

I flussi globali di acqua virtuale: un problema di sostenibilità per le produzioni agro-alimentari? Un'analisi geo-cartografica*

Global flows of virtual water: a sustainability problem for agri-food production? A geo-cartographic analysis

CHIARA SARRI*, STEFANO MENEGAT**, ANGELO BESANA***, MARCO BAGLIANI**, ANTONELLA DOSOLINA PIETTA****

*Città metropolitana di Torino, chiara.sarri@cittametropolitana.torino.it, **Università di Torino; stefano.menegat@unito.it, marco.bagliani@unito.it, ***Università di Trento; angelo.besana@unitn.it, ****Università di Brescia; antonella.pietta@unibs.it

Riassunto

La crescente importanza delle reti internazionali nelle filiere agro-alimentari pone in misura sempre più rilevante e urgente la necessità di riflettere in un'ottica interscalare sulla sostenibilità di queste produzioni e, in particolare, sull'utilizzo globale delle risorse naturali in esse impiegate, a cominciare da quelle idriche. L'agricoltura rappresenta il settore che più consuma acqua dolce a livello globale. Vista la distribuzione disomogenea di tali risorse, gli scambi di prodotti agricoli potrebbero rappresentare una possibile soluzione efficiente di utilizzo dell'acqua dolce se i flussi commerciali fossero diretti da Paesi con maggiori risorse idriche (sia in termini fisici che economici) a Paesi con minore presenza, accesso ed efficienza nell'uso dell'acqua. Tuttavia, non essendo le caratteristiche ambientali e le disponibilità di risorse dei singoli Paesi gli unici fattori in gioco, gli scambi internazionali di commodities agricole tendono, invece, a rafforzare inefficienze ed iniquità, anche nell'utilizzo e (re)distribuzione delle risorse idriche.

Per una corretta valutazione della sostenibilità delle complessive filiere agro-alimentari, risulta quindi fondamentale ragionare alla scala globale indagando più attentamente quali siano le risorse idriche incorporate nei flussi di prodotti e come queste vengano scambiate.

Il presente contributo propone, al riguardo, una metodologia di analisi e rappresentazione geo-cartografica fondata su un indicatore internazionale di acqua virtuale delle produzioni alimentari e la mappatura delle sue espressioni.

Parole chiave

Acqua virtuale; Produzioni agro-alimentari; Scambi commerciali.

Abstract

The growing importance of international networks in agri-food supply chains poses an increasingly relevant and urgent need to reflect from an inter-scalar perspective on the sustainability of these productions and, in particular, on the global use of the natural resources employed in them, to start with the water ones. Agriculture represents the sector that consumes the largest amount of fresh water globally.

Given the uneven distribution of these resources, trade in agricultural products could represent a possible efficient solution for using fresh water if trade flows were directed from countries with greater water resources (both in physical and economic terms) to countries with less availability, access and efficiency in the use of water. However, since the environmental characteristics and availability of resources of individual countries are not the only factors at play, international trade in agricultural commodities tends, instead, to reinforce inefficiencies and inequities, also in the use and (re)distribution of water resources.

For a correct assessment of the sustainability of the overall agri-food supply chains, it is therefore essential to think on a global scale by investigating more carefully which water resources are incorporated into the product flows and how these are exchanged. In this regard, this contribution proposes a methodology of analysis and geo-cartographic representation based on an international virtual water indicator of food production and the mapping of its expressions.

Keywords

Virtual Water; Agri-food Production; International Trade.

* attribuzioni: Concettualizzazione: AB, AP, CS, MB, SM; Ricerca e analisi dati: CS, SM; Elaborazione cartografica: AB, CS, SM; Discussione critica dei risultati: AB, AP, CS, MB, SM; Supervisione: AB, AP, MB; Scrittura: AB (§1), CS (§2 e §3.2), SM (§3.1, §3, §4).

1. Introduzione

L'acqua dolce è un elemento fondamentale per gli equilibri di *Gaia* e per il sostentamento delle società umane. Alla disponibilità di acqua dolce sono legati, infatti, una molteplicità di servizi ecosistemici per il funzionamento e il mantenimento del "capitale naturale", più in generale, e direttamente utili e fonte di valore per gli esseri umani, più in particolare (Hernández-Blanco, Costanza, 2018; Daily, 1997; M.E.A., 2005). Nel corso del tempo, peraltro, i prelievi di acqua dolce da parte delle diverse società umane hanno prodotto perturbazioni del ciclo dell'acqua via via crescenti (D'Odorico et al., 2019). Connotandosi oggi per dimensione e intensità, sono diventati la principale causa di degrado di questa risorsa, con effetti negativi sugli ecosistemi a tutte le scale della Biosfera. Una delle principali forme di pressione delle risorse idriche è costituita dagli usi agricoli: a livello globale, in media, l'agricoltura è responsabile del 70% dei prelievi di acqua (Vörösmarty et al., 2005). Nella produzione agricola il consumo della cosiddetta acqua blu¹ deriva principalmente dall'irrigazione, che varia notevolmente a seconda delle colture, del clima locale e, in particolare, della disponibilità di precipitazioni. Se si considera anche l'uso di acqua verde², la quota dell'agricoltura nella quantità di risorse idriche utilizzate aumenta ulteriormente. Non solo, l'impatto della produzione agricola, ed in particolare degli allevamenti, sulle risorse idriche è anche dovuto alla dispersione di inquinanti che ne alterano gli equilibri chimico-fisici: in questo caso, in letteratura si parla di acqua grigia³.

Benché le evidenze di tali perturbazioni siano sempre più percepite e oggetto di azioni di risposta alla scala locale, le loro cause sono altresì sempre più legate anche a interconnessioni e dinamiche di carattere

globale. Nel mondo contemporaneo un fenomeno peculiare è, per l'appunto, la delocalizzazione degli impatti derivanti dall'eccessivo sfruttamento delle risorse naturali, attraverso le importazioni di beni e servizi. L'eccezionale aumento degli scambi internazionali di materie prime e beni su scala globale, con l'integrazione di un numero crescente di Paesi in questa rete globale, hanno quindi sempre più implicazioni sull'insieme delle risorse idriche e sul loro utilizzo, tanto che il volume del commercio di quella che è definita acqua virtuale⁴ è più che raddoppiato dal 1995 al 2015, con una conseguente crescente pressione sulle risorse idriche complessive (Rodríguez-Labajos, Martínez-Alier, 2015). Quella che Hoekstra e Hung (2005) hanno definito "la globalizzazione delle risorse idriche" comporta, quindi, la necessità di integrare il ciclo idrologico tenendo conto del "commercio di acqua virtuale". Per questo, sia la quantificazione che la mappatura del consumo della cosiddetta impronta idrica⁵ (in particolare a livello nazionale; si veda, ad esempio: Alessi, Bologna, 2014), sia gli scambi di acqua virtuale tra Paesi, hanno ricevuto una crescente attenzione da parte della comunità scientifica (Hoekstra, Mekonnen, 2012; Tamea et al., 2013). Lo studio condotto da Balogh e Jámor (2020), in particolare, rivela l'importanza del campo di ricerca sugli scambi idrici virtuali associati alle materie prime agricole: la loro *literature review* sul tema degli impatti ambientali del commercio agricolo indica che il secondo tema più indagato è l'uso dell'acqua (primo è il cambiamento climatico). Anche Delbourg e Dinar (2020) sottolineano che il commercio virtuale di acqua in relazione alla produzione agricola ha suscitato grande interesse nella letteratura esistente. Le reti commerciali di acqua virtuale sono dunque al centro di un numero crescente di analisi di carattere prevalentemente quantitativo e più spesso indirizzate a defini-

1 L'acqua blu si riferisce all'acqua dolce di superficie o sotterranea; tra le sue funzioni principali rientrano i prelievi per fini irrigui e l'approvvigionamento per uso diretto.

2 L'acqua verde è definita come la precipitazione sul terreno che non defluisce o si riversa nelle acque sotterranee, ma viene immagazzinata nel suolo o rimane temporaneamente sopra il suolo o la vegetazione. In seguito, questa quota delle precipitazioni evapora o traspira attraverso le piante (Hoekstra et al., 2011).

3 L'impronta idrica dell'acqua grigia "è definita come il volume di acqua dolce che è necessario per assimilare il carico di inquinanti sulla base delle concentrazioni di fondo naturali e degli standard di qualità dell'acqua ambiente esistenti" (Hoekstra et al., 2011, pag. 30).

4 Il termine acqua virtuale si riferisce alla quantità di acqua utilizzata per la produzione di un determinato bene o servizio. È "virtuale" perché non è visibile ai consumatori finali del prodotto, pur essendo stata utilizzata per la sua produzione lungo tutta la filiera (Alessi, Bologna, 2014). Per la definizione del concetto di acqua virtuale "particolarmente importante [...] è il contributo di Allan (1996, 1998, 2002), che elabora le modalità di appropriazione delle risorse idriche attraverso il commercio transnazionale di prodotti agricoli" (D'Odorico et al., 2019, pag. 4).

5 L'impronta idrica (*water footprint*) è un indicatore che stima il consumo di acqua dolce da parte di una data organizzazione per produrre i beni ed i servizi da questa utilizzati (Hoekstra et al., 2011).

re ed esaminare il volume di acqua virtuale scambiata a livello globale, la direzione e la struttura dei flussi tra i Paesi. Oltre a considerare l'entità e la struttura della rete, un altro fattore importante che viene spesso preso in considerazione è la variabilità temporale di questi scambi. Molti studi, inoltre, ricercano le variabili causali che influenzano e dirigono i flussi di acqua virtuale (ad esempio, Suweis et al. 2011; Delbourg, Dinar, 2020); la definizione di queste variabili è anche funzionale alla formulazione di previsioni sui futuri sviluppi degli scambi di acqua virtuale, sia in termini di rete che di quantitativi (Graham et al., 2020).

Diversi studi hanno perfezionato quindi l'analisi dei flussi d'acqua virtuali in vari modi. Aldaya et al. (2010), de Fraiture et al. (2004), Hoekstra e Mekonnen (2012), Konar et al. (2012), Rost et al. (2008), ad esempio, hanno considerato la distinzione tra acqua blu e acqua verde. Altri studi si concentrano, invece, sul consumo non sostenibile di acqua blu incorporata nel commercio di prodotti agricoli (ad esempio, Rosa et al., 2019; Dalin et al., 2017). Analisi più fini del fenomeno riguardano lo studio del commercio di acqua virtuale tenendo conto della scarsità d'acqua. Lenzen et al. (2013), ad esempio, differenziano l'acqua virtuale esportata da regioni colpite da scarsità idrica dai flussi provenienti da regioni ricche di acqua. Infine, di un certo interesse è anche lo studio dei flussi di acqua virtuale divisi per merci e/o gruppi di merci (si veda, ad esempio, Carr et al., 2013; Delbourg, Dinar, 2020; Hoekstra, Mekonnen, 2012; Tamea et al., 2021). In particolare, i flussi possono essere raggruppati in flussi idrici virtuali associati al commercio di colture cerealicole, colture oleaginose (come soia, palma da olio, colza, girasole), beni "di lusso" o voluttuari (come caffè, cacao, tè, spezie), prodotti animali, frutta e verdura e così via. Questa disaggregazione consente di evidenziare il contributo dei diversi prodotti al commercio internazionale di acqua virtuale, nonché la loro evoluzione nel tempo.

Sulla base di questa sintetica rassegna scientifica è dunque possibile intuire quanto le politiche di utilizzo sostenibile dell'acqua necessitino di adeguati studi alla scala globale per poter cogliere le dinamiche nascoste di degrado e disuguaglianza di tale fondamentale risorsa naturale.

Il nostro interesse, pertanto, è quello di definire una metodologia di analisi in grado di individuare i trasfe-

rimenti di acqua virtuale e le loro dinamiche alla scala globale attraverso appropriati indicatori geografici e rappresentazioni cartografiche tematiche di sintesi.

L'obiettivo generale di questo contributo è di offrire un'adeguata metodologia per la realizzazione di un quadro globale più completo e analitico dei flussi virtuali di acqua incorporata nelle produzioni di materie prime agricole, utilizzando un approccio basato sul consumo, al fine di riconnettere il consumatore finale di questi beni con l'impatto ambientale e lo sfruttamento di risorse connessi alla loro produzione.

A sua volta, l'obiettivo specifico è di proporre una ricostruzione geografica degli scambi di acqua virtuale in grado di evidenziare il livello di efficienza ed equità nell'utilizzo delle risorse idriche per la produzione alimentare primaria.

Questo tipo di conoscenze risultano fondamentali per poter valutare la sostenibilità di utilizzo delle risorse idriche nelle produzioni alimentari in una prospettiva più appropriata di analisi interscalare (Born, Purcell, 2006).

2. Dati e metodi

L'analisi che segue ha l'obiettivo di comprendere meglio come i consumi e le produzioni agro-alimentari si posizionino all'interno delle ampie e complesse interconnessioni globali, e quali implicazioni vi siano con riferimento all'utilizzo delle risorse idriche.

Come anticipato sopra, l'analisi che segue si fonda sul concetto di acqua virtuale, basato sull'indicatore dell'impronta idrica. L'importanza e l'utilità di questo concetto risiedono nella sua capacità di rivelare i flussi virtuali di acqua nascosti nella rete commerciale globale. La maggior parte degli scambi di acqua non avvengono infatti in termini di unità fisiche reali, bensì in termini virtuali. In altre parole, le risorse idriche vengono impiegate per la produzione di beni e servizi specifici che vengono poi scambiati. Di conseguenza, si sostiene che l'acqua utilizzata in un Paese per la produzione di tali beni e servizi viene virtualmente scambiata e appropriata dai consumatori finali, con particolare riferimento ai prodotti agricoli, la cui produzione rappresenta la quota maggiore dell'uso globale di acqua, sia piovana che di irrigazione.

La quantificazione degli scambi globali di acqua virtuale, la loro struttura, nonché i relativi fattori e conseguenze, diventano cruciali per comprendere il ciclo (socio)idrologico globale e le pressioni a cui è sottoposto. Tale sequenza logica implica, innanzitutto, la necessità di esplicitare quantitativamente i flussi di acqua virtuale. Questo compito richiede un indicatore, ovvero un'entità che permetta la rappresentazione sintetica di un fenomeno più complesso (Bagliani, Pietta, 2012). L'acqua virtuale è quantificata grazie allo sviluppo dell'indicatore dell'impronta idrica, un concetto introdotto da Hoekstra nel 2002 (Hoekstra et al., 2011).

L'impronta idrica può essere calcolata per una fase del processo, un particolare prodotto, un consumatore o un gruppo di consumatori, così come per un'area geograficamente delimitata, un'azienda o un settore commerciale e, infine, per l'umanità nel suo complesso. Per tutti i casi considerati, il "mattoncino di base" comune (Hoekstra et al., 2011, p. 21) è l'impronta idrica di una singola fase di un processo produttivo. Pertanto, l'impronta idrica di un bene o di un servizio è il risultato della somma delle impronte idriche delle fasi del processo necessarie alla sua produzione.

L'interesse di ricostruire l'impronta idrica di uno specifico gruppo di consumatori risiede nella possibilità di adottare il cosiddetto approccio basato sul consumo. Come evidenziato da Bagliani e Pietta (2012), la maggior parte degli indicatori di pressione ambientale sono di tipo *production-based*: si basano quindi su misure locali dell'impatto ambientale e ne associano il degrado all'area geografica in cui si verifica l'impatto stesso. L'approccio basato sul consumo, invece, si pone l'obiettivo di ri-collegare un determinato impatto alla sua causa primaria, ovvero alla domanda di quel determinato bene e quindi della sua produzione. La ricostruzione dei flussi virtuali di acqua scambiati a livello internazionale ha tra i suoi scopi la connessione tra il consumatore e l'approvvigionamento delle risorse idriche derivante dalle proprie scelte di consumo.

Al fine di ricostruire la geografia dei flussi di acqua virtuale legati al commercio di prodotti agro-alimentari, si è fatto ricorso ad un database innovativo, creato nell'ambito del progetto di ricerca CWASI - Coping With Water Scarcity in a globalized world⁶.

Il database CWASI è stato costruito a partire dai dati raccolti e distribuiti da FAOSTAT⁷, relativi alla produzione e al commercio di 370 *commodities* agricole per un arco temporale di 31 anni (dal 1986 al 2016) e 56 anni (dal 1961 al 2016), rispettivamente. In particolare, i dati utilizzati si riferiscono sia ai prodotti primari che a quelli trasformati, per colture e allevamenti.

Integrando i dati FAOSTAT con l'impronta idrica unitaria di ciascun prodotto, è stato costruito un database contenente l'impronta idrica annuale totale di produzione per singolo Paese e gli scambi annuali di acqua virtuale tra singoli Paesi. Entrambi i dataset hanno un livello di dettaglio al singolo prodotto considerato. Si sottolinea che nel database CWASI l'impronta idrica unitaria si riferisce alla somma dell'acqua verde e blu utilizzata per la produzione agricola. Pertanto, i dati non distinguono tra acqua verde e blu; l'acqua grigia non è invece considerata.

Sono due le peculiarità che rendono il CWASI database particolarmente innovativo. Prima tra queste è la variazione spaziale e temporale dell'impronta idrica unitaria dei prodotti primari per ciascun Paese. L'impronta idrica e conseguentemente i flussi di acqua virtuale non sono quindi calcolati utilizzando un valore standard unitario per ciascun prodotto considerato. Al contrario, l'impronta idrica di un'unità di ciascun prodotto varia per tenere conto della variabilità spaziotemporale dovuta alle fluttuazioni delle precipitazioni, dell'evapotraspirazione e delle rese. Inoltre, l'impronta idrica unitaria dipendente dal tempo viene presa in considerazione anche nel calcolo delle importazioni virtuali di acqua, considerando il contributo di ogni Paese.

La seconda caratteristica cruciale della base dati CWASI è la contabilità delle ri-esportazioni. Per la ricostruzione dei flussi di acqua virtuale legati agli scambi di beni agricoli è stato infatti utilizzato l'approccio proposto da Kastner et al. (2011), in modo da tracciare l'origine effettiva dell'approvvigionamento del Paese. Il metodo sviluppato da T. Kastner et al. (2011) permette di ricostruire meglio le matrici commerciali, associando l'acqua virtuale scambiata ai Paesi produttori primari, da un lato, e ai Paesi consumatori finali, dall'altro. Tale collegamento è particolarmente importante per avere una connessione diretta tra Paesi

⁶ Il database CWASI è una risorsa online ad accesso aperto (Tamea et al., 2020), disponibile anche sul sito web Water to Food: <https://www.watertofood.org>

⁷ <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

consumatori e Paesi produttori e per associare correttamente l'impronta idrica del consumo ai consumatori finali. Tuttavia, le catene di approvvigionamento dei prodotti agricoli e alimentari non sono sempre completamente ricostruite. Ciò è dovuto principalmente a due fattori. Il primo è relativo all'assenza di dati FAOSTAT sulla produzione della maggior parte delle colture trasformate, in quanto per alcuni prodotti sono disponibili solo i dati commerciali. Questa mancanza non consente l'applicazione del metodo sopra citato: di conseguenza, la ricostruzione del percorso commerciale del prodotto verso il Paese di produzione è ostacolata. La seconda lacuna è relativa al fatto che, all'interno del database CWASI, la tracciabilità dell'origine dei prodotti viene effettuata solo per un massimo di quattro passaggi. In altre parole, le filiere sono considerate composte al massimo da quattro fasi. In ogni caso, il database FAOSTAT non contiene prodotti alimentari altamente trasformati con lunghe catene di approvvigionamento.

In conclusione, con riferimento alle matrici commerciali dell'acqua virtuale incorporata nei prodotti agricoli e animali, la quantità e i flussi di acqua virtualmente scambiati sono derivati moltiplicando i dati commerciali elaborati (cioè, dopo l'applicazione del metodo di Kastner) per l'impronta idrica unitaria di approvvigionamento del Paese esportatore.

Ai fini della presente analisi non sono stati presi in considerazione i dati relativi alle produzioni animali⁸ né i prodotti esplicitamente classificati come non commestibili, secondo i criteri FAOSTAT⁹.

8 Le produzioni animali e gli scambi di acqua virtuale associati non sono stati considerati in questo studio in quanto il database CWASI contiene esclusivamente valori mediati sul periodo 1996-2005, non consentendo dunque un'analisi temporale sui periodi selezionati per lo studio. Inoltre, l'impronta idrica associata alle produzioni animali tiene correttamente in conto l'impronta idrica di foraggi e mangimi. Non è tuttavia immediatamente possibile eliminare la quota di *feed* e relativa acqua virtuale negli scambi di colture. Considerare congiuntamente entrambi i flussi (relativi a produzioni animali e colture) porterebbe quindi ad un doppio conteggio dell'acqua virtuale scambiata con riferimento alla quota dei foraggi.

9 Non si è tenuto conto dell'acqua virtuale associata al commercio di lanugine di cotone, tabacco, gomma naturale e altri prodotti, nonostante il commercio internazionale di questi prodotti comporti notevoli scambi di acqua virtuale e meriti ulteriori indagini. Va inoltre sottolineato che, tra i prodotti considerati, la produzione non è nella sua totalità utilizzata per scopi alimentari: una parte consistente è infatti impiegata per la produzione di biocarburanti o per altri utilizzi industriali.

I prodotti presi in considerazione in questo studio sono stati quindi raggruppati in tre categorie analitiche sulla base delle loro proprietà nutrizionali: cereali; oleaginose e leguminose; beni voluttuari, categoria denominata "CTSA" (caffè, tè, spezie e affini). Il raggruppamento in categorie si rende necessario vista la numerosità dei prodotti considerati all'interno del database CWASI. Tale raggruppamento è utile inoltre ad evidenziare l'eterogeneità dei pattern geografici di scambio legati a ciascuna categoria, date le specifiche differenze spaziali della produzione e del consumo di tali beni.

La presente analisi ha lo scopo di ricostruire le interconnessioni e geografie degli scambi di acqua virtuale sottostanti al commercio nel settore agro-alimentare. Oltre a restituire un'immagine degli anni più recenti, lo studio vuole anche esaminare le eventuali variazioni emerse a partire dalla fine del secolo scorso. Considerando anche la disponibilità e la completezza del database CWASI, sono stati presi in esame due quinquenni per operare un raffronto tra i rispettivi valori medi annuali. L'analisi del valore medio del quinquennio deriva dalla necessità di mitigare l'eventuale variabilità del fenomeno in esame, nel caso di particolari eventi climatici.

I due intervalli temporali, dal 1997 al 2001 e dal 2012 al 2016¹⁰, sono stati scelti quindi con l'obiettivo di evidenziare i cambiamenti, tanto di magnitudine, quanto di direzione, dei processi osservati.

Per ciascuna categoria di prodotti, sono stati calcolati, considerando la media annuale in entrambi i periodi analizzati, i flussi di esportazione netti totali (ottenuti come differenza tra esportazioni e importazioni tra coppie di Paesi) e pro capite (ottenuti pesando i flussi assoluti sulla popolazione media del Paese esportatore). L'esame dei flussi pro capite, oltre alle esportazioni nette totali, è da ricondurre alla necessità di ottenere un valore standardizzato e comparabile tra i diversi Paesi. In particolare, il focus sulle espor-

10 La selezione di questi due specifici intervalli temporali è giustificata in base ai dati disponibili nel database utilizzato. I dati precedenti al 1995 presentano alcune lacune, specialmente per quanto concerne determinati Paesi che hanno subito significative riforme politiche a livello nazionale e internazionale, oltre all'assenza di informazioni riguardanti lo scambio di specifici prodotti. Il 2016 rappresenta invece l'ultimo anno per il quale sono disponibili dati completi. Alla luce di quanto esposto, la scelta è ricaduta su due periodi quinquennali distanti di 15 anni.

tazioni nette pro capite, anziché sulle importazioni, è motivato dall'opportunità di mettere in luce potenziali sperequazioni nella distribuzione delle risorse idriche tra Paesi, sottolineando il "peso" che il commercio di ciascun tipo di prodotto (misurato in volume di acqua virtuale esportato pro capite) ricopre rispetto alle altre categorie di *commodities* considerate nello studio.

Sia i valori netti totali che pro capite sono stati poi standardizzati per un loro più efficace utilizzo cartografico¹¹.

I dati categorizzati e successivamente elaborati come sopra descritto sono stati utilizzati per la realizzazione di due gruppi di rappresentazioni cartografiche.

Il primo gruppo di elaborazioni cartografiche (per simboli scalari) descrive la distribuzione geografica delle esportazioni nette (saldo totale e pro capite) di acqua virtuale per ogni Paese e per ogni categoria di prodotti (cereali, oleaginose, CTSA) in entrambi i periodi osservati (1997-2001, 2012-2016). Il colore del simbolo circolare di un Paese dipende dal segno algebrico delle rispettive esportazioni nette: rosso nel caso di esportazioni positive, blu per esportazioni negative.

Il secondo, composto da dodici mappe di flusso, mostra la direzione e la magnitudine dei principali flussi di esportazioni nette¹², sia assoluti che pro capite, di acqua virtuale associati a ciascuna categoria (cereali, oleaginose e CTSA), per entrambi i quinquenni osservati (1997-2001 e 2012-2016). La direzione delle frecce mostra il flusso di acqua virtuale dal Paese esportatore verso il Paese importatore. Per rafforzare questa indicazione ed avere un effetto visuale più immediato, si è scelto di colorare le frecce con un gradiente di colore: dall'arancione (in corrispondenza del Paese esportatore) al viola (in corrispondenza del Paese importatore). Questa opzione cromatica consente così di individuare visivamente in modo più immediato eventuali concentrazioni

geografiche, di Paesi esportatori o importatori, e meglio identificare le geografie globali dei flussi analizzati.

Lo strumento cartografico costituisce un elemento necessario di rappresentazione, descrizione e comunicazione della metodologia proposta, con la funzione di riassumere la complessità dei fenomeni considerati. Le rappresentazioni tematiche realizzate costituiscono, pertanto, un elemento specifico della proposta metodologica qui offerta, espressione sintetica delle variabili e dei flussi analizzati.

3. Risultati

L'analisi condotta ha permesso di quantificare una moltitudine di elementi e tendenze che caratterizzano i flussi di acqua virtuale mobilizzati dal commercio internazionale di prodotti agro-alimentari.

Considerando esclusivamente i prodotti delle tre categorie analizzate, le esportazioni nette globali di acqua virtuale medie per il periodo 2012-2016, calcolate in volumi, ammontano a circa 120 km³, mentre, per il periodo di osservazione antecedente (1997-2001), tale valore si attestava a circa 72 km³, evidenziando quindi un incremento di circa il 66% nell'arco di un quindicennio. Occorre sottolineare come nei due periodi considerati il peso percentuale di ogni gruppo di prodotti sulle esportazioni nette sia variato notevolmente, con le oleaginose che sono cresciute passando dal 34% del periodo 1997-2001 al 44% del periodo 2012-2016, mentre i flussi associati a cereali e colture CTSA si sono ridotti entrambi, passando dal 41% al 38% nel caso dei primi, e dal 25% al 19% nel caso dei secondi.

Questi dati forniscono un primo spunto di riflessione sulla redistribuzione delle risorse idriche a livello mondiale, evidenziando come il settore delle colture oleaginose assorba considerevoli quantità di acqua per la produzione di beni agro-alimentari.

Inoltre, l'analisi rivela che su 193 Paesi inclusi nel dataset, ben 131 agiscono come importatori netti di tale risorsa. Ciò suggerisce una significativa dipendenza di numerose nazioni dall'estero per soddisfare le proprie esigenze idriche associate al consumo interno di prodotti agro-alimentari. A un livello più ristretto, emerge che il 98% delle esportazioni nette di acqua virtuale è concentrato in soli 30 Paesi. Questa concentrazione sottolinea il ruolo predominante di alcuni

11 Per ogni distribuzione di dati, i singoli valori positivi sono stati divisi per il massimo valore positivo della distribuzione, così come quelli negativi per il rispettivo valore massimo negativo, e moltiplicati per 1.000. Pertanto, i valori di ogni distribuzione variano tra + e - 1.000, consentendo una rappresentazione tematica uniforme per tutte le carte tematiche prodotte ed una lettura di queste più immediata sia rispetto ai confronti diacronici di una stessa variabile che trasversali tra variabili diverse.

12 Tenuto conto della enorme quantità di legami di scambio tra copie di Paesi, per rendere le carte di flusso effettivamente leggibili si è deciso di non rappresentare i flussi di magnitudine inferiore a 0,05 km³, mentre i flussi di grandezza compresa tra 0,05 km³ e 1,00 km³ sono stati rappresentati tramite frecce sottili e di colorazione leggera.

Stati nella gestione e nel commercio globale delle risorse idriche virtuali. L'identificazione di questi Paesi cruciali offre un punto di partenza per analizzare le geografie economiche e politiche, nonché il sistema di relazioni transcolari di dipendenza, che caratterizzano i flussi di acqua virtuale mobilizzati tramite il commercio internazionale di prodotti agro-alimentari.

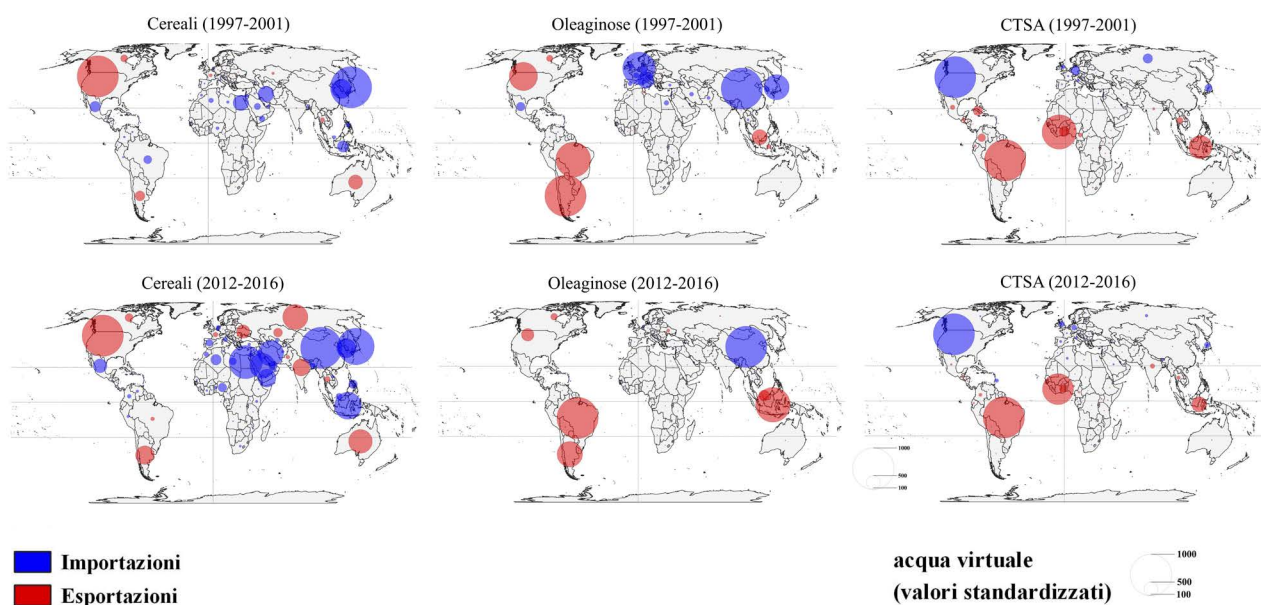
Solo cinque Paesi - Brasile, Argentina, Indonesia, Stati Uniti e Ucraina - sono infatti responsabili del 55% delle esportazioni nette di acqua virtuale. Questi Paesi emergono come attori chiave nel contesto delle esportazioni di risorse idriche virtuali, evidenziando la loro

influenza nel plasmare il panorama globale della sostenibilità idrica e delle dinamiche di consumo di prodotti agro-alimentari trasformati e distribuiti attraverso filiere commerciali di considerevole lunghezza.

3.1. Importazioni ed esportazioni nette

L'analisi dei saldi tra importazioni ed esportazioni di acqua virtuale per singolo Paese è presentata in figura 1. Osservando le medie per il periodo relativo agli anni compresi tra il 2012 e il 2016, si rileva una certa eterogeneità relativa al tipo di prodotti agro-alimentari presi in considerazione.

Figura 1 - Esportazioni e importazioni nette per Paese (valori standardizzati) e periodi selezionati (1997-2001, 2012-2016)



Fonte: elaborazione su dati CWASI

Per quanto concerne i prodotti cerealicoli, i maggiori esportatori netti sono Paesi con un'elevata estensione territoriale, come Stati Uniti, Russia, Australia, Argentina, India, Ucraina, Kazakistan e Canada, che da soli concentrano il 71% delle esportazioni nette globali. Tra i Paesi importatori, per contro, i maggiori otto concentrano solamente il 33% delle importazioni nette globali, e si tratta di Paesi dell'Est e del Sud Est asiatico (Cina, Giappone, Indonesia, Corea del Sud) e Paesi dell'area

del MENA¹³ (Egitto, Iran, Arabia Saudita, Yemen). Da un punto di vista tendenziale, occorre notare alcune differenze sostanziali tra i due periodi considerati. Nello specifico, il passaggio della Cina da status di marginale esportatore a quello di considerevole importatore, e, parallelamente, la transizione di alcuni Paesi facenti parte dell'ex blocco sovietico da importatori a rilevanti esportatori (in particolare Russia, Ucraina e Kazakistan).

¹³ Middle East and North Africa.

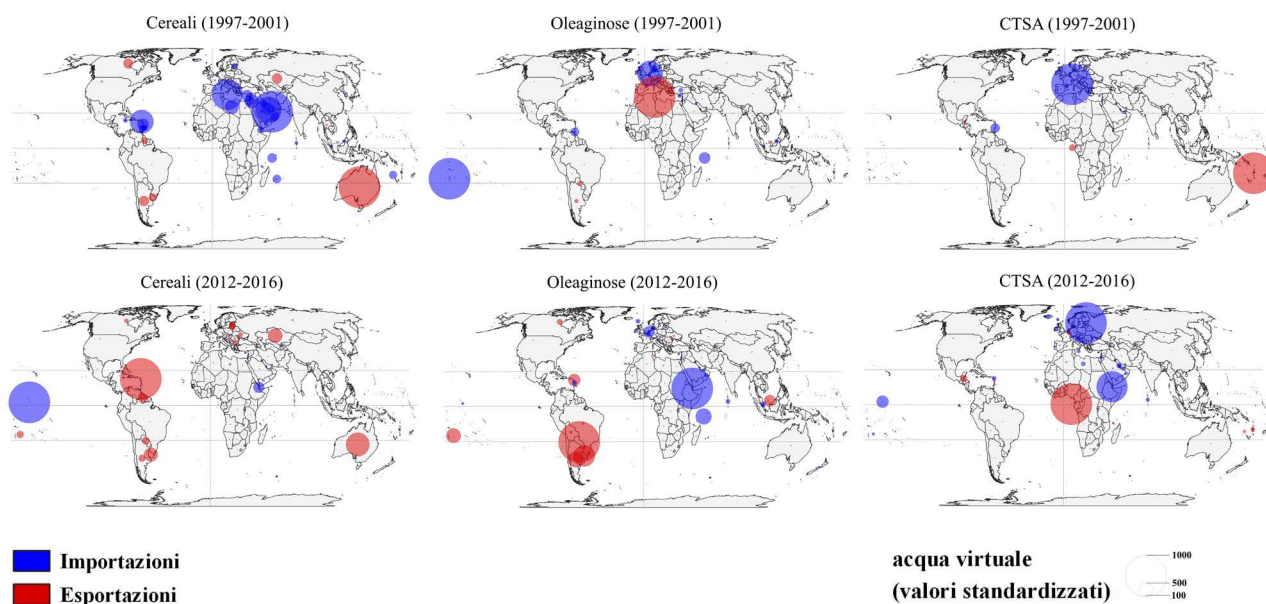
I flussi di acqua virtuale relativi al commercio internazionale di prodotti oleaginosi sono significativamente dipendenti da alcuni Paesi (Brasile, Indonesia, Argentina, Stati Uniti, Malesia, Canada) che, nel periodo 2012-2016, concentrano l'81% delle esportazioni nette globali. Tale concentrazione, seppur in misura minore, si rileva anche nell'ambito delle importazioni, in cui la Cina da sola rappresenta il 32% del totale. L'evoluzione dei saldi tra i due periodi considerati mostra come dal punto di vista delle esportazioni vi siano state poche variazioni, mentre dal punto di vista delle importazioni la situazione fosse maggiormente equilibrata nel periodo 1997-2001 rispetto al periodo 2012-2016. Sebbene la Cina fosse già nel primo periodo il maggiore importatore di acqua virtuale attraverso il commercio di prodotti oleaginosi, il suo peso relativo si limitava al 12% del totale globale, un valore di poco superiore a quello registrato per i Paesi Bassi (10%), ma nettamente superiore a quelli del terzo e quarto importatore, rispettivamente Giappone (9%) e Italia (7%).

Il commercio internazionale di prodotti CTSA mobilita ingenti flussi di acqua virtuale in provenienza

dalla fascia tropicale e diretti verso l'emisfero boreale. Nel periodo 2012-2016, il 44% delle esportazioni nette globali proveniva da tre Paesi (Brasile, Costa d'Avorio, Indonesia), mentre il 46% delle importazioni era assorbito da Paesi industrializzati, tra cui Stati Uniti (19%), Giappone (6%), Regno Unito (6%), Germania (5%), Russia (4%), Italia (4%) e Spagna (3%). Rispetto alle altre categorie di *commodities* considerate, le esportazioni nette di acqua virtuale legate al commercio di CTSA mostrano una certa stabilità tra i due periodi di riferimento, con saldi negativi concentrati nella parte a Nord dell'equatore, e saldi positivi distribuiti tra Sud America, Africa e Sud Est Asiatico (figura 1).

Un modo alternativo di visualizzare la magnitudine e la distribuzione delle esportazioni nette di acqua virtuale per ciascun Paese consiste nella rappresentazione dei saldi proporzionalmente alla popolazione residente. Le carte presentate in figura 2 mostrano la distribuzione geografica delle esportazioni nette pro capite e, come si può notare, differiscono notevolmente rispetto alle carte presentate in figura 1.

Figura 2 - Esportazioni e importazioni nette di acqua virtuale pro capite (valori standardizzati) per Paese e periodi selezionati (1997-2001, 2012-2016)



Fonte: elaborazione su dati CWASI

A risultare maggiormente evidenti in figura 2 sono infatti gli Stati insulari, i Paesi con grandi estensioni di territorio ed esigua popolazione e quelli localizzati in zone climatiche aride. Un'informazione che occorre sottolineare -e che non emerge dalle carte in figura 2, dove sono rappresentati valori standardizzati- è come, tra il periodo 1997-2001 e il periodo 2012-2016, il valore relativo alle esportazioni ed alle importazioni nette pro capite, in media, sia cambiato considerevolmente a seconda del gruppo di *commodities* considerate. In tabella 1 vengono riportate alcune statistiche descrittive relative ai due periodi.

Tabella 1. Statistiche descrittive delle esportazioni/ importazioni di acqua virtuale pro capite (m³)

Commodities/ Indicatori	1997-2001		2012-2016	
Cereali	Volume Esportazioni	Volume Importazioni	Volume Esportazioni	Volume Importazioni
Media	264	-250	514	-324
Max	2.362	0,0	2.959	-6,8
Min	0,5	-2.060	0,2	-9.362
DevStd	449	335	623	845
Oleaginose	Volume Esportazioni	Volume Importazioni	Volume Esportazioni	Volume Importazioni
Media	370	-135	514	-175
Max	6.466	0,0	3.484	-0,5
Min	0,2	-2.167	2,9	-2.759
DevStd	1.049	261	777	305
CTSA	Volume Esportazioni	Volume Importazioni	Volume Esportazioni	Volume Importazioni
Media	427	-155	364	-147
Max	10.455	0,0	5.798	-0,6
Min	0,4	-2.923	1,3	-1.545
DevStd	1.318	300	810	201

Fonte: elaborazione su dati CWASI

Per quanto concerne le esportazioni medie pro capite, dalla tabella 1 si può osservare come questi valori siano aumentati tra i due periodi selezionati per i cereali e per le oleaginose, indicando quindi una crescente integrazione commerciale tra Paesi produttori e Paesi consumatori, mentre sono diminuiti per le colture CTSA. Tra i Paesi esportatori di CTSA vi è però il valore massimo registrato in termini di esportazioni di acqua virtuale

(São Tomé e Príncipe, con 5.798 m³ pro capite). Una possibile spiegazione delle ragioni per le quali le esportazioni medie pro capite, nel caso delle colture CTSA, siano diminuite nel tempo risiede nella forte connotazione geografica di tali produzioni, situate principalmente in regioni che negli ultimi decenni hanno registrato una forte crescita demografica. La dinamica demografica, a livello globale, contribuisce a determinare il parallelo aumento del valore medio pro capite per i Paesi importatori di cereali, mentre l'aumento delle importazioni ed esportazioni nette medie pro capite per le oleaginose potrebbe essere spiegato con la progressiva evoluzione del settore agro-alimentare internazionale, l'aumento nel consumo di prodotti trasformati contenenti oli vegetali, e l'incremento nel consumo globale di carne e prodotti di derivazione animale.

A causa del livello di importazioni nette pro capite molto elevato registrato in Kiribati e Gibuti, dalle carte mostrate in figura 2 non si evince chiaramente come, in realtà, la maggior parte dei Paesi dell'area del MENA (ad esempio Libia, Oman, Qatar, Emirati Arabi Uniti, Israele) importino tramite il commercio internazionale di cereali quantità pro capite di acqua virtuale molto superiori agli altri Paesi. L'aumento osservato tra i due periodi considerati del numero di Paesi con un elevato livello di importazioni nette pro capite di acqua virtuale per il consumo di cereali è un indicatore di possibili squilibri nelle filiere agro-alimentari locali, squilibri possibilmente dovuti a processi di specializzazione produttiva a detrimento delle produzioni cerealicole in taluni contesti o a insufficienza della capacità produttiva nazionale determinata da fattori climatici o podologici in altri. Entrambe le situazioni espongono un elevato numero di Stati a potenziali rischi in termini di sicurezza alimentare in caso di shock sull'offerta o sull'infrastruttura logistica.

Infine, per i Paesi con importazioni nette pro capite superiori alla media per la categoria CTSA, si può ipotizzare che tale squilibrio (elevate importazioni nette di beni voluttuari per abitante) possa essere determinato dalla posizione del Paese nelle catene internazionali del valore, nelle quali, ad esempio, alcuni Paesi potrebbero svolgere la funzione di *hub* logistici in grado di importare, stoccare, eventualmente trasformare per poi riesportare a livello regionale considerevoli quantità di beni provenienti da filiere intercontinentali.

3.2. Flussi internazionali di acqua virtuale

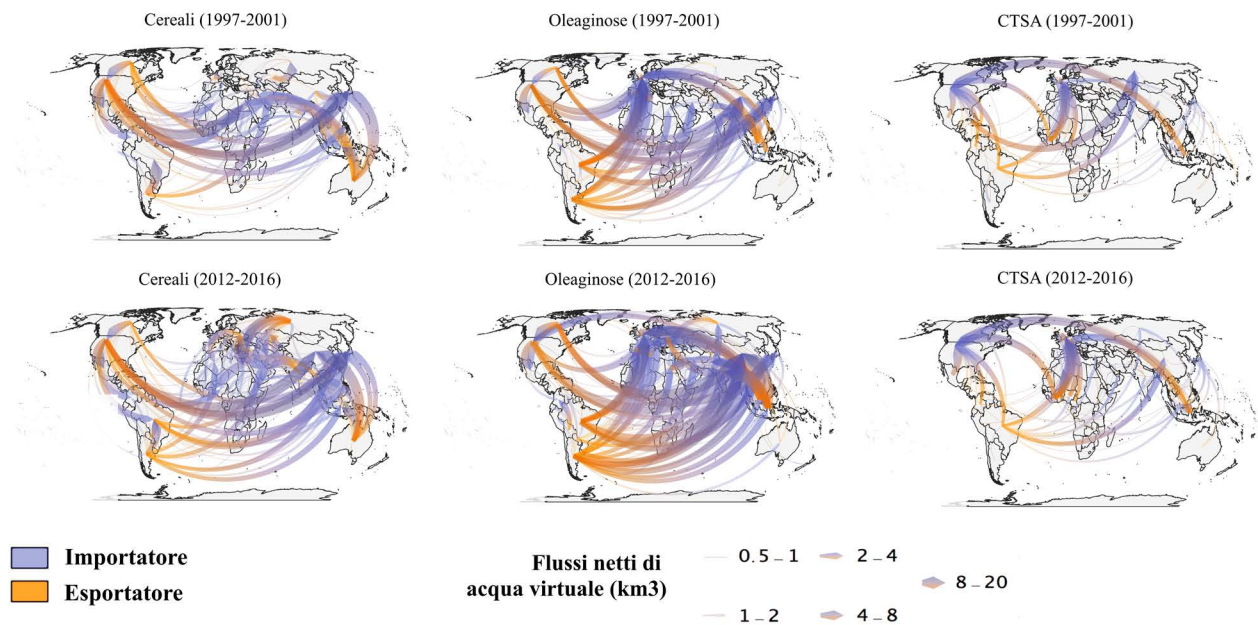
Tra il periodo 1997-2001 ed il periodo 2012-2016, il numero e la magnitudine dei flussi di acqua virtuale scambiati bilateralmente tra Paese e Paese è aumentato considerevolmente (tabella 2, figura 3). Ad uno sguardo più approfondito, si rileva come il numero di flussi bilaterali (esportazioni nette), nell'arco di un quindicennio, sia cresciuto da circa 18.000 a 24.000, con una portata media che è cresciuta di circa il 25% e un valore mediano che si è abbassato di circa il 35%.

Tabella 2. Statistiche descrittive dei flussi bilaterali di acqua virtuale (esportazioni nette, prodotti cerealicoli, oleaginosi e CTSA).

Indicatori	U.M.	1997-2001	2012-2016
Numero	n.	18.083	23.972
Media	km ³	0,053	0,066
Mediana	km ³	0,014	0,009
Massimo	km ³	17,5	62,9
Minimo	m ³	6	11
Deviazione standard	km ³	0,35	0,63

Fonte: elaborazione su dati CWASI

Figura 3 - Flussi di acqua virtuale: esportazioni nette per Paese (km³).



Fonte: elaborazione su dati CWASI

In figura 3 si evidenziano i principali flussi di acqua virtuale generati dal commercio internazionale di prodotti agro-alimentari per le tre categorie di prodotti scelte. Occorre notare come, nel periodo 2012-2016, tra i primi dieci flussi per ordine di grandezza, ben otto siano generati dal commercio di prodotti oleaginosi e solamente due siano legati al commercio di cereali. Tale situazione era molto differente nel periodo di osservazione antecedente (1997-2001), quando tra i primi dieci flussi a livello globale cinque erano attribuibili alle colture oleaginose e i restanti cinque a quelle cerealicole.

Tale evoluzione va letta parallelamente all'emersione nel mercato globale della Cina come importatore di prodotti oleaginosi. Se, infatti, nel periodo 1997-2001 i tre principali flussi globali erano quelli legati all'importazione di cereali in Giappone e Brasile, rispettivamente da Stati Uniti (17,5 km³) e Argentina (13,2 km³), e quello di oleaginose tra Brasile e Paesi Bassi (12,2 km³), nel periodo 2012-2016 la situazione risulta capovolta, con i flussi di acqua virtuale relativi alle oleaginose e diretti verso il mercato cinese da Brasile, Stati Uniti, Argentina, Indonesia e Canada che totalizzano rispettivamente 62,9, 39,3, 15,4, 12,8 e 11,7 km³. Tali flussi sono rispettivamente il primo, il secondo, il terzo e il sesto a livello globale, ai quali occorre aggiungere il flusso, sempre legato alle oleaginose, tra Indonesia ed India (22,4 km³) e quello relativo al commercio di cereali tra Stati Uniti e Messico (12,9 km³).

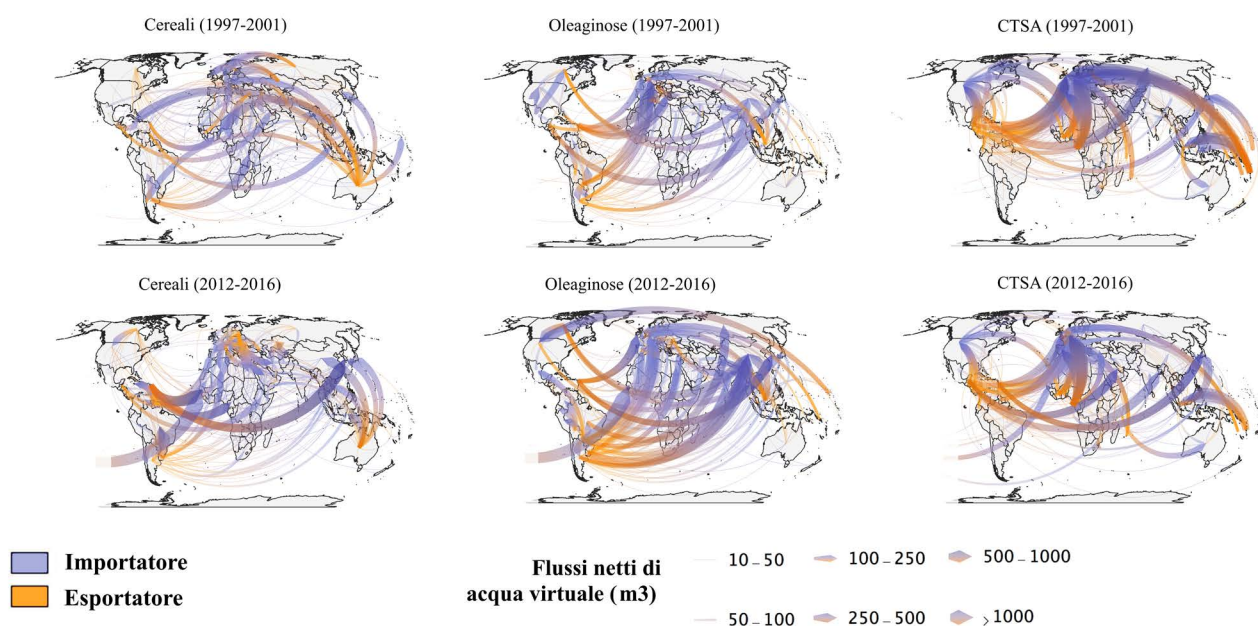
In tutte le carte presentate in figura 3, si evince comunque una tendenza persistente che consiste nella distribuzione di flussi in arrivo dalle Americhe e dal Sud Est Asiatico e diretti verso i centri di maggiore consumo, Europa e Cina in primis.

Tra i flussi di prodotti CTSA emerge chiaramente il ruolo di *hub* internazionale svolto dai Paesi Bassi, che

non solo rappresentano il Paese con il maggiore flusso di esportazioni a livello globale (con destinazione la Germania, 6,6 km³), ma anche il Paese con il più grande flusso di importazioni (in provenienza dalla Costa d'Avorio, 6,1 km³). Anche in questo caso, va evidenziato come alcuni flussi storicamente molto rilevanti (in particolare quello registrato per il periodo 1997-2001 tra Cuba e Russia, 5,8 km³) siano stati ridimensionati notevolmente dall'emersione della Cina come attore di primo piano nel commercio internazionale di prodotti agro-alimentari (nel periodo 2012-2016 Cuba esporta acqua virtuale tramite il commercio di prodotti CTSA principalmente in Cina, per un ammontare di 1,1 km³, mentre il flusso con la Russia si è ridotto a 0,2 km³).

Alcuni flussi di acqua virtuale, se pesati per la popolazione del Paese esportatore, risultano considerevolmente sproporzionati rispetto alla media (figura 4). Si tratta nello specifico di flussi provenienti da piccoli stati insulari (Niue, Vanuatu, Sao Tome, Antigua e Barbados, Isole Marshall), Paesi sudamericani con una popolazione ridotta (Uruguay, Paraguay) e Paesi europei funzionanti come nodi logistici del sistema di commercio internazionale (Paesi Bassi, Lussemburgo).

Figura 4 - Flussi di acqua virtuale: esportazioni nette pro capite per Paese (km³)



Fonte: elaborazione su dati CWASI

La presenza di elevate esportazioni di acqua virtuale per abitante non implica necessariamente un maggiore rischio di insicurezza alimentare: tuttavia, per quei Paesi con elevata dipendenza dalle esportazioni di prodotti agro-alimentari, e con elevate importazioni di prodotti cerealicoli (necessari per il sostentamento della popolazione), eventuali squilibri possono tradursi in maggiori rischi e minore resilienza in risposta ad eventuali shock sull'offerta e/o sulla filiera logistica. Inoltre, la persistenza di flussi molto grandi rispetto alla dimensione demografica di un Paese, potrebbe tradursi in rapporti di dipendenza commerciale, come ad esempio potrebbe indicare il notevole volume di esportazioni di prodotti oleaginosi dall'Uruguay (1.500 m³/abitante) la Cina, che in questo contesto mantiene una posizione di quasi monopsonio.

4. Discussione e conclusioni

I prelievi globali di acqua per uso agricolo, domestico e industriale sono aumentati di un fattore sei nell'arco dell'ultimo secolo, passando da 670 km³ a 4.000 km³. Parallelamente all'aumento dei prelievi e contestualmente all'apertura progressiva del commercio internazionale di prodotti agro-alimentari, nel corso degli ultimi decenni si è anche assistito a una crescente tendenza alla globalizzazione dei flussi di acqua virtuale che, crescendo in numerosità e grandezza, hanno connesso sempre più Paesi attraverso distanze crescenti.

Il presente studio evidenzia come le esportazioni nette globali di acqua virtuale per il periodo 2012-2016 ammontino a circa 120 km³ (72 km³ per il periodo 1997-2001). Tuttavia, questo valore non riflette efficacemente né l'effettiva complessità né la magnitudine di un fenomeno che, in realtà, dipende da decine di migliaia di flussi commerciali. Questa analisi ha quantificato il volume di acqua virtuale scambiata tramite il commercio di prodotti cerealicoli, oleaginosi e CTSA (escludendo quindi i prodotti animali e derivati, e i prodotti formalmente definiti non ad uso alimentare) in 1.589 km³/anno per il periodo 2012-2016 (961 km³/anno per il periodo 1997-2001). Risultati inferiori (695 km³/anno) sono stati ottenuti per il periodo 1995-1999 da Hoekstra e Hung (2005), i quali hanno considerato però un insieme composto da solamente 38 *commodities*, e da

Rockström e Gordon (2001), che hanno stimato come le esportazioni di acqua virtuale attraverso il commercio agricolo corrispondano al 13% del totale, vale a dire 702 km³/anno. Rispetto al commercio dei soli prodotti cerealicoli, le stime ottenute in questo studio sono superiori a quelle elaborate da de Fraiture et al. (2004) per l'anno 1995 (375 km³/anno contro 269 km³/anno). Per contro, Tamea et al. (2021), nel loro studio sulla dinamica dell'impronta idrica associata alle produzioni agricole, basato anch'esso sul database CWASI, hanno ottenuto risultati in linea con quelli del presente studio, mostrando nel contempo quanto l'impronta idrica del commercio internazionale di *commodities* agricole sia cresciuta nell'arco di trent'anni (1986-2016: 1,6 volte, da 900 a 2.400 km³/anno).

Proprio l'incremento di scala che questi processi hanno avuto durante gli ultimi decenni porta la comunità scientifica e i decisori politici ad interrogarsi sulla capacità dei sistemi agro-alimentari nazionali e regionali di far fronte ad eventuali turbamenti dell'offerta e/o del sistema logistico transnazionale. Infatti, stante l'obiettivo di incrementare tanto la sostenibilità (riducendo il consumo di risorse) dei sistemi agro-alimentari, quanto la sicurezza alimentare delle comunità locali, diventa necessario valutare attentamente il reale "spazio delle opzioni" che si palesa di fronte alla necessità di operare scelte (sia politiche, sia metodologiche) che guidino la trasformazione dei sistemi agro-alimentari regionali e nazionali verso un modello diverso da quello attuale. In tal senso, il nostro studio identifica flussi e bilanci che, dalla scala globale a quella nazionale, rappresentano un punto di partenza per ulteriori analisi.

Nello specifico, guardando al caso dell'Italia, è possibile rinvenire alcune informazioni fondamentali, in particolare il fatto che, con 34 km³/anno di importazioni nette, l'Italia è il quarto Paese al mondo per deficit di acqua virtuale associato al commercio di prodotti agro-alimentari (dopo Cina, Giappone e Iran). In altri termini, il livello e il tipo di consumi di prodotti agro-alimentari che caratterizzano il Paese sono altamente dipendenti dalle importazioni dall'estero, importazioni che, in una logica di incremento della sicurezza alimentare e riduzione dell'impronta idrica, potrebbe essere necessario ridurre. Tuttavia, il sistema idrologico nazionale si trova già in uno stato di intenso sfrutta-

mento, con prelievi vicini ai 34 km³/anno e una percentuale di sfruttamento della risorsa idrica rinnovabile prossima al 18% (FAO, 2024). Aumentare i prelievi per sopperire ad una diminuzione delle importazioni di acqua virtuale (accrescendo la produzione nazionale di alcune categorie di *commodities*) potrebbe rivelarsi, dunque, una strategia non praticabile, specialmente in un contesto nel quale cambiamenti climatici e siccità periodiche rischiano di ridurre ulteriormente l'ammontare di risorse idriche disponibili al prelievo durante le stagioni irrigue. Osservando il dettaglio delle categorie di prodotti che caratterizzano il deficit di acqua virtuale dell'Italia, si evince come questo dipenda sostanzialmente dall'importazione di prodotti oleaginosi (56%), seguiti dai CTSA (23%) e dai cereali (21%). In tabella 3 vengono riportati i principali flussi di importazioni ed esportazioni che il Paese intrattiene con Paesi terzi.

Tabella 3. Flussi bilaterali di acqua virtuale, Italia, media 2012-2016.

Importazioni				Esportazioni			
N.	Partner	Quantità (km ³)	Categoria	N	Partner	Quantità (km ³)	Categoria
1	Spagna	5,09	Oleaginose	1	USA	1,54	Oleaginose
2	Indonesia	4,71	Oleaginose	2	Germania	0,68	Oleaginose
3	Tunisia	2,64	Oleaginose	3	Francia	0,42	Oleaginose
4	Argentina	2,08	Oleaginose	4	Austria	0,39	Oleaginose
5	Germania	1,42	CTSA	5	Giappone	0,36	Oleaginose
6	Ucraina	1,29	Oleaginose	6	UK	0,32	Cereali
7	Paraguay	1,15	Oleaginose	7	Polonia	0,26	Oleaginose
8	Costa d'Avorio	1,14	CTSA	8	UK	0,25	Oleaginose
9	Ucraina	1,13	Cereali	9	Russia	0,25	CTSA
10	Ungheria	1,12	Cereali	10	UK	0,25	CTSA
11	Brasile	1,07	CTSA	11	Germania	0,23	Cereali
12	Grecia	1,05	Oleaginose	12	USA	0,21	CTSA
13	Brasile	1,04	Oleaginose	13	Tunisia	0,20	Cereali
14	Canada	1,03	Cereali	14	Grecia	0,19	CTSA
15	Indonesia	0,98	CTSA	15	Australia	0,16	CTSA

Fonte: elaborazione su dati CWASI

Dai dati riportati in tabella si evince chiaramente l'asimmetria tra le principali importazioni ed esportazioni che caratterizza il caso italiano, essendo le prime maggiori di quasi un ordine di grandezza rispetto alle seconde. Dalla tabella 3 si evince altresì il ruolo predominante giocato dalle colture oleaginose, i cui prodotti sarebbero in parte sostituibili con prodotti locali per caratteristiche podologiche e climatiche. Occorre però notare come siano molteplici e di significativa grandezza i flussi di prodotti CTSA, coltivabili e coltivati in zone geografiche prossime alla latitudine equatoriale, la cui sostituzione con colture locali non sarebbe possibile. Uno di tali flussi di importazioni, il quinto per magnitudine, è presumibilmente legato a una filiera distributiva più lunga delle altre, che trova in Germania uno snodo logistico. Un altro elemento che merita attenzione è l'aspetto geopolitico e il rischio legato a scenari di crisi internazionale per quello che riguarda l'approvvigionamento di risorse agro-alimentari per il Paese. In tal senso occorre citare i flussi di acqua virtuale in provenienza dall'Ucraina (cereali e oleaginose), flussi di primaria importanza antecedentemente allo scoppio dell'attuale conflitto armato, che la diplomazia internazionale ha mirato a preservare attraverso la negoziazione con le parti in conflitto.

Sulla base di quanto rilevato con il presente studio, si possono dunque trarre due principali conclusioni. In primo luogo, se l'analisi mostra inequivocabilmente la natura fortemente globalizzata del mercato agro-alimentare internazionale e delle risorse idriche che questo mobilita, essa dimostra anche la dipendenza di numerosi Paesi dalle importazioni di acqua virtuale provenienti da un numero molto limitato di esportatori. Questa considerazione, che potrebbe prestarsi a facili interpretazioni riduzioniste adducendo presunti "vantaggi comparati", nasconde notevoli complessità socio-economiche e geopolitiche. In una prospettiva di sostenibilità, la sfera geopolitica impone di guardare alle risorse agro-alimentari (e di conseguenza a quelle idriche) come risorse potenzialmente strategiche, la cui circolazione su scala globale è stata permessa e sostenuta da una certa congiuntura storica, la quale, però, mostra segni di rapido cambiamento sotto le pressioni della crisi climatica e delle recenti tensioni internazionali. D'altro canto, la crisi pandemica ha anche dimostrato la fragilità (e al tempo stesso la resi-

lienza) della sfera socio-economica che sostiene il modello contemporaneo di globalizzazione, incentivando i vari attori geopolitici ad aumentare il proprio grado di conoscenza rispetto ai rischi e alle opportunità che derivano dall'approvvigionamento sui mercati internazionali di consistenti porzioni di fabbisogno alimentare e idrico.

Un secondo punto conclusivo verte sull'idea che la conoscenza acquisita rispetto ai flussi di acqua virtuale generati dal commercio internazionale di prodotti agro-alimentari alimenti due esigenze conoscitive: da un lato, la necessità di garantire il monitoraggio costante dei flussi per analizzare le tendenze in atto e interpretare l'evoluzione dell'impronta idrica globale e le dinamiche geografiche che contribuiscono a determinarla; dall'altro, l'esigenza di declinare la dinamica globale attraverso le diverse scale, da quella nazionale a quella locale, al fine di assistere, adottando una logica di governance integrata, i processi decisionali in materia di risorse idriche e politiche agro-alimentari.

In ultima battuta, si ritiene di poter affermare che la metodologia qui proposta risulti essere particolarmente efficace non solo in termini analitico-spaziali ma anche comunicativi, in virtù dell'apparato cartografico associato.

Bibliografia

- Aldaya M. M., Allan J. A., Hoekstra A. Y. (2010), "Strategic importance of green water in international crop trade", *Ecological Economics*, 69 (4), pp. 887–894. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.001>
- Alessi E., Bologna G. (2014, a cura di), *L'impronta idrica dell'Italia*, WWF Italia, Roma.
- Antonelli M., Greco F. (2013, a cura di), *L'acqua che mangiamo: cos'è l'acqua virtuale e come la consumiamo*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Bagliani M. M., Pietta A.D. (2012), *Territorio e sostenibilità: gli indicatori ambientali in geografia*, Pàtron Editore, Bologna.
- Balogh J. M., Jámbor A. (2020), "The environmental impacts of agricultural trade: A systematic literature review", *Sustainability*, 12 (3), 1152. <https://doi.org/10.3390/su12031152>
- Born B., Purcell M. (2006), "Avoiding the local trap: scale and food systems in planning research", *Journal of planning education and research*, 26(2), pp. 195–207. <https://doi.org/10.1177/0739456X06291389>
- Carr J. A., D'Odorico P., Laio F., Ridolfi L. (2013), "Recent history and geography of virtual water trade", *PLoS ONE*, 8 (2), e55825, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055825>.
- CWASI, Coping With Water Scarcity In a globalized world, database disponibile all'indirizzo: <https://www.watertofood.org>.
- Daily G.C. (1997, ed.), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington DC, ISBN: 9781559634762.
- Dalin C., Wada Y., Kastner T., Puma M. J. (2017), "Groundwater depletion embedded in international food trade", *Nature*, 543, pp. 700–704. <https://doi.org/10.1038/nature21403>.
- de Fraiture C., Cai X., Amarasinghe U., Rosegrant M., Molden D. (2004), *Does international cereal trade save water? The impact of virtual water trade on global water use*, Comprehensive Assessment Research Report 4. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat.
- Delbourg E., Dinar S. (2020), "The globalization of virtual water flows: Explaining trade patterns of a scarce resource", *World Development*, 131, 104917. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104917>.
- D'Odorico P., Carr J., Dalin C., Dell'Angelo J., Konar M., Laio F., Ridolfi L., Rosa L., Suweis S., Tamea S., Tuninetti M. (2019), "Global virtual water trade and the hydrological cycle: patterns, drivers, and socio-environmental impacts", *Environmental Research Letters*, 14 (5), pp. 1–33, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab05f4>.
- FAO (2024), *AQUASTAT Database*. Disponibile all'indirizzo: <http://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html>. Ultimo accesso: 22 Gennaio 2024.
- Graham N. T., Hejazi M. I., Kim S. H., Davies E. G., Edmonds J. A., Miralles-Wilhelm F. (2020), "Future changes in the trading of virtual water", *Nature communications*, 11(1), 3632. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17400-4>.
- Hernández-Blanco M., Costanza R. (2018), "Natural capital and ecosystem services", in: Cramer G.L., Paudel K.P., Schmitz A. (a cura di), *The Routledge handbook of agricultural economics*, Routledge, New York, pp. 254–268. ISBN: 9781138654235
- Hoekstra A. Y., Chapagain A. K., Aldaya M. M., Mekonnen M. M. (2011), *The water footprint assessment manual. Setting the global standard*, Earthscan, London, Washington DC, ISBN: 9781849712798.
- Hoekstra A. Y., Hung P. Q. (2005), "Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade", *Global Environmental Change*, 15, pp.

- 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004>.
- Hoekstra A. Y., Mekonnen M. M. (2012), “The water footprint of humanity”, *PNAS*, 109(9), pp. 3232–3237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>.
- Kastner T., Kastner M., Nonhebel S. (2011), “Tracing distant environmental impacts of agricultural products from a consumer perspective”, *Ecological Economics*, 70, pp. 1032–1040. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.01.012>.
- Konar M., Dalin C., Hanasaki N., Rinaldo A., Rodriguez-Iturbe I. (2012), “Temporal dynamics of blue and green virtual water trade networks”, *Water Resources Research*, 48, W07509. <https://doi.org/10.1029/2012WR011959>.
- Lenzen M., Moran D., Bhaduri A., Kanemoto K., Bekchanov M., Geschke A., Foran B. (2013), “International trade of scarce water”, *Ecological Economics*, 94, pp. 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.018>.
- M. E. A., Millennium ecosystem assessment (2005), *Ecosystems and human well-being*, Vol. 5, Island press, Washington DC.
- Rodríguez-Labajos B., Martínez-Alier J. (2015), “Political ecology of water conflicts”, *WIREs Water*, 2, pp. 537–558. <https://doi.org/10.1002/wat2.1092>.
- Rosa L., Chiarelli D. D., Tu C., Rulli M. C., D’Odorico P. (2019), “Global unsustainable virtual water flows in agricultural trade”, *Environmental Research Letters*, 14, 114001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4bfc>.
- Rost S., Gerten D., Bondeau A., Lucht W., Rohwer J., Schaphoff S. (2008), “Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system”, *Water Resources Research*, 44, W09405. <https://doi.org/10.1029/2007WR006331>.
- Suweis S., Konar M., Dalin C., Hanasaki N., Rinaldo A., Rodriguez-Iturbe I. (2011), “Structure and controls of the global virtual water trade network”, *Geophysical Research Letters*, 38, L10403. <https://doi.org/10.1029/2011GL046837>.
- Tamea S., Allamano P., Carr J. A., Claps P., Laio F., Ridolfi L. (2013), “Local and global perspectives on the virtual water trade”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (3), pp. 1205–1215. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1205-2013>.
- Tamea S., Tuninetti M., Soligno I., Laio F. (2020), *CWASI database: virtual water trade and water footprint of agricultural products (1961–2016)*, Zenodo repository, Dataset, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4606794>.
- Tamea S., Tuninetti M., Soligno I., Laio F. (2021), “Virtual water trade and water footprint of agricultural goods: The 1961–2016 CWASI database”, *Earth System Science Data*, 13, pp. 2025–2051, <https://doi.org/10.5194/essd-13-2025-2021>.
- Vallino E., Ridolfi L., Laio F. (2021), “Trade of economically and physically scarce virtual water in the global food network”, *Scientific Reports*, 11, 22806, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01514-w>.
- Vörösmarty C. J., Lévêque C., Revenga C. (2005), “Fresh water”, in: Bos R. et al. (a cura di), *Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Current States and Trends*, Island Press, Covelo, London, Washington DC, pp. 165–207. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.276.aspx.pdf>.