

SOSTENIBILITÀ DELLA RISORSA ACQUA: UN APPROCCIO APPLICATIVO PER LA REGIONE PUGLIA

Tiziana Crovella¹, Annarita Paiano², Giovanni Lagioia³

SOMMARIO

Il benessere e la sostenibilità di una regione si raggiungono anche attraverso l'utilizzo corretto delle risorse naturali a disposizione, tra le quali quella idrica. Attualmente, l'agricoltura consuma il 70% delle risorse idriche mondiali. L'obiettivo generale del presente lavoro è fornire alcune indicazioni per la previsione di scenari razionali e sostenibili della risorsa idrica in agricoltura, partendo da un'applicazione per l'area regionale pugliese ed analizzando i consumi associati ad alcune colture tradizionali. Attraverso la metodologia della *Water Footprint*, teorizzata da Hoekstra *et al.* nel 2011, è stato calcolato l'impatto idrico associato all'olivo, al pomodoro e all'uva. Successivamente, attraverso una mappatura della risorsa acqua, invece, è stata condotta una quantificazione delle disponibilità idriche e dei volumi erogati dai consorzi di bonifica responsabili dell'approvvigionamento del 30% delle aziende agricole pugliesi. Questo studio presenta alcuni spunti per la progettazione futura di modelli innovativi di utilizzo razionale della risorsa idrica, è replicabile e permette di fornire alcune indicazioni a supporto delle policy e delle azioni che i decisori pubblici e i differenti stakeholder della filiera agricola devono assumere al fine di condurre l'agricoltura pugliese verso una completa sostenibilità e circolarità.

Keywords: Agricoltura, Risorsa Acqua, Sostenibilità, Economia Circolare, Puglia.

JEL classification: N5, Q25, E21, Q01, O18, R58.

¹ Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento, di Economia, Management e Diritto dell'Impresa, Bari, e-mail: tiziana.crovella@uniba.it; titty.crovella@gmail.com (corresponding author). MoDEC Apulia Programme 13/16.

² Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento, di Economia, Management e Diritto dell'Impresa, Bari, e-mail: annarita.paiano@uniba.it

³ Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento, di Economia, Management e Diritto dell'Impresa, Bari, e-mail: giovanni-lagioia@uniba.it

1. Introduzione⁴

Il tessuto economico pugliese è composto da più di 80.000 imprese attive nel commercio, seguito da più di 77.000 imprese coinvolte in agricoltura, silvicoltura e pesca e da almeno 26.000 imprese operanti nel settore delle costruzioni (Banca D'Italia, 2019). In termini di PIL, la Puglia presenta un'incidenza del 4,3% di valore aggiunto dell'agricoltura, silvicoltura e pesca sul valore aggiunto totale nazionale. Analizzando, invece, l'incidenza del valore aggiunto agricolo sul valore totale delle diverse province pugliesi si osserva che il contributo più alto è dato dalla provincia di Foggia (8,4%), seguita dalle province di Brindisi (5,1%), Taranto (4,8%) e BAT (3,9%); tra le ultime le province di Bari (2,6%) e di Lecce (2,4%) (CREA, 2020).

La Puglia, in base ai dati disponibili del Bilancio Idrico Irriguo, per soddisfare le esigenze delle imprese agricole utilizza un volume di acqua a fini irrigui pari a circa 2800 m³/ha (BII, 2015), detenendo circa il 10% di tutta la superficie irrigata nazionale (FAO, 2020).

La Superficie Agricola Utilizzata (SAU) pugliese risulta essere irrigata maggiormente da pozzi (79%), per il 20% da impianti consortili e per l'1% da altre fonti. Inoltre, è stato rilevato che il 51% delle aziende agricole pugliesi utilizza acque sotterranee all'interno o nelle vicinanze dell'azienda (ISTAT, 2012) e il 77% di queste ultime sono diffuse maggiormente nella provincia di Brindisi.

Tuttavia, è stato calcolato che il 30% delle aziende agricole pugliesi utilizza acqua consortile, di bonifica o di ente irriguo; di cui 21% con consegna a domanda e il 9% con consegna a turno. In particolare, le aree con il maggior consumo di acqua risultano essere la Piana del Tavoliere, l'Arco Ionico e il Sud-Barese. È chiaro che l'agricoltura, utilizzando, tra le risorse naturali, maggiormente quella idrica, merita di essere analizzata anche alla luce dei necessari modelli di Economia Circolare da pianificare (Crovella *et al.*, 2020). Soprattutto, l'approvvigionamento idrico è da molti anni diventando un fattore sociale, economico ed emergenziale in Puglia, principalmente a causa dell'aumento della domanda idrica, della mancanza di pratiche gestionali sostenibili, della diminuzione delle precipitazioni medie (WHO, 2007). Infatti, ancora oggi è abbastanza noto che questa regione si presenta, al pari del passato, come un territorio a vocazione agricola caratterizzato da importanti fenomeni di siccità (Crovella *et al.*, 2020).

Considerando la regione Puglia, a sud dell'Italia, area particolarmente soggetta ai cambiamenti climatici e caratterizzata da fenomeni di siccità - al pari dei diversi Paesi dell'area Mediterranea - abbiamo valutato la tipologia di influenza che subisce la risorsa idrica rispetto agli utilizzi ai fini agricoli. A tal fine, partendo da alcune colture tipiche, abbiamo analizzato il consumo di risorsa idrica seguendo la metodologia della *Water Footprint*.

La novità di questo studio ricade in una valutazione basata su un indicatore di sostenibilità teorizzato da Hoekstra *et al.* (2011), regolamentato dalla ISO 14046:2014 (ISO/TC 207/SC5, 2014), replicabile e con lo scopo di fornire alcune informazioni quantitative relativamente all'uso di acqua utili a programmare in maniera sistemica il consumo di risorsa idrica per alcune colture tipiche nella regione Puglia.

L'importanza di ricerche condotte applicando la metodologia della *Water Footprint* è confermata anche da Nouri *et al.* (2019): gli autori sottolineano come l'attuazione delle migliori pratiche di risparmio idrico in agricoltura possa ridurre i valori delle componenti di *Water Footprint* associate alle colture e alleviare la scarsità di acqua blu. Pertanto, dovrebbero essere incoraggiate maggiormente analisi di questo genere, le quali considerano le caratteristiche territoriali come elemento chiave per valutare il consumo di risorsa idrica.

Si evidenzia che l'acqua rappresentando una risorsa fondamentale per il fabbisogno umano, lo sviluppo economico e per la gestione dei servizi ecosistemici sostenibili (UNEP, 2009), è fondamentale attuare una corretta gestione delle risorse idriche, conducendo riciclaggio e riutilizzo, anche al fine di applicare un approccio un di Economia Circolare. Conseguentemente, l'adozione di pratiche di gestione efficiente delle risorse idriche nel settore agricolo attraverso il riutilizzo sicuro delle acque reflue (Voulvoulis, 2018), ridurrebbe il consumo di questa risorsa naturale.

⁴ Lavoro svolto da Tiziana Crovella: introduzione, strategia empirica (dati, metodologia) e risultati. Annarita Paiano: introduzione, discussioni, conclusioni. Giovanni Lagioia: Bibliografia e Background Teorico.

A tal fine, quindi, per affrontare al meglio l'approccio di Economia Circolare nella gestione idrica del settore agricolo, abbiamo valutato la risorsa idrica nella Regione Puglia per progettare, in studi futuri, un modello circolare di uso delle acque reflue.

Lo scopo di questa ricerca è quello di contribuire a una migliore comprensione del tema della sostenibilità degli approvvigionamenti idrici per l'agricoltura presentando indicatori e strumenti da utilizzare anche a diverse scale territoriali di analisi e non solo regionali o locali.

Questo lavoro è proposto nell'ambito della sezione "Benessere, sostenibilità e sviluppo locale" per il topic "Sviluppo sostenibile e green economy" della XLII Conferenza Italiana di Scienze Regionali.

Pertanto, attraverso questo paper si vuole presentare un contributo per conoscere meglio la questione della sostenibilità degli approvvigionamenti idrici per l'agricoltura pugliese utile alla comunità scientifica e agli stakeholder di settore, tra cui le pubbliche amministrazioni e gli agricoltori.

2. Background teorico

La precedente introduzione ha sottolineato come la vulnerabilità della risorsa acqua meriti di essere costantemente analizzata con lo scopo di fornire strumenti utili anche agli stakeholder di settore. Per questo motivo, tra le metodologie disponibili per la comunità scientifica, l'indicatore materiale della *Water Footprint* rappresenta uno strumento chiave alla valutazione dello stress idrico associato alle attività umane. Il concetto è stato introdotto per la prima volta nel 2002 da Hoekstra (Hoekstra e Chapagain, 2007) e secondo Amicarelli *et al.* (2011) "*traduce il consumo umano in uso delle risorse idriche naturali in m³/a*". Corrisponde, quindi, al concetto di acqua virtuale definita come il volume di acqua necessaria per produrre un bene o un servizio in tutta la sua filiera.

Tra i principali studi della metodologia della *Water Footprint* quello di Mekonnen e Hoekstra nel 2011 nel quale vengono presentati i risultati della quantificazione delle tre componenti di *Water Footprint*, verde, blu e grigia, per la produzione agricola globale di 26 colture nel periodo 1996-2005. Gli autori affermano che a livello globale la componente blu registra valori più alti nei paesi caratterizzati da un'elevata scarsità d'acqua. Inoltre, utilizzando un modello di bilancio idrico dinamico giornaliero del suolo e delle condizioni climatiche, gli autori hanno stimato anche i valori di inquinamento idrico associato all'uso di fertilizzanti azotati nella produzione agricola. Per le operazioni di quantificazione dell'evapotraspirazione di altre 20 colture minori gli autori hanno utilizzato il modello CROPWAT (CW) della FAO. Questo approccio di valutazione attraverso il tool della FAO ha rappresentato - per il presente studio - una solida base metodologica per quantificare la *Water Footprint* delle tre colture maggiormente rappresentative del tessuto agricolo pugliese.

Successivamente allo studio di Mekonnen e Hoekstra (2011), Ventrella *et al.* (2015) hanno stimato il consumo dell'acqua verde e blu per il grano duro invernale coltivato nel Sud Italia, prima nella coltivazione con irrigazione e poi senza. Altri studiosi, invece, come Casella *et al.* (2019) attraverso utilizzato in combinazione la metodologia *Water Footprint* e lo strumento GIS (Geographic Information Systems), per stimare il consumo di acqua utilizzata per alcune colture in un bacino idrografico pugliese.

In alcuni lavori, diverse le applicazioni di *Water Footprint Grey*: dalla possibilità di determinazione della contaminazione da nitrati nelle acque sotterranee pugliesi (Serio *et al.*, 2018), alla valutazione dei programmi di monitoraggio dell'inquinamento. È stata anche condotta una valutazione comparativa dei diversi sistemi agronomici di olivicoltura attraverso la metodologia *Water Footprint* (Pellegrini *et al.*, 2016) e nello specifico alcuni studiosi hanno analizzato la produzione di olio d'oliva in Spagna nel 1997-2008 (Salmoral *et al.*, 2010).

Si tratta di diversi lavori con l'applicazione differenti di *Water Footprint* ma con un unico comune denominatore: valutare il consumo della risorsa idrica in agricoltura per contrastare anche i problemi di siccità.

Alcuni studi sull'utilizzo dell'acqua (Brinzan *et al.* 2020) incoraggiano l'uso di acqua provenienti da fonti alternative perché, come sostengono Shan *et al.* (2021), l'intensificarsi della siccità idrologica è legata anche all'eccessivo prelievo di acqua per l'irrigazione dalle fonti disponibili in un'area regionale, come potrebbero

essere i consorzi di bonifica. I risultati dello studio evidenziano, infatti, che l'eccessivo prelievo di acque sotterranee può aumentare la siccità idrologica con notevoli ripercussioni ambientali.

Pertanto, il riutilizzo delle acque reflue trattate rappresenta una pratica sostenibile attuabile dalle politiche di gestione della risorsa acqua in agricoltura (Saliba *et al.*, 2018), garantendo il passaggio da un consumo lineare a uno circolare e la protezione dell'ambiente (Lopez e Vurro, 2008).

In un nostro precedente studio è stato evidenziato che i prelievi dalle fonti consortili sono maggiormente controllabili, rispetto all'utilizzo di pozzi e risorse private e permettono di ridurre lo stress idrico della falda ad esse associato (Crovella *et al.*, 2020). Infatti, l'utilizzo delle acque reflue, potrebbe ridurre di più di 1/3 la richiesta di acqua ai consorzi e, quindi, ridurrebbe anche i costi associati all'utilizzo di tale risorsa.

Pertanto, si è deciso di presentare questa indagine a scala regionale, essenziale per comprendere le motivazioni che inducono oggi a passare da un'agricoltura tradizionale ad una maggiormente sostenibile e circolare, capace di conservare la fertilità del suolo nel tempo, registrare consumi minori quantità di risorse naturali, soprattutto nel settore della produzione di olivo, pomodoro e uva - colture maggiormente rappresentative della Puglia - preservandone sempre il rendimento, la qualità e la sicurezza della filiera agroalimentare.

In conclusione possiamo affermare che, dopo aver riscontrato anche una carenza di applicazioni dell'indicatore della *Water Footprint* per colture condotte su aree regionali, per colmare questo divario abbiamo deciso di fornire un'applicazione di suddetta metodologia per quantificare i valori di tutte e tre le componenti di *Water Footprint* per alcune colture tipiche della regione Puglia. Si tratta di uno studio replicabile che contiene anche una stima delle risorse idriche utilizzate a fini irrigui e una proposta di riuso di acqua per rispondere agli obiettivi di Economia Circolare.

3. Strategia empirica

3.1 I dati e il contesto geografico

La regione Puglia (Fig.1), a sud-est della penisola italiana, confinante con il mare Adriatico e il mare Ionio, si caratterizza per la presenza di montagne basse situate nel subappennino Dauno e nel promontorio del Gargano in provincia di Foggia, l'altopiano della Murgia che si estende su una superficie di 4000 km² nelle province di Barletta -Andria-Trani e Bari, e la piana del Tavoliere, seconda pianura più estesa d'Italia su 3000 km² nella parte centro-meridionale della provincia di Foggia.

La maggior parte della regione è caratterizzata da piccole pianure con moderata collina, situate all'interno delle province della subregione salentina (Brindisi, Taranto e Lecce). Inoltre, la regione si caratterizza per la prevalente presenza di formazioni calcaree, argillose e dolomitiche lungo la regione e depositi eolici lungo l'Arco Ionico-Tarantino in provincia di Taranto (Di Nunno e Granata, 2020).

Figura 1 - Carta della Puglia. Scala: 1:4000000



Fonte: SIT Puglia (2021)

Per lo studio sono state considerate le colture maggiormente rappresentative (Tab. 1), tra le quali il girasole con quasi il 50% di crescita negli ultimi 5 anni, le mandorle e l'anguria che registrano il 25% di aumento, seguite da pesca e clementine. Tra queste, ci siamo soffermati, in particolare, su olivo, pomodoro e uva, colture tipiche dell'area mediterranea e non solo pugliese e maggiormente interessante anche da fenomeni di esportazione.

Tabella 1 – Colture maggiormente rappresentative della Puglia (2016-2020)

Colture	2016	2017	2018	2019	2020	Produzione Media Annuale	Variazione Percentuale 2016-2020
Mandorle	22.355	27.510	27.217	29.503	27.903	26.898	+ 24,8
Clementine	143.470	123.726	123.488	123.593	146.065	132.068	+ 1,8
Uva	2.034.590	1.936.170	2.118.225	2.097.150	2.010.153	2.039.264	- 1,2
Pesca	20.615	21.315	21.468	21.300	21.730	21.286	+ 5,4
Olivo	758.650	907.374	573.860	774.600	692.500	741.397	- 8,7
Cipolla	41.173	41.050	39.650	41.698	40.110	40.736	- 2,6
Girasole	2.522	3.715	3.872	3.733	3.735	3.515	+ 48,1
Pomodoro	1.927.550	1.739.236	1.663.650	1.621.255	1.576.655	1.705.669	- 18,2
Anguria	78.850	89.630	71.650	99.200	99.125	87.691	+ 25,7

Fonte: nostra elaborazione su dati provenienti dal database Istat (2020, 2021)

Il pomodoro, nome scientifico *Solanum lycopersicum*, rappresenta oggi uno dei più importanti ortaggi nel mondo e la sua richiesta è notevole (Peixoto *et al.*, 2017) anche in termini di esportazione. In Puglia si coltivano diverse varietà di pomodoro, di cui le principali sono sanguigna, patata a foglia, mela San Severo, Panni sole, Panni allungati, serbi, tipo piatto marino, Barletta e Manduria (Biodiverso, 2020).

L'olivo e i suoi derivati, invece, rappresentano uno dei settori più importanti della filiera dell'agroindustria europea e italiana agroindustria (Pattara *et al.*, 2016). Le cultivar più presenti nel territorio pugliese sono Coratina, Cellina di Nardò, Ogliarola Bari, Bella di Cerignola e Sant'Agostino. La terza coltura considerata è

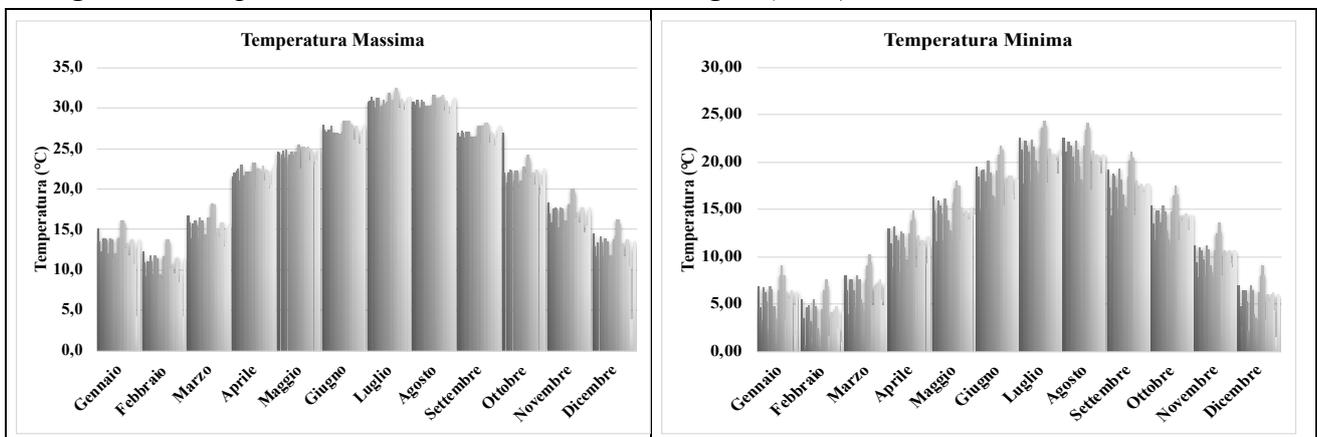
l'uva con più di 300 varietà di uva da vino. I vitigni da tavola, invece, maggiormente coltivati in Puglia sono Italia, Victoria, Red Globe, Regina Bianca, Palieri, seguite da cultivar senza semi (senza semi o senza semi) come Crimson seedless e Superior senza semi (Sugraone).

Per l'applicazione della metodologia della *Water Footprint* sono stati considerati i dati pedoclimatici della Puglia e un set di dati di informazioni mensili afferenti all'anno 2018, ottenute consultando i Bollettini Pluviometrici pubblicati dalla Protezione Civile della Regione Puglia (2019). È stato considerato un campione di 20 stazioni meteorologiche del territorio regionale.

Il set di dati è costituito dalla temperatura (Fig. 1) massima e minima, umidità relativa (UR) come mostrato in Fig. 2, velocità del vento (vv) e precipitazioni (p) (Fig. 3). I valori mensili sono stati utilizzati per calcolare la media annuale di valori per tutti i parametri.

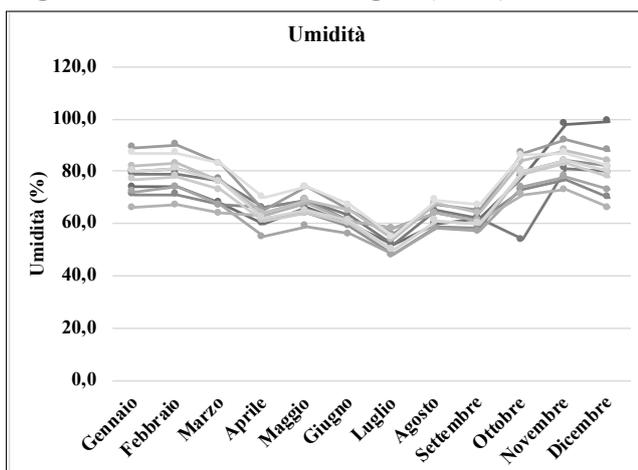
Le temperature massime (Fig.1) sono state registrate principalmente da giugno ad agosto e in questi mesi la maggior parte delle stazioni campione ha rilevato poche quantità di pioggia.

Figura 2 - Temperature massime e minime della Puglia (2018) in °C



Fonte: nostra elaborazione su dati provenienti dal database Regione Puglia (2019)

Figura 3 - Umidità della Puglia (2018) in %

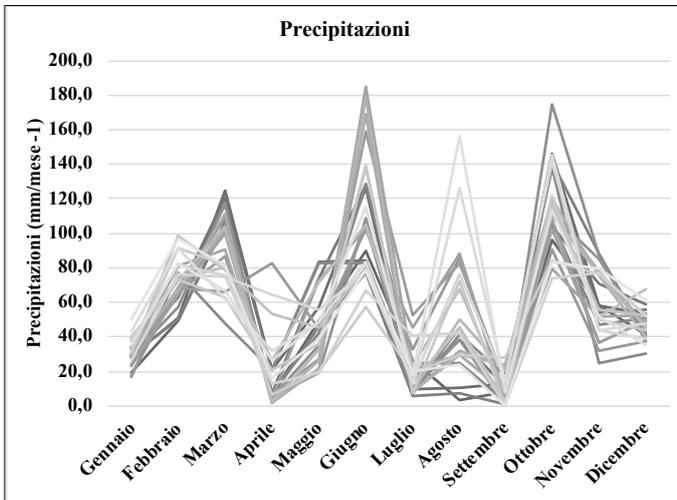


Fonte: nostra elaborazione su dati provenienti dal database Regione Puglia (2019)

L'effetto combinato tra poche precipitazioni ed aumento della temperatura, soprattutto in alcuni mesi, crea problemi di siccità in agricoltura. Nel periodo di picco, da ottobre a gennaio, invece, sono state registrate molte precipitazioni (Fig. 4). Questo perché la Puglia essendo una regione a distribuzione non uniforme di risorsa

idrica, soprattutto durante l'estate si rileva maggiore evapotraspirazione e precipitazioni inferiori (Vanino *et al.*, 2007).

Figura 4 - Precipitazioni della Puglia (2018) in mm/mese⁻¹



Fonte: nostra elaborazione su dati provenienti dal database Regione Puglia (2019)

Le ore di sole medie al mese sono comprese da un minimo di 9 ore a gennaio a 15 ore massimo in giugno e luglio.

Dal punto di vista pedologico, invece, secondo la relazione di ENEA (2008) il suolo della regione Puglia è classificabile in quattro grandi gruppi viste le particolari caratteristiche tassonomiche e morfologiche. Nel primo gruppo si fa riferimento ai suoli con orizzonte argillico e petrocalcico, prevalentemente presenti sui depositi pleistocenici del Tavoliere di Foggia; nel secondo gruppo entrano le “terre rosse” originatesi dai calcari cretacei o dalle calcareniti plio-pleistoceniche, diffusi principalmente nella provincia di Bari; il terzo gruppo è caratterizzato da suoli con orizzonte argillico e potente orizzonte eluviale, diffusi principalmente sulle calcareniti plio-pleistoceniche del Salento; infine, si giunge ai suoli dei depositi marini terrazzati dell’arco ionico tarantino ascrivibili alle diverse ingressioni marine pleistoceniche.

3.2 La metodologia Water Footprint e il modello

Per calcolare il consumo di acqua delle tre colture pugliesi individuate (olivo, pomodoro e uva) è stato utilizzato l'indicatore di *Water Footprint* (impronta idrica) di Hoekstra *et al.* (2011) secondo il quale:

$$\text{Water Footprint} = \text{Blue Water} + \text{Green Water} + \text{Grey Water} [1]$$

Secondo la definizione del Ministero della Transizione Ecologica “l'impronta idrica è un indicatore del consumo di acqua dolce che include sia l'uso diretto che indiretto di acqua da parte di un consumatore o di un produttore”. Quindi, la procedura di contabilizzazione di tale risorsa, definito “*water footprint assessment*” consiste in quantificazione e localizzazione dell'impronta idrica di un prodotto o di un processo nel periodo di riferimento, valutazione della sostenibilità ambientale, sociale ed economica dell'impronta idrica, individuazione delle strategie di riduzione della stessa (Ministero della Transizione Ecologica, 2015).

Secondo la definizione di Hoekstra *et al.* (2011) la *water footprint* e la formula [1] è dato dalla somma di tre componenti: *blue water* (acqua blu), che si riferisce al prelievo di acque superficiali e sotterranee destinate ad un utilizzo per scopi agricoli, domestici e industriali; *green water* (acqua verde), che rappresenta il volume di acqua piovana e si riferisce principalmente all'acqua evapotraspirata per un utilizzo agricolo; *grey water* (acqua grigia), che rappresenta il volume di acqua inquinata, quantificata come il volume di acqua necessario per diluire gli inquinanti al punto che la qualità delle acque torni sopra gli standard di qualità.

Lo studio, pertanto, ha considerato le tre componenti, blu, verde e grigia per le tre colture pugliesi individuate, con l'obiettivo finale di quantificare l'impronta idrica totale, come somma di queste componenti.

L'analisi è stata condotta in conformità alla normativa dell'International standard Organization (ISO) 14046:2014 (ISO/TC 207/SC5, 2014), utilizzo di 1 tonnellata di prodotto, ad es. 1 tonnellata (t) di pomodoro, come unità funzionale per la quantificazione delle tre componenti.

L'impronta idrica verde [2] si indica con WF_{green} , m^3/t è calcolata dividendo il consumo idrico della coltura verde (CWU_{green} , m^3/ha) per la resa del raccolto (Y , t/ha)

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad [2]$$

Parallelamente, l'impronta idrica blu [3] si indica con WF_{blue} , m^3/t e si calcola dividendo il consumo idrico della coltura (CWU_{blue} , m^3/ha) per la resa del raccolto (Y , t/ha).

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad [3]$$

Per calcolare il valori di CWU (*Crop Water Utilization*) è stato considerato il corrispondente effetto accumulativo di evapotraspirazione delle colture (ET_c , $mm/giorno$) secondo le equazioni [4] e [5].

$$CWU = CWR \frac{P}{Y} \quad [4]$$

$$CWR = 10 * \sum_{d=1}^{lgP} ET_c \quad [5]$$

Con CWR che rappresenta il fabbisogno idrico della coltura (m^3/ha), P la produzione (t), Y la resa (t/ha) ed ET_c [6] il prodotto tra K_c , coefficiente di coltura correlato alla caratteristica delle colture, ed ET_0 , il riferimento alla evapotraspirazione calcolata in relazione alla condizione climatica.

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad [6]$$

Per l'impronta idrica grigia [7], invece, (WF_{grey} , m^3/t) abbiamo utilizzato l'equazione di Hoekstra *et al.*, (2011) dove L rappresenta il carico inquinante, C_{max} è la concentrazione massima accettabile di fertilizzante (massa/volume), C_{nat} è la concentrazione naturale del corpo ricevente (massa/volume).

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad [7]$$

Il valore di *Water Footprint* totale si riferisce, quindi, alla somma delle tre componenti, verde, blu e grigio.

Per calcolare ET_c [6], abbiamo utilizzato il modello CW 8.0 (FAO, 2018): si tratta di un software sviluppato dalla FAO per il calcolo dei valori di evapotraspirazione, dopo aver creato il database con i dati climatici descritti nel paragrafo precedente e le caratteristiche del suolo.

Invece, i coefficiente di coltura (K_c) sono stati estratti da Allen *et al.* (1998), Giuliani *et al.* (2016) i dati pedologici (K_e) da Batjes (1997) per i valori massimi di umidità del suolo e da Allen *et al.* (1998) i valori di profondità massima di radicazione, entrambi utilizzati per la quantificazione della CW per le singole colture analizzate.

I valori di K_c sono stati utilizzati per il calcolo della CW di ET_c utilizzando i dati climatici mensili. Pertanto, per ogni coltura individuata è stata calcolata la CWU (verde e blu) e di conseguenza la *Water Footprint* (verde e blu).

Per il calcolo del WF_{grey} abbiamo fatto considerato i fertilizzanti azotati, ipotizzando un tasso di lisciviazione del 10%. Inoltre, per il valore di C_{max} abbiamo considerato una concentrazione massima di azoto ammissibile a livello europeo pari a 11,3 mg/L.

3.3 Prospettive di Economia Circolare per la risorsa acqua

Attraverso i dati del Bilancio Idrico Irriguo regionale (BII, 2015) abbiamo condotto una mappatura delle disponibilità idriche, sia pubbliche (acqua da consorzi o da bacini regionali) che private (acqua da pozzi, acque sotterranee o sorgenti utilizzando mezzi privati di prelievo), nonostante una limitazione dovuta al non aggiornamento dei dati e alla non facile reperibilità.

Per brevità e a titolo esemplificativo ci siamo soffermati sulle infrastrutture idriche consortili che in Puglia alimentano il 30% delle imprese attive in agricoltura.

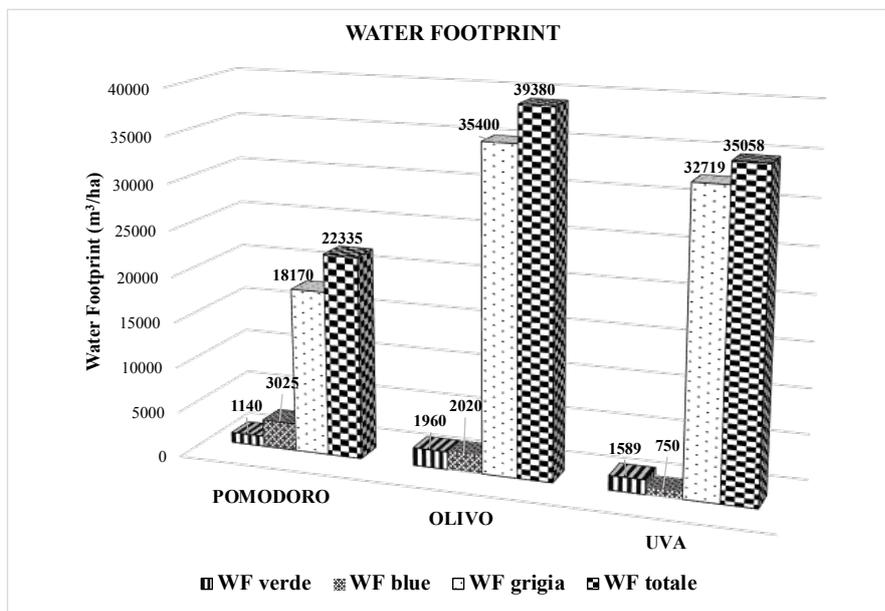
Successivamente, sono state analizzate le colture, la cui richiesta irrigua incide maggiormente su questi consorzi. Infatti, attraverso alcuni dati di campionamento forniti da RICA (2020) su circa 200 aziende osservate, è stato riscontrato che uno dei settori dell'agroindustria europea e parallelamente pugliese maggiormente responsabile del consumo idrico è quello dell'olivicoltura: in media consumo 1832 m³/t di acque verdi, 215 m³/t di acque blu e 3 m³/t di acque grigie (FAO, 2020).

Infine, è stato analizzato l'impiego delle acque reflue in Puglia. Per condurre questo studio, sono stati utilizzati diversi database e fonti bibliografiche: data warehouse ISTAT e FAO, rapporti della Banca d'Italia, Bilancio Idrico Irriguo (BII) della Puglia e letteratura scientifica di settore.

4. Risultati

I risultati ottenuti in seguito all'elaborazione dei dati attraverso il modello CW 8.0 (2018) della FAO contenuti nella Figura 5 evidenziano che la componente grigia dei pomodori presenta il valore più alto, pari all'81,35%, rispetto alla componente verde (5,11%) e alla blu (13,54%).

Figura 5 - *Water Footprint per pomodoro, olivo e uva (Puglia, 2018)*



Fonte: nostra elaborazione su dati provenienti dal CW 2.0 (FAO, 2018)

Anche le olive presentano una componente grigia maggiore (89%), rispetto alle componenti blu e verde rispettivamente superiori del 5%.

Analogamente i risultati ottenuti per l'uva presentano una componente grigia pari 93%, componente verde pari al 5% e blu al 2%.

Inoltre, a livello regionale, le olive presentano l'impatto maggiore, superiore a 39.000 m³/ha in termini di *Water Footprint* totale, seguite dall'uva e pomodori, rispettivamente con valori pari a 35.000 m³/ha e 22.000 m³/ha.

Per proporre, invece, dei suggerimenti da considerare per progettare modelli di Economia Circolare siamo partiti quantificando le disponibilità idriche consortili che in Puglia (Tab. 2), il 30% delle aziende agricole operanti sul territorio regionale utilizza acqua dei 6 consorzi presenti in Puglia e/o acqua dell'ente irriguo regionale ARIF (Agenzia Regionale per le attività irrigue e forestali).

Mediamente in un anno i consorzi erogano circa 166 milioni di m³ di acqua comprese le risorse dei pozzi gestiti dall'ARIF (Tab. 2). Si tratta di acqua, in misura maggiore, derivante da pozzi ed invasi. Come si evince dalla Tab. 2, il Consorzio di Bonifica della Capitanata con una estensione di 4,42 milioni di ha erogato il 60% dei volumi di risorsa idrica presenti in Puglia, pari a più di 100 milioni di m³/anno, in tal modo riuscendo a soddisfare il 58% del fabbisogno medio irriguo (Fig.6). Seguono Stornata e Tara con circa 40 milioni di m³/anno, il consorzio Terre d'Apulia poco più di 12 milioni di m³/anno, circa 1,3 milioni di m³/anno sono erogati da Ugento li Foggi; per ultimi il consorzio Arneo, con poco meno di 500 mila m³/anno e del Gargano che eroga circa 190 mila m³/anno (Crovella *et al.*, 2020).

Tabella 2 - Volumi medi erogati dai singoli sub-comprensori

Consorzio di Bonifica	Sub-comprensorio	Tipologia	Volumi irrigui (m ³ /anno)	Fabbisogno medio Irriguo SUP(m ³ /anno)
del Gargano	Rodi-Vico	Sorgente	178099	1029381
	Cagnano-Capino-Ischitella	Pozzi	8467	
	S. Luca - Vieste	-	-	
della Capitanata	Nord-Fortore	Invaso	24459073	186897367
	Sud-Fortore	Fluente/ Invaso	38599260	
	Ofanto		36993408	
Terre d'Apulia	Minervino Alto	Invaso	3842750	20498187
	Loconia	Fluente	7875571	
	Litorale Barese	Pozzi	672454	
Stornara e Tara	Sinni Vidis	Invaso	16924432	54151804
	Sinni Mataponto	Invaso	6173696	
	Uno Sinistra Bradano	Invaso	16657206	
Arneo	25 distretti	Pozzi	498373	15215811
Ugento Li Foggi	35 distretti	Pozzi/ Depuratore Gallipoli/ Sorgente Idume	1289079	6469136
ARIF	Bari Murgia		2053578	37739849
	Bari Nord e BAT		2595103	
	Bari Sud		1082679	
	Bari Sud Est	Pozzi	4867881	
	Lecce		434892	

Brindisi
Taranto

49799
716514

Totale

165972314

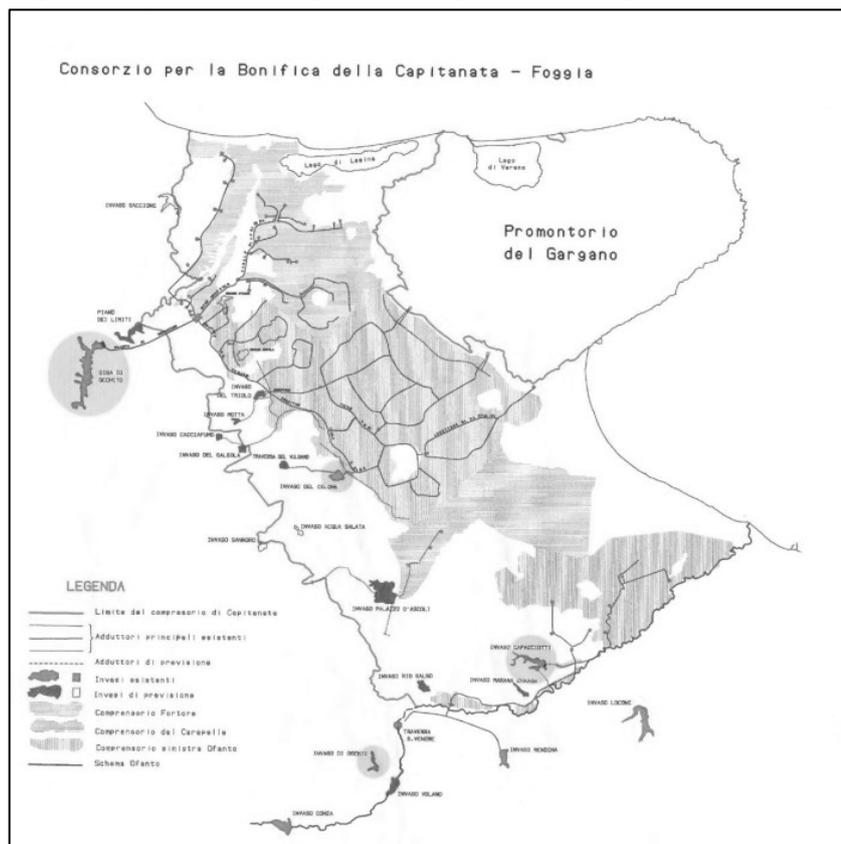
Fonte: nostra elaborazione su dati provenienti dal database BII (2015)

Infine, per presentare alcuni spunti sul riuso di acqua in agricoltura e rispondere alla necessaria transizione verso un'Economia Circolare, è stato stimato che una città di 100.000 abitanti sversa annualmente una media di 7 Mm³ di acqua nella fognatura (Regione Puglia, 2016); pertanto, in proporzione, la Puglia, con circa 4 milioni di abitanti, ne genera almeno 282 Mm³ all'anno.

Considerando che ad oggi il tasso di acque reflue depurate da utilizzare ammonta solo al 5% del totale di acque sversate, se tutti i depuratori installati dovessero funzionare a pieno regime e a scopo irriguo, la disponibilità annua di acque reflue depurate aumenterebbe sino a 116 Mm³ (Zotti, 2020), con un tasso di utilizzo pari al 41% del totale.

Inoltre, considerata la quantificazione delle risorse idriche utilizzate secondo la quale i consorzi di bonifica forniscono 166 Mm³/anno di acqua (BII, 2015), il riutilizzo delle acque reflue per scopi irrigui potrebbe ridurre la domanda a tali enti del 70%, generando anche un notevole risparmio di risorse economiche per gli agricoltori, pari a circa 7 milioni di € l'anno (Regione Puglia, 2016).

Figura 6 - Il Consorzio per la Bonifica della Capitanata



Fonte: Bonifica Capitanata (2021)

Tuttavia, se a livello regionale sono recuperabili circa 60 milioni di m³/anno di acque reflue a scopi irrigui Colucci (2014), considerato che i Consorzi erogano 166 milioni di m³/anno di risorsa idrica, il riutilizzo delle acque reflue per irrigazione permetterebbe di ridurre la richiesta a tali consorzi del 36% e a far risparmiare anche notevoli risorse economiche alle stesse imprese agricole.

Inoltre, ad oggi per la Puglia sono stati previsti 63 depuratori con il programma di finanziamento 2007-2013 e 23 con la programmazione 2014-2020: la presenza di questi depuratori consentirebbe un risparmio economico per gli agricoltori di circa 7 milioni di euro l'anno (Regione Puglia, 2016).

5. Discussioni

Si sottolinea una discrepanza tra i valori delle componenti di *Water Footprint* su scala nazionale (Water Footprint Toll, 2020) rispetto a quelli regionali. A livello nazionale la componente più consistente è rappresentata dalla componente verde, quella grigia, invece, mostra il maggior peso in Puglia. Come suggerito da Zotou e Tsihrintzis (2017) se è stato utilizzato un valore di concentrazione naturale di inquinanti maggiore di zero, il valore della resa diminuisce, quindi si verifica un valore molto alto della componente grigia. Inoltre, dopo aver analizzato la coltivazione delle colture irrigate con acqua piovana, queste presentano una componente grigia di *Water Footprint* maggiore rispetto a alle colture che utilizzano sistemi irrigui. Anche per la Spagna Chico *et al.* (2010) hanno calcolato una componente grigia per i pomodori pari all'84% del valore totale di *Water Footprint*.

Peraltro, è stato rilevato in uno studio precedente che, attraverso la metodologia della *Water Footprint* è stata effettuata una stima diretta e indiretta del consumo di acqua necessaria per la produzione di un determinato prodotto delle colture dell'agricoltura pugliese per l'anno 2016. È stato rilevato il maggior impatto per la viticoltura (44776 m³/ha), seguito dall'olivicoltura (40270 m³/ha) e dal settore di produzione dei pomodori (25520 m³/ha) (Russo, 2016). Si tratta di valori confrontabili con quelli ottenuti nella nostra valutazione e le differenze potrebbero essere attribuite ai differenti valori pedoclimatici e ai campionamenti registrati nell'anno considerato.

Dal punto di vista strettamente della componente grigia, invece, come affermato anche da Jarmain *et al.* (2020), al fine di ottenere frazioni di lisciviazione del suolo più accurate per diverse colture e diversi livelli di inquinamento, sono necessarie ulteriori ricerche anche per studiare l'impatto della purificazione dell'acqua e altre strategie per diminuire il valore del componente grigia di *Water Footprint*.

Di contro, però, già trent'anni fa la FAO (1992) metteva in evidenza che le acque di scarico contenevano un importante contenuto di nutrienti, fino a 50 mg/L di azoto, 10 mg/L di fosforo e 30 mg/L di potassio utili per terreni agricoli.

Va sottolineato il problema della trasmissione del COVID-19 che potrebbe anche essere potenzialmente collegato alle acque reflue. Pertanto, anche nel riutilizzo delle acque reflue in agricoltura, i rischi associati con la pandemia di COVID-19 devono essere prese in considerazione (Katakya *et al.*, 2021).

Spostandoci sul riuso delle acque reflue come possibilità di riduzione dello stress della risorsa idrica, già nel 1991, la Direttiva Comunitaria 91/271, all'art.12 (Consiglio Europeo, 1991) invitava i Paesi membri a "riutilizzare, ogni qual volta lo si riteneva opportuno, le acque reflue trattate e a smaltire le stesse con il minimo impatto ambientale".

Successivamente, in Italia, nel recepimento di tali misure comunitarie, essendo la competenza sulla gestione delle acque reflue passata a livello regionale, la Regione Puglia ha emanato una serie di misure legislative per il riutilizzo delle acque reflue e, tra queste, la L.R. n.27/2008 (BURP, 2008), il Regolamento regionale n.8/2012 (BURP, 2012).

Pertanto, il riutilizzo delle acque reflue, come indicato dal R.R. n.8/2012 (BURP, 2012), ha diversi scopi da quello ambientale (ripristino e bilanciamento idrico delle zone umide), di irrigazione (delle colture, per la produzione di alimenti per consumo umano e animale, per irrigazione di aree urbane e/o industriali), urbano (pulimento manto stradale o fornitura per servizi igienici urbani) a quello industriale (per antincendio, pulimento e cicli termici industriali) (Crovella, *et al.* 2020).

Pertanto, per il futuro è auspicabile un maggior utilizzo di acque reflue soprattutto dalle aziende che insistono in questi settori e per determinate colture maggiormente rappresentative, tenuto conto anche dei valori di *Water Footprint* presentati con questo studio. Nonostante le varie previsioni di ottimizzazione

dell'uso della risorsa idrica, si evidenzia che la possibilità di riutilizzare le acque reflue non è scevra da problemi associati alla costruzione di infrastrutture e grandi opere, ai sistemi di gestione e infrastrutturali per la costruzione di bacini di contenimento, sebbene ci si auspichi almeno a livello comunitario che entro il 2030 le regioni possano dimezzare la percentuale delle acque non trattate e aumentarne l'uso per scopi irrigui.

In conclusione, tra le possibili indicazioni che si possono fornire per progettare modelli di Economia Circolare da attuare nel settore dell'agricoltura in Puglia e replicabili su tutto il territorio dell'area Mediterranea il riutilizzo delle acque reflue consentirebbe, in primis, di ridurre le condizioni di stress idrico della falda, una maggiore sostenibilità dei costi energetici e, soprattutto, eviterebbe un approvvigionamento autonomo e incontrollato da falda, preferendo un approvvigionamento più controllato dai Consorzi.

6. Conclusioni e future implicazioni

Attraverso i risultati ottenuti con la metodologia della *Water Footprint* e attraverso la quantificazione delle risorse idriche della Puglia è possibile fornire alcune indicazioni agli stakeholder della filiera agricola.

In primis, è chiaro che l'agricoltura, utilizzando tra le risorse naturali maggiormente quella idrica, merita di essere analizzata anche alla luce di futuri modelli di Economia Circolare da pianificare parallelamente alle tre diverse componenti di acqua virtuale, le quali incidono in maniera differente sul ciclo idrogeologico e considerando che il consumo di acqua verde (volume di acqua piovana che non contribuisce al ruscellamento superficiale) è quella che incide in misura minore sugli equilibri ambientali rispetto al consumo di acqua blu (prelievo di acque superficiali e sotterranee destinate a scopi agricoli).

A tal fine, l'indicatore di *Water Footprint* rappresenta lo strumento maggiormente idoneo a presentare una migliore e più ampia prospettiva su come il produttore – in questo caso l'agricoltore - influisca sull'utilizzo di acqua dolce. La *Water Footprint* rappresenta, pertanto, una misura del volume del consumo della risorsa acqua, utilizzata per fini antropici, come quelli del settore agricolo.

I risultati contenuti in questo paper evidenziano, pertanto, la significatività che alcuni indicatori ambientali in precedenza teorizzati hanno sulla gestione sostenibile dell'industria agroalimentare. In particolare, la valutazione effettuata attraverso l'indicatore di *Water Footprint*, congiuntamente all'utilizzo del modello CW della FAO, rappresentano una metodologia utile per misurare la quantità di acqua necessaria per la produzione delle colture e stimare possibili modelli produttivi maggiormente sostenibili.

Tuttavia, a livello regionale i risultati evidenziano per le olive il più alto valore di *Water Footprint* totale pari a 39.000 m³/ha, di uva pari a 35.000 m³/ha e pomodori pari a 22.000 m³/ha.

Appare evidente che le condizioni pedoclimatiche nonché i fattori naturali quali gelate e venti sono gli aspetti che influiscono maggiormente sull'andamento di ciascuna coltura, della sua *Water Footprint* e della variabilità dei valori nel tempo.

Tra i limiti si evidenzia inoltre che, a causa della grande variabilità dei dati, si possono ottenere grande variabilità dei valori di *Water Footprint* nei diversi paesi e, soprattutto, a livello regionale e ancora di più locale, non è semplice recuperare dati sulle pratiche agricole, in quanto non ancora efficacemente sistematizzate.

In aggiunta, la prospettiva di Economia Circolare attuabile nel settore agricolo pugliese per il riutilizzo delle acque reflue, permetterebbe di ridurre le condizioni di stress idrico dell'acquifero anche fino a oltre il 70%, aumentare la sostenibilità dei costi energetici e, soprattutto, eviterebbe un approvvigionamento autonomo e incontrollato da falda, attuando dai consorzi di bonifica un approvvigionamento più controllato.

Va sottolineato che la scelta di riutilizzare le acque reflue può porre problemi legati a sistemi gestionali e infrastrutturali per la realizzazione di bacini di contenimento. Tuttavia, a livello UE entro il 2030, si vorrebbe dimezzare la percentuale di acqua non trattata. Questo scenario sottolinea la necessità di prevedere un modello circolare di utilizzo della risorsa idrica per la Puglia, e non solo, in modo da trasformare la tradizionale e attuale agricoltura in un sistema agricolo circolare.

Inoltre, questa ricerca propone una risposta chiara e attuabile al 12-SDG - Sustainable Development Goal) (ONU, 2015) promossa dall'ONU, in quanto il settore agroalimentare rientra nelle attività che possono essere migliorate per ottenere un futuro più sostenibile e più pulito per il pianeta.

Inoltre, questi risultati forniscono informazioni utili per le parti interessate (agricoltori, pubblico, amministrazione ed eventualmente per i consumatori) consentendo loro di scegliere le opzioni più vantaggiose dal punto di vista dell'uso dell'acqua.

Infine, questa ricerca accresce la produzione scientifica su questo argomento e risponde all'obiettivo principale di promuovere l'accrescimento della *capacity building* attraverso la collaborazione tra università, enti di ricerca ed enti pubblici che si occupano di definire misure e politiche per l'utilizzo sostenibile delle risorse naturali in agricoltura.

In conclusione, l'analisi sin qui condotta in più fasi, è ascrivibile ad un più ampio e completo studio sulla previsione futura di Modelli di Economia Circolare per la Regione Puglia, di cui si presentano alcuni dei risultati preliminari ottenuti. I risultati confermano l'importanza degli studi che congiuntamente utilizzano strumenti ed indicatori già teorizzati con le banche dati disponibili rispetto ai consumi di risorsa idrica, col fine di condurre una mappatura delle disponibilità idriche e fornire possibili indicazioni previsionali a supporto delle azioni che i differenti stakeholder e decisori pubblici devono prendere a diversi livelli al fine di portare l'agricoltura pugliese verso ottimali livelli di sostenibilità e circolarità.

Pertanto, è auspicabile per una maggiore applicabilità degli indicatori e dei dati un coinvolgimento delle aziende del settore a partire dalle fasi censuarie e di aggiornamento dei dati e alla stretta collaborazione con tutti gli stakeholder pubblici e privati coinvolti nella filiera agricola per la progettazione di modelli innovativi di utilizzo razionale delle risorse naturali.

7. Riconoscimenti

Il presente lavoro è stato realizzato nell'ambito del Progetto MoDEC Apulia 13/16 – Modelli di Economia Circolare per una nuova Economia Regionale, finanziato dalla Regione Puglia – Adisu Puglia. Si ringraziano il Dott. Luigi Trotta, Dirigente, e la dott.ssa Anna Maria Cilardi, Funzionario, del Settore del Dipartimento Agricoltura, sviluppo rurale ed ambientale - Sezione Competitività delle filiere agroalimentari della Regione Puglia per la proficua collaborazione.

8. Bibliografia

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998), Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Drainage and Irrigation, 56, Food Agriculture Organization.
- Amicarelli, V., Lagioia, G., Gallucci, T., Dimitrova, V. (2011), The water footprint as an indicator for managing water resource: the case of Italian olive oil. *International Journal of Sustainable Economics*, 3, 4: 425-439. DOI: 10.1504/IJSE.2011.042797.
- Banca d'Italia (2019), *L'economia della Puglia. Aggiornamento congiunturale*. Bari, pp. 30. <https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/economie-regionali/2019/2019-0038/index.html>. (Ultimo accesso 01 settembre 2020).
- Batjes, N.H. (1997), A world dataset of derived soil properties by FAO - UNESCO soil unit for global modelling. *Soil Use Manage.* 13, 1: 9-16. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1997.tb00550.x>.
- BII (eds.) (2015), *Bilancio Idrico Irriguo – Vol. I, II, III*. Regione Puglia e Autorità di Bacino della Puglia. (<https://www.adb.puglia.it/public/news.php?item.344.9>). (Ultimo accesso 01 settembre 2020).
- Biodiverso (2020), *Biodiversità delle specie orticole della Puglia*. <https://biodiversitapuglia.it/webgis.php>. (Ultimo accesso 13 November 2020).

- Bonifica Capitanata (2021), *Carta del Consorzio di Bonifica della Capitanata* – Foggia. http://www.bonificacapitanata.it/wp-content/uploads/2016/05/schemi_idrici1.jpg (Ultimo accesso 21 Luglio 2021).
- Brinzan, O., Dragoi, M., Bociort, D., Tigan, E., Mateoc-Sirb, N., Lungu, M. (2020), A Market-Based Economic Instrument to Better Use Water in Agriculture. *Sustainability*, 12, 4. DOI: 10.3390/su12041473.
- BURP - Bollettino Ufficiale della Regione Puglia (2008), “Modifiche e integrazioni alla legge regionale 6 settembre 1999, n. 28 (Delimitazione degli ambiti territoriali ottimali e disciplina delle forme e dei modi di cooperazione tra gli enti locali, in attuazione della legge 5 gennaio 1994, n. 36)”. <https://trasparenza.regione.puglia.it/provvedimenti/decreti-del-presidente-della-giunta/101001>
- BURP - Bollettino Ufficiale della Regione Puglia (2012), Regolamento per l’uso dei beni del demanio pubblico di bonifica e di irrigazione della Regione Puglia dell’8 giugno. https://trasparenza.regione.puglia.it/sites/default/files/provvedimento_amministrativo/44728_12_08-06-2012_R_12_08_06_2012.pdf
- Casella, P., De Rosa, L., Salluzzo, A., De Gisi, S. (2019), Combining GIS and FAO’s crop water productivity model for the estimation of water footprinting in a temporary river catchment. *Sustainable Production and Consumption*, 17: 254-268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.11.002>.
- Chico, D., Salmoral, G., Llamas, M.R., Garrido, 751 A., Aldaya, M.M. (2010), The water footprint and the virtual water of exports of Spanish tomatoes. *Papeles de Agua virtual*, Madrid, 8. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/PAV8.pdf> (Ultimo accesso 23 Marzo 2021).
- Colucci, V. (2014), Wastewater reuse in Apulia: constraints and perspectives in “Wastewater and Biosolids Treatment and Reuse: Bridging Modeling and Experimental Studies”, *ECI Symposium Series*. http://dc.engcon.ntl.org/wbtr_i/43.
- Consiglio Europeo (1991), Direttiva Comunitaria 91/271 concernente il trattamento delle acque reflue urbane. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=IT>.
- CREA (2020), Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria. *L’agricoltura Pugliese conta 2020*. https://www.crea.gov.it/documents/20126/0/Agri_Pugliese_2020.pdf/7df6d1ff-2347-695a-c0b1-9ff99185e895?t=1585737303556 (Ultimo accesso, 21 Luglio, 2021).
- Crovella, T., Lagioia, G., Paiano A. (eds.) (2020), Stato dell’arte del consumo idrico in agricoltura nella regione Puglia per un Nuovo Modello di Economia Circolare in *Green and Circular Economy: Ricerca, Innovazione e Nuove Opportunità* – Proceedings di Ecomondo, Rimini (3-6 Novembre, 2020) (Fabio Fava). Maggioli Editore. 280-287.
- Di Nunno, F., Granata, F. (2020), Groundwater level prediction in Apulia region (Southern Italy) using NARX neural network. *Environmental Research*, 190, 1100. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110062>.
- ENEA (2008), Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile - *Piano di Azione Locale (PAL) per la lotta alla Siccità e alla Desertificazione della Regione Puglia*. In Collaborazione con Assessorato alle Risorse Agro-alimentari della Regione Puglia. https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/desertificazione/PAL_Puglia.pdf (Ultimo accesso 20 luglio 2021).
- FAO (1992), Wastewater treatment and use in agriculture - *FAO irrigation and drainage paper 47*. (by M.B. Pescod, <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.8910&rep=rep1&type=pdf> (Ultimo accesso 01 Aprile 2021).
- FAO (2018), *CROPWAT 8.0 Software*. <http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/landresources-planning-toolbox/category/details/en/c/1026559/>. (Ultimo accesso 01 Luglio 2020).
- FAO (2020), *Banca Dati Statistica*. (<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>, Ultimo accesso 20 aprile 2020).

- Giuliani, M.M., Gatta, G., Nardella, E., Tarantino, E. (2016). Water saving strategies assessment on processing tomato cultivated in Mediterranean region. *Italian Journal of Agronomy*, 11, 1: 69-76. <https://doi.org/10.4081/ija.2016.738>.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. (2007), Water Footprints of nations: water use by people as function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21, 1: 35-48. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. (2011), *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard*. Earthscan. https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf. (Ultimo accesso 21 Dicembre 2020).
- ISO/TC/207/SC5 (2014), ISO 14046:2014 *Environmental management - Water footprint-Principles, requirements and guidelines. Agricultural irrigation activities, industry or domestic use of water may have a blue water footprint*. <https://www.iso.org/standard/43263.html>. (Ultimo accesso 8 Novembre 2020).
- ISTAT (2012), *VI Censimento Generale dell'Agricoltura 2010*. <http://censimentoagricoltura.istat.it>. (Ultimo accesso 01 settembre 2020).
- ISTAT (2020), *Banca dati Agricoltura*. <https://www.istat.it/it/agricoltura>. (Ultimo accesso 01 Maggio 2020).
- ISTAT (2021), *Banca dati Agricoltura*. <https://www.istat.it/it/agricoltura>. (Ultimo accesso 05 Marzo 2021).
- Jarman, C. (2020), Water Footprint as an indicator of sustainable table and wine grape production. *Report to the Water Research Commission*. 2710/1/20. ISBN 978-0-6392-0151-1. <http://wrc.org.za/> (Ultimo accesso 23 Marzo 2021).
- Kataky, S., Chatterjee, S., Vairale, M.G., Sharma, S., 878 Dwivedi, S.K. (2021), Concerns and strategies for wastewater treatment during COVID-19 pandemic to stop plausible transmission. *Resources Conservation and Recycling*, 164: 105156. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105156.
- Lopez, A., Vurro, M. (2008), Planning agricultural wastewater reuse in southern Italy: The case of Apulia region. *Proceeding of Conference on Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater, Barcelona, 1-3 February 2006*. DOI: 10.1016/j.desal.2006.08.027.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2011), The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 1577–1600. doi:10.5194/hess-15-1577-2011.
- Ministero della Transizione Ecologica (2015), *Cos'è la Water Footprint*. <https://www.mite.gov.it/pagina/cose-la-water-footprint>. (Ultimo accesso 19 luglio 2021).
- Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M., Hoekstra, A.Y. (2019), Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the Total Environment*, 653: 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.311>.
- ONU (2015), *Sustainable Development Goals, SDGs*. <https://unric.org/it/agenda-2030/>. (Ultimo accesso 20 luglio 2021).
- Pattara, C., Salomone, R., Cichelli, A. (2016), Carbon Footprint of extra virgin olive oil: a comparative and driver analysis of different production process in Centre Italy. *Journal of Cleaner Production*, 127: 533-547. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.152>.
- Peixoto, J.V., Neto, C.M., Campos, L.F., Dourado, W., Nogueira, A.P., Nascimento, A.D. (2017), Industrial tomato lines: morphological properties and productivity. *Genetics and Molecular Research*, 16: 1-15. DOI: 10.4238/gmr16029540.
- Pellegrini, G., Ingraio, C., Camposeo, S., Tricase, C., Contò, F., Huisingsh, D. (2016), Application of water footprint to olive growing systems in the Apulia region: a comparative assessment. *Journal of Cleaner Production*, 112: 2407-2410. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.088>.
- Regione Puglia (2016), *Demoware - Il riuso delle acque in agricoltura in Puglia*. "Innovation Demonstration for a Competitive and Innovative European Water Reuse Sector", ARTI. https://www.arti.puglia.it/wp-content/uploads/brochure_DEMOWARE_divulgativa.pdf (Ultimo accesso 9 Settembre 2020).

- Regione Puglia (2019), *Annali idrologici per i bacini con foce al litorale adriatico e jonico dal fiume fortore al fiume lato*. <https://protezionecivile.puglia.it/?s=annali+idrogeologici&submit=>. (Ultimo accesso 9 Novembre 2020).
- RICA (2020), *Banca dati su richiesta*. (<https://rica.crea.gov.it/index.php>).
- Russo, C. (2016). Apulian Water stress. <http://www.apulianws.it>. (Ultimo accesso 2 Settembre 2020).
- Saliba, R., Callieris, R., D'Agostino, D., Roma, R., Scardigno, A. (2018), Stakeholders' attitude towards the reuse of treated wastewater for irrigation in Mediterranean agriculture. *Agriculture Water Management*, 204: 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.036>.
- Salmoral, G., Aldaya, M.M., Chico, D., Garrido, A., Llamas, M.R. (2010), The water footprint olive oil in Spain. *Papeles de Agua virtual*, Madrid, 7. <https://ris.utwente.nl/ws/files/13518159/Salmoral10water.pdf>. (Ultimo accesso 6 Ottobre 2020).
- Serio, F., Miglietta, P.P., Lamastra, L., Ficoccelli, L., Intini, F., De Leo, F., De Donno, A. (2018), Ground water nitrate contamination and agricultural land use: A grey water footprint perspective in Southern Apulia Region (Italy). *Science of the Total Environment*, 645: 1425-1431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.241>.
- Shan, D., Shan, H.L., Dave, H.M., Mishra, V. (2021), Contrasting influence of human activities on agricultural and hydrological droughts in India. *Science of the Total Environment*, 774: 144959. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144959>.
- SIT Puglia (2021), *Carta idrogeomorfologica della Puglia*. <http://webapps.sit.puglia.it/freewebapps/Idrogeomorfologia/index.html>. (Ultimo accesso 2 luglio 2021).
- UNEP (2009), *Water security and ecosystem services the critical connection*. Nairobi, Kenya: A Contribution to the United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_pub_side_dial_Water_Security_and_Ecosystems.pdf. (Ultimo accesso 11 Gennaio 2021).
- Vanino, S., Nino, P., De Michele, C., Falanga Bolognesi, S., Pulighe, G. (2007), Earth Observation for improving irrigation water management: a case-study from Apulia Region in Italy. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4: 99-107. doi: 10.1016/j.aaspro.2015.03.012.
- Ventrella, D., Giglio, L., Charfeddine, M., Dalla Marta, A., 2015, Consumptive use of green and blue water for winter durum wheat cultivated in Southern Italy. *Italian Journal of Agrometeorology*, 20, 1: 33-44.
- Voulvoulis, N. (2018), Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion of Environmental Sciences and Health*, 2: 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>.
- Water Footprint Network Tool (2020), <https://waterfootprint.org/en/resources/interactivetools/>. (Ultimo accesso 9 Novembre 2020).
- WHO (2007), *Environment and health risks from climate change and variability in Italy*. IGER, ISBN 978 92 890 72946.
- Zotou, I., Tsihrintzis, V.A. (2017), The Water Footprint of Crops in the Area of Mesogeia, Attiki, Greece. *Environmental Processes*, 4, 1: S63-S79. DOI 10.1007/s40710-017-0260-9.
- Zotti, A. (2020), Pianificazione regionale del riuso: Stato di avanzamento ed opportunità future. Conference of "Riuso delle acque reflue," Polytechnic of Bari, 30 Gennaio, 2020.

9. Abstract in inglese

The correct use of the natural resources available, such as water resources, is necessary for well-being and sustainability of a region. The agriculture is the sector responsible for the greatest use of world water resources, equal of 70% of the global water resources. The aim of this paper is to provide some indications for designing some scenarios useful to predict sustainable use of water resources in agriculture. This study is based on the Apulian regional area and analyze the water consumption associated with some traditional crops. Through the *Water Footprint* methodology, theorized by Hoeckstra et al. (2011), the water impact associated with olives, tomatoes and grapes was calculated. Subsequently, through a mapping of the water resource, on the other hand, a quantification of the water availability and volumes supplied by the reclamation consortia responsible for the supply of 30% of the Apulian farms was carried out. In conclusion, this study presents suggestions for a circular use of water resources, supports policies makers and different stakeholders of the agricultural supply-chain in order conduct Apulian agriculture towards optimal levels of sustainability and circularity.