutto il territorio nazionale; interventi di riparazione, digitalizzazione e monitoraggio integrato delle reti idriche in modo da diminuire sostanzialmente le perdite di acqua; potenziamento e ammodernamento del sistema irriguo nel settore agricolo; interventi di depurazione delle acque reflue da riutilizzarsi in agricoltura e manifattura.

Il piano comprende le esigenze del settore idrico nei vari aspetti precedentemente illustrati e rappresenta una svolta politica epocale per un moderno approccio alle problematiche ambientali dell'acqua conseguenti allo stress idrico crescente. È evidente che le risorse economiche effettivamente necessarie sono molto più ampie di quelle previste ed i tempi di riequilibrio del sistema non sono immediati. In una corretta visione a tempi medio-brevi che risulti compatibile con le esigenze temporali imposte dal processo di transizione ecologica, è però necessario lavorare ad un adeguato piano di riferimento che programmi le tappe di una *roadmap* da tracciare e gli obiettivi da raggiungere indicando ovviamente la previsione e l'approvvigionamento delle risorse finanziarie necessarie. In questo processo un significativo ruolo è svolto dal mondo delle tecnologie in continua e rapida evoluzione ma anche da un aggiornamento del quadro normativo di riferimento che individui procedure snelle ed efficaci e dall'applicazione di adeguati modelli di gestione per garantire la conservazione e la manutenzione costante degli impianti assieme ad un equo ed efficiente sistema tariffario.

Per affrontare gli impatti dello stress idrico, è necessario adottare misure di adattamento e mitigazione a livello regionale e nazionale. Questo può includere politiche di adattamento climatico, investimenti in infrastrutture resistenti al clima, promozione di pratiche sostenibili di utilizzo delle risorse idriche e cooperazione internazionale per la gestione condivisa delle risorse idriche transfrontaliere.

Dall'analisi condotta si evidenzia la necessità di un approccio integrato relativamente al management delle risorse idriche come pratica di buona gestione globale, riconoscendo la complessità delle sfide e l'esigenza di bilanciare informazioni, istituzioni e infrastrutture per raggiungere un equilibrio tra equità, ambiente ed economia.

BIBLIOGRAFIA

- ANANASSO F., *Interventi infrastrutturali e piattaforme tecnologiche di contrasto all'emergenza idrica*, 2023, (<https://futuranetwork.eu/acqua-e-servizi-igienici/683-3799/interventi-infrastrutturali-e-piattaforme-tecnologiche-di-contrasto-allemergenza-idrica>).
- AURIGEMMA R., CIOBBO M., GRIECO R., “Governance delle risorse idriche: integrazione di nuove tecnologie”, in BENASSAI E. (a cura di), *Acqua: emergenza del XXI secolo*, Napoli, Cozzolin, 2010, pp 179-183.
- BARBABELLA A., MONTANINI C., FERRUCCI V., *Troppa o troppo poca: l'acqua in Italia in un clima che cambia*, Italy for Climate, Special Report, 2023, (<https://italyforclimate.org/wp-content/uploads/Acqua-e-clima-Special-Report-2023>).
- BRACA G. E ALTRI, *Bilancio idrologico nazionale: focus su siccità e disponibilità naturale della risorsa idrica rinnovabile. Aggiornamento al 2022. Rapporto n. 388/2023*, Roma, Ispra, 2023.
- CALANDRA L.M., PASCOLINI M. (a cura di), “Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza: uno sguardo geografico”, *documenti geografici*, 2022, 1.
- CALCATERRA S., GAMBINO P., NICEFORO D., “Invasi artificiali”, in *Annuario dei dati ambientali*, Ispra, 2022 (<https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/pericolosita-sismica/invasi-artificiali>).
- COLONNA N., “La diffusione di sistemi di raccolta e conservazione dell'acqua piovana. Una valida opzione per le piccole imprese agricole familiari”, *Geotema*, 2020, 63, pp. 68-72.
- D' ANGELIS E., *Acque d'Italia*, Milano, Giunti editore, 2022.
- DE PAOLA F. E ALTRI, “Optimal design of LIDs in urban stormwater systems using a harmony-search decision support system, *Water Resources Management: an international journal*”, *European Water Resources Association (EWRA)*, 2018, 32, 15, pp. 4933- 4951.
- DI NARDO A. E ALTRI, “Divide et Impera: un sistema automatico per il partizionamento delle smart water networks”, in *Atti del XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, (Brescia, 10-15 settembre 2012)*, Cosenza, Edibios, 2012, s.p.
- DI NATALE M., DI NARDO A., FERRARA P., “Valutazioni idrauliche sperimentali su di un sottobacino urbano”, in VALENTE R., MOZINGO

- L.A. (a cura di), *Interazioni ambientali urbane. Sul progetto di una rete di green street / Urban environmental interactions on the design of a green street network*, Clean Editore, 2023, pp. 31-50.
- DI NATALE M, ROSSI G., “Management of municipal water services”, in ROSSI G., BENEDINI M. (a cura di), *Water resources of Italy: protection, use and control*, Cham, Springer, 2020, pp. 179-203.
- DOUVILLE H. E ALTRI, “Water Cycle Changes”, in MASSON-DELMOTTE V. E ALTRI (eds), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press, 2021, pp. 1055-1210.
- FAO, ISPRA E ISTAT, *A disaggregation of indicator 6.4.2 “Level of water stress: freshwater withdrawal as a proportion of available freshwater resources” at river basin district level in Italy. SDG 6.4 Monitoring Sustainable Use of Water Resources Papers*. Roma, Fao, 2023, (<https://doi.org/10.4060/cc5037en>).
- FAVRETTO A., “Utilizzo delle metodologie GIS a supporto del controllo della qualità dell’acqua: un esempio applicativo per alcuni fiumi in provincia di Trento”, *Bollettino dell’Associazione Italiana di Cartografia*, 2001, 111-113, pp. 231-244.
- ISPRA, *Il Bilancio Idrologico Gis based su scala nazionale su griglia regolare BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica*, Ispra n. 339/2021
(https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/rapporto_ispra_339-21_bigbang_ld.pdf).
- ISPRA, *Giornata mondiale della lotta alla desertificazione e alla siccità*, 2023 (<https://www.isprambiente.gov.it/files2023/area-stampa/comunicati-stampa>).
- ISTAT, *Utilizzo della Risorsa Idrica a fini Irrigui in Agricoltura, 6° Censimento Generale dell’Agricoltura*, Istat, 2014
(https://www.istat.it/it/files/2014/11/Utilizzo_risorsa_idrica.pdf).
- ISTAT, *Le statistiche dell’Istat sull’acqua. Censimento delle acque per uso civile 2020-2022 Report*, 2023 (<https://www.quotidianosanita.it/allegati>).
- KUZMA S. E ALTRI, “Aqueduct 4.0: Updated decision-relevant global water risk indicators”, *World Research Institute*, 2022 (<https://doi.org/10.46830/writn.23.00061>).

- LA TORRE M., “L’acqua come bene comune e le nuove diseguglianze nel diritto ai *commons*”, in DEL PIZZO F., GIUSTINIANI P. (a cura di), *Biosfera, acqua, bellezza*, Milano, Mimesis Edizioni, 2016, pp. 89-105.
- LI Z., BOYLE F., REYNOLDS A., “Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland”, *Desalination*, 2010, 260, 1-3, pp 1-8.
- MEENAR M. E ALTRI, “Green Stormwater Infrastructure Planning in Urban Landscapes: Understanding Context, Appearance, Meaning, and Perception”, *Land*, 2020, 9, 12, 534, s.p. (<https://doi.org/10.3390/land9120534>).
- MINISTERO PER L’AMBIENTE E LA SICUREZZA ENERGETICA (MASE), *Piano Nazionale per l’adattamento ai cambiamenti climatici (PNACC)*, 2023, (<https://www.mase.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-pnacc>).
- PUJOL D. S., “A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multifamily buildings of Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs”, *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19, pp. 598-608.
- REF RICERCHE, *Riuso delle acque depurate in agricoltura: una scelta indifferibile*, Paper n. 158, 2020 (<https://laboratorioref.it/indice-delle-pubblicazioni/>).
- REF RICERCHE, *Transizione digitale: le opportunità per il segmento acquedottistico*, Paper n. 259, 2024 (<https://laboratorioref.it/indice-delle-pubblicazioni/>).
- REGIONE CAMPANIA, *Progetto IRRISAT sviluppato con il contributo dal fondo Europeo per lo Sviluppo Agricolo, PSR Campania 2014-2020*, 2020 (<http://www.irrisat.com/tecnologia>).
- REGIONE TOSCANA, *Progetto REWAT (sustainable WATER management), Progetto realizzato con il contributo del programma LIFE dell’Unione Europea (LIFE14 ENV/IT/001290)*, 2014, (<https://www.regione.toscana.it/-/progetto-rewat>).
- ROSSETTO R., BONARI E., “Il futuro della ricarica delle falde in condizioni controllate in Italia: il progetto europeo FPVII MARSOL e la EIP on Water MAR to MARKET”, *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 2014, 3, 3, pp. 9-12 (doi: 10.7343/AS-079-14-0105).
- SALVEMINI L., “Stress idrico vs sviluppo sostenibile. Il complesso rapporto tra qualifica giuridica, sistema di gestione e tutela dell’acqua”, *Federalismi.it*, 2019, 18, pp. 2-29.

SCUOLA SUPERIORE DI STUDI S. ANNA, *Progetto MARSOL: Demonstrating Managed Aquifer Recharge as a Solution to Water Scarcity and Drought*, 2016, (www.marsol.eu/6-0-Home.html).

SPANO D. E ALTRI, *Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia*, Lecce, CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), 2020.

WARD F.A. E ALTRI, “Economic optimization to guide climate water stress adaptation”, *Journal of Environmental Management*, 2022, 301, s.p. (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113884>).

WATER REUSE EUROPE, *The State of Sector*, 2020, (<https://www.water-reuse-europe.org>).

ZAL N., “Water resources across Europe: confronting water stress”, *Energia, ambiente e innovazione*, 2023, 1, pp. 18-19.

Analysis and perspectives on water stress reduction: territorial implications and innovative approaches. – Ensuring water sustainability through technological innovation is crucial, especially for groundwater, a vital component linked to the hydrological cycle. It plays a pivotal role in supplying drinking water for various purposes, including agriculture and industry. Climate change pose significant threats to groundwater conservation, raising concerns about both quantity and quality with significant socio-economic implications. Effective preservation requires hydrogeological monitoring of underground basins, coupled with dynamic water balance modelling to provide predictive insights. These modern tools are essential for proper physical resource management. Implementing innovative technologies and strategic political and management planning for underground aquifers are imperative for initiating a robust program to mitigate risks and achieve a sustainable balance for this precious resource.

Keywords. – Water stress, Innovative technologies, Territorial implications

Università degli Studi di Napoli Parthenope, Dipartimento di Studi Economici e Giuridici

caterina.nicolais@uniparthenope.it