



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale
in Scienze Ambientali

Tesi di Laurea

—

Ca' Foscari
Dorsoduro 3246
30123 Venezia

Il Water Footprint (WF) della
produzione agricola nella regione
Veneto. Confronto del WF negli
anni 2001 e 2011.

Relatore

Ch. Prof. Antonio Marcomini

Laureando

Giulia Marini

Matricola 827701

Anno Accademico

2012 / 2013

INDICE

| | |
|--|-----------|
| SOMMARIO | 1 |
| MOTIVAZIONI E OBIETTIVI DEL LAVORO DI TESI | 3 |
| <u>PARTE TEORICA</u> | 5 |
| CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE | 5 |
| 1.1. Problemi idrici e cambiamenti climatici | 5 |
| 1.1.1. L’acqua disponibile sul Globo terrestre | 5 |
| 1.1.2. Il collegamento tra cambiamenti climatici e acqua | 8 |
| 1.2. Le organizzazioni che si occupano del problema idrico | 10 |
| 1.2.1. World Water Council (WWC) | 11 |
| 1.2.2. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) | 12 |
| 1.2.3. Global Environmental Management Initiative (GEMI) | 13 |
| 1.2.4. Global Reporting Initiative (GRI) | 13 |
| 1.2.5. Water Footprint Network (WFN) | 14 |
| 1.2.6. Alliance for Water Stewardship (AWS) | 15 |
| 1.3. Metodi di calcolo dei consumi idrici | 16 |
| 1.3.1. Water Footprint (WF) | 17 |
| 1.3.2. Life Cycle Assessment (LCA) | 19 |
| 1.3.3. Global Water Tool (GWT) | 22 |
| 1.3.4. Water Sustainability Tool (WST) e Water Sustainability Planner (WSP) | 23 |
| 1.3.4.1. Water Sustainability Tool (WST) | 23 |
| 1.3.4.2. Water Sustainability Planner (WSP) | 24 |
| 1.4. Scelta del metodo Water Footprint | 25 |
| 1.5. I settori che guidano i consumi idrici | 26 |
| 1.5.1. Cibo e agricoltura | 27 |
| 1.5.2. Energia | 29 |
| 1.5.3. Industria | 29 |
| 1.5.4. Insediamenti urbani | 30 |
| 1.5.5. Ecosistemi | 30 |
| 1.6. Scelta dell’agricoltura come campo d’indagine | 31 |
| CAPITOLO 2 – L’EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA IN MATERIA DI RISORSE IDRICHE | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1. La normativa europea | 33 |
| 2.1.2. Direttiva 2000/60/CE – Water Frame Directive (WFD) | 33 |
| 2.1.2. Direttiva Nitrati (91/676/EEC) | 37 |
| 2.2. Evoluzione della normative sull’acqua in Italia | 39 |
| 2.2.1. Tutela e gestione delle acque in Veneto | 41 |
| 2.2.1.1. Il Piano di Tutela delle Acque (PTA) | 42 |
| 2.2.1.2. Tutela non solo qualitativa | 46 |
| <u>PARTE SPERIMENTALE</u> | 49 |
| CAPITOLO 3 – WATER FOOTPRINT DEI PROCESSI DI CRESCITA DELLE COLTURE | 49 |
| 3.1. Sviluppo di uno studio di Water Footprint | 49 |
| 3.1.1. Setting goal and scope | 50 |
| 3.1.2. Water Footprint accounting | 51 |
| 3.1.2.1. Blue Water Footprint | 52 |
| 3.1.2.2. Green Water Footprint | 53 |
| 3.1.2.3. Grey Water Footprint | 54 |
| 3.1.3. Water Footprint sustainability assessment | 55 |
| 3.1.3.1. Sostenibilità dell’impronta idrica di un bacino idrografico | 56 |
| 3.1.4. Water Footprint response formulation | 59 |
| 3.2. Metodo di calcolo di WF di un processo di crescita di una coltura | 61 |
| 3.2.1. Crop Water Use (CWU) | 63 |
| 3.2.2. Crop Water Requirement con CROPWAT | 65 |
| 3.2.3. Quantificazione dell’evapotraspirazione mediante “Irrigation Scheduling (IS) option” | 70 |
| 3.2.4. La componente grigia di WF del processo di crescita della coltura | 72 |
| CAPITOLO 4 – I CONFINI DELLO STUDIO: LA REGIONE VENETO | 74 |
| 4.1. I confini spazio-temporali dello studio | 76 |
| 4.2. Caratteristiche climatiche generali del Veneto | 78 |
| 4.2.1. I cambiamenti climatici in Veneto | 83 |
| 4.3. Clima e agricoltura | 91 |
| 4.3.1. I fattori climatici importanti per l’agricoltura | 93 |
| CAPITOLO 5 – WATER FOOTPRINT DEL COMPARTO AGRICOLO DELLA REGIONE VENETO | 97 |

| | |
|---|------------|
| 5.1. Confini dello studio e obiettivi specifici | 98 |
| 5.2. Inventario dei dati | 100 |
| 5.3. Scelta dell'opzione Crop water Requirement (CWR) di CROPWAT | 102 |
| 5.4. Calcolo di WF dei processi di crescita delle colture nella regione Veneto per gli anni 2001 e 2011 | 105 |
| 5.4.1. Anno 2001 | 106 |
| 5.4.2. Anno 2011 | 113 |
| 5.4.3. Confronto di WF tra l'anno 2001 e 2011 | 120 |
| CONCLUSIONI | 130 |
| Riferimenti bibliografici | 134 |
| Sitografia | 148 |
| APPENDICE A | 150 |
| APPENDICE B | 164 |

SOMMARIO

La risorsa idrica è rinnovabile ma non infinita poiché la sua quantità non è incrementabile e si rinnova attraverso il suo ciclo, che l'azione antropica sta fortemente alterando rendendo tale risorsa non più usufruibile. La causa principale di tali alterazioni è da ricondurre al continuo aumento dei consumi di tale risorsa, dovuti a molteplici fattori tra i quali il costante incremento della domanda di cibo dovuto alla rapida crescita demografica, e l'industrializzazione sempre più marcata. In aggiunta, i cambiamenti climatici indotti dall'uomo stanno influenzando il ciclo idrologico. Nell'ottica di arrestare l'esaurimento e il degrado qualitativo di tale risorsa, la gestione sostenibile dell'acqua è ora quanto mai necessaria, tanto che il problema della gestione idrica è stato elevato a problema umanitario dagli Obiettivi di Sviluppo del Millennio; inoltre è stato sviluppato un ampio quadro normativo europeo e nazionale per affrontare efficacemente tale problematica. Si tratta della Water Frame Directive (WFD 2000/60/CE) emanata dalla Comunità Europea e recepita nel contesto nazionale dal D. Lgs. 152/2006. Quest'ultimo prevede che ciascuna regione italiana rediga un Piano di Tutela delle Acque (PTA).

La centralità del problema idrico ha fatto sì che nascessero molte organizzazioni, istituzioni e iniziative che si occupassero del tema acqua. Il fine primario di tutte è indurre ad un uso più razionale ed efficiente della citata risorsa. All'interno di queste si distingue il Water Footprint Network il quale promuove l'utilizzo dell'indicatore Water Footprint (WF), o impronta idrica, quale strumento in grado di quantificare l'appropriazione di acqua dolce da parte dell'uomo e valutare i possibili impatti legati al suo utilizzo nella produzione di prodotti di consumo, al fine di capire come meglio gestire tale risorsa a livello globale. Tale indicatore è stato ideato nel 2002 dal prof. Hoekstra e i casi di studio riguardanti varie tipologie di prodotto finora analizzati mostrano che i prodotti la cui catena di produzione comprende la fase agricola hanno WF più alti rispetto agli altri. Questo è in accordo con la comunità internazionale secondo cui il settore agricolo è responsabile del 70% dell'utilizzo globale di acqua dolce.

Nel presente lavoro di tesi ci si è posti l'obiettivo principale di analizzare la metodologia sviluppata nell'ambito degli studi di impronta idrica e di applicare tale strumento ad un caso di studio al fine di valutarne i pregi ed i limiti applicativi.

Nella prima parte della tesi si introducono le relazioni tra l'incremento dei consumi idrici e l'esaurimento della risorsa e la loro connessione con i cambiamenti climatici seguite dall'analisi delle principali politiche in materia di tutela delle acque (WFD 2000/60/CE, Direttiva Nitrati

91/676/EEC, D. Lgs. 152/2006 Parte Terza e la Delib. G. R. n. 4453 del 29/12/2004 con cui la regione Veneto ha adottato il Piano di Tutela delle Acque).

La parte sperimentale è comprensiva invece dell'analisi della metodica di calcolo utilizzata e del caso di studio applicativo. Il caso di studio si è concentrato sulla quantificazione dell'impronta idrica (Water Footprint) dei processi di crescita delle colture nella regione Veneto per gli anni 2001 e 2011. La determinazione delle evapotraspirazioni, basilari per tale calcolo, sono state realizzate con l'opzione CWR (Crop Water Requirement) del software CROPWAT della FAO. I risultati ottenuti, presentati al capitolo 5, hanno mostrato che a livello di WF della produzione agricola totale regionale i valori dei due anni sono stati pressoché uguali, ma da un'analisi più attenta è emerso che la produzione nel 2011 è stata inferiore del 2001, quindi a parità di consumi idrici il peso prodotto è stato minore. Infatti i valori di WF in L/Kg delle singole colture sono risultati quasi tutti più elevati nel 2011 rispetto al 2001; ciò ha permesso inoltre di individuare quali colture sono più sostenibili dal punto di vista dei consumi idrici che nel caso specifico sono risultate la barbabietola da zucchero e il pomodoro da industria. Al contrario, le meno sostenibili sono risultate tabacco e soia, seguite da cereali quali orzo, frumento tenero e mais.

Inoltre i risultati realizzati con dati sito specifici sono stati confrontati con le medie regionali proposte dagli studi di Mekonnen e Hoekstra (2010, 2011) rilevando che le WF delle principali colture (mais, barbabietola da zucchero, soia, frumento tenero e uva) sono più basse di quelle calcolate con dati reperiti da database globali di questi ultimi, confermando il valore dei risultati della tesi nell'ambito della quale la accurata fase di inventario dei dati svolta (con raccolta di dati meteorologici e relativi alle colture di tipo sito specifico) ha permesso di restituire un dato per le singole provincie molto più accurato e valido.

Il presente lavoro costituisce una base di confronto per studi futuri riguardanti la stessa area o le medesime colture considerate, in vista anche della pubblicazione della norma ISO 14046 specifica di WF, prevista per la fine del 2014. Al momento attuale infatti non vi sono ancora regole precise e riconosciute a livello internazionale che permettano di applicare la metodologia in maniera univoca. I risultati di ciascuno studio di impronta idrica vanno interpretati sulla base delle assunzioni di cui si è tenuto conto.

MOTIVAZIONI E OBIETTIVI DEL LAVORO DI TESI

Il Water Footprint (WF), o impronta idrica, è uno strumento che consente di quantificare i consumi idrici di un qualsiasi processo (compresi i processi di crescita delle colture), prodotto, consumatore, produttore o azienda, distinguendo il tipo di acqua utilizzata in tre tipi: verde, blu e grigia. Il WF verde fa riferimento all'acqua piovana, il WF blu all'acqua dolce superficiale e sotterranea e il WF grigio all'acqua di diluizione degli inquinanti prodotti e necessaria affinché le concentrazioni rispettino gli standard di legge. L'impronta idrica si propone come uno strumento in grado di quantificare l'appropriazione di acqua dolce da parte dell'uomo e valutare i possibili impatti legati al suo utilizzo nella produzione di prodotti di consumo, sia primari che secondari. La valutazione si articola in quattro fasi: goal and scoping (inventory), accounting, sustainability assessment, response formulation.

Tale indicatore è stato proposto dal prof. Hoekstra per promuovere un uso sostenibile della risorsa idrica, vista la centralità che essa ha acquisito a causa di una sua riduzione in termini quantitativi e di peggioramenti qualitativi, generati dall'eccessivo e non corretto consumo a scopi umani.

Il settore che maggiormente utilizza acqua a livello globale è l'agricoltura (70%), la quale inoltre restituisce parte di tale risorsa inquinata.

Il lavoro di tesi si focalizza proprio sul calcolo della Water Footprint per la produzione agricola nella regione Veneto per gli anni 2001 e 2011, la quale, sebbene la ricchezza d'acqua la abbia da sempre caratterizzata, ha dovuto affrontare anch'essa emergenze idriche, dovute principalmente a una generalizzata diminuzione delle precipitazioni.

Nel presente lavoro di tesi ci si è posti l'obiettivo principale di analizzare la metodologia di base sviluppata nell'ambito degli studi di impronta idrica e di applicare tale strumento ad un caso di studio al fine di valutarne i pregi ed i limiti applicativi.

In particolare il lavoro si pone i seguenti obiettivi specifici:

- 1- valutare e confrontare i volumi di irrigazione richiesti dalle colture ottenuti mediante il CROPWAT e le sue differenti opzioni utilizzabili (CWR o IS) rispetto ai dati reali di consumo idrico in ambito agricolo con l'obiettivo sia di valutare la congruenza dei calcoli sviluppati con il software CROPWAT sia di orientare la scelta verso una opzione di calcolo CWR (Crop Water Requirement) o IS (Irrigation Schedule);
- 2- applicare e calcolare WF dei processi di crescita delle colture (mediante l'opzione di CROPWAT selezionata al punto precedente) e della produzione agricola in Veneto per gli anni 2001 e 2011 valutando le differenze dopo un decennio;
- 3- verificare come le diverse richieste idriche da parte delle colture modificano il valore di WF.

Al fine di raggiungere gli obiettivi descritti, la tesi si sviluppa in due sezioni, una teorica ed una sperimentale.

La parte teorica della tesi introduce, al capitolo 1, i problemi idrici a livello globale, generati da modelli errati di consumo dell'acqua da parte dell'uomo e dai cambiamenti climatici che incidono negativamente sul ciclo idrologico. Il medesimo capitolo prosegue con la descrizione delle organizzazioni che si occupano di promuovere un uso sostenibile di tale risorsa per poi fare un'analisi sui settori che maggiormente consumano acqua. Al capitolo 2 viene presa in considerazione la normativa europea, nazionale e regionale per la tutela delle acque ("Water Frame Directive", "Direttiva nitrati", "Parte terza del D.Lgs. 152/2006" e "Delib. G. R. n. 4453 del 29/12/2004").

La parte sperimentale inizia descrivendo, nel capitolo 3, le fasi in cui si articola uno studio di WF per proseguire con la presentazione del metodo di calcolo specifico per un processo di crescita di una coltura, come riportato dal "Water Footprint Assessment Manual: setting the global standard" di Hoekstra et al. (2011). Il capitolo 4 presenta i confini spazio-temporali dello studio, analizzando inoltre l'andamento climatico dell'area in oggetto, concludendo con una descrizione riguardante i principali parametri meteo-climatici che influenzano la produzione agricola. L'applicazione dello strumento di impronta idrica e i risultati ottenuti sono presentati al capitolo 5, il quale si conclude con il confronto di WF tra l'anno 2001 e 2011.

CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE

1.1. PROBLEMI IDRICI E CAMBIAMENTI CLIMATICI

1.1.1. L'acqua disponibile sul Globo terrestre

Anche se la superficie terrestre è coperta per il 71% di acqua, questa è costituita per il 97,5% da acqua salata. L'acqua dolce rimanente è per il 68,7% contenuta in ghiacciai e nevi perenni, per il 30,1% nel sottosuolo e solo lo 0,4% è localizzata in fiumi, laghi e sotto forma di umidità atmosferica e quindi potenzialmente disponibile per l'uomo (UNESCO, 2006; Zeman et al., 2006). Tale quantità corrisponde allo 0,08% dell'acqua totale del pianeta.

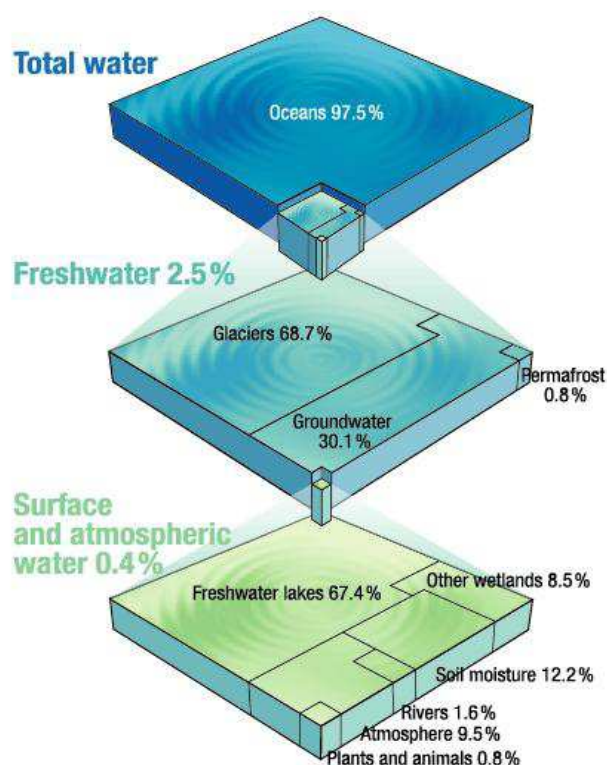


Figura 1.1: Distribuzione globale dell'acqua (Fonte: UNESCO, 2006)

Al quantitativo già di per sé irrisorio si deve aggiungere una distribuzione ineguale sulla superficie terrestre. Le risorse di acqua dolce infatti variano molto da regione a regione e possono variare notevolmente all'interno dei continenti. La maggior parte dell'acqua è concentrata in alcuni bacini in Siberia, nella regione dei grandi laghi in Nord America, nei laghi Tanganika, Vittoria e Malawi

in Africa, mentre il 27% è costituita dai cinque più grandi sistemi fluviali: il Rio delle Amazzoni, il Gange con il Bramaputra, il Congo, lo Yangtze e l'Orinoco (UNESCO, 2006).

Alla irregolare distribuzione spaziale si aggiunge la discontinuità nella disponibilità di acqua durante le diverse stagioni ma anche tra i vari anni; ad esempio in estate, nelle regioni a clima temperato, essa raggiunge i livelli minimi. Inoltre si possono verificare anni mediamente più umidi o più secchi (EEA, 2009; UNESCO, 2012).

La media annuale rispetto al totale delle risorse idriche rinnovabili di acqua dolce (TARWR) disponibili per ogni paese fornisce una panoramica della suddetta variabilità geografica (Figura 1.2) (UNESCO, 2012). Per totale delle risorse idriche naturali rinnovabili (km³/anno) s'intende la somma delle risorse idriche rinnovabili interne e del flusso naturale in entrata originatosi fuori dalla nazione; esso non varia con il tempo (FAO, 2003).

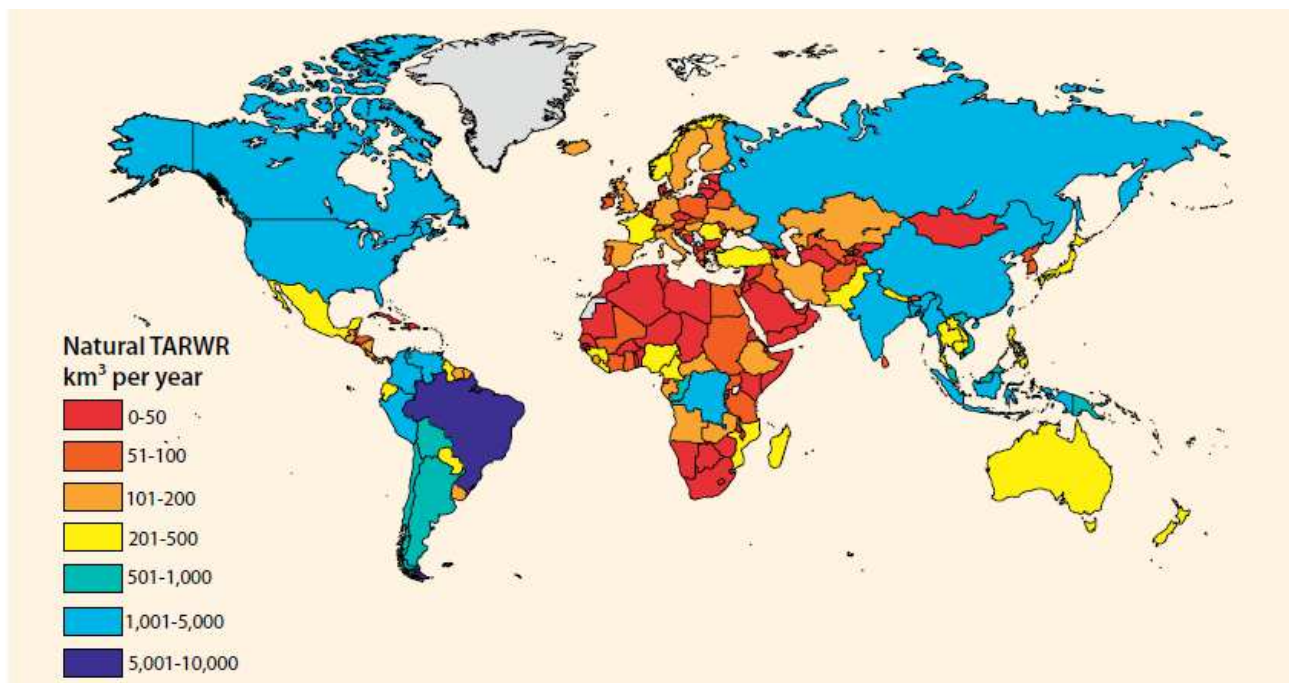


Figura 1.2: Totale delle risorse idriche naturali rinnovabili (km³/anno). (Fonte: UNESCO, 2012).

Attualmente l'uomo si appropria di più del 50% di tutta l'acqua dolce rinnovabile e accessibile a livello globale (EEA, 2009) e dagli anni '50 ad oggi la richiesta d'acqua è triplicata (Hanjra e Qureshi, 2010), conseguenza dell'aumento della popolazione, dell'industrializzazione ma anche dalla mancanza di pratiche di conservazione della risorsa idrica (Parish et al., 2012). L'attuale tasso di utilizzo dell'acqua è perciò insostenibile, tanto che dal 5 al 25% dell'attuale utilizzo di acqua dolce supera gli approvvigionamenti idrici accessibili a lungo termine. In alcune aree come il Nord Africa e il Medio Oriente l'utilizzo insostenibile rappresenta più di un terzo di tutto il consumo

d'acqua (UNEP, 2009). Ciò comporta situazioni di stress idrico, dove per stress idrico s'intende il rapporto tra la quantità di acqua disponibile in un determinato luogo e i prelievi da parte degli utenti; viene utilizzato per avere una visione globale sullo stato della risorsa idrica confrontando la disponibilità con la domanda (UNESCO, 2003). Una zona viene definita in "stress idrico" quando la disponibilità di acqua è inferiore a 1.700 m³ per persona/anno e "grave stress idrico" quando la disponibilità è sotto i 1000 m³ per persona/anno. Alcuni studi prevedono che nel 2032 le zone in cui sarà più probabile si verifichi un "grave stress idrico" saranno il Medio Oriente, il Messico centrale, gran parte del continente indiano e diverse parti del nord dell'Africa (Zeman et al., 2006; Parish, 2012). Un altro studio, che fa una stima basandosi sui cambiamenti climatici e lo sviluppo economico all'anno 2025, rivela che delle 160 nazioni analizzate, 116 manterranno le stesse condizioni idriche del 1997, 34 vedranno la diminuzione dello stress idrico e 10 mostreranno un aumento (UNESCO, 2003). Se gli attuali trend continuano, si prevede che nel 2025 1,8 miliardi di persone vivranno in nazioni o regioni che presenteranno scarsità idrica e due terzi della popolazione mondiale saranno soggetti a scarsità idrica (UNEP, 2009).

Così come è importante la quantità di acqua lo è anche la qualità per soddisfare i bisogni umani basilari e l'ambiente. Un'acqua poco pulita comporta costi economici, ambientali e sociali elevati, come il depauperamento degli ecosistemi, costi connessi alla salute umana, impatti sulle attività economiche come l'agricoltura, la produzione industriale e il turismo, aumento dei costi legati al trattamento delle acque (UNESCO, 2012).

L'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) stima che più di 3,4 milioni di persone, che equivalgono agli abitanti della città di Los Angeles, muoiono ogni anno per cause dovute al consumo di acqua insalubre e servizi igienico-sanitari carenti (WHO, 2008). Dei 3,4 milioni, 1,8 sono bambini che muoiono di diarrea (UNDP, 2006).

Da quanto emerge dal "rapporto sullo sviluppo umano 2006", le cause del problema variano da paese a paese ma tra le più ricorrenti vi è in primo luogo la considerazione che sussiste in molti paesi che l'acqua e l'igiene non rappresentino priorità politiche, come testimoniano i modesti contributi finanziari erogati. In secondo luogo, alcune delle persone più povere del mondo pagano prezzi fra i più alti del mondo per l'accesso all'acqua, con una copertura limitata di servizi idrici nelle baraccopoli e negli insediamenti dove vivono le persone povere. In terzo luogo, la comunità internazionale ha fallito il tentativo di attribuire al settore idrico e igienico-sanitario il ruolo che gli compete nell'ambito delle partnership per lo sviluppo che sono sorte intorno al tema degli Obiettivi di Sviluppo del Millennio (UNDP, 2006).

E' chiaro, quindi, che la principale fonte di vita dell'umanità si sta trasformando in una risorsa strategica vitale che deve perciò essere gestita in maniera sostenibile.

A tale già grave situazione si aggiunge il cambiamento climatico in atto che genera effetti drastici nella distribuzione delle acque a livello globale in seguito a diminuzione delle precipitazioni, scioglimento dei ghiacciai, innalzamento del livello dei mari, oltre all'incremento di eventi meteorici estremi che provocano l'aumento di dissesti idrogeologici e inondazioni.

1.1.2. Il collegamento tra cambiamenti climatici e acqua

Il nostro clima non è mai stato stabile per un periodo di tempo prolungato (UNESCO,2003). Le cause naturali esterne di variabilità del clima sono le variazioni nella quantità di energia emessa dal Sole, i cambiamenti nella distanza tra la Terra e il Sole, e la presenza di inquinamento vulcanico nell'atmosfera superiore. Variazioni interne del sistema climatico producono anche fluttuazioni, attraverso i processi di feedback che collegano i vari componenti del sistema climatico. Queste variazioni sorgono quando una variazione più rapida delle condizioni atmosferiche "forza" i componenti lenti del sistema, come le variazioni interne nell'oceano, nella criosfera, o biosfera. Essi sono intensificati mediante l'accoppiamento di componenti del sistema che non avrebbe un tale effetto su base individuale. Il fenomeno di ElNiño è uno dei migliori esempi di variabilità interna. La variabilità climatica quindi è una caratteristica insita al sistema climatico naturale (UNESCO, 2003). Essa però non è da confondere con il "cambiamento climatico" il quale invece avviene in un lungo periodo di tempo ed è associato al riscaldamento globale, causato sia da fattori naturali ma soprattutto antropici (UNESCO, 2006).

A partire dalla rivoluzione industriale e l'espansione dell'agricoltura circa 200 anni fa, le emissioni di gas serra e degli aerosol dovuti alle attività umane hanno progressivamente alterato la composizione dell'atmosfera (UNESCO, 2003).

Ma è solo nel corso degli anni '70 che il tema del cambiamento climatico emerge nel dibattito internazionale, come conseguenza di una progressiva e sempre più puntuale raccolta di informazioni di carattere scientifico che consentono di leggere con nuove conoscenze l'evoluzione del sistema climatico e la sua interazione con i sistemi ecologici, sociali e economici. Infatti è in questi anni che inizia la pubblicazione di articoli scientifici, molti dei quali anche su riviste e quotidiani diffusi al grande pubblico come il New York Times, Time Magazine, National Geographic magazine, Newsweek, Science New's e altri, che prevedono un generale riscaldamento

climatico, andando contro alla letteratura precedente secondo cui il cambiamento climatico era un falso mito (Peterson et al., 2008).

E' stato il 1972 l'anno che ha segnato l'avvento della questione ambientale grazie alla prima conferenza Mondiale organizzata dall'ONU sull'ambiente la pubblicazione del rapporto del Club di Roma *The Limits of Growth* (erroneamente tradotto in italiano con "I limiti dello sviluppo") che ha preannunciato un progressivo esaurimento delle risorse ambientali e la prima Conferenza Mondiale dell'ONU sull'Ambiente tenutasi a Stoccolma nel corso della quale la comunità internazionale e gli stati che la compongono hanno riconosciuto l'esistenza di una questione ambientale e la necessità di avviare politiche coordinate su scala internazionale per farvi fronte. A seguito di tale Conferenza, la prima azione concreta fu la creazione da parte dell'ONU del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), primo organismo internazionale la cui sede fu stabilita in un paese del sud del mondo: Nairobi in Kenya. All'UNEP si deve l'organizzazione della prima Conferenza internazionale sul clima che si tenne a Ginevra nel 1979 e, sempre tale organismo istituì nel 1988 l'Intergovernmental Panel for ClimateChange (IPCC) un gruppo di lavoro composto da scienziati di tutto il mondo per indagare sul fenomeno del cambiamento climatico e sulle sue cause (Scheda "Cambiamento climatico" di Unimondo: www.unimondo.org/Temi/Ambiente/Cambiamento-climatico). L'attività principale svolta da tale organismo è proprio quella di fornire regolarmente una valutazione sulle conoscenze riguardanti i cambiamenti climatici e lo fa pubblicando rapporti di valutazione il cui ultimo (il quinto) è in fase di stesura e sarà completato entro fine 2013/inizio 2014 (Solomon et al., 2007). E' proprio il gruppo di esperti dell'IPCC ad evidenziare un numero crescente di osservazioni che individuano il processo del riscaldamento globale e di altri cambiamenti nel sistema climatico oltre a segnalare che la maggior parte dei fenomeni legati al riscaldamento osservati negli ultimi 50 anni è attribuibile alle attività umane. La media globale della temperatura in prossimità della superficie è aumentata di circa 0,6 ° C dal 1900. Il tasso e la durata del riscaldamento durante il 20 ° secolo è stata molto maggiore che in uno qualsiasi degli ultimi nove secoli, ed è probabile che gli anni '90 del 1900 siano stati i più caldi e il 1998 l'anno più caldo del precedente millennio. Un altro dato fondamentale è che il livello del mare è aumentato in media di 1-2 mm all'anno (IPCC, 2008; EC, 2005).

Altre prove riportate dall'IPCC (2008) comprendono: aumento delle temperature nel corso degli ultimi quattro decenni negli 8 km più bassi dell'atmosfera; diminuzione del manto nevoso e l'estensione del ghiaccio, e aumento del contenuto di calore nell'oceano. Registreazioni strumentali delle precipitazioni sulla superficie terrestre (pioggia, grandine e neve) continuano a mostrare un incremento da 0,5 a 1% per decade su gran parte delle medie e alte latitudini dell'emisfero settentrionale. Nelle regioni in cui la precipitazione totale è aumentata, ci sono stati aumenti più

evidenti negli episodi di precipitazioni intense ed estreme. Inoltre, l'aumento delle precipitazioni intense sono state documentate anche in quelle regioni dove la precipitazione totale è diminuita o è rimasta costante. Le variazioni di precipitazioni medie annuali hanno un effetto cumulativo sulla sostenibilità delle risorse idriche; i cambiamenti nell'intensità delle tempeste sono più immediati, come il crescente numero di catastrofi climatiche verificatesi fin troppo bene (UNESCO,2003).

Il riscaldamento globale osservato negli ultimi decenni è costantemente associato a cambiamenti in un numero di componenti del ciclo idrologico e dei sistemi idrologici, quali: cambiamenti delle precipitazioni, dell'intensità (che si traduce in ruscellamenti e limitata capacità d'infiltrazione dell'acqua nel suolo) e degli eventi estremi, scioglimento diffuso di neve e ghiaccio, innalzamento del livello del mare, aumento del vapore acqueo atmosferico, dovuto all'incremento dell'evapotraspirazione (la somma dell'evaporazione e della traspirazione delle piante dalla superficie della terra all'atmosfera), variazioni di umidità del suolo e di deflusso (IPCC, 2008).

In tale complesso scenario si prevede inoltre che la combinazione tra una durata minore ma più intensa delle piogge, assieme con l'incremento dell'evapotraspirazione e dell'irrigazione, porti all'impoverimento delle falde acquifere (Green et al., 2011). Ed è proprio l'acqua sotterranea a costituire il 95% dell'acqua dolce del nostro pianeta, anche se il suo ruolo così centrale nello sviluppo umano è stato riconosciuto solo di recente. Basti pensare che circa due miliardi di persone dipendono direttamente dall'acqua presente negli acquiferi per gli usi potabili e che il 40 per cento del cibo prodotto nel mondo deriva da agricoltura irrigua che si basa in gran parte sulle acque sotterranee. In Asia, un terzo dei fabbisogni idrici è soddisfatto dalle acque sotterranee così come negli Stati Uniti oltre il 95 per cento della popolazione rurale. Ma non solo, anche le grandi città sono strettamente legate a questa risorsa come quasi un terzo delle più grandi città della Russia o come fanno molte delle capitali dei paesi dell'Africa occidentale e centrale (Morris et al., 2003).

La comprensione degli effetti a lungo termine della variabilità del clima e il cambiamento è quindi una sfida fondamentale al fine di affrontare misure di protezione efficaci e di attuare una gestione sostenibile delle risorse idriche (Baruffi et al., 2012).

1.2. LE ORGANIZZAZIONI CHE SI OCCUPANO DEL PROBLEMA IDRICO

Il problema della gestione idrica è stato elevato a problema umanitario dagli Obiettivi di sviluppo del Millennio con scadenza nel 2015. Essi sono obiettivi fissati dalle Nazioni Unite per ridurre la fame e la povertà estrema, diminuire la mortalità infantile, dare ai bambini un'istruzione e superare le disuguaglianze di genere. Il progresso in ciascuno di questi ambiti dipenderà dal modo in cui i

governi rispondono alla crisi idrica. In particolare, l'obiettivo 10 dice di dimezzare entro il 2015 (rispetto al 2005) la proporzione di persone non avente un accesso sostenibile ad acqua potabile pulita e a servizi sanitari di base (UNDP, 2006).

La centralità del problema idrico ha fatto sì che nascessero molte organizzazioni, istituzioni e iniziative che si occupassero del tema acqua. Il fine primario di tutte è indurre ad un uso più razionale ed efficiente della citata risorsa.

Le Organizzazioni Internazionali svolgono un ruolo di monitoraggio della situazione mondiale e di coordinamento delle azioni per la salvaguardia globale dell'acqua. Le Istituzioni rivestono invece un ruolo importante nell'indirizzare gli stili di consumo e nel promuovere i comportamenti virtuosi di cittadini e aziende che operano nel territorio nazionale. E' da ricordare infine il ruolo delle ONG, nella sensibilizzazione dell'opinione pubblica e nella promozione di iniziative per la valutazione dello stato delle risorse idriche e degli attuali usi. Vale la pena citare l'UNESCO, la FAO e il WWF, quest'ultimo in particolare ha iniziato nel 2006 la ricerca sullo strumento del *Water Footprint*. Questo progetto ha le partnership innovative del governo e dell'economia pubblica nella valutazione e nel monitoraggio dell'uso delle acque, degli impatti ambientali e sociali e dei rischi di approvvigionamento lungo le catene di produzione (WWF, WFN, 2009).

Nel 2008, il WWF ha introdotto nel Regno Unito una rete di uffici per seguire il progetto del Water Footprint su scala nazionale con il proposito di avviare lo stesso studio in altri paesi chiave del mondo (WWF, 2008).

Di seguito verranno riportate le principali informazioni in merito alle organizzazioni internazionali e alle iniziative di maggior rilievo a livello internazionale.

1.2.1 World Water Council (WWC)

Il consiglio mondiale sull'acqua è un'organizzazione internazionale con sede a Marsiglia. Dispone di 323 membri (marzo 2006) del settore privato (ad esempio la società elettrica francese EDF e la produttrice Mitsubishi Heavy Industries), ministeri, istituzioni accademiche, istituzioni finanziarie internazionali (ad esempio, la Banca Mondiale), le Nazioni Unite e governi locali. Tra i fondatori del Consiglio Mondiale dell'Acqua c'erano membri della gestione di società internazionali, come ad esempio la multinazionale Suez. La missione del Consiglio Mondiale dell'Acqua è quella di "promuovere la consapevolezza, costruire impegno politico e innescare l'azione su questioni idriche critiche a tutti i livelli, tra cui il più alto livello decisionale, per facilitare l'efficiente conservazione,

la tutela, lo sviluppo, la pianificazione, la gestione e l'uso di acqua in tutte le sue dimensioni su una base sostenibile per l'ambiente a beneficio di tutta la vita sulla terra" (WWC, 2012).

Fornendo una piattaforma per incoraggiare dibattiti e scambi di esperienze, il Consiglio mira a raggiungere una comune visione strategica sulle risorse idriche e gestione dei servizi idrici tra tutte le parti interessate della comunità idrica. Nel processo, il Consiglio catalizza anche le iniziative e le attività, i cui risultati convergono verso il suo prodotto di punta, il Forum mondiale dell'acqua.

Tale forum viene organizzato ogni tre anni, in stretta collaborazione con le autorità del paese ospitante; è il più grande evento internazionale nel settore delle acque. Finora gli incontri sono stati sei, il prossimo si terrà nel 2015 (WWC, 2009).

1.2.2 World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)

E' una organizzazione di aziende che stimola la comunità del business globale nel cercare un futuro sostenibile per le imprese, la società e l'ambiente.

Il Consiglio prevede un forum per le sue 200 aziende associate - che rappresentano tutti i settori di attività, tutti i continenti e un fatturato complessivo di oltre 7 miliardi di dollari US - per condividere le migliori pratiche in materia di sviluppo sostenibile e per sviluppare strumenti innovativi che modificano lo status quo. Il Consiglio beneficia anche di una rete di 60 consigli imprenditoriali nazionali e regionali e di organizzazioni partner, la maggioranza delle quali hanno sede in paesi in via di sviluppo (WBCSD, 2009).

Nel 2007 ha sviluppato uno strumento gratuito e facile da utilizzare, il "Global Water Tool (GWT)", che permette alle imprese e alle organizzazioni di mappare il loro utilizzo di acqua e valutare i rischi relativi alle loro operazioni globali e alle catene di fornitura (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2008; Morrison et al., 2009).

Il GWT non fornisce indicazioni specifiche sulle situazioni locali. Ciò richiede una più approfondita analisi sistematica a livello di impianto. Per questo motivo, il WBCSD ha collaborato con il GEMI per sviluppare il "Local Water Tool™ (LWT)", uno strumento gratuito per le aziende e le organizzazioni per valutare gli impatti esterni, i rischi di business, le opportunità e i piani di gestione relativi al consumo di acqua e allo scarico in un sito specifico o nel funzionamento (www.wbcd.org).

1.2.3 Global Environmental Management Initiative (GEMI)

GEMI è un'organizzazione di aziende leader dedicata a promuovere la salute, la sicurezza (EHS) e l'eccellenza della sostenibilità attraverso la condivisione di strumenti e informazioni che aiutino le imprese a raggiungere l'eccellenza di sostenibilità ambientale. GEMI ha attualmente 26 aziende associate che rappresentano più di 12 settori di attività (UNEP, 2010).

Negli ultimi anni ha diffuso due strumenti online e delle guide allo scopo di mettere in luce il processo per valutare gli usi e i consumi d'acqua degli impianti industriali rapportandoli al contesto regionale di scarsità idrica in cui tali stabilimenti si trovano. Tali strumenti permettono di capire quali impianti e relative operazioni incidono negativamente sulla risorsa idrica. Inoltre GEMI fornisce guide che elencano una gran varietà di impatti con relativi esempi di quali siano i fattori di rischio per l'azienda se i problemi legati alla gestione della risorsa idrica non vengono risolti. Nel 2007 GEMI ha realizzato "Collecting the drops: A Water Sustainability Planner" che fornisce strumenti e guide dettagliate in merito a:

- Il processo di valutazione della disponibilità della fornitura idrica a confronto con la disponibilità idrica di quelle regioni;
- Gli impatti che il soddisfacimento dei fabbisogni idrici ha sulla disponibilità idrica di una certa ragione;
- I rischi derivanti che possono interferire con la produzione di un bene o di un servizio (GEMI, 2007).

Questo include una guida per preparare un diagramma di flusso a blocchi della fornitura di acqua e dei bilanci idrici della fornitura che richiedono i dati dei consumi idrici lungo la supply-chain, le perdite idriche del processo e delle forniture, inoltre GEMI mette a disposizione questionari web la cui compilazione consente alle aziende di individuare i rischi collegati all'acqua. Questo strumento utilizza i dati dei consumi idrici ed i dati dei rilasci da parte delle compagnie per fornire raccomandazioni e porre le compagnie al riparo da eventuali rischi. Non è uno strumento che propone una metodologia avanzata che le compagnie possono usare per valutare meglio l'uso e il rilascio di acqua (Maragno, 2010).

1.2.4. Global Reporting Initiative (GRI)

Il GRI è una organizzazione non-profit che lavora verso un'economia sostenibile globale, fornendo una guida di report di sostenibilità, ampiamente usato in tutto il mondo.

Il quadro consente a tutte le organizzazioni di misurare e segnalare le loro performance economiche, ambientali, sociali e di governance - le quattro aree chiave della sostenibilità (www.globalreporting.org).

Il *reporting* di sostenibilità consiste nella misurazione, comunicazione e assunzione di responsabilità nei confronti di *stakeholder* sia interni che esterni, in relazione alla performance dell'organizzazione rispetto all' obiettivo dello sviluppo sostenibile. L'espressione "reporting di sostenibilità" assume un vasto significato ed è sinonimo di altre espressioni utilizzate per illustrare l'impatto economico, ambientale e sociale. L'ultima versione di questo schema si chiama *G3 Guidelines* ed include cinque criteri relativi alla valutazione della risorsa idrica (UNEP, 2009):

1. Prelievo totale di acqua
2. Risorse idriche affette da privazione di acqua
3. Percentuale sul volume totale di acqua riciclata e riutilizzata.
4. Quantità di acqua totale scaricata compresa di qualità e destinazione.
5. Identificazione dei sistemi che sono influenzati dallo scarico di acqua da parte dell'azienda e dal suo utilizzo di acqua.

Questo schema richiede la valutazione degli impatti legati all' uso della risorsa idrica e non richiede una metodologia specifica per la quantificazione dei valori richiesti dai cinque criteri.

Lo schema sviluppato dal GRI ha l'obiettivo principale di mettere in contatto in maniera semplificata le aziende con le parti interessate. Questo schema sebbene sembri fornire delle informazioni sulla risorsa idrica interessanti non può essere considerato significativo a livello scientifico perché come già detto non sono individuate delle metodologie e degli strumenti per definire in modo univoco questi criteri. Nel 2002, la GRI ha pubblicato un progetto di protocollo d'acqua che fornisce informazioni dettagliate e linee guida per orientare le valutazioni delle imprese, le misure e la comunicazione sugli usi delle acque e gli impatti associati (Maragno, 2010). Finora ha pubblicato quattro versioni di "guidelines, l'ultima, la G3.1, nel marzo 2011; quest'ultima è un aggiornamento e il completamento del G3, con una guida ampliata di del genere di reporting, e di performance di comunità e di diritti umani correlati.

1.2.5. Water Footprint Network (WFN)

Il WFN è un'organizzazione no-profit fondata per promuovere la transizione verso un uso sostenibile, equo ed efficiente delle risorse di acqua dolce in tutto il mondo, attraverso:

1. lo sviluppo del concetto di 'impronta idrica', un indicatore spazialmente e temporalmente

esplicito dell'uso dell'acqua diretta e indiretta dei consumatori e dei produttori;

2. l'aumento della consapevolezza dell'impronta idrica delle comunità, enti pubblici e delle imprese e la loro comprensione di come il consumo di beni e servizi e delle catene di produzione sono collegate all'uso dell'acqua dolce e agli impatti su di essa;

3. promozione di forme di governance dell'acqua che riducono gli impatti negativi ecologici e sociali delle impronte idriche delle comunità, paesi ed imprese. (www.waterfootprint.org).

L'impronta idrica quantifica il consumo d'acqua e l'inquinamento associati a specifiche attività come l'irrigazione, lavaggio, pulizia e processi di raffreddamento. Le novità di tale indicatore sono sostanzialmente tre: aggiunge all'uso diretto l'uso indiretto di acqua nascosto dietro al consumo di beni e servizi; considera non solo l'utilizzo di acqua di falda o superficiale (blue water), come fa l'indicatore classico, ma anche l'utilizzo di acqua piovana disponibile come umidità del suolo (green water) ed il consumo di acqua legata al processo di purificazione della stessa dagli agenti inquinanti (grey water); comprende l'uso di acqua blu nella misura in cui questa acqua non viene restituita da dove proviene (quindi è in grado di valutare in termini positivi il recupero ed il riciclo nello stesso bacino od in un altro bacino) (Hoekstra et al. 2011)

1.2.6 Alliance for Water Stewardship (AWS)

Costituita nel 2008, l'Alleanza per la gestione dell'acqua sta lavorando con le parti interessate impegnate a sviluppare un programma volontario (una certificazione) di gestione delle acque e di una organizzazione stabile per ospitare questa iniziativa. Il programma, sulla base di una norma rigorosa ma al contempo realistica di una gestione standard dell'acqua internazionale, definirà le azioni che le imprese e gli utenti di tutto il mondo possono e devono adottare per migliorare la sostenibilità sociale, ambientale e finanziaria dell'uso dell'acqua. L'obiettivo è quello di creare un programma che riconosce e premia gli utenti dell'acqua e i manager che prendono misure significative per ridurre al minimo il loro consumo di acqua e l'impatto (AWS, 2012).

E' necessario partire da una quantificazione della risorsa idrica consumata per poter poi valutare gli impatti; per fare ciò, la AWS usufruisce degli strumenti e degli indicatori già esistenti. Tra questi c'è lo strumento del Water Footprint come base per le misurazioni.

Combinando scienza, le più recenti teorie sulla gestione delle acque, la gestione dei rischi, con l'impegno regionale e test pilota, AWS svilupperà uno standard finale entro luglio 2013, che:

- Consisterà in iniziative regionali, alla fine di includere l'Africa, Asia-Pacifico, l'Asia centrale, Europa, America Latina e Caraibi, Nord America, Asia settentrionale, e l'Asia meridionale.
- Sarà creato da una tavola rotonda globale e formato da contributi delle parti interessate coinvolte, rappresentate dalla società civile, enti del settore pubblico, imprese di tutti i tipi, fornitori di servizi di acqua e regioni di tutto il mondo.
- Sarà applicabile agli utenti d'acqua di grandi dimensioni, come i produttori, attività minerarie, l'agricoltura e la produzione di energia e servizi idrici.
- Si baserà su aspetti critici della gestione delle acque, come la gestione della qualità dell'acqua, il flusso dei fiumi e la salute degli habitat - come le foreste e praterie - che hanno bisogno di acqua e che aiutano a migliorare la qualità dell'acqua in laghi, fiumi e falde acquifere
- Includerà un sistema per verificare la conformità alle norme.
- Includerà materiali di comunicazione e di branding per un valore aggiunto per le imprese che soddisfano lo standard.
- Saranno sorvegliate da un organo di governo che include una varietà di soggetti interessati necessari per garantire l'integrità, la credibilità e l'efficacia del programma (AWS, 2012).

1.3. METODI DI CALCOLO DEI CONSUMI IDRICI

Negli ultimi anni, le preoccupazioni per la crescente scarsità di acqua, la limitata disponibilità in molti paesi al libero accesso all'acqua per soddisfare i bisogni umani fondamentali, i flussi ambientali impoveriti e le implicazioni del cambiamento climatico sul ciclo idrologico, hanno portato anche i paesi ricchi di acqua ad implementare politiche a supporto di un uso più sostenibile della risorsa idrica.

Anche le imprese stanno sempre più realizzando di non essere in grado di accedere facilmente all'acqua in maniera economica come in anni passati e di dover considerare le scorte come limitate e soprattutto tener presente le implicazioni conseguenti sia al loro uso di acqua che all'inquinamento provocato dal loro processo produttivo, poiché questi aspetti si traducono in termini economici con il costante aumento dei costi aziendali (Morrison et al., 2009; Ruini et al., 2013). Soprattutto per le aziende il cui ingrediente principale è proprio l'acqua dolce, l'incapacità di gestire la questione idrica potrebbe comportare rischi per loro stesse quali l'impossibilità di accedere a riserve idriche adeguate, a causa di periodi prolungati di siccità o scarsità idrica, dover

subire aumento dei costi, ma anche rischi legati alla reputazione stessa dell'azienda da parte dei soggetti interessati, in caso l'azienda abbia impatti idrici negativi su ecosistemi, comunità o sui flussi ambientali (Morrison et al. 2009; Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2008; JPMorgan, 2008).

Per questi motivi, alcune delle organizzazioni citate al paragrafo 1.2 hanno messo a punto degli strumenti che aiutano le aziende a gestire la loro sostenibilità idrica, la quale, oltre a portarle un risparmio economico, le conferisce anche una percezione positiva verso la società in generale. Tali strumenti, fondamentalmente tre, vengono in breve descritti nei paragrafi successivi. Si tratterà inoltre il Life Cycle Assessment (LCA), quale strumento in grado di quantificare gli impatti sul consumo di acqua; tuttavia non contabilizza la quantità di acqua usata e per questo la comunità LCA ha iniziato a spingere lo sviluppo di metodi generali per poterlo fare (Jefferies et al., 2012).

1.3.1. Water Footprint (WF)

Water Footprint (WF) o impronta idrica è un indicatore completo di appropriazione delle risorse idriche d'acqua dolce da parte dell'uomo; completo in quanto va oltre le misure tradizionali e limitate dei prelievi idrici (Hoekstra et al., 2011).

Il concetto di Water Footprint è stato introdotto nel 2002 da Arjen Y. Hoekstra, professore presso l'Università di Twente a Utrecht in Olanda, membro dell'UNESCO-IHE (Institute for Water Education) e direttore scientifico del Water Footprint Network, per poi essere raffinato e messo a punto un metodo di calcolo da egli stesso assieme a Chapagain (Gerbens-Leenes, 2008).

L'impronta idrica, o Water Footprint, è stata originariamente sviluppata come un indicatore del consumo di acqua dolce per una migliore gestione delle risorse idriche (Water Resource Management, WRM) ed è attualmente ben consolidata come una metodologia leader nel calcolo dell'uso di acqua in questo campo. Nel contesto della WRM, la misura spazialmente e temporalmente esplicita dell'impronta idrica consente ai manager di mappare i vari settori di impiego in un sistema (ad esempio agricoli, urbani, industriali) e identificare i principali usi dell'acqua, così come la quantità di acqua utilizzata da una comunità, paese, regione, ecc per produrre i beni e servizi che consumano (Morrison et al., 2009). Infatti l'impronta idrica può essere calcolata non solo per un prodotto o una attività ma anche per un gruppo di consumatori, quali gli abitanti di una città, di una regione, di una nazione, ecc o per una azienda, ente, settori economici, ecc.

Il concetto di Water Footprint è scaturito da quello di Acqua Virtuale (AV) introdotto nel 1993 dal Prof. John Anthony Allan del King's College di Londra il quale era interessato a studiare come il

commercio internazionale di prodotti coincida con il commercio di acqua in un qual modo ‘nascosta’ dietro alla produzione dei prodotti, ovvero l’acqua che non è realmente contenuta nel prodotto ma quella necessaria durante le fasi della sua produzione (Hoekstra, 2003; WWF, 2008). Ciò vuol dire ad esempio che far uso di beni prodotti in un’altra Nazione implica un risparmio delle risorse idriche locali e questo può essere utile per i Paesi caratterizzati da scarsità idrica e per i quali l’importazione di AV diventa una fonte idrica alternativa (Hoekstra and Hung, 2002).

Ciò che differenzia WF da AV è il fatto che la prima non indica semplicemente il volume dell’acqua consumata (come fa l’Acqua Virtuale), ma si riferisce anche al tipo di acqua (blu, verde, grigia) e a *dove* e *quando* avviene il consumo. In particolare, la dimensione spaziale e temporale di questo indicatore lo candida a strumento in grado di aiutare a comprendere meglio il carattere globale del tema della disponibilità di acqua dolce e a quantificare gli effetti sul consumo di questa risorsa scarsa generati dalla produzione e dal consumo di beni e servizi e dagli scambi commerciali internazionali (Hoekstra et al., 2011; Hoekstra, 2003).

La metodologia di Water Footprint (WF) fa riferimento a quanto riportato nel “Water Footprint Assessment Manual” (Hoekstra et al., 2011) ovvero il testo basilare dell’impronta idrica. La maggior parte delle definizioni utilizzate in questo paragrafo sono state tratte dal testo appena nominato e che per questo non verrà citato.

Come indicatore di utilizzo idrico, la WF si differenzia dalla classica misura di “prelievo d’acqua” (o water withdrawal) per tre aspetti:

- 1) Non include l’uso di acqua blu quando questa ritorna da dove era stata prelevata;
- 2) La misura non è confinata all’acqua blu, ma considera anche la verde e la grigia;
- 3) Non è ristretto all’uso diretto, bensì include anche l’uso indiretto.

Le componenti verde e blu dell’impronta idrica si focalizzano sull’uso consuntivo di acqua, dove per consuntivo s’intende il volume d’acqua rimossa dal sistema idrico locale attraverso evaporazione, inclusione in un prodotto, trasferimento di acqua, o quant’altro; essi non comprendono gli usi di acqua che vengono poi restituiti al sistema stesso dal quale sono stati prelevati. Risulta importante distinguere la componente blu da quella verde soprattutto per le aziende agroalimentari, tessili e per tutte quelle la cui filiera di produzione comprende prodotti agricoli; l’acqua blu consiste nell’acqua irrigua (sia acque sotterranee che di superficie), mentre l’acqua verde è costituita dall’acqua piovana che risiede naturalmente nel terreno e che in parte viene assorbita dalle colture. Questi due “tipi” di acqua hanno infatti rischi e impatti potenzialmente diversi sull’ambiente circostante. Infatti l’uso di acqua blu va ad incidere su falde acquifere e acque superficiali contribuendo così alla scarsità d’acqua, alla distruzione degli ecosistemi e, oltre a ciò, riducendone l’accesso alle comunità umane mentre l’acqua verde ha impatti meno invasivi essendo

acqua intrinseca al sistema pianta-pioggia-suolo e che quindi non compete con altri usi (industriali e civili) (Antonelli e greco, 2013). Tuttavia, la metodologia di WF attualmente non offre alcuna indicazione su come interpretare o valorizzare i diversi impatti dovuti all'utilizzo dell'acqua verde e blu (Morrison et al., 2009; Hoekstra, 2011).

La distinzione tra gli appena citati “tipi” di acqua risulta comunque essere utile anche per la sua capacità di valutare i rischi a lungo termine legati ai cambiamenti climatici, i quali si prevederà avranno effetti drastici sul ciclo idrologico e sulla disponibilità di acqua per gli usi umani come scritto al paragrafo 1.1 (Morrison et al., 2009).

La Water Footprint quindi propone una prospettiva più ampia e completa di come un produttore o un consumatore si riferisce all'uso di sistemi di acqua dolce, secondo un calcolo volumetrico; infatti non restituisce solo una misura di impatto locale del consumo e dell'inquinamento idrico poiché tiene conto anche che l'impatto ambientale locale legato a questi due fattori (consumo e inquinamento provocato) dipende anche dalla vulnerabilità del sistema idrico locale e dal numero di consumatori e inquinanti che fanno uso dello stesso sistema (Hoekstra et al., 2011; Jefferies et al., 2012).

Oltre a tutto ciò, la sua efficacia come strumento di comunicazione per un pubblico non di tecnici (Morrison et al., 2009) lo rende particolarmente utile al fine di far comprendere in maniera semplice e diretta ai cittadini come il proprio comportamento e stile di vita incide sulla risorsa idrica poiché è possibile effettuare un calcolo del proprio impatto rispetto alle proprie abitudini.

1.3.2. Life Cycle Assessment (LCA)

Nato agli inizi degli anni '60 per essere impiegato dal settore privato, il Life Cycle Assessment (LCA, o in italiano Analisi del Ciclo di Vita) (Morris et al. 2009; SAIC, 2006) è una metodologia per la valutazione delle interazioni che un prodotto, processo o servizio ha con l'ambiente, considerando l'intero ciclo di vita, secondo l'approccio “dalla culla alla tomba”, ovvero dall'estrazione delle risorse primarie, passando attraverso la produzione, l'uso e lo smaltimento finale (SAIC, 2006; EC, 2010). Uno schema esplicativo è presente in figura 1.3. LCA è un importante strumento di supporto alle decisioni che permette una visione globale degli aspetti ambientali del prodotto o processo, permettendo di selezionare quello che provoca minor impatto per l'ambiente e/o intervenire su una determinata fase del processo (De Bruijan et al., 2001; Morris et al., 2009; EC, 2010).

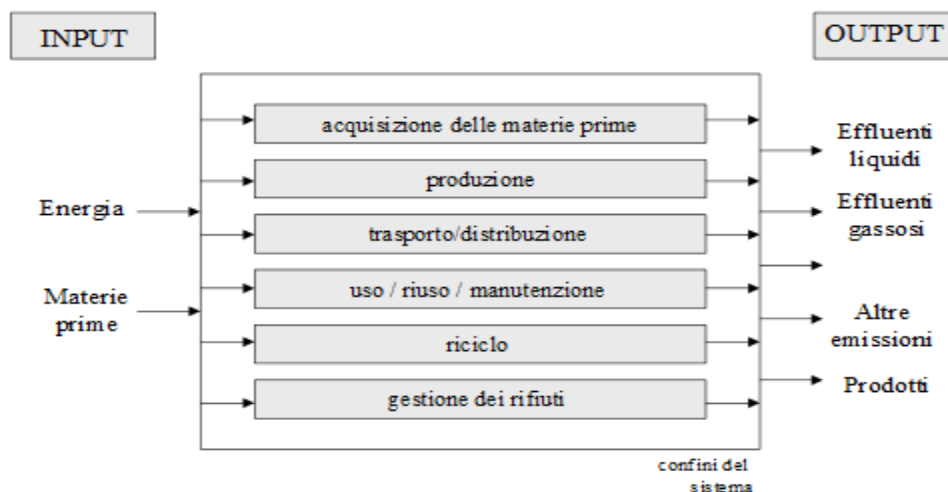


Figura 1.3 : Fasi che compongono il ciclo di vita di un prodotto (Fonte: EPA, 2006).

A livello internazionale è normata ISO (serie 14040), in particolare sono stati sviluppati due standard appositamente per l'applicazione di LCA, ovvero:

- ISO 14040: Environmental management Life Cycle Assessment- Principles and Framework (ISO 14040:2006): descrive i principi e il quadro di applicazione, tra cui la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione di LCA, la fase di inventario (LCI), la fase di valutazione dell'impatto (LCIA), la fase di interpretazione, le fasi di report e revisione critica dell'LCA, le limitazioni, il rapporto tra le varie fasi di LCA, e le condizioni per l'utilizzo di scelte di valore e di elementi opzionali (ISO 14040:2006; ISO, 2007).
- ISO 14044: : Environmental management Life Cycle Assessment- Requirements and Guidelines: specifica i requisiti e fornisce le linee guida per la valutazione del ciclo di vita (LCA) (ISO 14044:2006; www.iso.org).

Secondo tali direttive, uno studio di LCA viene svolto in quattro fasi:

- 1) *Goal and scope definition* (definizione di scopo e campo di applicazione): definisce e descrive il prodotto, processo o attività. Stabilisce il contesto in cui la valutazione deve essere effettuata e individua i limiti e gli effetti ambientali da valutare
- 2) *Inventory Analysis* (analisi di inventario), nell'ambito del quale vengono quantificati gli input e gli output (ad esempio energia, acqua, utilizzo di materiali, emissioni in atmosfera, smaltimento dei rifiuti solidi, scarichi di acque reflue) che possono avere conseguenti impatti negativi sull'ambiente. Per quanto riguarda l'acqua, questa è la fase in cui vengono

acquisiti dati su volume, tempi, tipo (ad esempio le scorte, i flussi), luogo di utilizzo e volume/massa di contaminanti rilasciati nei corsi d'acqua

- 3) *Impact Assessment* (valutazione dell'impatto): I quantitativi ambientali misurati nella fase precedente sono tradotti in impatti (ad esempio: contributo al riscaldamento globale, esaurimento di acqua dolce, conseguenze per la salute umana)
- 4) *Interpretation* (interpretazione): valutare i risultati delle analisi dell'inventario e della valutazione dell'impatto per selezionare il prodotto preferito, processo o servizio, con una chiara comprensione delle incertezze o delle assunzioni utilizzate per generare i risultati (Morris et al., 2009; SAIC, 2006; EPA, 2006).

Sebbene sia un metodo unico, presenta alcuni limiti. Infatti può essere molto dispendiosa sia in termini economici che di tempo; a seconda del livello di approfondimento che l'utente desidera eseguire, può essere problematica la raccolta dei dati, non sempre disponibili e proprio questo fattore può incidere sull'accuratezza dei risultati finali. Inoltre il strumento LCA non determina quale prodotto o processo è il più conveniente e funziona meglio (EPA, 2006).

La considerazione dell'uso d'acqua da parte di LCA risulta allo scopo del presente lavoro particolarmente importante. L'attenzione è di solito concentrata sul consumo di energia lungo la durata della vita di un prodotto o sulle emissioni di gas serra e di sostanze tossiche. Al contrario, l'utilizzo di acqua dolce per tutto il ciclo di vita di un prodotto è spesso trascurato. Il motivo è da ricondurre al fatto che il LCA è stato sviluppato in paesi industriali che di solito non soffrono di carenza idrica (Berger and Finkbeiner, 2010).

Fino a qualche tempo fa si teneva conto solo dell'acqua estratta senza nemmeno distinguere la sorgente né la modalità o la condizione in cui l'acqua lascia il sistema (Milà i Canals et al., 2009).

Ma, considerando le crescenti preoccupazioni verso la scarsità idrica degli ultimi anni, gli sviluppatori si stanno concentrando nello sviluppo di metodi migliori per quantificare l'uso dell'acqua all'interno di LCA. Inoltre, si sta raggiungendo un accordo per differenziare l'uso consuntivo da quello non consuntivo, oltre che a specificare la posizione geografica dei prelievi, le fonti del consumo (ad esempio lago / fiume, acque sotterranee, acqua piovana) e se tali fonti sono rinnovabili o non rinnovabili, attualmente però tali analisi vengono fatte, per esempio nell'ambito delle dichiarazioni ambientali di prodotto mediante l'utilizzo del metodo Water Footprint sopra citato (Morrison et al., 2009; Jefferies et al., 2012; Pfister et al., 2009).

Per quanto riguarda gli impatti legati all'uso dell'acqua, LCA non fornisce ancora una valutazione chiara e soprattutto contestualizzata a livello locale. Questo perché, tranne poche eccezioni, la maggior parte degli impatti ambientali legati all'acqua sono locali e regionali in natura, mentre i dati

di inventario del ciclo di vita tendono a non essere identificati a un livello geografico così dettagliato (ad esempio a livello di bacini idrografici) (Morrison et al., 2009).

1.3.3. Global Water Tool (GWT)

Il GWT, lanciato dal WBCSD nel 2007, è un modulo disponibile gratuitamente on-line per aiutare le aziende a confrontare il loro uso di acqua, lo scarico di acque reflue e informazioni sull'impianto, con dati convalidati a livello nazionale (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2008; Morrison et al., 2009).

A differenza di Water Footprint e dell'LCA, che si impegnano a sviluppare e perfezionare le metodologie per quantificare gli usi di acqua, lo strumento Global Water Tool (GWT) del WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) è un programma di attuazione piuttosto che un criterio di quantificazione e calcolo di per sé. Piuttosto che fornire un quadro di riferimento attraverso il quale viene valutato l'uso dell'acqua, esso fornisce uno strumento online attraverso il quale le aziende possono meglio comprendere e contestualizzare il loro consumo di acqua nei bacini in cui operano. È particolarmente utile per identificare gli hotspots, ovvero le zone di maggior criticità idrica in cui operano gli impianti di una azienda (Morrison et al., 2009).

Il Global Water Tool è specifico per l'utilizzo dell'acqua e degli scarichi aziendali. Esso considera le informazioni sull'uso dell'acqua, sullo scarico e sulla struttura per valutare in maniera rigorosa l'utilizzo dell'acqua nel contesto della disponibilità locale e utilizza questo come una piattaforma per la valutazione dei rischi verso l'azienda connessi all'acqua. Non fornisce indicazioni specifiche sulle situazioni locali; al contrario invece ogni sistema idrografico ha caratteristiche uniche che però sono difficili da tenere in considerazione per uno strumento applicabile universalmente. Il GWT è specifico infatti per le pratiche aziendali legate all'acqua ed è pensato per essere applicato per una azienda, le sue strutture e le operazioni di supply chain (Morrison et al., 2009).

Dopo avere effettuato l'analisi del WBCSD Global Water Tool l'azienda è a conoscenza dei rischi in cui può incorrere a causa del suo atteggiamento nei confronti della risorsa idrica. Questo aspetto è particolarmente rilevante per la sua unicità: nemmeno gli strumenti più recenti nelle metodologie LCA e Water Footprint consentono una stima reale di questi rischi per le compagnie (Maragno, 2010).

1.3.4. Water Sustainability Tool (WST) e Water Sustainability Planner (WSP)

Entrambi gli strumenti sono stati sviluppati da GEMI (Global Environmental Management Initiative) , che si ricorda essere un'organizzazione di imprese, soprattutto nord-americane, che lavorano assieme per promuovere una gestione aziendale più sostenibile (UNEP, 2010).

1.3.4.1. Water Sustainability Tool (WST)

Uscito nel 2002, è uno strumento disponibile gratuitamente online che aiuta le organizzazioni a costruire una propria strategia idrica. Permette di valutare le relazioni che la società ha con l'acqua, identificare i rischi associati ed individuare le azioni volte a mitigare tali rischi (UNEP, 2010).

Il WST si articola in 5 tappe fondamentali di analisi, o moduli, che l'azienda deve compilare:

- Modulo 1 — Water Use, Impact, and Source Assessment: in primis viene caratterizzato ogni uso di acqua, sia per ciascuna fase del processo sia nella catena di fornitura, poi vengono identificati e caratterizzati gli impatti sull'acqua e infine, per ogni utilizzo d'acqua e impatto identificati, viene individuata la fonte primaria di acqua usata e/o impattata;
- Modulo 2 — Business Risk Assessment: una volta che gli utenti hanno riconosciuto la necessità o la rilevanza degli usi d'acqua e degli impatti e hanno valutato la vulnerabilità delle fonti d'acqua interessate e il rischio di cambiamenti esterni derivanti da tali fonti di vulnerabilità, le informazioni possono essere riportate su una semplice matrice di rischio per aiutare a dare priorità ai rischi aziendali risultanti
- Modulo 3 — Business Opportunity Assessment: aiuta l'utente dello strumento a cercare una serie di opzioni in risposta ai rischi identificati nella fase precedente;
- Modulo 4 — Strategic Direction and Goal Setting: prima di tutto l'azienda deve verificare che ci sia un business sufficiente per impegnare l'organizzazione nello sviluppo di una strategia sostenibile delle risorse idriche. Questo modulo aiuta l'azienda a definire una direzione generale per il perseguimento della sostenibilità idrica;
- Modulo 5 — Strategy Development and Implementation: consente di identificare azioni specifiche per raggiungere gli obiettivi che l'azienda si è precedentemente posta in materia di risorse idriche. Tali azioni si possono dividere in due categorie: in primis vi sono azioni volte ad affrontare specifiche opportunità legate all'acqua e rischi connessi; in secondo luogo, vi sono azioni volte a garantire che effettivamente l'organizzazione identifichi, valuti, indirizzi e monitori le opportunità idriche e i rischi in futuro. Tali azioni si concentrano sulla sensibilizzazione, l'identificazione delle questioni, la valutazione degli

affari, l'azione di pianificazione e attuazione, e la misurazione delle prestazioni (UNEP, 2006; GEMI, 2002; UNEP, 2010; www.gemi.org)

In sostanza, il GWT non fornisce un metodo o un calcolatore per misurare o quantificare l'uso dell'acqua, gli impatti e i rischi, ma piuttosto introduce una serie di domande su questi argomenti per facilitare la comprensione delle imprese in materia di sostenibilità idrica. Queste domande agiscono da guida per la definizione degli obiettivi e dello sviluppo di piani strategici (UNEP, 2010).

1.3.4.2. Water Sustainability Planner (WSP)

Il WSP, lanciato dal GEMI nel 2007 con il nome di “Collecting the Drops: A Water Sustainability Planner”, si concentra sulle esigenze idriche a livello di impianto piuttosto che sull'azienda nel suo complesso. Aiuta a comprendere la dipendenza che l'impianto ha verso l'acqua e lo stato del bacino locale (incluse le considerazioni sociali e ambientali locali) e identifica le sfide e opportunità specifiche (Morrison et al., 2009; GEMI, 2007).

L'utente è invitato a prendere in considerazione e valutare l'uso globale di acqua e l'impatto delle operazioni sulla rete idrica regionale, utilizzando i tre moduli previsti da questo strumento:

- Modulo 1 — Facility Water Use and Impact Assessment Program: comprende una guida per la preparazione di uno schema a blocchi del flusso d'acqua e di un programma di bilancio idrico. Insieme, questi elementi aiutano l'utente a sviluppare dati e comprendere l'utilizzo d'acqua da parte dell'impianto, le perdite di acqua e lo scarico finale delle acque reflue
- Modulo 2 — Water Management Risk Assessment Program: partendo dalle informazioni di utilizzo dell'acqua ottenute nel modulo 1 si valuta la sensibilità della propria struttura rispetto ai cambiamenti esterni che riguardano i cambiamenti nella disponibilità di approvvigionamento idrico e nella qualità, la sensibilità verso cambiamenti normativi e politiche;
- Module 3 — Case Examples and Reference Links: fornisce un database di casi forniti dai membri Gemi che sono stati utilizzati in una vasta gamma di settori industriali per gestire l'acqua in maniera sapiente (GEMI, 2007; www.gemi.org).

Come il WST, anche il WSP fornisce indicazioni di tipo qualitativo sui rischi e sull'identificazione di alcune delle questioni più urgenti, piuttosto che dati quantitativi. Per questo, entrambi gli strumenti realizzati da GEMI, sono utili ad aziende e strutture che hanno appena iniziato a

comprendere le questioni idriche e quindi possono essere utilizzati per ottenere una valutazione generale ma non forniscono informazioni quantitative per poter confrontare i diversi usi dell'acqua, prodotti o servizi (UNEP, 2006; UNEP, 2010). Cosicché essi sono forse meno utili per le aziende che sono alla ricerca di una valutazione globale di impiego dell'acqua e di impatto al fine di valutare gli hotspots, sviluppo di un prodotto guida, o identificare specifiche strategie idriche a lungo termine (GEMI, 2002; UNEP, 2006; Morrison et al., 2009).

1.4. SCELTA DEL METODO WATER FOOTPRINT

A differenza degli strumenti presentati al paragrafo 1.3, il calcolo dell'impronta idrica si basa su formule solide che permettono di ottenere un dato quantitativo affidabile sul consumo di acqua, tanto per un prodotto, quanto per una azienda, una nazione, un processo, tra cui anche i processi di crescita delle colture con una procedura trasparente e consolidata. Poiché è l'agricoltura ad assorbire la maggior parte delle risorse idriche (a livello globale il 70%) e proprio essa è la fonte principale del sostentamento della popolazione in quanto i prodotti agricoli sono la base per la produzione di cibo, fibre, carburante, oli, saponi, cosmetici e molto altro, si è ritenuto interessante nel presente lavoro quantificare proprio l'impronta dei processi di crescita delle colture. Questo è stato fatto per il territorio della Regione Veneto, la quale, seppur nota per la sua ricchezza di acqua, sta andando anch'essa sempre più incontro a fenomeni di siccità; basti pensare all'aprile 2012 in cui venne dichiarato, mediante un'ordinanza (n. 67 del 3/4/2012), lo stato di crisi idrica.

Un'altra argomentazione a favore del metodo Water Footprint è la distinzione che esso fa tra le componenti blu e verde dell'acqua; queste infatti hanno impatti diversi. L'utilizzo di acqua blu va a "consumare" le risorse idriche superficiali e sotterranee contribuendo alla scarsità idrica, alla distruzione degli ecosistemi ma anche riduce il potenziale accesso all'uomo. Al contrario, gli impatti provocati dall'uso di acqua verde sono in genere relativi al cambiamento nell'utilizzo del suolo piuttosto che alla preclusione dell'acqua per altri usi; i cambiamenti di uso del suolo si riferiscono ad esempio alla conversione delle foreste in terre coltivabili e ciò chiaramente influisce sul funzionamento degli ecosistemi, nonché all'accesso delle comunità alle risorse, quali il legno. Come tale, le aziende considerano la distinzione tra l'acqua verde e blu utile per aiutare a capire i tipi di conseguenze che la loro produzione agricola potrebbe avere sugli ecosistemi e sulle comunità circostanti.

Inoltre la distinzione tra le componenti blu e verde consente di valutare i rischi a lungo termine legati ai cambiamenti climatici. Come si prevede infatti, il cambiamento climatico avrà effetti

drastici sul ciclo idrologico e sulla disponibilità di acqua per gli usi umani; le precipitazioni inizieranno a cambiare su base regionale, diventando spesso più o meno frequenti o più concentrate a seconda della posizione. Questo ha importanti implicazioni per le risorse idriche blu (es. progettare infrastrutture capaci di far fronte ai più lunghi periodi di siccità) ma è particolarmente problematico per coloro che si affidano all'acqua verde come fonte unica di approvvigionamento.

Di contro il metodo Water Footprint attualmente non fornisce indicazione su come interpretare gli impatti dovuti all'uso di acqua, né blu né verde. Piuttosto fornisce un valore diretto sui consumi idrici, facilmente interpretabile e comprensibile da un pubblico non tecnico.

Un importante fattore distintivo dell'impronta idrica è che essa "supera" la classica misura di prelievo idrico per tre aspetti:

- 1) Non comprende l'uso di acqua blu che viene restituita al luogo d'origine
- 2) Il calcolo non è ristretto all'uso di acqua blu, bensì comprende anche l'acqua verde e grigia
- 3) Non tiene conto solo dell'uso diretto ma include anche l'uso indiretto.

Questi motivi rendono il Water Footprint l'indicatore attualmente più completo di consumo e inquinamento idrico, che riesce a tradurre in termini quantitativi e confrontabili rispetto a tempi e luoghi differenti quanto sia l'appropriazione dell'acqua per scopi umani.

Il presente lavoro di tesi vuole contribuire all'applicazione di tale indicatore mediante una valutazione dei consumi idrici in agricoltura nel territorio della Regione Veneto, grazie anche al confronto ed alla valutazione degli studi eseguiti a livello internazionale nel medesimo settore con la metodologia di Water Footprint.

1.5. I SETTORI CHE GUIDANO I CONSUMI IDRICI

L'acqua è una componente necessaria per tutti i principali settori socio-economici. L'agricoltura richiede grandi quantità di acqua per l'irrigazione ma anche acqua di buona qualità per i vari processi di produzione. Per la produzione di energia l'acqua serve per l'alimentazione delle turbine (energia idroelettrica), per il raffreddamento degli impianti (termico e nucleare) e per i biocarburanti che sono in forte crescita. Inoltre l'accesso all'acqua potabile e a servizi igienico-sanitari di base è necessario per mantenere la salute pubblica. Non va poi dimenticata l'acqua per sostenere ecosistemi sani, che a loro volta forniscono beni e servizi ambientali fondamentali per l'uomo (UNESCO, 2012).

Le richieste idriche da parte dell'uomo possono essere suddivise in cinque settori che usano l'acqua:

- 1) cibo e agricoltura
- 2) energia
- 3) industria
- 4) usi domestici
- 5) ecosistemi.

Anche se principalmente i consumi idrici maggiori sono attribuibili a tre di queste categorie: agricolo, industriale e domestico (Zeman et al., 2006). La figura 1.4 illustra come tali consumi siano distribuiti a livello globale.

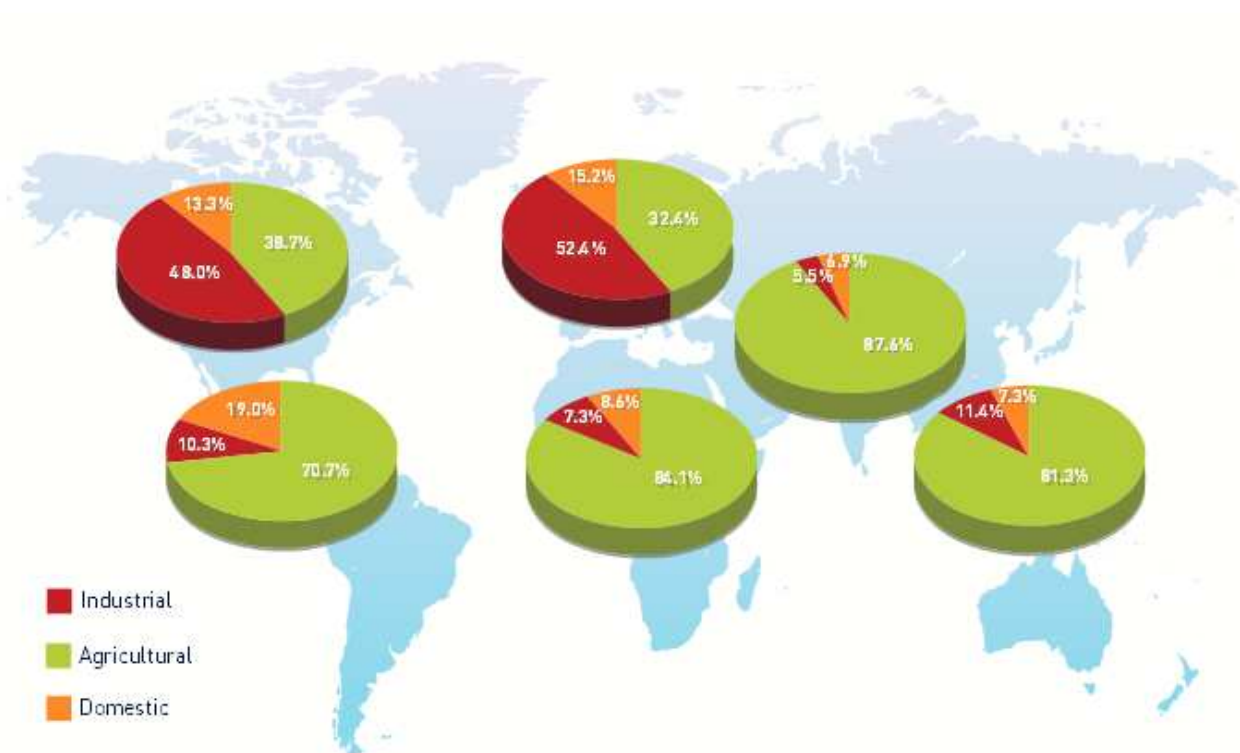


Figura 1.4: Ripartizione dell'uso di acqua nelle nazioni sviluppate e in via di sviluppo (FAO, 2007)

1.5.1. Cibo e agricoltura

Le colture e gli animali hanno bisogno d'acqua per crescere; in accordo con l'International Water Management Institute il settore agricolo usa oltre il 70% dei prelievi totali di acqua dolce superficiale e sotterranea (United Nations, 2012; Molden 2007; Antonelli e Greco, 2013; UN ESCAP, 2012).

Tuttavia, in molti paesi, non solo nei paesi meno sviluppati (PMS), la disponibilità di acqua per l'agricoltura è già limitata e incerta, e questa è destinata a peggiorare. I prelievi idrici per l'agricoltura rappresentano il 44% del prelievo totale di acqua nei paesi OCSE, ma sale a oltre il

60% entro gli otto paesi OCSE che si basano molto sull'agricoltura irrigua. Nei paesi BRIC (Brasile, Russia, India e Cina), l'agricoltura rappresenta il 74% dei prelievi d'acqua, ma questo varia da un minimo del 20% nella Federazione Russa, al 87% in India (UNESCO, 2012). L'acqua di irrigazione è molto alta nei Paesi aridi e semi-aridi come il Medio Oriente, l'Asia centrale e gli Stati Uniti occidentali (Molden, 2007). In Europa mediamente è responsabile del 23% dell'uso totale di acqua ma tale quota varia notevolmente e può raggiungere l'80% in alcune zone del sud dell'Europa (EEA, 2009).

Poichè si prevede che la popolazione mondiale aumenterà fino a raggiungere gli 8,3 miliardi nel 2030 e 9,1 miliardi nel 2050 di conseguenza aumenterà anche la richiesta di cibo, previsto ad incrementare del 50% nel 2030 e del 70% nel 2050 (UNESCO, 2012). Gli aumenti di cibo sono dovuti principalmente al continuo ed incalzante progresso economico dei paesi in via di sviluppo e da quelli più popolosi al mondo in particolare Brasile, Indonesia, Cina e Messico. Ad esempio la richiesta di carne nei paesi in via di sviluppo è passata da 32 milioni di metri cubi nel 1974 a 111 milioni di metri cubi nel 1997 e si prevede un consumo di 213 milioni di metri cubi nel 2020 (United Nations, 2012) (Fig. 1.5). Ad esempio, per produrre 1 kg di riso servono 1670 litri di acqua, per 1 kg di carne di manzo ne servono 15.400 e per una tazza di caffè 130 litri. (Mekonnen, Hoekstra, 2011)

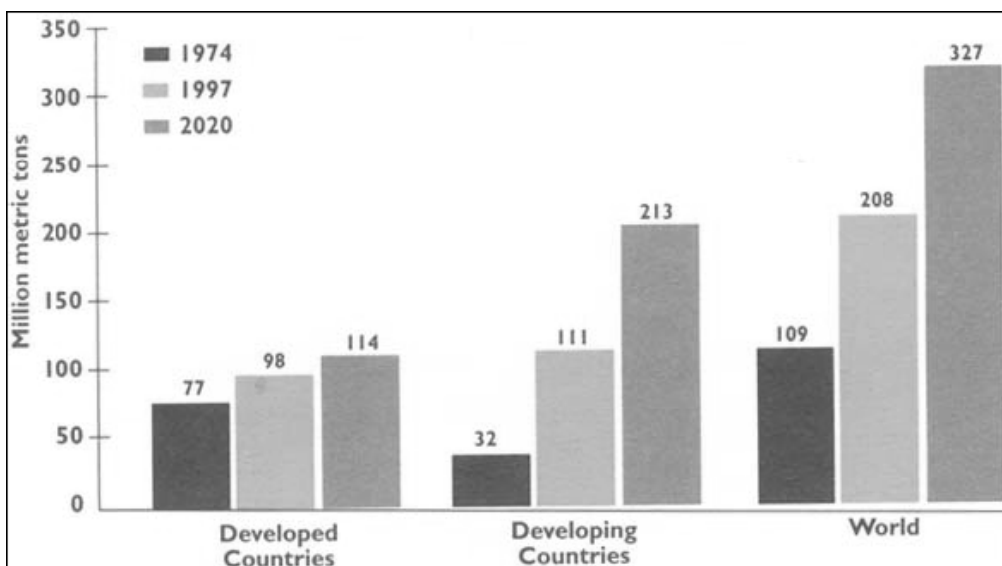


Figura 1.5: Richiesta di carne in tre anni diversi e per nazioni sviluppate e in via di sviluppo e media mondiale. Fonte: International Food Policy Research Institute, Impact projections, June 2001, and FAO statistics for 1974

Proprio l'agricoltura è però fortemente influenzata dal cambiamento climatico che altererà la produzione e le rese con conseguenze sulla sicurezza alimentare (Bocchiola et al., 2013; CCE, 2009).

1.5.2. Energia

Tutte le fonti di energia ed elettricità richiedono l'acqua, per i vari processi di produzione, tra cui l'estrazione delle materie prime, il raffreddamento nei processi termici, prodotti per la pulizia, coltivazione di colture per i biocarburanti e turbine di alimentazione. Viceversa, l'energia è necessaria per rendere disponibili le risorse idriche, attraverso il pompaggio, il trasporto, il trattamento, la desalinizzazione e l'irrigazione.

Come tendenza generale, l'energia e il consumo di elettricità sono destinate ad aumentare nei prossimi 25 anni in tutte le regioni del mondo, la maggior parte nei paesi non appartenenti all'OCSE. Questa tendenza avrà implicazioni dirette per le risorse idriche necessarie per fornire questa energia: il fabbisogno di acqua previsto per la produzione di energia aumenterà del 11,2% entro il 2050, se vengono mantenute tali modalità di consumo (UNESCO, 2012).

1.5.3 Industria

Sebbene l'industria utilizzi l'acqua relativamente poco su scala globale, richiede comunque una fornitura accessibile, affidabile ed eco-sostenibile. E' generalmente riportato che circa il 20% dei prelievi mondiali di acqua dolce sono utilizzati dall'industria, anche se questo varia tra regioni e paesi (UNESCO, 2012; UN ESCAP, 2012). Ad esempio in Olanda il 61% dei prelievi è da ricondurre all'industria (Zeman et al., 2006). In più, i prelievi d'acqua per l'industria sono spesso riportati assieme a quelli per l'energia. Inoltre, l'acqua necessaria per la piccola industria e il commercio è spesso confusa con il consumo interno. Di conseguenza poco si sa di quanta acqua viene prelevata e consumata dall'industria per la fabbricazione, trasformazione ed esigenze di produzione.

La percentuale di richiesta idrica del settore industriale di un paese è generalmente proporzionale al livello di reddito medio; per cui, nel caso di paesi a basso reddito rappresenta solo il 5% dei prelievi d'acqua, rispetto a oltre il 40% in alcuni paesi ad alto reddito. Questa osservazione suggerisce che il livello di un paese o di sviluppo economico di una regione è un fattore importante del suo consumo di acqua industriale, e può quindi avere la stessa influenza sul consumo di acqua quanto la sua crescita demografica (UNESCO, 2012).

1.5.4 Insediamenti urbani

I prelievi di acqua per usi domestici sono circa il 10% del totale (UNESCO, 2012; UN ESCAP, 2012).

Ci si aspetta che le aree urbane assorbiranno tutta la crescita della popolazione dei prossimi quarant'anni, concentrata soprattutto nelle aree urbane e nelle città dei paesi meno sviluppati.

Le città nei paesi in via di sviluppo dovranno affrontare ritardi enormi nello sviluppo di infrastrutture e servizi, così come un insufficiente approvvigionamento di acqua, peggioramento delle condizioni igienico-sanitarie deterioramento e l'inquinamento ambientale. La crescita della popolazione e la rapida urbanizzazione creerà una domanda ancora maggiore di acqua, diminuendo la capacità degli ecosistemi di fornire un approvvigionamento più regolare e più pulito (UNESCO, 2012)

1.5.5 Ecosistemi

Gli ecosistemi - tra cui, per esempio, le foreste, le zone umide e i prati - sono al centro del ciclo globale dell'acqua. Tutta l'acqua dolce dipende in ultima analisi dal funzionamento sano continuato degli ecosistemi, e riconoscendo il ciclo dell'acqua come un processo biofisico è essenziale per una gestione sostenibile delle risorse idriche.

Storicamente, alcuni hanno considerato gli ecosistemi come “utilizzatori improduttivi” di acqua. Questo è fondamentalmente corretto in quanto gli ecosistemi non utilizzano acqua, la riciclano. Ma le intuizioni stanno portando verso la gestione delle interazioni umane con gli ecosistemi (l'ambiente) al fine di sostenere lo sviluppo di obiettivi legati all'acqua.

Gli ecosistemi sono sempre più visti come soluzioni ai problemi dell'acqua, non solo come vittime. Il cambiamento nella percezione degli ecosistemi come solo un altro settore che 'domanda' è il risultato della crescente consapevolezza dei loro servizi, del loro valore e di una crescente disponibilità, se non la necessità, per sostenerli (UNESCO, 2012).

1.6. SCELTA DELL'AGRICOLTURA COME CAMPO D'INDAGINE

Buona parte dell'acqua che viene utilizzata dall'agricoltura è restituita all'ambiente in uno stato alterato a causa della presenza di pesticidi e fertilizzanti in essa disciolti. Il problema dell'utilizzo di questi ultimi è legato al loro elevato contenuto di nitrati, i quali sono molto solubili in acqua e difficili da rimuovere. In terreni altamente permeabili queste sostanze raggiungono facilmente la falda sotterranea provocando fenomeni di contaminazione, oltre al fatto che possono raggiungere in seguito alla lisciviazione in superficie anche gli ecosistemi acquatici come laghi e corsi d'acqua superficiali.

In un periodo storico in cui i cambiamenti climatici sono ormai una realtà, nel quale si è assistito all'aumentare delle temperature medie, all'intensificazione degli eventi estremi, che pongono nuovi ed urgenti problemi di salvaguardia del territorio, alla modificazione dei regimi pluviometrici a cui gli agricoltori erano ormai abituati, rappresenta una priorità raggiungere l'obiettivo di una gestione più sostenibile della risorsa idrica fondandola su una seria politica di efficienza, risparmio e tutela, non solo per motivi ambientali ma anche per preservare una risorsa preziosa per l'agricoltura quindi per l'uomo.

La gestione sostenibile dell'acqua in agricoltura è possibile se si riusciranno a rispettare alcune condizioni basilari: incentivare tecniche irrigue e agronomiche con modelli di maggior risparmio ed efficienza; ridurre i prelievi di acqua e gli scarichi nei corpi idrici ricettori praticando seriamente il riutilizzo delle acque reflue depurate in agricoltura, così come nell'industria.

La scelta di indagare i consumi di acqua del comparto agricolo non è perciò casuale, anzi il lavoro di tesi è proprio rivolto ad approfondire il calcolo dei consumi di acqua della produzione agricola nel territorio della Regione Veneto, mediante un indicatore relativamente nuovo e denominato impronta idrica (Water Footprint), la cui metodologia si vedrà dettagliata al capitolo 3.

CAPITOLO 2 - L'EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA IN MATERIA DI RISORSE IDRICHE

Come anticipato al capitolo precedente, la nostra esistenza sulla Terra, comprese tutte le attività antropiche, è garantita dalla presenza di acqua. Di conseguenza una sua drastica riduzione, o peggioramento della qualità, potrebbe portare a veri e propri conflitti per l'acqua; c'è chi sostiene che le prossime guerre saranno dovute alla crescente scarsità idrica e alla sua irregolare distribuzione sul Pianeta, come riportato anche da Kofi Annan al discorso di apertura della giornata mondiale dell'acqua il 22 marzo 2002.

Per tutelare tale preziosa risorsa l'Unione Europea nel 2000 ha emanato una normativa quadro (Direttiva 2000/60/CE) riguardante la protezione di tutte le acque superficiali, sotterranee, di transizione e marine. Essa è tuttora una delle leggi comunitarie in materia ambientale più avanzate e ambiziose (Liefferink, 2010; WWF, 2006). Uno dei principali obiettivi della Direttiva è il raggiungimento del buono stato delle acque superficiali entro il 2015, avendo come riferimento i parametri e gli indicatori biologici, idromorfologici e chimico-fisici specificati negli allegati alla Direttiva (WWF, 2006). Essa è stata recepita in Italia mediante il Decreto legislativo 152/2006, ovvero il Testo Unico ambientale in cui la Parte Terza reca "Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche" (D.Lgs. 152/2006). Tali norme verranno analizzate nel presente capitolo e, poiché l'ambito di studio del presente lavoro di tesi riguarda la regione Veneto verrà inoltre presa in considerazione la normativa specifica di tutela e gestione delle acque in questa regione nonché il Piano di Tutela delle Acque (PTA), uno degli strumenti per il raggiungimento degli obiettivi previsti dalla Direttiva 2000/60/CE (WFD). In tale ambito verranno inoltre forniti alcuni dati rilevanti relativi ai consumi e prelievi idrici in questa regione.

Dal momento in cui si è compreso che l'agricoltura è il settore che più consuma acqua e oltre a questo essa è anche la principale causa di inquinamento idrico dovuto ai nitrati (EEA, 2003; Iital, 2008), verrà trattata la "Direttiva nitrati" (91/676/CEE). Basti pensare che l'agricoltura contribuisce al 40-80% di azoto che finisce nelle acque superficiali e quindi è una grande sfida di questo settore ridurre tali perdite per poter raggiungere l'obiettivo dell'UE di un buono stato ecologico (Wall et al., 2011).

2.1. LA NORMATIVA EUROPEA

L'Europa non soffre ancora di un'eccessiva scarsità idrica, tuttavia si registrano fenomeni quali siccità e inondazioni sempre più frequentemente; basti pensare alla siccità che ha riguardato tutta l'Europa nel 2003, anno nel quale sono state colpite più di 100 milioni di persone.

Oltre al problema della quantità, sembra essere pregiudicata anche la qualità: oltre il 20% di tutte le falde acquifere dell'Unione Europea è seriamente minacciato dall'inquinamento (De Vito, 2010).

Per cui, negli ultimi decenni, l'UE ha attuato una politica globale mirata a garantire la qualità dell'acqua in Europa. Inizialmente questa affrontava questioni legate alla salute, ma è stata poi seguita da misure volte ad affrontare l'impatto sull'ambiente dei principali settori che utilizzano acqua, quali l'agricoltura, l'industria e le utenze domestiche (Commissione Europea, 2012).

2.1.1. Direttiva 2000/60/CE - Water Frame Directive (WFD)

Per risolvere il problema della frammentarietà della gestione delle acque, nel 1997 il Parlamento Europeo ha proposto di costituire una direttiva quadro, che è arrivata ad una conclusione ben tre anni dopo mediante la sua adozione nel settembre del 2000 (Direttiva 2000/60/CE).

Nell'*articolo 1* viene definito lo scopo: istituire un quadro per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee che:

- a) impedisca un ulteriore deterioramento, protegga e migliori lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico;
- b) agevoli un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;
- c) miri alla protezione rafforzata e al miglioramento dell'ambiente acquatico, anche attraverso misure specifiche per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze prioritarie e l'arresto o la graduale eliminazione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze pericolose prioritarie;
- d) assicuri la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e ne impedisca l'aumento, e
- e) contribuisca a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

La pianificazione viene fatta a livello di bacino idrografico e gli Stati membri individuano le Autorità competenti (Art. 3): “*gli Stati membri individuano i singoli bacini idrografici presenti nel*

loro territorio e, ai fini della presente direttiva, li assegnano a singoli distretti idrografici. Ove opportuno, è possibile accomunare in un unico distretto bacini idrografici di piccole dimensioni e bacini di dimensioni più grandi, oppure unificare piccoli bacini limitrofi. Qualora le acque sotterranee non rientrino interamente in un bacino idrografico preciso, esse vengono individuate e assegnate al distretto idrografico più vicino o più consono. Le acque costiere vengono individuate e assegnate al distretto idrografico o ai distretti idrografici più vicini o più consoni”.

Nel caso in cui un bacino idrografico si estenda sul territorio di più Stati membri deve essere *“assegnato a un distretto idrografico internazionale. Su richiesta degli Stati membri interessati, la Commissione interviene per agevolare l'assegnazione di tali distretti idrografici internazionali”* (Art. 3).

La pianificazione a livello di bacino idrografico permette di considerare l'intero ciclo delle acque in modo integrato, senza doversi limitare ai confini amministrativi di Comuni, Province, Regioni e Stati. Con il termine “ciclo integrato dell'acqua” si intende il percorso che l'acqua compie dalle opere di presa acquedottistiche fino allo scarico dell'impianto di depurazione.

La WFD si basa su principi che uniscono esigenze ambientali, sociali ed economiche. Per esigenze ambientali s'intende conservare le risorse idriche e preservarne la loro qualità, al fine di garantire un uso sostenibile; le esigenze sociali riguardano la protezione della salute delle persone e infine l'aspetto economico mira a garantire a tutti un accesso efficiente alle risorse idriche.

Ciascun Stato membro dovrà raggiungere gli obiettivi ambientali fissati dall'Articolo 4, ovvero dovrà:

- Impedire il deterioramento dello stato di tutti i corpi idrici (acque superficiali, sotterranee e aree protette)
- Raggiungere il ‘buono stato’ delle acque in base alle disposizioni di cui all'allegato V entro 15 anni dall'entrata in vigore della presente direttiva, salve le proroghe stabilite a norma del paragrafo 4 e l'applicazione dei paragrafi 5, 6 e 7, e salvo il paragrafo 8;
- Ridurre progressivamente l'inquinamento causato dalle sostanze pericolose prioritarie;
- Arrestare o eliminare gradualmente le emissioni, gli scarichi e le perdite di sostanze pericolose prioritarie;
- Salvaguardare in modo speciale le aree protette.

Lo ‘stato’ viene valutato da due punti di vista: ecologico e chimico.

Per le acque superficiali (fiumi, laghi, acque di transizione e acque costiere) lo stato ecologico è caratterizzato dai seguenti elementi che ne valutano la qualità: fitoplancton, macrofite e fitobentos, macroinvertebrati bentonici, fauna ittica, regime idrologico, continuità del fiume, condizioni morfologiche, inquinanti sintetici specifici, inquinanti non sintetici specifici.

Sono previste cinque categorie di classificazione delle acque superficiali: elevato, buono, sufficiente, scarso e cattivo. Lo stato 'elevato' si ha quando non si ha alcuna "alterazione antropica, o alterazioni antropiche poco rilevanti, dei valori degli elementi di qualità fisicochimica e idromorfologica del tipo di corpo idrico superficiale rispetto a quelli di norma associati a tale tipo inalterato. I valori degli elementi di qualità biologica del corpo idrico superficiale rispecchiano quelli di norma associati a tale tipo inalterato e non evidenziano nessuna distorsione, o distorsioni poco rilevanti. Si tratta di condizioni e comunità tipiche specifiche". Lo stato 'buono' invece, per il quale la normativa fissa il raggiungimento entro il 2015, è caratterizzato da "livelli poco elevati di distorsione dovuti all'attività umana, ma si discostano solo lievemente da quelli di norma associati al tipo di corpo idrico superficiale inalterato". Lo stato 'sufficiente' si ha quando i "valori degli elementi di qualità biologica del tipo di corpo idrico superficiale si discostano moderatamente da quelli di norma associati al tipo di corpo idrico superficiale inalterato. I valori presentano segni moderati di distorsione dovuti all'attività umana e alterazioni significativamente maggiori rispetto alle condizioni dello stato buono". Le acque aventi uno stato inferiore al moderato sono classificate come aventi stato 'scarso' o 'cattivo'. (*Allegato V*)

Lo stato chimico fa riferimento a 33 sostanze prioritarie nuove e 8 sostanze già regolamentate, da rilevare nelle acque, nei sedimenti e nel biota. Si tratta di inquinanti chimici particolarmente preoccupanti e per tale motivo esistono a riguardo due normative specifiche che supportano la WFD: il regolamento REACH, ovvero un sistema integrato di registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche, con lo scopo di migliorare la protezione della salute umana e dell'ambiente, mantenendo la competitività e rafforzando lo spirito di innovazione dell'industria chimica europea (Regolamento CE n. 1907/2006) e la Direttiva 2008/1/CE che impone il rilascio di un'autorizzazione per tutte le attività industriali e agricole che presentano un notevole potenziale inquinante.

Le regole per le acque sotterranee sono leggermente diverse. Gli Stati membri devono usare dati geologici per individuare i diversi volumi di acqua nelle falde. La quantità rappresenta un aspetto fondamentale e la legislazione limita l'estrazione a una parte del ravvenamento annuo. Le acque sotterranee non dovrebbero presentare alcun livello di inquinamento, pertanto la direttiva quadro sulle acque adotta un approccio cautelativo alla protezione delle acque sotterranee dalla contaminazione vietando gli scarichi diretti. Qualsiasi aumento del livello di inquinamento va rilevato e devono essere adottate misure per prevenirlo (Commissione Europea, 2011).

L'elenco delle sostanze prioritarie è contenuto nell'allegato X.

La WFD ha un ambizioso piano di scadenze, le più importanti sono le seguenti:

- entro il 2003: recepimento nella legislazione nazionale; identificazione dei bacini idrografici e loro attribuzione ai vari distretti idrografici; identificazione autorità competenti.
- Entro il 2004: caratterizzazione di ciascun bacino idrografico mediante l'individuazione di pressioni, impatti e analisi economiche.
- Entro il 2006: per ogni distretto idrografico, elaborazione dei programmi di monitoraggio di qualità delle acque;
- Entro il 2009: per ogni distretto idrografico, predisposizione e pubblicazione del piano di gestione, contenente anche gli obiettivi ambientali e le misure adottate per raggiungerli.
- Entro il 2010: introduzione di una politica dei prezzi basata sul corretto recupero dei costi dei servizi idrici.
- Entro il 2012: adottare programmi di misure in ogni distretto idrografico per raggiungere gli obiettivi ambientali; preparazione di un report sullo stato d'implementazione dei programmi di misure programmati.
- Entro il 2015: raggiungimento degli obiettivi ambientali definiti dall'articolo 4; chiusura del primo ciclo di gestione del ciclo; redazione del secondo piano di gestione del bacino idrografico e primo piano di gestione del rischio alluvioni.
- Entro il 2021: fine del secondo ciclo di gestione.
- Entro il 2027: fine del terzo ciclo di gestione e termine ultimo per il raggiungimento degli obiettivi.

A sostegno dell'attuazione della WFD, gli stati membri dell'Unione Europea, la Norvegia e la Commissione Europea hanno predisposto la "Common implementation strategy", con lo scopo di consentire, per quanto possibile, una attuazione coerente e armoniosa della direttiva quadro da parte degli stati membri. La maggior parte delle sfide e delle difficoltà che inevitabilmente si incontrano sono comuni a tutti gli Stati membri e molti dei bacini idrografici europei sconfinano dai confini amministrativi di Stato; per cui una comprensione comune è necessaria per limitare i rischi di una cattiva applicazione della direttiva e per evitare eventuali dispute (European Commission, 2001).

La Direttiva Quadro sulle Acque deve essere recepita da ogni stato membro mediante decreti legislativi. In Italia è stata recepita attraverso il Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n.152.

2.1.2 Direttiva Nitrati (91/676/EEC)

La Direttiva nitrati è parte integrante della WFD (Wall et al., 2011). Attraverso la direttiva sui nitrati l'Unione europea mira a ridurre l'inquinamento delle acque provocato da nitrati provenienti da fonti agricole ed impedire un ulteriore inquinamento. Ciascuno Stato membro deve individuare le zone vulnerabili alla lisciviazione e alla percolazione dei nitrati e attuare piani d'azione e le migliori pratiche di gestione per proteggere tali zone (Fumagalli et al., 2010). La designazione di tali zone va rivista ogni quattro anni (Grossman, 2000). In queste aree devono essere prese misure per ridurre la lisciviazione dei nitrati, affinché la concentrazione di nitrati nelle acque dolci sotterranee e superficiali siano al di sotto di 50 mg/L (Grossman, 2000; Goodchild, 1998; CE, 2010; Monteny, 2001)

Ai sensi della direttiva, gli Stati membri sono tenuti ad analizzare i livelli di concentrazione di nitrati e lo stato trofico delle loro acque. A tal fine è essenziale la realizzazione di un'appropriate attività di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee, superficiali e marine. Nell'Unione europea vi sono attualmente 31.000 e 27.000 siti di monitoraggio, rispettivamente per le acque sotterranee e superficiali (CE, 2010).

Tutto deriva dal fatto che l'azoto è un elemento nutritivo fondamentale per la crescita ottimale delle piante e dove la terra è stata coltivata per molti anni, i nutrienti naturalmente presenti sono stati consumati, perciò devono essere aggiunti, perlopiù sotto forma di nitrati (NO_3), forma chimica che le piante sono in grado di utilizzare. Tali composti sono però idrosolubili e quindi finiscono facilmente in acqua attraverso la lisciviazione superficiale e la percolazione provocando effetti avversi sia alla salute umana che all'ambiente come l'eutrofizzazione (Grossman, 2000). Il problema sta nel fatto che la quantità di nitrati apportata al campo è superiore del reale assorbimento da parte delle colture e ne deriva che la parte inutilizzata finisce nell'ambiente (Monteny, 2001).

La direttiva Nitrati è strettamente correlata alle altre politiche dell'Unione europea in materia di acqua, aria, cambiamenti climatici e agricoltura e la sua attuazione porta benefici a ciascuna di queste aree:

- la riduzione dei nitrati è parte integrante della direttiva quadro sulle acque (WFD 2000/60/CE), che prevede un approccio integrato e transfrontaliero, mirato alla protezione delle acque ed organizzato sulla base di distretti idrografici, con l'obiettivo di conseguire un buono stato per tutti i corpi idrici europei entro il 2015;

- la direttiva sulle acque sotterranee (DIRETTIVA 2006/118/CE relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento) conferma che le concentrazioni di nitrati non devono superare la soglia di 50 mg/l (CE, 2010). In Italia la direttiva è stata recepita dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n. 30. Per quanto riguarda ad esempio il Veneto emerge che, da dati elaborati a scala regionale su base annuale, nel 2011 i punti con superamento del limite massimo di NO₃ sono stati 14 su 290, pari al 5% (ARPAV, 2012).
- qualità dell'aria e del suolo: le attività agricole e di allevamento sono causa, fra le altre cose, di emissioni di ammoniaca (NH₃, la quale ha un impatto sulla salute umana e sull'ambiente in quanto contribuiscono al processo di acidificazione del suolo, eutrofizzazione delle acque e inquinamento da ozono troposferico) e di altre sostanze inquinanti, quali biossido di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili. La completa attuazione della direttiva Nitrati dovrebbe contribuire alla riduzione delle emissioni di ammoniaca del 14% rispetto ai livelli del 2000 entro il 2020, perché, ad esempio, le misure volte a limitare le quantità di fertilizzanti utilizzati hanno effetti positivi in termini di riduzione sia delle perdite di nitrati nelle acque, sia delle emissioni di ammoniaca nell'aria;
- cambiamenti climatici: tutte le attività legate all'allevamento e alla gestione dei fertilizzanti rilasciano protossido di azoto (N₂O) e metano (CH₄), gas a effetto serra con un potenziale di riscaldamento globale pari rispettivamente a 310 e 21 volte quello della CO₂. In caso di completa attuazione, la direttiva Nitrati determinerebbe la riduzione delle emissioni di N₂O del 6 % rispetto ai livelli del 2000 entro il 2020 e contribuirebbe così ad attenuare i cambiamenti climatici (CE, 2010).

Gli obblighi previsti dalla direttiva comunitaria (91/676/EEC) sono stati recepiti in Italia dal D. Lgs. n. 152/99, successivamente sostituito ed abrogato dal D. Lgs. n. 152/06, che ne ha sostanzialmente ripreso i contenuti. Con il decreto ministeriale 7 aprile 2006, è stato dato adempimento al disposto dell'articolo 38 del decreto legislativo n. 152/99, ora decreto legislativo n. 152/06, consentendo alle Regioni l'adozione di una regolamentazione con una base giuridica approvata a livello nazionale (Gasparetto et al., 2007).

2.2. EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA SULL'ACQUA IN ITALIA

La prima disciplina generale riguardante le risorse idriche risale alla **legge n.2248/1865** "*Per l'unificazione amministrativa del Regno d'Italia*", allegato F, riguardante i lavori pubblici; a quel tempo l'acqua era ancora considerata un bene inesauribile, perciò tale legge non fa alcun riferimento alla tutela, bensì agli aspetti economici legati allo sfruttamento e alla potenziale pericolosità delle acque stesse (in quanto elemento potenzialmente distruttivo) (Lugaresi, 2004).

La vera e propria legislazione italiana sulle acque nasce con il **Regio Decreto n.1775/1933** "*Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici*"; ha il merito di essere stato il primo riferimento normativo ad affermare il principio di natura pubblica delle acque e della necessità dell'intervento delle Pubbliche Amministrazioni nel regolarne le concessioni per rispondere al pubblico interesse (Lugaresi, 2004).

Ma bisogna arrivare al 1976 con l'emanazione della **legge n.319/1976** ("**Legge Merli**") per avere una normativa in materia di inquinamento idrico; tale riferimento normativo, abrogato dal d.lgs. n.152/1999 e poi dal n.152/2006, disciplinava gli scarichi idrici civili e industriali. Le concentrazioni di determinati parametri non dovevano superare i limiti posti dalla medesima legge ed elencati nelle tabelle allegate; tuttavia non teneva conto del tipo e dell'uso del corpo recettore.

In conseguenza a questa legge, nel **1989** veniva emanata la **legge n.183** sulla difesa del suolo, occupandosi in particolare della pianificazione dei bacini idrografici per quanto riguarda sia la quantità che la qualità. Ha istituito le Autorità di Bacino assegnando loro i compiti, tramite la redazione di Piani di bacino, di difesa del suolo, risanamento delle acque, fruizione e gestione del patrimonio idrico e tutela degli aspetti ambientali (Lugaresi, 2004).

E' la **legge n.36/1994** ("**Legge Galli**") a inserire anche i servizi idrici nella disciplina della gestione delle acque, ai fini della tutela sia quantitativa (attraverso la riduzione degli sprechi e l'incentivazione del riuso) che qualitativa (attraverso il potenziamento delle attività di depurazione e trattamento delle acque reflue). La novità di base riguarda l'introduzione del "servizio idrico integrato", costituito dall'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue (Articolo 4). L'obiettivo era quello di superare la frammentarietà delle gestioni, attraverso l'individuazione degli Ambiti Territoriali Ottimali (ATO), pratica eseguita dalle Regioni (Lugaresi, 2004).

Un aspetto della legge Galli che ha fatto molto discutere è legato alla tariffazione dell'acqua: "La tariffa è determinata tenendo conto della qualità della risorsa idrica e del servizio fornito, delle opere e degli adeguamenti necessari, dell'entità dei costi di gestione delle opere, dell'adeguatezza della remunerazione del capitale investito e dei costi di gestione delle aree di salvaguardia, in modo

che sia assicurata la copertura integrale dei costi di investimento e di esercizio” (Articolo 13). Insita c’è quindi una concezione di profitto, che potrebbe rendere la risorsa idrica un bene commerciale. Il sistema tariffario inoltre è basato sul principio della tariffa unica per ciascun ATO e la gestione del servizio idrico deve essere affidata ad imprese, che possono essere pubbliche, private, miste o speciali.

Un’altra tappa importante nella disciplina del settore idrico è il **Decreto Legislativo n.152/1999** recante disposizioni sulla tutela delle acque superficiali, sotterranee e marine dall’inquinamento e che recepisce la direttiva 91/271/CE, concernente il trattamento delle acque reflue urbane, e la direttiva 91/676/CE, relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. Il D. Lgs. 152/1999 ha quindi riordinato l’intera normativa del settore idrico, aggiornando, tra l’altro, la Legge Merli e riunire le diverse disposizioni in materia di inquinamento idrico (Lugaresi, 2004).

Il d.lgs. 152/1999 prevede la tutela delle acque superficiali, marine e sotterranee e si pone obiettivi specifici, in relazione agli usi: migliorare lo stato delle acque destinate a particolari usi, perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche (con priorità per gli usi potabili), mantenere la capacità di auto depurazione e di sostegno della biodiversità dei corpi idrici. Tutti gli obiettivi devono essere perseguiti attraverso una tutela integrata degli aspetti qualitativi e quantitativi.

Per la tutela qualitativa sono previsti: obblighi di dotarsi di rete fognaria per gli “agglomerati”, utilizzando le migliori tecniche disponibili che non comportino costi eccessivi; disciplina degli scarichi in funzione del rispetto dei valori limite e necessità di garantire accessibilità agli scarichi per poter eseguire campionamenti, misurazioni ed ispezioni. Per quanto riguarda gli scarichi, essi sono vietati: nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, scarichi diretti nelle acque sotterranee e nel sottosuolo. Gli scarichi di acque reflue urbane non soggetti ad impianti fognari devono essere soggetti ad un trattamento appropriato

La tutela quantitativa è promossa attraverso la pianificazione delle utilizzazioni delle acque che assicuri l’equilibrio del bilancio idrico.; inoltre i gestori ed utilizzatori delle risorse idriche devono adottare misure adeguate per eliminare gli sprechi, ridurre i consumi e incrementare il riciclo e riutilizzo.

Lo strumento generale di tutela è il Piano di tutela delle acque, definito come piano stralcio di settore del piano di bacino (Lugaresi, 2004).

Solo un anno dopo, nel 2000, la Comunità Europea ha emanato la direttiva n. 60 (2000/60/CE), la quale, in Italia è stata recepita attraverso il **decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152**. Tale decreto, comunemente noto anche come “Testo Unico Ambientale”, ha complessivamente riorganizzato tutta la normativa nazionale di base per la tutela dell’ambiente dalle principali forme di

inquinamento; in particolare, per il settore acqua, sono contenute le “*Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall’inquinamento e di gestione delle risorse idriche*” alla Parte Terza. Nello specifico, la parte terza, ha abrogato la L. 36/94 (“Legge Galli”) e molte altre leggi del settore come la 183/89, conservando tuttavia l'impostazione giuridica imposta da tali leggi, basata sugli ATO per il servizio idrico integrato e sulle Autorità di Bacino per la tutela dei corpi idrici. L'articolo 64 del D.Lgs. 152/2006 ha ripartito il territorio nazionale in 8 distretti idrografici. Nell'attesa della piena operatività delle Autorità di distretto, il decreto legge n. 208 del 30 dicembre 2008 convertito con modificazioni in Legge 27 febbraio 2009, n. 13, recante *Misure straordinarie in materia di risorse idriche e di protezione dell'ambiente*, stabilisce che l'adozione dei Piani di gestione avvenga a cura dei Comitati Istituzionali delle Autorità di bacino di rilievo nazionale, integrati dai componenti designati dalle regioni il cui territorio ricade nel distretto a cui si riferisce il piano.

Nello specifico, la parte terza si articola in quattro “Sezioni”: le prime tre sono relative rispettivamente a difesa del suolo e lotta alla desertificazione, tutela delle acque dall'inquinamento, gestione delle risorse idriche. La sezione IV contiene, invece, le disposizioni transitorie e finali e inoltre individua le normative comunitarie recepite e quelle abrogate dall'entrata in vigore del D. Lgs. 152/2006 (Regione Veneto, 2010).

Il Decreto appena citato ha modificato solamente la parte relativa alla classificazione dei corpi idrici ed agli obiettivi di qualità ambientale, mantenendo pressoché invariate le indicazioni e le strategie individuate dal decreto precedente, ossia il n. 152/1999. Agli obiettivi di qualità ambientale si affiancano quelli per specifica destinazione, atti a garantire l'idoneità del corpo idrico ad una particolare utilizzazione da parte dell'uomo (acque destinate alla potabilizzazione, acque destinate alla balneazione, acque idonee alla vita dei pesci o dei molluschi) (Regione Veneto, Allegato A1, 2009).

2.2.1. Tutela e gestione delle acque in Veneto

Un ruolo decisivo nella realizzazione degli obiettivi del decreto spetta alle Regioni cui è affidato il monitoraggio della qualità e della quantità delle acque e la predisposizione del Piano di Tutela delle Acque (PTA), definito all'art. 121 come uno specifico piano di settore; tale Piano costituisce il principale strumento di tutela quantitativa e qualitativa del sistema idrico.

I termini per il raggiungimento degli obiettivi di qualità sono i seguenti:

- 31 dicembre 2008, nei corpi idrici significativi superficiali classificati, almeno lo stato di qualità ambientale “sufficiente” (articolo 77, comma 3);
- 22 dicembre 2015, nei corpi idrici significativi superficiali e sotterranei, lo stato di qualità ambientale “buono”, salvo già sussista lo stato di qualità ambientale “elevato” (articolo 76, comma 4);
- 22 dicembre 2015, nei corpi idrici a specifica destinazione funzionale, salve le ipotesi di deroga (articoli 81, 86 e 89), gli obiettivi di qualità stabiliti nell’allegato 2 alla parte terza (articolo 76, comma 4, lett. c), ed articolo 79, comma 2).

Dal punto di vista della tutela quantitativa, all’articolo 95 del decreto 152/2006, viene ribadita l’esigenza della pianificazione del bilancio idrico in modo tale da garantire un equilibrio costante tra la disponibilità della risorsa e i fabbisogni per i diversi usi; ciò allo scopo di consentire, oltre al mantenimento di una disponibilità idrica adeguata per l’uso potabile, anche la necessaria quantità di risorsa per il mantenimento degli ecosistemi acquatici (Deflusso Minimo Vitale), nonché la capacità di autodepurazione dei corpi idrici ed il ravvenamento della falda. (Regione Veneto, Allegato A1, 2010).

2.2.1.1. Il Piano di Tutela delle Acque (PTA)

Il Piano di Tutela delle Acque, uno degli strumenti per il raggiungimento degli obiettivi previsti dalla Direttiva 2000/60/CE (WFD), è stato adottato con deliberazione della Giunta Regionale n.4453 del 29/12/2004. La parte conoscitiva del Piano è stata elaborata dalla Direzione Geologia e Ciclo dell’Acqua della Regione Veneto in collaborazione con l’Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) ed è stata adottata dalla Giunta Regionale con provvedimento n. 2434 del 6/08/2004 (Regione Veneto, Allegato A1, 2009).

Effettivamente il Piano è stato approvato con deliberazione del Consiglio regionale n.107 del 5 novembre 2009.

Il PTA si sviluppa in tre documenti:

- *Sintesi degli aspetti conoscitivi*: riassume la base conoscitiva e i suoi successivi aggiornamenti e comprende l’analisi delle criticità per le acque superficiali e sotterranee, per bacino idrografico e idrogeologico.
- *Indirizzi di Piano*: contiene l’individuazione degli obiettivi di qualità e le azioni previste per raggiungerli: la designazione delle aree sensibili, delle zone vulnerabili da nitrati e da

prodotti fitosanitari, delle zone soggette a degrado del suolo e desertificazione; le misure relative agli scarichi; le misure in materia di riqualificazione fluviale.

- *Norme tecniche di attuazione*: contengono misure di base per il conseguimento degli obiettivi di qualità distinguibili nelle seguenti macroazioni: disciplina degli scarichi, misure per le aree a specifica tutela (zone vulnerabili da nitrati e fitosanitari, aree sensibili, aree di salvaguardia acque destinate al consumo umano, aree di pertinenza dei corpi idrici), misure di tutela quantitativa e di risparmio idrico, misure per la gestione delle acque di pioggia e di dilavamento.

Una importante novità introdotta dal D. Lgs. 152/2006 è la pianificazione a livello di *Distretto idrografico*, inteso come l'area di terra e di mare costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere. Per il governo dei distretti viene istituita una specifica *Autorità di Bacino distrettuale*, ente pubblico non economico, che opera in conformità agli obiettivi perseguiti dal D.Lgs. n. 152/2006 ed uniforma la propria attività a criteri di efficienza, efficacia, economicità e pubblicità. La Regione del Veneto è interessata da due distretti idrografici: il distretto delle Alpi Orientali ed il distretto idrografico Padano.

Tuttavia il D.Lgs n. 152/2006, almeno in questo settore, non ha trovato ancora concreta applicazione, per cui a tutt'oggi continua l'attività delle Autorità di bacino secondo la legge n. 183/89 (*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*) fino a quando non entrerà in vigore un apposito decreto correttivo (Regione Veneto, Allegato A1, 2009).

La L. n. 183/1989 prevedeva la suddivisione del territorio nazionale in *Bacini Idrografici*, intesi non solo come contesti geograficamente adeguati alle attività per la difesa del suolo, ma anche come ambienti complessi dotati di omogeneità propria, cioè di ecosistemi unitari. Il territorio nazionale veniva suddiviso in bacini idrografici, classificati in bacini di rilievo nazionale, interregionale e regionale, da considerarsi ambiti unitari di studio, pianificazione e intervento che prescindono dai confini amministrativi. In particolare i bacini idrografici del Veneto sono:

Bacini di rilievo nazionale:

- Adige;
- Fiumi Alto Adriatico (Brenta-Bacchiglione, Livenza, Tagliamento, Piave);
- Po;

Bacini di rilievo interregionale:

- Fissero-Tartaro-Canalbianco (con Regione Lombardia);
- Lemene (con Regione Friuli-Venezia Giulia);

Bacino di rilievo regionale:

- Sile;

- Pianura tra Piave e Livenza;
- Bacino scolante in Laguna di Venezia.

Tali bacini fanno parte dei due distretti idrografici veneti: il Distretto idrografico Padano comprende il bacino de Po, l'altro distretto, ovvero quello delle Alpi Orientali, tutti gli altri bacini qui sopra elencati.

Le attività di studio, pianificazione ed allocazione dei flussi finanziari disponibili, riferite ai bacini idrografici, sono affidate ad apposite autorità, nominate Autorità di Bacino, cui spetta la redazione dei Piani di Bacino. All'art. 63 del D. Lgs. 152/2006 viene definita l'Autorità di Bacino come un "ente pubblico non economico che opera in conformità agli obiettivi della presente sezione (Sezione I – Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione) ed uniforma la propria attività a criteri di efficienza, efficacia, economicità e pubblicità". Il Veneto risulta perciò interessato da ben sette Autorità di bacino, di cui tre nazionali, due interregionali e due regionali, oltre al bacino scolante nella Laguna di Venezia. Quest'ultima, inquadrata in un regime giuridico speciale, è direttamente gestita dal Ministero delle Infrastrutture tramite il Magistrato alle Acque. Come citato nel Piano di Tutela delle Acque – Sintesi degli aspetti conoscitivi, "nonostante il tempo trascorso dall'entrata in vigore della legge n. 183/89, e della successiva costituzione delle Autorità di Bacino, ancora non è operante alcun piano di bacino completo".

La parte conoscitiva del Piano è stata strutturata secondo il modello PSR (*Pressione-Stato-Risposta*), modello semplificato del modello DPSIR (Driving Forces-Pressures-State-Impacts-Responses), proposto dall'Agenzia Europea di Protezione dell'Ambiente (EEA).

Il modello PSR è basato sulla relazione causale tra le *pressioni* sull'ambiente causate dalle attività umane, il conseguente cambiamento dello *stato* dell'ambiente e le *risposte* della società per mitigare gli effetti. Secondo questo schema, l'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ha elaborato tre categorie di indicatori ambientali, al fine di rendere le informazioni ambientali più accessibili a fini decisionali ed informativi: indicatori di pressione, indicatori di stato, indicatori di risposta. Questo metodo è stato però criticato di essere poco flessibile ed incapace di "descrivere fenomeni ambientali connessi a complessi legami retroattivi non lineari" (Piano Tutela Acque). Per questi motivi è intervenuta l'Agenzia Europea per l'ambiente (EEA) che ha modificato il modello PSR in DPSIR. Quest'ultimo mira a rappresentare l'insieme degli elementi e delle relazioni che caratterizzano un qualsiasi tema o fenomeno ambientale, mettendolo in relazione con l'insieme delle politiche esercitate verso di esso. Gli indicatori ambientali sono di 5 tipi:

1. Indicatori di *Driving forces* : stili di vita, processi produttivi e di consumo, usi del territorio, ecc che determinano pressioni sull'ambiente; essi sono utili per individuare le relazioni tra i fattori responsabili delle pressioni e le pressioni stesse e per aiutare i decisori nell'identificare le fonti negative su cui intervenire per ridurre le problematiche ambientali.
2. *Indicatori di Pressione*: emissioni in aria, acqua e suolo, rifiuti, uso di risorse naturali, responsabili del degrado ambientale; tali indicatori sono utili per quantificare le cause delle modificazioni ambientali.
3. *Indicatori di Stato*: qualità dell'ambiente (acque, suolo, biodiversità, ecc); indicano le condizioni in cui si trova l'ambiente nel momento preso in esame e servono per valutare il reale grado di compromissione dell'ambiente.
4. *Indicatori di Impatto*: cambiamenti significativi dello stato dell'ambiente che si manifestano come alterazioni delle risorse naturali, della salute umana e delle performance sociali ed economiche; la loro principale funzione è quella di rendere esplicite le relazioni causa-effetto tra pressioni, stato ed impatti.
5. *Indicatori di Risposta*: azioni intraprese per contrastare gli impatti (normative, prescrizioni, politiche ambientali); tali indicatori esprimono gli sforzi operativi compiuti dalla società (politici, decisori, pianificatori, cittadini) per migliorare la qualità della vita e dell'ambiente.

Nella seconda parte, relativa agli Indirizzi di Piano, sono esaminati gli obiettivi del Piano di Tutela delle Acque, sostanzialmente rinnovati in quanto è cambiata la classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici; non più basata su parametri e criteri chiaramente definiti e quantificati (ad esempio macrodescrittori, Indice Biotico Esteso, Indice trofico, ecc.) secondo classi di qualità discriminate da valori specifici, ma su criteri di classificazione non oggettivi; infatti non ci sono valori numerici degli elementi di qualità che discriminino le diverse classi. Ciò che assume grande importanza nel decreto del 2006 è il monitoraggio di alcuni indicatori biologici che non erano considerati nel decreto del 1999. Si tratta ad esempio del fitoplancton, delle macrofite, del fitobenthos e della fauna ittica. Tuttavia non vi sono attualmente, a livello nazionale, se si esclude l'IBE, criteri e procedure univoci e sufficientemente sperimentati per la classificazione in base a tali indicatori biologici. Ne consegue l'attuale impossibilità di effettuare la classificazione dei corpi idrici secondo il D.Lgs n.152/2006; la classificazione rimane possibile, per il momento, solo utilizzando i criteri del D.Lgs n.152/1999 (Coldiretti Veneto, 2008).

La terza e ultima parte contiene le norme tecniche di attuazione, un elenco di 46 articoli suddivisi in 5 parti: Finalità e contenuti, Obiettivi di qualità, Aree a specifica tutela, Misure di tutela qualitativa,

Misure di tutela quantitativa. Oltre a tali articoli contiene anche 5 allegati indicanti i limiti di emissione per gli scarichi di acque reflue urbane, i limiti per gli scarichi industriali, limiti per il riutilizzo e limiti allo scarico sul suolo; sostanze per cui non è ammessa deroga ai limiti allo scarico; gli ultimi due allegati invece contengono l'elenco dei Comuni il cui territorio è designato vulnerabile da nitrati e quelli compresi nelle aree di primaria tutela quantitativa degli acquiferi (Coldiretti Veneto, 2008).

2.2.1.2. Tutela non solo qualitativa

Il Veneto è una Regione notoriamente ricca di acque sotterranee, sia nelle aree montane sia nelle aree di pianura. Questo è dovuto alla presenza di grandi serbatoi sotterranei e di significative circolazioni idriche nel sottosuolo grazie alla presenza di strutture geologiche formate da materiali permeabili e dalla possibilità che questi serbatoi possano essere alimentati e periodicamente ricaricati da acque superficiali (afflussi meteorici, dispersioni lungo gli alvei, acque irrigue), direttamente sulle aree in cui affiorano in superficie (aree di ricarica) oppure, nei casi di non affioramento, indirettamente attraverso il loro collegamento con altri acquiferi affioranti (Regione Veneto, Allegato A2, 2009). Inoltre, le acque sotterranee del Veneto, in particolare dell'alta e media pianura veneta, assumono una importanza sociale, economica ed ambientale notevolissima poiché consentono l'alimentazione di quasi tutti gli acquedotti pubblici e l'uso potabile nelle aree non servite da acquedotti, e permettono inoltre il funzionamento di numerose industrie e l'irrigazione di soccorso di estese aree coltivate. Nonostante ciò, il sistema idrogeologico è risultato essere estremamente vulnerabile in relazione ai cambiamenti climatici e alla gestione e all'uso delle sue acque, infatti negli ultimi 30-40 anni la falda è lentamente ma progressivamente diminuita, numerose zone umide sono state prosciugate e le falde acquifere sono state depressurizzate soprattutto a causa dell'eccessivo sfruttamento (Baruffi et al., 2012).

Dagli anni '60 infatti le riserve idriche del sistema idrogeologico delle pianure alluvionali stanno progressivamente diminuendo e lo si nota in particolar modo dall'abbassamento della superficie freatica in area di ricarica, nella scomparsa di molti fontanili, nella drastica diminuzione della portata totale dei fontanili stessi e nella sensibile depressurizzazione delle falde artesiane della media pianura (Regione Veneto, Allegato A2, 2009). Per tutti i motivi appena citati è fondamentale "garantire una tutela quantitativa della risorsa", in quanto essa "concorre al raggiungimento degli obiettivi di qualità attraverso una pianificazione delle utilizzazioni delle acque volta ad

evitare ripercussioni sulla qualità delle stesse e a consentire un consumo idrico sostenibile” (Art. 95, comma 1, D.Lgs.152/2006).

Il D. Lgs. 152/2006 richiama infatti la necessità di garantire “l'equilibrio del bilancio idrico come definito dalle Autorità di bacino, nel rispetto delle priorità stabilite dalla normativa vigente e tenendo conto dei fabbisogni, delle disponibilità, del minimo deflusso vitale, della capacità di ravvenamento della falda e delle destinazioni d'uso della risorsa compatibili con le relative caratteristiche qualitative e quantitative” (Art. 95, comma 2). Il bilancio idrico è l'equilibrio tra la disponibilità ed il fabbisogno idrico e la quantificazione deve tenere conto anche del Deflusso Minimo Vitale (DMV), novità introdotta dal decreto del 2006. Il DMV è la portata istantanea che, in ogni sezione del corso d'acqua, consente il mantenimento delle caratteristiche biologiche e naturalistiche ottimali per il bacino in esame (Art. 40, Norme tecniche di attuazione, Regione Veneto, 2004).

L'introduzione del DMV condiziona fortemente il tradizionale bilancio idrico, nel senso che il confronto tra disponibilità e fabbisogni idrici va fatto al netto delle portate e dei volumi destinati al rilascio della portata di rispetto. In tal senso la valutazione dei fabbisogni idrici della Regione e quindi delle utilizzazioni diventa di particolare importanza (Coldiretti Veneto, 2008).

Il calcolo eseguito da A. Gandini, E.Rullani, A.Rusconi di Coldiretti Veneto e presentato nello studio “Aquae” ha portato ad un valore di deficit idrico pari a 1,82 miliardi mc/anno, come riportato in tabella 1.1:

| <i>Disponibilità idrica media comprensivo deflusso minimo vitale</i> | <i>(miliard i mc/anno)</i> | <i>Fabbisogno idrico medio</i> | <i>(miliard i mc/anno)</i> |
|---|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Precipitazioni | 19,34 | Uso idropotabile | 1,05 |
| Risorse naturali (teoricamente disponibili) | 11,6 | | |
| Risorse potenziali (realmente disponibili) | 9,28 | Uso irriguo | 4,80 |
| Risorse utilizzabili (senza serbatoi) | 1,53 | | |
| Capacità attuale serbatoi | 0,20 | Uso industriale ed altro | 1,55 |
| Risorse utilizzabili (con i serbatoi esistenti) | 4,15 | | |
| Deflusso minimo vitale (Q=30 m ³ /s) | 0,95 | | |
| Apporti idrici superficiali Po, Adige, Brenta, Tagliam. Livenza, Lemene, (Q=50 m ³ /s) | 1,58 | | |
| Risorse sup,li complessive utilizzabili | 4,78 | | |
| Risorse sotterranee | 0,8 | FABBISOGNO TOTALE | 7,40 |
| DISPONIBILITA' TOTALE | 5,58 | | |
| | Deficit idrico | 1,82 | |

Tabella 1.1 Bilancio idrico medio annuo nella Regione Veneto, comprensivo dell'applicazione del deflusso minimo vitale (Coldiretti Veneto,2008).

Se la disponibilità idrica, senza tener conto del DMV, risultava pari a 6,53 miliardi di mc/anno, con il DMV diventa di 5,58 miliardi di mc/anno; ne consegue che la differenza tra fabbisogni e disponibilità subisce un incremento, passando da 0,87 a 1,82 miliardi di mc/anno (Coldiretti Veneto, 2008).

E' importante sottolineare, ai fini della presente tesi di laurea, quanto gli usi irrigui e quindi riservati all'agricoltura, incidano sui fabbisogni idrici totali: sono infatti stimati in 4,80 su 7,40 miliardi di mc/anno che corrispondono circa al 65% (Coldiretti Veneto, 2008). Questi dati confermano la tesi secondo cui l'agricoltura è il settore che maggiormente incide sull'utilizzo di acqua, come scritto al paragrafo 1.3.1.

CAPITOLO 3 - WATER FOOTPRINT DEI PROCESSI DI CRESCITA DELLE COLTURE

Qualsiasi sia il processo, il prodotto, l'area, ecc per cui si voglia calcolare l'impronta idrica, essa si ottiene dalla somma delle tre componenti: WF_{green} , WF_{blu} e WF_{grey} . Ciò che cambia sono le formule di calcolo delle componenti le quali sono specifiche per un processo industriale, un processo di crescita di una coltura, un prodotto, un'area, un produttore o un consumatore.

In questo capitolo verrà presentata la metodologia di calcolo dell'impronta idrica specifica per i processi di crescita delle colture; essa fa riferimento al "Water Footprint Assessment Manual" di Hoekstra et al. (2011), testo di riferimento dell'intera metodologia. Gli autori del manuale, oltre al prof. Hoekstra A.Y., l'inventore dell'indicatore stesso, sono gli altri sviluppatori del metodo. Inizialmente si analizzeranno le fasi che compongono uno studio di WF ed i calcoli alla base delle tre componenti dell'impronta per un qualsiasi processo in generale, entrando poi nel dettaglio del caso delle colture.

3.1 SVILUPPO DI UNO STUDIO DI WATER FOOTPRINT

L'obiettivo fondamentale per il quale viene eseguita una valutazione di Water Footprint è quello di analizzare come le attività umane o specifici prodotti si relazionano rispetto a questioni di scarsità idrica e inquinamento in un dato luogo e tempo preso in considerazione e come questi stessi prodotti o attività possono diventare più sostenibili da un punto di vista idrico (Hoekstra et al., 2011).

Uno studio di WF si sviluppa in quattro fasi distinte, in accordo con Hoekstra et al (2011):

- 1) Setting goals and scope (definizione degli obiettivi e campo di applicazione)
- 2) Water footprint accounting (calcolo di WF)
- 3) Water footprint sustainability assessment (valutazione di sostenibilità di WF)
- 4) Water footprint response formulation (formulazione di risposta di WF)

Gli stessi autori del manuale specificano che non è necessario includere tutte e quattro le fasi in uno studio; l'inclusione o l'esclusione, in particolare della terza e/o quarta fase, dipende dagli obiettivi che ci si è posti inizialmente. Si può ad esempio decidere di fermarsi alla fase di calcolo dell'impronta e trattare le altre due fasi in un secondo momento (Hoekstra et al, 2011). Perciò il modello proposto è più una linea guida piuttosto che uno standard metodologico rigoroso.

Secondo Hoekstra et al. (2011) i motivi per cui viene eseguito uno studio di WF sono vari. Ad esempio un governo può essere interessato a conoscere la sua dipendenza da risorse idriche esterne o conoscere la sostenibilità di uso dell'acqua nelle aree da cui vengono importati beni ad alto contenuto idrico. Un'autorità di bacino può essere interessata a conoscere se l'impronta idrica aggregata delle attività umane all'interno del bacino violi le richieste di flusso ambientale o gli standard di qualità dell'acqua. Una azienda può invece essere interessata a conoscere la sua dipendenza dalle risorse idriche lungo tutta la sua catena di fornitura o a comprendere come intervenire per contribuire ad abbassare gli impatti sul sistema idrico attraverso la sua catena di fornitura o i suoi processi aziendali interni.

La fase di accounting è la parte centrale di uno studio di WF e consiste nel raccogliere i dati e sviluppare il calcolo vero e proprio. Nella terza fase invece si valuta l'impronta idrica da un punto di vista tanto ambientale quanto sociale ed economico. La fase finale formula strategie e politiche mirate alla sostenibilità delle risorse idriche.

3.1.1 Setting goal and scope

Come già accennato nel paragrafo precedente, gli obiettivi di uno studio di Water Footprint possono essere vari e applicati a diversi contesti. A seconda del livello di dettaglio con cui si vuole condurre l'analisi si include o si esclude una o l'altra fase; ad esempio se l'obiettivo è quello di aumentare la conoscenza, possono bastare delle stime medie globali o nazionali delle WF di prodotto. Quando invece l'obiettivo riguarda l'identificazione di hot-spots, sarà necessario includere maggiori dettagli sul campo di applicazione e sul successivo calcolo e valutazione, in modo che sia possibile localizzare esattamente dove e quando l'impronta idrica ha i maggiori impatti locali ambientali, sociali ed economici. Se il fine è la definizione di obiettivi politici di riduzione dell'impronta idrica, il dettaglio spaziale e temporale richiesto è ancora maggiore.

Il passo successivo è la definizione degli *inventory boundaries* (confini dell'inventario), ovvero cosa includere e cosa escludere dal calcolo. Ad esempio se includere il calcolo di tutte e tre le componenti di WF: poiché le risorse d'acqua blu sono più scarse e hanno costi di utilizzo più elevati dell'acqua verde, può essere un motivo per trascurare il calcolo dell'acqua verde. Qualora però l'oggetto di studio sia un processo di crescita di una coltura, l'inclusione dell'impronta verde è invece necessario. Nel caso in cui si tratti di un prodotto industriale, allora è fondamentale decidere anche dove troncare l'analisi andando indietro lungo la catena di fornitura; si può decidere di comprendere solo quelle fasi che contribuiscono all'impronta idrica in modo significativo. Ma cosa

vuol dire ‘significativo’? Regole sono state definite nell’ambito del LCA citato al capitolo 1 dove si ritengono importanti i dati che generano un impatto più grande dell’1%, ma negli studi di WF a volte viene preso in considerazione il 10%. Un altro aspetto su cui discutere è l’inclusione nel calcolo di WF dei trasporti che usano biocarburanti o idroelettricità. Definire gli inventory boundaries significa anche definire il livello spazio-temporale e il periodo da considerare (la disponibilità idrica varia infatti durante l’anno ed anche attraverso gli anni) (WF Hoekstra et al., 2011).

3.1.2 Water Footprint accounting

Il calcolo di Water Footprint è specifico a seconda che sia fatto per un’area, un prodotto, un’azienda, un processo, ecc. Nonostante ciò, la WF di una singola fase di processo può essere considerata la base per la costruzione di tutti i calcoli di Water Footprint. Tale concetto è meglio intuibile se si osserva la figura 3.2.

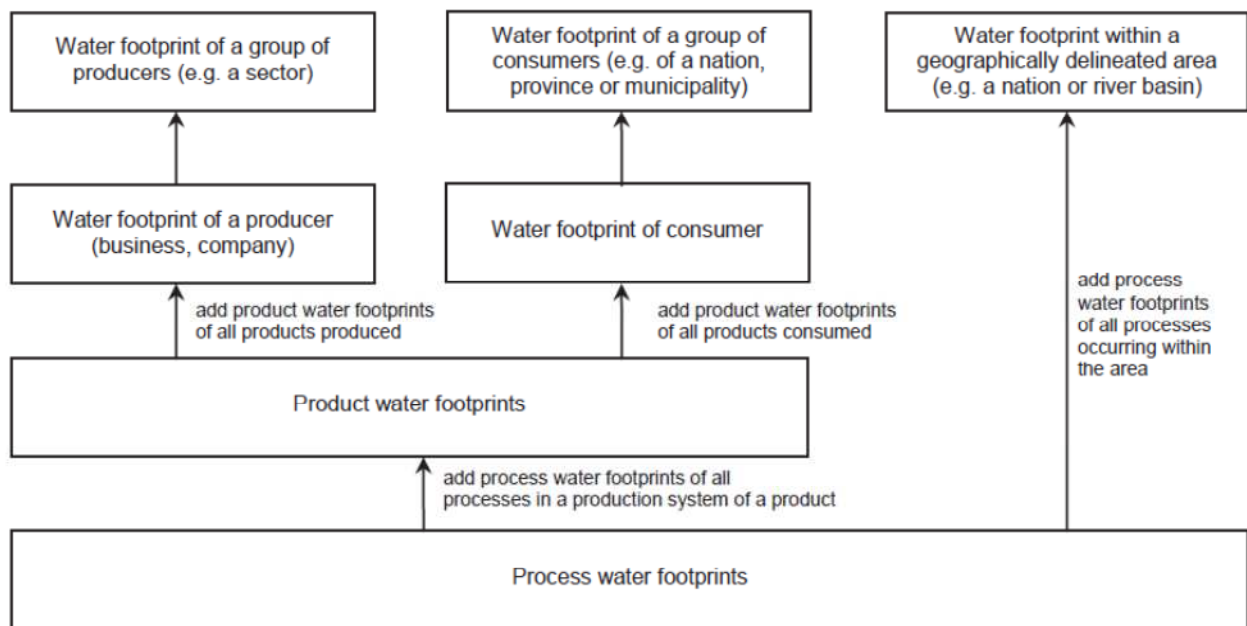


Figura 3.2: impronte idriche di processo come unità base per tutte le altre impronte idriche (Hoekstra et al, 2011).

L’unità di misura per un processo è espressa in volume per unità di tempo; ma dividendola per la quantità di prodotto si ottiene il volume per unità di prodotto. Inoltre, a seconda del livello di dettaglio che si vuole raggiungere, l’impronta idrica può essere espressa per giorno, mese o anno.

Come già anticipato la WF totale di un processo è data dalla somma delle tre componenti: blu, verde e grigia:

$$WF_{proc} = WF_{proc,blue} + WF_{proc,green} + WF_{proc,grey} \quad (1)$$

Qui di seguito queste vengono descritte nel dettaglio.

3.1.2.1 Blue Water Footprint

E' un indicatore di uso consuntivo dell'acqua, in particolare di acqua dolce superficiale (contenuta in fiumi e laghi) o sotterranea (falde acquifere). Si parla di uso consuntivo in quanto ci si riferisce ad uno dei seguenti quattro casi:

- 1) evaporazione dell'acqua;
- 2) l'acqua incorporata nel prodotto;
- 3) l'acqua che non ritorna nello stesso bacino; ad esempio quella che va in un altro bacino e/o finisce in mare;
- 4) l'acqua che non ritorna nel bacino di prelievo nello stesso periodo; ad esempio quando viene prelevata in un periodo di scarsità e ritorna in un periodo umido.

Il primo caso è quello solitamente più significativo. Gli altri tre casi vengono inclusi quando rilevanti.

L'impronta idrica blu di una fase di processo è calcolata come segue:

$$WF_{proc, blue} = \text{Evaporazione} + \text{Incorporazione} + \text{Flusso di ritorno} \quad [\text{volume/tempo}] \quad (2)$$

L'ultima componente si riferisce a quella parte di flusso di ritorno che non è disponibile per il riuso all'interno dello stesso bacino, o perché finisce in un altro bacino o in mare o perché ritorna in un altro periodo. Per calcolare ciascuna componente dell'acqua blu è sempre preferibile reperire i dati dai produttori stessi o comunque da organizzazioni di settore locali; quando questo non è possibile ci si riferisce a database globali che in ogni caso contengono solo dati sui prelievi e non sull'uso consuntivo, per i vari tipi di processi di produzione o prelievi per l'irrigazione in campo agricolo. Per i processi industriali, secondo Hoekstra et al. (2011) si può fare riferimento a database molto popolati come quello di Gleik (1993), di Van der Leeden et al. (1990) e database di proprietà come Ecoinvent (2010) che stanno alla base degli studi di Life Cycle Assessment. Nessuno dei tre fa

riferimento all'uso consuntivo di acqua; inoltre i primi due sono specifici per gli Stati Uniti. Per i processi agricoli al momento sono disponibili quattro database ma riferiti solo al grano, inoltre sono reperibili dati dal sito internet del Water Footprint Network; i database sono quelli di: Liu et al. (2007, 2009), Siebert e Doll (2010), Mekonnen e Hoekstrta (2010a) e Zwart et al. (2010). Il Water Footprint Network fornisce dati su WF di crescita delle principali colture.

All'interno della stessa acqua blu è possibile fare una ulteriore distinzione sulla base che la fonte sia rinnovabile o meno. Appartiene alla prima categoria l'acqua proveniente dalla superficie o da falde sotterranee che si ricaricano mediante le precipitazioni, alla seconda categoria l'acqua prelevata da falde acquifere fossili le quali hanno un tasso di ricarica di migliaia di anni e che perciò, una volta consumate, non sono più disponibili per altrettante generazioni future (Antonelli e Greco, 2013).

Nel calcolo dell'impronta idrica blu vi sono due specifici casi che possono provocare confusione o comunque necessitano di particolare attenzione durante il calcolo e sono: 1) il riciclo e il riuso dell'acqua, 2) i trasferimenti d'acqua tra bacini.

Si parla di 'riciclo d'acqua' quando il riuso è in-situ e per lo stesso scopo, mentre si parla di 'riuso dell'acqua' per intendere il riuso in generale, effettuato altrove e per uno scopo diverso. Entrambi possono essere di valido aiuto per ridurre la WF blu di un processo solo quando questo effettivamente riduce l'uso consuntivo di acqua ma anche per ridurre l'impronta idrica grigia del processo stesso. Quando infatti l'acqua è completamente riciclata o riusata per lo stesso o un altro scopo vuol dire che non ci sono rilasci all'ambiente, così che l'impronta idrica grigia è zero.

L'altro caso che può suscitare confusione è il trasferimento dell'acqua tra bacini, ovvero l'estrazione di acqua da un certo bacino A e che si sposta (attraverso condutture, canali o trasporto alla rinfusa) in un altro bacino B, i processi che avvengono nel bacino B e usano acqua proveniente dal bacino A hanno una impronta idrica blu collocata nel bacino A dove avviene il prelievo (Hoekstra et al., 2011).

3.1.2.2 Green Water Footprint

L'impronta idrica verde è il volume di acqua piovana consumata nel processo di produzione. Fa riferimento a quella parte di precipitazioni che non subiscono run-off o che non vanno a ricaricare le falde sotterranee, ma che sono immagazzinate nel terreno o che temporaneamente rimangono nella superficie del suolo o nella vegetazione.

Questa componente è particolarmente rilevante per i prodotti agricoli e forestali, per i quali l'acqua verde corrisponde all'evapotraspirazione dell'acqua piovana totale (dai campi e dalle piantagioni) più l'acqua incorporata nel raccolto o nel legno. E' quindi un'acqua produttiva per le piante.

L'impronta idrica verde in una fase di processo è calcolata come:

$$WF_{\text{proc, green}} = \text{Evaporazione} + \text{Incorporazione} \quad [\text{volume/tempo}] \quad (3)$$

La distinzione di acqua verde e blu in agricoltura è importante perché gli impatti idrologici, ambientali e sociali, così come i costi economici dell'uso d'acqua superficiale e sotterranea per la produzione, si differenziano dagli impatti e dai costi dell'uso di acqua piovana. Infatti l'acqua verde, a differenza di quella blu, non si può trasportare né attingere con pompe o canalizzazioni, ma è intrinseca nel sistema pianta-pioggia-suolo e da lì non può essere rimossa. Perciò è acqua che non compete con gli usi industriali o civili (Hoekstra et al. 2011; Aldaya et al., 2010; Antonelli e Greco, 2013).

Per calcolare il consumo di acqua verde e blu in agricoltura si usano modelli per il calcolo dell'evapotraspirazione, basati su dati climatici, del suolo e delle caratteristiche colturali. Esiste un programma informatico, CROPWAT 8.0, messo a punto dalla FAO, che permette il calcolo dei fabbisogni idrici e delle esigenze di irrigazione delle colture e che è in grado di restituire l'evapotraspirazione di una data coltura dalla semina al raccolto.

Per quanto riguarda un'altra distinzione tra il contributo blu e verde dell'impronta idrica, un caso particolare è quando le acque meteoriche vengono raccolte per irrigare o per uso potabile; in questo caso è possibile conteggiarle nella WF blu.

3.1.2.3 Grey Water Footprint

E' il volume di acqua dolce necessario per "assimilare" il carico di inquinanti in base a concentrazioni naturali (concentrazione che avrebbe il corpo idrico se non ci fossero attività antropiche) o a definiti standard di qualità dell'acqua concordate. Corrisponde quindi al volume di acqua necessario per diluire gli inquinanti affinché la qualità dell'acqua rimanga al di sopra degli standard di qualità. Bisogna prestare attenzione al fatto che l'impronta idrica grigia non è intesa come 'acqua di diluizione richiesta' ma come riduzione della emissione, tanto che il trattamento riduce la WF grigia, anche fino a zero.

L'impronta idrica grigia di una fase di processo è calcolata come segue:

$$WF_{\text{grey}} = \frac{L}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}} \quad [\text{volume/tempo}] \quad (4)$$

Dove L è il carico inquinante in massa/tempo, C_{\max} è la massima concentrazione accettabile e C_{nat} è la concentrazione naturale del corpo ricevente, entrambe in massa/volume. Sulla base delle considerazioni fatte, quando si ha a che fare con sostanze antropogeniche si assume che C_{nat} sia uguale a zero, o anche quando non si conoscono con precisione, purché basse, le concentrazioni naturali.

In altre parole si può dire che l'impronta idrica grigia è un indicatore della capacità di assimilazione, la quale dipende dalla differenza tra la massima concentrazione ammissibile e la concentrazione naturale di una sostanza in un corpo idrico ricevente. Se si sostituisse la concentrazione naturale con la concentrazione attuale otterremmo la capacità di assimilazione rimanente. Quando la WF grigia risulta positiva vuol dire che parte della capacità di assimilazione è stata consumata e non che gli standard di qualità ambientale sono stati violati. Tale computo permette di incorporare in un solo indice di impronta idrica, anche il fattore inquinamento provocato dal processo o dal prodotto preso in considerazione dando un notevole valore aggiunto a tale indice ambientale.

3.1.3 Water footprint sustainability assessment

La valutazione della sostenibilità dell'impronta idrica è in primo luogo una comparazione tra l'impronta idrica antropica con la reale disponibilità di risorse idriche di acqua dolce.

Quando si va a valutare la sostenibilità dell'impronta idrica bisogna fare tre considerazioni: in primis che la sostenibilità ha tre dimensioni (ambientale, sociale ed economica), poi che gli impatti possono essere formulati a livelli differenti (impatti primari e secondari) e infine che l'impronta idrica ha tre componenti distinte (blu, verde, grigio). Oltre a ciò, la sostenibilità dell'impronta idrica può essere considerata da più punti di vista: geografico, di processo, di prodotto, di un consumatore o di un produttore.

Considerando i vari punti di vista, in un certo qual modo l'uno dipende dall'altro: infatti la sostenibilità dell'impronta idrica di un consumatore dipende dalla sostenibilità dei prodotti consumati che a sua volta dipende dalla sostenibilità del processo, la cui sostenibilità dipende da due criteri: 1) il processo è insostenibile quando viene svolto in un certo periodo dell'anno in un determinato bacino in cui l'impronta idrica complessiva è insostenibile, 2) il processo è insostenibile in sé stesso (indipendentemente dal contesto geografico) quando tutte e tre le componenti dell'impronta idrica potrebbero essere ridotte o del tutto evitate. Ma non è possibile valutare la sostenibilità di qualsiasi prodotto, processo o di un qualsiasi produttore, senza conoscere

la sostenibilità dell'area geografica in cui i processi si verificano. In questo contesto, l'area geografica fa riferimento al bacino idrografico (Hoekstra et al. 2011; Antonelli e Greco, 2013).

3.1.3.1 Sostenibilità dell'impronta idrica di un bacino idrografico

La valutazione della sostenibilità di WF per un bacino idrografico segue un iter composto da quattro step:

1) Step 1: Identification of sustainability criteria (environmental, social and economic)

Affinché l'impronta idrica sia considerata sostenibile essa deve rispettare alcuni criteri, tanto ambientali quanto sociali ed economici; questi sono stati annunciati dagli autori del WF Assessment Manual (2011). Dal punto di vista ambientale, la WF è sostenibile quando vengono rispettati gli standard di qualità dell'acqua e i flussi sotterranei nella misura in cui questi ultimi garantiscano il mantenimento degli ecosistemi di acqua dolce e la sopravvivenza delle persone che dipendono da tali ecosistemi. La sostenibilità sociale dell'impronta idrica fa riferimento alla corretta allocazione delle risorse idriche per i fabbisogni essenziali di tutti gli esseri umani consistenti in acqua per bere, lavarsi, cucinare e produzione di cibo per assicurare un livello sufficiente di approvvigionamento alimentare per tutti. Per quanto riguarda invece i criteri di sostenibilità economica viene sottolineata la necessità di stabilire un giusto costo dell'acqua in modo che comprenda anche le esternalità, i costi associati all'uso e alla conseguente scarsità. Quando anche uno solo dei criteri non viene soddisfatto, l'impronta idrica non può essere considerata sostenibile dal punto di vista geografico.

2) Step 2: Identification of hotspots

Per hotspot s'intende un determinato periodo dell'anno in uno specifico (sub)bacino in cui la WF è insostenibile. Considerare gli hotspot a livello di sub-bacino è importante perchè alcuni hotspot possono scomparire a livello di bacino; ad esempio se si confronta l'impronta idrica grigia di un bacino con la capacità di assimilare inquinanti dello stesso può mostrare che c'è abbastanza capacità di assimilazione. Questo invece non succede se il dettaglio dell'analisi è a livello di sub-bacino, generalmente posto a monte e nel quale l'inquinamento del bacino si concentra.

Sulla base dei criteri di sostenibilità individuati nello Step precedente si identificano i rispettivi hotspot ambientali, sociali ed economici. Un hotspot ambientale si verifica quando i bisogni d'acqua dell'ambiente vengono preclusi o quando il livello di inquinamento idrico supera la capacità di assimilazione. Più in particolare si parla di hotspot ambientale quando la scarsità

d'acqua blu e verde o il livello di inquinamento dell'acqua superano il 100%. La scarsità di acqua blu (o verde) è calcolata come il rapporto tra la somma di tutte le WF blu (o verdi) in un bacino idrografico e la disponibilità di acqua blu (o verde) nel medesimo bacino in un determinato periodo.

Disponibilità di acqua blu (blue Water Availability – WA_{blu}):

$$WA_{blu}[x, t] = R_{nat} - EFR[x, t] \quad [\text{volume/tempo}] \quad (5)$$

Dove R_{nat} è il natural run-off del bacino e EFR il flusso ambientale richiesto ovvero i flussi d'acqua richiesti per sostenere gli ecosistemi di estuario e di acqua dolce e i fabbisogni umani che dipendono da tali ecosistemi. Se WF_{blu} supera la disponibilità di acqua blu, i flussi idrici ambientali vengono violati, generalmente in determinati periodi dell'anno. Ad esempio in figura 3.3 si può vedere che il periodo in cui l'uso di acqua supera la disponibilità va da circa metà aprile a settembre.

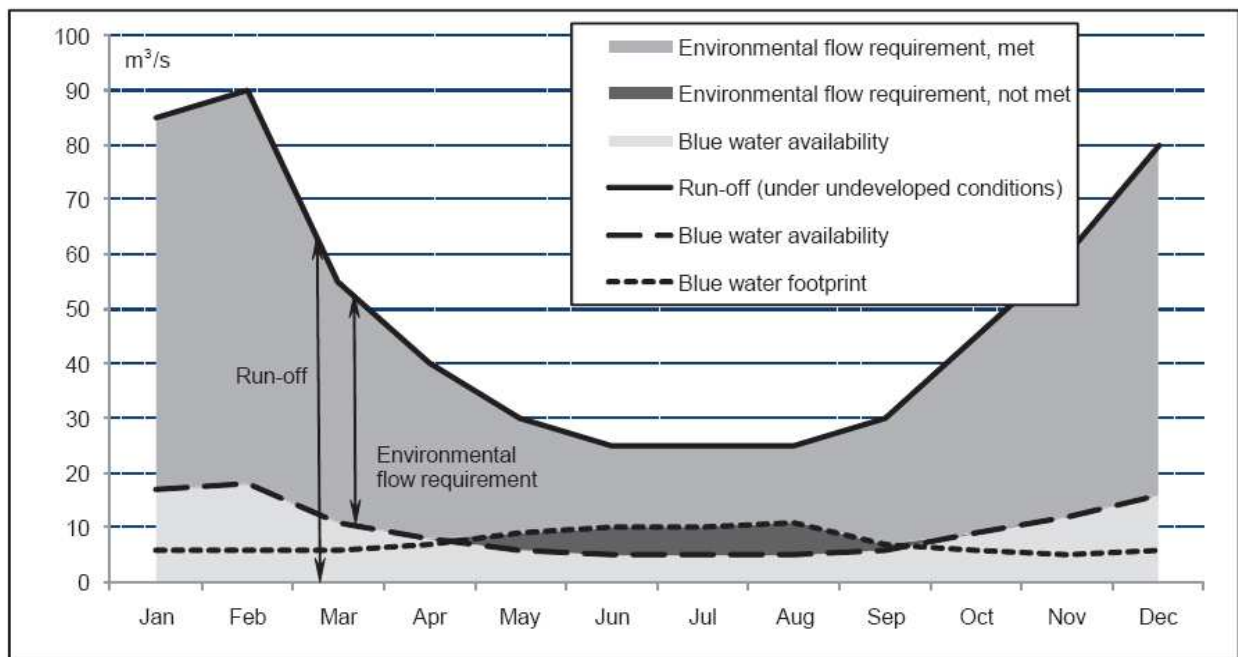


Figura 3.3: Water Footprint blu (WF_{blu}) di un anno confrontata con la disponibilità di acqua blu (WA_{blu}) (Fonte: Hoekstra et al., 2011).

La disponibilità di acqua verde (green water availability – WA_{green}) è calcolata diversamente:

$$WA_{green}[x, t] = ET_{green}[x, t] - ET_{env}[x, t] - ET_{unprod}[x, t] \quad [\text{volume/tempo}] \quad (6)$$

Dove ET_{green} è l'evapotraspirazione totale di acqua piovana dal suolo, ET_{env} l'evapotraspirazione dalla vegetazione naturale e ET_{unprod} l'evapotraspirazione dalla parte di superficie improduttiva dal punto di vista della crescita delle colture (aree montane, edificate o periodi troppo freddi).

La disponibilità di acqua confrontata con l'impronta idrica e quindi con l'uso della risorsa suddetta indica il valore di scarsità idrica Water Scarcity (WS), mediante la formula:

$$WS_{blu(green)}[x, t] = \frac{\sum WF_{blu(green)}[x, t]}{WA_{blu(green)}[x, t]} \quad (7)$$

Un hotspot ambientale si ha anche quando gli standard di qualità ambientali vengono violati, ossia quando la capacità di assimilazione degli inquinanti è stata tutta consumata. Si calcola il Water Pollution Level (WPL) di un bacino per misurare il livello di inquinamento e definendolo come la frazione della capacità di assimilazione che è stata esaurita.

$$WPL = \frac{\sum WF_{grey}}{R_{act}} \quad (8)$$

E' il rapporto tra la sommatoria dell'impronta idrica grigia totale in un bacino e il run-off effettivo (R_{act}) dal bacino idrografico. Quando $WPL > 100\%$ gli standard di qualità ambientale sono stati violati.

Come già accennato, gli hotspot non sono solo ambientali ma anche sociali ed economici. Dal punto di vista sociale, l'impronta idrica è insostenibile quando i diritti umani di base o le regole di equità non sono soddisfatti per tutti gli abitanti di un dato bacino idrografico. I bisogni umani basilari comprendono acqua pulita e sicura per lavarsi, bere e cucinare; nel 2010 l'ONU ha dichiarato per la prima volta nella storia il diritto all'acqua sicura e pulita un diritto umano universale e fondamentale. Lo ha fatto l'Assemblea generale delle Nazioni Unite il 28 luglio 2010, introducendo negli Obiettivi di Sviluppo del Millennio l'obiettivo di dimezzare la percentuale di persone che non possono raggiungere o permettersi acqua potabile sicura e di dimezzare il numero di coloro che non dispongono di servizi igienico-sanitari di base (Antonelli e Greco, 2013; www.un.org).

Dal punto di vista economico invece l'hotspot si crea quando il prezzo dell'acqua non copre l'intero costo economico, comprensivo dei costi delle esternalità, dell'opportunità derivata dall'uso e dalla scarsità come conseguenza dell'uso.

3) Step 3 e 4: Identification and quantification of the primary and secondary impacts in the hotspots

Dopo aver localizzato gli hotspot e stabilito la gravità, è possibile valutare gli impatti primari e secondari per ciascun hotspot. Gli impatti primari più importanti sono: il run-off e livelli d'acqua associati e alcuni parametri rilevanti di qualità dell'acqua. Per quanto riguarda gli impatti secondari, la letteratura disponibile è vasta; alcune variabili da tenere in considerazione possono essere le seguenti: abbondanza di specie, biodiversità, perdita di habitat, salute umana, occupazione, sicurezza del cibo, pesca, turismo, produzione di energia idroelettrica, ecc. La stima degli impatti secondari resta comunque difficile e in particolar modo la traduzione degli impatti primari in stime affidabili di impatti secondari. Si possono utilizzare modelli, giudizi di esperti e approcci partecipativi.

3.1.4 Water footprint response formulation

Nell'ultima fase di uno studio di Water Footprint si valutano delle possibili azioni da mettere in atto per ridurre l'impronta idrica, azione tecnicamente possibile agendo sui processi produttivi industriali ed agricoli. Il Manuale di riferimento della Water Footprint non dice cosa fare ma fornisce solo un inventario di possibili opzioni da cui si può prendere spunto. Questa fase generalmente viene affidata agli esperti del settore, incaricati di trovare soluzioni migliori soprattutto dal punto di vista tecnologico per ridurre i consumi di acqua durante i processi.

Genericamente parlando, la riduzione dell'impronta idrica può essere implementata in due modi diversi: in una determinata catena di produzione è possibile sostituire una tecnica con una che richieda minori quantitativi di acqua oppure si può evitare del tutto l'uso di un determinato ingrediente o del prodotto finale. Esempi di miglioramento tecnologico sono la sostituzione dell'irrigazione a spruzzo con quella a goccia (quest'ultima si basa sulla distribuzione dell'acqua vicino alle radici delle piante, nella quantità e con la frequenza più idonea alla coltura, lasciando completamente asciutto il terreno fra i filari), sostituzione dell'agricoltura convenzionale con quella biologica, sostituzione di sistemi di raffreddamento aperti con sistemi chiusi. Per annullare l'impronta idrica si potrebbe invece agire sugli stili di vita delle persone ad esempio passare da una dieta carnivora a una vegetariana, oppure non utilizzare sostanze chimiche tossiche o biocombustibili idro-intensivi (Hoekstra et al., 2011). Modificando quindi i modelli di consumo di cibo è possibile ridurre indirettamente i consumi di acqua. Ad esempio in Europa l'attuale dieta, basata sul consumo di molti prodotti di origine animale come grassi animali, carne e pesce, ha un'impronta idrica di 4.265 litri per persona al giorno (l/cap/d), mentre una dieta vegetariana in cui viene eliminato il consumo di carne, di grassi animali e ridotto l'uso di oli, il valore si abbassa a 2.655 l/cap/d. Altre diete hanno tutte impronte idriche più elevate, come quella raccomandata dalla

Società nutrizionale tedesca (DGE) e una combinata tra la vegetariana e la DGE (Vanham et al., 2013). In figura 3.4 sono visualizzati i risultati.

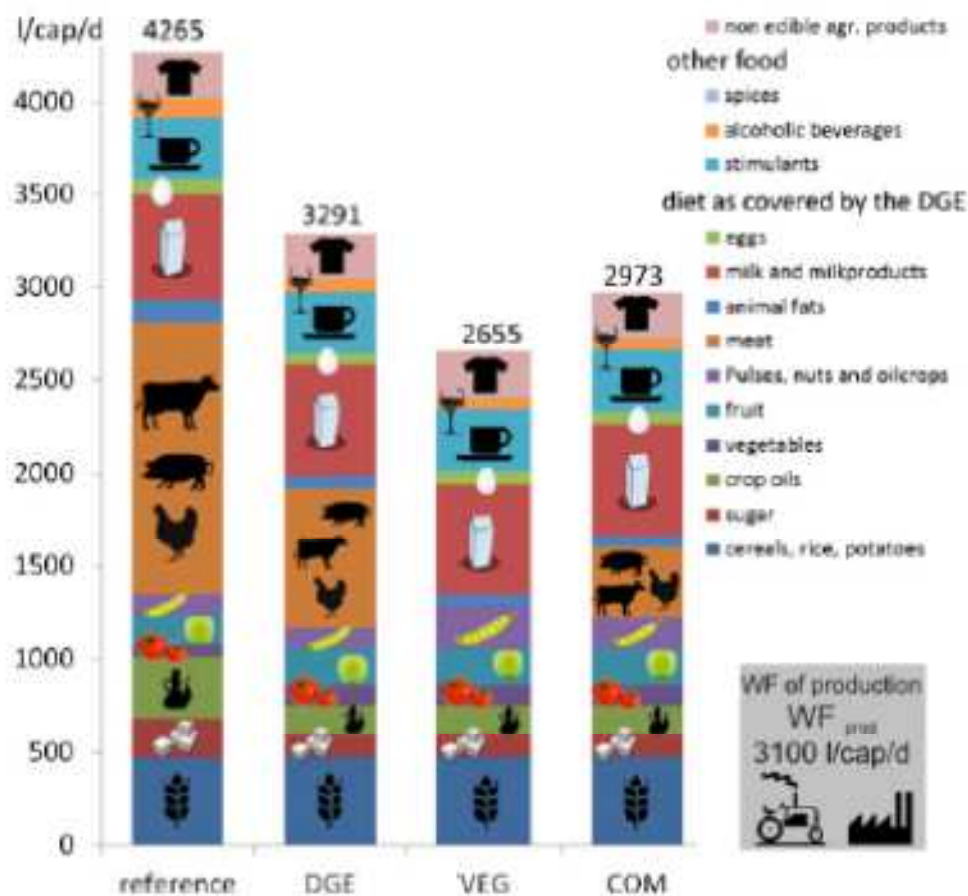


Figura 3.4: Impronta idrica del consumo relativo a prodotti di origine ago-zootecnica per diverse diete. (Fonte: Vanham et al. 2013)

Quando si parla di ridurre l'impronta idrica di una nazione bisogna agire attraverso le politiche idriche di governo. Principio fondamentale è che tali politiche dialoghino in un sistema coerente con i diversi piani di governo nazionali tra cui quello agricolo (es. una politica agricola che porta ad un peggioramento della domanda di acqua in un'area con scarsità idrica), industriale, energetico, del commercio, della politica estera e quant'altro. Il manuale elenca una serie di opzioni per i governi che vogliono ridurre le impronte idriche e mitigare gli impatti correlati: tra queste, le più generali riguardano l'aumento della consapevolezza su consumatori e produttori per quanto riguarda l'uso dell'acqua, la promozione di una tecnologia "water saving" in tutti i settori, la ristrutturazione dei meccanismi di tariffazione dell'acqua, ecc.

La riduzione dell'impronta idrica non deve però riguardare il singolo luogo, regione, nazione. Così come il problema della scarsità idrica è un problema globale, anche la riduzione dell'impronta viene

implementata con una logica di sostenibilità globale. Anche la riduzione della WF nelle aree ricche di acqua non viene fatta per risolvere problemi idrici locali ma per contribuire ad un uso dell'acqua più sostenibile, equo ed efficiente; la riduzione delle impronte idriche attraverso l'incremento della produttività dell'acqua è la chiave per ridurre la pressione su tali risorse nelle aree povere di essa, attraverso l'aumento della produzione di beni idro-intensivi nelle aree in cui l'acqua è sufficientemente disponibile per poi essere esportati nelle zone meno ricche. Ma non sempre la teoria equivale alla pratica; ad esempio, dall'analisi effettuata da Antonelli e Greco (2013) emerge che l'Africa, nel suo complesso, è un esportatore di acqua virtuale verso l'Italia, nonostante le limitate disponibilità idriche di molti paesi africani.

3.2 METODO DI CALCOLO DI WF DI UN PROCESSO DI CRESCITA DI UNA COLTURA

Come già detto, i prodotti alimentari sono quelli che richiedono i maggiori quantitativi di acqua, tanto che quasi il 90 % delle richieste idriche pro-capite sono da ricondurre alla produzione del cibo. Questo perché le fasi di coltivazione dei prodotti agricoli richiedono grandi volumi di acqua sia verde (precipitazioni) che blu (irrigazione). Mekonnen e Hoekstra (2010, 2011) hanno calcolato l'impronta idrica blu, verde e grigia della produzione agricola globale (nello specifico 146 colture) per il periodo 1996-2005 e specificando in quale nazione la coltura è cresciuta, ottenendo dei valori medi globali per ciascuna coltura. A titolo di esempio, per produrre 1 Kg di olive l'impronta idrica è di 3020 litri/Kg, per 1 Kg di riso (così come viene raccolto) è di 1670 litri/Kg, mentre per 1 Kg di mais 1222 litri/Kg.



1 Kg



3020 litri



1670 litri

1 Kg



1222 litri

1 Kg

Figura 3.2: Esempi di Water Footprint media globale per alcuni prodotti agricoli. (Fonte dati: Mekonnen and Hoekstra, 2011).

I due autori hanno svolto un ampio lavoro calcolando le impronte idriche su base nazionale e regionale e riferite agli anni 1996-2005 per 146 prodotti primari e per più di 200 prodotti derivati. Come previsto dalla metodologia di Water Footprint, le stime comprendono anche la componente grigia, fondamentale in quanto l'inquinamento idrico è una delle cause fondamentali, oltre al sovrasfruttamento, della scarsità idrica. Questo concetto è espresso nel Report sullo Sviluppo Umano dell'UNDP (2006).

Gli studi di WF effettuati da Mekonnen e Hoekstra mostrano inoltre che la maggior parte di acqua richiesta per la crescita delle colture corrisponde alla componente verde (78%); la frazione blu (12%) è più piccola ma le analisi spaziali fanno vedere che le regioni in cui le impronte idriche blu sono grandi sono spesso regioni aride o semi-aride in cui la scarsità idrica è elevata. Il restante 10% corrisponde alla parte grigia.

L'impronta idrica di un prodotto agricolo primario è generalmente espressa in volume su massa (litri/Kg o m²/ton) e fa riferimento al periodo di crescita, dalla semina alla raccolta. Ma può essere espressa anche in litri/kcal o litri/proteine, dipende dal tipo di informazione che si vuole ottenere. Ad esempio in un paese povero d'acqua e con problemi di scarsità di cibo potrebbe essere più utile calcolare l'impronta idrica in litri/kcal in modo da orientare la scelta della coltura più sostenibile a parità di valore nutrizionale.

La componente verde del processo di crescita è calcolata come componente verde dell'uso d'acqua da parte della coltura (CWU_{green} in m³/ha) diviso la resa (Y in ton/ha):

$$WF_{proc,green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad [\text{volume/massa}] \quad (9)$$

La componente blu è calcolata nello stesso modo:

$$WF_{proc,blu} = \frac{CWU_{blu}}{Y} \quad [\text{volume/massa}] \quad (10)$$

La componente grigia è invece calcolata come segue:

$$WF_{proc,grey} = \frac{[(\alpha \times AR)/(C_{max} - C_{nat})]}{Y} \quad [\text{volume/massa}] \quad (11)$$

Il calcolo del volume di acqua richiesto dal processo di crescita di una coltura e i parametri per calcolarlo vengono descritti in dettaglio nei paragrafi immediatamente seguenti dove le equazioni da (9) a (11) vengono riprese.

3.2.1 Crop Water Use (CWU)

Il fabbisogno idrico di una coltura è uno degli argomenti più importanti della ricerca sull'irrigazione degli ultimi decenni ed è riferito al quantitativo d'acqua necessario ad una coltura affinché le funzioni legate al suo sviluppo ed accrescimento si svolgano senza dar luogo a sensibili riduzioni della produttività. Esso coincide, a meno di fenomeni parassiti (perdite) con l'evapotraspirazione (Gallerani et al., 2009).

Più in dettaglio, il volume di acqua utilizzato da parte di una coltura c (CWU, m³/anno) durante tutto il processo di crescita corrisponde all'accumulo di evapotraspirazione giornaliera (ET, mm/giorno) per il periodo che va dalla semina al raccolto moltiplicato per la produzione (Production, ton/anno) e dividendo per la resa (Yield, ton/ha). La somma delle evapotraspirazioni giornaliere prende il nome di Crop Water Requirement (CWR), in italiano fabbisogno idrico della coltura, che è l'acqua necessaria per l'evapotraspirazione in condizioni di crescita ottimali e per il periodo che va dalla semina al raccolto per una data coltura in uno specifico regime climatico quando l'acqua nel suolo viene mantenuta in quantità adeguate dalla pioggia e/o dall'irrigazione in modo che non limiti la crescita delle piante o la resa delle colture (Allen et al., 1998). Per condizioni ottimali s'intende che la coltura non cresce in condizioni di carenza idrica e quindi si suppone che l'evapotraspirazione corrisponda al CWR.

La ‘Crop water Use’ è calcolata come segue:

$$CWU = CWR \times \frac{\text{Pr oduction}}{Y} \quad [\text{volume/tempo}] \quad (12)$$

Dove, il ‘Crop Water Requirement’ di una data coltura c e per il periodo d è dato da:

$$CWR = 10 \times \sum_{d=1}^{l_g p} ET_c \quad [\text{volume/area}] \quad (13)$$

Dove il fattore 10 converte i mm/giorno in m^3/ha ; $l_g p$ è il periodo dalla semina al raccolto in giorni. Secondo Chapagain e Hoekstra (2004) utilizzare i fabbisogni idrici della coltura come indicatore del consumo effettivo di acqua porta ad una sovrastima dell’effettivo utilizzo della stessa da parte delle colture; ma dall’altra parte quando non si tiene conto delle perdite derivanti dall’irrigazione e il drenaggio si sottostimano i fabbisogni idrici, pertanto le due voci si annullano.

Dalla formula (13) si deduce che il primo passo da effettuare per arrivare a calcolare l’impronta idrica di un processo di crescita di una coltura è la quantificazione dell’evapotraspirazione. Quest’ultima può essere misurata direttamente in campo o calcolata. Poiché la misura richiede specifici dispositivi e misure accurate di vari parametri fisici o di bilancio idrico del suolo, risulta difficoltosa e oltretutto dispendiosa. Per ovviare tali problemi si preferisce ottenere il dato di evapotraspirazione mediante modelli che usano equazioni empiriche o semi-empiriche basate su parametri climatici, delle caratteristiche del suolo e della coltura. Uno tra questi è il software CROPWAT della FAO (FAO, 2010), sviluppato da Clarke et al. nel 1998 e consigliato anche da Hoekstra et al. (2011). Tale programma include due modi differenti per calcolare l’evapotraspirazione: l’opzione “crop water requirement” (CWR) (che assume condizioni ottimali) e l’opzione “irrigation schedule” (IS) (che include la possibilità di specificare la reale richiesta di irrigazione nel tempo). Verranno successivamente trattate entrambe nei paragrafi successivi.

Il software CROPWAT è molto diffuso in tutto il mondo e utilizzato da molti anni per il calcolo dell’evapotraspirazione di riferimento e l’evapotraspirazione della coltura nell’intero periodo di crescita, come testimoniano i numerosi studi presenti in letteratura; tra questi se ne cita qualcuno: Stancalie et al., 2010; Aldaya et al., 2009; Nazeer, 2009; Zhiming et al., 2007; George et al., 2000. Dall’analisi di tali studi se ne deduce la validità del modello che, oltre ad essere per questo motivo ampiamente utilizzato in ambito agronomico è applicato nell’ambito degli studi di bilanci idrici di

ampi territori e presenta una valenza modellistica che anche se semplificata molto valida (Gallerani et al., 2009).

Soprattutto nel caso applicativo trattato nel presente lavoro di tesi, dove, il reperimento per un territorio ampio di dati che rappresentino direttamente lo stato idrico delle diverse culture (per esempio in termini di temperatura fogliare o termometria a infrarossi o altri dispendiosi metodi per la determinazione diretta dell'acqua disponibile per la pianta nel terreno) non era realizzabile si è ritenuto rappresenti uno strumento modellistico previsionale ottimale che non necessita di essere ulteriormente validato per una coltura sito-specifica. Nonostante ciò, come si vedrà in seguito, verranno applicate entrambe le opzioni (CWR e IS) per le colture in provincia di Venezia al fine di identificare quale delle due meglio rispecchia la situazione locale; il metodo scelto verrà applicato successivamente per le altre province.

3.2.2. Crop Water Requirement con CROPWAT

Il fabbisogno idrico di una coltura è definito come l'acqua necessaria per compensare le perdite dovute all'evapotraspirazione da un campo coltivato.

In primis il software, in entrambe le due opzioni utilizzabili (CWR e IS), calcola l'evapotraspirazione di riferimento (ET_0), mediante l'inserimento di dati riguardanti i parametri climatici come temperatura media, umidità relativa, velocità del vento e ore di sole. Il metodo di calcolo più indicato e utilizzato nel software CROPWAT è quello di Penman-Monteith proposto da Allen et al. (1998) L'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) è il tasso di evapotraspirazione da una superficie di riferimento ricoperta da una coltura di altezza pari a 0.12 m, con una resistenza superficiale di 70 s/m e una albedo di 0.23. La superficie di riferimento assomiglia molto ad un'ampia superficie di erba ben irrigata, di altezza uniforme, in crescita attiva e che ombreggia completamente il suolo. La resistenza superficiale fissa di 70 s/m implica un terreno moderatamente secco ottenuto da irrigazione con frequenza settimanale (Allen et al. 1998; Zailin et al., 2013).

Come è noto l'evaporazione aumenta con l'incremento della temperatura, di conseguenza ET_0 sarà più alto nelle zone vicino all'equatore e quindi saranno alte anche le CWR delle colture che crescono nelle medesime aree. Il concetto di evapotraspirazione di riferimento è stato introdotto per studiare la richiesta evaporativa dell'atmosfera indipendentemente dal tipo di coltura, di sviluppo della stessa e delle pratiche di gestione (Allen et al., 1998). Essendo quindi ET_0 è un parametro climatico si distingue nettamente dalla reale evapotraspirazione, la quale invece deve tenere conto proprio delle caratteristiche colturali e lo fa attraverso il coefficiente colturale K_c .

L'evapotraspirazione in condizioni ideali (ET_c), quindi con l'opzione CWR, è calcolata nel modo seguente (Allen, 1998; Hoekstra et al., 2011):

$$ET_c[c] = K_c \times ET_0 \quad [\text{volume/tempo}] \quad (14)$$

Dove si ricorda che in condizioni ideali $ET_c = CWR$, quindi:

$$ET_c[c] = K_c \times ET_0 = CWR \quad [\text{volume/tempo}] \quad (15)$$

Il coefficiente colturale K_c è particolarmente importante, esso rappresenta il rapporto tra l'evapotraspirazione di una coltura oggetto di studio e quella di riferimento ed è influenzato soprattutto dal tipo di coltura, dagli stage di crescita del raccolto, poiché è in stretta relazione con lo stato vegetazionale della pianta e quindi con le sue diverse fasi di sviluppo e da parametri climatici (Gallerani et al., 2009). Ad esempio le variazioni di vento alterano la resistenza aerodinamica delle colture e quindi i loro coefficienti, soprattutto per quelle colture che sono sostanzialmente più alte rispetto all'erba di riferimento. Un altro fattore che influenza il K_c è l'umidità relativa; climi aridi con velocità del vento sostenute hanno valori più alti, mentre climi umidi e con velocità del vento più basse hanno K_c più bassi (Allen et al., 1998).

ET_c si riferisce all'evapotraspirazione da campi ottimamente gestiti, di grandi dimensioni, ben irrigati che consentano di raggiungere la piena produzione sotto le date condizioni climatiche (Allen et al. 1998).

A causa delle diverse evapotraspirazioni durante le fasi di crescita anche il K_c cambia e in particolare aumenta raggiungendo il valore massimo nella fase di mezza stagione per poi diminuire, fino alla raccolta.

Le fasi di crescita sono quattro: iniziale, sviluppo, mezza stagione e fine stagione.

La *fase iniziale* è data dalla semina a circa il 10% di copertura del terreno. La lunghezza del periodo iniziale è fortemente dipendente dalla varietà di coltura, dalla data di impianto e dal clima. La fine del periodo iniziale è determinato come il momento in cui circa il 10% della superficie del terreno è coperto dalla vegetazione. Durante tale periodo l'area fogliare è piccola e di conseguenza l'evapotraspirazione è prevalentemente sotto forma di evaporazione dal suolo. Pertanto il K_c è alto quando la superficie del terreno è bagnato, da irrigazione o pioggia, e basso quando è secco.

La *fase di sviluppo* della coltura va da una copertura del terreno pari al 10% fino alla copertura totale, che generalmente viene fatto coincidere con la fioritura. In molti casi infatti è difficile determinare visivamente la copertura totale del suolo, come per i cereali invernali e primaverili e alcune erbe. Durante la fase di sviluppo della coltura, il valore di K_c corrisponde alla quantità di copertura del terreno e allo sviluppo delle piante. In genere, se la superficie del terreno è asciutta,

$K_c = 0,5$ e corrisponde a circa il 25-40% della superficie del terreno coperto da vegetazione. A $K_c = 0,7$ corrisponde il 40-60 % di copertura del suolo

La *fase di metà stagione* va dalla copertura totale del suolo all'inizio della maturità, che coincide con l'inizio dell'invecchiamento, ingiallimento o senescenza delle foglie, caduta delle stesse, imbrunimento della frutta, al punto che l'evapotraspirazione è ridotta rispetto a ET_0 . Durante questa fase il valore di K_c è massimo.

La *fase di fine stagione* va dall'inizio della maturità alla raccolta o completa senescenza e il K_c diminuisce. Alla fine di tale fase il valore di K_c riflette le pratiche di gestione colturale e idriche: è alto se la coltura è stata frequentemente irrigata fino al raccolto fresco. Se invece il raccolto è lasciato ad asciugare sul campo prima della raccolta il valore di K_c è piccolo (Allen et al. 1998).

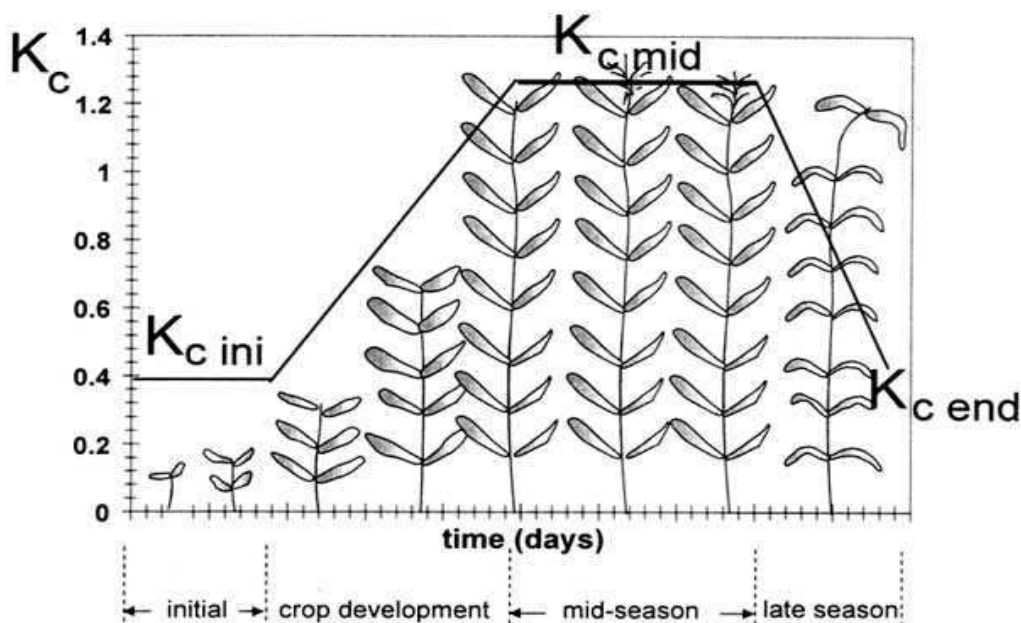


Figura 3.3: Andamento del coefficiente colturale K_c durante le fasi di crescita della pianta (da: Allen et al. 1998: FAO Irrigation and drainage Paper No. 56)

I valori di K_c per varie colture si possono trovare in letteratura (ad esempio in Allen et al. , 1998) oppure essere calcolati attraverso la formula:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (16)$$

Dove, K_{cb} è il 'basal crop coefficient' che descrive la traspirazione della pianta; K_e è il 'soil water evaporation coefficient' e descrive l'evaporazione dalla superficie del suolo. Quando la superficie è bagnata in seguito a un evento piovoso o all'irrigazione, K_e è massimo; al contrario, quando la

superficie è asciutta, K_e è piccolo o addirittura uguale a zero quando l'acqua non rimane sulla superficie del suolo per l'evaporazione.

Il modello CROPWAT non consente la distinzione dei due parametri ma prevede l'inserimento del K_c risultante.

CROPWAT consente di calcolare:

- il fabbisogno d'acqua delle colture (*crop water requirement*, CWR) durante l'intero periodo di crescita in particolari condizioni climatiche;
- la precipitazione efficace nello stesso periodo;
- le esigenze di irrigazione (*irrigation scheduling*). (Hoekstra et al, 2011)

La precipitazione efficace (P_{eff} , in mm) è quella parte di pioggia che è effettivamente utilizzata dalla coltura e che resta dopo le perdite subite a causa del run-off superficiale e la percolazione in profondità. Viene utilizzata per determinare le esigenze di irrigazione della coltura (IR). Ci sono vari modi per stimare la precipitazione efficace; CROPWAT permette la scelta tra quattro e, tra questi, Hoekstra et al (2011) consiglia l'uso del metodo USDA SCS (metodo di United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service).

L'entità della precipitazione efficace dipende da:

- morfologia del terreno e dall'intensità di pioggia;
- caratteristiche e umidità del terreno;
- copertura vegetale e potenza (profondità) dello strato utile.

Se l'intensità della precipitazione supera di molto la velocità di infiltrazione del terreno, la quota che si infiltra nel terreno è minore di quella che si infiltrerebbe se lo stesso afflusso avvenisse con bassa intensità. L'acqua che si infiltra nello strato utile, vi si accumula fin tanto che l'umidità non raggiunge la capacità di campo, poi, una volta superata la saturazione capillare, l'acqua prosegue verso gli strati più profondi.

La richiesta di irrigazione (IR) è calcolata come differenza tra CWR e P_{eff} . Può essere anche uguale a zero se la precipitazione effettiva supera il fabbisogno idrico della coltura. Ciò vuol dire che:

$$IR = CWR - P_{eff} \quad (17) \quad \text{con: } 0 < IR < (CWR - P_{eff})$$

Il modello CROPWAT calcola il fabbisogno idrico totale ma la metodologia di Water Footprint richiede la distinzione tra la componente evaporativa verde e quella blu. Hoekstra et al. (2011) assume che l'evapotraspirazione d'acqua verde sia calcolata come il minimo tra

l'evapotraspirazione della coltura durante tutto il periodo di crescita (ovvero la somma delle ET giornaliere, in poche parole CWR) e la precipitazione efficace (P_{eff}):

$$ET_{green} = \min (CWR, P_{eff}) \quad [\text{mm/giorno}] \quad (18)$$

L'evapotraspirazione d'acqua blu, ovvero l'acqua di irrigazione evaporata dal campo, si ottiene dalla differenza tra l'evapotraspirazione totale della coltura (CWR) e la pioggia efficace (P_{eff}):

$$ET_{blu} = \max (0, CWR - P_{eff}) \quad [\text{mm/giorno}] \quad (19)$$

Ovvero ET_{green} corrisponde alla P_{eff} e la componente verde della richiesta idrica della pianta è:

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{lg p} ET_{green} \quad [\text{volume/area}] \quad (20)$$

La componente verde ($WF_{proc, green}$) dell'impronta idrica totale del processo di crescita di una coltura è il risultato ottenuto dal rapporto tra la componente verde d'uso d'acqua della coltura (CWU_{green} , in m^3/ha) e la resa media annuale della stessa (Y , in ton/ha):

$$WF_{proc, green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad [\text{volume/massa}] \quad (21)$$

L'evapotraspirazione blu (ET_{blu}) corrisponde a IR e la parte blu della richiesta idrica totale della pianta è:

$$CWU_{blu} = 10 \times \sum_{d=1}^{lg p} ET_{blu} \quad [\text{volume/area}] \quad (22)$$

La componente blu dell'impronta idrica del processo di crescita di una coltura ($WF_{proc, blu}$ in m^3/ton) è calcolata come la componente blu dell'acqua in uso per la coltura (CWU_{blu} in m^3/ha) divisa per la resa della coltura (Y , ton / ha):

$$WF_{proc, blu} = \frac{CWU_{blu}}{Y} \quad [\text{volume/massa}] \quad (23)$$

Il software CROPWAT, come anticipato, fornisce la possibilità di effettuare valutazioni con una altra opzione denominata “Irrigation Schedule” (IS) che è stata ideata per determinare in casi specifici un corretto modello di irrigazione anche sulla base di dati molto specifici del suolo. Se si vuole quantificare l’evapotraspirazione mediante tale opzione, la distinzione dell’evapotraspirazione blu e verde è diversa; per prima cosa è necessario quantificare ET_{blu} e successivamente da questa si determina ET_{green} . Nel paragrafo successivo viene descritta più nel dettaglio l’opzione IS del software CROPWAT al fine di comprenderne le principali differenze.

3.2.3. Quantificazione dell’evapotraspirazione mediante “Irrigation Schedule (IS) option”

Per poter applicare questa opzione sono necessari, oltre ai dati climatici e sulle caratteristiche della coltura, anche i dati sulle caratteristiche del suolo. Infatti gli spostamenti dell’acqua nel suolo, la capacità di questo di trattenere l’acqua e l’abilità stessa delle piante di usarla sono influenzati da diversi fattori quali la condizione fisica, la fertilità e lo stato biologico del suolo (Hoekstra et al., 2011). Ovvero si basa sul bilancio idrico giornaliero del suolo. Ciò che si ottiene è l’evapotraspirazione regolata (ET_a) calcolata come:

$$ET_a = K_s \times ET_c = K_s \times K_c \times ET_0 \text{ [volume/tempo]} \quad (24)$$

Dove K_s è il coefficiente di stress idrico che descrive l'effetto del deficit idrico del suolo sulla traspirazione della coltura, la quale si presume diminuisca linearmente alla riduzione di acqua disponibile nella zona radicale. Si ottiene da:

$$K_s = \frac{(TAW - D_r)}{(TAW - RAW)} \quad (25)$$

Dove TAW (Total Available Water) è la quantità totale di acqua disponibile per la coltura, ottenuta dalla differenza tra la capacità di campo e il punto di appassimento. Dipende dalla tessitura, dalla struttura e dal contenuto di materia organica del suolo ed è espressa in mm/metro.

D_r (root zone depletion) rappresenta la scarsità d’acqua rispetto alla capacità di campo ed è misurato come percentuale o in mm sulla profondità delle radici. Per ultimo, RAW (Readily Available Water) è la frazione del TAW che la coltura può estrarre dalla zona radicale senza soffrire lo stress idrico; può essere espresso come % o in mm su una determinata profondità di suolo (Allen et al., 1998).

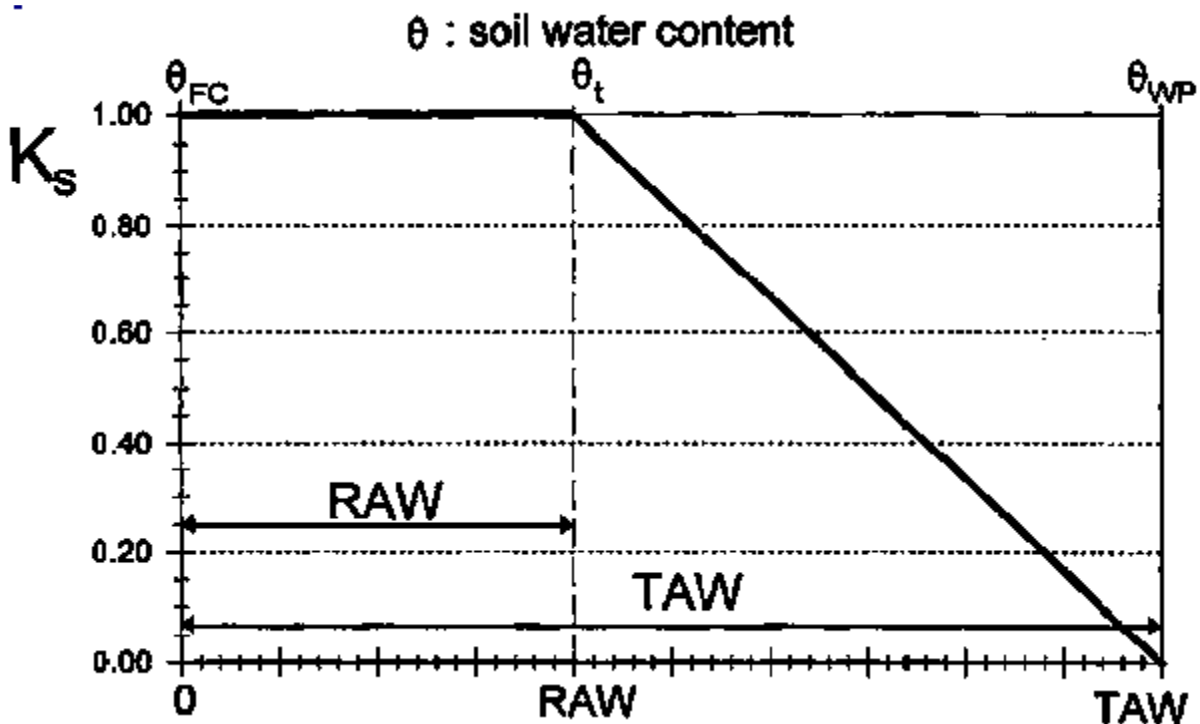


Figura 3.4: Andamento del coefficiente di stress idrico (K_s). Con $K_s=1$ vuol dire che non c'è stress idrico, quindi vuol dire che non c'è mancanza di acqua. Mentre con $K_s<1$ vuol dire che si verifica stress idrico, ovvero la quantità d'acqua nel suolo limita la crescita della coltura. (Fonte: Allen et al., 1998)

L'evapotraspirazione regolata (ET_a) può essere quantificata sia in condizioni ottimali che non. Nel primo caso si utilizzano le opzioni di default presenti all'interno del programma e relative ai tempi di irrigazione e alle profondità di applicazione quali "irrigate at critical depletion" (irrigare ad esaurimento critico) e "refill soil to field capacity" (ricaricare il suolo alla capacità di campo), le quali opzioni assumono un'irrigazione ottimale in modo che gli intervalli di irrigazione siano tali da evitare qualsiasi stress idrico per la coltura. Nel secondo caso invece si inseriscono i tempi, la profondità dell'irrigazione e l'efficienza del sistema utilizzato; di norma è presente di default il valore del 70% che coincide con un sistema di irrigazione a gravità ben gestito (Allen et al., 1998). È possibile inoltre quantificare ET_a nel caso di agricoltura pluviale, ovvero senza irrigazione; basta selezionarla all'interno delle opzioni dell'IS. In questo scenario risulterà ovviamente che $ET_{green} = ET_a$ e ET_{blu} è uguale a zero.

Dopo aver inserito tutti i dati riguardanti le varie opzioni di irrigazione si ottiene ET_a , ovvero il reale uso d'acqua da parte della coltura (actual water use by crop).

Come accennato al paragrafo precedente, in questo caso è necessario in primis determinare ET_{blu} e poi da questa ricavare ET_{green} . Quindi:

$$ET_{blu} = \min (\text{total net irrigation; actual irrigation requirement}) \quad (26)$$

$$ET_{green} = (ET_a - ET_{blu}) \quad (27)$$

Ottenuti i valori dell'evapotraspirazione si procede anche in questo caso con il calcolo di CWU blu e verde e successivamente le rispettive impronte idriche; valgono le formule (20), (21), (22), e (23) presentate al paragrafo precedente.

3.2.4 La componente grigia di WF del processo di crescita della coltura

La terza componente dell'impronta idrica di una coltura è la grigia. Essa è calcolata come il tasso di applicazione di sostanze chimiche al campo per ettaro (AR , kg/ha) per la frazione di lisciviazione (α) diviso la differenza tra la concentrazione massima accettabile (c_{max} , kg/m³) e la concentrazione naturale per l'inquinante considerato (c_{nat} , kg/m³) e il tutto diviso la resa della coltura (Y , ton/ha):

$$WF_{proc, grey} = \frac{[(\alpha \times AR) / (C_{max} - C_{nat})]}{Y} \quad [\text{volume/massa}] \quad (28)$$

Generalmente gli inquinanti consistono in fertilizzanti (azoto, fosforo e altro), pesticidi e insetticidi. Quando si fa il calcolo dell'impronta idrica grigia di un processo di crescita si deve tener conto solo del "flusso di inquinanti" che va nei corpi idrici di acqua dolce e che generalmente è una frazione dell'applicazione totale di fertilizzanti o pesticidi al campo. Hoekstra et al. (2011) inoltre consiglia di rappresentare solo l'inquinante più critico, ovvero l'inquinante per cui si ottiene il valore più alto mediante la formula di cui sopra. Generalmente coincide con i fertilizzanti azotati, per i quali si assume un tasso di lisciviazione pari al 10% (Mekonnen and Hoekstra, 2010; Chapagain et al., 2006; Hoekstra et al., 2011; Maragno, 2010; Van Oel et al., 2009). Anche il presente caso di studio fa riferimento a tale assunzione.

Per quanto riguarda invece la concentrazione massima ammissibile (C_{max}), riferita all'azoto, è diversa in base alla Nazione in cui ci si trova; ad esempio il valore standard raccomandato di nitrati nelle acque superficiali e sotterranee da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità e dall'Unione Europea è di 50 mg di nitrati (NO₃) per litro, mentre per l'Environmental Protection

Agency-US lo standard raccomandato è di 10 mg per litro, misurato però come azoto nitrico ($\text{NO}_3\text{-N}$) (Mekkonen and Hoekstra, 2010). In questo studio si è fatto riferimento al limite europeo di 50 mg/l di NO_3 che corrisponde a 11,3 mg/L di azoto, quindi il valore europeo è leggermente più alto di quello concesso dagli Stati Uniti uguale a 10 mg/L. Ciò comporta differenze nei risultati dell'impronta idrica grigia, perciò è importante all'inizio di ogni studio di WF specificare le assunzioni considerate, tanto per l'impronta idrica grigia quanto per quelle blu e verde.

Il presente caso di studio sull'impronta idrica del comparto agricolo della Regione Veneto fa riferimento, per il calcolo di WF_{grey} , a quanto assunto dalla molti studi, citati in questo paragrafo, eseguiti finora e riguardanti le colture.

Prima di arrivare però al calcolo vero e proprio dell'indicatore per la Regione Veneto è importante definire i confini spazio-temporali del sistema considerato, i quali vengono descritti al capitolo 4, comprese le caratteristiche climatiche dell'area, importanti ai fini del risultato dell'impronta idrica. Al capitolo 5 verrà trattato nello specifico il calcolo dell'impronta idrica del comparto agricolo di ciascuna provincia costituente la suddetta regione.

CAPITOLO 4 – I CONFINI DELLO STUDIO : LA REGIONE VENETO

Quando si vuole applicare la metodologia di Water Footprint è necessario in primo luogo definire i confini dello studio, sia spaziali che temporali; poiché si ricorda che tale metodologia è contestualizzata spazio-temporalmente, qualunque sia l'oggetto di studio. Nel caso della produzione agricola, ad esempio, i volumi d'acqua usati variano a seconda delle condizioni meteo-climatiche locali, le quali, anche all'interno dello stesso Paese possono variare negli anni. Si specifica che il fabbisogno idrico di una coltura rimane circa sempre lo stesso, ma possono cambiare, ad esempio a seconda di anni più o meno piovosi, la parte di fabbisogno idrico soddisfatto dalle precipitazioni e la parte dall'irrigazione. Per questi motivi, quando si effettua uno studio di Water Footprint è sempre importante specificare dove e quando quell'impronta idrica è stata calcolata.

Detto ciò, il presente lavoro ha l'obiettivo di calcolare, secondo la metodologia riportata al Capitolo 3, l'impronta idrica della produzione agricola della Regione Veneto, per gli anni 2001 e 2011. I confini geografici considerati coincidono con i confini amministrativi della Regione. Più nello specifico si è voluto eseguire il calcolo per ciascuna delle 7 province costituenti la medesima Regione.

Allo stato attuale delle conoscenze, in Italia non è ancora stato eseguito alcun lavoro di Water Footprint della produzione agricola per una Regione. Gli unici studi riguardanti il settore agricolo italiano sono stati effettuati dalla comunità scientifica del Water Footprint Network, la quale ha recentemente generato anche un *Tool*, il Water Footprint Assessment Tool (WFA), disponibile gratuitamente on-line nel sito del Water Footprint Network, che consente di selezionare la nazione desiderata e il settore di interesse (agricoltura, industria, settore civile). Per quanto riguarda l'agricoltura nel WFA Tool si può inoltre scegliere la coltura di cui si vuole conoscere l'impronta idrica. Il risultato è la creazione di una mappa in cui si possono visualizzare separatamente i diversi colori dell'impronta, per la coltura prescelta. Un esempio per il mais è riportato nelle figure 4.1, 4.2 e 4.3. Questi studi utilizzano dati presenti nei database globali, perlopiù della FAO (Aquastat, Fertistat, Climwat). Tali database non saranno mai aggiornati e specifici come reperire le informazioni a livello locale. Inoltre il calcolo dell'impronta idrica attraverso il Tool fa riferimento a dati medi meteorologici nazionali degli anni dal 1996 al 2005 ed a una distribuzione media della coltura che si sta indagando, pertanto non risulta possibile verificare l'interferenza del cambiamento climatico e della reale distribuzione delle culture in anni differenti. Come emerge dalle figure sotto riportate, il Tool fornisce un dato medio per aree molto vaste che restituiscono comunque non un valore ma un range dell'impronta idrica associata al territorio con una limitata possibilità di dettagliare l'analisi.



Figura 4.1: Impronta idrica verde del mais in Italia. *Water Footprint Assessment Tool* (<http://www.waterfootprint.org/>, ultimo accesso 16/04/2013)



Figura 4.2: Impronta idrica blu del mais in Italia. *Water Footprint Assessment Tool* (<http://www.waterfootprint.org/>, ultimo accesso 16/04/2013)



Figura 4.3: Impronta idrica grigia del mais in Italia. *Water Footprint Assessment Tool* (<http://www.waterfootprint.org/>, ultimo accesso 16/04/2013)

Per questo, con il caso di studio oggetto della presente tesi, si vuole portare un contributo significativo agli studi riguardanti l'impronta idrica, utilizzando dati climatici e dati di superficie, produzione e resa delle colture reperiti da fonti locali italiane (come l'ISTAT) e venete (come Veneto Agricoltura). Nonostante ciò si ricorda che non ci sono ancora linee guida univoche, valide a livello internazionale, che dettino le regole per eseguire uno studio di Water Footprint. Di conseguenza soffre di soggettività nella scelta dei dati da utilizzare. Infatti, all'inizio dello studio è importante precisare le assunzioni fatte, in modo da interpretare correttamente i risultati ottenuti.

4.1. I CONFINI SPAZIO-TEMPORALI DELLO STUDIO

L'impronta idrica è stata calcolata per le coltivazioni effettuate all'interno dei confini amministrativi regionali del Veneto; più nel dettaglio si è voluto calcolarla per Provincia, dopo una attenta analisi della produzione agricola in ciascuna delle 7 province facenti parte della Regione in esame. Il tutto per gli anni 2001 e 2011, in modo da poter effettuare un confronto dei risultati a distanza di un arco temporale di 10 anni.



Figura 4.4: Regione Veneto: suddivisione provinciale. (Fonte: www.arpa.veneto.it)

La Regione Veneto è situata nel nord-est dell'Italia e confina a Nord con il Trentino Alto Adige, a Nord - Est con l'Austria e con il Friuli Venezia Giulia, a Est è bagnata dal Mare Adriatico, a Sud con l'Emilia Romagna e ad Ovest con la Lombardia.

Con un'estensione territoriale di 18.398,85 km² (secondo dati ISTAT al 9 ottobre 2011) è l'ottava regione d'Italia per superficie. Dalla tabella 4.1 si nota che le aree di pianura sono prevalenti e per questo viene classificata secondo la classe "pianura" (ISTAT, 2012), seguono le aree montane e infine quelle collinari.

| | Km² | % |
|----------|-----------------------|----------|
| Montagna | 5.359,05 | 29,1 |
| Collina | 2.663,9 | 14,5 |
| Pianura | 10.375,9 | 56,4 |
| Totale | 18.398,85 | 100 |

Tabella 4.1: Superficie territoriale per zona altimetrica della Regione Veneto. (Fonte: ISTAT, 2012)

4.2. CARATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI DEL VENETO

Dal punto di vista climatico la Regione Veneto è situata in una posizione in cui subisce varie influenze: l'azione mitigatrice dell'Adriatico, l'effetto orografico delle Alpi e la continentalità dell'area centro-europea. Per questi motivi il clima veneto presenta caratteristiche sia di mediterraneità che di continentalità. Per quanto riguarda la mediterraneità si è tenuti a precisare che il Veneto è sicuramente soggetto ad un certo influsso climatico del Mediterraneo, il che si traduce in caratteri di mitezza più spiccati nelle aree costiere, tuttavia mancano alcune delle sue caratteristiche peculiari, quali l'inverno mite (in montagna, ma anche nell'entroterra, prevalgono effetti continentali) e la siccità estiva (a causa dei frequenti temporali di tipo termo convettivo). Si distinguono invece le particolari caratteristiche termiche e pluviometriche della regione alpina con clima montano di tipo centro-europeo e il carattere continentale della Pianura Veneta, con inverni rigidi (Chiaudani, 2008) (ARPAV, 2011).

E' possibile visualizzare le mappe delle isoterme medie (figura 4.5) e delle isoiete medie (figura 4.6) della Regione Veneto, riferite al periodo 1985-2009.

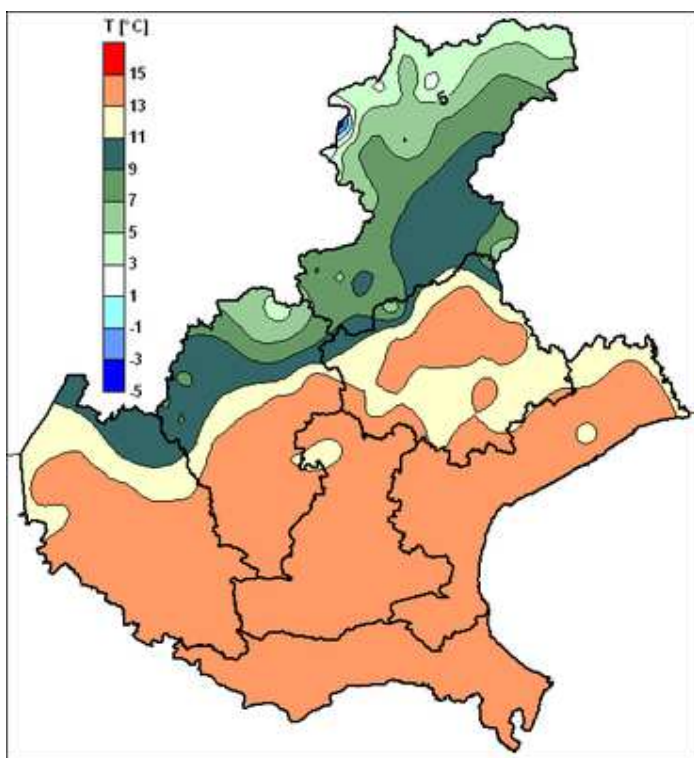


Figura 4.5: Mappa delle isoterme (temperature medie) della Regione Veneto calcolate sul periodo 1985-2009. (Fonte: <http://www.arpa.veneto.it/>)

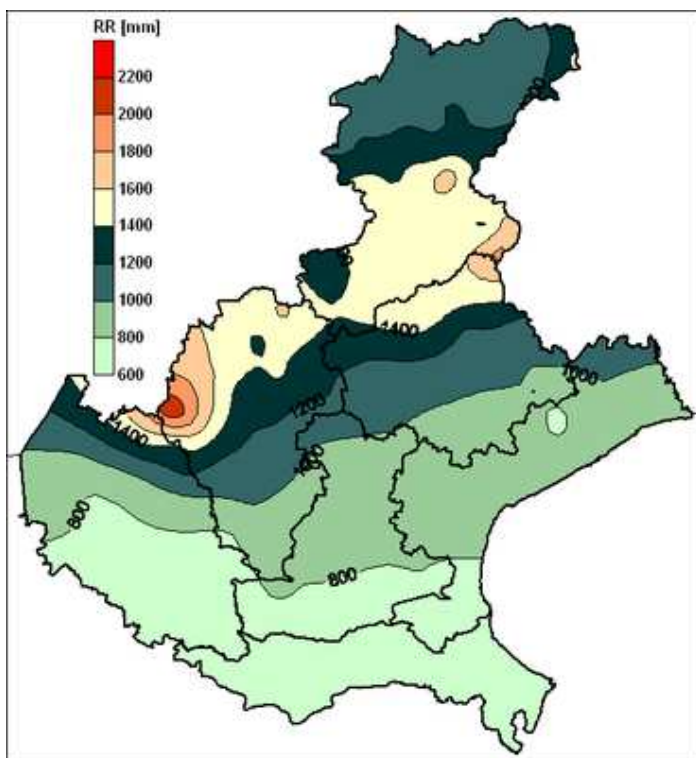


Figura 4.6: Mappa delle isoiete (precipitazioni annue medie) della Regione Veneto calcolate sul periodo 1985-2009. (Fonte: <http://www.arpa.veneto.it/>)

Per comprendere meglio da cosa è caratterizzato il clima veneto si distinguono due regioni climatiche: quella di tipo alpino, localizzata lungo la catena montuosa alpina e prealpina, e quella di pianura. (INEA, 2009) (ARPAV e Regione del Veneto, 2005).

Più nello specifico possiamo dire essere suddivisa in tre mesoclimi:

- Il **mesoclima alpino** interessa le aree montane più interne e settentrionali, ovvero la parte centro-settentrionale della provincia di Belluno (Dolomiti). Tale clima si caratterizza per precipitazioni relativamente elevate, ma generalmente inferiori ai 1600 mm annui, e distribuite abbastanza uniformemente nel corso dell'anno, con massimi stagionali spesso riferibili a tarda primavera, inizio estate ed autunno. Le temperature invece presentano valori con medie annue di circa 7-8°C e valori medi mensili che scendono sotto lo zero nei mesi invernali. Il lungo permanere di copertura nevosa, specie alle quote più elevate e nei versanti esposti a Nord, si traduce in un prolungamento della fase invernale ed in un conseguente ritardo nell'affermarsi di condizioni primaverili.
- Il **mesoclima prealpino** caratterizza l'area prealpina della regione e le parti più settentrionali della fascia pedemontana, a ridosso dei rilievi. L'elemento più caratteristico di tale mesoclima è dato dall'abbondanza delle precipitazioni che presentano valori medi intorno ai 1200 – 1500 mm annui, con massimi che possono raggiungere anche i 2000 mm.

Per quanto riguarda le temperature si registrano valori medi annui di 12°C circa, leggermente inferiori a quelli della pianura. L'inverno si caratterizza per la maggiore serenità del cielo e per la relativa scarsità di precipitazioni.

- Il **mesoclima della pianura** caratterizza l'area pianeggiante della regione, compresa tra la fascia litoranea e l'areale pedemontano, comprendendo anche i Colli Euganei e i Colli Berici. Prevale in quest'area un certo grado di continentalità con inverni relativamente rigidi ed estati calde. Le temperature medie annue sono comprese fra i 13°C delle zone più interne e i 14°C della fascia litoranea. In condizioni di tempo anticiclonico la massa d'aria che sovrasta la pianura veneta manifesta condizioni di elevata stabilità o di inversione termica al suolo che si traducono in fenomeni a stagionalità spiccata quali le foschie, le nebbie, le gelate, l'afa e l'accumulo di inquinanti in vicinanza del suolo. Le precipitazioni sono distribuite abbastanza uniformemente durante l'anno e con totali annui mediamente compresi tra 800 e 1000 mm; l'inverno è la stagione mediamente più secca mentre nelle stagioni intermedie prevalgono le perturbazioni atlantiche e mediterranee, con eventi pluviometrici a volte importanti; in estate i fenomeni temporaleschi risultano frequenti, non di rado associati a grandine e, più raramente, a trombe d'aria.

Nell'area della pianura viene compresa anche la fascia costiera, il Litorale Adriatico, caratterizzato dalla vicinanza del mare. L'azione mitigatrice delle acque è comunque limitata, sia perché si è in presenza di un mare interno, stretto e poco profondo, sia perché la dislocazione dell'areale marino lo pone in grado di mitigare solo le masse d'aria provenienti da settori sud-orientali o orientali. Da ciò discende che le temperature invernali, seppur mitigate, risultano comunque basse (ARPAV, 2011).

A livello di macroscale, il clima del Veneto è determinato dall'influenza di "regioni sorgenti" di masse d'aria con caratteristiche peculiari, come:

- Il Mediterraneo, fonte di masse d'aria umida e mite in tutte le stagioni, in grado di mitigare le masse d'aria più fredde provenienti dall'esterno del bacino e di umidificare quelle di provenienza continentale;
- l'Oceano Atlantico, fonte di masse d'aria umida e relativamente mite che tuttavia risulta solitamente più fredda rispetto a quella mediterranea; questo genera perturbazioni particolarmente frequenti nel periodo che va dall'autunno alla primavera;
- l'area continentale eurasiatica, sorgente di masse d'aria polare continentale (aria siberiana) provenienti dalla Russia settentrionale particolarmente fredde ed asciutte in inverno ed il cui ingresso in Italia attraverso la "porta di Trieste" dà luogo al fenomeno della Bora;

- la zona oltre il circolo Polare che in tutte le stagioni è fonte di masse d'aria fredda talvolta in grado di raggiungere l'area mediterranea aggirando le grandi catene montuose (Pirenei ed Alpi);
- la fascia intertropicale, fonte di masse d'aria torrida (aria subtropicale, marittima o continentale) e che tende a umidificarsi passando sul Mediterraneo (ARPAV, 2011).

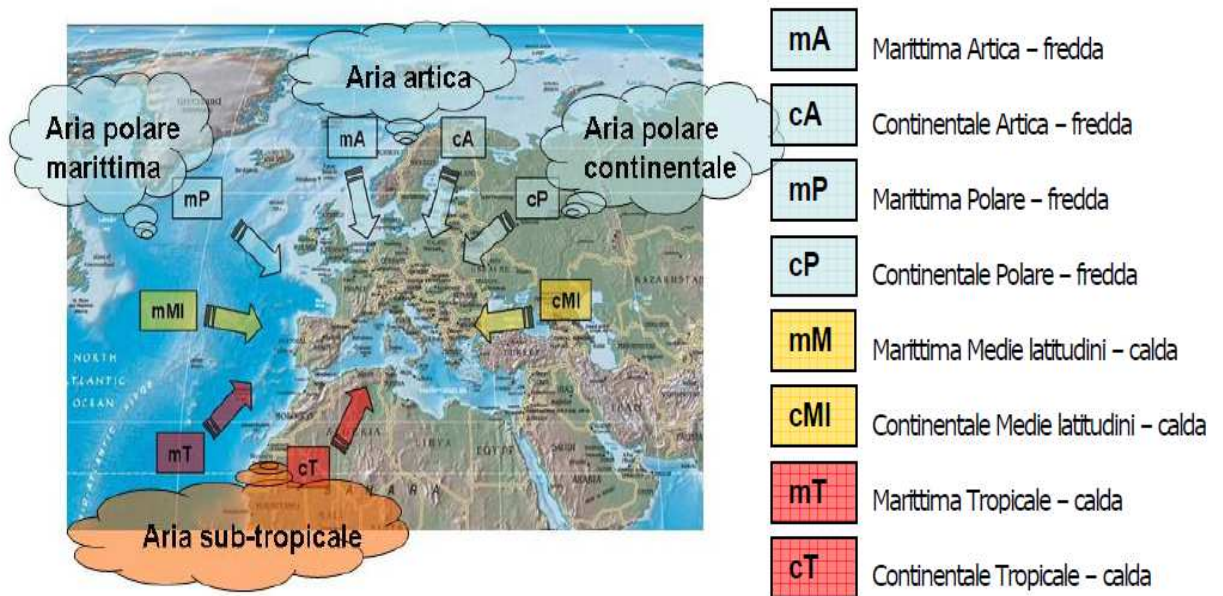


Figura 4.7: Le principali masse d'aria che interessano l'Europa e che influenzano il clima dell'Italia e del Veneto. (Fonte: ARPAV, 2011)

Inoltre, le suddette masse d'aria possono influenzare sensibilmente il clima del Veneto in virtù delle strutture circolatorie atmosferiche che ne determinano gli spostamenti; le più importanti sono:

- **gli anticicloni dinamici**, come ad esempio l'anticiclone delle Azzorre, il quale porta condizioni estive, ed i promontori anticiclonici africani, responsabili della maggior parte delle ondate di caldo che interessano l'area italiana;
- **gli anticicloni termici** ed in particolare l'anticiclone russo – siberiano, la cui espansione verso il Mediterraneo nel periodo invernale coincide con le grandi irruzioni di gelida aria polare continentale (monsone invernale europeo);
- **le saccature** atlantiche, depressioni a forma di V il cui transito è più frequente nei mesi autunnali, invernali e primaverili e che sono all'origine di precipitazioni anche abbondanti sulla regione;
- **le depressioni mobili del Mediterraneo**, in genere innescate dall'irruzione di masse d'aria fredda da aree esterne al bacino. Fra queste ricordiamo, per il contributo al quadro precipitativo della nostra regione, le depressioni del Golfo di Genova innescate

dall'interazione con la barriera alpina di saccature atlantiche in transito. La traiettoria delle depressioni di Genova le porta nella maggior parte dei casi a transitare sulla Valpadana con traiettoria verso Est-SudEst (ARPAV, 2011).

Dal punto di vista termometrico, il clima della Regione Veneto è di tipo temperato sub-continentale, secondo la classificazione di Mario Pinna del 1978; costui ha seguito lo schema generale della classificazione climatica globale più nota, ovvero quella di W. Koppen.

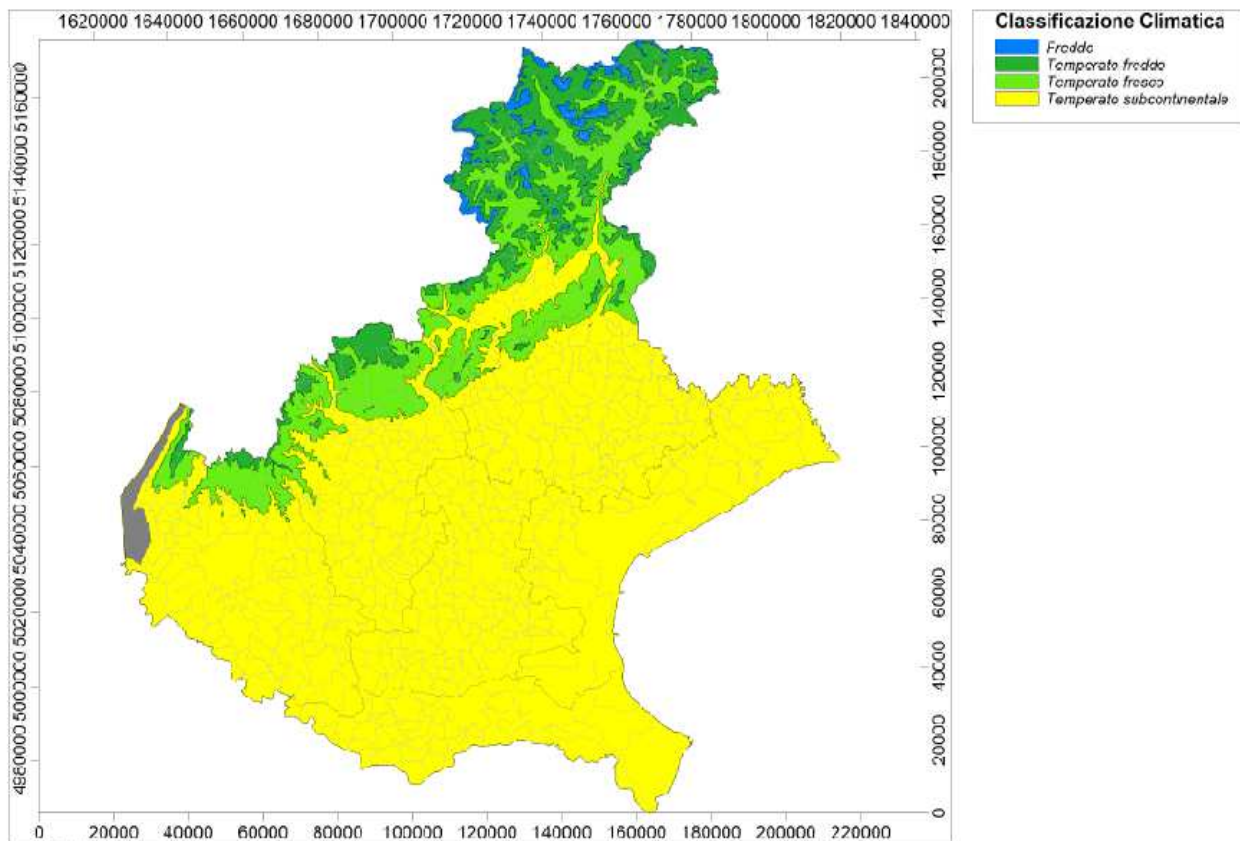


Figura 4.8: Carta dei climi in Veneto di Mario Pinna. (Fonte: ARPAV, 2011)

Dalla figura 4.8 si nota che il clima sub-continentale è prevalente. Il restante del territorio rientra in quello temperato fresco o freddo (nella maggior parte dell'areale alpino e prealpino) e quello freddo (nella ree alpine culminali) (ARPAV, 2011).

Tutte le condizioni meteorologiche descritte concorrono a determinare il clima della Regione Veneto. Secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale, il clima di un sito o territorio è il risultato dell'analisi statistica dei dati meteorologici (temperatura, piovosità, umidità dell'aria, ecc..) degli ultimi 30 anni.

Come già accennato al capitolo 1, il clima subisce variazioni; tali variazioni possono verificarsi nell'arco di alcuni decenni oppure in tempi cosiddetti geologici ovvero in decine di migliaia di anni.

Tuttavia, alle cause naturali del cambiamento si aggiungono quelle antropiche; il risultato è un cambiamento climatico accelerato che coinvolge tutte le parti del Globo, Veneto compreso. I risultati più evidenti emersi dagli studi finora effettuati vengono descritti nel paragrafo successivo.

4.2.1. I cambiamenti climatici in Veneto

Sulla base dei dati relativi a temperatura e precipitazioni della serie storica 1956-2004, l'andamento climatico in Veneto mostra variazioni significative. E' opportuno precisare che in realtà tale periodo sarebbe meglio suddividerlo in due parti per una analisi più attenta. E' emerso infatti che, mediante l'applicazione di metodi statistici che valutano la discontinuità nelle serie storiche, attorno all'anno 1989 c'è stato un brusco cambiamento di fase. I cambiamenti improvvisi (break-point) sono importanti nell'evoluzione del clima e stanno ad indicare che il sistema climatico è un sistema turbolento piuttosto che lineare. Queste improvvise variazioni hanno un impatto immediato sulle variabili meteorologiche monitorate a livello del suolo (irraggiamento, temperatura, regime pluviometrico, ecc.) (Chiaudani et al., 2008).

Ciò che è emerso dagli studi climatologici del Veneto, effettuati dal Centro Meteo dell'ARPAV, è che il periodo prima della fine degli anni '80 è stato caratterizzato da andamenti di temperatura e precipitazioni altalenanti, mentre dai primi anni '90 il trend è stato costante senza importanti fluttuazioni; in aumento per le temperature e in diminuzione per le precipitazioni.

L'analisi delle temperature, per il periodo 1956-2004, evidenzia trend lineari positivi altamente significativi, sia per le temperature massime che quelle minime.

La temperatura massima media annua ha subito un incremento di 4,6°C ogni 100 anni, ma grazie al calcolo della media mobile quinquennale e all'analisi di discontinuità si è potuto individuare il 1989 come l'anno in cui si sono verificati i bruschi cambi di tendenza che hanno portato le temperature massime ad aumentare da un valore medio di 16,4°C ad un valore medio pari a 17,9 °C per il periodo 1990-2004. Dal grafico in figura 4.9 si nota infatti che l'incremento dagli inizi degli anni '90, rispetto alla media del periodo 1956-2004, è stato dell'ordine da 1 a 2°C (fatta eccezione per il 2003 in cui l'aumento ha superato i 2°C).

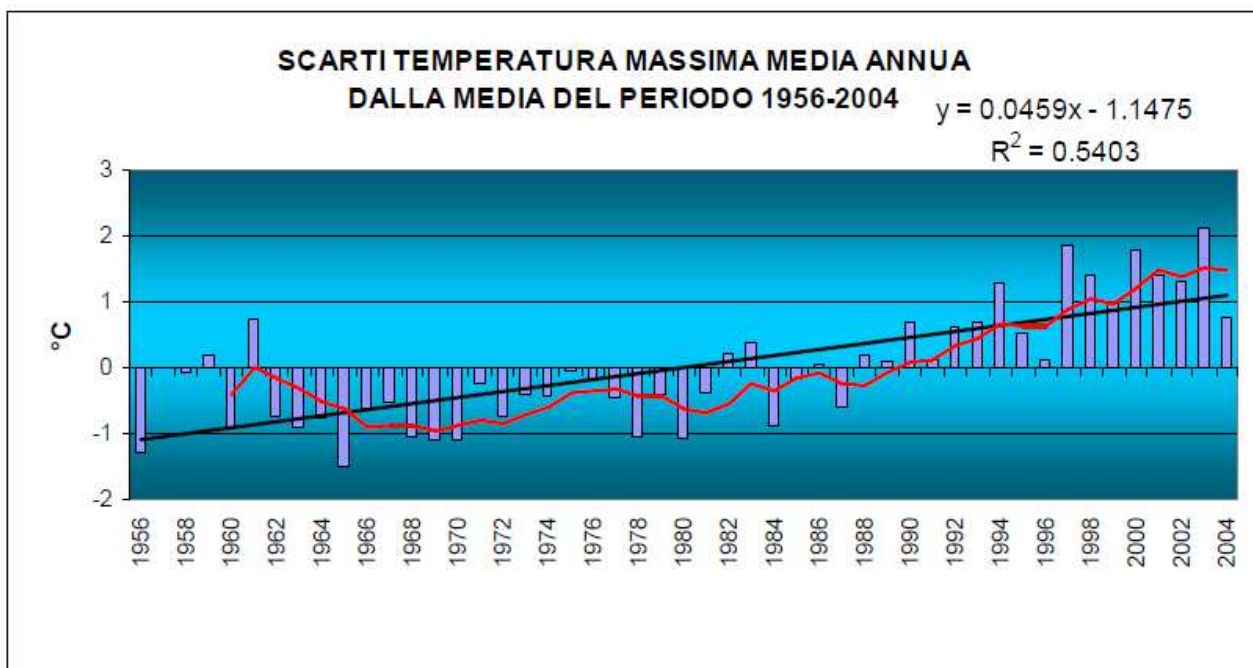


Figura 4.9: Incremento della temperatura massima media annua rispetto alla media del periodo 1956-2004. (Fonte: Chiaudani, 2008)

L'incremento si è verificato in tutte le stagioni ma è stato più marcato in estate con un aumento di 1,8°C.

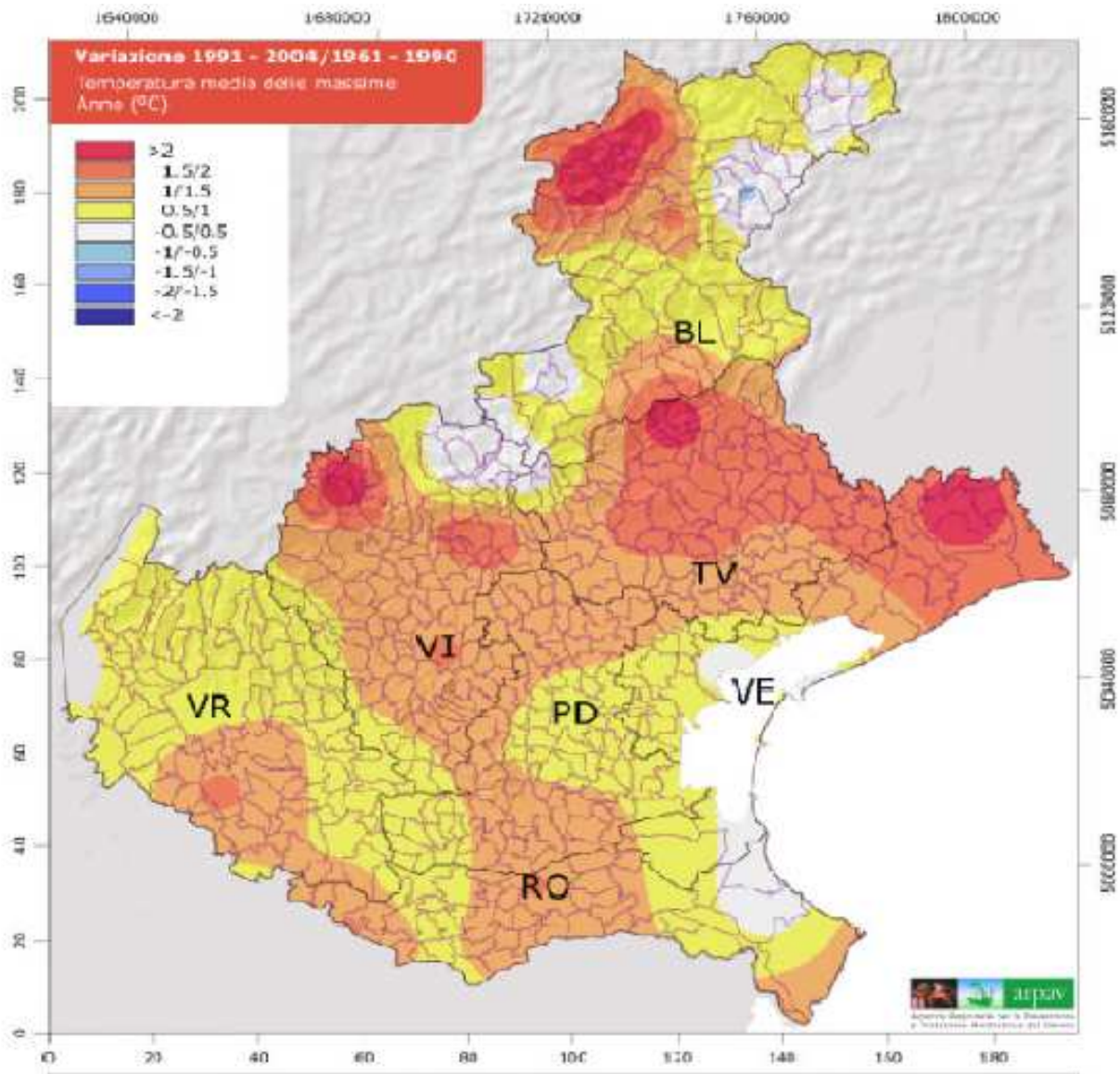


Figura 4.10: Variazione della temperatura media delle massime: variazione 1991-2004 cfr 1961-1990. (Fonte: Chiaudani, 2008)

Anche le **temperature minime** segnano un trend medio annuo in aumento ($2,6^{\circ}\text{C}$ ogni 100 anni) e specialmente da dopo il 1992, identificando così il 1991 come punto di discontinuità. Da questo momento in poi le temperature sono aumentate da un valore medio di $6,6^{\circ}\text{C}$ ad un valore medio pari a $7,5^{\circ}\text{C}$ per il periodo 1992-2004. La figura 4.11 evidenzia come dal 1992 gli scarti delle temperature minime medie annuali diventino tutti positivi con valori compresi tra 0 e 1°C , fatta eccezione per il 1994 ed il 2002 che presentano uno scarto dalla media del periodo superiore a 1°C .

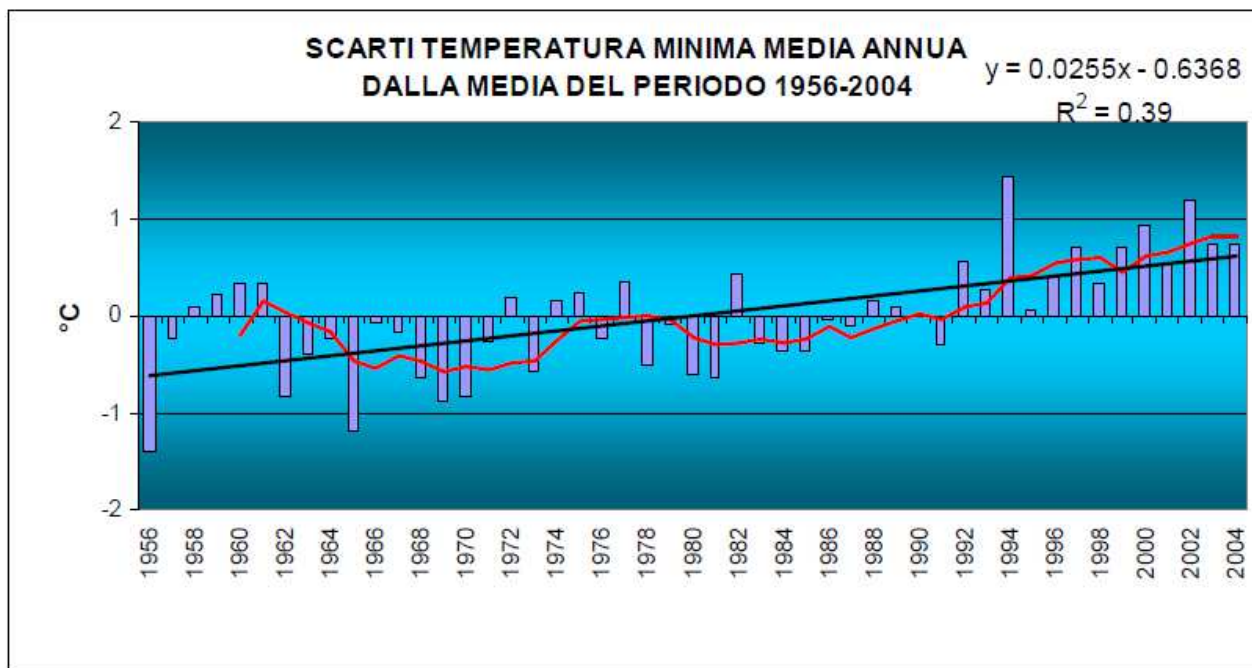


Figura 4.11: Scarti delle temperature minime medie annue rispetto alla media del periodo 1956-2004. (Fonte: Chiaudani, 2008)

L'andamento stagionale medio degli scarti, ottenuto dalla differenza delle temperature minime medie prima e dopo il breakpoint del 1991, individua gli scarti maggiori in estate e autunno (1.2 e 0.8°C), seguiti dalla primavera e dall'inverno (0.7 e 0.6°C).

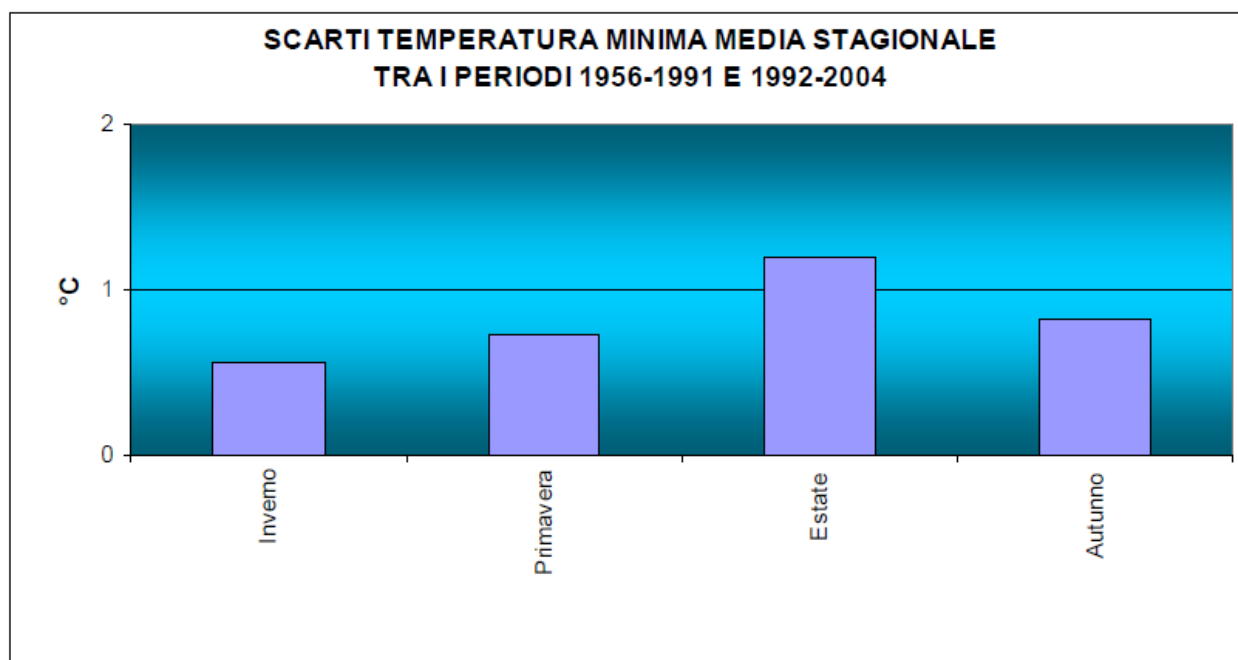


Figura 4.12: Scarti delle temperature minime medie stagionali dopo il 1991. (Fonte: Chiaudani, 2008)

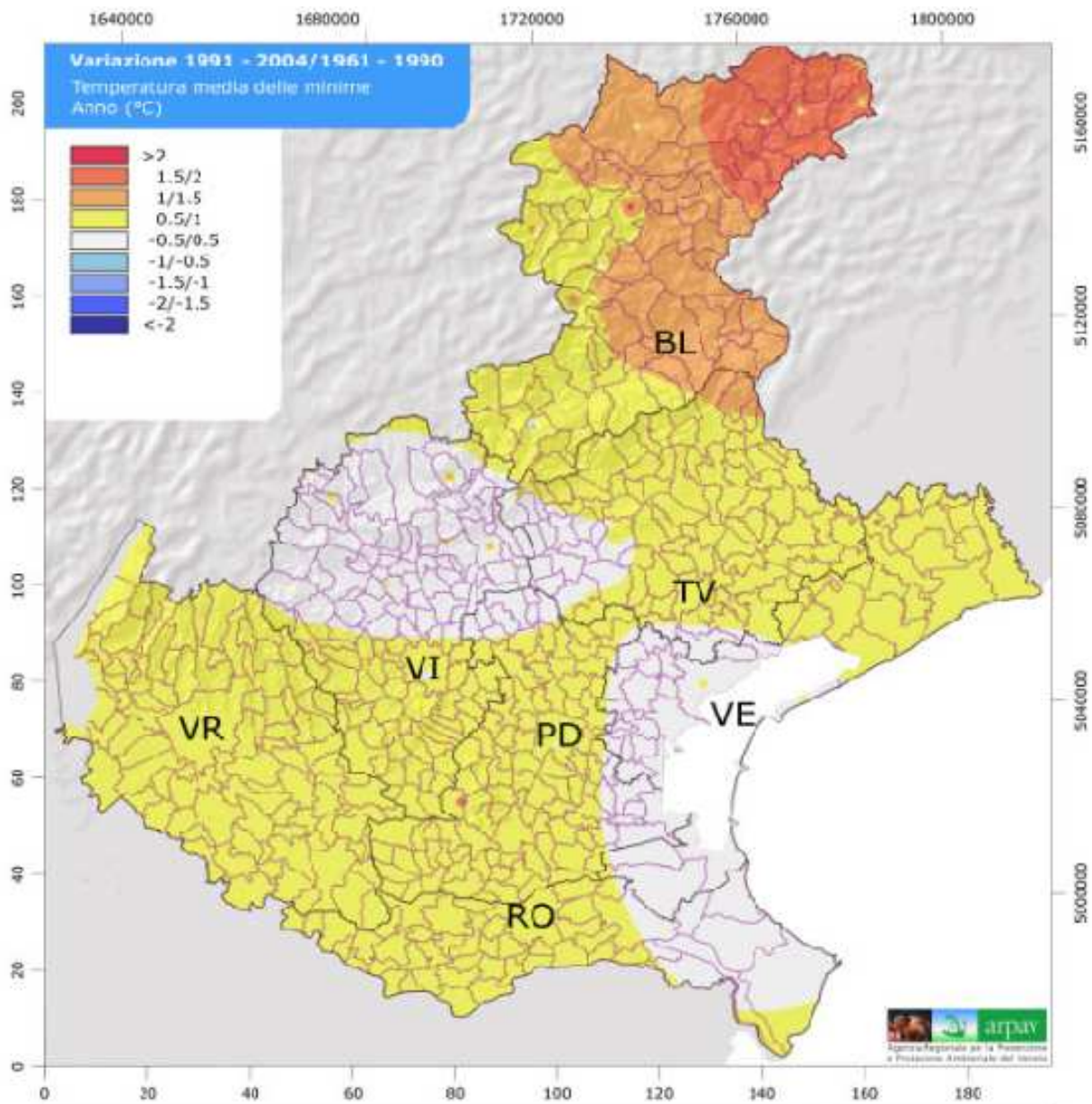


Figura 4.13: Variazione della temperatura media delle minime: variazione 1991-2004 cfr 1961-1990. (Fonte: ARPAV, 2011)

L'analisi delle **precipitazioni** in Veneto nel medesimo periodo (1956-2004) mostra, al contrario delle temperature, trend lineari decrescenti significativi, pari a -3.4 mm/anno, ovvero -340 mm/secolo. La media del periodo risulta pari a 1115 mm e la media mobile quinquennale (linea rossa) permette di individuare a occhio nudo un andamento altalenante di diminuzioni e aumenti del valore medio fino agli anni '80 circa, quando si instaurano anni con precipitazioni stabilmente sotto la media.

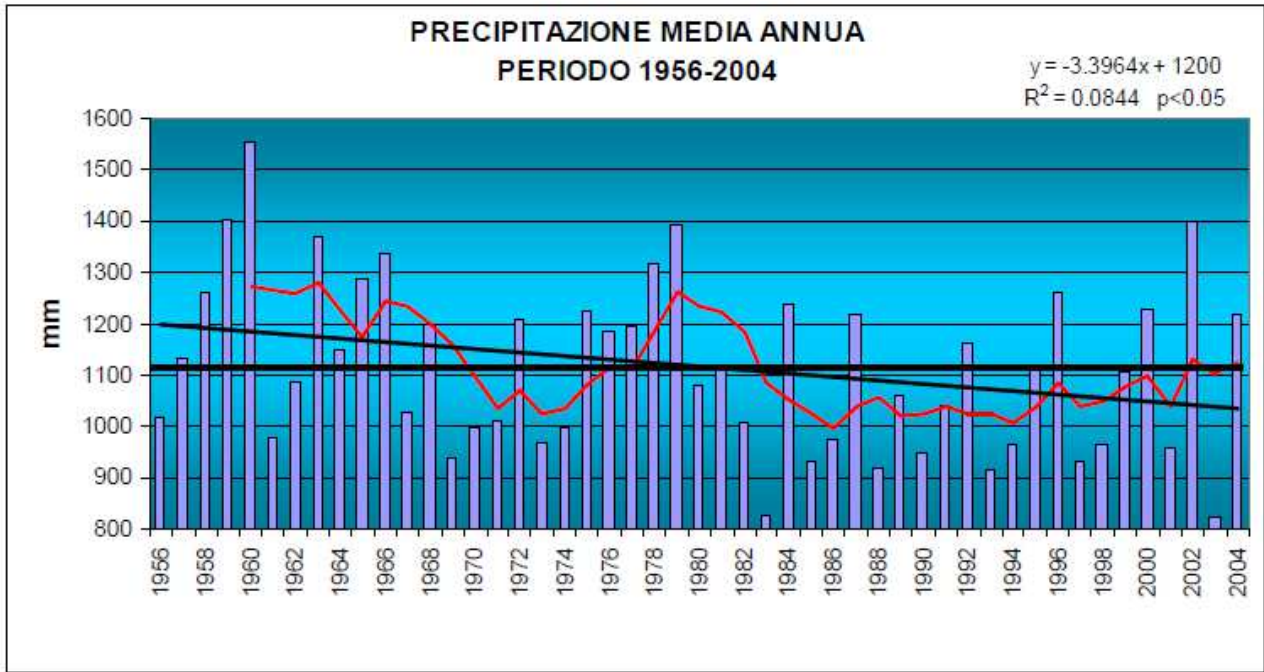


Figura 4.14: Precipitazione media annua del periodo 1956-2004. (Fonte: Chiaudani, 2008)

L'analisi di discontinuità ha permesso di individuare due bruschi cambiamenti di tendenza: il 1966 e il 1981, i quali hanno portato le precipitazioni medie a diminuire da valori di 1235 mm a valori di 1124 e 1052 mm, rispettivamente nei tre sottoperiodi 1956-1966, 1967-1981, 1982-2004. Quindi dal 1982 il valore è inferiore alla media del periodo che si ricorda essere 1115 mm.

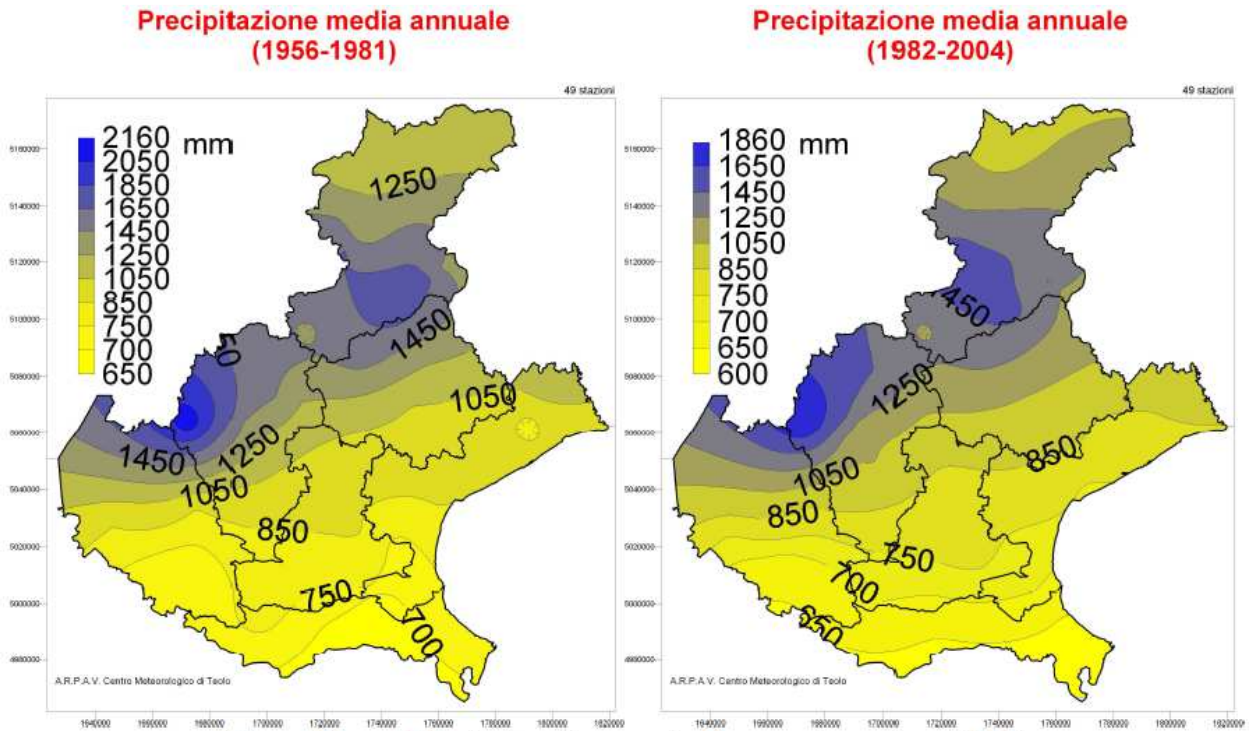


Figura 4.15: Precipitazioni medie annue in Veneto prima e dopo il 1981. (Fonte: Chiaudani, 2008)

Dalla figura 4.15 è facile notare come nel periodo 1982-2004, rispetto alla rappresentazione territoriale del periodo 1956-1981, le isolinee della zona pedemontana e di pianura si spostino verso nord, mentre in montagna le isolinee si riducano di ampiezza. Inoltre nel Polesine compare un nuovo valore minimo di precipitazione media pari a 600 mm, che prende il posto del valore minimo di precipitazione media annua del periodo 1956-2004 pari a 650mm.

L'andamento stagionale medio degli scarti per ciascuna stazione, ottenuto dalla differenza delle piovosità medie prima e dopo il break-point del 1981, individua gli scarti più negativi in inverno (circa -50mm) e meno negativi in autunno (circa -10mm). In estate e primavera tale scarto è compreso tra i -20 ed i -30 mm.

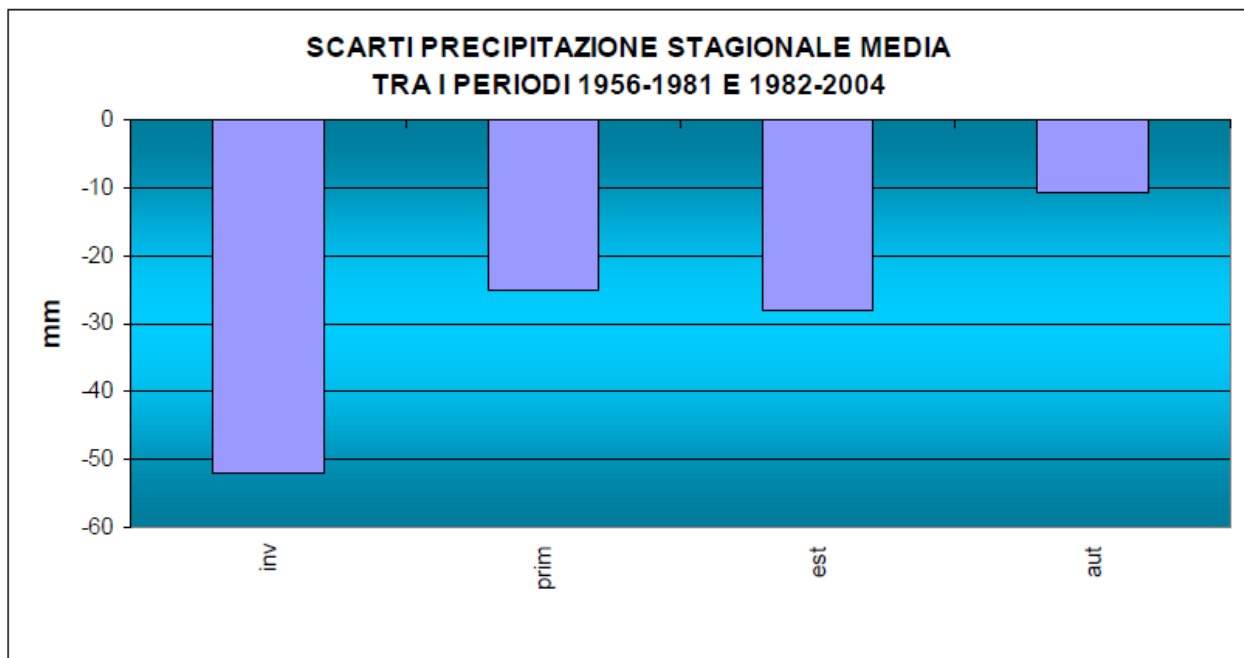


Figura 4.16: Scarti precipitazioni stagionali medie tra i periodi prima e dopo il 1981. (Fonte: Chiaudani, 2008)

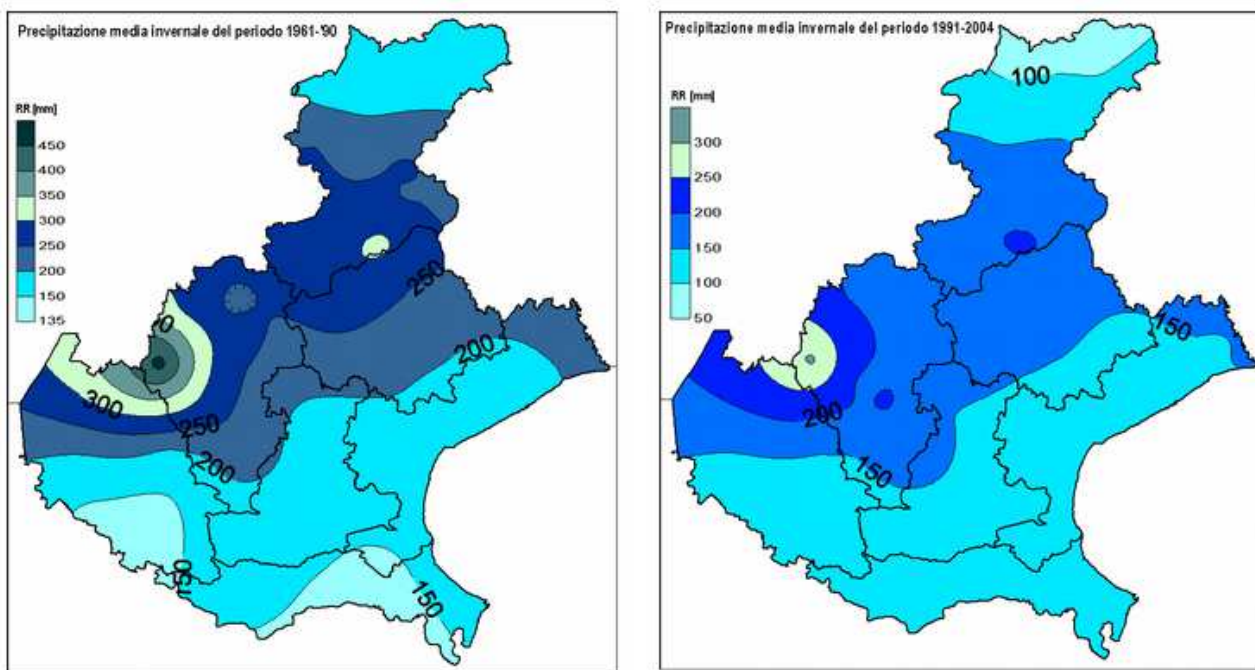


Figura 4.17: Precipitazioni medie invernali per i periodi 1961-'90 (immagine a sinistra) e 1991-2004 (immagine a destra). (Fonte: <http://www.arpa.veneto.it/>)

In sintesi, la fase climatica successiva alla discontinuità manifestata alla fine degli anni '80 mostra, rispetto alla fase precedente, le seguenti peculiarità:

- temperature minime annue più elevate di 0.9 °C
- temperature massime annue più elevate di 1.5 °C
- temperatura massima estiva superiore di 1.9 °C
- temperatura massima invernale superiore di 1.4 °C
- precipitazioni medie invernali inferiori di 78 mm. (Chiaudani, 2008)

Queste condizioni provocano effetti diretti importanti quali l'arretramento dei ghiaccia alpini, la riduzione della durata del manto nevoso e lo scarso innevamento, specie alle quote medie e basse.

Conoscere i cambiamenti climatici locali è fondamentale per mettere in atto strategie di adattamento. In particolar modo per il settore agricolo poiché, sia gli andamenti climatici di lungo periodo che quelli meteorologici di breve periodo influenzano l'attività agricola, la distribuzione territoriale delle colture ed i risultati produttivi stagionali. Il clima è quindi un vero e proprio "fattore di produzione" in grado di condizionare non solo le pratiche agricole "di campo", ma anche la pianificazione aziendale pluriennale (Chiaudani, 2008).

Ad esempio potrebbe essere necessario ottimizzare la gestione dell'acqua con politiche di lungo periodo e promuovere l'adozione di colture invernali (orzo, frumento invernale, frumento duro) che riducono al minimo il rischio delle alte temperature e della siccità o di colture estive tolleranti allo stress idrico (come sorgo e girasole) (Chiaudani A., Barbi A. et al., 2008).

In che modo e quali sono i fattori climatici che influenzano il comparto agricolo vengono descritti nel dettaglio ai paragrafi successivi.

4.3. CLIMA E AGRICOLTURA

Come già accennato, la crescita e lo sviluppo delle piante dipendono dalla presenza di luce solare, acqua e condizioni termiche adeguate.

Esiste una disciplina specifica che studia i rapporti tra condizioni climatiche e colture: è l'agrometeorologia.

Nell'art. 1 dello Statuto dell'Associazione Italiana di Agrometeorologia (AIAM) è definita tale disciplina come “la scienza che studia le interazioni dei fattori meteorologici ed idrologici con l'ecosistema agricolo-forestale e con l'agricoltura intesa nel suo senso più ampio, comprendendo cioè la zootecnia e la selvicoltura” (<http://www.agrometeorologia.it/joomla/it/statuto.html>). Tale disciplina è oggi molto importante in quanto, nonostante i notevoli progressi tecnologici degli ultimi decenni, l'agricoltura resta il settore economico maggiormente influenzato dagli eventi meteorologici.

L'agrometeorologia viene applicata in due tipi di interventi diversi:

- nelle applicazioni di “*lungo periodo*” le quali si basano sulla disponibilità di serie storiche di dati meteorologici, dalla cui elaborazione, combinata con l'applicazione di modelli di simulazione, si possono trarre indicazioni utili sulla correlazione fra il clima di un territorio e gli “obiettivi agricoli”, quali: la protezione delle colture da avversità atmosferiche, la programmazione di investimenti strutturali, la difesa da inquinanti, la protezione del suolo, la valutazione del rischio climatico, ecc.. (ARPAV, 2005).

Le analisi delle serie storiche costituiscono l'ambito dell'**agroclimatologia**, disciplina che si occupa di studiare il clima di un territorio in funzione di finalità agricole.

Le indagini agroclimatiche, hanno lo scopo di valutare la vocazione alle diverse produzioni agricole definendo in termini quantitativi sia le risorse climatiche sia le limitazioni imposte dal clima alle diverse specie e varietà coltivate (ARPAV, 2011).

Secondo studi eseguiti dall'ARPAV e riportati nell'Atlante agro climatico del Veneto (2011), le **risorse climatiche** rilevanti per l'area veneta sono in particolare:

- ➔ la radiazione solare e, nello specifico, quella frazione di energia solare (radiazione fotosinteticamente attiva o PAR) utile per il processo di fotosintesi e che è alla base della produzione degli zuccheri e delle altre sostanze organiche elaborate dai vegetali;
- ➔ le risorse termiche espresse in forma di gradi giorno o di altri opportuni indici quali le ore normali di caldo;
- ➔ le risorse idriche descritte, non solo in termini di precipitazione, ma anche in termini di riserva idrica presente nel terreno.

Fra gli **elementi climatici limitanti** per l'area veneta si possono ricordare:

- ➔ temperature invernali e primaverili inferiori ai valori critici che danno luogo a morte della coltura;
 - ➔ temperature estive superiori ai limiti massimi per la produzione (cardinali massimi)
 - ➔ limitazioni idriche (siccità, eccesso idrico nei suoli)
 - ➔ vento forte
 - ➔ bagnatura persistente degli organi fogliari
 - ➔ grandine
- nelle applicazioni di **“breve termine”** le quali si basano sull'utilizzo di dati acquisiti in tempo reale e su previsioni di breve e medio termine. Attraverso l'impiego di modelli previsionali e di simulazione, utili per la gestione di una grande quantità di dati, si forniscono, con un certo anticipo, informazioni inerenti alle pratiche agronomiche da adottare e ai tempi e modi per la loro corretta applicazione. Più in dettaglio, l'apporto dell'Agrometeorologia diventa fonte insostituibile di informazioni nella lotta anticrittogamica, nella difesa dai parassiti animali, nella pratica del diserbo e dell'irrigazione, nella difesa da eventi atmosferici avversi (gelate, grandine), nella lavorazione dei terreni, nelle operazioni di raccolta, nella previsione delle rese produttive.

In Veneto, il servizio di agrometeorologia viene svolto dall'Unità Operativa di Agrometeorologia all'interno del Centro Meteorologico dell'ARPAV a Teolo (PD). L'Unità Operativa, che elabora i dati e le informazioni agrometeorologiche raccolti dalle oltre 200 stazioni di telemisura, da radar, da satellite e dai tecnici di campagna, formula, sulla base delle condizioni meteorologiche e dei modelli matematici, indicazioni a valenza agrometeorologica di supporto al settore primario. Tra le attività di pertinenza dell'Unità Operativa di Agro-biometeorologia, che

rivestono maggiore interesse per la loro ricaduta positiva sull'ambiente, sulla salute umana e sul contenimento dei costi aziendali di produzione, si ricordano le seguenti: studi climatologici e analisi/previsione di eventi meteorologici avversi (gelate, grandinate, ecc.), analisi e previsione del probabile sviluppo delle principali fitopatie, stima e previsione delle rese produttive, informazioni di supporto agrometeorologico alle decisioni aziendali riguardanti le principali pratiche agronomiche (irrigazione, concimazioni, trattamenti, diserbi, lavorazioni, ecc.). (ARPAV, 2005).

4.3.1 I fattori climatici importanti per l'agricoltura

Gli elementi del clima che hanno maggiore influenza nella crescita delle colture sono la temperatura, l'umidità, le precipitazioni, la radiazione solare e la velocità del vento. Di seguito si vede come ciascun fattore influenza l'agricoltura.

La temperatura è uno dei parametri più importanti nel determinare le condizioni climatiche di un territorio e, quindi, la distribuzione delle specie coltivabili, la durata dei cicli produttivi, i calendari delle operazioni agronomiche. Dal punto di vista fisiologico, la temperatura regola la velocità di trasferimento dell'energia e quella delle reazioni biochimiche, la quale può raddoppiare o triplicare per un incremento termico di 10°C. Per ogni specie sono individuabili i seguenti livelli termici biologici (o più precisamente chiamati cardinali termici):

- a) temperatura minima letale, alla quale la pianta subisce danni irreversibili fino alla morte;
- b) temperatura minima biologica, o zero di vegetazione, alla quale la pianta interrompe la sua attività biologica senza tuttavia subire danni irreversibili;
- c) temperatura ottimale, alla quale avviene il miglior espletamento delle funzioni vitali;
- d) temperatura massima letale, al di sopra della quale si verificano danni irreversibili sulla pianta fino alla morte.

In tabella 4.2 sono riportati i cardinali termici di crescita di alcune colture erbacee in Italia.

| Coltura | Temperature cardinali (°C) | | | Periodo | di |
|--------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|----------|------------------------|
| | Zero di Vegetazione | Ottimo termico | Temperatura letale | Inizio | Durata (in mesi) |
| Frumento | 0,5 | 17,5 | 32 | ottobre | 9 |
| Segale | 0,5 | 16 | 30 | ottobre | 9 |
| Barbabietola | 2 | 20 | 35 | marzo | 6 |
| Patata | 0,5 | 19 | 28,5 | marzo | 6 |
| Sorgo | 10 | 27 | 35,5 | aprile | 6 |
| Soia | 5 | 24,5 | 35 | aprile | 6 |
| Riso | 11 | 30 | 40 | aprile | 6 |
| Mais | 8,5 | 27 | 38 | aprile | 6 |
| Erba medica | 10 | 24 | 35 | febbraio | 9 |

Tabella 4.2: Cardinali termici di alcune colture erbacee in Italia. (Fonte: Borin, 1999)

Un altro fattore che influenza l'agricoltura è l'umidità. La quantità di acqua presente nell'atmosfera sotto forma di vapore determina il grado di umidità dell'aria. Un indice importante che descrive le condizioni effettive dell'umidità dell'aria è il deficit di saturazione (VPD), il quale costituisce la forza motrice del processo evaporativo, controllando quindi i processi di traspirazione e crescita delle piante.

Le precipitazioni sono la fonte più importante di approvvigionamento idrico per gli agro-ecosistemi (Borin, 1999). L'agricoltura è fortemente condizionata dalla pioggia e, in subordine, dalle altre precipitazioni. Per quanto concerne la pioggia non è importante solo la quantità totale, ma anche l'intensità, la frequenza e la sua distribuzione durante l'anno; l'ideale è rappresentato da numerose piogge di scarsa intensità distribuite uniformemente nell'arco dell'anno perché in questo modo il terreno conserva costantemente il giusto grado di umidità.

Un concetto agronomico molto importante è quello di **pioggia utile** ovvero la parte di precipitazioni che può essere trattenuta dal terreno nello strato interessato dalle radici delle piante coltivate dopo le perdite subite a causa del run-off superficiale e la percolazione in profondità (Allan et al., 1998).

Essa dipende dalle caratteristiche delle precipitazioni (quantità, intensità e frequenza), da parametri meteorologici (temperatura, radiazione solare, velocità del vento, umidità relativa) e dalle caratteristiche orografiche (pendenza) ed idrologiche (permeabilità) del suolo (Dastane, 1978).

Un altro fattore climatico fondamentale, non solo per le colture ma per tutte le piante, è la **radiazione solare**, ovvero l'emissione, da parte del sole, di energia sotto forma di radiazione elettromagnetica (Borin, 1999).

Nei confronti delle piante, la radiazione solare ha due effetti:

1. induzione della fotosintesi clorofilliana con conseguente produzione di sostanza organica;
2. fotoperiodismo.

Quest'ultimo è il fenomeno che consiste nell'adeguamento di processi fisiologici (ad esempio la fioritura) alla disponibilità giornaliera di ore di luce.

Il numero delle ore che intercorrono fra l'alba ed il tramonto varia, nei diversi luoghi, in funzione del periodo dell'anno e della latitudine.

Il fotoperiodismo nelle piante determina, in particolare, l'epoca della fioritura, infatti se queste non sono sottoposte ad una precisa serie di ore di luce e di buio, non fioriscono; possiamo distinguere a tal fine:

- piante a giorno lungo o longidiurne, che fioriscono quando il periodo di illuminazione supera le 14 ore giornaliere (avena, erba medica, fava, frumento, lino, orzo, segale, patata, pisello, pomodoro, segale);
- piante a giorno breve o brevidiurne, che fioriscono quando il periodo di illuminazione non supera le 12 ore giornaliere (arachide, canapa, cotone, mais, riso, tabacco);
- piante indifferenti o neutrodiurne, che fioriscono indipendentemente dalla durata del periodo di illuminazione.

In generale sono brevidiurne le piante che si sono evolute fino a 30° di latitudine, longidiurne quelle delle latitudini più elevate.

Per ultimo, ma non per questo meno importante, si cita **il vento**. A scala territoriale, gli effetti del vento possono giungere a modificare anche sensibilmente il clima di una regione e, di conseguenza, i criteri di conduzione dell'attività agricola. Più in dettaglio, il vento sulle piante favorisce gli scambi gassosi, i flussi di materia e trasporta sostanze, pollini, agenti patogeni, semi; inoltre le correnti di vento sono spesso considerate nei modelli di previsione della diffusione delle malattie (Borin, 1999). Un altro aspetto da tenere in considerazione riguardo agli effetti che esso provoca è la velocità stessa del vento; infatti se essa è eccessiva si possono verificare effetti negativi, come lo

scalzamento delle giovani piantine, l'allettamento, la difficoltà di impollinazione, la rottura dei rami, il danneggiamento o la caduta dei frutti. Al contrario, venti deboli esplicano effetti benefici legati al rimescolamento dell'atmosfera che agisce da stimolo per fotosintesi e traspirazione; venti caldi e secchi possono accelerare i processi di maturazione e di essiccamento della vegetazione (Borin, 1999).

Tutti i fattori climatici qui elencati sono fondamentali ai fini del calcolo della Crop Water Requirement mediante CROPWAT.

CAPITOLO 5 – WATER FOOTPRINT DEL COMPARTO AGRICOLO DELLA REGIONE VENETO

Come anticipato, la metodologia di calcolo dell'impronta idrica utilizzata nel presente lavoro fa riferimento a quella di Hoekstra et al. (2011, Water Footprint Assessment Manual) riportata al capitolo 3 precedente. Essa verrà applicata per i processi di crescita delle colture nella Regione Veneto al fine di confrontare differenze tra gli anni 2001 e 2011.

Allo stato attuale delle conoscenze, il presente studio di WF per il comparto agricolo è il primo ad essere effettuato per la Regione Veneto ma anche il primo a livello italiano. Gli studi precedenti hanno riguardato piuttosto singole colture dal momento in cui l'obiettivo era quello di calcolare l'impronta idrica per i prodotti derivati come pasta, pizza, vino, passata di pomodoro (Aldaya, Hoekstra, 2010; Antonelli, Greco, 2013; WWF, 2011). Di conseguenza il risultato che si ottiene con il seguente caso di studio non potrà avere ancora termini di confronto con casistiche simili italiane se non quelle del tutto generali ottenute da Hoekstra negli studi delle colture italiane (Mekonnen, Hoekstra, 2010). Inoltre potrà essere utilizzato per confrontare ad esempio il WF delle stesse colture cresciute in aree geografiche con differenti caratteristiche climatiche.

Essendo la metodologia tuttora priva di una norma a livello internazionale, che imponga una elevata standardizzazione degli studi, ed essendo stata definita sola a livello di linea guida, il valore di Water Footprint ha senso se valutato in relazione alle assunzioni adottate inizialmente, riguardanti le fonti dei dati utilizzati e ciò che è stato incluso ed escluso dal calcolo. Più le fonti dei dati indagano le condizioni locali, più il valore di WF è attendibile e veritiero. Risultano importanti anche le considerazioni che vengono fatte per quanto riguarda il calcolo dell'impronta idrica grigia, il cui risultato è strettamente dipendente dalla normativa sulle acque a cui si fa riferimento. Ad ogni modo tutte le assunzioni di cui si è tenuto conto in questo studio sono coerenti con quanto fatto in studi analoghi pubblicati precedentemente. Di conseguenza risulta rappresentativa ai fini della metodologia Water Footprint.

Si ribadisce che il presente studio prevede l'inclusione di due delle quattro fasi consigliate da Hoekstra et al. (2011) ossia:

- definizione degli obiettivi e campo di applicazione
- analisi dell'inventario dei dati e calcolo di WF.

Si sottolinea che la maggior parte della letteratura pubblicata in merito all'impronta idrica per i prodotti agricoli tiene conto solamente delle prime due fasi (Mekonnen and Hoekstra, 2010; Hoekstra, Chapagain et al., 2011; Chapagain and Hoekstra, 2007), come fatto in questo studio. La valutazione della sostenibilità dell'impronta idrica (Water Footprint sustainability assessment) di un

processo, come quello di crescita di una coltura, viene valutata in relazione alla disponibilità d'acqua del bacino idrografico in cui opera; nella Regione Veneto però, non tutti i bacini idrografici sono per intero inclusi all'interno dei confini politici regionali, entro i quali invece si vuole calcolare la WF. Ad ogni modo non sarebbero disponibili i dati di estensione e produzione delle colture per bacino idrografico, oltre al fatto che, come scritto in Hoekstra et al. (2011), è molto difficile da stimare la disponibilità di acqua di pioggia in un bacino idrografico. Per questi motivi la valutazione di sostenibilità va oltre gli obiettivi dello studio. A riguardo della quarta fase di uno studio di WF (cfr. capitolo 3), ossia la formulazione di risposte (Water Footprint response formulation), essa è indirizzata sia a tecnici del settore sia a decisori politici, al fine di mettere in atto dei miglioramenti nei processi produttivi e nelle politiche idriche di governo. In ogni caso nell'ambito della valutazione dei risultati, presentati al capitolo 5, verranno fatte alcune considerazioni in ambito di gestione della risorsa idrica rispetto al comparto agroalimentare.

5.1 CONFINI DELLO STUDIO E OBIETTIVI SPECIFICI

Il calcolo di WF riguarda le colture presenti nella Regione Veneto negli anni 2001 e 2011. Nello specifico, l'analisi viene effettuata inizialmente per ciascuna singola provincia, ovvero Venezia, Verona, Vicenza, Treviso, Padova, Rovigo e Belluno, appartenente alla regione sopra citata, per poi aggregare i dati in un indice di impronta idrica regionale.

Al fine di ottenere i valori riguardanti le caratteristiche specifiche delle colture, altrimenti difficilmente reperibili, si è optato per considerare l'85% della produzione totale provinciale, poiché esse sono le colture più rappresentative per le quali inoltre sono reperibili dati specifici, quali valori di k_c , durata delle fasi di crescita, profondità radici, ecc, disponibili nei database FAO (Allen et al., 1998; FAO, 2007). Nonostante ciò l'85% è risultata una percentuale che prende in considerazione le principali colture ovvero le più praticate in ciascuna provincia. Il restante 25 % è infatti rappresentato da colture che hanno carattere locale e generalmente non presenti tutti gli anni quindi meno significative ai sensi della Water Footprint.

Gli anni 2001 e 2011 sono stati scelti in modo da far trascorrere tra i due periodi analizzati almeno un decennio, al fine di valutare se vi siano differenze nei risultati ottenuti di WF delle produzioni agricole; differenze che sono indirettamente dovute a variazioni climatiche, variazioni nelle tipologie di colture praticate e variazioni delle rese.

Nello studio vengono incluse tutte e tre le componenti dell'impronta idrica (blu, verde e grigia), le prime due calcolate a partire da dati climatici e delle rese colturali reperiti nel contesto locale,

mentre per l'impronta idrica grigia si fa riferimento a valori medi italiani dei tassi di applicazione dei nitrati contenuti in database FAO.

Gli obiettivi specifici che ci si è posti per il presente lavoro di tesi sono i seguenti:

- 1- valutazione preliminare e confronto tra i volumi di irrigazione richiesti dalle colture ottenuti mediante il CROPWAT e le sue differenti opzioni utilizzabili (CWR o IS) rispetto ai dati reali di consumo idrico in ambito agricolo al fine sia di valutare la congruenza dei calcoli sviluppati con il software CROPWAT sia di orientare la scelta verso una opzione di calcolo CWR o IS;
- 2- applicare e calcolare WF dei processi di crescita delle colture (mediante l'opzione di CROPWAT selezionata al punto precedente) e della produzione agricola in Veneto per gli anni 2001 e 2011 e loro confronto;
- 3- verificare come le diverse richieste idriche da parte delle colture modificano il valore di WF.

Tali obiettivi specifici legati allo sviluppo di un caso di studio di Water Footprint sono serviti a comprendere più affondo il metodo apprezzandone così i pregi ed i limiti applicativi, obiettivo primario del lavoro di tesi.

Si evidenzia che lo studio applicativo presenta il limite di non prendere in esame l'intero ciclo di vita del prodotto agricolo ovvero dalla "semina alla forchetta" in quanto considera i consumi idrici esclusivamente della fase di crescita ma non tiene in considerazione i processi a valle quali le fasi di raccolta, preparazione del prodotto agricolo e/o trasformazione che possono implicare in taluni casi un rilevante impiego di acqua.

Nonostante ciò, lo sviluppo del caso di studio ha una notevole valenza poiché i risultati permettono di portare a valutare la Water Footprint di differenti colture individuando le più sostenibili non solo in relazione ai consumi diretti ma anche in relazione all'impatto di queste di inquinamento provocato (fertilizzanti immessi nell'ambiente).

Tutti i dati necessari per raggiungere gli obiettivi prefissati sono elencati nel paragrafo successivo.

5.2 INVENTARIO DEI DATI

Ai fini del calcolo dell'impronta idrica sono risultati necessari i dati riguardanti:

- i fattori climatici;
- le colture praticate e le relative estensioni e produzioni;
- i fertilizzanti impiegati.

Per quanto riguarda i dati climatici sono stati reperiti per la maggior parte da ARPAV, valutando i dati di tutte le centraline del territorio regionale. I dati ricavati, per ciascuna delle 165 centraline per gli anni 1999, 2000, 2001, 2009, 2010 e 2011, sono stati i seguenti:

- temperatura media mensile (°C);
- umidità relativa media mensile (%);
- velocità del vento media mensile (m/s);
- precipitazioni mensili (somma, mm).

Per ciascun fattore climatico è stata eseguita un'attenta analisi statistica al fine di ottenere i valori medi mensili per i due anni di interesse, ovvero 2001 e 2011. I valori medi sono stati calcolati per provincia a partire dai dati registrati di tutte le centraline ARPAV; cosicché i dati climatici utilizzati per il 2001 in realtà derivano da una media degli anni 1999, 2000 e 2001, mentre per il 2011 derivano dalla media del triennio 2009, 2010 e 2011. Al fine di caratterizzare l'analisi dell'impronta idrica rispetto alle caratteristiche meteorologiche del periodo analizzato si è scelto di associare ad ognuno dei due anni presi in considerazione dallo studio (ovvero il 2001 e il 2011) un valore medio riferito anche ai due anni precedenti ad esso. Questo ha permesso di ottenere un dato mediato su tre anni che risulta comunque più rappresentativo del clima del periodo analizzato rispetto al dato del singolo anno.

Latitudini, longitudini e altitudini delle centraline di misura sono state anch'esse ricavate da ARPAV. Per ottenere un unico valore medio provinciale anche in questo caso si è calcolata una media a partire dai dati di ciascuna centralina.

Le ore di sole medie mensili sono invece state ricavate dal sito di previsioni meteorologiche www.ilmeteo.it.

I dati riguardanti le colture sono dati ISTAT derivanti dai censimenti in ambito agricolo, più nello specifico: superfici coltivate (ettari) e quantità prodotte (quintali) per gli anni 2001 e 2011, riguardanti tutte le colture appartenenti ai seguenti gruppi di coltivazioni: cereali, leguminose e

piante da tubero, ortaggi in piena aria, coltivazioni industriali, ortaggi in serra e coltivazioni foraggere (www.agri.istat.it).

Per quanto riguarda invece le caratteristiche intrinseche di ciascuna coltura sono stati utilizzati i valori presenti in Allen et al. (1998), FAO Irrigation and Drainage Paper, Report 56. Questi dati riguardano:

- data di piantagione;
- coefficiente colturale (K_c);
- durata delle fasi di crescita;
- profondità delle radici;
- critical depletion fraction (p);
- yeld response factor (K_y);
- altezza della coltura.

Come anticipato è risultato fondamentale che la coltura di interesse fosse presente tra quelle in elenco della FAO al fine di poter reperire i valori appena elencati in quanto essi sono di difficile reperimento o calcolo soprattutto nel caso in cui si stia valutando la WF a livello regionale.

Le rese sono invece state ricavate dai “Rapporti sulla congiuntura del settore agroalimentare veneto” di Veneto Agricoltura del 2001 e del 2011 (Veneto Agricoltura, 2012; Veneto Agricoltura, 2002).

Infine i tassi di applicazione dei nitrati si sono ricavati da Fertistat, database della FAO. I valori vengono forniti in ton/ha e sono valori medi italiani, aggiornati perlopiù all'anno 1999; per alcune colture sono disponibili fino all'anno 2000 (FAO, 2007).

Inoltre per valutare la congruenza dei dati elaborati dal modello CROPWAT con i dati statistici sito specifici di irrigazione si è cercato di reperire dati di consumo idrico distinti per tipologia di coltura. E' stato possibile reperire i dati riguardanti i volumi di irrigazione derivanti da una ricerca dell'ISTAT su base provinciale eseguita però solo per l'anno 2010. Pertanto tale valutazione di validità del modello è stata realizzata in modo specifico per la provincia di Venezia con i dati delle colture dell'anno 2010.

Si vuole sottolineare che i dati sono in buona parte riferiti al contesto locale e reperiti da fonti attendibili specifiche venete (ARPAV, Veneto Agricoltura, ISTAT per la Regione Veneto) e ciò è importante per ottenere una stima quanto più significativa.

E' ovvio che lo sviluppo dell'indicatore risulta tanto più accurato quanto i dati sono sito specifici e con un basso valore di incertezza.

Per quanto riguarda i dati specifici del suolo, che risultano comunque importanti per la valutazione della quantità di acqua disponibile per le piante (ovvero la Total Available Water TAW e la Readily Available Water RAW) e quindi dell'evapotraspirazione regolata ET_a (crf. Paragrafo 3.2.3) sviluppabile con la parte del modello Irrigation Schedule (IS), essi non sono risultati facilmente reperibili, e quando essi potevano essere derivati dalla conoscenza della permeabilità e tessitura del suolo tali informazioni nel territorio analizzato sono risultate talmente variabili e specifiche da rendere il calcolo dell'impronta idrica realizzabile con tale dettaglio solo per aree molto limitate, come verrà dettagliato al paragrafo successivo.

5.3. SCELTA DELL'OPZIONE CROP WATER REQUIREMENT (CWR) DI CROPWAT

Come riportato al capitolo 3, il software CROPWAT è un modello ampiamente utilizzato nel campo della gestione dell'acqua da parte dell'agricoltura in tutto il mondo in quanto facilita la stima dell'evapotraspirazione delle colture, consente di ottenere un programma di irrigazione e le esigenze idriche in agricoltura grazie anche al fatto che permette di utilizzare diversi modelli colturali per la pianificazione dell'irrigazione (Nazeer, 2009; Zhiming, 2007).

Attraverso l'inserimento dei dati riguardanti i parametri climatici e le caratteristiche della coltura, il programma, in modalità CWR, calcola ET_c ovvero le esigenze idriche della coltura in condizioni ottimali, dalla semina al raccolto (Allen et al., 1998; Aldaya et al., 2010; Hoekstra et al., 2011). Mediante la stima della pioggia efficace calcola il fabbisogno irriguo della coltura, ipotizzando un approvvigionamento idrico ottimale in modo che la resa colturale non venga meno (Thimme Gowda et al., 2013; Smith and Kivumbiet, 2002). Con l'aggiunta dei dati riguardanti la ritenzione idrica del suolo, le caratteristiche di infiltrazione e la profondità delle radici, si ottiene un bilancio idrico giornaliero del suolo che consente di predire il contenuto di acqua nella parte di terreno in cui si trovano le radici, mediante un'equazione che tiene conto dei flussi in entrata e in uscita di acqua (Smith and Kivumbiet, 2002). L'obiettivo principale per cui viene utilizzato il bilancio idrico del suolo (opzione Irrigation Schedule (IS)) è quello di definire strategie di pianificazione dell'irrigazione, utili visti gli eccessivi consumi di acqua da parte dell'agricoltura (Zhiming et al., 2007). E' importante precisare ad ogni modo che IS offre una stima dell'evapotraspirazione più accurata rispetto alla modalità CWR, in quanto, come si sa, il tipo di suolo è uno dei fattori

principali nella determinazione dei volumi di acqua di irrigazione. Anche Hoekstra et al. (2011), consiglia l'utilizzo di IS qualora sia possibile.

Nonostante ciò e quanto sopra riportato sulla difficoltà di reperimento e soprattutto di calcolo data la variabilità di questi dati sito-specifici del suolo, si è cercato di mettere a confronto le due opzioni (CWR e IS) per la barbabietola da zucchero, il mais e la vite in provincia di Venezia nell'anno 2010, al fine di indagare quale dei due metodi calcola i volumi di irrigazione che più si avvicinano ai reali rispetto ai dati ISTAT. Tale confronto ha permesso di orientare la scelta del metodo più indicato per lo sviluppo dello studio oggetto del presente lavoro.

È stato scelto il 2010, anno del 6° Censimento Generale dell'Agricoltura eseguito dall'ISTAT, in quanto risultavano disponibili i dati disaggregati per coltura relativi ai m³/anno di acqua elargita. Per quanto riguarda la tipologia di suolo (leggero, medio, pesante) adatto alla crescita di ciascuna coltura si è fatto riferimento a quanto indicato da Baldoni e Giardini (1982) e dal sito internet della FAO relativo al "Natural Resources and Environment Department" (<http://www.fao.org/nr/water/cropinfo.html>). I valori caratteristici di ciascuna tipologia di suolo sono già presenti di default all'interno del software CROPWAT.

In tabella 5.1 sono riportati gli ettari e i volumi di irrigazione per l'anno 2010.

| 2010 | Tipo di suolo | Ettari totali | Volume (m³/anno) |
|--------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| Barbabietola da zucchero | Medio | 4.410 | 2.213.894,57 |
| Mais | Medio | 46.000 | 22.093.737,71 |
| Vite | Leggero | 6.715 | 783.173,26 |

Tabella 5.1: Ettari e volumi di irrigazione in provincia di Venezia nell'anno 2010 (Fonte: ISTAT, 6° Censimento Generale dell'Agricoltura. Dati disponibili in <http://www.istat.it/it/censimento-agricoltura/agricoltura-2010>)

Le due opzioni (CWR e IS) hanno mostrato valori di evapotraspirazione praticamente uguali e quindi anche i valori finali di WF, come si nota in tabella 5.2, dove si ricorda che ET_c è calcolata mediante CWR ed ET_a mediante IS. Nell'opzione IS si è considerata un'irrigazione ottimale, come scritto al paragrafo 3.2.4.

| | ET_c (mm) | ET_a (mm) | WF_{tot} m³/ha (CWR) | WF_{tot} m³/ha (IS) |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--|---|
| Barbabetola da zucchero | 442,1 | 441,5 | 82,8 | 82,7 |
| Mais | 473,8 | 472,8 | 636,6 | 635,6 |
| Vite | 274,4 | 274,2 | 217,1 | 217 |

Tabella 5.2: confronto dei valori di ET_c, ET_a e WF calcolati con le opzioni CWR e IS.

Andando però ad analizzare le singole componenti dell'impronta idrica (ivi non riportate in dettaglio), le due opzioni sono discordanti poiché utilizzando IS, i valori di evapotraspirazione blu sono risultati essere, per tutte e tre le colture, pari a zero. Ciò vuol dire che le richieste idriche delle colture sono interamente soddisfatte dalle precipitazioni efficaci, quando vengono inserite caratteristiche del suolo come quello medio, argilloso o sabbioso. E questo perché i valori di TAW (Total Available Water (FC-WP)) sono sufficienti per soddisfare le richieste idriche delle colture in quel determinato contesto meteo-climatico. Al contrario, i dati forniti dall'ISTAT ma anche il senso comune ci dicono che l'irrigazione in realtà viene applicata. Per questo motivo e ai fini di questa tesi, si è ritenuto più coerente implementare la prima opzione (CWR), i quali valori relativi ai fabbisogni idrici irrigui calcolati sono stati messi a confronto con quelli reali in tabella 5.3.

| | Irrigation Requirement (IR) m³ (CROPWAT) | m³ (ISTAT) |
|-------------------------|--|------------------------------|
| Barbabetola da zucchero | 6.553.260 | 2.213.894,57 |
| Mais | 83.352.000 | 22.093.737,71 |
| Vite | 1.094.545 | 783.173,26 |

Tabella 5.3: confronto dei volumi di irrigazione ottenuti con CROPWAT e quelli reali

I valori ottenuti con il software sono risultati più alti ma dello stesso ordine di grandezza. Si sottolinea che i dati ISTAT riportano dati di irrigazione sottostimati piuttosto che sovrastimati dal momento in cui derivano da un questionario rivolto direttamente alle aziende agricole le quali fanno anche uso di acqua derivante da pozzi non autorizzati e da altre sorgenti e che quindi non tengono conto di tutta l'acqua veramente utilizzata. Inoltre la modalità CWR di CROPWAT fornisce un valore di irrigazione che, secondo le caratteristiche della coltura che sono inserite nel coefficiente

K_c , è ottimale affinché la pianta non risenta di eventuali stress idrici ma che sicuramente è sovrastimato rispetto alla reale fornitura.

Ai fini del presente lavoro, il quale fa riferimento ad un'area vasta come la Regione Veneto e di cui si è tenuto conto di un'ampia varietà colturale, oltre al fatto che comunque i valori di evapotraspirazione ottenuti con entrambi i metodi sono risultati uguali, l'applicazione di CWR piuttosto che IS è giustificata. Infatti IS viene utilizzata soprattutto negli studi sito-specifici o monoculturali, come testimoniano le numerose pubblicazioni (Gowda et al., 2013; Gouranga e Verma, 2004; Nazeer, 2009; Kuo et al., 2005; Kongboon e Sampattagul, 2012). Questo ad indicare anche il riconoscimento internazionale che ha il software CROPWAT.

La scelta dell'una o dell'altra opzione dipende in primis dalle finalità dello studio, ma anche dai dati che si hanno a disposizione. IS viene utilizzato specialmente per definire strategie di pianificazione dell'irrigazione e ha senso qualora si abbiano dati specifici riguardanti i tempi, i metodi e i volumi di applicazione (che in questo caso specifico non erano disponibili), in modo da poter valutare eventuali miglioramenti nella gestione delle acque in agricoltura.

5.4 CALCOLO DI WF DEI PROCESSI DI CRESCITA DELLE COLTURE NELLA REGIONE VENETO PER GLI ANNI 2001 E 2011

Il primo passo da effettuare, per valutare l'impronta idrica delle singole province (dati disponibili in Appendice parte B) per poi ottenere quello della regione Veneto, è la quantificazione dell'evapotraspirazione di ciascuna coltura mediante l'opzione CWR presente nel software CROPWAT, come riportato al capitolo 3. Si ricorda che è l'evapotraspirazione in condizioni standard, dove le condizioni standard fanno riferimento a colture prive di malattie, ben concimate, che crescono in terreni estesi, in condizioni idriche del terreno ottimali e che raggiungono la piena produzione nelle condizioni climatiche considerate. Successivamente è possibile calcolare la Crop Water Use (CWU) verde e blu, per arrivare per ottenere le rispettive impronte idriche verde e blu. Successivamente viene calcolata l'impronta idrica grigia. Nel caso di quest'ultima è importante specificare le assunzioni di cui si è tenuto conto per il calcolo e valide in tutte le provincie. Innanzitutto, come in accordo con Hoekstra et al. (2011), si è considerato solo l'inquinante più critico, ovvero l'inquinante il cui calcolo dell'impronta idrica grigia mediante la formula presente al paragrafo 3.2.2 risulta richiedere i volumi maggiori di acqua per essere diluito; questo è risultato essere l'azoto. La Comunità Europea ha emanato una normativa specifica, presentata al capitolo 2, per la regolamentazione dei nitrati di origine agricola, poiché essi risultano oggi una delle principali

fonti dell'inquinamento delle falde acquifere. Altra assunzione fondamentale da specificare riguarda la concentrazione naturale nel corpo ricevente; quando questa non la si conosce precisamente ma si stima essere bassa, allora si può supporre che sia uguale a 0 ($C_{nat} = 0$) (Hoekstra et al., 2011). Inoltre la concentrazione massima accettabile (C_{max}) di nitrati in acqua, secondo la Direttiva Nitrati, risulta essere 50 mg/L.

Si ricorda che l'opzione CWR del software CROPWAT calcola l'evapotraspirazione in condizioni ideali (ET_c) di una coltura quantificando in primis l'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) con il metodo Penman-Monteith (Allen et al., 1998), dipendente esclusivamente da parametri climatici e calcolata mediante l'inserimento di dati medi giornalieri, settimanali, di dieci giorni o mensili riguardanti temperatura, umidità, velocità del vento e ore di sole. ET_0 viene poi moltiplicata per il coefficiente colturale K_c , il quale tiene conto delle caratteristiche specifiche della coltura, degli stadi di crescita e dei parametri climatici.

Lo strumento di Water Footprint è stato applicato all'85% della produzione agricola nelle province della Regione Veneto per gli anni 2001 e 2011.

Specificate tutte le assunzioni considerate, si procede con la presentazione dei risultati ottenuti per la regione Veneto, suddivisi per anno.

5.4.1. Anno 2001

Dalla somma delle impronte idriche delle produzioni totali di ciascuna provincia si ottiene il valore di WF della produzione agricola totale della regione il quale è risultato essere di 2.735 M m³/anno; ciascuna provincia contribuisce in modo diverso. Dalla tabella 5.4 e dalla figura 5.1 si nota come Belluno abbia un'impronta di gran lunga minore rispetto alle altre, delle quali invece Verona è risultata essere quella che incide maggiormente, con il 19 %.

| 2001 | WF (M m ³ /anno) | Produzione (t) |
|---------|-----------------------------|----------------|
| Venezia | 440 | 1.340.951,1 |
| Verona | 520 | 1.587.310,6 |
| Vicenza | 262 | 665.728,3 |
| Treviso | 504 | 999.078,6 |
| Rovigo | 499 | 1.246.924,2 |
| Padova | 494 | 1.365.767,5 |
| Belluno | 12 | 26.410 |

| | | |
|---------------|--------------|--------------------|
| TOTALE | 2.735 | 7.232.170,3 |
|---------------|--------------|--------------------|

Tabella 5.4: WF della produzione agricola totale regionale per l'anno 2001.

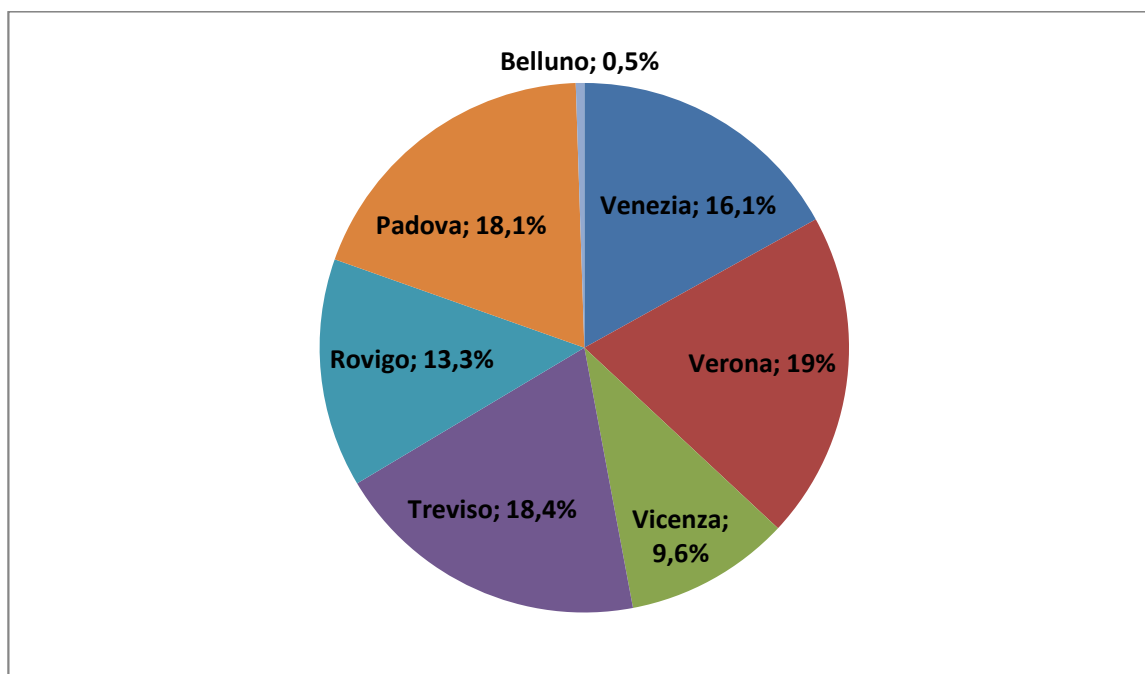


Figura 5.1: ripartizione % di WF tra le province per l'anno 2001.

Quanto appena presentato rispecchia la situazione generale provinciale per l'anno 2001. Risulta interessante capire come le varie colture considerate, avendo esigenze idriche e rese differenti, incidano sul valore totale di WF. Nella Regione Veneto la coltivazione del mais, con una impronta idrica di 1.748 M m³/anno, è risultata occupare la fetta maggiore di WF totale provinciale nell'anno 2001. In percentuale, il WF di tale coltura corrisponde al 63,9 %. C'è da dire che il mais viene coltivato in tutte le province, per un totale di 2.764.644,7 tonnellate prodotte nel 2001 e che l'impronta in L/Kg è risultata essere sempre tra le maggiori. Ad ogni modo ci sono colture, come soia, tabacco e frumento tenero, che a parità di kg consumano volumi d'acqua maggiori, ma che dal punto di vista della produzione totale hanno un'incidenza minore. Questo dipende sia dalle tonnellate prodotte annualmente ma anche dalle rese, più queste sono basse più il valore finale di WF aumenta. Infatti la soia con una resa di 9,8, il tabacco di 3 e il frumento tenero di 5,4 sono le colture, tra quelle considerate nel presente studio, ad avere le rese più basse. Ciò fa capire quanto sia importante cercare di aumentare la produttività idrica in agricoltura, in vista dell'aumento della richiesta di cibo previsto per i prossimi decenni e in concomitanza con la riduzione delle risorse idriche disponibili e dei cambiamenti climatici.

Il contributo delle colture rispetto all'impronta idrica della produzione agricola regionale è presentato in figura 5.2.

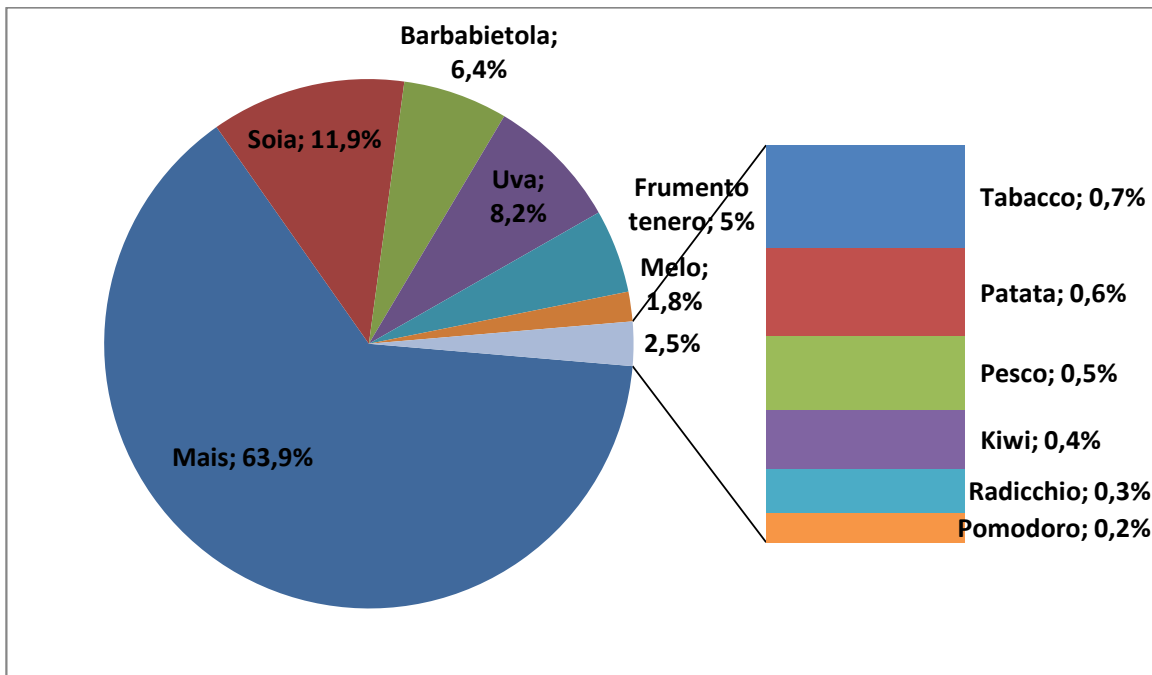


Figura 5.2: contributo delle colture sull'impronta idrica della produzione agricola totale. Anno 2001

Un altro aspetto fondamentale da considerare, ai fini della metodologia di Water Footprint, è la distinzione tra le impronte idriche blu e verde, le quali hanno impatti ambientali ma anche economici differenti (Antonelli e Greco, 2013). Si ricorda che corrispondono alla parte evaporativa di WF (acqua di irrigazione e di pioggia); la terza componente, ovvero la grigia, è invece la componente non evaporativa, in quanto è un volume di acqua non direttamente usato dalla coltura ma necessario per diluire gli inquinanti prodotti (WWF, 2008), in questo caso la parte di azoto artificialmente apportato che non viene assorbito dalla coltura e che quindi raggiunge le acque superficiali e sotterranee.

L'impronta idrica verde della produzione agricola totale regionale corrisponde a 1.687 M m³/anno, la blu a 483 M m³/anno e la grigia a 565 M m³/anno. In percentuale le tre componenti dell'impronta idrica totale sono presentate in figura 5.3.

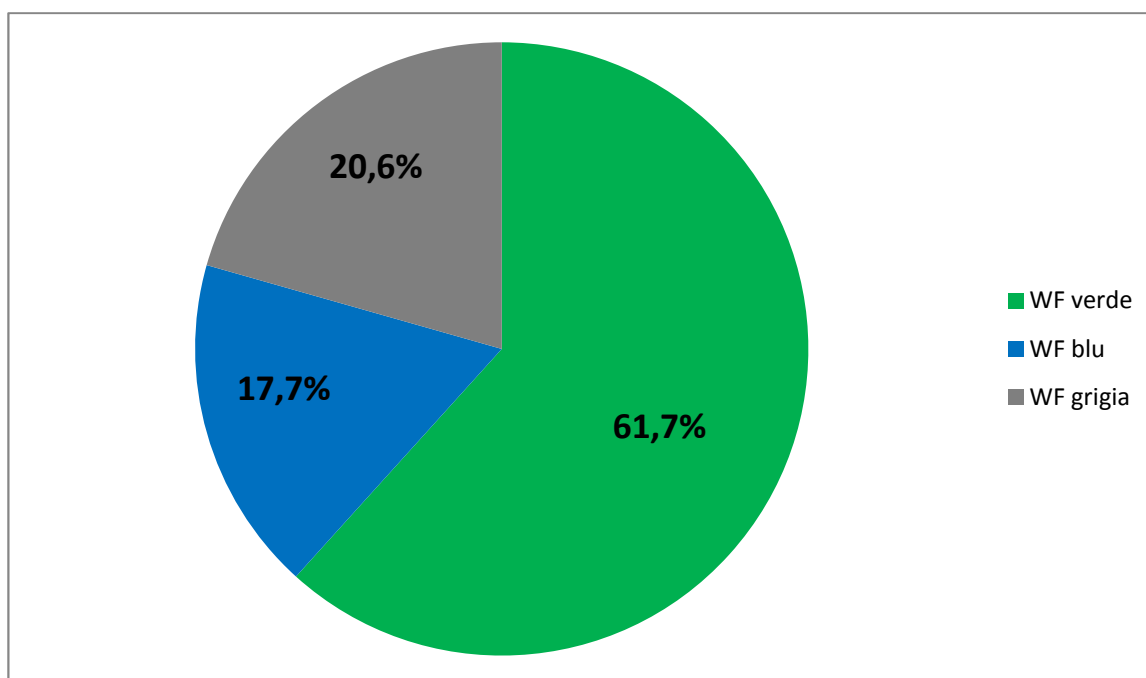


Figura 5.3: % delle componenti dell'impronta idrica totale per l'anno 2001.

A livello regionale la componente maggiore, in coerenza con gli altri studi effettuati, è risultata essere quella verde, seguita dalla grigia e infine dalla blu. Osservando invece la tabella 5.5 si può notare come cambiano i rapporti delle tre componenti nelle diverse province: Rovigo ad esempio ha il WF_{blu} più alto ma non anche il WF_{verde} , ciò vuol dire che il contributo di acqua di irrigazione è maggiore rispetto alle altre province; in percentuale equivalgono rispettivamente al 29,5% e 50,3%. La provincia di Vicenza risulta invece avere una bassa WF_{blu} come anche Belluno dove è addirittura pari a zero.

La provincia che invece ha mostrato l'impronta idrica verde più alta è stata Verona, infatti se si va ad osservare la tabella 11 (Appendice B) si nota che il WF_{blu} di 6 colture su 12 è risultato essere zero e ciò vuol dire che il loro fabbisogno idrico è stato soddisfatto esclusivamente dalle precipitazioni efficaci.

| 2001 | WF verde (M m³/anno) | WF blu (M m³/anno) | WF grigia (M m³/anno) |
|---------------|--|--------------------------------------|---|
| Venezia | 255 | 106 | 78 |
| Verona | 358 | 69 | 93 |
| Vicenza | 198 | 1,4 | 62 |
| Treviso | 343 | 50 | 109 |
| Rovigo | 251 | 147 | 101 |
| Padova | 270 | 108 | 116 |
| Belluno | 8 | 0 | 3 |
| TOTALE | 1.687 | 483 | 565 |

Tabella 5.5: WF verde, blu e grigia totale della produzione agricola nell'anno 2001.

Singolarmente ciascuna provincia ha rapporti tra le tre componenti dell'impronta idrica diverse e sono riportate in figura 5.4.

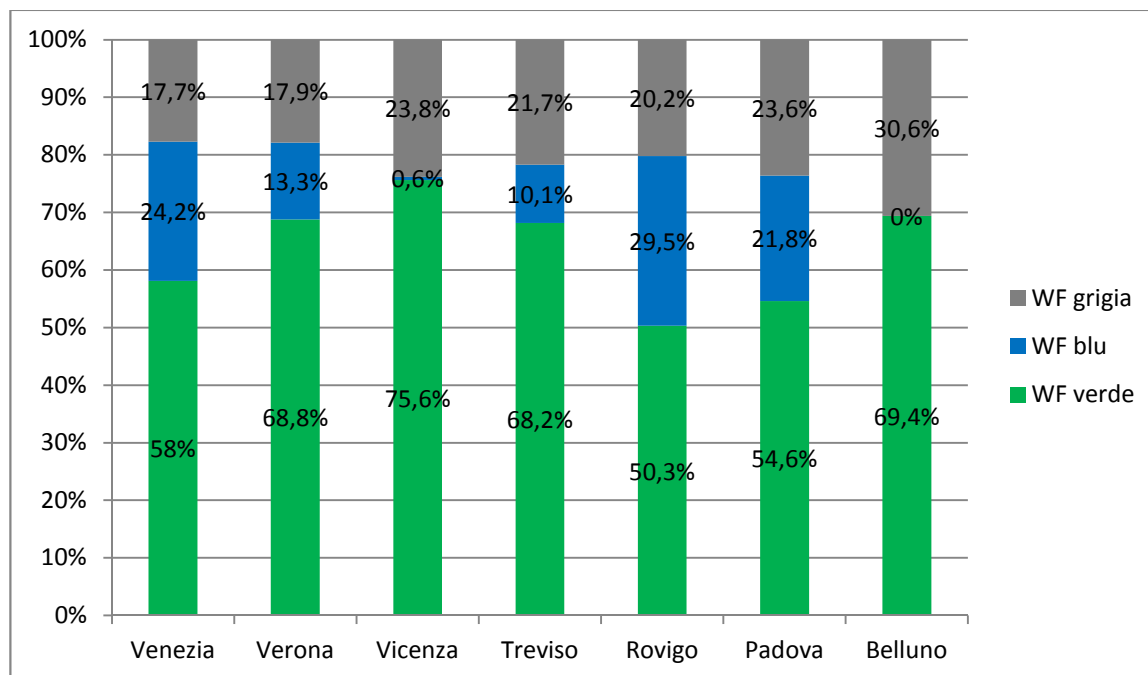


Figura 5.4: confronto % tra le tre componenti dell'impronta idrica totale di ciascuna provincia per l'anno 2001.

Quindi mentre ad esempio Verona aveva mostrato il valore di WF_{green} della produzione totale più alto, dal punto di vista delle ripartizioni percentuali di ciascuna provincia è invece Vicenza ad avere l'impronta idrica verde più alta (il 75,6%). Dal grafico risulta in maniera evidente come a Rovigo vi sia un alto contributo dovuto alla WF_{blu} e WF_{grey} rispetto al totale mentre a Belluno e Vicenza la WF_{blu} incidono molto poco nel computo totale della WF.

Un altro esempio può essere fatto a riguardo il WF_{grey} , il quale valore più alto è stato calcolato per Padova (116 M m³/anno) ma in rapporto percentuale è stata la provincia di Belluno ad aggiudicarsi la % più alta, pari al 30,6%, rispetto alla propria WF totale.

Particolarmente importante risulta comunque l'analisi della WF_{blu} e WF_{grey} la cui sommatoria porta a considerare i principali contributi negativi dovuti a utilizzo diretto di acqua e inquinamento provocato. In tal senso margini di miglioramento nella gestione idrica si dovranno preferibilmente attuare a Rovigo, Padova e Venezia.

A livello di singola coltura si può invece vedere quanto ciascuna contribuisca ad ognuna delle tre componenti dell'impronta idrica. I risultati sono visualizzabili nelle figure 5.5, 5.6 e 5.7.

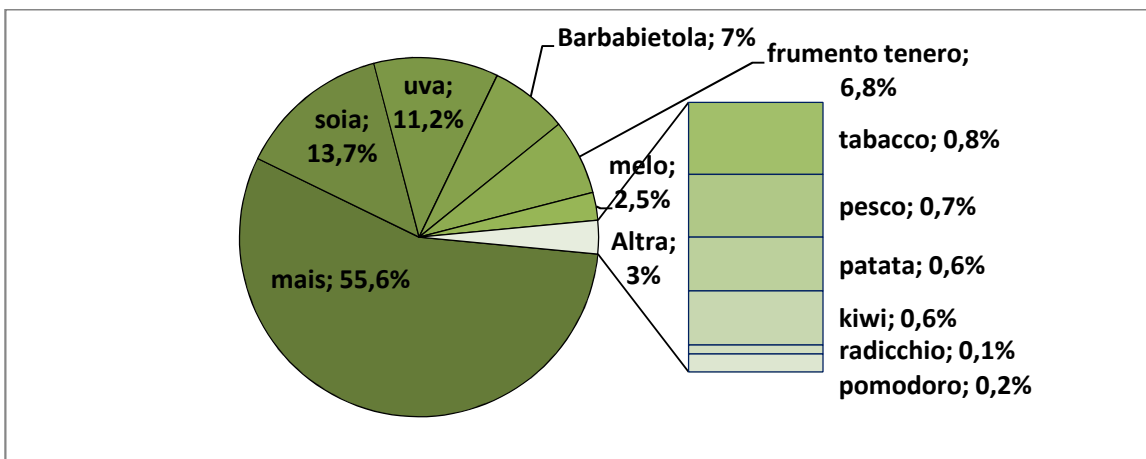


Figura 5.5: contributo di ciascuna coltura all'impronta idrica verde totale per l'anno 2001

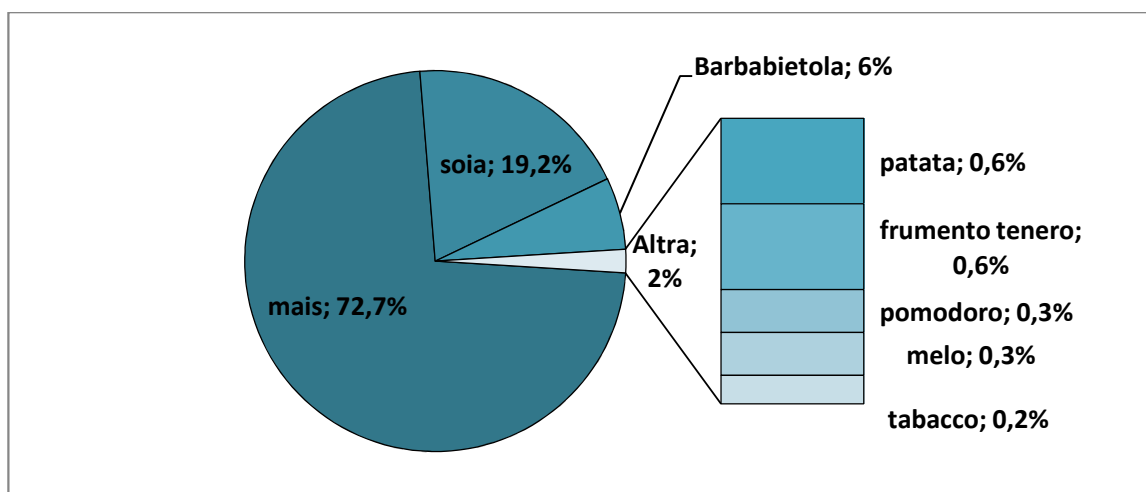


Figura 5.6: contributo di ciascuna coltura all'impronta idrica blu totale per l'anno 2001. Poiché le colture di uva, pesco, kiwi e radicchio hanno WF_{blu} uguale a zero sono state omesse.

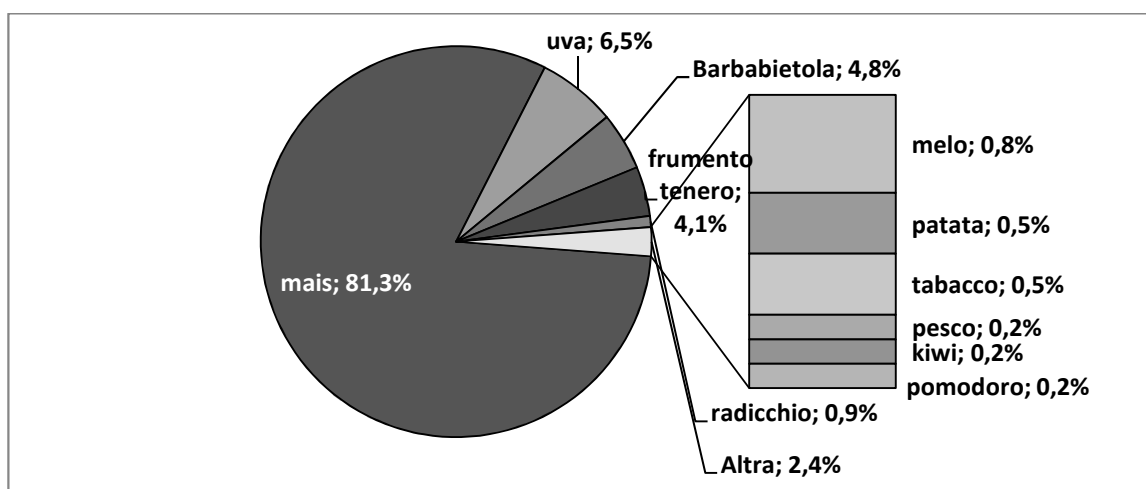


Figura 5.7: contributo di ciascuna coltura all'impronta idrica grigia totale per l'anno 2001. E' stata omessa la soia, avendo un'impronta idrica grigia uguale a zero.

Sicuramente il mais, vista la sua elevata produzione che nel 2001 si è attestata sulle 2.764.644,7 tonnellate e il valore medio regionale di WF in L/Kg pari a 618,4, è la coltura che più incide in tutte e tre le componenti. La soia è al secondo posto per quanto riguarda le WF_{verde} e WF_{blu} ma all'ultimo per la WF_{grigia} che è nulla.

Compresa la situazione generale provinciale della produzione agricola, si è ritenuto interessante calcolare anche il valore medio regionale di WF totale in L/Kg per ciascuna coltura in modo da capire come variano i volumi d'acqua a parità di quantità (Kg) prodotta (tabella 5.6).

| WF_{tot} 2001 (L/Kg) | VE (L/Kg) | VR (L/Kg) | VI (L/Kg) | TV (L/Kg) | RO (L/Kg) | PD (L/Kg) | BL (L/Kg) | MEDIA |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| Barbabietola da zucch. | 76,6 | 80,1 | 72,4 | / | 80,1 | 78,1 | / | 77,5 |
| Mais | 629,8 | 655,6 | 597,5 | 634,9 | 633,8 | 639,2 | 538,3 | 618,4 |
| Soia | 986,1 | 1043,1 | 943,4 | 996,1 | 1039,5 | / | / | 1001,6 |
| Uva | 193,5 | 202,8 | 180,2 | 198,3 | / | 197 | / | 194,4 |
| Melo | / | 173,3 | / | / | 174,7 | 167,8 | / | 171,9 |
| Patata | / | 152,1 | 141 | / | / | 151,5 | 125,4 | 142,5 |
| Pesco | / | 313,2 | / | / | / | / | / | 313,2 |
| Frum. Ten. | / | 844,9 | 761,8 | / | 835,9 | 817,7 | / | 815,1 |
| Kiwi | / | 316,7 | / | / | / | / | / | 316,7 |
| Radicchio | / | 215,5 | / | / | 217,4 | / | / | 217,4 |
| Tabacco | / | 1094,3 | / | / | / | / | / | 1094,3 |
| Pomodoro da ind. | / | 101,9 | 92,3 | / | 101,6 | / | / | 98,6 |

Tabella 5.6: WF medie regionali in L/Kg per l'anno 2001.

Il valore più alto è del tabacco ma molto simile a quello della soia. Tali colture però, essendo prodotte in quantità nettamente differenti, hanno contribuito sull'impronta idrica della produzione

totale regionale molto diversi; la soia infatti, con una produzione di 354.666 tonnellate, incide per l'11,9%, al contrario del tabacco con lo 0,7%.

Nel paragrafo successivo vengono riportati i risultati regionali ottenuti per il 2011, al fine di poter effettuare i confronti tra i due anni considerati andando a valutare eventuali differenze nei valori di WF delle produzioni agricole regionali e nelle medesime colture nell'arco dei dieci anni.

5.4.2. Anno 2011

L'impronta idrica della produzione agricola nella Regione Veneto per l'anno 2011 è risultata di 2.727 M m³/anno (tabella 5.7). Ciascuna provincia, anche in relazione alla propria produzione, incide sul valore totale in modo diverso: Belluno è certamente quella con il contributo minore, pari a 10 M m³/anno (0,4%), al contrario Rovigo ha mostrato l'impronta più alta incidendo per il 20,3%, come si può vedere in figura 5.8.

| 2011 | WF (M m³/anno) | Produzione (t) |
|---------------|----------------------------------|-----------------------|
| Venezia | 530 | 929.274,6 |
| Verona | 489 | 1.158.328,5 |
| Vicenza | 246 | 535.332,1 |
| Treviso | 357 | 843.508,5 |
| Rovigo | 555 | 1.012.984,6 |
| Padova | 537 | 1.052.919,1 |
| Belluno | 10 | 22.730 |
| TOTALE | 2.727 | 5.555.077,4 |

Tabella 5.7: WF della produzione agricola totale della regione Veneto per l'anno 2011.

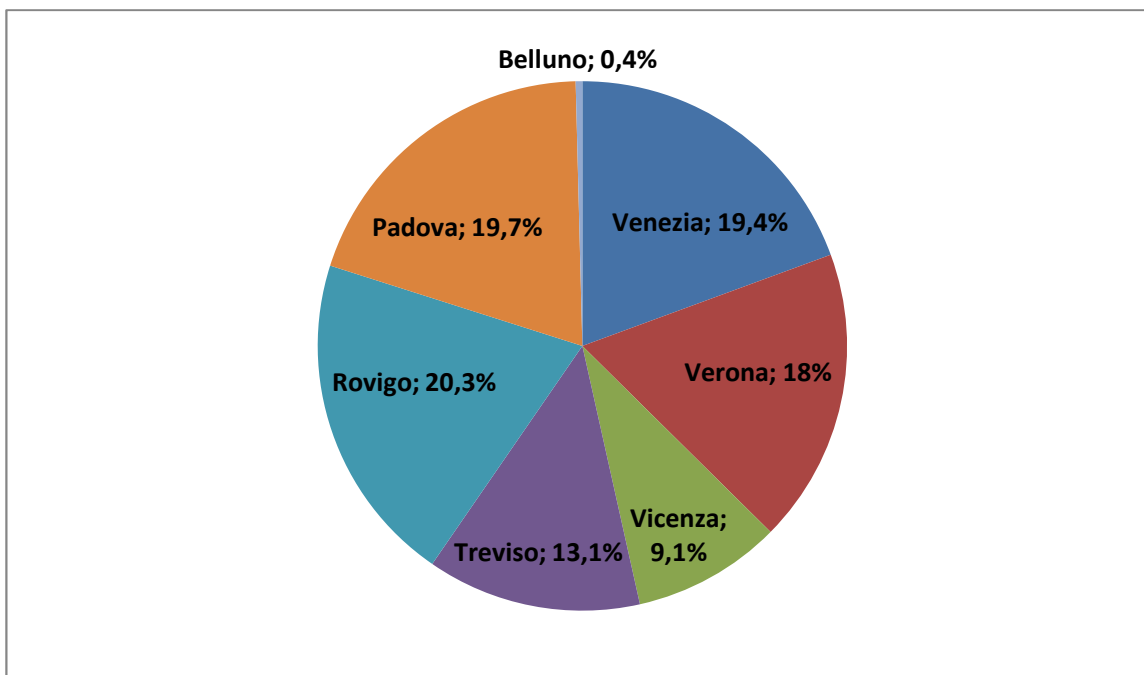


Figura 5.8: ripartizione % di WF tra le province per l'anno 2011.

La coltura più praticata nella regione Veneto nel 2011 è stata quella del mais, con una produzione totale di 2.516.017 tonnellate, seguita dal frumento tenero con 5.033.191 tonnellate e dalla soia con 284.101 tonnellate. Viste le produzioni elevate e complici le basse rese, rispetto ad altre colture come ad esempio la barbabietola, il pomodoro o la patata, hanno mostrato le impronte idriche più elevate; infatti, osservando la figura 5.9 si nota come il mais incida per più della metà sull'impronta idrica totale.

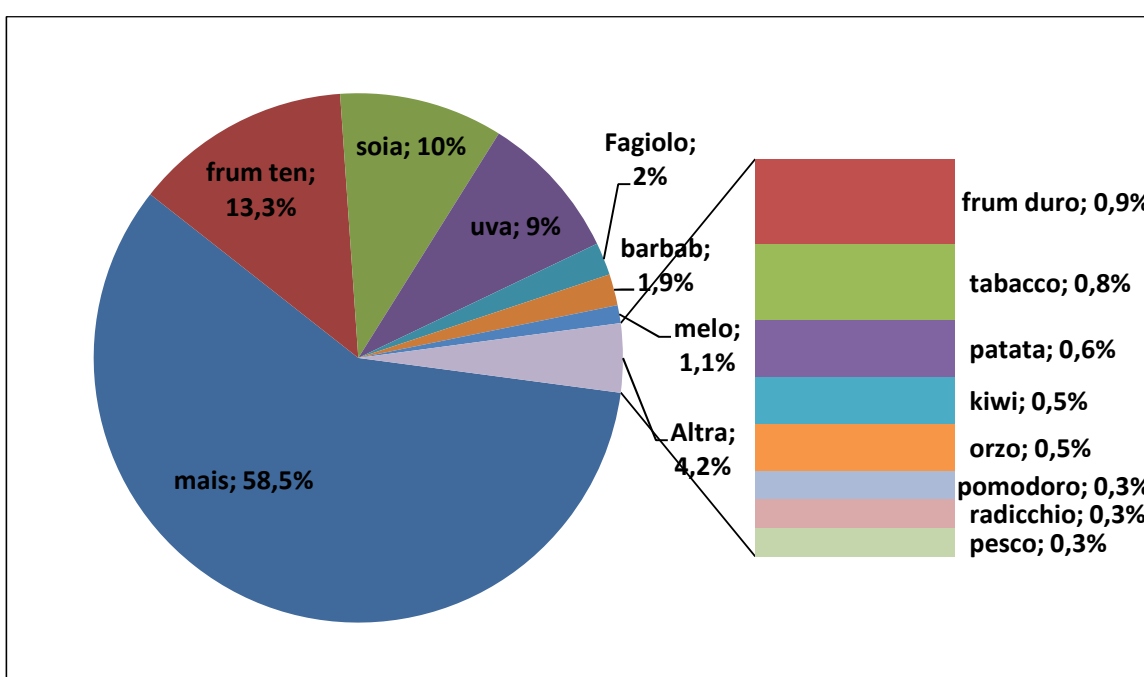


Figura 5.9: contributo delle colture sull'impronta idrica della produzione agricola totale. Anno 2011. E' stato escluso il cocomero.

Andando ad analizzare separatamente le tre componenti dell'impronta idrica della produzione agricola totale regionale, come per l'anno 2001, la verde è risultata di gran lunga superiore alla blu; nello specifico, la prima è risultata di 1.712 M m³/anno e la seconda di 479 M m³/anno, come riportato in tabella 5.8 e che in percentuale equivalgono a quanto riportato in figura 5.10.

Per le province di Vicenza e Belluno il WF_{blu} è risultato essere zero, in seguito alle precipitazioni elevate che sono state registrate per entrambe nell'anno 2011 e che quindi hanno permesso di soddisfare l'intero fabbisogno idrico delle colture considerate.

| 2011 | WF verde (M m³/anno) | WF blu (M m³/anno) | WF grigia (M m³/anno) |
|---------------|--|--------------------------------------|---|
| Venezia | 332 | 107 | 89 |
| Verona | 325 | 81 | 82 |
| Vicenza | 190 | 0 | 56 |
| Treviso | 248 | 25 | 84 |
| Rovigo | 300 | 154 | 100 |
| Padova | 307 | 110 | 119 |
| Belluno | 7 | 0 | 3 |
| TOTALE | 1.712 | 479 | 536 |

Tabella 5.8: WF verde, blu e grigia totale della produzione agricola nell'anno 2011.

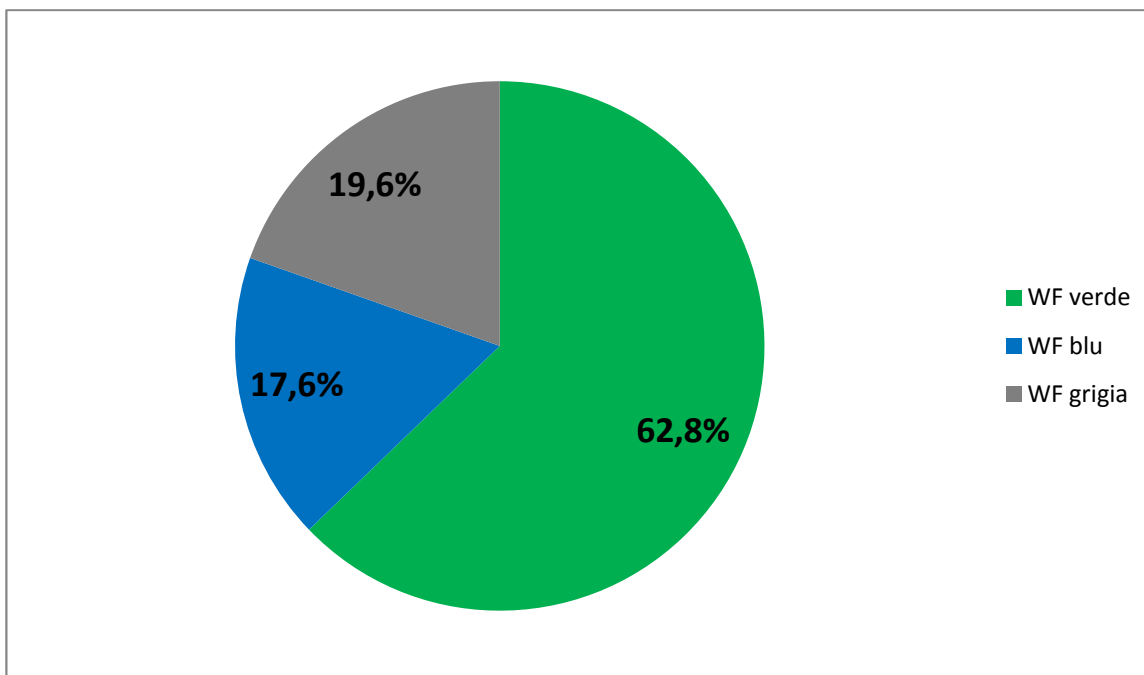


Figura 5.10: % delle componenti dell'impronta idrica totale per l'anno 2011.

Analizzando provincia per provincia si sono calcolate le percentuali di ciascuna componente dell'impronta idrica e sono state riportate in figura 5.11. In rapporto % Vicenza ha mostrato il WF verde più alto (77,3%) mentre la provincia con la più alta % di impronta grigia rispetto alla propria impronta idrica totale è Belluno; questo perché il suo territorio agricolo è vocato principalmente per il mais e il tasso di applicazione dei nitrati proprio per tale coltura è tra i più elevati.

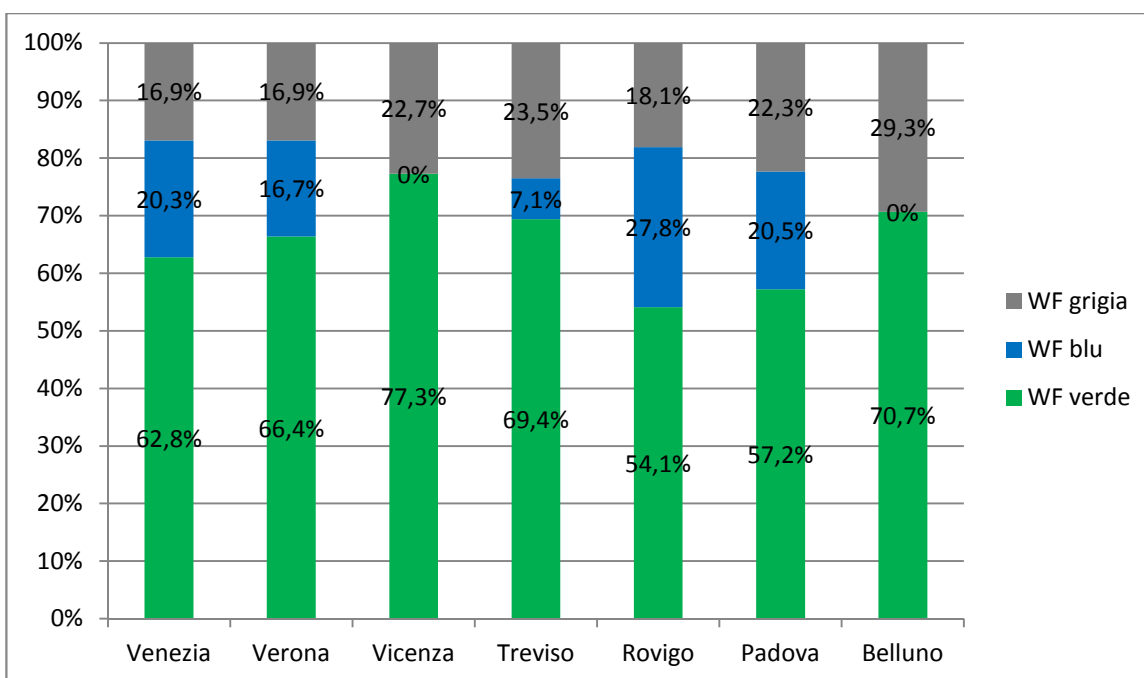


Figura 5.11: confronto % tra le tre componenti dell'impronta idrica totale di ciascuna provincia per l'anno 2011.

A livello di singola coltura si può invece determinare quanto ciascuna contribuisca ad ognuna delle tre componenti dell'impronta idrica. I risultati sono visualizzabili nelle figure 5.12, 5.13 e 5.14.

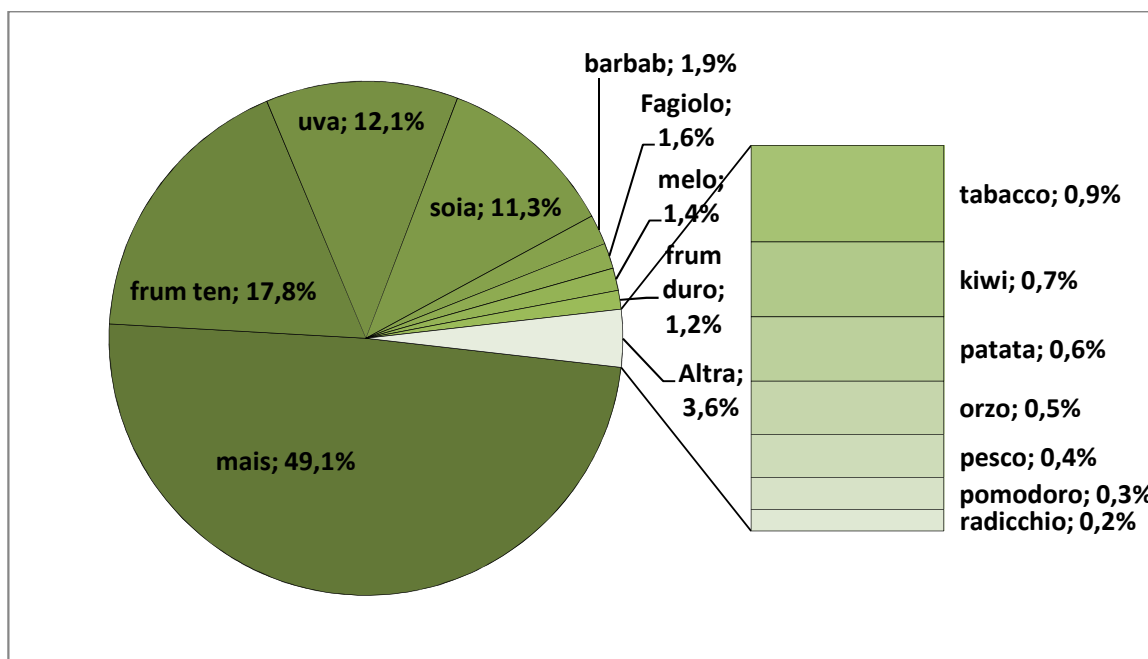


Figura 5.12: contributo di ciascuna coltura all'impronta idrica verde totale per l'anno 2011

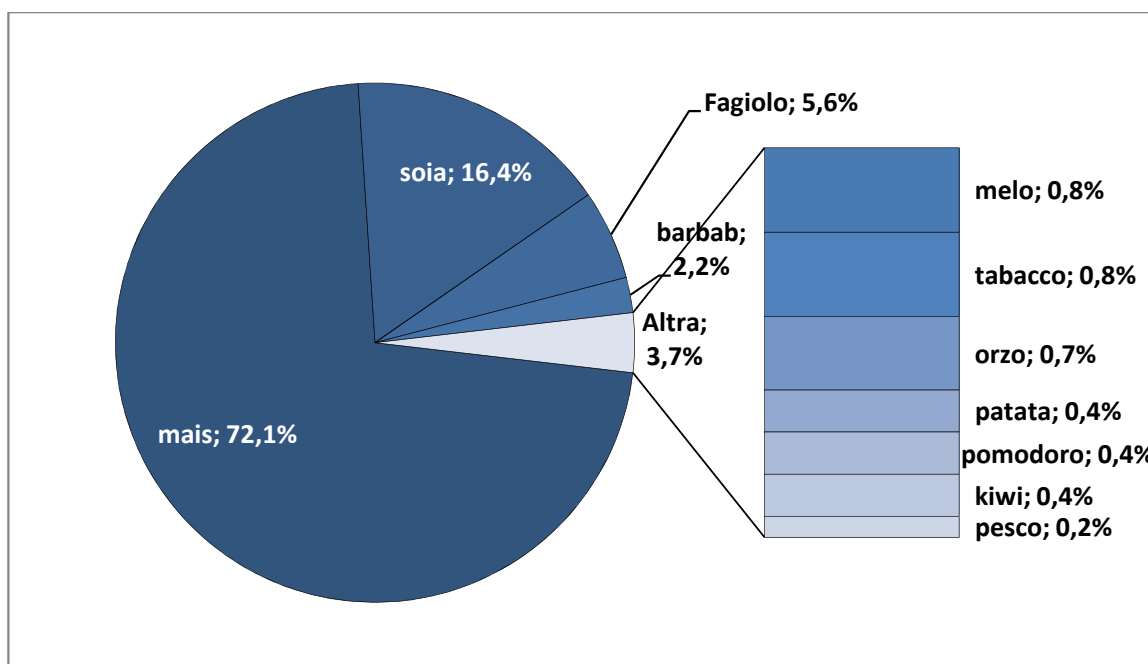


Figura 5.13: contributo di ciascuna coltura all'impronta idrica blu totale per l'anno 2011. Poiché le colture di uva, frumento tenero e duro e radicchio hanno WF_{blu} uguale a zero sono state omesse

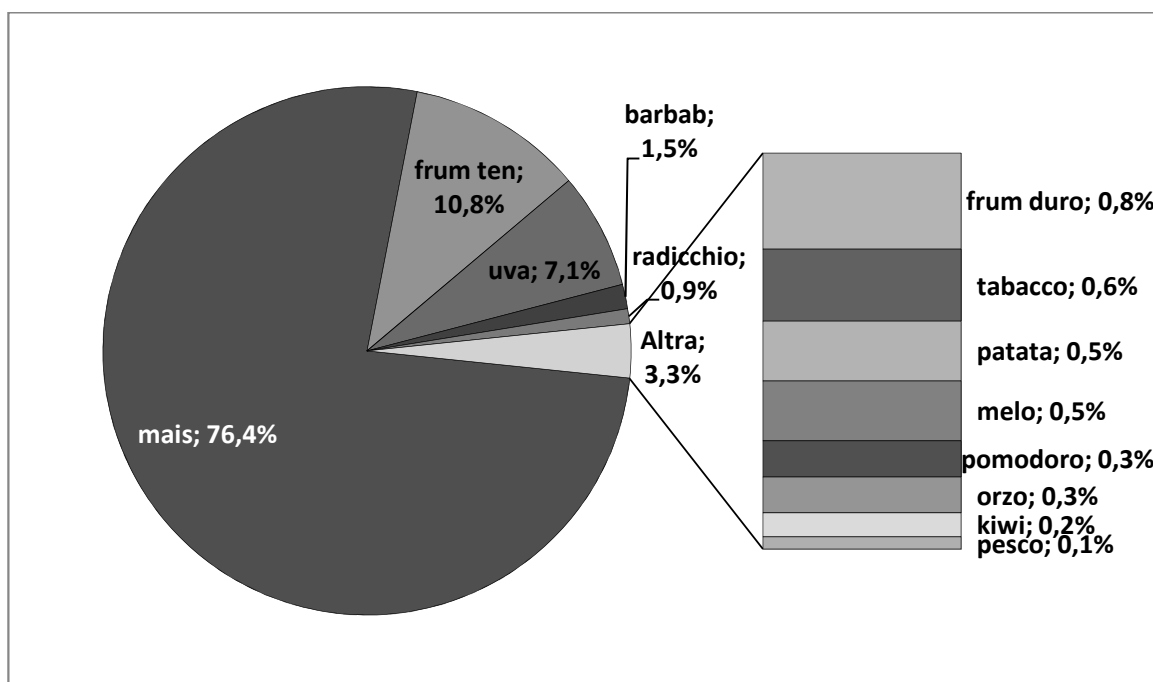


Figura 5.14: contributo di ciascuna coltura all'impronta idrica grigia totale per l'anno 2011. E' stata omessa la soia, avendo un'impronta idrica grigia uguale a zero

Si nota dalla figura 5.14 come il mais sia responsabile del 76,40% dell'impronta idrica grigia della produzione agricola totale del Veneto, dovuto al concatenarsi di fattori quali l'elevata produzione, la bassa resa e il tasso di applicazione dell'azoto già di per sé alto e pari a 184 kg/ha di N, secondo il database FertiStat della FAO a cui si è fatto riferimento nel presente studio.

Quanto riportato finora riguarda la situazione complessiva della regione Veneto. Qualora si volessero fare confronti di WF di una stessa coltura in zone diverse, per vedere ad esempio dove, in termini idrici, possa essere maggiormente conveniente praticarla, oppure per confrontare le diverse colture praticate in una medesima area, sono più utili e comprensibili i valori in L/Kg, come riportato in tabella 5.9 e dove son state calcolate anche le impronte idriche medie.

| WF_{tot} 2011 (L/Kg) | VE (L/Kg) | VR (L/Kg) | VI (L/Kg) | TV (L/Kg) | RO (L/Kg) | PD (L/Kg) | BL (L/Kg) | MEDIA |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| Mais | 636,6 | 681,2 | 604,7 | 628,3 | 621,7 | 638,8 | 544,5 | 622,2 |
| Barbabietola da zucchero | 82,8 | 88,8 | 77,7 | / | 81 | 82,9 | / | 82,6 |
| Soia | 1173,3 | 1276,9 | 1093 | / | 1146,6 | 1178,3 | / | 1173,6 |
| Frumento | 777,4 | 865,2 | 735,7 | / | 729,9 | 775,2 | / | 776,7 |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| tenero | | | | | | | | |
| Uva | 217,1 | 234,1 | 201,5 | 211,5 | / | 215,7 | / | 215,9 |
| Melo | / | 183,6 | / | / | 148,9 | / | / | 166,2 |
| Kiwi | / | 342 | / | / | / | / | / | 342 |
| Patata | / | 187,3 | 164,7 | / | / | 174,9 | 146,1 | 168,2 |
| Tabacco | / | 1204,6 | / | / | / | / | / | 1204,6 |
| Radicchio | / | 128,5 | / | / | 117,5 | 121,6 | / | 122,5 |
| Pesco | / | 325,2 | / | / | / | / | / | 325,2 |
| Orzo | / | 952,1 | / | / | / | / | / | 952,1 |
| Pomodoro | / | 112,7 | 99,1 | / | 102,8 | 105,2 | / | 104,9 |
| Frumento duro | / | / | / | / | 769,1 | / | / | 769,1 |
| Fagiolo | / | / | / | / | 1115 | / | / | 1115 |
| Cocomero | / | / | / | / | 86,7 | / | / | 86,7 |

Tabella 5.9: WF medie regionali in L/Kg per l'anno 2011.

A parità di Kg prodotti, la coltura per cui è stata calcolata l'impronta idrica più alta è quella di tabacco, la quale però, essendo praticata solo in provincia di Verona e in basse quantità, il suo contributo verso il WF della produzione totale regionale è risultato solamente dello 0,8% (figura 5.9). La seconda coltura ad avere il WF più alto è risultata la soia, seguita dal fagiolo e dai cereali.

Presentati i risultati dei due anni per cui si è voluta calcolare l'impronta idrica della produzione agricola della Regione Veneto, risulta ora interessante confrontarli in modo da valutare se nell'arco del decennio trascorso vi sono state differenze nei valori di Water Footprint regionale e delle varie colture praticate, facendo considerazioni in merito.

5.4.3. Confronto di WF tra l'anno 2001 e 2011

La metodologia di Water Footprint proposta da Hoekstra et al. (2011) è stata applicata all'85% della produzione agricola nella regione Veneto per gli anni 2001 e 2011. I risultati sono stati ottenuti calcolando il WF in L/kg di ciascuna coltura (12 colture per il 2001 e 16 nel 2011) e moltiplicandolo per la quantità prodotta, secondo i dati ISTAT ottenendo così l'impronta idrica per le singole colture.

Mettendo a confronto le impronte idriche delle produzioni agricole totali si riscontra un valore leggermente inferiore nel 2011 (tabella 5.10); da un WF di 2.735,95 M m³ nel 2001 a 2.727,81 M m³ nel 2011.

| | 2001 | 2011 |
|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | WF (M m³/anno) | WF (M m³/anno) |
| Venezia | 440,79 | 530,27 |
| Verona | 520,75 | 489,81 |
| Vicenza | 262,7 | 246,55 |
| Treviso | 504,11 | 357,83 |
| Rovigo | 499,61 | 555,34 |
| Padova | 494,99 | 537,46 |
| Belluno | 12,96 | 10,51 |
| TOTALE | 2.735,95 | 2.727,81 |

Tabella 5.10: confronto di WF della produzione agricola regionale tra l'anno 2001 e 2011.

I medesimi valori sono riportati nell'istogramma in figura 5.15 per una lettura più immediata.

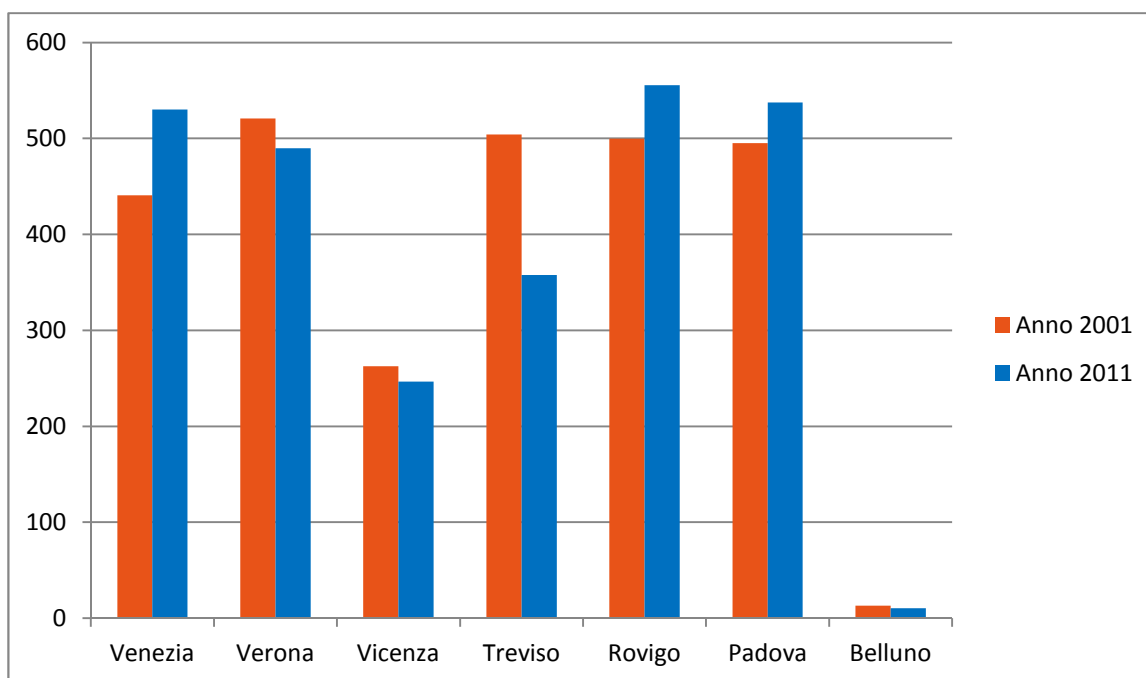


Figura 5.15: confronto dei valori di WF ($M m^3/anno$) della produzione agricola totale per provincia e per anno.

Quattro province su sette (Vicenza, Verona, Treviso e Belluno) hanno mostrato valori più bassi, in particolar modo Treviso. In linea con tali valori, anche la produzione agricola annuale della regione è stata inferiore nel 2011 rispetto al 2001, un calo che però non si è riscontrato in tutte le province. Nello specifico è importante segnalare che le impronte idriche calcolate per Venezia, Rovigo e Padova, nonostante le minori produzioni, sono risultate più elevate. Studiando i calcoli alla base dell'indicatore, il motivo è da ricondurre principalmente all'incremento generale delle evapotraspirazioni (ET), le quali sono fortemente influenzate dalle condizioni meteorologiche, in particolar modo da fattori come temperatura e velocità del vento, entrambi direttamente proporzionali ad ET. Si ricorda che sulla base di soli parametri meteorologici, tra cui anche quelli appena citati, il software CROPWAT calcola l'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) che moltiplicata per il coefficiente colturale (K_c) determina ET. Questo a ribadire quanto sia più significativo, ai fini dei valori di WF, l'utilizzo di dati climatici reperiti da realtà locali, come quelli di ARPAV utilizzati nel presente lavoro. Un altro aspetto importante è la buona qualità degli stessi per determinare un output quanto più preciso (Mekonnen e Hoekstra, 2010).

Nella regione Veneto, grazie a condizioni climatiche favorevoli, la produzione agricola comprende molte varietà colturali, anche se principalmente è interessata dalla coltivazione di mais e soia. Inoltre risulta altamente vocata per la vite, soprattutto in provincia di Treviso e Verona.

Dal punto di vista dei consumi idrici, l'impronta della produzione agricola totale è suddivisa come in figura 5.16 per il 2001 e 5.17 per il 2011.

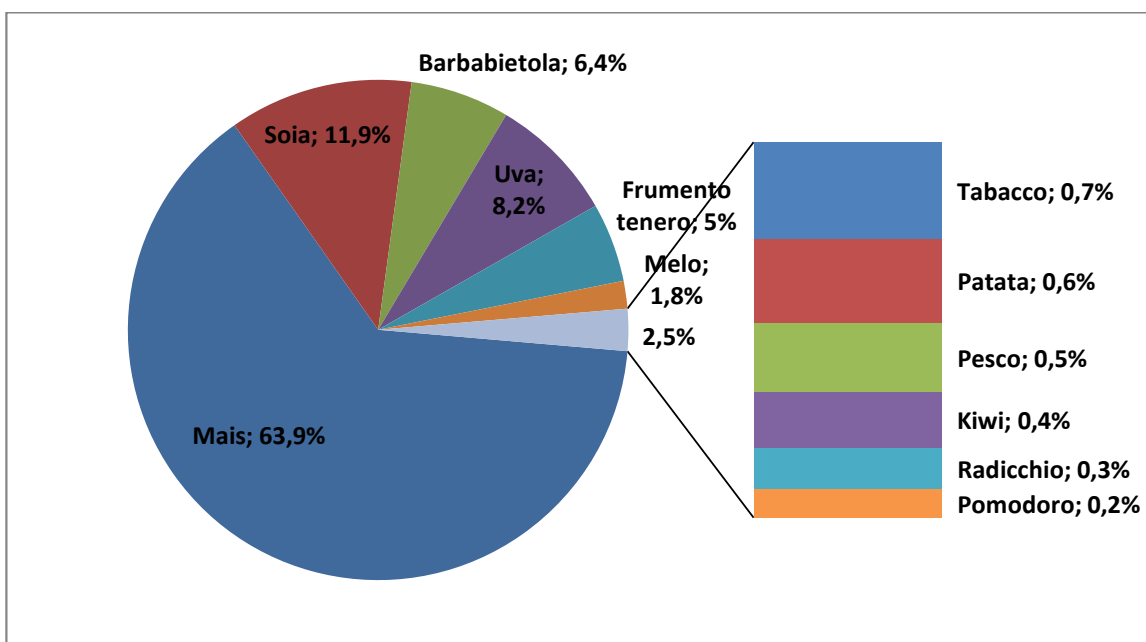


Figura 5.16: contributo delle colture sull'impronta idrica della produzione agricola totale. Anno 2001

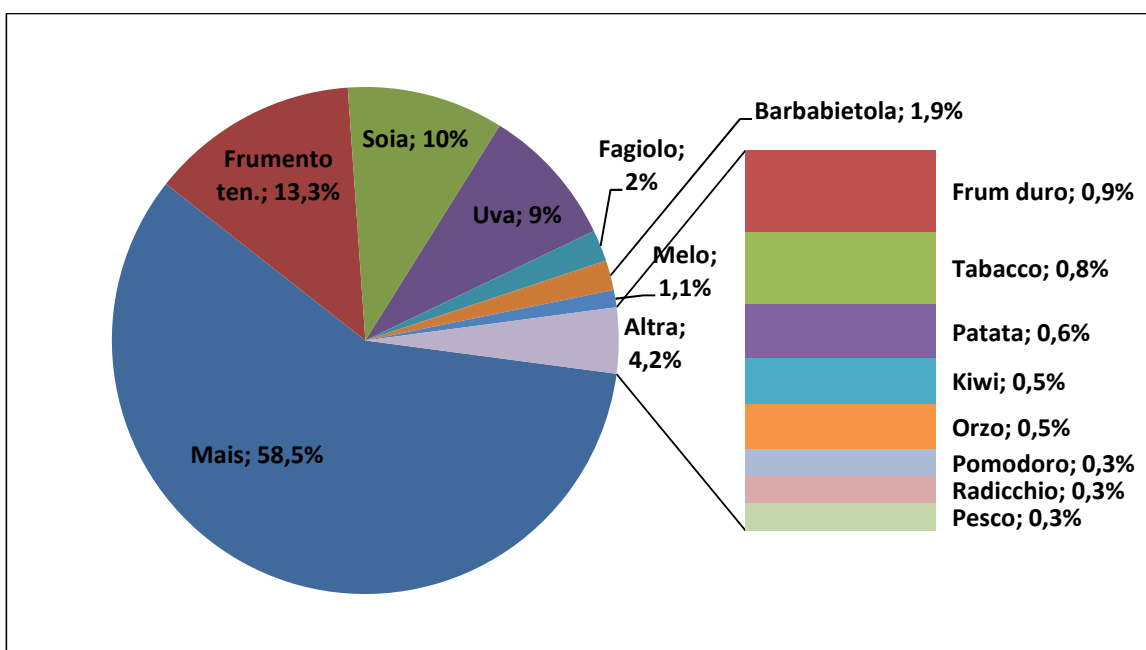


Figura 5.17: contributo delle colture sull'impronta idrica della produzione agricola totale. Anno 2011.

Il mais, coltivato in tutte le province e con una produzione di 2.764.644 ton nel 2001 e 2.516.017 ton nel 2011, ha apportato il contributo maggiore all'impronta idrica totale, con un valore più alto nel 2001 (63,9%). Un importante incremento della produzione nei dieci anni trascorsi l'ha visto il frumento tenero, il quale da 208.059 ton nel 2001 è passato alle 503.319 ton del 2011, anno in cui il suo WF ha inciso per il 13,3% del totale, contro il 5% del 2001. Anche altre colture hanno subito variazioni di WF significative le quali ad ogni modo rispecchiano le quantità prodotte. È inoltre interessante notare dalla tabella 5.11 come mais, soia e frumento tenero siano tra le colture le cui WF, a parità di peso (Kg), sono le più alte. Il rimanente dell'impronta idrica a livello regionale si suddivide per entrambi gli anni tra uva, legumi, ortaggi e frutta.

Quanto presentato finora riguarda il WF della produzione agricola totale della regione. È possibile entrare più nel dettaglio delle colture confrontando i valori calcolati in L/Kg per comprendere come variano i volumi d'acqua richiesti, a parità di quantità prodotta (tabella 5.11). Il fabbisogno idrico di ciascuna coltura, quantificato in termini di quantità di acqua necessaria per compensare la perdita di evapotraspirazione dal campo coltivato (Allen et al., 1998), è stato calcolato mediante l'opzione CWR di CROPWAT. All'interno di una stessa provincia i valori dei parametri climatici utilizzati sono gli stessi; ciò che quindi differenzia le varie colture è il fattore che tiene conto delle caratteristiche specifiche delle piante, ovvero il coefficiente colturale (K_c), i cui tre valori richiesti dal software per il calcolo di ET_c sono stati reperiti da Allen et al., 1998.

Dal calcolo di WF in L/Kg di ciascuna coltura si è compreso che, oltre ai diversi fabbisogni idrici, anche la resa è un fattore determinante per il risultato finale. I valori delle rese utilizzati sono stati reperiti dai rapporti annuali di Veneto Agricoltura, e quindi anche in questo caso i dati utilizzati non sono medi generali ma di tipo sito specifico dell'area. Andando ad analizzare i risultati emerge a titolo di esempio che per il melo è stato quantificato il valore di ET_c più alto ma l'impronta idrica è risultata essere tra le più basse grazie ad una resa media tra le più alte, in rispetto alle colture di cui si è tenuto conto nel caso di studio, pari a 32,5 t/ha. Un altro esempio riguarda la barbabietola da zucchero, la quale è emersa essere la coltura con il WF più basso (mediamente tra i due anni di 80 L/kg) ma con una evapotraspirazione che è risultata essere all'incirca di 410 mm, valore simile a colture quali mais, soia o frumento tenero le quali però al contrario hanno mostrato impronte idriche di gran lunga più elevate rispetto alla barbabietola. L'alta resa (64 t/ha) di quest'ultima ha infatti determinato in maniera positiva il valore finale di WF.

| | WF_{tot} (L/Kg) 2001 | WF_{tot} (L/Kg) 2011 | MEDIA |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Mais | 618,4 | 622,2 | 620,3 |
| Barbabietola da zucchero | 77,5 | 82,6 | 80 |
| Soia | 1001,6 | 1173,6 | 1087,6 |
| Frumento tenero | 815,1 | 776,7 | 795,9 |
| Uva | 194,4 | 215,9 | 205,1 |
| Melo | 171,9 | 166,2 | 169 |
| Kiwi | 316,7 | 342 | 329,3 |
| Patata | 142,5 | 168,2 | 155,3 |
| Tabacco | 1094,3 | 1204,6 | 1149,4 |
| Radicchio | 217,4 | 122,5 | 169,9 |
| Pesco | 313,2 | 325,2 | 319,2 |
| Pomodoro | 98,6 | 104,9 | 101,7 |
| Orzo | / | 952,1 | 952,1 |
| Frumento duro | / | 769,1 | 769,1 |
| Fagiolo | / | 1115 | 115 |
| Cocomero | / | 86,7 | 86,7 |

Tabella 5.11: WF medie (L/Kg) delle colture nella regione Veneto.

Dal confronto tra il 2001 e il 2011 si può notare invece come nel 2011 i valori sono risultati più elevati per quasi tutte le colture. Quanto ottenuto è direttamente correlato ad evapotraspirazioni (ET_c) più alte nel 2011, in tutte le province (Appendice B); a sua volta le ET_c sono strettamente dipendenti dai parametri climatici e ciò ci dice quanto l'indicatore di WF sia legato alla meteorologia e quindi significativo dell'area in cui è stato calcolato, come già ribadito. Si sottolinea che un qualsiasi WF ha senso se ricondotto al luogo e al tempo in cui l'acqua è stata utilizzata; già tenendo conto della stessa area ma due anni differenti i valori finali di WF variano.

In riferimento alle prime cinque colture in tabella si è voluto fare un ulteriore confronto dei valori medi ottenuti per la regione Veneto con quelli calcolati da Mekonnen e Hoekstra (2010, 2011) per la medesima area nel periodo 1996-2005 e si è potuto constatare che utilizzando i dati meteorologici e le rese reperiti entrambi dal contesto locale i valori risultati sono stati più bassi, come riportato in tabella 5.12.

| | WF (L/Kg) del caso specifico Veneto | WF (L/Kg) di Mekonnen e Hoekstra |
|--------------------------------|--|---|
| Mais | 620,3 | 658 |
| Barbabetola da zucchero | 80 | 108 |
| Soia | 1087,6 | 1271 |
| Frumento tenero | 795,9 | 1094 |
| Uva | 205,1 | 432 |

Tabella 5.12: confronto tra i valori di WF in L/Kg ottenuti nel caso di studio con quelli calcolati da Mekonnen e Hoekstra (2010, 2011) per il periodo 1996-2005.

Un altro aspetto fondamentale, nonché caratteristica peculiare dell'indicatore oggetto di studio del presente lavoro, è la distinzione delle tre componenti in cui è suddivisa l'impronta idrica totale (verde, blu e grigia). Da un punto di vista ambientale infatti non è importante solo avere una misura del volume totale dell'impronta idrica ma capire anche di che tipo essa sia, dal momento in cui ciascuna componente ha implicazioni ambientali ed economiche diverse.

Nel presente caso specifico della regione Veneto, il WF totale della produzione agricola è ripartito come in tabella 5.13 e corrisponde alle percentuali riportate in figura 5.18.

| | 2001 | 2011 |
|--|-----------------|-----------------|
| WF _{green} (M m ³ /anno) | 1.687 | 1.712 |
| WF _{blu} (M m ³ /anno) | 483 | 479 |
| WF _{grey} (M m ³ /anno) | 565 | 536 |
| TOTALE (M m³/anno) | 2.735,95 | 2.727,81 |

Tabella 5.13: componenti verde, blu e grigia della produzione agricola totale. Confronto tra l'anno 2001 e 2011.

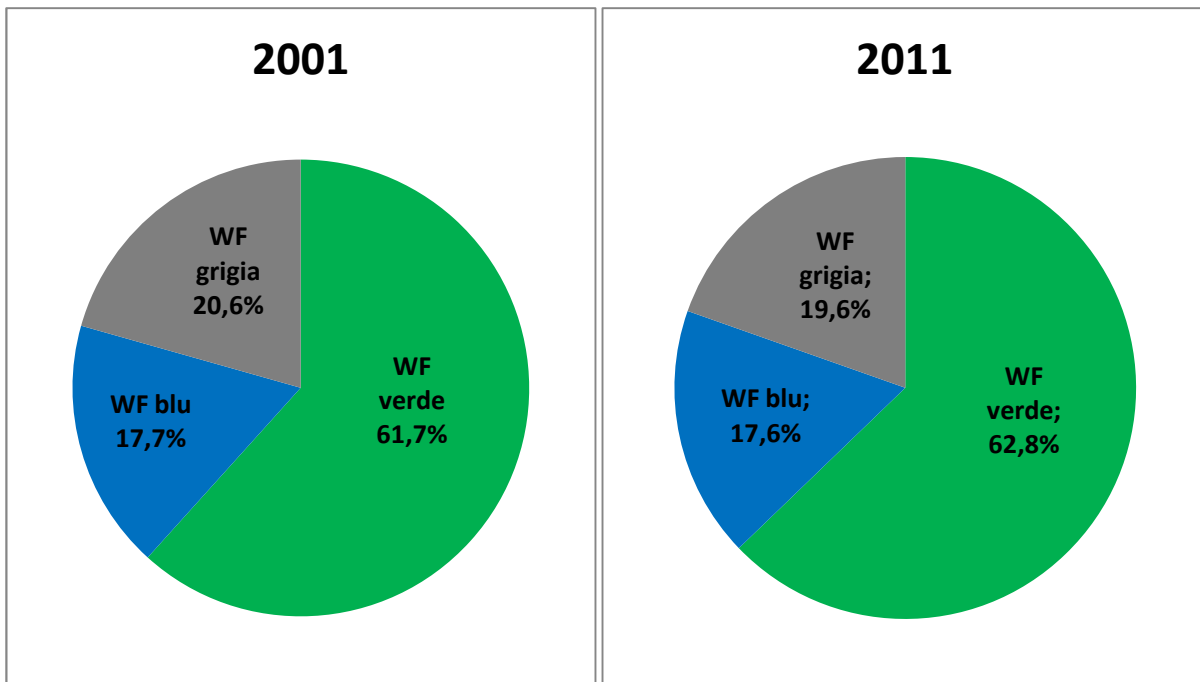


Figura 5.18: componenti % dell'impronta idrica totale per il 2001 e il 2011.

Il contributo maggiore, per entrambi gli anni, è costituito, come era logico aspettarsi, dalla componente verde, determinata dall'acqua di pioggia evapotraspirata dalle colture durante i loro processi di crescita. Questo risultato è in accordo con molti degli studi di WF finora effettuati (solo per citarne alcuni: Ene et al., 2012; Ruini et al., 2013; Aldaya et al., 2009), in primis con quello di Mekonnen e Hoekstra (2010, 2011) presentato al capitolo 3. Per calcolare l'impronta idrica verde è necessario determinare la parte di ET totale attribuita alle precipitazioni (ET_{green}) mediante la relazione:

$$ET_{green} = \min (ET_c, P_{eff}) \quad [mm\backslash periodo]$$

Quando $ET_c > P_{eff}$, allora ET_{green} coincide con le precipitazioni efficaci (P_{eff}), determinate dal software CROPWAT mediante il metodo USDA S.C. Come riportato al capitolo 3, le precipitazioni efficaci equivalgono alla parte di precipitazioni che vengono effettivamente utilizzate dalla coltura, tolte le perdite subite a causa del run-off superficiale e la percolazione in profondità.

L'impronta idrica verde vuole comunicare quanto una coltura sia adatta o meno ad essere coltivata in una determinata zona climatica (Antonelli e Greco, 2013); infatti valori di WF_{verde} molto superiori rispetto a quelli di WF_{blu} , come in questo caso, stanno ad indicare che i fabbisogni idrici delle colture sono in larga misura soddisfatti da apporti idrici naturali quali le piogge, che a scopi

umani hanno molti meno usi rispetto alle acque dolci superficiali e di falda; inoltre l'utilizzo di acqua verde esercita un impatto meno invasivo sugli equilibri ambientali (Aldaya et al., 2010; Antonelli e Greco, 2013). Un altro aspetto positivo legato al consumo di acqua appena citato è il fatto che, non avendo bisogno di essere prelevata o incanalata in quanto è già insita nel sistema pianta-suolo, costa meno anche in termini economici. Al contrario per l'acqua blu ci sono tutti i settori che competono per il suo utilizzo, vedi l'agricoltura stessa, l'industria, gli usi civili. Il prelievo da parte dell'uomo di questo tipo di acqua ha infatti superato la capacità della risorsa stessa di rigenerarsi portando alla situazione attuale in cui regioni del mondo stanno già soffrendo e altre soffriranno di scarsità idrica nei prossimi anni. I principali effetti negativi causati dal sovra sfruttamento sono legati all'abbassamento del livello delle falde, alla riduzione dei flussi idrici ambientali e della qualità idrica stessa ma non solo; l'eccessivo prelievo dalle falde ne provoca la depressurizzazione causando la subsidenza (UNEP, 2003).

Sarebbe possibile fare un'ulteriore distinzione all'interno dell'acqua blu in tre tipi: acqua superficiale, acqua sotterranea rinnovabile, ovvero quella proveniente da falde sotterranee che vengono ricaricate dalle precipitazioni o dallo scioglimento delle nevi e acqua sotterranea fossile (Hoekstra et al., 2011; Antonelli e Greco, 2013). In pratica è molto difficile fare la distinzione a causa dell'insufficienza di dati disponibili (Hoekstra et al., 2011).

La componente blu della produzione agricola della regione Veneto non è variata nell'arco del decennio considerato e infatti ha inciso in misura pressoché identica per entrambi gli anni (17,7% nel 2001 e 17,6% nel 2011).

Nel presente caso di studio si è voluto calcolare anche la terza componente dell'impronta idrica, la grigia. Non tutti gli studi (Aldaya et al., 2009) infatti comprendono anche questa; si ricorda che la metodologia di Water Footprint non essendo ancora normata ISO, l'inclusione o l'esclusione di una o più componenti dipende dalle scelte di chi opera.

L'impronta idrica grigia della produzione agricola della regione Veneto è risultata incidere leggermente meno nel 2011, con una percentuale del 19,6% rispetto al WF totale. Confrontando tale valore con la media globale calcolata da Mekonnen e Hoekstra (2010, 2011) è risultata però essere superiore quasi del doppio. Mediante l'impronta idrica grigia, la metodologia di WF vuole tenere conto dell'inquinamento idrico prodotto dal processo, attraverso il calcolo del volume di acqua necessario per la diluizione degli inquinanti rilasciati. Nel caso specifico si è tenuto conto dell'azoto, il cui limite massimo consentito dalla Direttiva Europea (91/676/EEC) è di 50 mg/L di nitrati (NO₃) che corrispondono a 11,3 mg/L di azoto (N). I valori della quantità di azoto applicato per ettaro derivano dal database FertiStat della FAO, disponibile on-line presso il sito della FAO (www.fao.org). Quando $WF_{grey} > 0$ non significa che sono stati violati gli standard di qualità ma che

una parte della capacità di assimilazione del corpo idrico ricevente è stata consumata. I risultati ottenuti hanno permesso di calcolare quanto ciascuna coltura incida rispetto all'impronta idrica grigia totale; i valori in percentuale sono riportati nei grafici delle figure 5.19 e 5.20 , rispettivamente per il 2001 e il 2011.

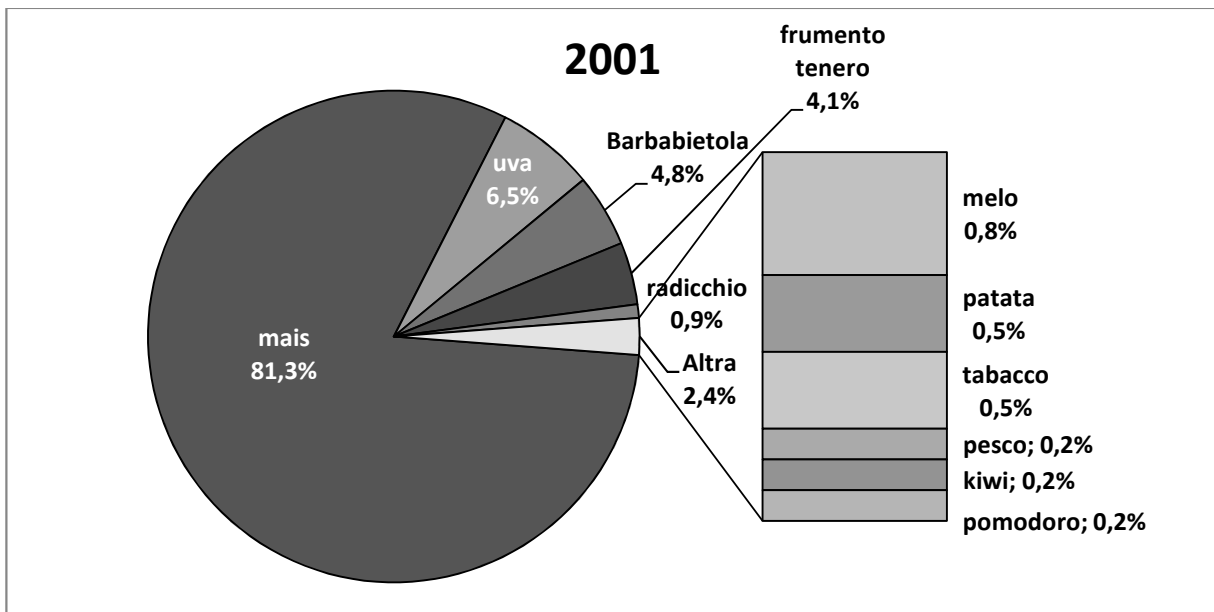


Figura 5.19: contributo di ciascuna coltura all'impronta idrica grigia totale per l'anno 2001.

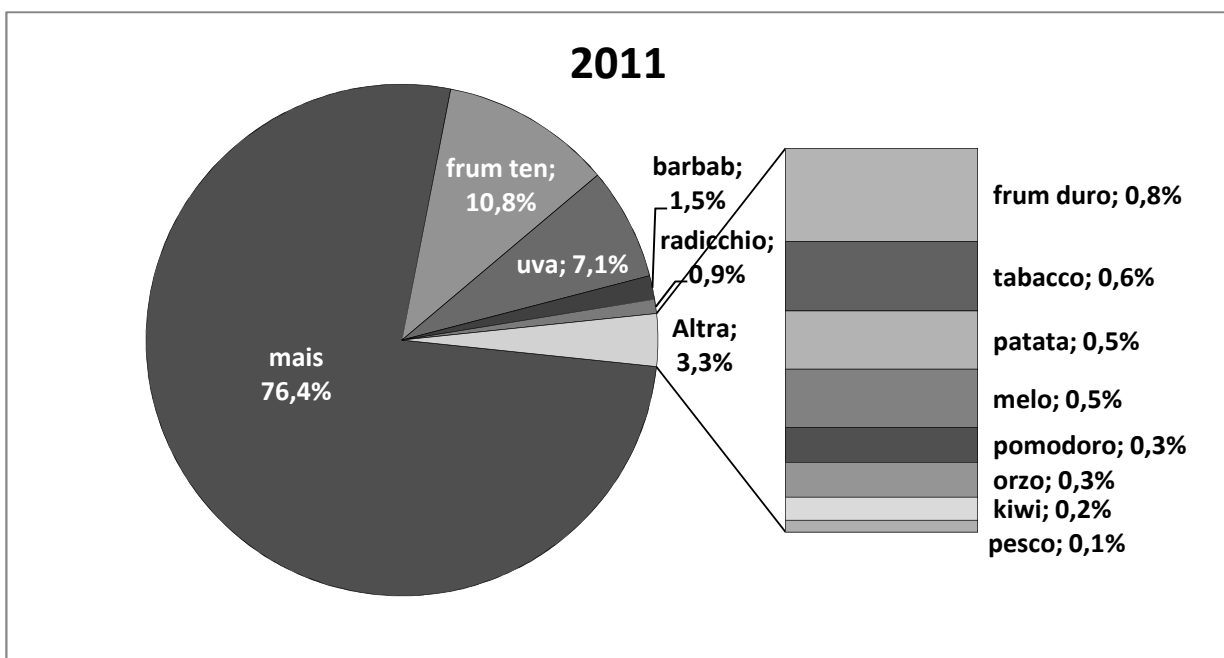


Figura 5.20: contributo di ciascuna coltura all'impronta idrica grigia totale per l'anno 2011.

Nei due grafici non è stata inserita la soia in quanto essendo in grado di fissare l'azoto atmosferico, non necessita di apporti ulteriori di tale elemento. Gli altri fertilizzanti a base di potassio e fosforo non sono stati considerati dal momento in cui per tutte le colture si è tenuto conto dell'azoto; le quantità di P e K somministrate risultano comunque molto basse e pertanto il volume di acqua calcolato come WF grigia necessario per diluire l'azoto fino a livelli di accettabilità è più che sufficiente per diluire anche gli altri fertilizzanti.

Al contrario la coltivazione del mais, a causa della sua elevata produzione in Veneto e del più alto tasso di applicazione dell'azoto (184 Kg/ha) tra le colture considerate, è stato responsabile dell'81,3% dell'impronta idrica grigia totale nel 2001, percentuale che nel 2011 è scesa al 76,4%, in linea con la riduzione della quantità prodotta e il leggero incremento della resa. Infatti si ricorda che anche WF_{grey} si ottiene da un quoziente al cui denominatore c'è la resa.

Dalle considerazioni fatte sulle tre componenti dell'impronta idrica si deduce quanto più importante sia, al fine della sostenibilità di una coltura per un dato territorio, che l'impronta idrica verde abbia un valore elevato e al contrario la somma delle altre due (blu e grigia) sia bassa. Si rimanda alla tabella 5.13 per i valori ottenuti di ciascun "tipo" di impronta riferiti alla produzione agricola della regione Veneto per il 2001 e il 2011.

In conclusione, da un primo confronto dei risultati di WF della produzione agricola regionale per gli anni 2001 e 2011 (tabella 5.10) è emersa una variazione minima del valore di WF nel 2011 che sta ad indicare che, in termini generali, l'impronta idrica delle colture nel decennio trascorso non abbiano subito una sostanziale variazione. In realtà nel 2011 la produzione agricola è scesa complessivamente di circa 1.670.000 tonnellate e quindi a parità di acqua consumata è stata prodotta una quantità inferiore. Ciò vuol dire che le singole colture hanno avuto maggiori necessità idriche nel 2011 e infatti dalla tabella 5.11, si nota che per quasi tutte è stata calcolata un'impronta idrica in L/Kg più elevata, per i motivi citati precedentemente, ovvero fattori climatici, che hanno incrementato l'evapotraspirazione, e rese più basse, che hanno fatto aumentare il valore finale di WF.

CONCLUSIONI

Lo strumento di Water Footprint, così come proposto da Hoekstra et al. (2011), è stato applicato al caso specifico della produzione agricola della regione Veneto. Si è cercato quanto più possibile di utilizzare dati di input reperiti dal contesto locale e questo si è verificato per i valori dei parametri climatici, le rese, le produzioni delle colture e i volumi di irrigazione. I parametri colturali sono invece stati reperiti da Allen et al. (1998) come già fatto da molti studi di WF presenti in letteratura (solo per citarne alcuni: Nazeer, 2009; Mekonnen e Hoekstra, 2010) mentre per i tassi di applicazione dell'azoto si è fatto riferimento al database FertiStat della FAO.

Il calcolo dell'impronta idrica ha riguardato l'85% della produzione agricola di ciascuna provincia appartenente alla regione Veneto per gli anni 2001 e 2011, al fine di confrontare i valori di WF totali nel decennio trascorso valutando sia quanto ciascuna provincia contribuisca rispetto al totale sia quanto incidono le singole tipologie di coltura. Nel confrontare i due anni si è potuta notare una riduzione, seppur leggera, dell'impronta idrica nel 2011 la quale, da 2.735 M m³/anno nel 2001, è scesa a 2.727 M m³/anno. Le ripartizioni percentuali delle province sono cambiate tra i due anni considerati, infatti nel 2001 quella che ha avuto il contributo maggiore è stata Verona mentre nel 2011 è passata al primo posto Rovigo. Nonostante ciò, la produzione totale nel 2011 è stata inferiore rispetto al 2001, quindi l'analisi più accurata a livello di singole colture ha mostrato valori di WF in L/Kg più alti nel 2011.

Grazie all'indicatore di Water Footprint è possibile tener conto non solo dell'acqua fornita per irrigazione, come calcolato anche da altri indicatori di sostenibilità in ambito di gestione delle acque, ma anche dell'acqua verde, la quale, seppur il suo utilizzo comporti impatti minori rispetto alla blu, è ad ogni effetto una risorsa di cui l'uomo si appropria per le sue necessità. Infatti, qualora non vi fossero colture, l'acqua di pioggia rimarrebbe disponibile per l'ambiente naturale. Nonostante ciò, l'utilizzo di acqua blu ha impatti rilevanti verso la disponibilità futura di acqua dolce e quindi quanto più l'impronta idrica verde delle colture è maggiore rispetto alla blu, più esse risultano sostenibili ed idonee, da un punto di vista idrico, ad essere coltivate in quell'area. Nel caso di studio della regione Veneto la maggior parte dell'impronta idrica è associata proprio alla componente verde (61,7% nel 2001 e 62,8% nel 2011); l'impronta idrica blu, rimasta sostanzialmente invariata nei due anni considerati, è stata poco meno del 18%. Anche lo studio di Mekonnen e Hoekstra (2010, 2011) ha individuato la componente verde come preponderante. Secondo vari autori proprio questo tipo di acqua permetterà di garantire la sicurezza alimentare futura attraverso una produzione agricola quanto più pluviale possibile, in vista dell'incremento

demografico e dei cambiamenti climatici che minacceranno il ciclo idrologico (Rockström, 2001; Aldaya et al., 2010a; Aldaya et al., 2010b).

Non va dimenticato che il Water Footprint permette di quantificare anche la capacità dell'acqua di assimilare gli inquinanti prodotti dal processo di crescita delle colture, nonché la parte di fertilizzanti e pesticidi idrosolubili che non viene assorbita dalle piante e che di conseguenza finisce nelle acque. Ciò viene tenuto conto attraverso la componente grigia, il cui contributo rispetto al WF totale nel presente caso di studio è risultato essere del 20,6% nel 2001 e del 19,6% nel 2011. Si fa notare che il calcolo dell'impronta idrica grigia non è stato sviluppato con elevato dettaglio ed accuratezza poiché non sono disponibili dati validati relativi agli spandimenti di fertilizzanti sito specifici ma si sono presi in considerazione dati medi nazionali. Inoltre l'impronta grigia ad oggi tiene conto esclusivamente dei fertilizzanti additivati in quantità più elevate rispetto agli antiparassitari, i quali nell'ambiente idrico hanno effetti che richiederebbero di essere inseriti nell'indicatore non sono in termini di diluizione necessaria per il ripristino di condizioni di accettabilità del corpo idrico nel quale vengono immessi.

Ad una prima analisi per la regione Veneto si nota un leggero miglioramento nell'impronta idrica delle colture nel decennio intercorso tra il 2001 e il 2011. Ma tale indicatore deve essere analizzato più nel dettaglio per restituire informazioni utili in merito alla sostenibilità o al margine di miglioramento nella gestione idrica in ambito agricolo. Infatti, andando a confrontare i valori di WF in L/Kg delle singole colture, si nota in realtà che questi nel 2011 sono risultati quasi tutti più alti, ovvero a parità di peso prodotto i litri di acqua consumati sono stati superiori del 2001. Questo perché nel 2011 si sono verificate sia rese inferiori che condizioni climatiche che hanno fatto incrementare le evapotraspirazioni delle colture e di conseguenza i valori di impronta idrica. Ciò a sottolineare il forte legame che tale indicatore ha con la meteorologia e che quindi è rappresentativo dell'area in cui avvengono i consumi idrici. Pertanto l'abbassamento dell'impronta idrica del 2011 è da imputare al generale decremento della produzione agricola avvenuta in quest'anno e non è invece imputabile ad un miglioramento della gestione idrica.

Il caso di studio ha comunque permesso di evidenziare che questo indicatore ha il pregio di individuare, in relazione anche al clima dell'area in esame, colture che risultano essere più sostenibili di altre come nel caso per il Veneto della vite che generalmente non richiede, oltre a quelle meteoriche, di ulteriori apporti idrici irrigui.

Si fa notare che i prodotti agricoli sono la fonte principale della produzione di cibo e da studi effettuati è emerso che la maggior parte di acqua consumata per produrre il prodotto finito sta proprio nella fase di coltivazione, fase di cui si è tenuto conto nel caso di studio. E' logico pensare

che più un prodotto finito richiede lavorazione, più la sua impronta idrica finale aumenta. Ad esempio la frutta o gli ortaggi, oltre ad avere la fase di lavaggio, non richiedono altri passaggi prima del loro consumo (se non ulteriormente processati per produrre succhi o conserve) e pertanto il loro ciclo di vita si interrompe con il loro consumo senza richiedere ulteriori impronte idriche; al contrario la barbabietola da zucchero richiede vari processi industriali nel suo ciclo di vita volto all'estrazione del saccarosio, sua raffinazione e imballaggio, così come mais e grano devono essere lavorati per ottenere le farine.

Il lavoro di tesi rappresenta, nonostante non sia comprensiva dell'intero ciclo di vita del prodotto agricolo, un primo approccio al calcolo dell'impronta idrica a scala territoriale ampia effettuata in Italia per la crescita delle colture anche se, mancando al momento attuale una metodologia standard riconosciuta a livello internazionale, è necessario interpretare i risultati ottenuti in riferimento alle assunzioni fatte inizialmente. La pubblicazione, prevista entro la fine del 2014, della norma ISO 140046 specifica sul Water Footprint di prodotto, consentirà a breve di avere una guida univoca di applicabilità del metodo per la valutazione di singoli prodotti (compresi ovviamente anche quelli agricoli) cosicché i risultati ottenuti in tali studi potranno essere confrontati tra loro. Per ora la scelta dei dati da utilizzare e di cosa includere ed escludere dallo studio è soggettiva. Ciò non toglie che i risultati ottenuti in questo studio siano validi e significativi ai fini della metodologia e che rappresentino un buon indicatore per comprendere dinamiche di gestione a livello provinciale e regionale. Esso, per esempio, potrà essere ricalcolato nel momento in cui verranno poste in essere politiche di sostenibilità della risorsa idrica come l'obbligo di riutilizzo delle acque reflue debitamente trattate in agricoltura o limiti di utilizzo dei nutrienti, ecc.

L'interesse crescente verso questa tematica sta nel riconoscimento del forte legame tra i beni di consumo e l'impatto che essi hanno nelle risorse idriche d'acqua dolce. Infatti, facendo un esempio per l'Italia, l'acqua consumata per usi civili è solo il 4% del totale; il restante 96% dell'impronta idrica è relativo al consumo di prodotti agricoli (89%) e industriali (7%) (Hoekstra e Mekonnen, 2012; Antonelli e Greco, 2013).

Ciò che si propone l'impronta idrica è di quantificare il consumo di acqua, di comunicarlo mediante concetti semplici e comprensibili e, a livello più tecnico, di dare informazioni per poter mettere in atto dei miglioramenti nei processi produttivi. Nel caso dell'agricoltura, affinché questa possa essere maggiormente sostenibile si pensa all'aumento della produttività idrica come metodo di riduzione dei consumi idrici. Ciò vuol dire aumentare la resa per unità d'acqua e questo può avvenire mediante miglioramenti tecnologici riferiti soprattutto all'incremento dell'efficienza dei sistemi di irrigazione, riutilizzo delle acque reflue trattate, modifica delle pratiche agricole in modo che sulla base dei parametri climatici di una determinata area si preferiscano colture più adatte a

crescere in quel luogo; ad esempio colture con radici più profonde, come la vite, sono in grado di tollerare la siccità più di altre. Inoltre è importante ridurre l'evaporazione dal suolo, fare una programmazione mirata dell'irrigazione per evitare inutili sprechi, ma anche implementare una migliore governance dell'acqua.

Riferimenti bibliografici

- Aldaya M.M., Martínez-Santos P., Llamas M.R. (2010). Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. *Water Resour Manage* (2010) 24:941–958
- Aldaya, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010) The water needed for Italians to eat pasta and pizza, *Agricultural Systems*, 103: 351-360.
- Aldaya M. M. , Allan J. A. , Hoekstra A. Y. , (2010), Strategic importance of green water in international crop trade, *Ecological Economics* 69, 887-894
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998), Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy (disponibile in: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm> 1 April 2004)
- Antonelli M., and Greco F. (eds.) (2013) *L'acqua che mangiamo: Cos'è l'acqua virtuale e come la consumiamo*, Edizioni Ambiente, Milan, Italy
- Baldoni R. e Giardini L. (1982), *Coltivazioni erbacee*, Patron Editore
- Berger M. and Finkbeiner M. (2010), Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment? *Sustainability* 2010, 2, 919-944; doi:10.3390/su2040919
- ARPAV (2005), *A proposito di...Agrometeorologia*
- ARPAV e Regione del Veneto (2005), *Il Veneto e il suo ambiente nel 21° secolo*
- ARPAV (2011), *Atlante agro climatico del Veneto: Temperature*, Dipartimento Regionale Sicurezza del Territorio Servizio Centro Meteorologico di Teolo (PD)
- ARPAV (2012), *Stato delle acque sotterranee Anno 2011*

- AWS (2012), The AWS International Water Stewardship Standard. FIRST DRAFT FOR STAKEHOLDER INPUT –Version 03.13.2012 (<http://www.nature.org/ourinitiatives/habitats/riverslakes/aws-draft-standards-031312.pdf>)

- Baruffi F., Cisotto A., Cimolino A., Ferri M., Monego M., Norbiato D., Cappelletto M., Bisaglia M., Pretner A., Galli A., Scarinci A., Marsala V., Panelli C., Gualdi S., Bucchignani E., Torresan S., Pasini S., Critto A., Marcomini A. (2012), Climate change impact assessment on Veneto and Friuli plain groundwater. Part I: An integrated modeling approach for hazard scenario construction. *Science of the Total Environment* 440 (2012) 154–166

- Berger M. and Finkbeiner M. (2010), Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment? *Sustainability* 2010, 2, 919-944; doi:10.3390/su2040919

- Bocchiola D., Nana E., Soncini A. (2013), Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agricultural Water Management* 116 (2013) 50– 61

- Borin M. (1999), Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura, CLEUP Editrice-Padova

- CCE (Commissione delle Comunità Europee) (2009), Documento di lavoro dei servizi della commissione che accompagna il Libro bianco sull'adattamento ai cambiamenti climatici. Le problematiche dell'adattamento dell'agricoltura e delle zone rurali europee ai cambiamenti climatici.

- CE (Commissione Europea) (2010), la Direttiva Nitrati dell'UE. (<http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/nitrates/it.pdf>)

- Chapagain A. K. e Hoekstra A.Y.(2004): Water Footprint of Nations, Volume 1 Main Report, Research Report Series n°16, (disponibile in: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf>)

- Chapagain A.K, Hoekstra A.Y., Savenije H.H.G, Gautam R. (2006), The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton

- products on the water resources in the cotton producing countries, *Ecological Economics* 60, 186–203
- Chapagain, A.K., and Hoekstra, A.Y. (2007) The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands, *Ecological Economics* 64(1): 109-118.
 - Chiaudani A. (2008) *Agroclimatologia statica e dinamica del Veneto. Analisi del periodo 1956-2004*, Tesi di dottorato di ricerca, Università degli Studi di Padova.
 - Chiaudani A., Barbi A. et al. (2008), *Veneto Region Climatic Trends in the period 1956-2004*. Sixth International Conference on Ethics and Climate Change: Ethics and Climate Change. Scenarios for justice and Sustainability, Padova
 - Clarke D., Smith M., El-Askari K. (1998), *CropWat for Windows : User Guide*. (<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~jgoicochea/Manuales/CROPWAT4W.pdf>)
 - Coldiretti Veneto (A cura di A. Gandini, E.Rullani, A.Rusconi) 2008, *La gestione delle acque nella Regione Veneto: un piano per il bilancio idrico*, Venezia
 - Commissione Europea (2011), *Acqua per la vita: il contributo della direttiva quadro sulle acque alla salvaguardia delle risorse europee*. (disponibile in http://ec.europa.eu/environment/water/pdf/wfd_brochure_it.pdf)
 - Commissione Europea (2012), *L'ambiente per gli europei: stiamo facendo abbastanza per le acque europee?* (disponibile in <http://ec.europa.eu/environment/news/efe/pdf/efe47/IT-EFE47.pdf>)
 - Dastane N. G. (1978), *Effective rainfall*, FAO irrigation and drainage paper. Paper n. 25 (<http://www.fao.org/docrep/X5560E/X5560E00.htm>)
 - De Bruijn H., Van Duin R., Huijbregts M. A. J. (2001), *Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards. Final report, may 2001* (<http://media.leidenuniv.nl/legacy/new-dutch-lca-guide-part-1.pdf>)

- De Vito Laura (2010), La normativa comunitaria in materia di acque. Amministrazione in Cammino Rivista elettronica di diritto pubblico di diritto dell'economia e di scienza dell'amministrazione a cura del centro di ricerca sulle amministrazioni pubbliche "Vittorio Bachelet", LUISS (disponibile <http://www.amministrazioneincammino.luiss.it/wp-content/uploads/2010/10/La-normativa-comunitaria-in-materia-di-acque1.pdf>)
- Ecoinvent (2010) *Ecoinvent Data v2.2*, Ecoinvent Centre, Switzerland, www.ecoinvent.org
- European Commission (EC)-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook (2010)- General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union
- EEA, 2003. Europe's water: an indicator-based assessment Topic report 1/2003, 97 pp
- EEA (2009), Water resources across Europe-Confronting water scarcity and drought. Report n.2
- EEA Report (2012), Towards efficient use of water resources in Europe,(disponibile in <http://www.eea.europa.eu/publications/towards-efficient-use-of-water>)
- EPA (2006), Life Cycle assessment: Principles and practice. (disponibile in http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf)
- European Commission (2001), European implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Strategic Document (disponibile in: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/objectives/pdf/strategy.pdf>)
- FAO, 2003, Agriculture, food and water (disponibile in <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/agricfoodwater.pdf>)
- FAO (2003), Review of World Water Resources by Country. Water Reports 23, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rome

- FAO (2007), Water at a Glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty. (<http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>)
- FAO (2007), FertiStat: FAO's information system on fertilizer use. Plant Production and Protection Division (http://www.fao.org/ag/agp/fertistat/index_en.htm)
- FAO (2010) 'CROPWAT 8.0 model', FAO, Rome, www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.
- Fumagalli M., Marco Acutisa M., Fabrizio Mazzetto F., Francesco Vidotto F., Sali G., Bechini L. (2010), An analysis of agricultural sustainability of cropping systems in arable and dairy farms in an intensively cultivated plain. *Europ. J. Agronomy* 34 (2011) 71–82
- Gallerani V., La Via G., Zanni G. (2009), Acqua e agricoltura in Italia: valutazione di scenari e strumenti di supporto alle decisioni. Frano Angeli ed., Milano, Italy
- Gasparetto G., Giandon P., Fantinato L. (2007), L'applicazione della Direttiva Nitrati nella regione Veneto. ARPAV Servizio Osservatorio Regionale Suolo e Rifiuti. Atti del XX congresso internazionale "Biologia verso il futuro"
- GEMI (2002), Connecting the Drops Toward Creative Water Strategies: A Water Sustainability Tool (disponibile in <http://www.gemi.org/resources/ConnectingTheDrops.pdf>)
- GEMI (2007), Collecting the Drops: a Water Sustainability Planner. The CEO Water Mandate (<http://www.gemi.org/waterplanner/Documents/CollectingDrops.pdf>)
- George B.A., Shende S.A., Raghuwanshi N.S. (2000), Development and testing of an irrigation scheduling model. *Agricultural Water Management* 46, 121±136
- Gerbens-Leenes P.W. and Hoekstra A.Y. (2008), Business water footprint accounting: a tool to assess how production of goods and services impacts on freshwater resources

- worldwide. Value of Water Research Report Series No. 27, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.
- Gheorghe Stancalie G., Marica A., Toullos L. (2010), Using earth observation data and CROPWAT model to estimate the actual crop evapotranspiration. *Physics and Chemistry of the Earth* 35 (2010) 25–30
 - Gleick, P. H. (1993) *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, Oxford University Press, Oxford
 - Green T. R., Taniguchi M., Kooi H., Gurdak J.J, Allen D.M., Hiscock K.M., Treidel H., Aureli A. (2011), Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology* 405 (2011) 532–560
 - Grossman M. (2000), *Nitrates From Agriculture in Europe: The EC Nitrates Directive and its Implementation in England*, 27 B.C. Envtl. Aff. L. Rev. 567
 - Hanjra M.A., Qureshi M.E. (2010), Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy* 35 (2010) 365–377
 - Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., 2002. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands
 - Hoekstra A. Y. (2003), Virtual Water trade: proceedings of the international expert meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series n.12
 - Hoekstra A. Y., Chapagain A. K., and Mekonnen M. M. (2011), *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Earthscan, London, UK
 - Iital A., Pachel K., Deelstra J. (2008), Monitoring of diffuse pollution from agriculture to support implementation of the WFD and the Nitrate Directive in Estonia. *environmental science & policy* 11 (2008) 185–193

- INEA (2009), Rapporto sullo stato dell'irrigazione in Veneto. Programma interregionale: monitoraggio dei sistemi irrigui delle regioni centro-settentrionali.
- IPCC, Climate change and water, Technical paper VI, 2008
- ISO (1997), Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. (<http://www.stanford.edu/class/cee214/Readings/ISOLCA.pdf>)
- ISO (2007), ISO 14040:2006 Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework. (http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=37456)
- *ISO 14040:2006 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework*; European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2006
- ISTAT (2012), Annuario statistico italiano 2012, Roma
- ISTAT (2013), La superficie dei comuni, delle province e delle regioni italiane. Dati al 9 ottobre 2011 (<http://www.istat.it/it/archivio/82599>)
- Jefferies D., Muñoz I., Hodges J., King V. J., Aldaya M., Ercin A. E., Milà i Canals I., Hoekstra A. Y. (2012), Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production* 33 (2012) 155 e 166
- JPMorgan (2008), Watching water. A guide to evaluating corporate risks in a thirsty world. Global Equity Research 31 March 2008 (http://pdf.wri.org/jpmorgan_watching_water.pdf)
- Kar G., Verma H. N. (2004), Climatic water balance, probable rainfall, rice crop water requirements and cold periods in AER 12.0 in India. *Agricultural Water Management* 72 (2005) 15–32
- Kuo S.F., Ho S.S., Liu C.W. (2006), Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. *Agricultural Water Management* 82 (2006) 433–451

- Liefferink D., Wiering M., Uitenboogaart Y. (2010), The EU Water Framework Directive: A multi-dimensional analysis of implementation and domestic impact. *Land Use Policy* 28 (2011) 712–722
- Liu, J. G., Williams, J. R., Zehnder, A. J. B. and Yang, H. (2007) ‘GEPIC: Modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale’, *Agricultural Systems*, vol 94, no 2, pp478–493
- Liu, J., Zehnder, A. J. B. and Yang, H. (2009) ‘Global consumptive water use for crop production: The importance of green water and virtual water’, *Water Resources Research*, vol 45, pW05428
- Lugaresi Nicola (2004), *Diritto dell’ambiente*, seconda edizione, CEDAM
- Maragno Alessio, tesi di laurea, A.A. 2010/2011, Water Footprint di un prodotto alimentare biologico: studio pilota per il calcolo dell’indicatore e la valutazione degli impatti
- Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2010) ‘A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat’, *Hydrology and Earth System Sciences*, vol 14, pp1259–1276
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010) The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No.47, UNESCO-IHE.
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2011), The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1577-1600 (disponibile in: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Mekonnen-Hoekstra-2011-WaterFootprintCrops.pdf>)
- Mekonnen M.M, Hoekstra A.Y.(2011): National Water Footprint Accounts: the green, blue and grey Water Footprint of production and consumption, Volume 1 main report, Research

Report Series n° 50 (disponibile in: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report50-NationalWaterFootprints-Vol1.pdf>)

- Milà i Canals L., Chenoweth J., Chapagain A., Orr S., Antón A., Clift R. (2009), Assessing Freshwater Use Impacts in LCA Part I: Inventory Modelling and Characterisation Factors for the Main Impact Pathways. *International Journal of Life Cycle Assessment* 14 (1), 28
- Molden D., IWMI (2007), Water for food, Water for life. Comprehensive assessment of water management in agriculture, Earthscan (http://books.google.it/books?id=WRC2TbHeyU4C&printsec=frontcover&hl=it&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Monteny G.J. (2001), The EU Nitrates Directive: A European Approach to Combat Water Pollution from Agriculture. *TheScientificWorld* (2001) 1(S2), 927–935
- Morris, B L, Lawrence, A R L, Chilton, P J C, Adams, B, Calow R C and Klinck, B A. (2003) Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management. Early Warning and Assessment Report Series, RS. 03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Morrison J., Schulte P., Schenck R., 2009, *An Analysis of Methods and Tools for Measuring Water Use and Its Impacts*, Pacific Institute Oakland, California, USA; Institute for Environmental Research and Education Seattle, Washington, USA
(disponibile in http://www.pacinst.org/topics/globalization_and_environment/ceo_water_mandate/UNEP_Corporate_Water_Accounting_Public_Draft.pdf)
- Nazeer Muhammad (2009), Simulation of maize crop under irrigated and rainfed conditions with cropwat model. *Journal of Agricultural and Biological Science*, vol. 4, no.2, march 2009, 68-73
- Parish E.S., Kodra E., Steinhäuser K., Ganguly A.R.(2012), Estimating future global per capita water availability based on changes in climate and population. *Computers & Geosciences* 42 (2012) 79–86

- Peterson C.T, Connolley W.M e Fleck J. (2008), The myth of the 1970s global cooling scientific consensus. American Meteorological Society
- Pfister S., Koehler A., Hellweg S. (2009), Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 4098–4104
- Rattikarn Kongboon R. and Sampattagul S. (2012), The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. Procedia - Social and Behavioral Sciences 40 (2012) 451 – 460
- Regione Veneto (2009), PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE: sintesi degli aspetti conoscitivi, Allegato A1 (disponibile in: <http://repository.regione.veneto.it/UCI/Piano%20Tutela%20Acque/Piano%20Tutela%20Acque%20Allegato%20A%201.pdf>)
- Regione Veneto (2009), PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE: Indirizzi di Piano, Allegato A2 (disponibile in: <http://repository.regione.veneto.it/UCI/Piano%20Tutela%20Acque/Piano%20Tutela%20Acque%20Allegato%20A%202.pdf>)
- Regione Veneto (2010), Disciplina Generale per la TUTELA DELLE ACQUE DALL'INQUINAMENTO E DI GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE, Regione Veneto, 2010 (Disponibile in: <http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Ambiente/Acqua+e+difesa+del+suolo/Acqua/Guida+2010+per+la+tutela+e+la+gestione+delle+acque.htm>)
- Ruini L., Marino M., Pignatelli S., Laio F., Ridolfi L.(2013), Water footprint of a large-sized food company: The case of Barilla pasta production, Water Resources and Industry <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2013.04.002>
- SAIC (Scientific Application International Corporation) (2006), Life Cycle Assessment: principles and practice. U.S. EPA. (<http://nepis.epa.gov>)

- Savenije, H. H. G. (2000): Water scarcity indicators; the deception of the numbers, *Phys Chem Earth*, 25, 199–204

- Siebert, S. and Döll, P. (2010) ‘Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation’, *Journal of Hydrology*, vol 384, no 3–4, pp198–207

- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

- Smith M. and Kivumbi D. (2002), Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies. *FAO Water Report* n. 22, pg. 109 (<http://www.fao.org/docrep/004/Y3655E/y3655e05.htm>)

- Thimme Gowda P., Manjunaththa S. B., Yogesh T. C. and Sunil A. Satyareddi (2013), Study on Water Requirement of Maize (*Zea mays L.*) using CROPWAT Model in Northern Transitional Zone of Karnataka. *JECET*; December 12- February 2013; Vol.2.No.1, 105-113

- UNEP (2003), *Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and options for management*. Early Warning and Assessment Report Series, RS 03-3, Nairobi

- UNEP (United Nations Environment Programme), 2009. *Corporate Water Accounting*

- UNEP (2011), *Water Footprint and Corporate Water Accounting for Resource Efficiency* (disponibile in: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1411xPA-WaterFootprint.pdf>)

- UN ESCAP (2012), *Water Security & the A UN-Water Analytical Brief*. Global Water Agenda (http://www.unwater.org/downloads/watersecurity_analyticalbrief.pdf)

- UNESCO, UN-WATER (2003), Climate changes the water rules: How water managers can cope with today's climate variability and tomorrow's climate change, Dialogue in water and climate (disponibile in: <http://www.unwater.org/downloads/changes.pdf>)
- UNESCO (2006), Water a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2. (disponibile in <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001454/145405e.pdf#page=135>)
- UNESCO, UN-WATER (2012), Managing water under uncertainty and risk, volume 1. (disponibile in <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf>)
- United Nations Development Programme (UNDP) (2006) , Lo sviluppo umano rapporto 2006: 17. l'acqua tra potere e povertà.
- United Nations (2012), Agriculture development and food security-Report of the Secretary-General. (disponibile in http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/67/294&referer=http://sustainabledevelopment.un.org/&Lang=E)
- Vanham D., Mekonnen M.M. , Hoekstra A. Y. (2013), The water footprint of the EU for different diets, Ecological Indicators 32, 1–8
- Van Oel P.R , Mekonnen M.M, Hoekstra A.Y, The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. Ecological Economisc 69, 82-92
- Veneto Agricoltura (2002), Rapporto 2001 sulla congiuntura del settore agroalimentare veneto.
- Veneto Agricoltura (2012), Rapporto 2011 sulla congiuntura del settore agroalimentare veneto.

- Wall D., Jordan P., Melland A.R., Mellander P., Buckley C., Reaney S.M. , Shortle G. (2011), Using the nutrient transfer continuum concept to evaluate the European Union Nitrates Directive National Action Programme. *Environmental science & policy* 14 (2011) 664 – 674

- WBCSD (2009), Water for Business: Initiatives guiding sustainable water management in the private sector (http://cmsdata.iucn.org/downloads/water4business_1.pdf)

- WHO (World Health Organization), (2008). Safer Water, Better Health: Costs, benefits, and sustainability of interventions to protect and promote health.

- WWC (World Water Council) 2009; POLITICS GETS INTO WATER WORLD WATER COUNCIL 2006-2009. Marseille – France

- WWC (2012), CONSTITUTION & BY-LAWS WORLD WATER COUNCIL 2013 – 2015. Marseille - France

- WWF (2006), La partecipazione pubblica nel governo delle acque. Traduzione delle linee guida sulla partecipazione pubblica in relazione alla Direttiva Quadro 2000/60/CE. Editoria Multimediale e Pubblicità - WWF Italia (http://awsassets.wwf.panda.org/downloads/la_partecipazione_pubblica_nel_governo_delle_acque.pdf)

- WWF 2008, UK Water footprint: The impact of the UK's food and fibre consumption on global water resources. (Disponibile in http://www.wwf.se/source.php/1407043/wwf_uk_footprint%5B1%5D.pdf)

- WWF-SABmiller (2009), Identifying & addressing water risks in the value chain. (http://www.sabmiller.com/files/reports/water_footprinting_report.pdf)

- Zailin Huo, Xiaoqin Dai, Shaoyuan Feng, Shaozhong Kang, Guanhua Huang (2013), Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China, *Journal of Hydrology* 492 (2013) 24–34

- Zeman C., Rich M. and & Rose J., World water resources: Trends, challenges, and solutions. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* (2006) 5:333–346
- Zhiming F., Dengwei L., Yuehong Z., Water Requirements and Irrigation Scheduling of Spring Maize Using GIS and CropWat Model in Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Chinese Geographical Science* 2007 17(1) 056–063
- Zwart, S. J., Bastiaanssen, W. G. M., De Fraiture, C. and Molden, D. J. (2010) ‘A global benchmark map of water productivity for rainfed and irrigated wheat’, *Agricultural Water Management*, vol 97, no 10, pp1617–1627

Sitografia

- <http://academic.evergreen.edu>
- www.agri.istat.it
- www.agrometeorologia.it
- www.altraofficina.it
- www.amministrazioneincammino.luiss.it
- www.arpa.veneto.it
- www.assodaf.it
- www.attac-cuneo.it
- www.bsigroup.com
- www.canary.it
- <http://ceowatermandate.org>
- <http://cianciullo.blogautore.repubblica.it>
- www.climate.org
- www.cooperazioneallosviluppo.esteri.it
- <http://www.csqa.it>
- www.direttivaacque.minambiente.it
- www.diritto.it
- www.dispa.unict.it
- <http://ec.europa.eu>
- <http://en.wikipedia.org>
- <http://europa.eu>
- <http://www.fao.org>
- www.gemi.org
- www.globalreporting.org
- www.greenreport.it
- www.iso.org
- www.istat.it
- <http://lcaalliance.com>
- www.legambiente.it
- <http://www.lni.unipi.it>
- www.nature.org
- www.regione.veneto.it
- www.repubblica.it
- www2.unibas.it
- www.unimondo.org
- www.un.org
- <http://unesdoc.unesco.org>
- <http://venus.unive.it>
- www.volint.it
- www.waterfootprint.org

- www.wbcsd.org
- <http://it.wikipedia.org>

APPENDICE A

- Provincia di Venezia

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2.8 | 88 | 121 | 3.0 | 5.0 | 0.35 |
| Febbraio | 4.3 | 81 | 121 | 4.0 | 7.6 | 0.68 |
| Marzo | 9.0 | 85 | 156 | 5.0 | 11.5 | 1.25 |
| Aprile | 13.0 | 79 | 164 | 6.0 | 15.7 | 2.19 |
| Maggio | 19.0 | 76 | 156 | 7.0 | 19.1 | 3.34 |
| Giugno | 21.2 | 73 | 164 | 8.0 | 21.2 | 4.08 |
| Luglio | 22.6 | 76 | 130 | 9.0 | 22.1 | 4.19 |
| Agosto | 23.5 | 76 | 121 | 8.0 | 18.9 | 3.78 |
| Settembre | 18.4 | 81 | 130 | 7.0 | 14.7 | 2.50 |
| Ottobre | 14.9 | 88 | 112 | 5.0 | 9.3 | 1.34 |
| Novembre | 7.8 | 88 | 147 | 3.0 | 5.3 | 0.67 |
| Dicembre | 3.2 | 60 | 121 | 3.0 | 4.4 | 0.73 |
| Media | 13.3 | 79 | 137 | 5.7 | 12.9 | 2.09 |

Tabella 1: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Venezia per l'anno 2001.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 42.8 | 39.9 |
| Febbraio | 17.6 | 17.1 |
| Marzo | 74.2 | 65.4 |
| Aprile | 81.1 | 70.6 |
| Maggio | 68.1 | 60.7 |
| Giugno | 73.9 | 65.2 |
| Luglio | 65.6 | 58.7 |
| Agosto | 58.3 | 52.9 |
| Settembre | 93.6 | 79.6 |
| Ottobre | 95.1 | 80.6 |
| Novembre | 137.7 | 107.4 |
| Dicembre | 72.6 | 64.2 |
| Media | 880.6 | 762.1 |

Tabella 2: Precipitazioni medie in provincia di Venezia per l'anno 2001.

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2,9 | 83 | 1,9 | 3 | 5,0 | 0,48 |
| Febbraio | 4,7 | 81 | 1,9 | 4 | 7,6 | 0,76 |
| Marzo | 8,4 | 78 | 2,5 | 5 | 11,5 | 1,43 |
| Aprile | 14,2 | 73 | 2,2 | 6 | 15,7 | 2,49 |
| Maggio | 18,6 | 72 | 2,0 | 7 | 19,1 | 3,46 |
| Giugno | 21,4 | 75 | 1,9 | 8 | 21,2 | 4,02 |
| Luglio | 23,6 | 73 | 1,7 | 9 | 22,1 | 4,42 |
| Agosto | 23,6 | 75 | 1,6 | 8 | 18,9 | 3,85 |
| Settembre | 19,9 | 77 | 1,7 | 7 | 14,7 | 2,78 |
| Ottobre | 13,2 | 79 | 1,9 | 5 | 9,3 | 1,52 |
| Novembre | 9,2 | 89 | 1,6 | 3 | 5,3 | 0,65 |
| Dicembre | 3,8 | 86 | 1,6 | 3 | 4,4 | 0,41 |
| Media | 13,6 | 78 | 1,9 | 5,7 | 12,9 | 2,19 |

Tabella 3: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Venezia per l'anno 2011.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 59 | 53,4 |
| Febbraio | 88,2 | 75,8 |
| Marzo | 103,4 | 86,3 |
| Aprile | 55,8 | 50,8 |
| Maggio | 64,6 | 57,9 |
| Giugno | 98,5 | 83 |
| Luglio | 77,2 | 67,7 |
| Agosto | 49,2 | 45,3 |
| Settembre | 131,8 | 104 |
| Ottobre | 78,7 | 68,8 |
| Novembre | 113,3 | 92,8 |
| Dicembre | 102,6 | 85,8 |
| Totale | 1022,3 | 871,5 |

Tabella 4: Precipitazioni medie in provincia di Venezia per l'anno 2011.

- Provincia di Verona

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2.4 | 85 | 147 | 3.0 | 5.0 | 0.41 |
| Febbraio | 4.2 | 73 | 147 | 4.0 | 7.7 | 0.85 |
| Marzo | 8.8 | 80 | 164 | 5.0 | 11.5 | 1.37 |
| Aprile | 12.4 | 76 | 181 | 6.0 | 15.7 | 2.26 |
| Maggio | 18.6 | 72 | 164 | 7.0 | 19.1 | 3.44 |
| Giugno | 21.0 | 66 | 164 | 8.0 | 21.3 | 4.29 |
| Luglio | 22.4 | 69 | 147 | 9.0 | 22.1 | 4.41 |
| Agosto | 23.2 | 70 | 138 | 8.0 | 19.0 | 3.97 |
| Settembre | 17.6 | 77 | 138 | 7.0 | 14.7 | 2.58 |
| Ottobre | 13.8 | 88 | 138 | 5.0 | 9.4 | 1.32 |
| Novembre | 6.7 | 88 | 156 | 3.0 | 5.4 | 0.65 |
| Dicembre | 2.5 | 84 | 138 | 3.0 | 4.4 | 0.40 |
| Media | 12.8 | 77 | 152 | 5.7 | 12.9 | 2.16 |

Tabella 5: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Verona per l'anno 2001.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 48.4 | 44.7 |
| Febbraio | 8.7 | 8.6 |
| Marzo | 110.4 | 90.9 |
| Aprile | 78.6 | 68.7 |
| Maggio | 82.8 | 71.8 |
| Giugno | 68.7 | 61.1 |
| Luglio | 75.3 | 66.2 |
| Agosto | 78.4 | 68.6 |
| Settembre | 123.7 | 99.2 |
| Ottobre | 117.9 | 95.7 |
| Novembre | 124.0 | 99.4 |
| Dicembre | 35.8 | 33.7 |
| Media | 952.7 | 808.6 |

Tabella 6: Precipitazioni medie in provincia di Verona per l'anno 2001.

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 1.9 | 79 | 138 | 3.0 | 5.0 | 0.48 |
| Febbraio | 4.5 | 71 | 164 | 4.0 | 7.7 | 0.94 |
| Marzo | 8.3 | 65 | 190 | 5.0 | 11.5 | 1.73 |
| Aprile | 14.0 | 61 | 190 | 6.0 | 15.7 | 2.85 |
| Maggio | 18.4 | 58 | 173 | 7.0 | 19.1 | 3.88 |
| Giugno | 21.2 | 62 | 164 | 8.0 | 21.3 | 4.41 |
| Luglio | 23.5 | 61 | 147 | 9.0 | 22.1 | 4.74 |
| Agosto | 23.8 | 60 | 138 | 8.0 | 19.0 | 4.27 |
| Settembre | 19.4 | 66 | 147 | 7.0 | 14.7 | 3.06 |
| Ottobre | 12.4 | 71 | 138 | 5.0 | 9.4 | 1.62 |
| Novembre | 8.2 | 81 | 156 | 3.0 | 5.4 | 0.82 |
| Dicembre | 2.9 | 77 | 147 | 3.0 | 4.4 | 0.56 |
| Media | 13.2 | 68 | 158 | 5.7 | 12.9 | 2.45 |

Tabella 7: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Verona per l'anno 2011.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 60.1 | 54.3 |
| Febbraio | 75.9 | 66.7 |
| Marzo | 87.4 | 75.2 |
| Aprile | 67.4 | 60.1 |
| Maggio | 55.9 | 50.9 |
| Giugno | 112.0 | 91.9 |
| Luglio | 80.2 | 69.9 |
| Agosto | 60.2 | 54.4 |
| Settembre | 104.8 | 87.2 |
| Ottobre | 103.1 | 86.1 |
| Novembre | 142.0 | 109.7 |
| Dicembre | 102.6 | 85.8 |
| Media | 1051.6 | 892.3 |

Tabella 8: Precipitazioni medie in provincia di Verona per l'anno 2011.

- **Provincia di Vicenza**

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|-----------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 1.7 | 79 | 86 | 3.0 | 4.9 | 0.39 |
| Febbraio | 3.0 | 68 | 95 | 4.0 | 7.6 | 0.77 |
| Marzo | 7.1 | 81 | 86 | 5.0 | 11.5 | 1.21 |
| Aprile | 10.8 | 76 | 95 | 6.0 | 15.7 | 2.06 |
| Maggio | 16.9 | 75 | 86 | 7.0 | 19.1 | 3.10 |
| Giugno | 19.4 | 71 | 95 | 8.0 | 21.2 | 3.84 |
| Luglio | 20.6 | 75 | 86 | 9.0 | 22.1 | 3.98 |
| Agosto | 21.7 | 75 | 86 | 8.0 | 18.9 | 3.59 |
| Settembre | 16.3 | 80 | 86 | 7.0 | 14.7 | 2.35 |
| Ottobre | 12.7 | 88 | 86 | 5.0 | 9.3 | 1.24 |
| Novembre | 5.9 | 84 | 86 | 3.0 | 5.3 | 0.62 |
| Dicembre | 1.7 | 78 | 86 | 3.0 | 4.4 | 0.38 |
| Media | 11.5 | 78 | 89 | 5.7 | 12.9 | 1.96 |

Tabella 9: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Vicenza per l'anno 2001.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 74.4 | 65.5 |
| Febbraio | 19.2 | 18.6 |
| Marzo | 180.8 | 128.5 |
| Aprile | 124.7 | 99.8 |
| Maggio | 105.1 | 87.4 |
| Giugno | 75.8 | 66.6 |
| Luglio | 91.9 | 78.4 |
| Agosto | 114.4 | 93.5 |
| Settembre | 162.2 | 120.1 |
| Ottobre | 196.1 | 134.6 |
| Novembre | 236.6 | 147.0 |
| Dicembre | 46.4 | 43.0 |
| Media | 1427.6 | 1083.0 |

Tabella 10: Precipitazioni medie in provincia di Vicenza per l'anno 2001.

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 1.0 | 80 | 86 | 3.0 | 4.9 | 0.37 |
| Febbraio | 3.1 | 73 | 104 | 4.0 | 7.6 | 0.74 |
| Marzo | 6.4 | 71 | 121 | 5.0 | 11.5 | 1.34 |
| Aprile | 12.2 | 66 | 130 | 6.0 | 15.7 | 2.39 |
| Maggio | 16.3 | 66 | 121 | 7.0 | 19.1 | 3.30 |
| Giugno | 18.9 | 71 | 112 | 8.0 | 21.2 | 3.81 |
| Luglio | 21.1 | 69 | 104 | 9.0 | 22.1 | 4.15 |
| Agosto | 21.5 | 69 | 104 | 8.0 | 18.9 | 3.70 |
| Settembre | 17.6 | 73 | 95 | 7.0 | 14.7 | 2.58 |
| Ottobre | 11.0 | 75 | 95 | 5.0 | 9.3 | 1.35 |
| Novembre | 6.9 | 84 | 95 | 3.0 | 5.3 | 0.63 |
| Dicembre | 2.0 | 77 | 104 | 3.0 | 4.4 | 0.45 |
| Media | 11.5 | 73 | 106 | 5.7 | 12.9 | 2.07 |

Tabella 11: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Vicenza per l'anno 2011.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 87.4 | 75.2 |
| Febbraio | 127.8 | 101.7 |
| Marzo | 152.6 | 115.3 |
| Aprile | 128.0 | 101.8 |
| Maggio | 112.7 | 92.4 |
| Giugno | 154.3 | 116.2 |
| Luglio | 101.1 | 84.7 |
| Agosto | 97.0 | 81.9 |
| Settembre | 160.6 | 119.3 |
| Ottobre | 184.2 | 129.9 |
| Novembre | 284.8 | 153.5 |
| Dicembre | 179.7 | 128.0 |
| Media | 1770.2 | 1300.0 |

Tabella 12: Precipitazioni medie in provincia di Vicenza per l'anno 2011.

- Provincia di Treviso

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2.4 | 82 | 164 | 3.0 | 4.9 | 0.48 |
| Febbraio | 3.6 | 73 | 181 | 4.0 | 7.6 | 0.89 |
| Marzo | 8.3 | 83 | 190 | 5.0 | 11.5 | 1.28 |
| Aprile | 12.1 | 78 | 199 | 6.0 | 15.7 | 2.19 |
| Maggio | 18.1 | 75 | 181 | 7.0 | 19.1 | 3.33 |
| Giugno | 20.2 | 73 | 190 | 8.0 | 21.2 | 4.03 |
| Luglio | 21.6 | 77 | 181 | 9.0 | 22.1 | 4.14 |
| Agosto | 22.2 | 75 | 164 | 8.0 | 18.9 | 3.78 |
| Settembre | 17.4 | 80 | 164 | 7.0 | 14.6 | 2.49 |
| Ottobre | 14.0 | 87 | 156 | 5.0 | 9.3 | 1.34 |
| Novembre | 7.0 | 85 | 190 | 3.0 | 5.3 | 0.75 |
| Dicembre | 2.4 | 81 | 173 | 3.0 | 4.3 | 0.49 |
| Media | 12.4 | 79 | 178 | 5.7 | 12.9 | 2.10 |

Tabella 13: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Treviso per l'anno 2001.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 51.9 | 47.6 |
| Febbraio | 10.2 | 10.0 |
| Marzo | 117.6 | 95.5 |
| Aprile | 105.6 | 87.8 |
| Maggio | 91.4 | 78.0 |
| Giugno | 89.6 | 76.8 |
| Luglio | 98.3 | 82.8 |
| Agosto | 83.4 | 72.3 |
| Settembre | 113.8 | 93.1 |
| Ottobre | 120.1 | 97.0 |
| Novembre | 153.9 | 116.0 |
| Dicembre | 45.6 | 42.3 |
| Media | 1081.4 | 899.1 |

Tabella 14: Precipitazioni medie in provincia di Treviso per l'anno 2001.

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2.5 | 80 | 95 | 3.0 | 4.9 | 0.40 |
| Febbraio | 4.7 | 75 | 112 | 4.0 | 7.6 | 0.76 |
| Marzo | 8.3 | 72 | 147 | 5.0 | 11.5 | 1.46 |
| Aprile | 14.2 | 67 | 138 | 6.0 | 15.7 | 2.53 |
| Maggio | 18.3 | 68 | 130 | 7.0 | 19.1 | 3.45 |
| Giugno | 20.9 | 72 | 130 | 8.0 | 21.2 | 4.00 |
| Luglio | 23.1 | 71 | 121 | 9.0 | 22.1 | 4.35 |
| Agosto | 23.5 | 70 | 112 | 8.0 | 18.9 | 3.87 |
| Settembre | 19.6 | 73 | 112 | 7.0 | 14.6 | 2.77 |
| Ottobre | 12.7 | 76 | 104 | 5.0 | 9.3 | 1.42 |
| Novembre | 8.7 | 85 | 104 | 3.0 | 5.3 | 0.67 |
| Dicembre | 3.6 | 80 | 95 | 3.0 | 4.3 | 0.42 |
| Media | 13.3 | 74 | 117 | 5.7 | 12.9 | 2.17 |

Tabella 15: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Treviso per l'anno 2011.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 83.1 | 72.1 |
| Febbraio | 98.1 | 82.7 |
| Marzo | 139.8 | 108.5 |
| Aprile | 65.6 | 58.7 |
| Maggio | 110.8 | 91.2 |
| Giugno | 142.0 | 109.7 |
| Luglio | 107.4 | 88.9 |
| Agosto | 55.2 | 50.3 |
| Settembre | 144.8 | 111.3 |
| Ottobre | 128.1 | 101.8 |
| Novembre | 182.6 | 129.3 |
| Dicembre | 137.4 | 107.2 |
| Media | 1394.9 | 1111.7 |

Tabella 16: Precipitazioni medie in provincia di Treviso per l'anno 2011.

- **Provincia di Rovigo**

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2.3 | 92 | 181 | 3.0 | 5.1 | 0.32 |
| Febbraio | 4.2 | 81 | 181 | 4.0 | 7.8 | 0.76 |
| Marzo | 9.3 | 83 | 216 | 5.0 | 11.6 | 1.36 |
| Aprile | 13.1 | 78 | 225 | 6.0 | 15.8 | 2.29 |
| Maggio | 19.4 | 75 | 190 | 7.0 | 19.2 | 3.47 |
| Giugno | 21.4 | 73 | 190 | 8.0 | 21.3 | 4.17 |
| Luglio | 22.9 | 74 | 181 | 9.0 | 22.2 | 4.39 |
| Agosto | 23.8 | 74 | 156 | 8.0 | 19.0 | 3.97 |
| Settembre | 18.8 | 79 | 164 | 7.0 | 14.8 | 2.66 |
| Ottobre | 14.9 | 91 | 156 | 5.0 | 9.5 | 1.32 |
| Novembre | 7.4 | 92 | 199 | 3.0 | 5.5 | 0.61 |
| Dicembre | 2.8 | 91 | 225 | 3.0 | 4.5 | 0.36 |
| Media | 13.4 | 82 | 189 | 5.7 | 13.0 | 2.14 |

Tabella 17: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Rovigo per l'anno 2001.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 36.4 | 34.3 |
| Febbraio | 10.7 | 10.5 |
| Marzo | 60.2 | 54.4 |
| Aprile | 58.1 | 52.7 |
| Maggio | 51.2 | 47.0 |
| Giugno | 64.2 | 57.6 |
| Luglio | 70.7 | 62.7 |
| Agosto | 42.6 | 39.7 |
| Settembre | 63.9 | 57.4 |
| Ottobre | 98.0 | 82.6 |
| Novembre | 92.0 | 78.5 |
| Dicembre | 33.9 | 32.1 |
| Media | 681.9 | 609.4 |

Tabella 18: Precipitazioni medie in provincia di Rovigo per l'anno 2001.

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|-----------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2.4 | 90 | 104 | 3.0 | 5.1 | 0.31 |
| Febbraio | 4.8 | 83 | 104 | 4.0 | 7.8 | 0.66 |
| Marzo | 8.6 | 78 | 121 | 5.0 | 11.6 | 1.33 |
| Aprile | 14.3 | 74 | 104 | 6.0 | 15.8 | 2.32 |
| Maggio | 19.0 | 69 | 95 | 7.0 | 19.2 | 3.37 |
| Giugno | 22.0 | 71 | 95 | 8.0 | 21.3 | 4.02 |
| Luglio | 24.3 | 69 | 86 | 9.0 | 22.2 | 4.40 |
| Agosto | 24.4 | 70 | 86 | 8.0 | 19.0 | 3.88 |
| Settembre | 20.3 | 74 | 86 | 7.0 | 14.8 | 2.75 |
| Ottobre | 13.4 | 78 | 95 | 5.0 | 9.5 | 1.44 |
| Novembre | 9.0 | 92 | 86 | 3.0 | 5.5 | 0.60 |
| Dicembre | 2.9 | 91 | 95 | 3.0 | 4.5 | 0.31 |
| Media | 13.8 | 78 | 96 | 5.7 | 13.0 | 2.11 |

Tabella 19: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Rovigo per l'anno 2011.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 41.7 | 38.9 |
| Febbraio | 60.9 | 55.0 |
| Marzo | 71.1 | 63.0 |
| Aprile | 65.3 | 58.5 |
| Maggio | 65.1 | 58.3 |
| Giugno | 77.8 | 68.1 |
| Luglio | 36.7 | 34.5 |
| Agosto | 33.9 | 32.1 |
| Settembre | 57.8 | 52.5 |
| Ottobre | 65.0 | 58.2 |
| Novembre | 67.0 | 59.8 |
| Dicembre | 52.5 | 48.1 |
| Media | 694.8 | 627.0 |

Tabella 20: Precipitazioni medie in provincia di Rovigo per l'anno 2011.

- **Provincia di Padova**

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2.5 | 88 | 147 | 3.0 | 5.0 | 0.36 |
| Febbraio | 4.3 | 77 | 147 | 4.0 | 7.7 | 0.79 |
| Marzo | 9.1 | 83 | 173 | 5.0 | 11.6 | 1.32 |
| Aprile | 12.7 | 78 | 173 | 6.0 | 15.7 | 2.21 |
| Maggio | 19.2 | 73 | 147 | 7.0 | 19.1 | 3.42 |
| Giugno | 21.4 | 71 | 138 | 8.0 | 21.3 | 4.11 |
| Luglio | 22.9 | 76 | 138 | 9.0 | 22.1 | 4.25 |
| Agosto | 23.7 | 74 | 121 | 8.0 | 19.0 | 3.86 |
| Settembre | 18.5 | 80 | 130 | 7.0 | 14.7 | 2.55 |
| Ottobre | 14.7 | 89 | 130 | 5.0 | 9.4 | 1.33 |
| Novembre | 7.4 | 90 | 156 | 3.0 | 5.4 | 0.63 |
| Dicembre | 2.8 | 87 | 147 | 3.0 | 4.4 | 0.38 |
| Media | 13.3 | 81 | 145 | 5.7 | 13.0 | 2.10 |

Tabella 21: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Padova per l'anno 2001.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 42.3 | 39.4 |
| Febbraio | 11.9 | 11.7 |
| Marzo | 91.3 | 78.0 |
| Aprile | 79.8 | 69.6 |
| Maggio | 58.5 | 53.0 |
| Giugno | 66.6 | 59.5 |
| Luglio | 81.6 | 70.9 |
| Agosto | 60.8 | 54.9 |
| Settembre | 80.1 | 69.8 |
| Ottobre | 111.8 | 91.8 |
| Novembre | 111.7 | 91.7 |
| Dicembre | 38.8 | 36.4 |
| Media | 835.2 | 726.8 |

Tabella 22: Precipitazioni medie in provincia di Padova per l'anno 2001.

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | 2.3 | 86 | 130 | 3.0 | 5.0 | 0.38 |
| Febbraio | 4.6 | 80 | 138 | 4.0 | 7.7 | 0.74 |
| Marzo | 8.4 | 74 | 164 | 5.0 | 11.6 | 1.46 |
| Aprile | 14.3 | 70 | 156 | 6.0 | 15.7 | 2.51 |
| Maggio | 18.8 | 67 | 138 | 7.0 | 19.1 | 3.53 |
| Giugno | 21.6 | 70 | 138 | 8.0 | 21.3 | 4.13 |
| Luglio | 23.8 | 70 | 121 | 9.0 | 22.1 | 4.45 |
| Agosto | 24.0 | 70 | 112 | 8.0 | 19.0 | 3.94 |
| Settembre | 19.9 | 74 | 121 | 7.0 | 14.7 | 2.81 |
| Ottobre | 12.9 | 77 | 130 | 5.0 | 9.4 | 1.50 |
| Novembre | 8.6 | 90 | 121 | 3.0 | 5.4 | 0.62 |
| Dicembre | 3.1 | 87 | 121 | 3.0 | 4.4 | 0.37 |
| Media | 13.5 | 76 | 132 | 5.7 | 13.0 | 2.20 |

Tabella 23: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Padova per l'anno 2011.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 50.9 | 46.8 |
| Febbraio | 82.7 | 71.8 |
| Marzo | 108.8 | 89.9 |
| Aprile | 70.4 | 62.5 |
| Maggio | 71.0 | 62.9 |
| Giugno | 98.2 | 82.8 |
| Luglio | 68.8 | 61.2 |
| Agosto | 47.7 | 44.1 |
| Settembre | 100.0 | 84.0 |
| Ottobre | 81.8 | 71.1 |
| Novembre | 111.9 | 91.9 |
| Dicembre | 84.9 | 73.4 |
| Media | 977.1 | 842.2 |

Tabella 24: Precipitazioni medie in provincia di Padova per l'anno 2011.

- **Provincia di Belluno**

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | -2.6 | 77 | 78 | 3.0 | 4.8 | 0.32 |
| Febbraio | -1.2 | 66 | 104 | 4.0 | 7.4 | 0.68 |
| Marzo | 2.8 | 78 | 104 | 5.0 | 11.3 | 1.10 |
| Aprile | 5.8 | 77 | 95 | 6.0 | 15.6 | 1.78 |
| Maggio | 11.6 | 81 | 86 | 7.0 | 19.0 | 2.66 |
| Giugno | 13.7 | 76 | 104 | 8.0 | 21.2 | 3.30 |
| Luglio | 15.1 | 79 | 95 | 9.0 | 22.0 | 3.47 |
| Agosto | 16.1 | 81 | 78 | 8.0 | 18.8 | 3.07 |
| Settembre | 11.3 | 83 | 78 | 7.0 | 14.5 | 1.99 |
| Ottobre | 8.4 | 87 | 69 | 5.0 | 9.1 | 1.08 |
| Novembre | 1.3 | 83 | 78 | 3.0 | 5.2 | 0.52 |
| Dicembre | -2.6 | 73 | 78 | 3.0 | 4.2 | 0.32 |
| Media | 6.6 | 78 | 87 | 5.7 | 12.8 | 1.69 |

Tabella 25: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Belluno per l'anno 2001.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 69.2 | 61.5 |
| Febbraio | 10.4 | 10.2 |
| Marzo | 129.0 | 102.4 |
| Aprile | 105.1 | 87.4 |
| Maggio | 105.4 | 87.6 |
| Giugno | 113.9 | 93.1 |
| Luglio | 138.4 | 107.8 |
| Agosto | 147.5 | 112.7 |
| Settembre | 156.4 | 117.3 |
| Ottobre | 162.0 | 120.0 |
| Novembre | 180.9 | 128.5 |
| Dicembre | 28.6 | 27.3 |
| Media | 1346.8 | 1055.9 |

Tabella 26: Precipitazioni medie in provincia di Belluno per l'anno 2001.

| Mese | Temp med | Umidità | Vento | Sole | Radiazione | ET ₀ |
|------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------------------|-----------------|
| | °C | % | m/s | ore | MJ/m ² /gg | mm/gg |
| Gennaio | -2.9 | 77 | 78 | 3.0 | 4.8 | 0.31 |
| Febbraio | -1.1 | 71 | 95 | 4.0 | 7.4 | 0.62 |
| Marzo | 2.1 | 68 | 121 | 5.0 | 11.3 | 1.19 |
| Aprile | 7.4 | 68 | 121 | 6.0 | 15.6 | 2.03 |
| Maggio | 11.4 | 72 | 121 | 7.0 | 19.0 | 2.80 |
| Giugno | 14.3 | 77 | 112 | 8.0 | 21.2 | 3.32 |
| Luglio | 16.3 | 75 | 112 | 9.0 | 22.0 | 3.65 |
| Agosto | 16.6 | 78 | 95 | 8.0 | 18.8 | 3.15 |
| Settembre | 12.9 | 81 | 86 | 7.0 | 14.5 | 2.15 |
| Ottobre | 6.8 | 77 | 86 | 5.0 | 9.1 | 1.13 |
| Novembre | 3.0 | 82 | 69 | 3.0 | 5.2 | 0.53 |
| Dicembre | -2.3 | 77 | 86 | 3.0 | 4.2 | 0.33 |
| Media | 7.0 | 75 | 99 | 5.7 | 12.8 | 1.77 |

Tabella 27: Dati climatici utilizzati per il calcolo di CWR nella Provincia di Belluno per l'anno 2011.

| Mese | Precipitazioni | Precipitazioni efficaci |
|------------------|----------------|-------------------------|
| | mm | mm |
| Gennaio | 56.3 | 51.2 |
| Febbraio | 72.0 | 63.7 |
| Marzo | 106.4 | 88.3 |
| Aprile | 83.7 | 72.5 |
| Maggio | 139.5 | 108.4 |
| Giugno | 163.6 | 120.8 |
| Luglio | 128.9 | 102.3 |
| Agosto | 130.3 | 103.1 |
| Settembre | 160.0 | 119.0 |
| Ottobre | 139.0 | 108.1 |
| Novembre | 192.2 | 133.1 |
| Dicembre | 123.8 | 99.3 |
| Media | 1495.7 | 1169.8 |

Tabella 28: Precipitazioni medie in provincia di Belluno per l'anno 2011.

APPENDICE B

- Provincia di Venezia

| Località | Latitudine (°N) | Longitudine (°E) | Altitudine (m s.l.m) |
|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Provincia di Venezia | 45.51 | 12.52 | 1 |

Tabella 1: coordinate geografiche medie della Provincia di Venezia e utilizzate in CROPWAT. (elaborazione da dati ARPAV).

| Gruppo di coltivazioni | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|---|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Coltivazioni industriali | Barbabetola da zucchero | 7.295.416 | 11.422 |
| Cereali | Mais | 3.988.580 | 42.590 |
| Coltivazioni industriali | Soia | 1.168.105 | 25.050 |
| Vite | Uva da vino | 957.410 | 6.919 |
| TOTALE | | 13.409.511 | 85.981 |
| % rispetto al totale provinciale | | 85 % | 49,3 % |

Tabella 2: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Venezia nell'anno 2001. (Fonte: ISTAT)

| 2001 | ET _c [mm] | ET _{green} [mm] | ET _{blu} [mm] | CWU _{green} [m ³ /ha] | CWU _{blu} [m ³ /ha] |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|---|---|
| Barbabetola da zucchero | 418,7 | 342,7 | 76 | 3.427 | 760 |
| Mais | 454,4 | 302,2 | 152,2 | 3.022 | 1.522 |
| Soia | 404,3 | 277,5 | 126,8 | 2.775 | 1.268 |
| Uva da vino | 258,2 | 258,2 | 0 | 2.582 | 0 |

Tabella 3: CWU calcolate per le colture in provincia di Venezia nell'anno 2001.

| 2001 | Resa [t/ha] | WF _{green} [L/Kg] | WF _{blu} [L/Kg] | WF _{grey} [L/Kg] | WF _{totale} [L/Kg] |
|-------------------------|-------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Barbabetola da zucchero | 65 | 52,7 | 11,7 | 12,2 | 76,6 |
| Mais | 9,8 | 308,4 | 155,3 | 166,1 | 629,8 |
| Soia | 4,1 | 676,8 | 309,3 | 0 | 986,1 |
| Uva da vino | 16 | 161,4 | 0 | 32,1 | 193,5 |

Tabella 4: WF calcolate per le colture in provincia di Venezia nell'anno 2001.

| Gruppo di coltivazioni | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Coltivazioni industriali | Barbabetola da zucchero | 1.895.746 | 2.893 |
| Cereali | Mais | 4.508.000 | 46.000 |
| Coltivazioni industriali | Soia | 1.180.000 | 29.500 |
| Vite | Uva da vino | 780.000 | 6.590 |
| Cereali | Frumento tenero | 929.000 | 16.000 |
| TOTALE | | 9.292.746 | 100.983 |
| % rispetto al totale provinciale | | 86,5% | 46,7 % |

Tabella 5: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Venezia nell'anno 2011. (Fonte: ISTAT)

| 2011 | ET_c [mm] | ET_{green} [mm] | ET_{blu} [mm] | CWU_{green} [m³/ha] | CWU_{blu} [m³/ha] |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|---|---|
| Barbabetola da zucchero | 442,1 | 379,7 | 62,4 | 3.797 | 624 |
| Mais | 473,8 | 314,4 | 159,4 | 3.144 | 1.594 |
| Soia | 422,4 | 319,1 | 103,3 | 3.191 | 1.033 |
| Uva da vino | 274,4 | 274,4 | 0 | 2.744 | 0 |
| Frumento tenero | 386,1 | 386,1 | 0 | 3.861 | 0 |

Tabella 6: CWU calcolate per le colture in provincia di Venezia nell'anno 2011.

| 2011 | Resa [t/ha] | WF_{green} [L/Kg] | WF_{blu} [L/Kg] | WF_{grey} [L/Kg] | WF_{totale} [L/Kg] |
|-------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Barbabetola da zucchero | 63 | 60,3 | 9,9 | 12,6 | 82,8 |
| Mais | 10 | 314,4 | 159,4 | 162,8 | 636,6 |
| Soia | 3,6 | 886,4 | 286,9 | 0 | 1.173,3 |
| Uva da vino | 15 | 182,9 | 0 | 34,2 | 217,1 |
| Frumento tenero | 5,9 | 654,4 | 0 | 123 | 777,4 |

Tabella 7: WF calcolate per le colture in provincia di Venezia nell'anno 2011.

- **Provincia di Verona**

| Località | Latitudine (°N) | Longitudine (°E) | Altitudine (m s.l.m) |
|---------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Provincia di Verona | 45.42 | 11.03 | 189 |

Tabella 8: coordinate geografiche medie della Provincia di Verona e utilizzate in CROPWAT. (elaborazione da dati ARPAV).

| Gruppo di coltivazioni | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|---|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Vite | Uva da vino | 4.164.800 | 24.539 |
| Cereali | Mais | 3.460.452 | 33.926 |
| Coltivazioni industriali | Barbabetola da zucchero | 3.373.603 | 5.656 |
| Frutta fresca | Melo | 2.178.347 | 7.067 |
| Coltivazioni industriali | Soia | 534.673 | 13.434 |
| Piante da tubero | Patata comune | 464.686 | 1.132 |
| Frutta fresca | Pesco | 430.448 | 2.991 |
| Cereali | Frumento tenero | 398.964 | 7.702 |
| Frutta fresca | Kiwi | 342.032 | 2.204 |
| Ortaggi in piena aria | Radicchio | 209.072 | 2.424 |
| Coltivazioni industriali | Tabacco | 161.889 | 5.483 |
| Ortaggi in piena aria | Pomodoro da industria | 154.140 | 231 |
| TOTALE | | 15.873.106 | 106.789 |
| % rispetto al totale provinciale | | 84,7 % | 28,49 % |

Tabella 9: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Verona nell'anno 2001. (Fonte: ISTAT)

| 2001 | ET _c [mm] | ET _{green} [mm] | ET _{blu} [mm] | CWU _{green} [m ³ /ha] | CWU _{blu} [m ³ /ha] |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|---|---|
| Uva da vino | 273,2 | 273,2 | 0 | 2.732 | 0 |
| Mais | 479,7 | 337,5 | 142,2 | 3.375 | 1.422 |
| Barbabetola da zucchero | 441,6 | 399,7 | 41,9 | 3.997 | 419 |
| Melo | 503,5 | 503,5 | 0 | 5.035 | 0 |

| | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Soia | 427,7 | 319,6 | 108,1 | 3.196 | 1.081 |
| Patata comune | 441 | 321,8 | 119,2 | 3.218 | 1.192 |
| Pesco | 487,4 | 487,4 | 0 | 4.874 | 0 |
| Frumento tenero | 383,7 | 383,7 | 0 | 3.837 | 0 |
| Kiwi | 502,9 | 502,9 | 0 | 5.029 | 0 |
| Radicchio | 64,3 | 64,3 | 0 | 643 | 0 |
| Tabacco | 275,2 | 258,4 | 16,8 | 2.584 | 168 |
| Pomodoro da industria | 463,1 | 340 | 123,1 | 3.400 | 1.231 |

Tabella 10: CWU calcolate per le colture in provincia di Verona nell'anno 2001.

| 2001 | Resa [t/ha] | WF_{green} [L/Kg] | WF_{blu} [L/Kg] | WF_{grey} [L/Kg] | WF_{totale} [L/Kg] |
|-------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Uva da vino | 16 | 170,7 | 0 | 32,1 | 202,8 |
| Mais | 9,8 | 344,4 | 145,1 | 166,1 | 655,6 |
| Barbabetola da zucchero | 65 | 61,5 | 6,4 | 12,2 | 80,1 |
| Melo | 32 | 157,3 | 0 | 16 | 173,3 |
| Soia | 4,1 | 779,5 | 263,6 | 0 | 1043,1 |
| Patata comune | 35,4 | 90,9 | 33,7 | 27,5 | 152,1 |
| Pesco | 17,2 | 283,4 | 0 | 29,8 | 313,2 |
| Frumento tenero | 5,4 | 710,5 | 0 | 134,4 | 844,9 |
| Kiwi | 17,5 | 287,4 | 0 | 29,3 | 316,7 |
| Radicchio | 7,5 | 85,7 | 0 | 129,8 | 215,5 |
| Tabacco | 3 | 861,3 | 56 | 177 | 1094,3 |
| Pomodoro da industria | 55 | 61,8 | 22,4 | 17,7 | 101,9 |

Tabella 11: WF calcolate per le colture in provincia di Verona nell'anno 2001.

| Gruppo coltivazioni | di | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|----------------------------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Vite | | Uva da vino | 4.365.693 | 26.153 |
| Cereali | | Mais | 2.970.000 | 33.000 |
| Coltivazioni industriali | | Barbabetola da zucchero | 364.318 | 522 |
| Frutta fresca | | Melo | 1.494.450 | 4.690 |
| Coltivazioni industriali | | Soia | 260.295 | 7.035 |
| Piante da tubero | | Patata comune | 184.824 | 720 |

| | | | |
|---|-----------------------|-------------------|----------------|
| Frutta fresca | Pesco | 253.640 | 1.530 |
| Cereali | Frumento tenero | 650.000 | 13.000 |
| Frutta fresca | Kiwi | 436.233 | 2.625 |
| Ortaggi in piena aria | Radicchio | 151.713 | 1.309 |
| Coltivazioni industriali | Tabacco | 182.419 | 59.617 |
| Ortaggi in piena aria | Pomodoro da industria | 132.000 | 240 |
| Cereali | Orzo | 137.700 | 2.700 |
| TOTALE | | 11.583.285 | 153.141 |
| % rispetto al totale provinciale | | 83,2% | 39,8% |

Tabella 12: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Verona nell'anno 2011. (Fonte: ISTAT)

| 2011 | ET_c [mm] | ET_{green} [mm] | ET_{blu} [mm] | CWU_{green} [m³/ha] | CWU_{blu} [m³/ha] |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Uva da vino | 299,9 | 299,9 | 0 | 2.999 | 0 |
| Mais | 518,4 | 327,4 | 191 | 3.274 | 1.910 |
| Barbabietola da zucchero | 480,5 | 390,7 | 89,8 | 3.907 | 898 |
| Melo | 555 | 482,6 | 72,4 | 4.826 | 724 |
| Soia | 459,7 | 320,3 | 139,4 | 3.203 | 1.394 |
| Patata comune | 489,1 | 314 | 175,1 | 3.140 | 1.751 |
| Pesco | 537,5 | 482,6 | 54,9 | 4.826 | 549 |
| Frumento tenero | 437,9 | 437,9 | 0 | 4.379 | 0 |
| Kiwi | 554,2 | 482,6 | 71,6 | 4.826 | 716 |
| Radicchio | 78,8 | 68,4 | 10,4 | 684 | 104 |
| Tabacco | 308,3 | 247,9 | 60,4 | 2.479 | 604 |
| Pomodoro da industria | 499,7 | 330,6 | 169,1 | 3.306 | 1.691 |
| Orzo | 414,1 | 296,8 | 117,3 | 2.968 | 1.173 |

Tabella 13: CWU calcolate per le colture in provincia di Verona nell'anno 2011.

| 2011 | Resa [t/ha] | WF_{green} [L/Kg] | WF_{blu} [L/Kg] | WF_{grey} [L/Kg] | WF_{totale} [L/Kg] |
|--------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Uva da vino | 15 | 199,9 | 0 | 34,2 | 234,1 |
| Mais | 10 | 327,4 | 191 | 162,8 | 681,2 |
| Barbabietola | 63 | 62 | 14,2 | 12,6 | 88,8 |

| | | | | | |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|---------------|
| da zucchero | | | | | |
| Melo | 33 | 146,2 | 21,9 | 15,5 | 183,6 |
| Soia | 3,6 | 889,7 | 387,2 | 0 | 1276,9 |
| Patata comune | 31,3 | 100,3 | 55,9 | 31,1 | 187,3 |
| Pesco | 18,1 | 266,6 | 30,3 | 28,3 | 325,2 |
| Frumento tenero | 5,9 | 742,2 | 0 | 123 | 865,2 |
| Kiwi | 17,7 | 272,6 | 40,4 | 29 | 342 |
| Radicchio | 13,7 | 49,9 | 7,6 | 71 | 128,5 |
| Tabacco | 3 | 826,3 | 201,3 | 177 | 1204,6 |
| Pomodoro da industria | 53 | 62,4 | 31,9 | 18,4 | 112,7 |
| Orzo | 5 | 593,6 | 234,6 | 123,9 | 952,1 |

Tabella 14: WF calcolate per le colture in provincia di Verona nell'anno 2011.

- **Provincia di Vicenza**

| Località | Latitudine (°N) | Longitudine (°E) | Altitudine (m s.l.m) |
|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Provincia di Vicenza | 45.66 | 11.42 | 451 |

Tabella 15: coordinate geografiche medie della Provincia di Venezia e utilizzate in CROPWAT. (elaborazione da dati ARPAV).

| Gruppo coltivazioni | di | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|----------------------------------|----|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Cereali | | Mais | 3.180.400 | 31.805 |
| Vite | | Uva da vino | 1.850.000 | 7.799 |
| Coltivazioni industriali | | Barbabetola da zucchero | 899.623 | 1.339 |
| Piante da tubero | | Patata comune | 255.800 | 874 |
| Coltivazioni industriali | | Soia | 184.400 | 4.610 |
| Ortaggi in piena aria | | Pomodoro da industria | 150.000 | 300 |
| Cereali | | Frumento tenero | 137.060 | 2.492 |
| TOTALE | | | 6.657.283 | 49.219 |
| % rispetto al totale provinciale | | | 85,8 % | 36,14 % |

Tabella 16: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Vicenza nell'anno 2001. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2001 | ET_c [mm] | ET_{green} [mm] | ET_{blu} [mm] | CWU_{green} [m³/ha] | CWU_{blu} [m³/ha] |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Mais | 422,8 | 418,5 | 4,3 | 4.185 | 43 |
| Uva da vino | 237 | 237 | 0 | 2.370 | 0 |
| Barbabetola da zucchero | 391,6 | 391,6 | 0 | 3.916 | 0 |
| Patata comune | 401,6 | 399,6 | 2 | 3.996 | 20 |
| Soia | 378,3 | 386,8 | 0 | 3.868 | 0 |
| Pomodoro da industria | 410,4 | 410,4 | 0 | 4.104 | 0 |
| Frumento tenero | 338,8 | 338,8 | 0 | 3.388 | 0 |

Tabella 17: CWU calcolate per le colture in provincia di Vicenza nell'anno 2001.

| 2001 | Resa [t/ha] | WF_{green} [L/Kg] | WF_{blu} [L/Kg] | WF_{grey} [L/Kg] | WF_{totale} [L/Kg] |
|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Mais | 9,8 | 427 | 4,4 | 166,1 | 597,5 |
| Uva da vino | 16 | 148,1 | 0 | 32,1 | 180,2 |
| Barbabetola da zucchero | 65 | 60,2 | 0 | 12,2 | 72,4 |
| Patata comune | 35,4 | 112,9 | 0,6 | 27,5 | 141 |
| Soia | 4,1 | 943,4 | 0 | 0 | 943,4 |
| Pomodoro da industria | 55 | 74,6 | 0 | 17,7 | 92,3 |
| Frumento tenero | 5,4 | 627,4 | 0 | 134,4 | 761,8 |

Tabella 18: WF calcolate per le colture in provincia di Vicenza nell'anno 2001.

| Gruppo coltivazioni | di | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|----------------------------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Cereali | | Mais | 2.918.300 | 26.530 |
| Vite | | Uva da vino | 1.231.580 | 7.295 |
| Coltivazioni industriali | | Barbabetola da zucchero | 173.641 | 221 |
| Piante da tubero | | Patata comune | 480.000 | 1.200 |
| Coltivazioni industriali | | Soia | 187.600 | 4.690 |
| Ortaggi in piena aria | | Pomodoro da industria | 175.000 | 350 |

| | | | |
|---|-----------------|------------------|---------------|
| Cereali | Frumento tenero | 187.200 | 3.120 |
| TOTALE | | 5.353.321 | 43.406 |
| % rispetto al totale provinciale | | 86,4 % | 38,3 % |

Tabella 19: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Vicenza nell'anno 2011. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2011 | ET _c [mm] | ET _{green} [mm] | ET _{blu} [mm] | CWU _{green} [m ³ /ha] | CWU _{blu} [m ³ /ha] |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|--|
| Mais | 441,9 | 441,9 | 0 | 4.419 | 0 |
| Uva da vino | 251 | 251 | 0 | 2.510 | 0 |
| Barbabetola da zucchero | 410,3 | 410,3 | 0 | 4.103 | 0 |
| Patata comune | 418,1 | 418,1 | 0 | 4.181 | 0 |
| Soia | 393,5 | 393,5 | 0 | 3.935 | 0 |
| Pomodoro da industria | 427,7 | 427,7 | 0 | 4.277 | 0 |
| Frumento tenero | 361,5 | 361,5 | 0 | 3.615 | 0 |

Tabella 20: CWU calcolate per le colture in provincia di Vicenza nell'anno 2011.

| 2011 | Resa [t/ha] | WF _{green} [L/Kg] | WF _{blu} [L/Kg] | WF _{grey} [L/Kg] | WF _{totale} [L/Kg] |
|-------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Mais | 10 | 441,9 | 0 | 162,8 | 604,7 |
| Uva da vino | 15 | 167,3 | 0 | 34,2 | 201,5 |
| Barbabetola da zucchero | 63 | 65,1 | 0 | 12,6 | 77,7 |
| Patata comune | 31,3 | 133,6 | 0 | 31,1 | 164,7 |
| Soia | 3,6 | 1093 | 0 | 0 | 1093 |
| Pomodoro da industria | 53 | 80,7 | 0 | 18,4 | 99,1 |
| Frumento tenero | 5,9 | 612,7 | 0 | 123 | 735,7 |

Tabella 21: WF calcolate per le colture in provincia di Vicenza nell'anno 2011

- **Provincia di Treviso**

| Località | Latitudine (°N) | Longitudine (°E) | Altitudine (m s.l.m) |
|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Provincia di Treviso | 45.78 | 12.22 | 168 |

Tabella 22: coordinate geografiche medie della Provincia di Treviso e utilizzate in CROPWAT. (elaborazione da dati ARPAV).

| Gruppo di coltivazioni | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|---|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Cereali | Mais | 5.906.000 | 52.000 |
| Vite | Uva da vino | 3.481.386 | 26.320 |
| Coltivazioni industriali | Soia | 603.400 | 16.500 |
| TOTALE | | 9.990.786 | 948.20 |
| % rispetto al totale provinciale | | 87,6% | 63,5% |

Tabella 23: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Treviso nell'anno 2001. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2001 | ET _c [mm] | ET _{green} [mm] | ET _{blu} [mm] | CWU _{green} [m ³ /ha] | CWU _{blu} [m ³ /ha] |
|-------------|----------------------|--------------------------|------------------------|---|---|
| Mais | 459,5 | 388,3 | 71,2 | 3.883 | 712 |
| Uva da vino | 266 | 266 | 0 | 2.660 | 0 |
| Soia | 408,4 | 353,2 | 55,2 | 3.532 | 552 |

Tabella 24: CWU calcolate per le colture in provincia di Treviso nel 2001.

| 2001 | Resa [t/ha] | WF _{green} [L/Kg] | WF _{blu} [L/Kg] | WF _{grey} [L/Kg] | WF _{totale} [L/Kg] |
|-------------|-------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Mais | 9,8 | 396,2 | 72,6 | 166,1 | 634,9 |
| Uva da vino | 16 | 166,2 | 0 | 32,1 | 198,3 |
| Soia | 4,1 | 861,5 | 134,6 | 0 | 996,1 |

Tabella 25: WF calcolate per le colture in provincia di Treviso nel 2001.

| Gruppo di coltivazioni | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|---|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Cereali | Mais | 4.305.000 | 41.000 |
| Vite | Uva da vino | 4.130.085 | 26.284 |
| TOTALE | | 8.435.085 | 67.284 |
| % rispetto al totale provinciale | | 84,5% | 49,5% |

Tabella 26: Produzione totale e superficie investita delle colture considerate per la Provincia di Treviso nell'anno 2011. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2011 | ET _c [mm] | ET _{green} [mm] | ET _{blu} [mm] | CWU _{green} [m ³ /ha] | CWU _{blu} [m ³ /ha] |
|-------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|--|
| Mais | 465,5 | 406,5 | 59 | 4.065 | 590 |
| Uva da vino | 266 | 266 | 0 | 2.660 | 0 |

Tabella 27: CWU calcolate per le colture in provincia di Treviso nel 2001.

| 2011 | Resa [t/ha] | WF _{green} [L/Kg] | WF _{blu} [L/Kg] | WF _{grey} [L/Kg] | WF _{totale} [L/Kg] |
|-------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Mais | 10 | 406,5 | 59 | 162,8 | 628,3 |
| Uva da vino | 15 | 177,3 | 0 | 34,2 | 211,5 |

Tabella 28: WF calcolate per le colture in provincia di Treviso nel 2001.

- **Provincia di Rovigo**

| Località | Latitudine (°N) | Longitudine (°E) | Altitudine (m s.l.m) |
|---------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Provincia di Rovigo | 45.02 | 11.76 | 4 |

Tabella 29: coordinate geografiche medie della Provincia di Rovigo e utilizzate in CROPWAT. (elaborazione da dati ARPAV).

| Gruppo di coltivazioni | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Coltivazioni industriali | Barbabietola da zucchero | 5350122 | 7989 |
| Cereali | Mais | 5005140 | 49070 |
| Coltivazioni industriali | Soia | 735950 | 17950 |
| Cereali | Frumento tenero | 613890 | 10770 |
| Ortaggi in piena aria | Pomodoro da industria | 324500 | 550 |
| Frutta fresca | Melo | 265232 | 989 |
| Ortaggi in piena aria | Radicchio | 174408 | 1118 |
| TOTALE | | 12.469.242 | 88.436 |
| % rispetto al totale | | 86,1% | 48,6% |

| | | | |
|--------------------|--|--|--|
| provinciale | | | |
|--------------------|--|--|--|

Tabella 30: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Rovigo nell'anno 2001. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2001 | ET_c [mm] | ET_{green} [mm] | ET_{blu} [mm] | CWU_{green} [m³/ha] | CWU_{blu} [m³/ha] |
|--------------------------|--------------------------------------|--|--|---|---|
| Barbabietola da zucchero | 441,3 | 299,7 | 141,6 | 2.997 | 1.416 |
| Mais | 458,4 | 271,2 | 187,2 | 2.712 | 1.872 |
| Soia | 426,2 | 234 | 192,2 | 2.340 | 1.922 |
| Frumento tenero | 378,8 | 353,1 | 25,7 | 3.531 | 257 |
| Pomodoro da industria | 461,6 | 247 | 214,6 | 2.470 | 2.146 |
| Melo | 507,9 | 374,2 | 133,7 | 3.742 | 1.337 |
| Radicchio | 65,7 | 60,5 | 5,2 | 605 | 52 |

Tabella 31: CWU calcolate per le colture in provincia di Rovigo nel 2001.

| 2001 | Resa [t/ha] | WF_{green} [L/Kg] | WF_{blu} [L/Kg] | WF_{grey} [L/Kg] | WF_{totale} [L/Kg] |
|--------------------------|------------------------------|--|--|---|---|
| Barbabietola da zucchero | 65 | 46,1 | 21,8 | 12,2 | 80,1 |
| Mais | 9,8 | 276,7 | 191 | 166,1 | 633,8 |
| Soia | 4,1 | 570,7 | 468,8 | 0 | 1039,5 |
| Frumento tenero | 5,4 | 653,9 | 47,6 | 134,4 | 835,9 |
| Pomodoro da industria | 55 | 44,9 | 39 | 17,7 | 101,6 |
| Melo | 32 | 116,9 | 41,8 | 16 | 174,7 |
| Radicchio | 7,5 | 80,7 | 6,9 | 129,8 | 217 |

Tabella 32: WF calcolate per le colture in provincia di Rovigo nel 2001.

| Gruppo coltivazioni | di | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|----------------------------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Coltivazioni industriali | da | Barbabietola da zucchero | 2.026.436 | 2.780 |
| Cereali | | Mais | 4.300.000 | 43.000 |
| Coltivazioni industriali | | Soia | 480.000 | 15.000 |
| Cereali | | Frumento tenero | 1.768.000 | 26.000 |
| Ortaggi in piena aria | | Pomodoro da industria | 243.600 | 420 |

| | | | |
|---|---------------|-------------------|----------------|
| Frutta fresca | Melo | 199.710 | 883 |
| Ortaggi in piena aria | Radicchio | 170.100 | 1.090 |
| Leguminose/piante da tubero | Fagiolo | 480.000 | 15.000 |
| Cereali | Frumento duro | 330.000 | 5.500 |
| Ortaggi in piena aria | Cocomero | 132.000 | 330 |
| TOTALE | | 10.129.846 | 110.003 |
| % rispetto al totale provinciale | | 85,1% | 74,5% |

Tabella 33: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Rovigo nell'anno 2011. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2011 | ET_c [mm] | ET_{green} [mm] | ET_{blu} [mm] | CWU_{green} [m³/ha] | CWU_{blu} [m³/ha] |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Barbabietola da zucchero | 430,9 | 259 | 171,9 | 2.590 | 1.719 |
| Mais | 458,9 | 241,7 | 217,2 | 2.417 | 2.172 |
| Soia | 412,8 | 211,4 | 201,4 | 2.114 | 2.014 |
| Frumento tenero | 358,1 | 358,1 | 0 | 3.581 | 0 |
| Pomodoro da industria | 447,5 | 230,7 | 216,8 | 2.307 | 2.168 |
| Melo | 480,1 | 356,9 | 123,2 | 3.569 | 1.232 |
| Radicchio | 63,7 | 63,7 | 0 | 637 | 0 |
| Fagiolo | 334,5 | 168 | 166,5 | 1.680 | 1.665 |
| Frumento duro | 358,1 | 358,1 | 0 | 3.581 | 0 |
| Cocomero | 285,4 | 194,1 | 91,3 | 1.941 | 913 |

Tabella 34: CWU calcolate per le colture in provincia di Rovigo nel 2011.

| 2011 | Resa [t/ha] | WF_{green} [L/Kg] | WF_{blu} [L/Kg] | WF_{grey} [L/Kg] | WF_{totale} [L/Kg] |
|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Barbabietola da zucchero | 63 | 41,1 | 27,3 | 12,6 | 81 |
| Mais | 10 | 241,7 | 217,2 | 162,8 | 621,7 |
| Soia | 3,6 | 587,2 | 559,4 | 0 | 1146,6 |
| Frumento tenero | 5,9 | 606,9 | 0 | 123 | 729,9 |
| Pomodoro da industria | 53 | 43,5 | 40,9 | 18,4 | 102,8 |
| Melo | 33 | 108,1 | 37,3 | 3,5 | 148,9 |

| | | | | | |
|---------------|------|-------|------|-------|--------------|
| Radicchio | 13,7 | 46,5 | 0 | 71 | 117,5 |
| Fagiolo | 3 | 560 | 555 | 0 | 1115 |
| Frumento duro | 5,6 | 639,5 | 0 | 129,6 | 769,1 |
| Cocomero | 38,8 | 50 | 23,5 | 13,2 | 86,7 |

Tabella 35: WF calcolate per le colture in provincia di Rovigo nel 2011.

- **Provincia di Padova**

| Località | Latitudine (°N) | Longitudine (°E) | Altitudine (m s.l.m) |
|---------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Provincia di Padova | 45.32 | 11.79 | 39 |

Tabella 36: coordinate geografiche medie della Provincia di Padova e utilizzate in CROPWAT. (elaborazione da dati ARPAV).

| Gruppo coltiva- zioni | di | Descrizione coltivazione | Produzione (quintali) | totale | Superficie investita (ettari) |
|---|----|-----------------------------|--------------------------|--------|-------------------------------------|
| Cereali | | Mais | 5.872.175 | | 69.135 |
| Colture industriali | | Barbabietola zucchero | 5.504.636 | da | 7.895 |
| Vite | | Uva da vino | 1.038.460 | | 6.866 |
| Cereali | | Frumento tenero | 552.514 | | 8.798 |
| Piante da tubero | | Patata comune | 341.120 | | 860 |
| Frutta fresca | | Melo | 348.770 | | 944 |
| TOTALE | | | 13.657.675 | | 94.498 |
| % rispetto al totale provinciale | | | 86,3% | | 60,4% |

Tabella 37: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Padova nell'anno 2001. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2001 | ET _c [mm] | ET _{green} [mm] | ET _{blu} [mm] | CWU _{green} [m ³ /ha] | CWU _{blu} [m ³ /ha] |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|--|
| Mais | 463,6 | 297,9 | 165,7 | 2.979 | 1.657 |
| Barbabietola da zucchero | 428 | 346,2 | 81,8 | 3.462 | 818 |
| Uva da vino | 263,9 | 263,9 | 0 | 2.639 | 0 |
| Frumento | 369 | 369 | 0 | 3.690 | 0 |

| | | | | | |
|---------------|-------|-------|------|--------------|--------------|
| tenero | | | | | |
| Patata comune | 439,1 | 287,1 | 152 | 2.871 | 1.520 |
| Melo | 485,9 | 451,8 | 34,1 | 4.518 | 341 |

Tabella 38: CWU calcolate per le colture in provincia di Padova nel 2001.

| 2001 | Resa [t/ha] | WF_{green} [L/Kg] | WF_{blu} [L/Kg] | WF_{grey} [L/Kg] | WF_{totale} [L/Kg] |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Mais | 9,8 | 304 | 169,1 | 166,1 | 639,2 |
| Barbabetola da zucchero | 65 | 53,3 | 12,6 | 12,2 | 78,1 |
| Uva da vino | 16 | 164,9 | 0 | 32,1 | 197 |
| Frumento tenero | 5,4 | 683,3 | 0 | 134,4 | 817,7 |
| Patata comune | 35,4 | 81,1 | 42,9 | 27,5 | 151,5 |
| Melo | 32 | 141,2 | 10,6 | 16 | 167,8 |

Tabella 39: WF calcolate per le colture in provincia di Padova nel 2001.

| Gruppo coltivazioni | di | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|---|-----------|-------------------------------------|---|--|
| Cereali | | Mais | 5.978.372 | 54.747 |
| Colture industriali | | Barbabetola da zucchero | 1.781.007 | 2.707 |
| Vite | | Uva da vino | 646.069 | 5.400 |
| Cereali | | Frumento tenero | 1.178.911 | 18.595 |
| Piante da tubero | | Patata comune | 208.250 | 595 |
| Ortaggi in piena aria | | Radicchio | 332.195 | 2.163 |
| Coltivazioni industriali | | Soia | 219.387 | 7.077 |
| Ortaggi in piena aria | | Pomodoro da industria | 185.000 | 370 |
| TOTALE | | | 10.529.191 | 91.654 |
| % rispetto al totale provinciale | | | 85,7% | 58,7% |

Tabella 40: Produzione totale e superficie investita delle colture considerate per la Provincia di Padova nell'anno 2011. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2011 | ET_c [mm] | ET_{green} [mm] | ET_{blu} [mm] | CWU_{green} [m³/ha] | CWU_{blu} [m³/ha] |
|--------------------------|--------------------------------------|--|--|---|---|
| Mais | 476 | 311,2 | 164,8 | 3.112 | 1.648 |
| Barbabietola da zucchero | 442,9 | 355,3 | 87,6 | 3.553 | 876 |
| Uva da vino | 272,3 | 272,3 | 0 | 2.723 | 0 |
| Frumento tenero | 384,8 | 384,8 | 0 | 3.848 | 0 |
| Patata comune | 450,3 | 298 | 152,3 | 2.980 | 1.523 |
| Radicchio | 69,4 | 69,4 | 0 | 694 | 0 |
| Soia | 424,2 | 295,5 | 128,7 | 2.955 | 1.287 |
| Pomodoro da industria | 460,6 | 312,6 | 148 | 3.126 | 1.480 |

Tabella 41: CWU calcolate per le colture in provincia di Padova nel 2011.

| 2011 | Resa [t/ha] | WF_{green} [L/Kg] | WF_{blu} [L/Kg] | WF_{grey} [L/Kg] | WF_{totale} [L/Kg] |
|--------------------------|------------------------------|--|--|---|---|
| Mais | 10 | 311,2 | 164,8 | 162,8 | 638,8 |
| Barbabietola da zucchero | 63 | 56,4 | 13,9 | 12,6 | 82,9 |
| Uva da vino | 15 | 181,5 | 0 | 34,2 | 215,7 |
| Frumento tenero | 5,9 | 652,2 | 0 | 123 | 775,2 |
| Patata comune | 31,3 | 95,2 | 48,6 | 31,1 | 174,9 |
| Radicchio | 13,7 | 50,6 | 0 | 71 | 121,6 |
| Soia | 3,6 | 820,8 | 357,5 | 0 | 1178,3 |
| Pomodoro da industria | 53 | 58,9 | 27,9 | 18,4 | 105,2 |

Tabella 42: WF calcolate per le colture in provincia di Padova nel 2011.

- **Provincia di Belluno**

| Località | Latitudine (°N) | Longitudine (°E) | Altitudine (m s.l.m) |
|----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Provincia di Belluno | 46.33 | 12.19 | 1080 |

Tabella 43: coordinate geografiche medie della Provincia di Belluno e utilizzate in CROPWAT. (elaborazione da dati ARPAV).

| Gruppo coltivazioni | di | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|----------------------------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Cereali | | Mais | 233.700 | 2.850 |
| Piante da tubero | | Patata comune | 30.400 | 160 |

| | | | |
|---|--|----------------|--------------|
| | | | |
| TOTALE | | 264.100 | 3.010 |
| % rispetto al totale provinciale | | 89% | 5,7% |

Tabella 44: Produzione totale e superficie investita delle colture in di Belluno nell'anno 2001. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2001 | ET _c [mm] | ET _{green} [mm] | ET _{blu} [mm] | CWU _{green} [m ³ /ha] | CWU _{blu} [m ³ /ha] |
|---------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|--|
| Mais | 364,8 | 364,8 | 0 | 3.648 | 0 |
| Patata comune | 346,5 | 346,5 | 0 | 3.465 | 0 |

Tabella 45: CWU calcolate per le colture in provincia di Belluno nel 2001.

| 2001 | Resa [t/ha] | WF _{green} [L/Kg] | WF _{blu} [L/Kg] | WF _{grey} [L/Kg] | WF _{totale} [L/Kg] |
|---------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Mais | 9,8 | 372,2 | 0 | 166,1 | 538,3 |
| Patata comune | 35,4 | 97,9 | 0 | 27,5 | 125,4 |

Tabella 46: WF calcolate per le colture in provincia di Belluno nel 2001.

| Gruppo coltivazioni | di | Descrizione coltivazione | Produzione totale (quintali) | Superficie investita (ettari) |
|---|----|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Cereali | | Mais | 180.500 | 1.900 |
| Piante da tubero | | Patata comune | 46.800 | 180 |
| TOTALE | | | 227.300 | 2.080 |
| % rispetto al totale provinciale | | | 87,1% | 4,4% |

Tabella 47: Produzione totale e superficie investita delle colture in Provincia di Belluno nell'anno 2011. (Fonte: ISTAT, www.agri.istat.it)

| 2011 | ET _c [mm] | ET _{green} [mm] | ET _{blu} [mm] | CWU _{green} [m ³ /ha] | CWU _{blu} [m ³ /ha] |
|---------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|--|
| Mais | 381,7 | 381,7 | 0 | 3.817 | 0 |
| Patata comune | 361,5 | 361,5 | 0 | 3.615 | 0 |

Tabella 48: CWU calcolate per le colture in provincia di Belluno nel 2011.

| 2011 | Resa [t/ha] | WF _{green} [L/Kg] | WF _{blu} [L/Kg] | WF _{grey} [L/Kg] | WF _{totale} [L/Kg] |
|------|----------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Mais | 10 | 381,7 | 0 | 162,8 | 544,5 |

| | | | | | |
|---------------|------|-------|---|------|--------------|
| Patata comune | 31,3 | 115,5 | 0 | 31,1 | 146,6 |
|---------------|------|-------|---|------|--------------|

Tabella 49: WF calcolate per le colture in provincia di Belluno nel 2011.