

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II**

**C.I.R.A.M. – Interdepartmental Center for Environmental Research**



**PhD School in Earth Sciences**

**PhD Course in  
Environmental System Analysis**

**XXVIII cycle**

**PhD thesis**

**The water footprint of urban territories**

**Rossana Varriale**

**Tutor:  
Prof. Massimiliano Fabbricino**

**PhD Coordinator:  
Prof. Maurizio Fedi**

**Co-tutor:  
Ing. Marianna Panico**

**2017**

## **Premessa**

Un'indagine sulla letteratura in materia di risorse idriche è il punto di partenza di questo lavoro che si propone di identificare i traguardi attesi per l'acqua: dalla scarsità, al bene comune della popolazione globale; agli obiettivi disattesi dell'economia globale, che con le sue spirali verticali cresce più di quanto l'ecosistema planetario possa rifornire. Si compie un *percorso* nei limiti della sostenibilità dell'acqua, alimentato dai primi approcci del Water Footprint sulla gestione del valore di flusso dell'acqua, ripercorrendo le fasi iniziali della crescita della domanda d'acqua a partire dai grandi aggregati urbani, alle progettualità di un'ingegnerizzazione dei servizi per il benessere umano.

Sullo sfondo di questa ricostruzione ci sono le consapevolezza consegnate dal Millennium Assessment 2005 sui servizi idrici quali ecosistemi di provisioning e di regolazione, la necessità quindi di spostarsi da un approccio neutro sull'acqua ad una visione olistica delle problematiche di questo millennio. Si percorrono le tappe che il Water Footprint evolve verso la costruzione di un paradigma di pressione antropica che dia evidenza dei livelli di inaccettabilità delle pratiche di utilizzo dell'acqua. Si *insegue* quindi un approccio sfuggente, a cui non siamo abituati, ma che obbliga ad analizzare i consumi idrici in chiave ecosistemica, per arrivare a rileggere il paesaggio urbano come un'opera incompleta dell'ingegneria umana, un metabolismo destinato all'implosione. E da qui si riparte per tentare di costruire indicatori di un assessment verso obiettivi di sostenibilità dell'acqua.

Nel primo Capitolo è stata svolta un'analisi della letteratura sul tema della scarsità idrica, identificando nel Footprint e nel Water Reuse dei topic largamente condivisi nella comunità scientifica. Nel secondo Capitolo si ripercorrono le ricostruzioni ecosistemiche dell'acqua come risorsa locale delle popolazioni urbane e come materia prima della produzione globale. Nel terzo Capitolo si affronta la dimensione globale del trading virtuale dell'acqua, identificando nella città il luogo da cui parte e a cui è direzionato il flusso planetario del consumo d'acqua. Nel quarto capitolo si analizza il metabolismo urbano, la dimensione incompleta dell'ingegneria idraulica per i servizi idrici, che interrompe il flusso circolare dell'acqua, spostando in maniera caotica le risorse idriche del territorio, senza preoccuparsi dei necessari meccanismi di resilienza. Nel quinto Capitolo si propone un framework per un assessment dei flussi idrici sul territorio urbano a partire dai flussi di entrata e di uscita dell'utility Gori spa del Comune di S. Antonio Abate (NA). L'obiettivo del lavoro è la messa punto di misurazioni utili agli indicatori di sostenibilità idrica annidati sul concetto di *reuse* e *riciclo* dell'acqua.

Il lavoro è stato svolto con la volontà di offrire un contributo alla metodologia del nuovo paradigma WF e con la consapevolezza dei limiti derivanti dalla mancanza di dati.

## Sommario

Capitolo 1.....	5
1. Introduzione .....	5
2. Analisi della letteratura .....	6
3. Trattamento dati .....	8
4. Risultati e argomentazioni.....	11
5. Conclusioni .....	13
Reference.....	14
Capitolo 2: Introduzione al Water Footprint.....	16
1. Introduzione .....	16
2. L'impronta idrica.....	16
3. Il valore dell'acqua.....	17
4. L'acqua che mangiamo .....	19
5. La resilienza dell'acqua.....	23
Reference.....	25
Capitolo 3 L'impronta idrica delle città .....	27
1. Introduzione .....	27
2. Le acque blu, verdi e grigie .....	27
3. I confini fisici dell'acqua.....	30
4. Il Water Footprint delle città .....	32
5. Conclusioni .....	34
Reference.....	34
Capitolo 4 Metabolismo urbano .....	37
1. Introduzione .....	37
2. Il metabolismo urbano .....	37
3. Le città batteriologiche.....	40
4. Lo spazio fluido del territorio antropico.....	42
5. Dal metabolismo lineare al metabolismo circolare.....	44
6. L'ecosistema urbano.....	45
7. Conclusioni .....	46
Capitolo 5: Un framework per il calcolo dell'impronta idrica urbana .....	48
1. Introduzione .....	48
2. Assessment dinamico dell'Impronta Idrica di S. Antonio Abate .....	48
3. Processo A: Captazione e Adduzione .....	49
4. Processo B: Consumi Idrici nell'area urbana .....	51
5. Processo C: Processi di Collettamento Trattamento .....	53

6. Elaborazione dati dell'Impronta idrica di S. Antonio Abate .....	54
7. Conclusioni .....	58
Considerazioni finali .....	59
Workgroup Review .....	60

# Capitolo 1

## 1 Introduzione

L'acqua viene percepita come uno dei problemi ambientali più pressanti, soprattutto in ragione di emergenze di **scarsità idrica** diversamente distribuite sul pianeta. La scarsità idrica non sta a significare semplicemente disponibilità d'acqua insufficienti per i fabbisogni, quanto piuttosto, l'effetto di dinamiche socio – economiche ed ambientali fuori controllo.

La crescita della popolazione, l'irrigazione, e l'urbanizzazione sono i fattori di stress più significativi sulla gestione delle risorse idriche. La crescente domanda di acqua, unita al cambiamento della copertura del territorio, modificano l'effettiva disponibilità di risorse idriche ed il relativo deterioramento della qualità dell'acqua.

Il "sistema idrico" attraversa tutte le regioni del pianeta indebolendo le certezze sul futuro sia nella economie più sviluppate che quelle in sviluppo. Che la scarsità idrica sia la sfida più importante del nuovo millennio lo conferma un recente studio della Banca Mondiale nel riesame del totale dei progetti approvati. sul portafoglio globale, rileva che negli ultimi cinque anni, la quota dei progetti legati all'acqua è raddoppiata, raggiungendo circa il 18%. In particolare nel periodo 2002 e 2012 sono stati approvati circa 800 progetti con temi legati all'acqua e tra questi, al primo posto c'è il tema dell'approvvigionamento idrico di uso domestico. Seguono i progetti per la protezione dalle inondazioni, l'irrigazione e la produzione di energia idroelettrica, *Luis E. García et. al. 2016*.

Secondo il World Economic Forum Global Risk, su venti categorie di rischio esaminate, la scarsità idrica costituisce il rischio di maggiore impatto a livello globale, nonostante la probabilità dell'evento si mantenga ancora su valori bassi, *World Economic Forum, 2015*. Si stima che più di un miliardo di persone vivono attualmente, in aree a forte scarsità idrica e che con la crescita della popolazione, questo numero sia destinato ad aumentare. Alla componente antropica che impatta sulle modifiche del clima, vengono attribuite le responsabilità della crescente scarsità idrica del pianeta

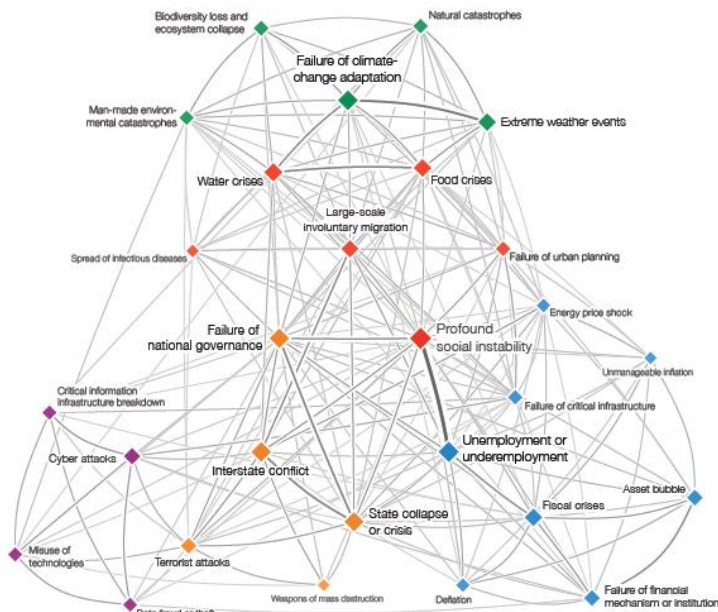
L'accesso all'acqua si è progressivamente ridotto nelle regioni aride e semiaride del pianeta, ma anche nelle zone umide, dove le risorse idriche sono sovrautilizzate dall'agricoltura, creando notevole stress idrico. (*C. de Fraiture 2013*). Uno studio ha stimato che la scarsità d'acqua che affligge l'Australia da circa un decennio, sia determinata da modifiche sui processi naturali, tra cui sono significative le modifiche apportate agli ecosistemi fluviali per l'irrigazione e il controllo delle inondazioni, che di fatto, hanno comportato una diminuzione progressiva dell'umidità del suolo, *A.I.J.M. van Dijk, et al. 2013*. I processi naturali legati ai valori di pan-evaporazione stimati in un'area dell'Iran, confermano invece l'ipotesi di una scarsità idrica, dovuta ad un clima più caldo e secco nel corso degli ultimi 22 anni, *H. Tabari 2011*.

Altri autori declinano la scarsità d'acqua all'interno dei fenomeni dovuti al cambiamento climatico. Per cui la scarsità idrica viene ulteriormente aggravata dalla **siccità** che colpisce sia le risorse idriche sotterranee che superficiali, e che può portare ad una riduzione della fornitura di acqua ed anche un deterioramento della qualità dell'acqua. (*A.K. Mishra et al. 2011*)

La comprensione della siccità e la modellazione delle sue componenti ha catturato l'attenzione di ecologisti, idrologi, meteorologi e scienziati agricoli sviluppando un ampio dibattito sulle metodologie da applicare per inquadrare il problema della scarsità idrica. All'interno di questo dibattito un ruolo interessante svolge il confronto tra gli studiosi del Water footprint e gli studiosi della metodologia LCA.

Secondo *Hoekstra 2012*, la preoccupazione crescente della comunità scientifica è quella di identificare indicatori affidabili per caratterizzare e mappare la scarsità d'acqua a livello globale. La metodologia del Water Footprint – WF, che contabilizza l'uso a consuntivo dei flussi di acqua sotterranei e superficiali per la produzione umana, presenta molti vantaggi, tra cui quello di poter fotografare mensilmente il consumo d'acqua causato dagli utilizzi. Nello studio del 2012 gli autori riportano la stima della scarsità idrica su 405

bacini fluviali nel periodo 1996-2005, rilevando una grave scarsità d'acqua per almeno un mese dell'anno in 201 bacini con 2,67 miliardi di abitanti.



Fonte : Global Risks Perception Survey, 2014

La complessità del problema della scarsità idrica è efficacemente riportata nella *The Global Risks 2015 Interconnection Map* dove la scarsità idrica viene identificata come *rischio geopolitico*, diversamente dall'energia, codificata invece come *rischio economico* al pari della disoccupazione. *World Economic Forum 2015*.

Nonostante la vastità delle pubblicazioni scientifiche sull'acqua (circa 7 milioni di pubblicazioni secondo la banca dati Google Scholar all'argomento "acqua") si rileva una carenza di studi sullo stato dell'arte sull'argomento, tale da consentire l'identificazione dei driver più significativi della ricerca. Alcuni studi hanno effettuato riesami di contributi scientifici mirati su specifici argomenti quali ad esempio metodi o modelli per il decision making *E. A. Donkor 2014*

## 2. Analisi della letteratura

In questo studio sono state selezionate dal Database Google Scholar le principali riviste scientifiche internazionali che trattano problematiche relative all'acqua. Sono state visionate n. 40 riviste, selezionate con il criterio di ricerca: "acqua" "idrologia" (rispettivamente: 20 , 20) per un totale di n. 1542 articoli. La selezione degli articoli da indicizzare in base alla nostra valutazione, è stata effettuata in accordo a due criteri:

- il numero di citazioni ricevute dall'articolo da parte della comunità scientifica globale, ricavato dal database Google per ciascuna pubblicazione. Questo valore è stato utilizzato come indicatore di condivisione, cioè livello di interesse della comunità scientifica verso gli argomenti trattati per ciascun articolo. Sono stati selezionati solo gli articoli che hanno ricevuto almeno >15 citazioni
- sono stati esclusi gli articoli che trattano argomenti molto specifici, quali ad esempio: sperimentazioni effettuate per il trattamento bio-chimico dell'acqua, sperimentazioni su colture e fattori di irrigazione, progetti idraulici sperimentali destinati ad efficientare le reti idriche.

Sono stati così selezionati 248 articoli e si è proceduto all'esame dei contenuti. Il periodo esaminato è quello del 2010 -2014, la scelta è una conseguenza del criterio di selezione impostato sul database relativo al numero citazioni per articolo, che si estende non oltre il 2014.

Per la indicizzazione dei contenuti è stato sviluppato lo Schema S1, che definisce **le relazioni causa effetto** tra la scarsità idrica e i diversi punti di osservazione del fenomeno, sia ambientali che antropici. Definiamo **punto di osservazione ambientale**, un approccio che ha come obiettivo quello di descrivere / valutare i bacini idrografici, allo scopo di una maggiore comprensione del loro funzionamento ed dei relativi effetti sulla scarsità idrica. Ad esempio valutare i cicli di evapotraspirazione di un'area per determinare quanto questi potranno influire sulla crescita di un raccolto.

Abbiamo invece definito il **punto di vista antropico**, l'approccio di ricerca volto ad identificare i meccanismi e le funzioni che supportano il benessere umano (in tutti i suoi fabbisogni da quelli materiali a quelli culturali a partire dai servizi ecosistemici disponibili, CE 2015. Ad esempio l'irrigazione intensiva di falda può avere effetti significativi sulle disponibilità idriche delle comunità locali.

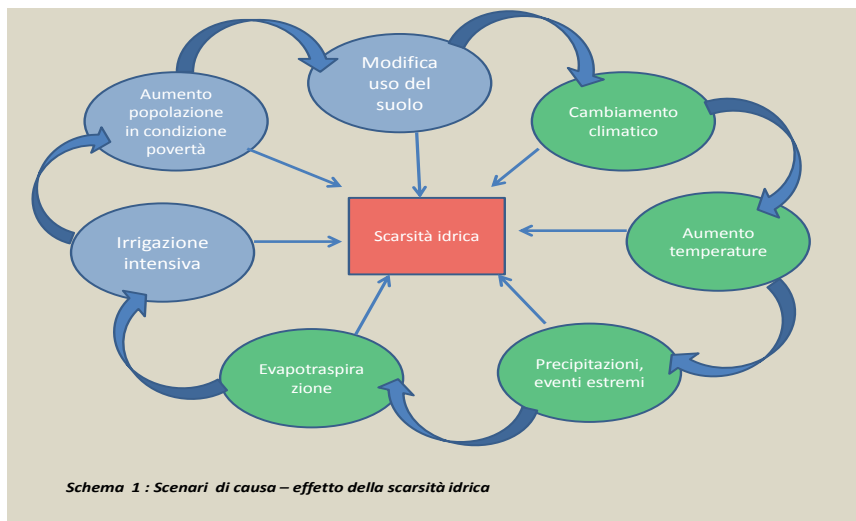
Il vantaggio dello schema proposto è in primo luogo quello di evitare l'approccio che vede nelle pressioni antropiche la causa principale di una serie di *effetti a catena* sul sistema naturale, difficilmente quantificabili. ("Effetto farfalla" Lorenz). Ad esempio, la siccità spesso è una condizione meteorologica che nulla ha a che vedere con pressioni causate dai sistemi umani, ma può anche essere originata da gravissime modifiche nell'uso del suolo, tali da impoverire alcune regioni a vantaggio di altre (D. Bossio et al. 2010). In questo caso è utile avere uno schema e dei driver che possano guidare l'analisi verso *processi di causa-effetto*.

In secondo luogo, essendo l'acqua una risorsa non rinnovabile e quindi limitata nel tempo e nello spazio, è necessario misurare con esattezza l'effetto determinato da diversi tipi di pressioni. Ad esempio i consumi idrici domestici rappresentano meno dello 0.6 % del totale dell'acqua dolce disponibile sul pianeta, questo implica che le cause della scarsità idrica devono essere indagate in rapporto al valore effettivo che assumo nelle reali funzioni ecosistemiche.

Tra gli obiettivi dello studio quindi, vi è quello di evidenziare il fatto che le simulazioni sull'andamento stocastico, e quindi spesso imprevedibile, di alcune delle molteplici variabili in gioco sulla scarsità idrica, potrebbe non aiutare la identificazione dei driver che effettivamente creano scarsità idrica

Nel presente studio si è adoperato un approccio causa / effetto per identificare le *cause* che danno origine ad *effetti di scarsità idrica*. Per cui come si evince dallo Schema 1, abbiamo selezionato le seguenti relazioni causa / effetto:

1. cambiamento climatico / aumento temperature
2. aumento temperature / eventi estremi, precipitazioni
3. precipitazioni / ciclo dell'acqua evapotraspirazione
4. evapotraspirazione / siccità, irrigazione intensiva
5. irrigazione intensiva / aumento popolazione in povertà
6. aumento popolazione in povertà / modifica uso del suolo
7. modifica uso del suolo / cambiamento climatico



Lo schema consente di differenziare i driver che costituiscono le cause dell'effetto "scarsità idrica". Questo ha supportato la scelta degli indici con cui sono stati classificate le ricerche oggetto del campione selezionato da Google Scholar in quanto costituisce già di per se una classificazione ordinata di fenomeni tra loro collegati.

Nello schema 1, sono state ipotizzate le connessioni tra alcuni dei **sistemi ambientali** (riportati in verde) e alcuni dei **sistemi antropici** (riportati in blu). La schematizzazione ha lo scopo di semplificare, per questo motivo sono stati riportati solo alcuni sistemi ritenuti più rilevanti ai fini dell'indagine. Ciascun sistema riportato ha le proprie "responsabilità"(cause) in materia di scarsità idrica, e quest'ultima viene ad essere considerata come effetto di driver di natura sia ambientale che antropica.

A partire da questo schema, sono stati indicizzati i contenuti di ciascun articolo del campione selezionato. Dalla analisi effettuata sono stati individuati **28 indici** di cui 13 classificati secondo il punto di vista ambientale, e 15 secondo il punto di vista antropico. Nell'indicizzazione delle ricerche questa distinzione è

stata molto utile perché ha contribuito a focalizzare il punto di vista dei ricercatori, e quindi l'obiettivo finale del loro lavoro.

Ad esempio l'aumento della popolazione in povertà, aumenta sicuramente la domanda reale di acqua e cibo, quindi stimola la modifica delle destinazioni d'uso del suolo (ad esempio: deforestazione amazzonica) ma nello stesso tempo la povertà, può essere determinata dal fatto che in alcune regioni sussistono pratiche agricole intensive, che sottraggono risorse idriche al consumo domestico.

Indice antropico	Indice ambientale
dams & governance	drought & clima
Water Governance	evapotranspiration
hydropower & governance	flood impact
Integrate Water Resources Mng-IWRM	groundwater & CC
paradigm water mng	hydrology modeling
Residential Water Demand	rainfall model
Water Distribution Network	rainwater harvesting
leak detection	River Temperature
urban water management	runoff & climate change
virtual water	water cycle
water and energy	water quality
water footprint-LCA	Urban flood risk mng-UFRM
water reuse	agricultural water management
water stress	
water treatment	

*Schema 2: Indici IMT / IMC suddivisi in Ambientali ed Antropici*

### 3 Trattamento dati

I dati a disposizione sono stati calcolati sul totale degli articoli e il totale delle citazioni ricevute da ciascun articolo, come da Schema 2. Su questi dati abbiamo sviluppati i seguenti indici:

- **Indice Maggiormente Trattati – IMT** che hanno avuto il maggior numero di trattazione all'interno del nostro campione. IMT viene calcolato con il numero di articoli associati all'argomento. L'IMT viene suddiviso in Ambientale ed Antropico (in ragione delle semplificazioni adottato con lo schema 1)
- **Indice Maggiormente Citati – IMC** che hanno avuto il maggior numero di citazioni all'interno del nostro campione. IMC viene calcolato con il totale citazioni ricevute per articolo per argomento. Anche IMC viene suddiviso in Ambientale ed Antropico

**Tra gli Indici Ambientali Maggiormente Trattati – IMTa-** dai ricercatori, l' **Agricultural water management**, è al primo posto, Fig.1. All'interno di questo indice sono stati raggruppati tutti gli studi relativi ai problemi dell'irrigazione e l'impatto dei fabbisogni idrici delle colture sulle acque superficiali e sotterranee. Segue l'indice che raggruppa i modelli predittivi, **Hydrology modeling**, che spaziano su diverse simulazioni di processi idrologici (deflussi, portate, scarsità idrica).

Significativo è anche l'indice dei processi di **Evapotraspirazione** che è stato estrapolato dai topics della *gestione dell'acqua in agricoltura*, in quanto la gran parte degli studi sull'evapotraspirazione può definirsi un capitolo a parte, orientato ad approfondire il ciclo ecosistemico dell'acqua in rapporto al suolo e alle temperature. A condizionare gli approfondimenti su questo topic, ci potrebbero essere le indicazioni del



Millennium Assessment - MA 2005, sulla necessità di approfondire i meccanismi di funzionamento degli ecosistemi, ed in particolare i servizi di regolazione eco sistemica.

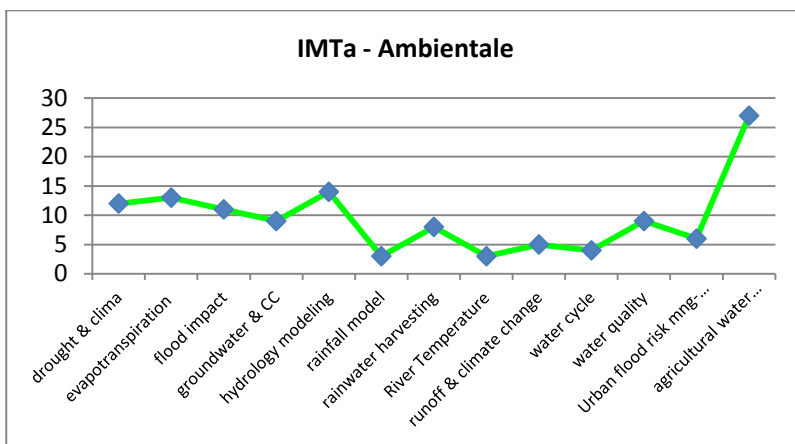


Grafico 1: Indici maggiormente trattati – Ambientali, IMTa

Tra gli Indici Antropici Maggiormente trattati **IMTp** - al primo livello di importanza si trova: l'Integrate water management – IWRM e il **Virtual water**, mentre in seconda battuta la **Water Governance** e il **Water Footprint** (Grafico 2).

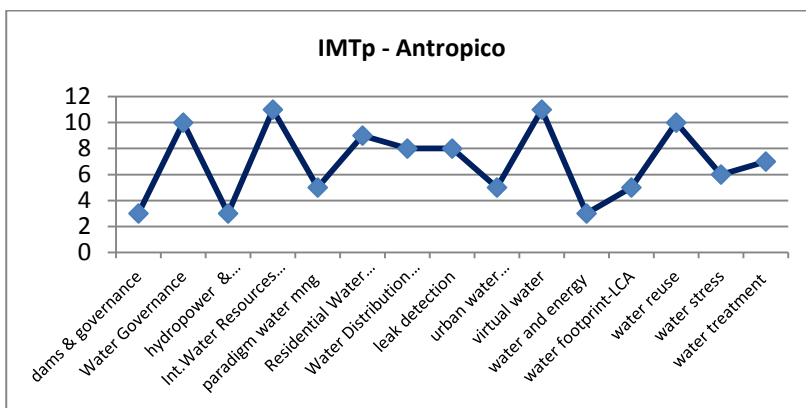
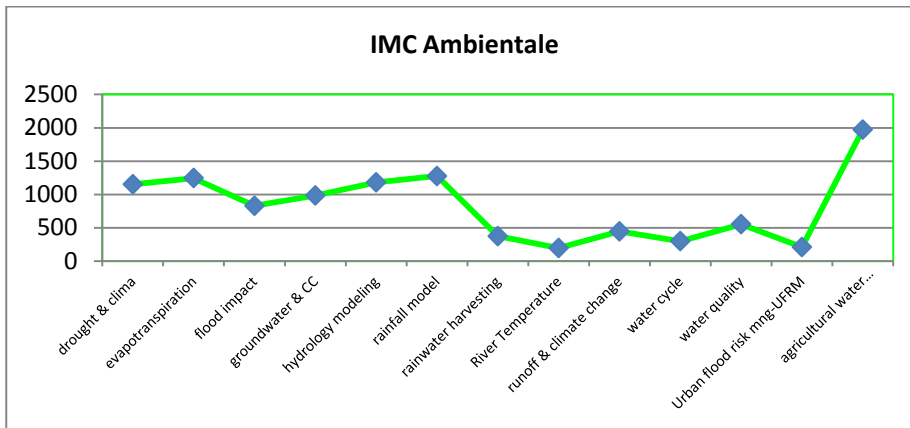


Grafico 2: Indici maggiormente trattati – Antropico, IMTp

Negli Indici Ambientali Maggiormente Citati – **IMCa** dai ricercatori, cioè che hanno ricevuto il maggior numero di citazioni per articolo, **l'Agriculture Management** di nuovo ha il valore più elevato (giustificato soprattutto dal numero di articoli sull'argomento che hanno aumentato il totale delle citazioni), mentre quello che segue è il **Rainfall model** che riscuote un totale di citazioni molto alto, nonostante in numero delle pubblicazioni sull'argomento sia relativamente basso. Anche gli studi sulla Evapotraspirazione e le Acque sotterranee ricevono maggiori citazioni in rapporto al numero di articoli (vedi Graf. 1)



Graf. 3 Indice Ambientale Maggioremente Citati IMCa

Per l'Indice Antropico dei Maggioremente Citati IMCp, il **Water treatment** è il topic più citato, che coglie quindi maggiormente l'attenzione della comunità scientifica. Seguono il Virtual water, il Water footprint e la Water governance.

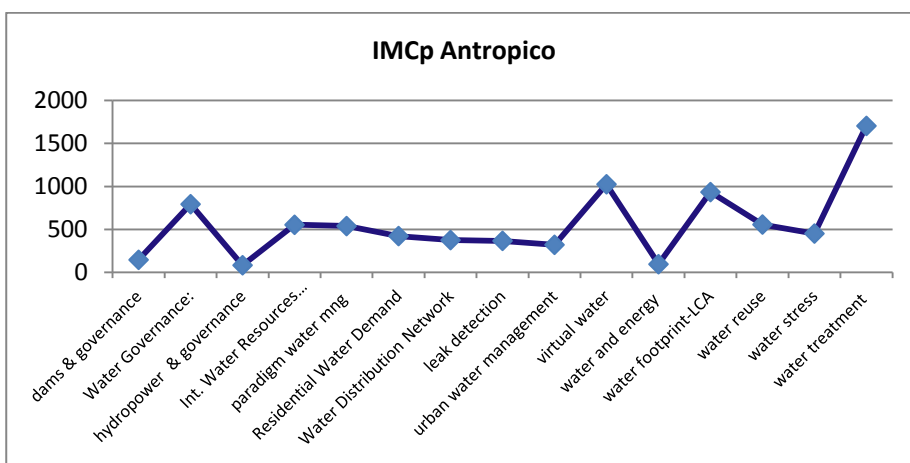


Grafico 4 : Indici Antropici maggioremente citati – IMCp

Ci è sembrato interessante inoltre calcolare un **Indicatore di condivisione** calcolato per ciascun indice dal rapporto tra numero pubblicazioni e numero citazioni ricevute, in modo da ponderare i risultati già rilevati. L'IC viene quindi espresso da :

$$IC = \frac{\sum IMC}{\sum IMT}$$

Il valore dell'Indicatore IC conferma alcuni dei dati già rilevati, ma attribuisce agli **Rainfall model** il valore più condiviso come topic, e poi a seguire al **Water treatment** il secondo posto. Seguono il Water Footprint, il Virtual Water ed infine il Paradigm water management.

Gli indici che sono stati sviluppati, forniscono in qualche maniera la misura delle tendenze generali della comunità scientifica che si dividono tra i due principali drive: modellizzazione sulle precipitazioni (Rainfal model) e nuove tecnologie di trattamento delle acque (Water Treatment).

**La ricerca di un Paradigma emerge** tra i topic più condivisi e può fornire la misura della percezione delle difficoltà degli studiosi ad imboccare un driver che possa effettivamente attraversare il problema della scarsità idrica verso soluzioni sostenibili a breve termine.

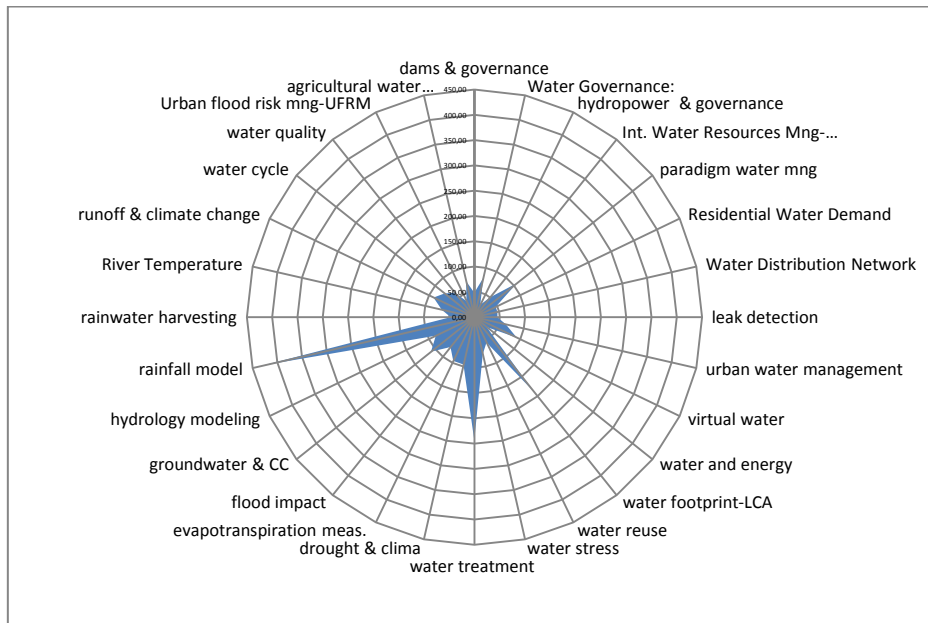
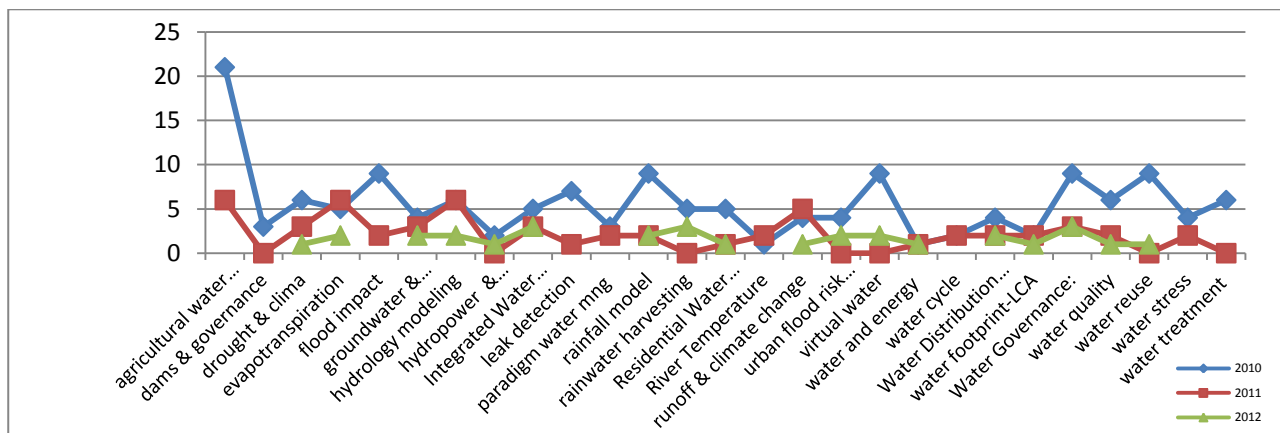


Grafico 5: Indice di condivisione

**Andamento recente della ricerca.** E' stata effettuata infine una visualizzazione dell'andamento annuale degli indici di Ambientali e Antropici identificati, per capire se c'è un andamento specifico della ricerca verso alcuni topics rispetto ad altri nel corso del tempo.

Nonostante il periodo identificato sul campione selezionato, sia 2010-2014, i trend significativi sono solo nel periodo 2010/2012. In realtà il campione ha già un filtro che condiziona il risultato sull'andamento annuale, che è appunto quello del numero citazioni che tende a ridursi andando verso il 2014. Tuttavia è da osservare nel 2011 un aumento (rispetto al 2010) degli studi sulle portate ma anche sulle acque sotterranee e i cambiamenti climatici. Nel 2012 si rileva un incremento rispetto all'anno precedente, di studi sulle modalità di **accumulazione/conservazione dell'acqua** e degli studi **sull'acqua virtuale**, e di **riutilizzo dell'acqua** Graf. 6.



Graf. 6 Andamento ricerche annualità 2010/2012

#### 4. Risultati e argomentazioni

Il primo step del lavoro è stato quello di codificare i diversi argomenti trattati dalla letteratura sul Water scarcity. Abbiamo utilizzato una schema causa effetto per distinguere gli studi che vertono sulle cause che determinano la scarsità idrica e abbiamo suddiviso queste, in cause ambientali e cause antropiche. L'obiettivo è quello di contribuire a fornire dei driver allo studioso che affronta la scarsità idrica come

rischio globale. Generalmente le cifre della scarsità idrica vengono sintetizzate con fenomeni allarmanti già misurati, quali ad esempio quelle riportate dal [UN Water, Rapporto 2015](#) :

- Il 50% della popolazione dipende dalle falde sotterranee per il proprio approvvigionamento idrico con tassi di consumo che superano quelli di ricarica
- il 43% delle attività di irrigazione viene effettuata con acque sotterranee
- il 20% delle falde acquifere mondiali è già sovra sfruttato, [Gleeson et al., 2012](#)
- il fenomeno dell'eutrofizzazione delle acque superficiali è in crescita entro il 2050 il 20% sarà contaminato da dannose fioriture algali

Questi numeri forniscono un quadro insostenibile delle risorse idriche del pianeta, rispetto al quale la ricerca deve orientarsi. E' significativo il fatto che lo scenario dell'emergenza idrica si è progressivamente spostata da topics di tipo ambientale a topics antropici.

Gli obiettivi del *Target 7C* derivanti alla Dichiarazione del Millennium 2000 infatti, miravano a "dimezzare, entro il 2015, la percentuale di persone senza accesso all'acqua potabile e ai servizi igienici di base" attraverso l'aumento della percentuale di popolazione che utilizza fonti d'acqua pulita da bere e che utilizza impianti di sanificazione domestici.

Il risultato di questo obiettivo al 2014, secondo [l'Unesco](#), è stato in parte conseguito dando accesso alle fonti di acqua potabile a più di 2 miliardi di persone in 116 paesi. Ma restano 748 milioni di persone che non hanno accesso a fonti di acqua potabile, mentre 2,5 miliardi di persone non utilizzano strutture igienico-sanitarie migliorate (definite come impianti che permettono di evitare il contatto con escrementi e urina) [Unesco 2014](#).

Il **diritto all'acqua** si scontra con la **scarsità idrica** e obbliga quindi i decision maker a ri-coniugare gli obiettivi del millennio in base all'emergenza alla quale andremo incontro nei prossimi decenni. In base alle previsioni, entro il 2050 la domanda globale di acqua aumenterà del 55%, principalmente in ragione della crescente urbanizzazione nei paesi in via di sviluppo. Le città dovranno ricercare le proprie fonti di approvvigionamento idrico in aree geograficamente più distanti non solo per l'approvvigionamento idrico ma anche per gli usi indiretti dello stesso nella catene delle forniture. In alternativa, viene suggerito, ci si potrà affidare a soluzioni innovative o a tecnologie avanzate per soddisfare la domanda crescente OECD, 2016.

In questo studio è stato rilevato che l'Indice più condiviso (*totale pubblicazioni / totale citazioni*) è il Rainfal Model, come indice di osservazione e valutazione di funzionamento ecosistemico. In realtà le precipitazioni costituiscono un argomento chiave nella lotta alla scarsità idrica. Come sostiene [B. Renard et al. 2010](#), una quantificazione significativa dei dati e delle incertezze strutturali nella modellazione concettuale degli afflussi-deflussi, è una grande sfida scientifica.

Come indica lo schema 3, il rainfal model è un indice che rappresenta studi non molto diffusi ed anche alquanto complessi, ma che riscuotono grande interesse da parte della comunità scientifica e sui quali sarebbero auspicabili approfondimenti anche di natura olistica, che potessero mettere insieme nelle équipes di ricerca know how di metereologi, ingegneri ambientali e esperti di agraria.

Lo schema 3 indica inoltre che il **Water Treatment** è il secondo indice più condiviso. Generalmente il problema dell'inquinamento dell'acqua, a monte viene percepito come un problema di qualità dell'acqua. In questo studio l'indice qualità dell'acqua - WQ, ha incluso tutti le ricerche che hanno come oggetto diversi fenomeni di inquinamento tra cui ad esempio: incendi boschivi e WQ [HG Smith et al. 2011](#), pesticidi e WQ dei fiumi [F. J. Diaz et al. 2012](#), [M Ricart et al. 2010](#), eventi estremi e WQ, [C. B. S. Dotto et al. 2010](#), opere idrauliche e WQ, [Y. Zhang et al. 2010](#).

	Antropico	Ambientale	Indice condiviso
IMT	IWRM	Agricultural M.	1. Rainfal Model
	Virtual W.	Hydrologic Modelling	2. W. Treatment
	W. Governance		3. W. Footprint

IMC	W. Footprint		4. Virtual W.
	W. Treatment	Agricultural M.	5. Paradigm W.
	Virtual W.	Rainfal model	
	W. Governance		
	W. Footprint		

Schema 3: Principali Indici identificati nello studio

Mentre il **trattamento dell'acqua** include ad esempio , studi di filtrazione attraverso semiconduttori catalici [Meng Nan Chong 2010](#), il trattamento biologico attraverso ozonizzazione, [Roberto et.al. 2010](#) include opere innovative per il trattamento dei reflui domestici. Ad esempio impianti pilota di fitodepurazione per il trattamento di acque nere domestiche e acque grigie sono stati realizzati in Egitto, Marocco, Tunisia e Turchia ed hanno dimostrato una riduzione molto efficiente del COD (fino al 98%) e del livello di nitrificazione (92-99%) in tutti gli impianti [F.Masi et al. 2010](#).

Nell'ambito di un unico drive "Inquinamento" gli studi sulla qualità dell'acqua, fotografano situazioni di grave degrado ambientale con eventuali identificazione delle cause. Mentre le ricerche sul trattamento dell'acqua aprono la ricerca scientifica verso nuovi obiettivi. Uno studio promosso dal Global Water Intelligence, stima al 2005 che il volume complessivo di acqua che può essere sottoposta al riutilizzo, attraverso tecnologie di trattamento, è di circa 19.4 milioni di m3 fino ail 2005, e che arriva a 54 milioni di m3 al 2015, [GWI 2005](#).

Visto in questa luce, il trattamento dell'acqua assume un valore strategico all'interno delle politiche per contrastare la scarsità idrica. Si tratta di un approccio che lascia spazio all'idea di rendere rinnovabile l'acqua, di sollevare per sempre intere popolazioni dalla vulnerabilità determinata dalla siccità e dalla relativa scarsità idrica. Numerosi impianti di trattamento a mezzo meccanico di piccole dimensioni sono già in uso in aziende con grossi consumi di acqua (ad esempio lavanderie industriali, impianti alimentari), e i risultati ottenuti in termini di qualità dell'acqua sono già molto soddisfacenti.

Il contributo che la ricerca scientifica può dare a questo settore è in primo luogo quello di svincolare il Water Reuse, dal pregiudizio che le nostre società nutrono nei confronti dell'acqua sporca [GWI 2005](#). La ciclicità dell'acqua ad oggi viene vissuta nelle tre dimensioni riconosciute scientificamente: il flusso verso l'alto per evaporazione e traspirazione, il de-flusso orizzonte, e il flusso verso il basso, per filtrazione dell'acqua nelle falde sotterranee. A questi cicli bisognerebbe affiancare il ciclo dell'acqua depurata e riutilizzata.

## 5. Conclusioni

In questo capitolo abbiamo esaminato le cause della scarsità idrica attraverso un riesame della letteratura esistente. Abbiamo dimostrato che gli studi del Water Treatment, integrato al Water Reuse, rappresentano un **imponente cambiamento del paradigma scientifico**, che richiederà nel breve periodo lo sviluppo nuove conoscenze, abilità e nuovi skill per la ricerca.

Di fatto, ad oggi sembra che le nostre società debbano fare i conti con nuove problematiche scientifiche, molte più impegnative e di difficile risposta. Alcuni studiosi attribuiscono al cambiamento climatico il forzante principale della progressiva riduzione delle portate dei corpi idrici. Diversi studi hanno correlato significativamente la crescita delle temperature alla riduzione delle precipitazioni in alcune aree del pianeta con la conseguente siccità delle regioni interessate. [KA Voss, JS Famiglietti, et al. 2013 \(74\)](#)

Ma altri studi sembrano attestare che la crescita della popolazione umana in ogni caso non potrà essere soddisfatta dalle risorse idriche esistenti nella stessa misura in cui oggi vengono utilizzate. I prelievi dai corpi idrici e dalle acque sotterranee mettono in pericolo i serbatoi naturali di cui dispone il pianeta. I prelievi intensivi non tengono conto della resilienza degli ecosistemi idrici che ha *tempi biologici* molto più lunghi di quelli dell'approvvigionamento idrico delle nostre società, [E.Tiezzi 2002](#).

Quindi se la causa del problema scarsità è la crescita della popolazione, unita al modello di sviluppo delle nostre società, probabilmente sarà utile dare spazio a soluzioni pragmatiche, che possano sollevare la società umana dalla siccità. In questo ribaltamento della prospettiva scientifica, il rischio naturale di alluvioni / eventi estremi potrebbe trasformarsi anch'esso in opportunità "di ricarica" del nostro pianeta che potrebbe cominciare a riconoscere proprio nella comunità antropica, l'evento calamitoso, dentro la ciclicità caotica dei sistemi naturali.

## Reference

Albert I. J. M. van Dijk, Hylke E. Beck, Russell S. Crosbie, R. A. M. de Jeu, Yi Y. Liu, Geoff M. Podger, B. Timbal, Neil R. Viney, The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society, *Water Resources Research*, Vol. 49, 2013

Arjen Y. Hoekstra, Mesfin M. Mekonnen, Ashok K. Chapagain, Ruth E. Mathews, Brian D. , Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability, *Richter* , PLoS ONE ,2012

Ashok K. Mishra, Vijay P. Singh, Drought modeling – A review , *Journal of Hydrology*, 2011

Charlotte de Fraiture , David Molden, Dennis Wichelns, Investing in water for food, ecosystems, and livelihoods: An overview of the comprehensive assessment of water management in agriculture, *Agricultural Water Management* 97 2010

Hossein Tabari · Safar Marofi, Changes of Pan Evaporation in the West of Iran, *Water Resour Manage* 2011

Luis E. García et. al., Heart Observation for Water Resource Management, Current Use and Future Opportunities for the Water Sector, World Bank Group, 2016

Emmanuel A. Donkor, S.M. ASCE; Thomas A. Mazzuchi; Refik Soyer; J. Alan Roberson, Urban Water Demand Forecasting: Review of Methods and Models, *Journal of water resources planning and management*, feb. 2014

OECD 2016, Water Governance in Cities, OECD Studies on Water, Publishing Paris, 2016  
[http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/governance/water-governance-in-cities\\_9789264251090-en#page4](http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/governance/water-governance-in-cities_9789264251090-en#page4)

Tom Gleeson, Yoshihide Wada, Marc F. P. Bierkens, Ludovicus P. H. van Beek, Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint, *Nature* · August 2012

UNESCO, Water in the post-2015 development agenda and sustainable development goals, Division of Water Sciences – International Hydrological Programme (IHP), UNESCO, 2014  
<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002281/228120e.pdf>

World Economic Forum, Global Risks, 10th Edition 2015

UN Water, Rapporto 2015 delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche mondiali, WWDR 2015

Pubblicazioni OECD su Water <http://www.oecd.org/env/resources/water-publications.htm>

Pubblicazioni Nazioni Unite su Millennium <http://www.un.org/millenniumgoals/>

Benjamin Renard, Dmitri Kavetski, George Kuczera, Mark Thyer, Stewart W. Franks, Understanding predictive uncertainty in hydrologic modeling: Le challenge of identifying input and structural errors, *Water Resources Research* , may, 2010

C. B. S. Dotto, M. Kleidorfer, A. Deletic, T. D. Fletcher, D. T. McCarthy and W. Rauch, Stormwater quality models: Performance and sensitivity analysis, *Water Science & Technology* , 2010

Yongyong Zhang · Jun Xia · Tao Liang · Quanxi Shao, Impact of Water Projects on River Flow Regimes and Water Quality in Huai River Basin, *Water Resources Management*, 2010

Francisco J. Diaz · Anthony T. O'Geen · Randy A. Dahlgren, Agricultural pollutant removal by constructed wetlands: Implications for water management and design, *Agricultural Water Management* 2012

E. Tiezzi *Tempi storici, tempi biologici*, Garzanti, 1984,

M Ricart, H Guasch, D Barceló, R Brix, MH Conceição, A Geislinger, Primary and complex stressors in polluted mediterranean rivers: Pesticide effects on biological communities, *Journal of Hydrology*, 2012

HG Smith, GJ Sheridan, PNJ Lane, P Nyman, S Haydon, Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply *Journal of Hydrology* 396, 2011

Meng Nan Chong Bo Jin, Christopher W.K. Chow , Chris Saint Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review, *Water Research*, 2010

F Masi · B El Hamouri · H. Abdel Shafi · A Baban · A Ghrabi · M Regelsberger, Treatment of segregated black/grey domestic wastewater using constructed wetlands in the Mediterranean basin: The zero-m experience, *Water Science & Technologies*, 2010

R. Rosal, A. Rodríguez, J. A. Perdigón-Melón, Alice Petre, Eloy García-Calvo, María José Gómez, Ana Agüera, Amadeo R. Fernández-Alba, Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation, *Water Resource*, 2010

## Capitolo 2: Introduzione al Water Footprint

### 1. Introduzione

In questo capitolo si cercherà di entrare nel merito di alcune problematiche che caratterizzano la scarsità idrica e le crescenti preoccupazioni della comunità scientifica in merito. Si attraverseranno alcune delle **principali problematiche** sollevate dagli studi della pressione antropica sui sistemi idrici. Si cercherà poi di descrivere il ruolo svolto dal nuovo paradigma del Water Footprint nella ricerca scientifica, cercando anche di spiegare in che modo gli studi sulla pressione antropica possono rappresentare effettivamente una svolta importante nella ricerca sui sistemi idrici e sui sistemi ambientali in genere.

La metodologia del Water footprint verrà infine confrontata con altri strumenti di analisi quali il Life Cycle Assessment – LCA, allo scopo di identificarne e i punti di forza e di debolezza.

### 2. L'impronta idrica

*Quello che rimane della terra ricca di un tempo somiglia a uno scheletro di un uomo malato ..In passato molte montagne erano arabili. Le pianure erano piene di terra ricca, ora sono marce come adesso, ma scorreva dalla terra nuda al mare. Il suolo era profondo, assorbiva e teneva l'acqua.. e l'acqua che bagnava le colline alimentate da sorgenti e torrenti ovunque. ... Una volta la terra era ricca di pioggia fresca, che non era perduta e in passato erano ruscelli... (G. Daily 1997)*

La modifica del territorio raccontata da Platone, e riportata da Gretchen Daily circa 30 anni fa per spiegare il valore degli ecosistemi, lascia stupiti, ma non più di tanto perché come dimostra la letteratura corrente, è oramai diffusa la consapevolezza di una progressiva erosione delle caratteristiche dei sistemi naturali ed in particolare degli assetti idrologici legati all'uso del suolo. Diversi autori, tra cui [J. A. Foley 2005](#), [S. Shadkam et al. 2016](#), sollecitano un approccio integrato suolo-acqua per la pianificazione degli interventi di mitigazione di rischi quali la siccità, dovuti all'utilizzo non sostenibile delle risorse idriche. La siccità del lago di Aral in Iran è stata più volte esaminata nei suoi diversi aspetti. Il un decadimento complessivo dell'ecosistema acquatico, la formazione di tempeste di sabbia, di aerosol, la perdita delle specie ittiche, l'aumento dei livelli di salinizzazione dei corpi idrici afferenti, rappresentano forse l'esempio più conosciuto dalla comunità scientifica globale, del degrado di un corpo idrico. [Ge et al. 2016](#),

Il trasferimento geografico dell'acqua costituisce spesso una scelta obbligata per intere regioni densamente abitate che spingono alla realizzazione di opere spettacolari, come la diga idroelettrica di Itaipú, situata sul fiume Panama al confine tra Paraguay e Brasile o la più recente diga idroelettrica di Xiaolangdi sul Fiume Giallo. Alcune di queste opere hanno modificato irrimediabilmente il design del territorio e se da una parte sono state dettate dalla necessità e dall'utilità di servirsi dei corpi idrici per la produzione di energia o per l'irrigazione, spesso sono state trattate come opere necessarie per garantire un migliore assetto idrogeologico, finalizzate quindi alla mitigazione del rischio da inondazioni, [K.Nielsen 2012](#), [D. Moore 2010](#).

In realtà queste pressioni hanno via via determinato un nuovo design idrologico dei territori, sui quali peraltro la Commissione Mondiale sulle dighe, nel 2009, ha posto dei limiti evidenti. La Commissione ha sostenuto che tali opere debbano essere realizzate ma nel rispetto di alcuni parametri di salvaguarda della biodiversità, ma tuttavia costituiscono in ogni caso, un pesante impatto sul territorio. A tale scopo la WCD ha emesso delle Linee Guida che, a detta degli utilizzatori, risultano inapplicabili per quanto sono restrittive. [World Commission of Dams, 2010](#).



Come è stato dimostrato, esiste una relazione diretta tra le modifiche apportate al territorio e le modifiche nei flussi idrici, ogni cambiamento della litosfera può influire su uno dei tre flussi naturali del ciclo dell'acqua: il flusso che va dal basso verso l'alto con l'evapotraspirazione, il flusso verticale dalla superficie verso la profondità del suolo per filtrazione, il flusso orizzontale dei deflussi superficiali, [L. J. Gordon 2008](#).

Ma se da una parte, la modifica dell'idrografia oggi viene percepita come il principale problema ambientale a livello globale, è anche vero che il principio di "stazionarietà" del paesaggio, può ritenersi superato e che il futuro dell'idrologia sta nella sua evoluzione insieme a un mondo che cambia. L'Idrologia ha fatto enormi passi avanti nella comprensione del comportamento di piccoli e relativamente omogenei sistemi su scale di tempo relativamente brevi, ma sono necessarie ulteriori ricerche per comprendere la complessità con cui il ciclo dell'acqua interagisce negli ecosistemi.

La complessità dell'assetto idrologico richiede lo sviluppo di un nuovo paradigma di analisi per la comprensione di quello in cui viviamo, che è un paesaggio socio-ecologico in cui tutti i sistemi non si configurano come stazionari, ma hanno comportamenti stocastici alimentati dalle pressioni antropiche. [M. Sivapalan 2010](#).

Lo studioso Jackson suggerisce la necessità spostare la ricerca sulla descrizione del sistema antropico per prevedere le conseguenze delle attività umane sugli ecosistemi. Tra le priorità della ricerca, indica la necessità di maggiori studi su ecosistemi aridi e semi-aridi, dove l'acqua è scarsa ed esiste un accoppiamento stretto tra l'idrologia e l'ecologia. Necessari sono anche nuovi quadri predittivi per comprendere le conseguenze dei cambiamenti della vegetazione, che combina la connettività del paesaggio attraverso dinamiche di ricarica e di scarico. Nei sistemi in cui le precipitazioni annuali e l'evapotraspirazione tendono ad equilibrarsi, le differenze evapotraspirative dovute a modifiche della vegetazione esistente, possono rapidamente modificare il bilancio idrico dei flussi d'acqua alterando gli equilibri biogeochimici. Di tutti questi delicati equilibri dovrà occuparsi la idrologia del futuro. [Jackson 2009](#)

### 3. Il valore dell'acqua

*"L'uomo è ciò che mangia"*

*Feurbach, 1860*

La civiltà umana è il risultato delle risorse di cui dispone per procurarsi benessere. Come è stato sottolineato l'ambiente concorre alla creazione del "benessere umano" con processi ecosistemici di regolazione, di approvvigionamento, di supporto. ([MA, Millennium Assessment, 2005](#))

*L'uomo è ciò che mangia*, è il risultato dei servizi ecosistemici con cui viene a contatto, maggiori sono le risorse ambientali di cui dispone e maggiori sono le possibilità di espansione della civiltà umana. In questa intuizione, il filosofo tedesco Feurbach attribuì l'essenza dell'uomo a tutte le risorse materiali di cui dispone, sganciando il destino di una civiltà da spiegazioni meta-fisiche. E' infatti la fisica ambientale, insieme con i processi bio-chimici, a fornire spiegazioni utili alla comprensione dei processi ecosistemici. Ma non solo. Se la meta-fisica è una spiegazione parziale della realtà, perché consegna quello che non sa spiegare a processi che non appartengono alla natura, le scienze che studiano gli ecosistemi e la natura attribuiscono tutti i processi ecosistemici alle ciclicità bio-fisiche verificate sul campo. Così la spiegazione dell'ecosistema avviene a mezzo di una ciclicità che fa della "natura" l'unica vera protagonista. Come ad esempio il ciclo dell'acqua, che si sviluppa attraverso i parametri meteorologici della temperatura e dell'umidità, coadiuvato dalle funzioni della vita vegetale, il ciclo dell'azoto, coadiuvato dai servizi di supporto dell'ecosistema.

Ma i recenti risultati della ricerca scientifica suggeriscono che questa spiegazione non è più sufficiente, perché in realtà *l'uomo è ciò che mangia*, ma è parte "interessata" dei processi ecosistemici, al pari del suolo, degli stomi vegetali e tutti gli altri infiniti micro-elementi ambientali. L'uomo svolge funzioni che sono "determinanti" nell'evoluzione dei processi ciclici degli ecosistemi. Secondo alcuni autori, il ruolo dell'uomo è quello di un *attore biologico* che modifica più o meno consapevolmente, i processi ambientali. L'uomo è ciò che mangia, è quindi parte del tutto da cui non può scindersi.

Sul ruolo “dominante” della pressione antropica sui sistemi naturali, concorda un’ampia rappresentanza della comunità scientifica (Rapporto [IPCC 2015](#)) per cui in diversi ambiti accademici l’era attuale viene definita, antropocenica. Coniugare gli aspetti sociali ed economici alle valutazioni ambientali è apparentemente un lavoro arduo per diversità di linguaggi, approcci e metodologia. L’approccio Footprint ha merito di aver ignorato queste riserve scientifiche e deontologiche, ed aver messo in campo un approccio olistico mirato direttamente ai risultati ottenuti in termini di analisi degli impatti antropocenici sulle risorse naturali.

In un articolo pubblicato nel 1998, A. Hoekstra, l’ideatore del Water Footprint- WF, osservava “*what factors determine water demand, what is the possible role of technology, how much water is available, what is water scarcity and what kind of policy to adopt under water scarcity conditions?*”. Nel corso del tempo la comunità di studiosi del Footprint ha consolidato l’idea che le risposte a queste domande devono necessariamente avere un approccio olistico, nutrirsi quindi del contributo delle scienze sociali, economiche, ecologiche, *al fine di comprendere il ruolo che le risorse naturali coprono nello sviluppo umano.*

Il punto di partenza del Water Footprint Network sta nell’introduzione di una metodologia che sposta il problema della negoziazione delle risorse naturali, da una questione esclusivamente tecnico-economica, ad una progettualità più ampia, che si interroga sul tipo di “benessere umano” che si vuole e si “può” costruire.

In uno studio del 2001 vengono poste le basi di una metodologia per stimare il valore dell’acqua nelle diverse fasi del suo ciclo. Come gli stessi autori suggeriscono: I risultati di questo studio dimostrano che il concetto di valore di flusso offre la possibilità di una contabilità ciclica per la natura dell’acqua. Nello studio gli autori sviluppano uno strumento contabile per stimare il “*valore di flusso*” del fiume Zambesi e definiscono alcuni concetti chiave nella metodologia del Water Footprint. Un metro cubo di acqua fornisce benefici in uno spazio/tempo definito, ma in ragione del runoff dell’acqua lo stesso metro cubo d’acqua può fornire benefici diversi in un altro spazio/tempo precedente o successivo.

Il suo “valore di flusso” cambia dunque nel tempo e nello spazio. L’acqua prelevata tornerà sempre nel ciclo dell’acqua, ma potrebbe tornare in un luogo diverso da quello in cui è stata prelevata, cominciando così a scarseggiare nel luogo di origine e dando invece nuovi benefici nel luogo di approdo. Sulla base di queste considerazioni, gli autori definiscono il concetto di valore diretto/valore indiretto dell’acqua a seconda se questa viene valutata in situ o in una delle sue fasi cicliche successive. Ad esempio nella produzione di colture agricole, l’acqua ha un valore diretto per le piante ed un valore indiretto per le infiltrazioni che attraversano il suolo. [A.Y. Hoekstra et al. 2001.](#)

In questo studio gli autori sviluppano anche il primo indicatore del WF, quello relativo al valore lordo standardizzato della produzione dell’acqua (SGVP), definito come :

$$SGVP = \sum_{crop=1}^{crop=i} \left( A_i \times Y_i \times \frac{P_i}{P_b} \right) \times P_{world}, \quad (1)$$

dove  $A_i$  rappresenta la superficie coltivata a colture  $i$  (in ettari),  $Y_i$  la resa del raccolto  $i$  (in kg / ha),  $P_i$  il prezzo locale di coltura  $i$  (in valuta locale / kg),  $P_b$  il prezzo locale di una coltura di riferimento (in valuta locale / kg) e  $P_{world}$  il prezzo del mercato mondiale della coltura di riferimento (in USD / kg). In questa equazione il SGVP (il valore dell’acqua impiegata) viene calcolato in termini prettamente merceologici, come il risultato di impieghi quali: area coltivata, resa e prezzo relativo.

L’obiettivo degli autori è stimare la convenienza economica di opere di trasferimento dell’acqua del fiume Zambesi a vantaggio di altre regioni con scarsità idrica, dove gli autori convengono che il valore di flusso dell’acqua “esportata” in altre regioni diminuisce. E’ proprio nell’ambito di questo studio che il WF comincia a utilizzare il concetto di **acqua virtuale** di [J. Allan 1998](#), per analizzare il “trasferimento geografico” dell’acqua all’interno del commercio globale, e per stimare il ruolo dell’acqua virtuale nell’impronta idrica di una regione.

Nello studio successivo, [Hoekstra 2002](#), sostiene, sulla base degli studi già condotti da J.Allan, che se un paese esporta un prodotto a intensità d’acqua, in realtà esporta anche acqua virtuale e in questo modo un paese produttore sostiene il paese importatore in termini di fabbisogni idrici delle colture. Lo studio del 2002, che è anche il primo Manuale del Water Footprint, riporta i fabbisogni idrici di colture del FAO-Crop

Wat model calcolati in base alla relativa evapotraspirazione per ettaro (m3/ha). L'equazione per il WF di un prodotto diventa:

$$SWD[n,c] = \frac{CWR[n,c]}{CY[n,c]} \quad (2)$$

Dove SWD Specific wate demand, indica la domanda d'acqua specifica ( in m3/ton) del raccolto c nella regione n, CWR sono i Requisiti d'acqua del raccolto (in m3/ha) e CY la resa del raccolto espressa in tonnellate per ettaro. Il risultati di questo studio vengono riportati nella Fig. 1 dove si rileva che l'India è tra i principali importatori di acqua virtuale mentre per il nord Africa è evidente la dipendenza dal Nord America, mentre l'Europa occidentale ha una dipendenza idrica dal Centro America (i dati si riferiscono al periodo 1995/1999). Le regioni in verde hanno un saldo di acqua virtuale negativo, mentre quelle in rosso hanno un saldo positivo. La maggiore criticità in termini di flussi idrici è nel continente africano

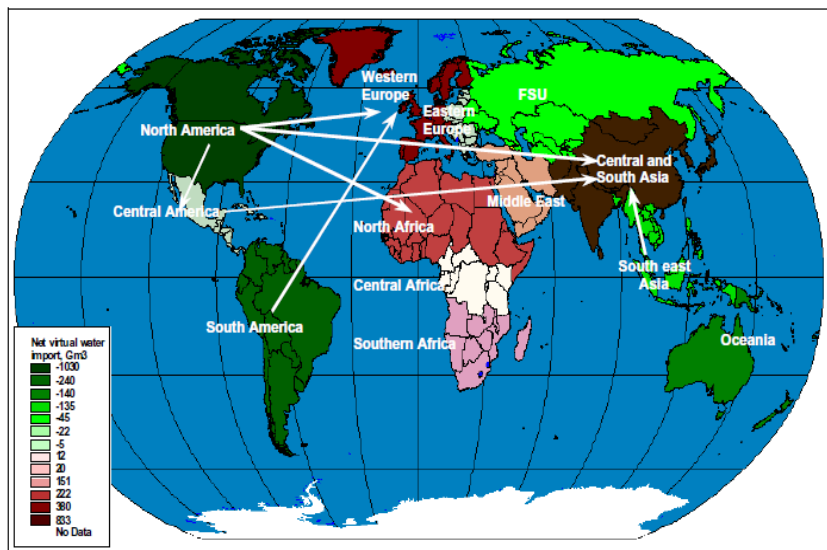


Fig. 1: Hoekstra, A.Y. and P.Q. Hung 2002, *Il virtuale trade globale dell'acqua*

In realtà l'esportazione di acqua avviene nel suo valore relativo, cioè nelle quantità d'acqua sottratte localmente per la produzione di un prodotto che verrà consumato in un'altra regione. L'acqua virtuale è un delle misure più utilizzate nel network del WF, diversi studi sono stati curati a partire dagli stessi autori non soltanto su commerci su scala globale, ma anche su scambi regionali, dove dalle mappe della circolazione dell'acqua virtuale si può evincere il rapporto risorse / territorio/ tipo di colture disegnando la mappa di un flusso virtuale che accompagna i beni su tutto il pianeta.

Come evidenza [Chapagain et al. 2012](#), le valutazioni dell'impronta idrica sono state un mezzo efficace per aumentare la consapevolezza delle sfide idriche mondiali tra un pubblico "fuori dagli schemi" compresi i decision maker nell'industria e nel governo, che hanno cominciato a percepire i rischi aziendali strategici del flusso globale dell'acqua, sia dal punto di vista della carenza idrica che dell'inquinamento. Sono moltissimi gli studi pubblicati sul valore dell'acqua virtuale, in uno studio condotto sul calcolo dell'acqua virtuale del fiume Giallo ([Kuishuang Feng et al. 2011](#)) gli autori suddividono il bacino dello Yellow River Basin – YRB, in tre principali aree e per descrivere le movimentazioni di prodotti e di servizi che impattano sulle risorse idriche a livello regionale.

#### 4. L'acqua che mangiamo

Sin qui abbiamo visto il valore di flusso e il valore del trading dell'acqua. In questo paragrafo ci occuperemo del valore "culturale" dell'acqua, dove per cultura intendiamo tutte le attività antropiche volte a costruire il benessere umano, e quindi il cibo, le attività di trasformazione, manipolazione di materia prima organica e

inorganica. È interessante notare quello che non è il WF, secondo il suo ideatore il WF non è una misura della gravità dell'impatto dei consumi di acqua e dell'inquinamento sull'ambiente locale, perchè l'impatto locale dipende dalla sua intrinseca vulnerabilità e dal numero dei consumatori che utilizzano il sistema, [Hoekstra 2011](#). Il WF è piuttosto un indicatore multilivello, perchè non indica solo quanta acqua viene utilizzata per un prodotto, quanta viene inquinata; ma anche contemporaneamente, quanta acqua rinnovabile (green water) contribuisce al processo di generazione del prodotto prima del consumo.

Come vedremo più avanti, diversamente dalle contabilità di prodotto e di processo sviluppate nella comunità di studiosi dell'LCA, l'account del WF nell'obiettivo dell'assessment dell'impronta sui territori, c'è la volontà di integrare i processi naturali (ad esempio: evapotraspirazione), ai processi antropici (ad esempio: irrigazione), con lo scopo di identificare le effettive criticità della pressione antropica sulle risorse. La figura 2 suddivide i processi di consumo idrico in due macrofinalità: 1) la produzione di prodotti, 2) il water footprint di un'area.

Su questo sdoppiamento dell'obiettivo si gioca molta dell'ambiguità del framework WF, in quanto il tool di assessment, come definito da Hoekstra, serve da una parte una analisi merceologica di un prodotto e dall'altra un'analisi ecosistemica di un'area. Anche gli studi condotti sino ad oggi sembrano soffrire di questo sdoppiamento che non è solo formale ma anche sostanziale, in quanto:

- negli assessment sull'impronta idrica di prodotti quali ad esempio il grano, [M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra 2010](#) gli analisti utilizzano il database Unesco che fornisce per la gran parte delle tipologie di prodotto, l'equivalente valore di consumo di acqua necessaria alla coltura della risorsa. Questo consente di condurre analisi oggettive sul contenuto d'acqua di un prodotto che mangiamo, per tutta la sua filiera di trasformazione,
- diversamente negli assessment condotti sul WF di un'area, il metodo da utilizzare è molto più sfuggente in quanto non potendo annidare su un unico prodotto i flussi idrici consumati, si deve procedere per categorie di consumi: consumi idropotabili, consumi agricoli, consumi industriali.

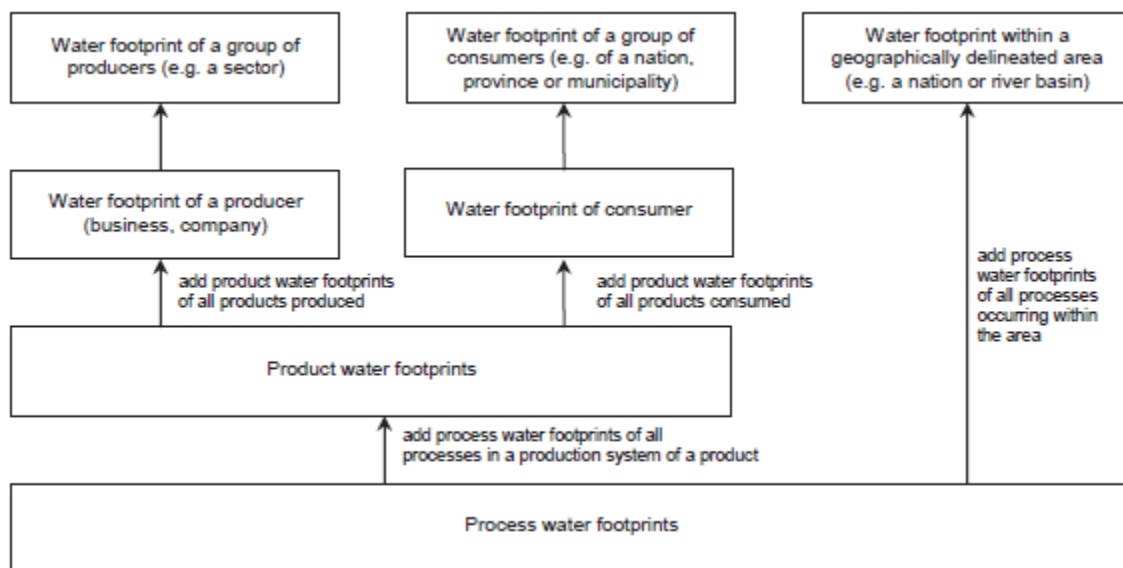


Fig. 2, [Hoekstra et al., The Water Footprint Assessment Manuale, 2011, p. 22](#)

Nel primo caso il WF si sovrappone alle analisi previste dalla Norma ISO14040/14044/2006 che descrive in maniera molto più dettagliata di quanto non faccia il Water Footprint Network, la metodologia di analisi in/out articolata nelle fasi di: definizione obiettivo, analisi inventario, LCA inventario, .....

Gli autori del WFA, [Hoekstra et al. 2011](#), sostengono che nonostante le critiche degli analisti LCA, la forza dell'indicatore WF è quella di essere applicabile in qualunque contesto, dall'analisi delle colture agricole all'analisi del business di prodotto o di processo, in quanto quello che si contabilizza è l'impronta idrica che lascia un processo, un prodotto primario o secondario nel bacino idrico in cui prende forma.

Come riportato nella fig.2, l'impronta sull'acqua (come d'altronde l'**Impronta** su qualunque altra risorsa naturale) può essere causata sia dall'attività di **utilizzo dell'acqua** per conseguire uno prodotto/servizio (produzione agricola di ortaggi, piuttosto che azienda alimentare o compagnia elettrica), che da attività che hanno come scopo quello di **trasformare l'acqua** stessa, in strumento utile al benessere umano. Come vedremo in questo lavoro ci occuperemo sostanzialmente del secondo approccio.

In entrambi i casi **quello che si vuole misurare è il peso della pressione antropica sull'acqua**. Cosa resta del flusso idrico dopo l'utilizzo in una filiera industriale? Cosa resta del flusso idrico dopo i consumi domestici di un'area urbana? Secondo gli autori lo scopo del Footprint assessment dipende dalla prospettiva scelta, che varia dalla sostenibilità della risorsa idrica in quanto tale, alla prospettiva sociale ed economica della risorsa stessa.

Come nella metodologia del Carbon Footprint, nel WF il consumo della risorsa idrica è strettamente legato al territorio in cui avviene il processo. Il territorio secondo Hoekstra può essere inteso a varie scale: *locale*, dove il consumo d'acqua impatta direttamente sui consumatori; regionale, dove i consumi idrici possono già innescare dinamiche diverse come ad esempio tra i consumatori e coloro a cui viene sottratta l'acqua per altri scopi, o anche un *territorio virtuale*, non chiaramente identificato nella tracciabilità di un prodotto ma sicuramente estraneo al consumatore finale. E' il caso di tutti i prodotti "*idrovor*" coltivati in altre regioni del globo.

Un recente articolo di [Bradley e Pfister et al. 2016](#), hanno fortemente criticato questo approccio "sfuggente" del WF, utile all'uso che se ne vuole fare. Gli autori hanno confinato quindi il WF in un framework utile esclusivamente all'analisi delle pressioni antropiche sui bacini idrografici e quindi alle indagini miranti a valutare il peso ecosistemico dell'utilizzo dell'acqua nelle colture; o nelle attività di trasformazione dei corpi idrici a scopi umani. Mentre secondo gli autori, l'assessment sul contenuto di acqua nei prodotti deve essere effettuato tenendo conto solo del metodo LCA che prevede:

- L'analisi inventario dei componenti e sotto-prodotti
- I processi aziendali e i processi primari legati al prodotto.

L'LCA in buona sostanza da evidenza dei tutti i processi e sottoprocessi in cui l'acqua viene utilizzata per conseguire il risultato finale.

A queste osservazioni, [Hoekstra 2016](#) ha ribadito che il ruolo del WF come strumento di analisi a servizio dei decision making, si basa anche sulla semplicità degli indicatori con i quali è possibile affrontare problematiche diverse, quali:

- l'acqua virtuale, i trasferimenti internazionali di acqua a mezzo dei prodotti vegetali e animali
- la scarsità locale, dovuta alle coltivazioni intensive e ai trasferimenti di acqua a mezzo di opere idrauliche
- gli scenari globali di disponibilità idrica a fronte dei cambiamenti climatici
- le metodologie di raccolta dati che spaziano dalle tecniche geospaziali del Remote sensing alle elaborazioni Fao su evapotraspirazione contabilità idrica delle colture
- le analisi di business sul prodotto con il Product environmental Footprint - PEF
- la valutazione dei flussi del Grey water e dei relativi livelli di inquinamento idrico a livello regionale
- le analisi di bilancio idrico e la valutazione del Water Reuse.

L'autore sottolinea come fissare l'indagine scientifica solo sul problema della scarsità d'acqua su scala locale/globale oscura il dibattito sulla scarsità idrica stessa, che è dovuta invece alla competizione su scala globale dei diversi attori che utilizzano l'acqua. Non solo, suggerisce anche che le analisi sul consumo di acqua verde, e quindi relative al rapporto precipitazioni – territorio, sono forse più importanti delle analisi sulle riserve d'acqua blu perché danno evidenza degli effetti del cambiamento climatico a livello idrogeologica.

Questa polemica tra studiosi, in realtà molto proficua dal punto di vista delle riflessioni generali perché, se è vero che il WFA ha il merito e lo scopo di sottolineare il problema acqua a livello ecosistemico globale, è anche vero che le comunità di studiosi che devono applicare il calcolo WFA nella impronta ambientale di un prodotto, devono poter gestire sistemi di calcolo efficaci e confrontabili.

L'impronta idrica del processo riportato nella fig. 3, viene di fatto calcolata con una tecnica LCA, per cui agli input in entrata corrispondono output in uscita (in accordo a quanto previsto dalla ISO 14046). L'impronta idrica nello step 2.3 è infatti contabilizzata in mc di prelievo per anno, più eventuali prelievi da pozzo proprio, ed eventuali tipi di trattamento. Il flusso idrico indica la fase 3.5 come Waste water con quantità di water grey misurata in mc/anno, determinata dai test di inquinanti BOD/COD e verifica del carico di nutrienti.

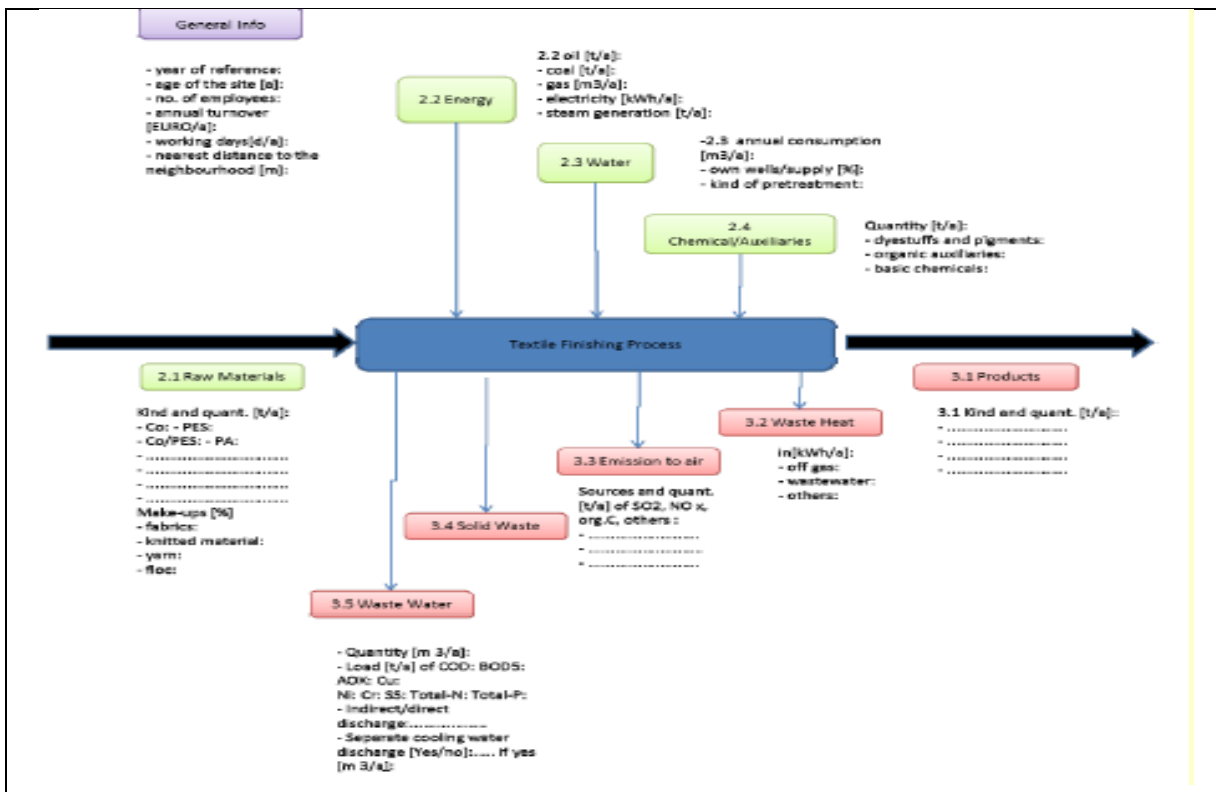


Fig. 3, Diagramma di processo di lavorazioni tessili, in UE, Product Environmental Footprint (PEF) Guide, 2012, p. 111

In questo schema il WF, la pressione sulle risorse idriche, svolgono un ruolo di compartecipazione alla pressione antropica complessiva svolta dall'intero processo aziendale, in cui energia e componenti chimici di processo, danno luogo ad altri impatti in atmosfera e all'emissione di rifiuti solidi. L'intero processo viene definito Product Environmental Footprint – PEF secondo le **Linee Guida PEF** dell'UE 2012.

E' bene notare che queste iniziative sono nate nel contesto dell'iniziativa di lancio della strategia Europa 2020 per un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse (2010), con cui la Commissione europea ha proposto modalità per aumentare la produttività delle risorse riducendo l'impatto ambientale, in una prospettiva di LCA.

L'impatto ambientale del prodotto (PEF) si configura quindi come una misura multicriterio delle prestazioni ambientali di un bene o servizio in tutto il suo ciclo di vita (dall'estrazione delle materie prime, attraverso la produzione e l'uso, per la gestione finale dei rifiuti). Queste Linee Guida PEF forniscono un metodo per modellare gli impatti ambientali dei flussi di materia / energia e le emissioni dei flussi di rifiuti associati al prodotto durante il suo ciclo di vita. In particolare sono state sviluppate per 15 categorie di prodotto definite *Product Environmental Categoria Rules – PEFCR*. L'obiettivo finale dell'UE è stato quello di stabilire un approccio comune metodologico per consentire agli Stati membri e al settore privato di visualizzare le prestazioni ambientali dei prodotti dei servizi e processi sulla base di una valutazione oggettiva degli impatti.

Congiuntamente a questa iniziativa, nel 2013 il Ministero Ambiente Italia ha lanciato il Programma Italiano per la valutazione dell'impronta ambientale in collaborazione con il settore produttivo per sperimentare su vasta scala e ottimizzare le differenti metodologie definite dalle ISO 14067/2014 Carbon Footprint of product, Requirements and guidelines for quantification and communication, ISO/DIS 14046 Life cycle assessment, Water Footprint, Requirements and guidelines, ISO 14040/2006, Environmental management, Life Cycle Assessment, Principle and Framework. Sono state selezionate n. 22 aziende volontarie per le

quali sono stati avviate le analisi dell'impronta ambientale come leva strategica dell'impresa nell'ottica di una maggiore sensibilità ambientale del consumatore.

## 5. La resilienza dell'acqua

*L'acqua è l'vetturale della natura: questa trasmuta il terreno*

*Leonardo, Codice Trivulziano, Kl, f. 2r).*

L'aspetto innovativo del WF si fonda proprio sulla necessità di includere la complessità ecosistemica negli assessment sulle risorse naturali. Nella fig.4 le precipitazioni figurano come elemento di ricarica dei serbatoi superficiali e sotterranei e originano i relativi deflussi che in parte vengono evapotraspirati dalle colture, in parte ritornano al bacino e per filtrazione nei serbatoi sotterranei. A partire da questa premessa la quantificazione del contenuto d'acqua di un prodotto deve necessariamente tener conto di questa complessità ecosistemica, per avvicinarsi ad una contabilità realistica.

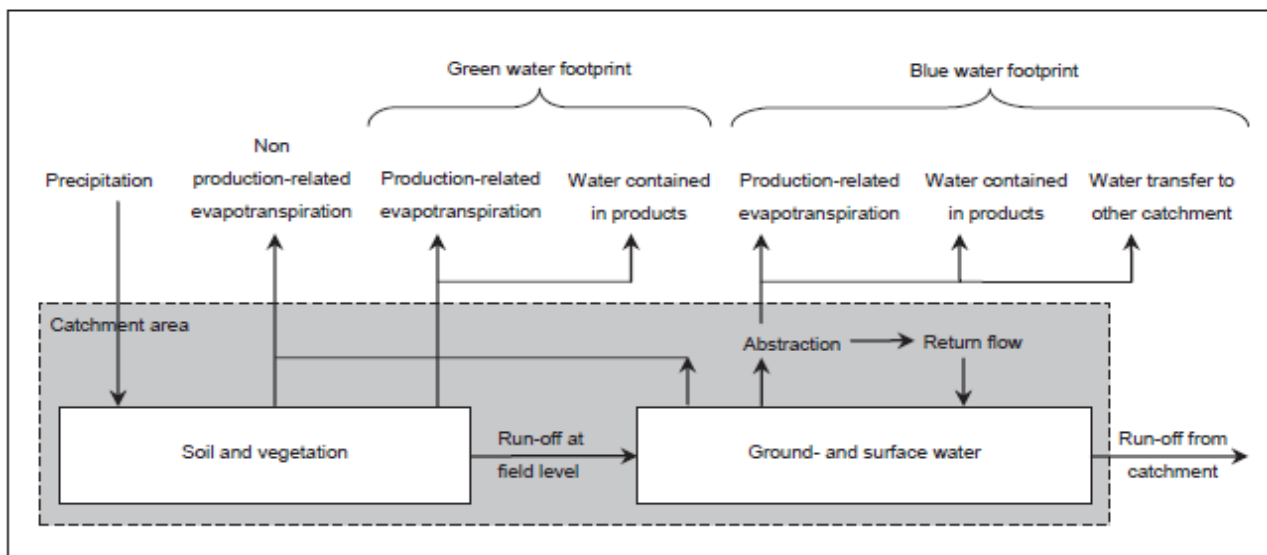


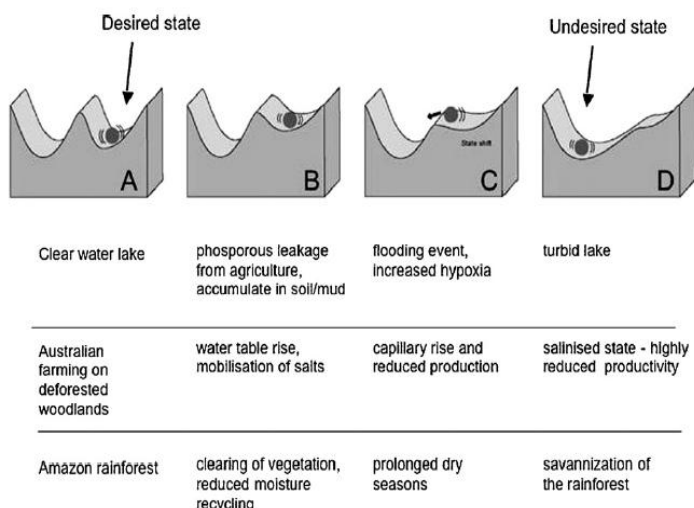
Fig. 4 – Le impronte Water green e Water blue nel bilancio di un bacino idrico, Hoekstra et al. 2011

Le pratiche agricole intensive hanno le principali responsabilità in materia di impatto sul ciclo idrogeologico. Alcuni autori evidenziano come tutti i servizi ecosistemici indicati nel *Millennium 2005* siano condizionati dal ciclo dell'acqua che ne è il principio generatore. Per cui le pratiche di irrigazione, che rappresentano il 66% dei prelievi di acqua globali, se da un lato aumentano le potenzialità dei servizi di provisioning con aumenti vertiginosi della produzione globale di cibo, dall'altro indeboliscono i servizi di regolazione ecosistemica fondamentali, *Rockstrom et al. 2009*.

Gli effetti irreversibili della pressione sugli ecosistemi a partire dall'utilizzo delle pratiche agricole viene efficacemente rappresentata nella fig. 5 dove si evidenzia come dallo stato di equilibrio A, il corpo idrico accumulati i detriti dei processi agricoli, subisce modifiche progressive dei drenaggi che accoppiati ad fenomeni esogeni quali alluvioni, portano allo stato D di non ritorno.

Secondo *Line J. et al. 2009*, c'è un enorme divario tra ciò che agronomi e idrologi ritengono che è possibile e ciò che gli ecologisti ritengono sia necessario. Il concetto chiave su cui lavorare è quello di

“**environmental water flows**” riferito alla quantità, stagionalità e quantità di acqua necessaria per proteggere le strutture e le funzioni degli ecosistemi acquatici e le specie che da questi dipendono.



Secondo gli autori dunque, bisogna lavorare nella direzione di una “disponibilità d’acqua a lungo termine” tenendo conto della variabilità temporale e spaziale di tale disponibilità. Migliorare l’efficienza dell’irrigazione significa ridurre la quantità di acqua che ritorna ai fiumi e alle falde acquifere con apporti contaminati, ma anche aumentare le attività di l’evapotraspirazione delle colture, con un consumo di acqua inferiore. I sistemi agricoli sono serviti da diversi servizi ecosistemici, efficientare le colture può tradursi quindi in molteplici effetti positivi.

Fig. 5 L. J. Gordon et al. 2009 *Si evidenzia come dallo stato di equilibrio A, accumulati i detriti dei processi agricoli, il corpo idrico subisce modifiche progressive dei drenaggi che accoppiati ad fenomeni esogeni quali alluvioni, portano allo stato D di non ritorno.*

Lo studio di *He et al., 2005* ha dimostrato che la pressione dovuta ai processi di irrigazione, ha ridotto il deflusso dei più grandi fiumi del mondo: Yellow River, Indus, Nile, Ganges, Murray-Darling, Chao Phraya, Incomati e Rio Grande. Ma non solo, anche il drenaggio e la conversione delle aree umide in aree per l’agricoltura, ha interessato circa il 56-65% delle aree interne e delle coste in Europa e nord America dal 1985 ad oggi e ancora, il flusso di azoto reattivo verso gli oceani è aumentato di quasi l’ 80% dal 1860 ad oggi e si stima che circa il 5% dell’acqua verde derivante dal flusso delle foreste tropicali potrà essere convertita in coltivazioni per i nuovi fabbisogni entro il 2025.

La necessità di comprendere i meccanismi di resilienza degli ecosistemi acquatici, spinge la ricerca dal *controllo dei sistemi ecologici* alla *gestione di sistemi socio-ecologici* e delle relative modalità di adattamento *Richter et al., 2003*. Le procedure di comando/controllo, da tempo vengono ritenute non più sufficienti a garantire la sicurezza del territorio e dei corpi idrici.

Chi gestisce deve munirsi di un management adeguato in termini di skill e di competenze, che possa tenere sotto controllo *l’accesso sicuro* all’acqua. E’ fondamentale creare la consapevolezza tra i decision making del valore dell’acqua come risorsa naturale e la necessità di **proteggere l’acqua** quale condizione indispensabile del funzionamento dei processi ecologici su cui poggia la vita vegetale ed animale. In questo clima di forti sollecitazioni sia scientifiche che tecnologiche in materia di approvvigionamenti idrici e di gestione della scarsità e dell’acqua si vogliono puntualizzare alcune riflessioni che daranno oggetto delle successive trattazioni:

- la resilienza dei sistemi acquatici, se intuitivamente può essere schematizzata come un “processo di non ritorno” necessita di indagini molto accurate e probabilmente non ampiamente trattate dagli studiosi. E’ evidente che non si può più fare affidamento su indici quali: il numero di specie viventi (vegetali e animali), il valore delle portate dei flussi, il valore dell’Impronta idrica dei consumi antropici. La resilienza del sistema dovrebbe essere indagata anche nei processi ecosistemici quali: il clima locale, le precipitazioni, il comportamento biochimico degli acquiferi rispetto ai carichi inquinanti.
- il ciclo dell’acqua è uno dei processi più dinamici e “fluidi” del pianeta, anche in questo caso la ricerca scientifica è ferma sui processi principali che, ancora oggi, ci danno la percezione dell’acqua come una risorsa rinnovabile. Sembra invece assolutamente chiaro che l’acqua non è una risorsa rinnovabile, l’acqua non può essere un *diritto* delle comunità antropiche, perché è una risorsa limitata che deve soddisfare tutte le specie viventi del pianeta. Oltre al suo valore, l’acqua deve avere un suo costo, proporzionale alla vulnerabilità regionale della risorsa. Abbiamo imparato che ci sono aree del pianeta che soffrono e continueranno a soffrire di carenza idrica fino a livelli non accettabili. In quelle regioni, ma non solo, il costo dell’acqua dovrebbe essere valutato nell’ottica



della riciclicità delle acque disponibili. E' quindi necessario sganciarsi dal pregiudizio delle "chiare e fresche acque" e indirizzare la ricerca da subito, sulla processabilità dei flussi idrici disponibili.

## Reference

### Paragrafo 2

*G. Daily, Nature's Services Socials dependance on Natural Ecosystems, Island Press 1997*

*Somayeh Shadkam, Fulco Ludwig, Michelle T.H. van Vliet, Amandine Pastor, Pavel Kabat, Preserving the world second largest hypersaline lake under future irrigation and climate change, Science of The Total Environment, Jul 2016*

*Yongxiao Ge · Jilili Abuduwaili · Long Ma · Dongwei Liu, Temporal Variability and Potential Diffusion Characteristics of Dust Aerosol Originating from the Aral Sea Basin, Central Asia, Water Air and Soil Pollution, Jan 2016 ·*

*L. J. Gordon, G.D. Peterson, E.M. Bennett, Agricultural Modifications of Hydrological Flows Create Ecological Surprises, Trends in ecology & evolution, 2008*

*Karsten Arnbjerg-Nielsen, Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design, Urban Water Journal, 2012*

*D. Moore, J. Dore, D. Gyawali, The World Commission on Dams + 10: Revisiting the large dam controversy, Water Alternative, 2010,*

*Jonathan A. Foley, Ruth DeFries, Gregory P. Asner, Carol Barford, Gordon Bonan, Stephen R. Carpenter, F. Stuart Chapin, Michael T. Coe, Gretchen C. Daily, Holly K. Gibbs, Joseph H. Helkowski, Tracey Holloway, Erica A. Howard, Christopher J. Kucharik, Chad Monfreda, Jonathan A. Patz, I. Colin Prentice, Navin Ramankutty, Peter K. Snyder, Global Consequences of Land Use, Science, 309, 2005*

*World Commission of Dams, Dams and development . A new development. A new framework for decision makers, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 2010*

*Thorsten Wagener, Murugesu Sivapalan, Peter A. Troch, Brian L. McGlynn, Ciaran J. Harman, Hoshin V. Gupta, Praveen Kumar, P. Suresh C. Rao, Nandita B. Basu, Jennifer S. Wilson, The future of hydrology: An evolving science for a changing world, Water Resource Research, vol. 46, 2010*

*Jackson, R. B., E. G. Jobbagy, and M. D. Noretto, Ecohydrology in a human dominated landscape, Ecohydrology, 2, 383–389, 2009*

### Paragrafo 3

*Ludwig Feurback, Il mistero del sacrificio o l'uomo è ciò che mangia, 1862*

*MEA (Millennium Ecosystem Assessment), Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, D.C.: Island Press.2005,*

*A.Hoekstra Appreciation of water: four perspectives, Water Policy 1 (1998)*

*A.Y. Hoekstra \*, H.H.G. Savenije and A.K. Chapagain, An integrated approach towards assessing the value of water: A case study on the Zambezi basin,2001, IHE Delft, P.O. Box 3015, 2601 DA Delft, The Netherlands 2001*

*M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat, Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 1259–1276, 2010*

*Allan, J.A. "Virtual Water: A Strategic Resource: Global Solutions to Regional Deficits." Groundwater 36, N.4 546, 1998*

*Introduction to the Economics of Water Resources – An International Perspective, Stephen Merrett. UCL – University College London, 1997, 211 pages, ISBN 1-85728-636-7 HB, ISBN 1-85728-637-5 PB, IWRA, Water International, Volume 28, Number 1, March 2003*

Hoekstra, A.Y. and P.Q. Hung. "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*. Delft, The Netherlands: IHE, 2002

AK Capagain, D. Tikner, *Water Footprint: Help or Hindrance?*, *Water Alternatives*, gen. 2012

Kuishuang Feng, Yim Ling Siu, Dabo Guan, Klaus Hubacek, *Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach*, *Applied Geography* 32 (2011) 691e701

#### **Paragrafo 4-5**

European Commission (EC), Joint Research Centre (JRC), Institute for Environment and Sustainability (IES), Authors: Simone Manfredi, Karen Allacker, Kirana, Chomkhamsri, Nathan Pelletier, Danielle Maia de Souza, *Product Environmental Footprint (PEF) Guide, 2012 Product Environmental Footprint (PEF), 2012*

Stephan Pfister, Stefanie Hellweg, *The water "shoesize" vs. footprint of bioenergy*, letter sett. 2009

Arjen Y. Hoekstra, *A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA*, *Ecological Indicator*, 2016

Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain et al. Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen, *The Water Footprint Assessment Manual*, First published by Earthscan, 2011

Ridoutt, Bradley G., Pfister, Stephan, Manzardo, Alessandro, Bare, Jane, Boulay, Anne-Marie, Cherubini, Francesco, Fantke, Peter, Frischknecht, Rolf, Hauschild, Michael, Henderson, Andrew, Jolliet, Olivier, Levasseur, Annie, Margni, Manuele, McKone, Thomas, Michelsen, Ottar, Canals, Llorenç M.I., Page, Girija, Pant, Rana, Raugei, Marco, Sala, Serenella, Verones, Francesca; *Area of concern: A new paradigm in life cycle assessment for the development of footprint metrics*, 02/2016

#### **Paragrafo 6**

Chansheng He, Sheng-Kui Cheng, Yi Luo, *Desiccation of the Yellow River and the South Water Northward Transfer Project*, *Water International* Jun 2005

Brian D. Richter, Ruth Mathews, David L. Harrison, Robert Wigington *Ecologically Sustainable Water Management: Managing River Flows For Ecological Integrity*, *Ecological Applications* Jul 2003

Line J. Gordon, C. Max Finlayson, Malin Falkenmark, *Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services*, *Agricultural Water Management* 97 (2010)

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F.S. Chapin, III, E. Lambin, T.M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C.A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P.K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R.W. Corell, V.J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley, *Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity*. *Ecol. Soc.*, 14, 2009

## Capitolo 3 L'impronta idrica delle città

### 1 Introduzione

In questo capitolo si cercherà di entrare nel merito della analisi del WF e di descrivere i punti di forza e di debolezza di questa metodologia che come vedremo, nell'ultimo decennio sembra sempre più orientata ad una analisi dei consumi idrici dei grandi territori urbani. Si riporta anche uno studio italiano sull'impronta idrica della città di Vicenza e si commentano anche gli indicatori sviluppati ad hoc, in base al metodo WF. Come vedremo nei capitoli successivi, questo sarà il *sound* di questo lavoro, che intende contribuire alla narrazione sui metodi WF utilizzati da diversi studiosi, cercando di identificare nuovi strumenti di lavoro sull'identikit idrico di grandi aree urbane.

### 2. Le acque blu, verdi e grigie

*Ogni acqua d'inverno è più dolce, meno in estate, pochissimo in autunno e meno per la siccità. E generalmente non uguale il sapore dei fiumi per la grande differenza dell'alveo. Pertanto le acque sono tali, quale il terreno attraverso cui scorrono, e quali gli umori delle piante che bagnano.*

*Plinio il Vecchio, Naturali Historia, Libro 31, par. 42*

Di quanta acqua disponiamo? Ma soprattutto di *quali acque*? Il WF è una metodologia che offre dei tools condivisi per dare risposte a questo tipo di domande, posto che queste domande cominciano ad avere un pesante significato per i decision making e per gli operatori economici. L'impronta idrica infatti è data dalla somma delle diverse acque di cui dispone un territorio, calcolato sulle varie scale: locale, regionale, nazionale.

Un'intuizione banale ma efficace è stata sicuramente quella di differenziare la qualità dell'acqua in funzione dell'uso che se ne fa. Hoekstra 2001 ha infatti suddiviso la qualità dell'acqua in tre categorie: blu, verde e grigia.

Il metodo Water Footprint è basato essenzialmente su tre "Qualità d'acqua": *acqua blu* dei bacini idrografici, *acqua verde* dovuta all'effetto delle precipitazioni e della relativa umidità del suolo, *acque grigie* dovute alla presenza di elementi chimici in quantità superiori alla capacità massima di accettazione degli acquiferi e dei corpi idrici così come li conosciamo noi oggi, tali quindi da consentire la vita del biota.

**L'acqua blu** raccolta dai corpi idrici superficiali e sotterranei è un bene unico, con bassi livelli di resilienza (in particolare per le falde acquifere artesiane e i laghi che morfologicamente hanno scarse possibilità di rinnovare la qualità dei propri acquiferi), grosse possibilità di utilizzo (basti pensare alle opere idrauliche realizzate dall'antichità ad oggi per approvvigionarsene), una dose discreta di affidabilità nei tempi brevi o anche medi – se si escludono le opere di captazione che possono diminuire sensibilmente le portate dei corpi idrici (gli effetti climatici non sembrano direttamente collegati con le portate dei fiumi, se non in misura inversa a causa di scioglimento dei ghiacciai).

**Le acque verdi**, intese come le precipitazioni che cadono al suolo e che risalgono in atmosfera per effetto di evaporazione e traspirazione vegetale, che Hoekstra definisce "rinnovabili", con un alto tasso di variabilità dovuto al clima e che aumenta con i cambiamenti climatici con effetti devastanti per gli operatori del settore primario (ma anche secondario) in diverse regioni del pianeta. La siccità purtroppo non è

dimensionabile e non ha un andamento lineare, non è detto quindi che un'area resterà a lungo senza rifornimenti idrici, ma non si può neanche escluderlo. Ma dove le precipitazioni sono mediamente costanti il ciclo delle acque verdi assicura tutte le funzioni ecosistemiche di cui necessita il biota terrestre. L'acqua verde viene definita dagli autori come l'acqua rinnovabile, che arriva al suolo a mezzo di precipitazioni e ritorna nel ciclo globale dell'acqua a mezzo di evapotraspirazione. Le quantità delle acque verdi coincidono con gli eventi meteorologici anche se, nel calcolo WF si considera una quota parte di questi flussi persa per effetto della evapotraspirazione e dell'assorbimento della parte umida dei terreni.

Ovviamente il resto è l'Impronta verde sottratta al ciclo dell'acqua dal sistema vegetativo, ma la quantità di acqua sotterranea che si alimenta per effetto della filtrazione del terreno, e che scorre negli acquiferi sotterranei o la quantità di acqua che scorre in superficie dentro l'alveo di un fiume, e si alimenta con le precipitazioni, è sempre limitata. E infine le **acque grigie** che nell'approccio WF comprendono le quantità

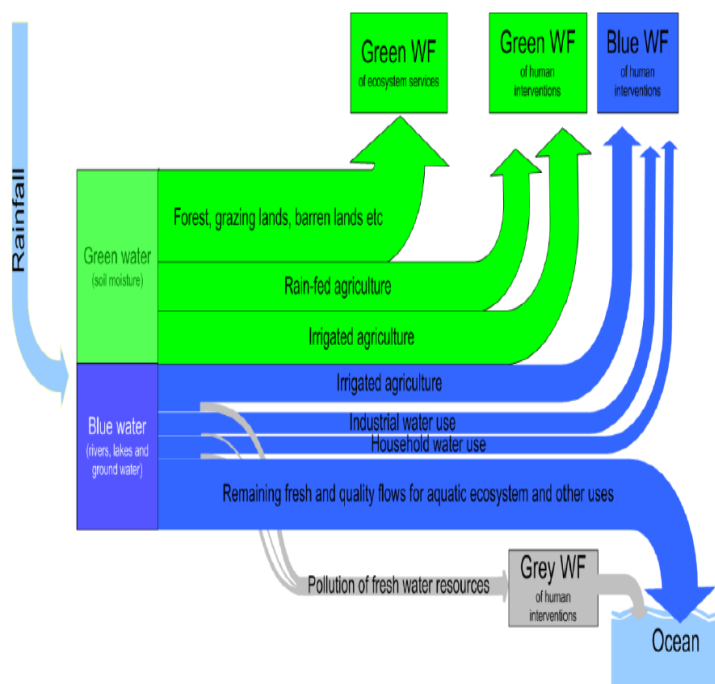


Fig. 1, *Flussi ecosistemici dell'acqua*, Chapagain, A.K. et.al 2012

di acqua blu necessarie per rendere ammissibili i valori chimici che vengono alterati negli usi antropici dell'acqua. Le acque grigie non sono le *acque inquinate*, ma sono il totale dei flussi d'acqua necessari a diluire gli inquinanti prodotti nel flusso contaminato, al punto tale che la loro concentrazione sia compatibile con quella del corpo idrico ricettore. Le acque grigie non sono quindi le quantità di reflui urbani o industriali prodotti in ambienti antropici (perché questi vengono considerati solo come rifiuti soggetti a trattamento). Il punto è che per il WF le acque inquinate devono ritornare all'ambiente naturale anche se con condizioni qualitative diverse da quelle di partenza (come ad esempio i reflui che hanno subito trattamenti).

Fin qui abbiamo visto l'approccio ecosistemico alle *caratteristiche* dell'impronta idrica, che abbiamo per così dire, scomposto in un set di elementi ambientali per sviluppare un framework di analisi. Ma come si calcola l'Impronta idrica di una nazione o di un bacino?

A questa domanda gli autori del WF hanno fornito una risposta esaustiva con la pubblicazione del Manuale nel 2011, *Y. Hoekstra, A. 2011* che nelle intenzioni degli autori, nasce dalla necessità di definire uno standard comune sugli indicatori e i metodi di calcolo del WF, in relazione al *"crescente interesse per aziende e governi ad utilizzare i conti dell'impronta idrica come base per la formulazione di strategie di sostenibilità dell'acqua"*.

Per approcciare questo aspetto tenuto conto della complessità del quesito, gli autori del WF hanno utilizzato un **principio di inclusione**, secondo cui il prodotto consumato ha una sua impronta, l'impronta del consumatore è la somma dei prodotti che mangia, l'impronta di una regione è data dalla somma dei consumi dei consumatori, e così via. Questo approccio serve a semplificare l'analisi, secondo gli autori **non dobbiamo cercare singole impronte**, per stimare la pressione sulle risorse idriche bisogna ragionare su macro scale, dove prodotto, consumatore, regione o filiera, sono i driver da seguire.

Calato nella realtà operativa questo vuol dire che il calcolo del WF non è una contabilità dell'acqua consumata, quanto piuttosto i legami tra l'acqua e le attività antropiche. Se volessimo calcolare l'impronta idrica in un sistema naturale dovremmo occuparci dei sistemi di sbarramento dei castori e non tanto dei

volumi d'acqua che vengono trattiene da ciascun animale per la sua abitazione. Bisogna tener conto delle caratteristiche specifiche della risorsa su cui si indaga, i volumi d'acqua si distribuiscono: nel prodotto (in minima parte), nell'atmosfera a mezzo dell'evaporazione, in un bacino diverso da quello di provenienza (mezzo dei corsi d'acqua), si disperdono in nelle aree umide con fenomeni di lisciviazione, runoff, filtrano in terreni permeabili.

Ciò che si deve tener presente è che i forzanti del movimento naturale dell'acqua, *nel tempo*, modificano le disponibilità d'acqua di un serbatoio naturale o di un bacino. Seppure nella sua ciclicità, l'acqua consumata in un certo periodo non viene restituita all'ecosistema da cui proviene. I volumi d'acqua consumata sono quindi volumi persi, di cui non si può disporre. Sulla base di queste considerazioni, i volumi di acqua blu, sottratti ai sistemi naturali in cui insiste sono dati da:

$$WF_{prod,blue} = Blue\ Water\ Evaporation + Blue\ Water\ Incorporation + Lost\ Return\ flow$$

**Dove ai cicli naturali di evaporazione si aggiunge l'acqua incorporata nei processi antropici e il *Lost Return flow***, cioè l'acqua non disponibile per il riutilizzo all'interno dello stesso bacino nello stesso periodo in cui viene effettuato il prelievo. L'acqua piovana, secondo la classificazione del Water Footprint, è acqua blu se viene immediatamente raccolta in un bacino. Ad esempio le precipitazioni che alimentano un bacino artificiale (ma anche un fiume che scorre), sono acque blu. Mentre l'acqua che dilava sui terreni è acqua verde, perché partecipa direttamente al nutrimento del sistema vegetale della terra.

È importante sottolineare che l'acqua blu del WF, è l'acqua nelle sue condizioni naturali. Se ad esempio l'acqua piovana viene trattenuta e valorizzata per scopi antropici (anche per tetti verdi) non è possibile parlare di acqua blu, che resta tale solo fino a che rimane isolata nel suo processo ambientale

**L'impronta idrica verde** invece è un indicatore della pressione sulle acque di precipitazione, che *naturalmente* sono immagazzinate nel suolo (o restando talvolta in superficie) e nella vegetazione. L'impronta verde è data dall'assunzione dell'acqua nelle colture (pressione antropica) o nelle coperture vegetali (pressione naturale) e dal flusso di evapotraspirazione dei vegetali.

L'acqua verde delle precipitazioni, in parte svolge un ruolo produttivo con la crescita delle colture, in parte svolge un ruolo ciclico evaporando dal terreno o dalle piante stesse. L'impronta idrica verde viene calcolata dunque come:

$$WF_{prod,green} = GreenWaterEvaporation + GreenWaterIncorporation\ (volume/time)$$

Il consumo di acqua verde in agricoltura può essere misurato in base al tipo di coltura adottato applicando i calcoli per la stima dell'evapotraspirazione sulla base delle caratteristiche climatiche e del suolo.

**L'impronta idrica grigia** è l'indicatore del grado di inquinamento acqua dolce che può essere associato con una fase di un processo, è il volume d'acqua consumato durante l'inquinamento, ma è definito e calcolato come volume di acqua dolce che è richiesto per assimilare il carico di inquinanti sulla base delle concentrazioni naturali di fondo e di quelle degli standard di qualità ambientale presenti per il corpo idrico ricevente. *Il concetto di impronta idrica grigia si basa sul principio chimico di diluizione.*

L'impronta idrica grigia è calcolata dividendo il carico inquinante (L, in massa/ora) dalla differenza tra il livello di qualità per tale inquinante (la concentrazione  $C_{max}$  massima accettabile, in massa / volume) e la sua concentrazione naturale del corpo idrico ricevente ( $C_{nat}$ , in massa / volume)

$$WF_{proc,gray} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad [volume/time]$$

Gli inquinanti generalmente sono fertilizzanti pesticidi e insetticidi utilizzati nelle colture, che in parte finiscono nei corpi idrici. Dal calcolo così proposto l'impronta idrica è una contabilità che nasce da fenomeni prettamente naturali, se non fosse per le componenti di acque grigie che si generano nelle colture per la fertilizzazione dei suoli. Ma il WF è soprattutto un metodo per calcolare la quantità d'acqua utilizzata per scopi antropici, sia di tipo agricolo, ma anche per scopi domestici ed industriali. Il punto è che l'acqua è il mezzo attraverso il quale si ottengono dei risultati utili e necessari al sistema antropico, per

questo motivo se si vuole tenere una contabilità dell'acqua bisogna anche sviluppare calcoli adeguati per ciascun singolo prodotto o servizio di cui il servizio antropogenico beneficia.

Per la stima diffusa carichi inquinanti che entrano in un corpo idrico, gli autori raccomandano un approccio a tre livelli che è stato prodotto dal Gruppo del Water Footprint Network (WFN) nel 2010 ed è analogo all'approccio proposto dal Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici per la stima delle emissioni di gas serra (IPCC, 2006). Secondo questo approccio:

Il Livello 1 utilizza semplicemente una frazione del deflusso di lisciviazione, per ricavarne dati sulla quantità di sostanza chimica applicata al suolo, per una stima della quantità di sostanza che entra nelle acque sotterranee o di superficie. La frazione è derivata dalla letteratura esistente e dipenderà dalla chimica considerata. Questa stima di livello 1 è sufficiente per una prima stima approssimativa, ma ovviamente non descrive i diversi percorsi di una sostanza chimica dalla superficie del suolo alle acque sotterranee e l'interazione / trasformazione di diverse sostanze chimiche nel suolo o durante il suo flusso (N.A. Franke, 2013).

Il Livello 2 si applicano gli standard semplificati sulle proprietà chimiche di alcune sostanze confrontandole con le caratteristiche topografiche, climatiche, idrologiche e del suolo dell'ambiente in cui si riversa la sostanza chimica.

Questi approcci o richiede di essere validato da modelli. Il Livello 3 utilizza invece sofisticate tecniche di modellizzazione per una misurazione che lavora sul concetto del "fate" di una sostanza inquinante. Questo approccio è molto costoso dal punto di vista delle verifiche di laboratorio.

### 3 I confini fisici dell'acqua

*ne' libri greci..con grande accuratezza ed infinita diligenza hanno dimostrato come le diverse proprietà de' luoghi e qualità dell'acque dipendono da diversi climi della terra ... e con questi lumi scelgano gli uomini i fonti, da' quali possano trasportare l'acqua per le fontane e delle città e de' municipii. Imperocchè non vi è cosa che abbia al mondo tanto uso per i bisogni, quanto l'acqua.*

*M. Vitruvio Pollione Dell'architettura libri dieci, I sec. a.C.*

L'acqua non ha confini fisici, già in epoche precedenti a quelle della civiltà romana viene *importata* nelle città a mezzo di imponenti opere idrauliche. L'acqua fu alla base dello sviluppo della civiltà della Mesopotamia, e l'epilogo della città di Babilonia viene fatto risalire proprio ad una insistente carenza idrica dovuta alla siccità e alle coltivazioni intensive delle aree periferiche, che decretarono la fine della civiltà babilonese. E così l'ascesa e il declino delle antiche civiltà viene di sovente associato alle caratteristiche geomorfologiche del territorio che hanno consentito di progettare opere idrauliche sempre più sofisticate per la copertura dei fabbisogni idropotabili delle città che si sviluppavano così insieme al crescere delle disponibilità d'acqua, declinando quando queste scarseggiavano.

La "*cultura dell'acqua*" ha rappresentato un aspetto specifico dell'ascesa della civiltà romana, non solo nei suoi fini pratici (potabile e igienico sanitario), ma anche per gli scopi ludici e di benessere fisico (naumachie, bagni, terme) e anche per gli scopi decorativi urbani, con i ninfei e le fontane monumentali. E' stato sostenuto che "nell'epoca romana si instaura una sorta di tacita alleanza tra potere politico e tecnica idraulica: l'acqua diventa così uno degli strumenti principe, accanto alle leggi e alla forza militare, per detenere il potere, per spettacolarizzarlo, per sorprendere la popolazione, e dominarla". *L. Lombardi 2008*

Potremmo dire che in epoca antica, la città si configura come un agglomerato residenziale che dipende, per i fabbisogni primari, dalle risorse delle periferie e dalla possibilità di utilizzare al meglio le risorse dei territori che circondano la città.

Il territorio urbano della città antica si sviluppa grazie al *flusso virtuale* di risorse naturali che vengono trasferite in città, a cominciare dall'acqua con le grandi opere acquedottistiche e dai prodotti primari,

cucendo una dipendenza della città antica dalle risorse che insistono nei suoi territori periferici che non limiterà solo all'acqua, ma anche a tutti i prodotti di cui il popolo urbano si approvvigiona.

Ma con l'espansione dei territori urbani la relazione tra comunità antropiche urbane e *risorse naturali periferiche*, comincia ad andare in crisi ed il commercio globale risolve il limite del carrying capacity (il rapporto risorse - abitanti) delle città in espansione. Le megalopoli di 14 / 32 milioni di persone (New York/Tokyo), dove nessuna un'economia agricola o manifatturiera periferica locale avrebbe potuto soddisfare la domanda di generi primari e secondari, con l'economia globale attivano il flusso virtuale di risorse naturali.

Un recente studio, [Schwartz J 2015](#), ha analizzato i cambiamenti interregionali nei flussi d'acqua virtuali tra cinque regioni del mondo nel corso del periodo 1986-2011. I loro risultati mostrano che il commercio di acqua virtuale nel mondo è aumentato considerevolmente nel corso del tempo. Inoltre dimostrano che il passaggio verso le esportazioni ad alto valore è vantaggioso per i paesi a basso reddito dal punto di vista dell'efficienza idrica economica regionale, a causa di elevati valori commerciali e dei bassi volumi di acqua virtuale associati.

Secondo [Schwarz et al 2015](#), in Europa l'efficienza idrica degli scambi è aumentata in tutte le regioni a partire dal 2000, e il ritorno delle esportazioni di acqua virtuale è particolarmente elevato.

Dagli studi sui flussi globali di acqua virtuale, sono emerse le criticità delle grandi megalopoli legate alla insicurezza alimentare, seguita dalla scarsità delle risorse idriche. L'attuale impatto umano globale sulle città, non ha precedenti. Negli ultimi dieci anni la crescita esponenziale delle megalopoli è inarrestabile. Le prime 10 grandi città del mondo ospitano circa 95 milioni di abitanti su un totale di 51.000 Km<sup>2</sup>, con una densità per abitante che a Tokyo sfiora i 4.800 abitanti per Km<sup>2</sup>.

E' evidente che non esistono territori compatibili e sostenibili con una tale carico antropico. L'unica soluzione a breve deve essere riposta nel **riutilizzo** delle risorse disponibili, ed in particolare delle risorse idriche. [Paterson 2015](#).

Il commercio virtuale di risorse, tra cui in primo luogo il fabbisogno di acqua per le coltivazioni di cereali, ortaggi, frutta, per gli allevamenti, viene così ben identificato e delimitato da Allan nel 1990, alla luce della evidente impossibilità degli agglomerati metropolitani, di soddisfarsi in base alle risorse naturali del territorio di cui dispone. L'economia globale è al tempo stesso stimolo ed effetto di una dinamica che vede la comunità umana concentrarsi sempre di più in spazi ristretti in cui gode di servizi che appagano l'idea di benessere metropolitano.

Mentre per i prodotti alimentari e manifatturieri vi è una tacita consapevolezza del fatto che buona parte di questi sono di importazione, e spesso non è difficile dal packing del prodotto risalire alla località di origine; l'acqua resta una risorsa di anonima provenienza ma ininterrottamente disponibile.

Alcuni autori, [H. Hoff 2014](#), hanno analizzato la dipendenza economica delle grandi città dalle importazioni di risorse idriche e hanno stimato ad esempio che città come Dehli e Lagos dipendono da risorse nazionali fortemente dislocate a livello regionale, mentre la città di Berlino per il soddisfacimento dei prodotti primari, dipende invece totalmente da importazioni internazionali.

Secondo [Agudelo-Vera et al. 2011](#) a causa della crescente urbanizzazione e dell'aumento del tenore di vita metropolitano, la sostenibilità ambientale della nostra società globale diventa sempre più discutibile. Nei primi insediamenti urbani infatti vi è una stretta relazione tra gestione risorse disponibili, urbanizzazione e sviluppo tecnologico, una relazione che tende a perdere significato con l'affermazione di un *Capitale naturale virtuale* di cui disporre. Secondo gli autori, l'integrazione tra popolazione e risorse disponibili sul territorio deve essere ri-progettata, è necessaria l'integrazione tra coloro che gestiscono le risorse idriche e gli addetti alla pianificazione urbana, in maniera tale da assicurare il principio di **causalità circolare delle risorse** che entrano ed escono dalla città.

[J. Monstadt 2009](#), sostiene che le reti tecnologiche e le città abbiano avuto uno sviluppo parallelo condizionandosi a vicenda, ottenendo così reti men efficienti in presenza di inerzia nella gestione. Secondo l'autore un elemento sottovalutato è l'importanza cruciale delle reti delle infrastrutture urbane per la sostenibilità ecologica delle città. Queste infrastrutture che mediano flussi di risorse e determinano pratiche ambientali nella città, necessiterebbero di approcci concettuali che riflettono le complesse interdipendenze tra le città e le infrastrutture di rete.

Non sono molti gli studi che hanno confrontato tra loro le diverse impronte idriche in relazione allo sviluppo economico di una regione, in particolare un'analisi condotta di recente, (Roson 2015) rileva che l'impatto fisico ed economico della crescita economica sulle risorse blu è stato significativamente più basso di quello che avrebbe potuto essere. Questo vuol dire che nonostante l'impronta idrica aumenta per sostenere la crescita economica, i consumi di acqua blu per la produzione rallentano o diminuiscono in proporzione alla diminuzione delle acque disponibili.

#### 4. Il Water Footprint delle città

Gli studi sui Impronte idriche delle *aree regionali urbane* sono spesso finalizzati alla identificazione di strumenti di governance utili alla gestione di impronte ecologiche sempre più pesanti. Spesso l'analisi dell'impronta idrica viene indirizzata verso l'individuazione degli attori di questa nuova governance, alla quantificazione dell'impronta e a come dirottare i flussi dei consumi in modalità sostenibili. Nel loro studio del Water Footprint di Pechino, Ma D. et al. 2015, mostrano che il WF dei consumatori in questa megalopoli è circa dieci volte più grande rispetto al volume delle risorse idriche disponibili, il che si traduce inevitabilmente in una significativa dipendenza idrica esterne con impatti notevoli sull'economia e il tipo di benessere che la regione metropolitana può offrire.

In un altro studio Rushforth e Ruddell 2015, quantificano il WF della *Fenice Metropolitan Area* in Arizona, e dimostrano che il quadro storico di una città basata sul suo entroterra per la fornitura di acqua e cibo non è più vero: l'impronta idrica dei consumatori urbani è più ampia dell'impronta regionale. I consumi idrici sfoccano verso territori che hanno regimi politici diversi, con diversi gruppi di stakeholder.

Secondo Hoekstra 2015, tutto questo fa pensare che la governance dell'acqua in futuro potrebbe non essere più dominio esclusivo di un governo regionale o comunque locale. Secondo l'autore, Pur rimanendo una risorsa pubblica, **il ruolo delle imprese e degli investitori potrebbe diventare fondamentale nella gestione delle risorse idriche così distribuite su ampi territori.**

Nel loro studio 2014, Wiesław Fialkiewicz et al. provano a riformulare il calcolo dell'impronta idrica delle aree metropolitane in base ad altre serie di dati disponibili. Ipotizzano ad esempio che l'impronta idrica blu possa essere calcolata con differenti criteri/metodologie: sulla base del valore di consumo/perdita di acqua da un corpo idrico; o come volume d'acqua trasferito da un bacino ad un'altro bacino o al mare; oppure come risultato dei processi ecosistemici di evaporazione dell'acqua; ed infine come quantità d'acqua incorporata in un prodotto. Le impronte blu - le quantità d'acqua sottratte dai sistemi idrici locali - rappresentano quindi, non soltanto un modo per accertare gli stress idrici di un'area, ma uno strumento per analizzare la sostenibilità stessa dell'area dal punto di vista della disponibilità di acqua pulita.

Diversamente l'impronta idrica verde può essere riferita direttamente al consumo di acqua piovana per le colture agricole ad esclusione dei volumi meteorici che si trasformano in *runoff*, in deflussi che attraversano le superfici impermeabili della città che in parte evaporano da queste superfici o vengono raccolte nelle reti dei reflui urbani, e in parte vengono assorbiti dal suolo per filtrazione delle superfici adibite a verde urbano.

Secondo gli autori, l'impronta idrica grigia può essere invece riferita esclusivamente all'inquinamento e definita come il volume di acqua blu necessaria per assimilare il carico di inquinanti delle concentrazioni secondo gli standard di qualità delle acque e al netto delle concentrazioni di fondo naturali già presenti negli ambientali esistenti. Per le aree urbane l'impronta grigia può essere calcolata quindi sulla base delle concentrazioni di deflusso delle acque / reflui trattati- WFTP - Treated Pollution.

Tra i pochi casi trattati sull'impronta idrica delle città, il recente studio di W. Rauch e Scipioni 2016, ha avuto per oggetto quello di implementare una proposta metodologica per valutare l'uso dell'acqua esclusivamente su scala urbana, tenendo conto dei diversi suggerimenti scientifici della letteratura esistente. Lo studio ha avuto lo scopo di analizzare la gestione locale delle risorse idriche a partire dall'impronta idrica di tre città europee: Vicenza in Italia, Innsbruck in Austria e Wroclawin in Polonia.



Il progetto è iniziato nel 2012 e ha coinvolto nove partner provenienti da cinque paesi europei, con l'obiettivo di sviluppare un approccio comune europeo e garantire un migliore utilizzo nella gestione dell'acqua nelle aree urbane. Queste sono state scelte come luoghi con oltre il 50% di *superfici costruite* in base alla classificazione [Mertes et al., 2015](#). La ricerca si è focalizzata solo su una area rappresentativa di ciascuna città, ed ha escluso l'uso agricolo dei territori, con la relativa contabilità del WF sulla produzione da coltivazione ed allevamento.

L'obiettivo di questo lavoro è stato la stima del consumo diretto di acqua, ed in questo senso si configura come il primo studio che mira a quantificare l'impronta idrica di una città esclusivamente per quanto riguarda i flussi diretti di utilizzo.

Come precedentemente argomentato, lo scopo di molti studi del Water Footprint si è concentrato molto sugli utilizzi indiretti dell'acqua, calcolati sia attraverso i commerci globali di acqua virtuale, che come trasferimenti regionali o interregionali di acque di bacino destinate a soddisfare la domanda di irrigazione o di produzione di energia idroelettrica. In considerazione del fatto che i consumi diretti di acqua delle aree urbane, calcolati quindi come prelievi a scopi idropotabili, rappresentano circa 1% dei prelievi totali dell'Impronta idrica, questo potrebbe essere il motivo per cui è stata dedicata meno attenzione ai consumi idrici urbani, ritenuti invece oggi di crescente rilievo.

Lo studio sull'impronta idrica delle 3 città europee ha visto la definizione di una metodologia ad hoc, sviluppata allo scopo di stimare i consumi diretti di acqua, che tenesse conto degli indicatori già sviluppati dal WF. Il primo step del progetto ha richiesto la definizione di un confine dell'area di indagine per ciascuna delle 3 città europee.

Nel comune di Vicenza è stato così identificata un'area di 24 Km<sup>2</sup> su un'area complessiva di 80 km<sup>2</sup> ed una popolazione residente di 114.000 abitanti. Lo studio ha richiesto un'analisi geospaziale destinata a caratterizzare l'area urbana in base al criterio di *Blocchi-Edificati* realizzata ad hoc in accordo alla tab. 1, in cui ciascuna categoria rappresenta una tipologia di costruzione finalizzata a scopi diversi.

Questa caratterizzazione ha consentito quindi di *scomporre l'impronta idrica di ciascun blocco/area in funzione degli utenti che ne usufruiscono*, per cui a parità di superficie, una scuola può avere un consumo idropotabile più pesante di un condominio di appartamenti di grossa quadratura (duplex) o di singole ville residenziali. La metodologia si è concentrata sostanzialmente su due flussi di importa idrica, che sono stati schematizzati nella fig. 6 *Flusso d'acqua relativo ai consumi domestici e Flusso idrico ecosistemico*.

-----  
Module classification.

Category	Sub-category	Module
Buildings: residential	Household buildings	Single houses
		Duplex
		Multifamily houses
		Condominiums
Buildings: non-residential	Commercial buildings	Offices
		Hotels
		Restaurant/bars
		Shops
		Shopping centers
	Public buildings	Schools and Universities
		Sport facilities
		Municipal buildings
		Military buildings
		Hospitals and health care buildings
Other units	Industrial buildings	Industrial installations
		Roads
		Public green areas
		Other impervious surfaces (e.g., car parks)
		Water storage
		Water and wastewater distribution system
		Water surface

Tab. 1 Blocchi-Edificati, W. Rauch e Scipioni 2016 ecosistemico

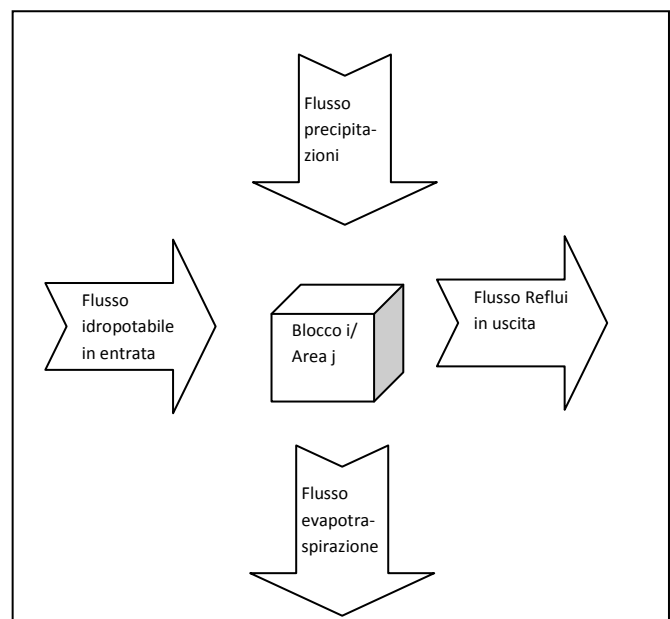


Figura 6: Flusso acqua consumi domestici e Flusso idrico ecosistemico

Le tre impronte idriche sono state calcolate con equazioni sviluppate ad hoc. Per cui l'impronta blu è stata calcolata con :

$$WF_{Blue_{i,j}} = V_{in_{i,j}} - V_{out_{i,j,t}} + V_{rainwater} * (k_{evaporation_{i,j}} + \alpha * k_{infiltration_{i,j}}) * X_{i,j}$$

dove l'acqua blu è data dal volume V delle acque in entrata nel blocco/edificio ij, meno il volume delle acque in uscita dal trattamento più le precipitazione al netto della percentuale di evaporazione eventuale filtrazione di acque piovane del terreno, per il valore della superficie del blocco/area.

L'impronta green è data dal totale delle precipitazioni al netto dell'evaporazione per il valore della superficie adibita a verde per il blocco/area esaminato:

$$WF_{Green_{i,j}} = (V_{rainwater} * k_{green\_evaporation_{i,j}} * Y_{i,j})$$

L'impronta grigia è stata infine calcolata dalla somma delle acque grigie generate dai reflui domestici – urbani e la acque grigie generate dal runoff delle precipitazioni.

$$WF_{Gray} = \sum_j (n_j * \overline{WF_{Gray,wastewater_{j,t}}}) + \sum_j (n_j * \overline{WF_{Gray,rainwater_{j,t}}})$$

Nel calcolo è stato effettuato si è tenuto conto dei seguenti aspetti: in tutta l'area comunale non sussistono problemi di carenza idrica in quanto al momento tutti i prelievi per gli usi domestici vengono effettuati da falde sotterranee; inoltre la rete fognaria utilizza per l'85% della sua estensione, un sistema combinato acque nere e bianche.

Tra le conclusioni dello studio si rileva che l'uso di Acqua blu più alto è quello legato all'acqua *persa* nel sistema di distribuzione dell'acqua (perdite su impianti), che ha contribuito al 25.81% del totale della contabilità del WF blu. Significativo è anche il consumo di acqua verde che deriva dall'acqua evaporata dalle superfici impermeabili, con un contributo di 22.64%. Nelle conclusioni gli autori suggeriscono che per ridurre la contabilizzazione dell'acqua verde, il Comune dovrebbe lavorare per ridurre il fattore di evaporazione derivante dalla superfici impermeabili da cui l'acqua piovana evapora, insieme con l'installazione di tecnologie di raccolta dell'acqua piovana e il riutilizzo. [Alessandro Manzardo, 2016](#)

Lo studio si è basato su una scomposizione del WF su scala molto ampia in modo da avere un risultato molto vicino ai numeri reali dei flussi idrici della città di Vicenza, rappresenta un interessante punto di inizio per l'applicazione del paradigma del WF finalizzato allo sviluppo di nuovi indicatori di analisi WF.

## 5. Conclusioni

In questo capitolo si è voluto entrare nel merito degli studi del Water Footprint cercando di cogliere quegli aspetti sfuggenti di questa metodologia che a tratti si propone come un nuovo paradigma per l'analisi dei sistemi ambientali, in particolare per la coerenza metodologico con cui viene proposto l'approccio transdisciplinare che riesce a coniugare in maniera efficace l'analisi ecosistemica dei cicli idrogeologici, all'aspetto socio-economico e tecnologico delle pressioni antropiche sui territori naturali.

## Reference

## Paragrafo 2

- L. Lombardi A. Corazza, L'acqua e la città in epoca antica, Firenze, [S.EL.CA](#), 2008.
- H. Hoff, P. Döll, M. Fader, D. Gerten, S. Hauser, S. Siebert Water footprints of cities – indicators for sustainable consumption and production, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 213–226, 2014
- Claudia M. Agudelo-Vera, Adriaan R. Mels, Karel J. Keesman, Huub H.M. Rijnaarts Resource management as a key factor for sustainable urban planning, *Journal of Environmental Management* 92 (2011) (Batty et al. 2008)
- Jochen Monstadt, Conceptualizing the political ecology of urban infrastructures: insights from technology and urban studies, *Environment and Planning A* 2009, volume 41, CD9
- Paterson 2015. Willa Paterson, Richard Rushforth, Benjamin L. Ruddell , Megan Konar, Ikechukwu C. Ahams, Jorge Gironás, Ana Mijic, Alfonso Mejia Water Footprint of Cities: A Review and Suggestions for Future Research, *Sustainability* · June 2015, CD 12
- N.A. Franke, H. Boyacioglu, A.Y. Hoekstra, Grey water footprint accounting, Published by: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2013*

## Paragrafo 3

- L. Lombardi A. Corazza, L'acqua e la città in epoca antica, Firenze, [S.EL.CA](#), 2008.
- H. Hoff, P. Döll, M. Fader, D. Gerten, S. Hauser, S. Siebert Water footprints of cities – indicators for sustainable consumption and production, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 213–226, 2014
- W. Paterson, Richard Rushforth, Benjamin L. Ruddell , Megan Konar, Ikechukwu C. Ahams, Jorge Gironás, Ana Mijic, Alfonso Mejia Water Footprint of Cities: A Review and Suggestions for Future Research, *Sustainability* · June 2015,
- C. M. Agudelo-Vera, A. R. Mels, K.J. Keesman, H.M. Rijnaarts, Resource management as a key factor for sustainable urban planning, *Journal of Environmental Management* 92 (2011) .
- Jochen Monstadt, Conceptualizing the political ecology of urban infrastructures: insights from technology and urban studies, *Environment and Planning A* 2009, volume 41
- Chapagain, A.K. and Tickner, D. 2012 Water footprint: Help or hindrance?, *Water Alternatives* 5(3): 563-581, 2012
- R. Roson, Martina Sartori, A Decomposition and Comparison Analysis of International Water Footprint Time Series, *Sustainability* 2015,
- Chapagain, A.K. and Tickner, D. 2012, Water footprint: Help or hindrance?, *Water Alternatives* 5(3): 563-581, 2012
- Roberto Roson, Martina Sartori, A Decomposition and Comparison Analysis of International Water Footprint Time Series, *Sustainability* 2015
- Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Guoping Zhang, Water Footprints and Sustainable Water Allocation, *Sustainability* 2016, 8, 20
- Schwarz, J.; Mathijs, E.; Maertens, M. Changing patterns of global agri-food trade and the economic efficiency of virtual water flows. *Sustainability* 2015.
- Ma, D.; Xian, C.; Zhang, J.; Zhang, R.; Ouyang, Z. The evaluation of water footprints and sustainable water utilization in Beijing. *Sustainability*
- Rushforth, R.R.; Ruddell, B.L. The hydro-economic interdependency of cities: Virtual water connections of the Phoenix, Arizona Metropolitan Area. *Sustainability*,
- Wiesław Fialkiewicz, Stanisław Czaban, Anna Kolonko, Tomasz Konieczny, Paweł Malinowski, Alessandro Manzardo, A Andrea Loss, Antonio Scipioni, Günther Leonhaedt, Wolfgang Rauch, Christin Haida, Katrin Schneider, Katharina Wohlfart, Robert Schmidt, Lisa Chilò, Donato Bedin, Andrés Kis, Water Footprint as a new approach to water management in the urban areas, *Conference Paper* · June 2014

Wolfgang Rauch, Antonio Scipioni, Alessandro Manzardo, Andrea Loss, Wieslaw Fialkiewicz, Methodological proposal to assess the water footprint accounting of direct water use at an urban level: A case study of the Municipality of Vicenza, Ecological indicator 2016

Andrea Loss, Wieslaw Fialkiewicz, Methodological proposal to assess the water footprint accounting of direct water use at an urban level: A case study of the Municipality of Vicenza, Ecological indicator 2016

#### **Riferimenti par 4**

Mathijs, E.; Maertens, M. Changing patterns of global agri-food trade and the economic efficiency of virtual water flows. Sustainability 2015.

Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Guoping Zhang, Water Footprints and Sustainable Water Allocation, Sustainability 2016, 8, 20 - CD 2

Ma, D.; Xian, C.; Zhang, J.; Zhang, R.; Ouyang, Z. The evaluation of water footprints and sustainable water utilization in Beijing. Sustainability 2015

Rushforth, R.R.; Ruddell, B.L. The hydro-economic interdependency of cities: Virtual water connections of the Phoenix, Arizona Metropolitan Area. Sustainability Rushforth, R.R.; Ruddell, B.L. The hydro-economic interdependency of cities: Virtual water connections of the Phoenix, Arizona Metropolitan Area. Sustainability 2015

Wiesław Fialkiewicz, Stanisław Czaban, Anna Kolonko, Tomasz Konieczny, Paweł Malinowski, Alessandro Manzardo, A Andrea Loss, Antonio Scipioni, Günther Leonhaedt, Wolfgang Rauch, Christin Haida, Katrin Schneider, Katharina Wohlfart, Robert Schmidt, Lisa Chilò, Donato Bedin, Andrés Kis, Water Footprint as a new approach to water management in the urban areas, Conference Paper · June 2014

Wolfgang Rauch, Antonio Scipioni, Alessandro Manzardo, Andrea Loss, Wieslaw Fialkiewicz, Methodological proposal to assess the water footprint accounting of direct water use at an urban level: A case study of the Municipality of Vicenza, Ecological indicator 2016

Mertes, C.M., Schneider, A., Sulla-Menashe, D., Tatem, A.J.B., Tanf, B., 2015. Detecting change in urban areas at continental scales with MODIS data. Remote. Sens. Environ. N. 158, 331–347.

## Capitolo 4 Metabolismo urbano

### 1. Introduzione

Il Metabolismo Urbano MU è per definizione un concetto sfuggente, perché allo stesso modo del Water Footprint, rappresenta un “link” tra ecosistemi naturali e pressione antropica, dove il focus stavolta non è l’ambiente naturale, le risorse, ma l’ambiente antropico, gli insediamenti umani dei territori urbani. Il MU è una metafora biochimica che vuole vedere nella città un enorme organismo in azione, che si alimenta dei territori circostanti per accrescere il suo volume. Il volume del MU, di questo soggetto ibrido, è dato dalla popolazione umana che, grazie a questo “corpo”, può riprodursi oltre i limiti naturali. Con l’approccio MU, la pressione antropica, il Footprint, acquista un ruolo eco-sistemico, infatti non sono pochi gli autori che attraverso il MU, hanno interpretato la città come un sistema biotico, capace di elaborare le stesse interazioni e relazioni biochimiche che insistono nei sistemi naturali. Nel capitolo analizzeremo alcuni contributi sul metabolismo urbano trattando anche le suggestioni degli autori del cyberspazio che iscrivono la fisica degli elementi antropici nei rapporti biofisici, e quindi nelle relazioni termodinamiche proprie dei sistemi naturali. L’obiettivo di questa rassegna è una *deep analysis* nelle inferenze antropiche ai sistemi naturali, al modo in cui vengono percepite dagli studiosi, per contribuire alla quantificazione dei limiti naturali entro cui si sviluppa la pressione antropica.

### 2. Il metabolismo urbano

*In the U.S. today attention is focused on shortages of water and the pollution of water and air. There is plenty of water, but supplying it requires foresight.*  
Abel Wolman, 1965

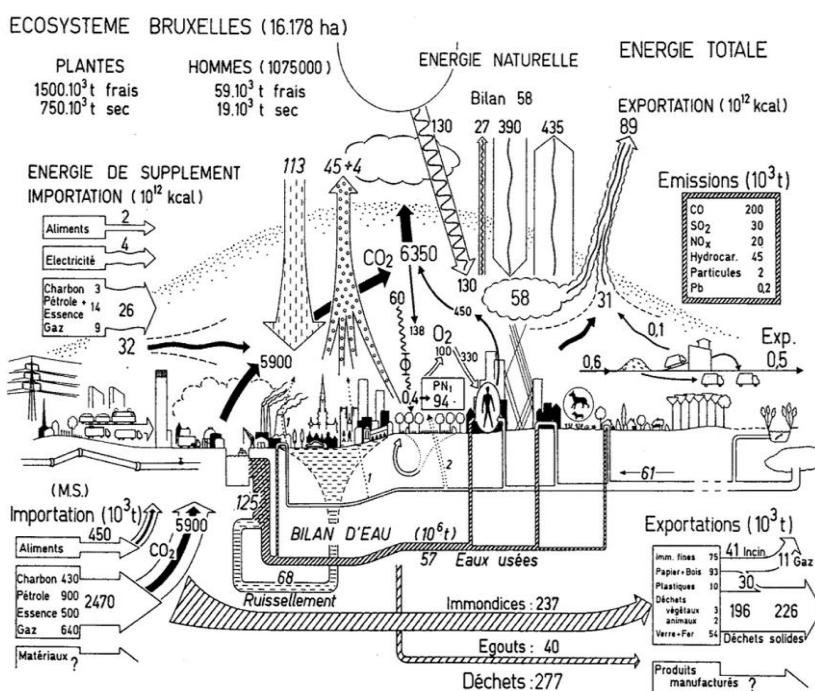
Wolman A. nel 1965 sosteneva che i tre principali problemi *metabolici* che gli amministratori delle città avrebbero dovuto risolvere nel breve termine erano: un’adeguata fornitura d’acqua, un efficace smaltimento dei liquami e l’inquinamento dell’aria. Il suo studio costituisce una delle analisi più efficaci sul “funzionamento organico” delle città, in cui innumerevoli transazioni alimentate dall’energia ricavata dai combustibili, sviluppano una catena di forniture pubbliche e private che collaborano per l’efficienza dei grandi aggregati urbani, talmente complesse secondo l’autore, *che nessun studio potrebbe descriverne il completo metabolismo*. Per questo Wolman utilizza solo tre categorie comuni a tutte le grandi città: acqua, combustibile e cibo da cui scaturiscono simmetricamente: reflui urbani, inquinanti e rifiuti solidi, implementando così il primo metodo MFA, material flux analysis, i cui elementi di entrata e di uscita vengono riportati nello schema 1.

acqua	625000	500000 fanghi
cibo	2000 rifiuti	2000
combustibile	9500	particolato 150, anidride solforosa 150, ossido di azoto 100, idrocarburi 100, monossido di carbonio 450

E' interessante notare il "destino" di ciascun input nei relativi output di processo: nel caso dei reflui vi è una perdita di flusso pari al 24%, mentre il cibo produce tanti rifiuti solidi quanti se ne assume, ed infine i combustibili al netto dell'energia prodotta, rilasciano una quantità di inquinanti. Con questo flusso si stabilisce quindi che nell'analisi in/out del metabolismo urbano, l'obiettivo non è esattamente la determinazione di un bilancio di massa, ma la descrizione di flussi di materia ed energia che una volta transitati nel territorio urbano, non ne escono automaticamente, ma diventano parte del sistema metabolico che le ha originate.

Nonostante la grande intuizione di Wolman, gli studi sul metabolismo, che come vedremo anticipavano i concetti di *economia urbana circolare*, hanno avuto diverse battute di arresto con successive riprese.

[Kennedy 2010](#) analizza questa letteratura sostenendo che, nonostante il nuovo interesse sull'argomento a partire dalla fine degli anni '90, la maggior parte degli studi di metabolismo urbano sono state principalmente *esercizi contabili*, utili in quanto forniscono indicatori di sostenibilità urbana e pongono le basi per lo sviluppo di una pianificazione urbana sostenibile.



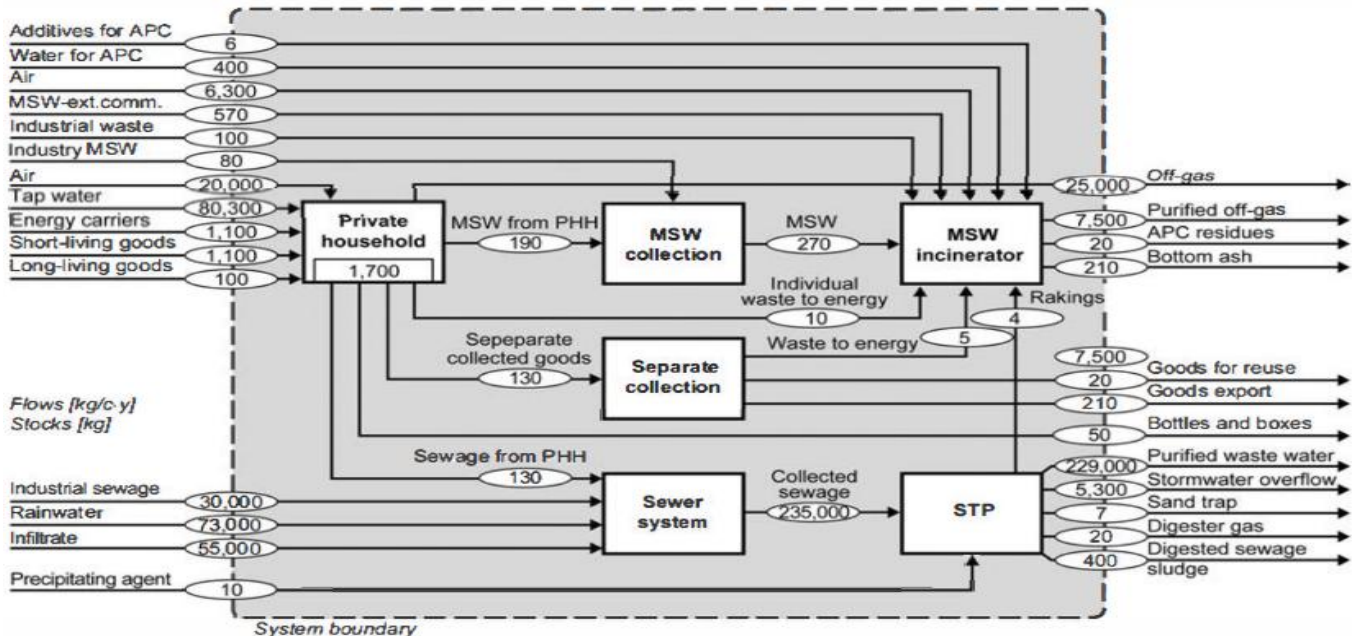
[Dauvigneaud P, 1977](#)

Tra questi si distingue lo studio di [Duvigneaud et al. 1977](#), applicato alla città Bruxelles, come tentativo di eseguire una visualizzazione *completa* degli scambi tra la città e la biosfera. Da un lato la città viene visualizzata (a mezzo di cartografie tematiche) come *organismo*, dove l'energia naturale totale alimenta il processo di crescita del territorio, ma anche i flussi antropici di cibo, energia elettrica, acqua e rifiuti. La città si presenta come un *ecosistema pulsante*, che interagisce con i cicli naturali della biosfera (acqua, energia solare) per sostenere i suoi processi di trasformazione; di importazione di materia prima ed esportazione di prodotti finiti.

Dopo alcuni pochi esordi, il MU è rimasto per lungo tempo inesplorato, per poi diventare nuovamente approcciato da molti studiosi che hanno utilizzato il MU per valutare il flusso di combustibili fossili e i materiali assorbiti dalla città con i relativi rifiuti metabolici. In realtà bisogna considerare che la disponibilità di dati per le analisi di Material Flux Analysis MFA, inizialmente si sono circoscritte a poche categorie da indagare, tra queste i dati sull'energia e i combustibili fossili che erano al tempo, i più disponibili sia a livello nazionale che regionale. Come infatti riporta [Barle 2009](#), la quantificazione dei reflui nella regione di Parigi al 2001 non era disponibile, ciononostante l'autrice sostiene l'importanza del metodo MFA che "ha mostrato di essere rilevante non solo nella descrizione delle **interazioni socionaturali**, ma anche alle decisioni politiche".

Secondo [Newmann 1999](#) il MU inteso come gestione equilibrata tra elementi in entrata e in uscita di un sistema, è applicabile ad ogni sottosistema dell'ambiente urbano, introduce quindi l'obiettivo della sostenibilità della città intesa come *vivibilità*. Secondo l'autore i principali problemi ambientali della città sono correlati alla crescita dei consumi che accrescono l'output del metabolismo urbano, per cui è necessario pianificare il reinserimento dei processi naturali che possano aumentare l'efficienza nell'uso delle risorse quali l'utilizzo di energie rinnovabili e il riuso di flussi idrici.

Secondo [Baccini e Brunner \(1999, 2012\)](#) il territorio urbano è composto da reti “antropogeniche e geogeniche connesse le une alle altre attraverso dei nodi ad alta densità di popolazione che scambiano prodotti, energia e informazioni”. I limiti fisici di questo sistema sono solo politici o climatici, in realtà la biosfera su scala regionale non può avere dei limiti o confini (diversamente dalla troposfera terrestre che ha il suo limite nel sistema atmosferico). Con il loro approccio gli autori anticipano la declinazione del MU come processo dell'*ecosistema urbano*, un luogo ibrido ma soggetto alle stesse ciclicità proprie degli ecosistemi naturali.



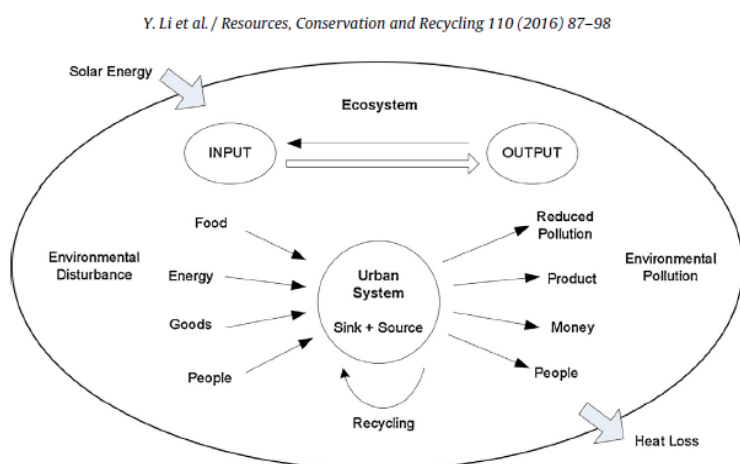
Studio P. Baccini, P.H. Brunner 1993, Legenda: APC:air pollution control; MSW:municipal solid waste; PHH:private households; STP:sewage treatment plant

Nel flusso riportato, oggetto di uno studio effettuato dagli autori nel 1993, sono riportati i flussi di: acqua, inquinanti aria, rifiuti solidi, prodotti di breve durata ed energia. I risultati indicano output significativi per beni di breve durata, acque trattate ed emissioni in atmosfera dovute a processi di combustione. Nel manuale pubblicato a dieci anni di distanza nel 2012, gli autori sottolineano come gli strumenti per l'analisi MFA del metabolismo urbano, si siano arricchiti nel tempo, di diversi strumenti di indagine quali: *TMR (total material requirement)*, *LCA (life cycle analysis)*, *Ecological footprint*. Mentre relativamente all'approccio del MU, gli autori sostengono che: *l'antroposfera è un sistema biologico e culturale. Esso comprende tutte le attività umane e gli enti geogenici così integrati o collegati. Dal punto di vista delle scienze naturali, tutti i processi metabolici all'interno di questo campo devono seguire le leggi naturali. L'installazione e la gestione di questi processi (ad esempio, l'approvvigionamento idrico, la trasformazione di energia, costruzione e manutenzione, infrastrutture di trasporto) sono funzioni dei beni culturali di una società. Queste proprietà, i loro cambiamenti nel tempo e nello spazio, sono oggetti delle scienze umane e delle scienze sociali.*"

Secondo [Schulz K. e Bruns A. 2016](#), la nozione di Metabolismo Urbano richiama una serie di associazioni metaforiche che spaziano dalle trasformazioni chimiche all'interno del corpo umano, ad immaginarie aree metropolitane densamente popolate dove flussi di persone, informazioni, energia e risorse, s'interconnettono per creare un vibrante ambiente ibrido, **un cyborg**, [Benedikt, M. 1991](#). Il concetto del metabolismo delle acque urbane è strettamente legato agli impatti socio-ecologici di accelerazione dell'urbanizzazione; come la concorrenza sull'uso del suolo, il degrado ambientale e la crescente domanda di infrastrutture, cibo, energia, acqua. Gli autori ipotizzano una *idrosociologia* per l'analisi di complesse interazioni tra cicli idrologici ecosistemici e le attività umane per il controllo dell'acqua nella zona sudorientale del Ghana dove l'accesso all'acqua spazia dai "chioschi d'acqua" delle ONG, alle autobotti delle imprese private, ai sistemi di approvvigionamento idrico gestiti dalle comunità locali.

Il metabolismo urbano UM è invece secondo [Goldstein et al. 2013](#), uno strumento efficace per la quantificazione dell'impatto ambientale sull'ecosistema, una sorta di Ecological Footprint applicato alle aree urbane concepite come organismi che richiedono energia per mantenere la funzionalità della crescita. Gli autori sottolineano che l'UM basato sull' MFA, ha ricevuto critiche in quanto quantifica solo il consumo diretto di una città, ignorando i processi a monte necessari per fornire la città di risorse, e omettendo gli impatti a valle dei processi di output. Anche il UM di seconda generazione, a partire dal 2004, secondo gli autori è limitato nella sua capacità di stabilire le dovute interrelazioni con gli impatti di ciascun flusso metabolico, valutazione che invece con il metodo LCA si risolvono nell'utilizzo della prospettiva *cradle to grave*.

[Ying Li et al. 2016](#), con il metodo MFA, analizzano il metabolismo di Jinchang City, China, nel periodo 1995 and 2014.



Gli autori rilevano che i flussi di materiali in entrata sono costanti dal 1995 al 2014. Il metodo SDA, analisi di scomposizione, è utilizzato per valutare la sostenibilità del MU. Vengono quindi scomposti i flussi in entrata che disturbano sistemi naturali prelevando risorse e provocando il degrado ambientale, e i flussi in uscita che contribuiscono all'inquinamento ambientale e compromettono la salute umana. Dall'analisi si ricava che i Rifiuti solidi e l'anidride solforosa sono in aumento, mentre diminuiscono di poco i reflui inquinati e le polveri sottili. E' interessante notare che nello schema metabolico proposto, gli ecosistemi svolgono un'azione di feedback sui flussi in/out, e le attività di recycling sono a chiusura del cerchio.

### 3. Le città batteriologiche

In realtà sono pochi gli autori che si soffermano sugli aspetti ecosistemici che fanno da sfondo alle attività del UM. Tra questi, gli studi di Gandy fanno da apripista allo sviluppo di un nuovo approccio allo studio ecosistemico del territorio urbano. Secondo l'autore le infrastrutture idriche hanno giocato un ruolo fondamentale nel passaggio dalla città ottocentesca alla città moderna, [Gandy M. 2004](#). Secondo l'autore la "città batteriologica" nasce appunto dalle nuove consapevolezze in materia di epidemiologia e microbiologia, che spingono verso la realizzazione di ambiziosi progetti di ingegneria idraulica. Lo sviluppo di reti di raccolta di acque sporche e meteoriche rappresenta il punto di svolta tra l'organizzazione frammentaria, insalubre e malsana della città esplosa con il ritmo dello sviluppo industriale ottocentesca e la nascita della pianificazione urbana. Gandy sottolinea come la "rivoluzione dell'acqua" nelle prime metropoli di fine '800 sia stata accompagnata anche dalle critiche di chi vedeva invece nei liquami urbani che confluivano verso i territori agricoli periferici, una risorsa per sviluppo agricolo, molto più importante dei pericoli derivanti dalla mancanza di igiene. La "perdita di letame umano da destinare all'irrigazione" veniva così contestata da chi sosteneva la antieconomicità degli investimenti sulle infrastrutture della "città salubre". Con il prevalere delle infrastrutture idrauliche, l'obiettivo della città diventa duplice: da un lato acquisire le nuove tecnologie di depurazione delle acque, dall'altro sviluppare un "bisogno" di natura di tipo contemplativo, uno spazio separato dalla città da vivere come fonte per il tempo libero [Gandy, 2004](#).

La città batteriologica con la sua fitta rete di infrastrutture idrauliche sviluppa l'idea della città come luogo antropico "sicuro", lontano dagli elementi di vulnerabilità dei sistemi naturali selvatici. Secondo l'autore



“le infrastrutture idriche giganti, come dighe, acquedotti, entrano a far parte di un panorama tecnologico distintivo, fondato sull’impulso prometeico di trasformare la natura al servizio di una nuova società”. L’ingegneria idraulica si basava dunque sulla fiducia che tutte le città sarebbero diventate dei modelli tecnologici, ma questa modernità è rimasta incompleta, ibrida, mostrando a partire dagli anni ‘80, un generale deterioramento delle condizioni di vita urbana, a cominciare dall’accesso all’acqua potabile. In molte città dei paesi in sviluppo l’accesso idropotabile diminuisce con l’aumento della popolazione, mentre gli impianti dei reflui urbani sono ancora oggi, in molte città europee incompleti, non perfettamente funzionanti e spesso inadeguati ai volumi dei flussi urbani che continuano ad aumentare insieme ai flussi idrici.

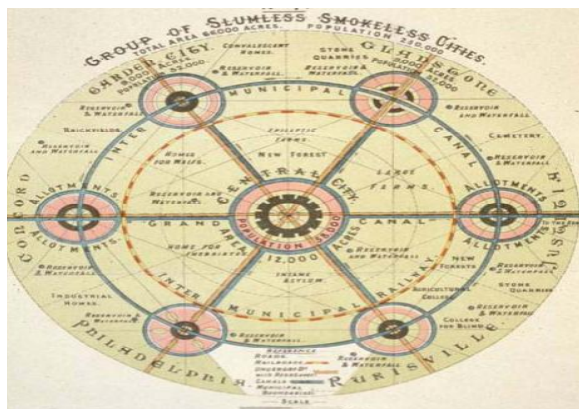
Le infrastrutture idriche urbane, sviluppatesi per contrastare la mancanza di igiene e di sicurezza idrica delle prime città del 20° secolo, sono oggi allo stesso punto di partenza, tra gli altri, i rischi di epidemie e di contaminazioni dovuti ad acque contaminate tornano ad essere il problema che le città “batterologiche” dovranno affrontare nei prossimi decenni.

Dentro il fallimento della città batteriologica insistono gli schemi ideologici dell’urbanistica moderna che si è sviluppata intorno al concetto di *città senza limiti* ideato da *Ildefonso Cerdà 1867*. Chiamato a risolvere i problemi della Barcellona dei suoi tempi, tra sviluppo industriale da un lato, e la necessità di spazio per accogliere l’esodo della popolazione rurale verso il centro urbano dall’altro, l’architetto, considerato il primo urbanista della storia, progettò l’abbattimento delle mura storiche della città e concepì poi una nuova struttura urbana capace di espandersi secondo specifiche regole.

La struttura a scacchiera della città, con nuclei esagonali ed ottagonali, doveva assicurare i bisogni della popolazione residente: la comunicazione efficace, veloce, le unità residenziali di nuclei monofamiliari, l’igiene e l’integrazione sociale. La città venne concepita come un luogo omogeneo capace di accogliere ed integrare le popolazioni in arrivo.

E’ questa l’idea del luogo sicuro, ibrido, un altro luogo rispetto alla biosfera terrestre, o meglio un non luogo. *La città dell’uomo*, dove strade di 20/80 metri devono servire l’idea dell’efficienza, della comunicazione efficace. Dove l’ambiente costruito deve dominare sugli ecosistemi naturali.

Ebenzer Howard qualche decennio successivo ha cercato di porre riparo a questa rottura ecologica della “città dell’uomo” progettando le *città giardino*. Partendo dallo stesso problema di Cerdà, quello di assecondare l’espansione della città in proporzione all’espansione dell’economia industriale che ha il suo focus dentro i territori urbani e peri-urbani, Howard progettò, dei piccoli **poli urbani** adiacenti alla città dai quali la città avrebbe dovuto dipendere per disporre di aria fresca, prodotti agricoli e fornitura di cibo, e con i quali contenere l’espansione delle città.



Le teorie di Howard vennero applicate da Étienne de Groër per l’Urbanizzazione di Lisbona con lo scopo di proteggere l’ulteriore estensione della città. Venne così progettata la creazione di una zona rurale periferica di circa 3 km di larghezza intorno alla città stessa. In aggiunta a questa zona rurale, per fornire “polmoni della città, Groër progettò nuovi spazi verdi classificandoli come: parchi, giardini, piazze con giardini decorativi, campi sportivi. Secondo Groër era importante preservare i terreni boschivi peri-urbani per fornire aria fresca alla città, ma anche riservare cortili all’interno delle zone residenziali private, per dare ai residenti la possibilità di coltivare alberi da frutta e verdura in città.

Howard non considerò l’aspetto storico o formale della nuova città industriale, si concentrò su aspetti puramente sociali ed economici. Il suo obiettivo era dal un lato quello di sganciare la città dal congestionamento, dall’altro rallentare o impedire l’abbandono della campagna. La città giardino dovevano assicurare contemporaneamente gli agi e le comodità della vita urbana e gli aspetti sani e genuini della vita di campagna.



La progettazione della città doveva tenere conto delle esigenze primarie dell'individuo, con nuclei abitativi di residenze unifamiliari, attorniate dal verde, collegate tra loro, con servizi, negozi, zone produttive e zone amministrative, in modo tale da rendere questi centri completamente autosufficienti. Howard nel suo saggio descrisse con rigore scientifico le quantità di terreno, le dimensioni delle unità abitative, le tipologie di insediamenti produttivi e quant'altro potesse servire alla costituzione corretta di una Garden City, pianificando anche aree per lo smaltimento dei rifiuti. Le città giardino furono pensate per essere città autosufficienti, con una popolazione massima di 32.000 abitanti, con un'urbanistica sviluppata su anelli concentrici al cui centro doveva essere posto un giardino di 2,25 ha, circondato dalle principali attrezzature pubbliche: teatro, biblioteca municipio, ospedale. A corona circolare si sviluppava un parco di 58 ha delimitato dal mercato dei prodotti della città ed intersecato da grandi avenue per gli insediamenti residenziali. All'esterno, lungo la linea ferroviaria dovevano essere localizzate le industrie. Nella corona verde

esterna (greenbelt) che doveva stabilire i limiti della città, dovevano essere localizzati gli edifici speciali come i sanatori per i malati e le fattorie. La città si estendeva così per circa 2.500 ha, e doveva incardinare tutti i principi del vivere sano, allontanando i residenti dal caos e dall'inquinamento metropolitano, affidandoli così a un territorio a misura d'uomo. Numerosi sono gli esempi di questa urbanizzazione: Monte Sacro a Roma, la città di Marano - Città Giardino a Napoli.

Ma come si passa da una città pianificata nei minimi dettagli, progettata per bastare a se stessa, allo sviluppo *geometrico* e caotico delle metropoli? Cosa è che non ha funzionato nella pianificazione circolare delle città batteriologiche avviata i primi anni '40? Questo elemento è di fondamentale importanza per definire anche il concetto di *sostenibilità ambientale delle città* che oggi si vuole dare per scontato in molti contesti, ma che di fatto è assolutamente poco definito e dimostrabile.

#### 4. Lo spazio fluido del territorio antropico

Uno dei fattori sottovalutati dai pianificatori è che le aree urbane rappresentano **nodi ad alta densità di popolazione** (Baccini 2012) e che sono continuamente animate dalla dinamicità di quella che è stata definita *la rete-attore* (ANT) dei sistemi sociali. Secondo questa teoria (Latour B. 2005), nell'ambiente costruito, ciascun singolo attore genera degli host (poli) che in maniera assolutamente casuale, cominciano ad avere un ruolo sempre più definito e riconosciuto nella generazione degli scambi tra gli attori sociali di un sistema.

Lo sviluppo degli host non è predittibile in quanto viene determinato soltanto dai movimenti casuali degli attori all'interno della rete sociale. Il passaggio di informazioni (ma anche di beni e risorse) all'interno della rete, non ha un inizio né una fine, perché come giustamente veniva pianificato negli anni '40, l'ambiente costruito ha una *sua circolarità*.

Gli oggetti/soggetti dell'ANT sono disponibili in varie configurazioni, ciascuna associata a processi spaziali che portano ad una ricombinazione di relazioni. In particolare, gli oggetti possono emergere come 'volumi' in uno spazio euclideo regionale, come 'reti di relazioni' configurati in una rete spazio, o come "flussi" adattando continuamente la loro forma per generare uno spazio fluido. T. Balzacq M. Cavelty, 2016

*L'instabilità dello spazio urbano* è la conseguenza della dinamicità della rete attore. Diverse linee di ricerca sono impegnate ad affrontare le dinamiche degli spazi organizzativi – nei settori più diversi che vanno dai processi informatici a quelli di governance, dove la molteplicità di soggetti/oggetti si dispone nello spazio interferendo con lo stesso. L'Actor-Network Theory (ANT) approccio molto stimolante ma anche molto sfuggente, cerca di identificare regole all'interno dell'apparente caos dei sistemi complessi. Fornisce quindi

una strategia teorico e metodologica per lo studio su come le relazioni tra attori umani e non umani si intrecciano sulle reti spaziali, e quali sono i loro effetti in termini di organizzazione.

Inizialmente, gli studi ANT si sono concentrati sulla produzione di conoscenza all'interno dei laboratori scientifici e tecnologici, basandosi su studi etnografici. Nella relazione delle ANT con le reti tecnologiche, queste si configurano come "protesi" dell'agire umano alle quali si delega parte dell'azione sociale. In quest'ottica le infrastrutture delle rete urbana dovrebbero essere ripensate come luoghi sociali *a cui si delega parte dell'organizzazione sociale* e non soltanto come strumenti da utilizzare per il conseguimento di obiettivi.

Più la tecnologia interpreta il "sociale", più in qualche maniera diventa essa stessa oggetto sociale, e ne sono un esempio il modo in cui vengono percepite socialmente le reti idropotabili: come parte integrante del proprio diritto alla vita, e non soltanto alle risorse idriche.

Lo spazio costruito diventa esso stesso attore della rete sociale, acquista un suo significato simbolico annidandosi ad altri soggetti della rete sociale, al punto che nell'utilizzo funzionale della rete urbana diventa difficile separare l'oggetto dell'azione dal soggetto, separare l'uomo dalle infrastrutture di cui dispone, che ormai fanno parte di un unico agire della rete (ad esempio il sistema dei trasporti, impensabile senza coniugare soggetti/oggetti).

Il vissuto delle tecnologie urbane, insieme con gli spazi urbani, si integra e si evolve insieme alla rete degli attori. La città, lo spazio della rete, diventa un luogo in costante evoluzione, e quindi fluido, difficile da fotografare con un'istantanea. Come suggerisce Gandy 2004, *l'intreccio di sistemi sociali e tecnologici all'interno della città batteriologica è molto più complesso* di quanto la maggior parte degli architetti, ingegneri e progettisti sono stati mai disposti ad ammettere.

Mentre i decision making sviluppavano una governance urbana tiepida, dettata dalla necessità di allocare risorse, mezzi e popolazione in crescita, gli spazi disordinati e indeterminati dell'ignoto urbano si evolvevano verso la rete. Nella prima fase della città batteriologica, il metabolismo urbano appariva come semplice assemblaggio di flussi di materiali; come una rete di movimenti controllabili, predittibili ed anche proficui sotto l'aspetto della crescita urbana.

Ma le interazioni bio-fisiche del metabolismo urbano si sono progressivamente evolute e i decision maker si sono via via scontrati con l'incapacità di spiegare la natura mutevole della città contemporanea all'interno di un sistema antropico sempre più globalizzato. Si è dovuto quindi prendere atto delle difficoltà crescenti nel pianificare lo spazio fluido della città. Un sistema aperto che si rende continuamente disponibile a nuove funzioni-interazioni, che non può avere un confine, ma nemmeno un limite, una soglia oltre la quale possano agire regole di controllo. La città fluida sfugge al controllo dei pianificatori, perde le dimensioni temporali e spaziali della pianificazione urbana: fine a dove, per quanto tempo? Il Piano urbano concepito con questi strumenti, diventa sempre meno applicabile.

Ripensando alle *città giardino* in quest'ottica, e alle periferie urbane progettate e costruite a partire dagli anni '70, allo scopo di contenere lo sprawl urbano, si deve ammettere un sostanziale fallimento negli obiettivi, stanti non solo i livelli di marginalità ed invivibilità di questi agglomerati, ma soprattutto la difficoltà finanziaria e manageriale di implementare il modello batteriologico di città "sicura", con la conseguente mancanza di quelle infrastrutture idrauliche, necessarie ad assicurare condizioni di vita in linea con la città.

Con il passare del tempo questi territori costruiti hanno dimostrato una grande vulnerabilità, sia sul piano del dissesto idrogeologico (con ripetuti eventi alluvionali, e franosi) sia sul piano dell'organizzazione urbana, che li ha visti sempre più dipendenti dalle aree concentriche da cui è partito il tessuto metropolitano. Incapaci di dotarsi di una vera e propria autonomia, questi territori sono diventati progressivamente marginali e periferici. Concepiti per ristabilire un rapporto equilibrato tra spazio antropico e sistemi naturali, gli anelli urbani progettati da Howard, non hanno ricucito lo strappo del territorio antropico perché, dove ne è nata l'esigenza, questi polmoni verdi sono stati progressivamente ridotti soccombendo così alle esigenze di *spazio* dello sprawl urbano.

## 5 Dal metabolismo lineare al metabolismo circolare

Ma se l'obiettivo di arginare lo sprawl urbano con gli strumenti urbanistici può essere considerato, alla luce delle *sofisticata* considerazioni della rete attore, un obiettivo impossibile all'interno dello spazio fluido urbano, il paradigma lineare con cui si è sviluppata la *città senza confini* del secolo scorso, può costituire un punto di partenza per ripensare ad una città sostenibile. Il metodo lineare della città senza confini è la proiezione del pensiero neoliberista basato sul concetto di disponibilità illimitata di risorse con cui *crescere*, utilizzando gli strumenti tecnologici necessari ad abbattere i limiti che si pongono davanti alla crescita, quali: inquinamento e degrado, scarsità di risorse, crisi economiche.

La versione speculare del metabolismo lineare, è il metabolismo circolare basato invece sulla possibilità di crescere attraverso i flussi di materia ed energia che già fanno parte del sistema metabolico, attraverso processi più finalizzati di consumo / utilizzo / riuso. Il metabolismo circolare è quello proprio dei processi ecosistemici: il ciclo dell'acqua, dell'azoto, del carbonio, del fosforo, sono i processi attraverso cui si alimenta la nostra biosfera e le specie che la abitano. I cicli degli elementi rappresentano quindi ciò che conosciamo meglio in natura, i processi più semplici, più elementari. Pensare al metabolismo circolare non dovrebbe essere difficile, anzi dovrebbe costituire parte del nostro patrimonio di conoscenze.

Lo studio di [Kennedy 2007](#), se non fa parte delle consapevolezze di tutti gli addetti ai lavori, è sicuramente una delle analisi su metabolismo urbano più diffuse. I dati raccolti in vari anni dal 1965 al 1990 di otto regioni metropolitane nei cinque continenti, attestano che il metabolismo urbano è in crescita, soprattutto per quanto riguarda i flussi idrici: i consumi idropotabili e i flussi di acque reflue si rilevano generalmente maggiori rispetto ai dati del 1970. Nelle conclusioni l'autore indica quindi la necessità di avviare nuove politiche da parte dei decisori per limitare lo sfruttamento delle risorse attraverso politiche più mirate.

Secondo [Spiller 2015](#), gli ecosistemi sono reti di diversità di specie che interagiscono strettamente per massimizzare l'efficienza di energia, di acqua e delle sostanze nutritive, ma in molti casi sviluppano *attività finalizzate ad un riciclo continuo di preziose risorse*. Nelle foreste pluviali tropicali ad esempio, i nutrienti che provengono dalla mineralizzazione della biomassa sono direttamente assorbiti dal terreno per la crescita vegetale, in questo modo non si perdono sostanze nutritive e l'efficienza nell'uso delle risorse è alta. Purtroppo secondo l'autore, nelle aree urbane non c'è comprensione di quando e dove sono metabolizzate risorse riutilizzabili, di quali risorse/scarti potrebbero essere interessati al riuso.

Secondo [Lotfi e Daneshpour 2016](#) la eco-città deve implementare l'economia circolare, e quindi il riciclo – riuso dei rifiuti, deve costruire artificialmente una circolarità eco sistemica. Secondo gli autori è necessario percepire la città sostenibile come un ecosistema, e quindi dotarsi di “agenti saprofiti” che, al pari delle specie di insetti, siano capaci di degradare gli escrementi e la materia organica in decomposizione del metabolismo umano.

Secondo [Firmansyah, I. et al. 2016](#), è necessario passare dal metabolismo lineare a quello circolare attraverso il riutilizzo dei nutrienti presenti nei reflui urbani che consente diversi vantaggi economici tra cui: l'abbattimento dei costi dei combustibili fossili utilizzati per la produzione di fertilizzanti azotati, pari ad un valore pari all'1% circa del fabbisogno globale di energia. Inoltre secondo l'autore, i fosfati utilizzati come fertilizzanti, essendo ricavati da miniere di fosfato di roccia, rappresentano una risorsa limitata e non rinnovabile che dovrebbe esaurirsi già a partire dai prossimi 50 anni.

Secondo [Y. Kalmykova 2015](#) il quadro del metabolismo urbano per sviluppare l'economia circolare non è ancora stato discusso nella letteratura, nonostante numerosi studi UM siano già stati effettuati in questa direzione, pochi hanno considerato implementazione dell'economia circolare nelle sue applicazioni. Gli studi su UM diffondono le conoscenze sulle risorse riutilizzabili dei flussi di prodotti e materiali e ciò può facilitare l'individuazione di possibili legami tra le parti interessate; tra settori industriali interessati al riutilizzo e infrastrutture che raccolgono o espellono tali materiali.

Uno studio condotto su 100 comuni in Italia, [Padovan D. 2016](#), rileva che dall'analisi MFA dei consumi e dei relativi output, nel periodo 2002 and 2011 non si è registrato un significativo aumento del metabolismo delle città. L'autore suggerisce quindi che lo studio del metabolismo urbano non debba essere necessariamente indirizzato alla valutazione dei flussi di energia-materia scambiati con l'esterno, ma possa essere anche uno strumento utile a individuare i problemi ambientali, finalizzato quindi ad una progettazione urbana più efficiente.

Il metabolismo circolare si coniuga con l'idea di un'economia circolare capace di contrastare l'insostenibilità urbana radicata nel consumo massiccio di risorse, nella produzione di rifiuti oltre i limiti naturali e nella mancanza di una gestione adeguata dei flussi in/out. Come sottolineano diversi autori, Kennedy 2014, l'approccio metabolico può contribuire ad una migliore comprensione del funzionamento dei processi del sistema urbano.

Come abbiamo visto, il metabolismo urbano può servire come punto di inizio per una riformulazione critica della relazione tra processi sociali e processi bio-fisici. Una concezione dialettica o ibrida del metabolismo urbano può illuminare i processi circolari che sono alla base della trasformazione della città. Fino a poco tempo fa, la comprensione delle reti tecnologiche della "città nascosta" erano state in gran parte lasciate a ingegneri e tecnici, mentre altri aspetti "visibili" dell'arredo urbano sono stati percepiti come dominio di architetti e urbanisti. Questa *divisione dei compiti*, ha di fatto diviso la città in mondo fruibile e percettibile e in *mondo nascosto*, tecnologico ed efficiente. Questo schema ormai non è più adottabile, i recenti sviluppi della *governance dell'acqua* suggeriscono che stiamo entrando in una nuova fase di transizione della percezione e fruizione fisica dello spazio urbano.

L'acqua gioca un ruolo fondamentale nella costruzione di una "città concreta" perché la sua spesa e la sua complessità precludono soluzioni efficaci con forme alternative di fornitura di servizi. Per questo motivo, l'acqua è diventata uno dei punti focali per ripensare al rapporto in evoluzione tra bisogni umani e reti tecnologiche urbane.

## 6. L'ecosistema urbano

Diversi autori, a partire dagli anni '70 e dalle prime riflessioni sulla scarsità di risorse naturali, hanno considerato **la città come un ecosistema** allo scopo di comprendere i meccanismi che regolano l'approvvigionamento continuo di risorse, materie prime, energia e prodotti, e la espulsione, anch'essa continua di reflui, rifiuti, scarti di produzione.

La città intesa come "casa dell'uomo" non è più un luogo chiuso e artificiale dove si consuma una vita tecnologica finalizzata a soddisfare il benessere della specie umana, ma è un ecosistema continuamente sollecitato a ridefinire i suoi principi di funzionamento e i suoi confini (Gisotti 2006).

Molti fenomeni naturali, nell'ecosistema urbano hanno principi di funzionamento diversi, le precipitazioni meteoriche in ambiente urbano attraversano superfici impermeabili vengono convogliate verso i corpi idrici più vicini, di conseguenza il suolo interessato all'impermeabilizzazione si disidrata con il tempo, i corpi idrici adiacenti a tali territori devono contenere quantità d'acqua maggiori alle portate degli alvei con conseguenti esondazioni urbane.

Il territorio urbano è diventato intrinsecamente *molto più vulnerabile e meno sicuro* di quello naturale per tutte le specie che vi abitano. Per questo motivo l'ecosistema urbano richiede un approccio differente da quello utilizzato per l'analisi degli ecosistemi naturali, che tenga conto del cambio di prospettiva che vede nella tecnologia lo strumento utilizzato dall'organizzazione umana per forzare l'adattamento dei cicli naturali al benessere umano.

L'ecosistema urbano è un ambiente in cui i cicli biogeochimici globali di supporto alla vita vengono modificati da costanti e ripetute manipolazioni a opera dell'uomo. Le perturbazioni agli equilibri ecosistemici sono continue e le specie viventi sono in continuo adattamento ai ritmi artificiali imposti dall'uomo. Per questo motivo anche l'analisi sociale degli ambienti urbani diventa determinante, perché da evidenza di meccanismi inesistenti in ambienti naturali, come ad esempio gli scarichi abusivi di attività manifatturiere, comportamenti che di fatto fanno la differenza nella ciclicità degli eventi che interessano il territorio e i suoi corpi idrici, Douglas 1983.

L'ambiente sporco dell'ecosistema urbano è destinato ad espandersi e a diventare l'ambiente più critico a livello planetario, con cui la scienza dovrà fare i conti. E' necessario quindi sviluppare nuovi strumenti di indagine per analizzare gli ecosistemi urbani, asseverare le *distorsioni* che si possono verificare rispetto alle ciclicità degli elementi da noi conosciute, sviluppare nuovi cicli biogeochimici che tengano conto

dell'impronta ecologica. In particolare per quanto riguarda l'impronta idrica, è necessario sviluppare un framework condiviso su come approfondire le condizioni a monte e a valle di processi ritenuti critici, quali ad esempio:

1. la captazione di risorse sotterranee rispetto ai reali meccanismi di resilienza della geomorfologia di un territorio. Ricerche mirate di larga scala dovrebbero verificare pericoli reali di depauperamento dei bacini sotterranei in relazione ai nuovi trend di temperatura e precipitazione del cambiamento climatico
2. il trasferimento di risorse idriche da un bacino idrografico ad altri ambienti (scarichi in canali, corpi idrici, mare) dovrebbe essere approfondito per valutare i feed back di questi cambiamenti idro-geomorfologici, il costo effettivo in termini di perdita di risorse da un lato e impoverimento della qualità delle risorse idriche dall'altro;
3. il consumo idrico per le colture che secondo le stime del Water Footprint costituisce la principale minaccia all'impoverimento delle risorse locali, dovrebbe essere valutato su larghe scale per stimare i danni ambientali già sofferti da un territorio e gli eventuali trend di resilienza. Sappiamo che molti territori sono a rischio di desertificazione per pratiche agricole intensive, ma non abbiamo condivisione sull'entità del danno, non solo dal punto di vista geomorfologico, ma anche in termini sociali. Ad esempio molti osservatori cominciano a collegare le migrazioni dai paesi in sviluppo con la "mancanza d'acqua", ma sarebbe utile avere dati reali sul metabolismo idrico di quei territori per stimare le possibilità di resilienza, stimare quindi quali possibili sviluppi ci si deve aspettare in territori sottoposti a determinati stress idrici.

## 7. Conclusioni

L'approccio all'ecosistema urbano ci conduce verso un'analisi più mirata dell'impronta idrica di un territorio. La necessità di dare una sequenza logica al flusso di risorse che attraversa il metabolismo urbano, spinge il valutatore a stimare processi che ad un primo esame possono sembrare poco evidenti. Ad esempio i consumi idrici di un settore industriale possono essere considerati impronte poco significative dal punto di vista dei volumi prelevati, ma diventano molto più significative in termini di output, e quindi di produzione di acque grigie, di inquinanti e di relativi trattamenti interessati a quel territorio.

Nel capitolo che segue verificheremo la possibilità di sviluppare un framework sull'impronta idrica urbana che indirizza il ricercatore verso l'individuazione dei principali processi da indagare allo scopo di effettuare un assessment dinamico dei processi già avviati nel territorio a partire dalle pressioni antropiche sui flussi idrici.

## Reference

### Paragrafo 2

Wolman, A., 1965. The metabolism of cities, Scientific American, 1965, Vol. 213

Kennedy, C., et al., The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design, Environmental Pollution (2010)

Duvigneaud, P., Denayeyer-De Smet, S., 1977. L'Ecosystème Urbain Bruxellois, in L'Ecosystème Urbain Bruxellois, in Productivité en Belgique. In: Duvigneaud, P., Kestemont, P. (Eds.), Travaux de la Section Belge du Programme Biologique International, Bruxelles

S. Barle, Urban Metabolism of Paris and Its Region, Journal of Industrial Ecology · November 2009

Peter W.G. Newman, Sustainability and cities: extending the metabolism model, Landscape and Urban Planning 44 (1999)

### **Paragrafo 3- 4**

P. Baccini ,P H. Brunner , Metabolism of the Anthroposphere. Analysis, Evaluation, Design. Seconda ed. 2012

Benedikt, M. (ed.) (1991) Cyberspace: first steps. The MIT Press, Cambridge, MA.

Schulz, K. Bruns, A. (2016): Toward a Political Ecology of Biosocial Relations. Rethinking the Urban Metabolism Beyond the City. WaterPower Working Paper, No. 11. Governance and Sustainability Lab. Trier University. Trier.

Ying Li, R.J.S. Beeton, Anthony Halog, Thomas Sigler, Evaluating urban sustainability potential based on material flow analysis of inputs and outputs: A case study in Jinchang City, China, Resources, Conservation and Recycling 110 (2016)

Goldstein M. Birkved, Maj-Britt Quitzau, M. Hauschild, Quantification of urban metabolism through coupling with the life cycle assessment framework: concept development and case study, Environ. Res. Lett. 8 (2013) 035024 (14pp)

Ildefonso Cerdà, Teoria generale dell'urbanizzazione Ed. Jaca Book, 1995.

M. Gandy, M. Rethinking urban metabolism: Water, space and the modern City, ISSN 1360-4813 © 2004 Taylor & Francis Ltd

Bruno Latour, Reassembling the sociale. An introduction to Actor-Network-Theory, Oxford University Press, New York, 2005

T. Balzacq, M.Dunn Cavelty, A theory of actor-network for cyber-security, European Journal of International Security, page 1 of 23. doi:10.1017/eis.2016.8 2016

### **Paragrafo 5 6**

C. Kennedy, J. Cuddihy, J.Engel-Yan, The Changing Metabolism of Cities, 2007 by the Massachusetts Institute of Technology and Yale University.

Spiller (2015) Le Nouveau Métabolisme Urbain. Le1 hebdo. No.54. <http://le1hebdo.fr/numero/54/le-nouveau-metabolisme-urbain-909.html>

Lotfi, A. and Daneshpour, S.A. (2016) Analysis and Evaluation of the Ecological Restoration of the City with an Emphasis on Urban Metabolism. Open Journal of Ecology, 6, 377-386.

Firmansyah, I., et al., Assessment of nitrogen and phosphorus flows in agricultural and urban systems in a small island under limited data availability, Sci Total Environ (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.159>

Y. Kalmykova, L. Rosado, Urban Metabolism as Framework for Circular Economy Design for Cities, Conference Paper · October 2015: <https://www.researchgate.net/publication/299563263>

D. Padovan, Growing or steady cities? Accounting the urban metabolism of Italian cities, Conference Paper · January 2016: <https://www.researchgate.net/publication/308033036>

G. Gisotti, Ambiente urbano, Introduzione all'Ecologia Urbana, 2006

Douglas, I, Peri-urban ecosystems and societies: Transitional zones and contrasting values, In: McGregor, D., Simon, D. and Thompson, D, editor(s). The Peri-Urban Interface. London: Earthscan; 2006. p. 18-29

## Capitolo 5: Un framework per il calcolo dell'impronta idrica urbana

### 1. Introduzione

In questo capitolo si vuole analizzare l'impronta idrica del Comune di Sant'Antonio Abate nella Provincia di Napoli, utilizzando una metodologia Water Footprint che abbia come obiettivo quello di evidenziare le relazioni tra processi antropici e processi ecosistemici legati all'acqua. Sono stati utilizzati dati sul servizio idrico integrato concessi dall'ente gestore Gori spa che opera sull'area in oggetto. L'obiettivo è quello di fornire contributi per porre le basi di nuove indagini sull'aspetto tecnologico, sociale ed ecosistemico della gestione dell'acqua.

### 2. Assessment dinamico dell'impronta Idrica di S. Antonio Abate

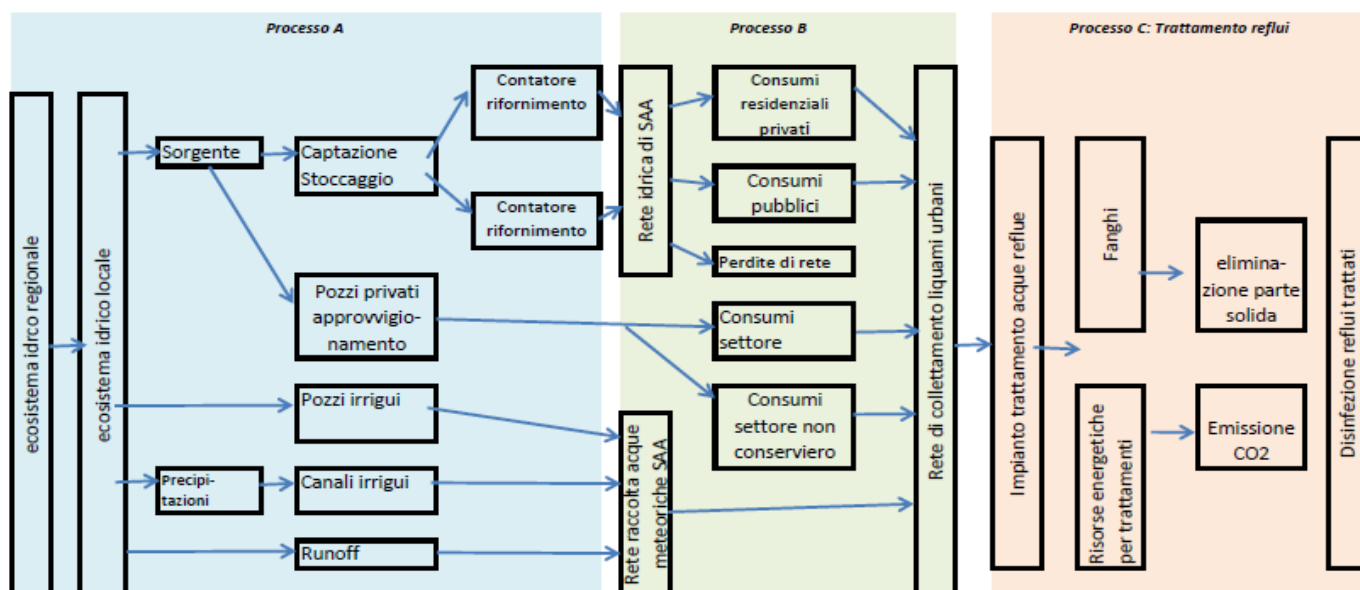
**L'assessment dinamico AD**, nasce nell'ambito delle scienze Psicometriche. La teoria *dell'imparare ad apprendere* del cognitivista R. Feuerstein (2002) si basa sul presupposto che per una valutazione completa delle capacità cognitive dei soggetti occorra riferirsi sia a misure statiche (assessment statico) sia a misure dinamiche (assessment dinamico). Le misure statiche riguardano le conoscenze e le capacità del soggetto in un dato momento; le misure dinamiche riguardano l'abilità del soggetto di usufruire dei suggerimenti e degli aiuti dati da istruzioni esterne e la sua relativa modificabilità.

L'assessment dinamico vuole quindi cogliere il *funzionamento* di un processo nel quale, il *"come"* un soggetto risponde ad una serie di stimoli standardizzati è più rilevante del *quanto* è efficiente la sua prestazione rispetto ad uno standard. Applicato in ambito ecologico questo schema ci suggerisce che lo stato ecosistemico non è dato da *quanto* un habitat rientra nei limiti delle capacità massime accettabili, ma *come* varia la sua prestazione rispetto allo standard. Non basta sapere in che modo un corpo idrico supera i livelli massimi accettabili di inquinanti, ma in che misura tali livelli osservati, determinano specifici comportamenti nell'ecosistema idrogeologico.

La ricerca oggi spesso si ferma ad una valutazione statica della pressione antropica sui sistemi naturali, stabilendo che dal superamento dei limiti previsti dalle procedure del *"comando-controllo"*, l'ecosistema è dannoso per la salute umana e le altre specie. Raramente la ricerca supera il limite dello standard, indagando sui meccanismi dinamici che si attivano in un sistema fuori controllo.

Nello schema 1 sono stati riportati i flussi metabolici del flusso idrico che attraversa il comune di S. Antonio Abate (NA). L'obiettivo di questa AD è quello di identificare *quanto* i processi idrici osservati rispettano ai livelli attesi in termini di qualità e quantità dell'acqua; e valutare poi *come* varia il ciclo antropico dell'acqua in ambiente urbano rispetto all'ambiente naturale.





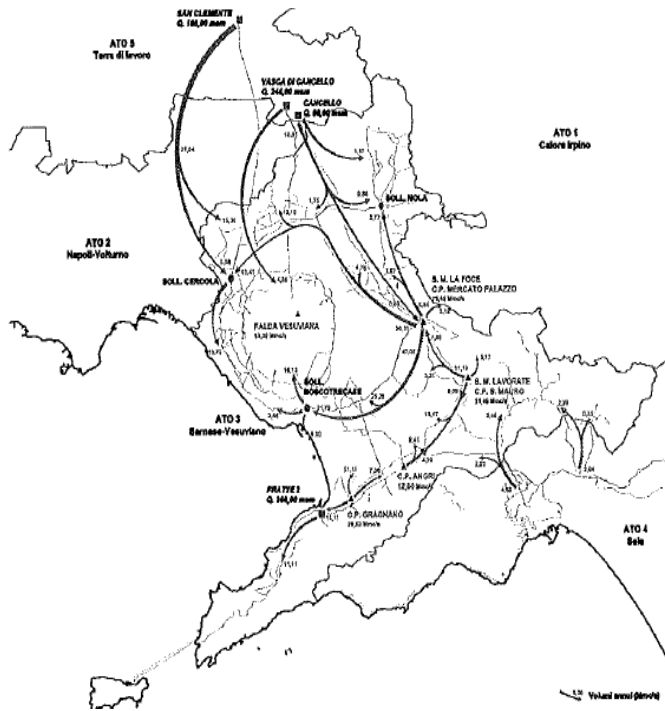
Il sistema idrico urbano è stato scomposto in N.3 processi:

- Disponibilità idrica per i Processi di Captazione e Adduzione
- Rete di distribuzione idrica urbana per Processi di Water Footprint
- Rete di collettamento e trattamento per Processi di Collettamento e Trattamento

Come vedremo per ciascun Processo sono stati identificati degli indicatori utili all'analisi dinamica. Il framework utilizzato per lo sviluppo degli indicatori è quello della pressione antropica sui sistemi idrici elaborato dal Water Footprint Network per il quale i Processi di tipo A riguardano il Blu Water e il Green Water, quelli di tipo B riguardano il Blu Water, quelli di tipo C riguardano il Grey Water.

### 3. Processo A: Captazione e Adduzione

Il comune oggetto di studio insiste nell'ATO 3 dell'area metropolitana di Napoli, un territorio di 897 Km<sup>2</sup>, e interessa 76 comuni di cui 59 della Provincia di Napoli e 17 della Provincia di Salerno con una popolazione residente di circa 1.5 milioni per un totale di n. 540.647 utenze approvvigionate a mezzo di una rete idrica di 4.106 km.



L'ATO 3 è distinto in tre aree: Sistema Monti Lattari, Sistema Ausino, Sistema Vesuviano nel quale insiste il comune di S. Antonio Abate. La rete di adduzione del Sistema Vesuviano è la più complessa a livello regionale, si alimenta dell'Acquedotto del Sarno e dell'Acquedotto Campano, connessi a loro volta con l'Acquedotto Campania Occidentale e Serino come riportato in fig. 1. La captazione dell'acqua viene effettuata prevalentemente a mezzo di n. 122 pozzi e allocata in n. 233 serbatoi gestiti in parte dalla Regione e in parte dall'ente gestore. In particolare la grande rete di adduzione è gestita dalla Regione Campania e comprende n. 55 pozzi, 50 serbatoi, n. 2 sorgenti per la captazione e 447 km di rete di adduzione. L'ente gestore gestisce la rete di adduzione locale che comprende 4.106 km di rete, n. 67 pozzi, 9 sorgenti, 113 impianti di sollevamento, 183 serbatoi.

Fig. 1 Schema di adduzione d'ambito, Fonte "ATO 3, Sarnese Vesuviano della Regione Campania, Proposta Programma degli interventi, Gori 24/03/14

Il comune di S. Antonio Abate insiste nel *Sistema dei Monti Lattari* che a partire dalla Stazione di Campo Pozzo Gragnano posta a 80 msm, serve: la Penisola Sorrentina con l'isola di Capri, la Piana Sarnese (destra Sarno) e il versante settentrionale dei Monti Lattari. In particolare il Serbatoio della *Centrale di Sollevamento Gragnano* serve: la linea Fratte 1 del Serbatoio di Castellammare di Stabia; La linea Fratte 2 Penisola Sorrentina Capri; la terza linea a gravità serve S. Antonio Abate; e la quarta linea serve S. Maria La Carità.

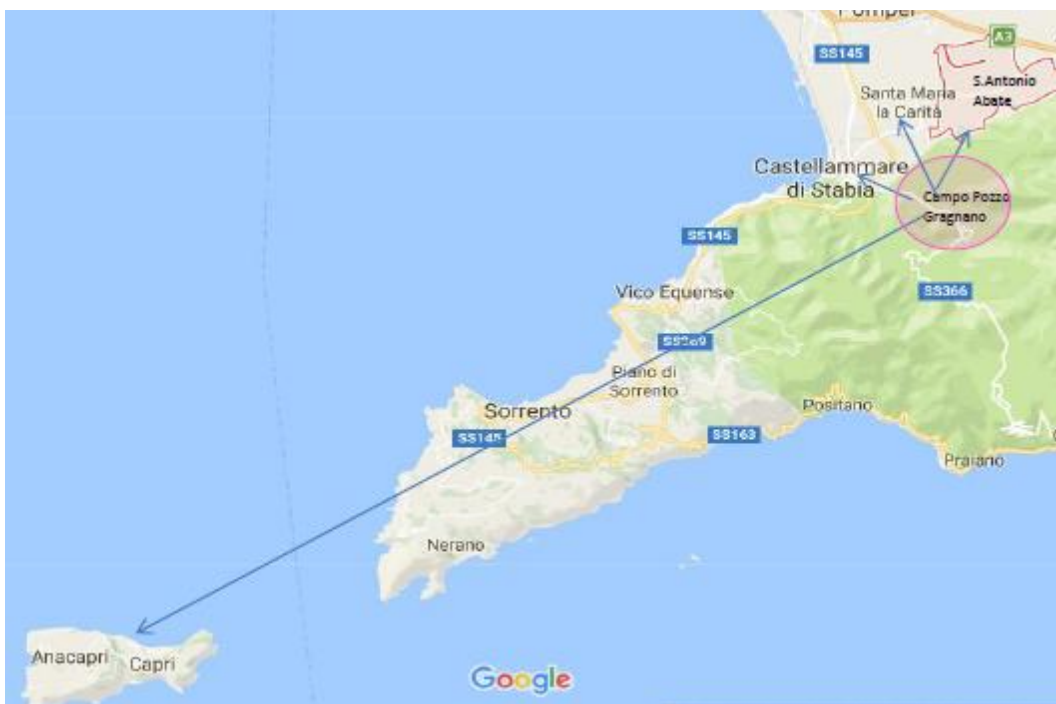


Fig. 2, Sistema di adduzione del Sistema Monti Lattari

I volumi idropotabili del Comune in esame sono quindi alimentati da pozzi di riserve sotterranee situate sui monti Lattari, che vengono poi dirottate fino all'isola di Capri coprendo in linea d'aria una distanza di circa 30 km. Non si dispone in questo studio di dati dettagliati relativi ai volumi pompate dalla *Centrale di Sollevamento Gragnano*, dati raccolti dalla Regione Campania, ma complessivamente i volumi immessi in rete dalla ATO 3 corrispondono a 217.800.401 m<sup>3</sup> di cui, quelli che vengono fatturati all'utenza rappresentano solo il 41,84 % con una evidente perdita di risorse.

Si può osservare inoltre la criticità di un'opera idraulica di queste caratteristiche nata in risposta all'esigenza di soddisfare la richiesta delle località turistiche più prestigiose della provincia di Napoli. Queste infatti in bassa stagione hanno una popolazione residente di circa 97.500 abitanti, ma che è soggetta a flussi turistici che portano ad un cospicuo aumento della stessa, che solo nell'isola di Capri arriva a 519.184 unità (dati 2015). Si registra così un frequente tasso di interruzioni della fornitura in comuni di Vico Equenze, carenze idriche o fenomeni di bassa pressione sono frequenti nella stessa Capri, ma anche nel comune di S. Antonio Abate che pure dispone di una rete idrica al 50% realizzata dopo il 1980, e quindi relativamente più nuova rispetto alle reti del comprensorio.

Nell'analisi AD sulla Disponibilità idrica per i Processi di Captazione e Adduzione possiamo quindi osservare che potrebbe essere utile per l'area in oggetto:

- fare una valutazione dei fenomeni di ricarica dei serbatoi sotterranei per valutare in che misura le precipitazioni svolgono un ruolo di ri-provvigionamento del sistema di captazione descritto, valutare quindi "come" gli ecosistemi interessati a questo stress idrico, possono rispondere nel tempo;
- simulare l'uso del suolo nei prossimi decenni, al 2050, per valutare che ruolo potrà svolgere in futuro la tendenza al *territorio costruito* rispetto al *territorio naturale*, e come questo potrà influire sull'approvvigionamento idrico nello sviluppo delle reti e delle infrastrutture necessarie alla erogazione del servizio.

#### 4. Processo B: Consumi Idrici nell'area urbana

Il comune di Sant Antonio Abate ha una superficie di 7.93 km<sup>2</sup> di cui almeno un 30% è stato destinato ad ambiente costruito, mentre sono presenti nell'area confinante con il comune di Sarno diversi appezzamenti dedicati a colture ortofrutticole. Il Comune ha una popolazione di 19.746 abitanti, con una densità di 2.490,04 ab./km<sup>2</sup>. In considerazione del fatto che la rete idrica serve il 97% degli abitanti, si stima che circa 600 abitanti non siano forniti dal servizio idrico.

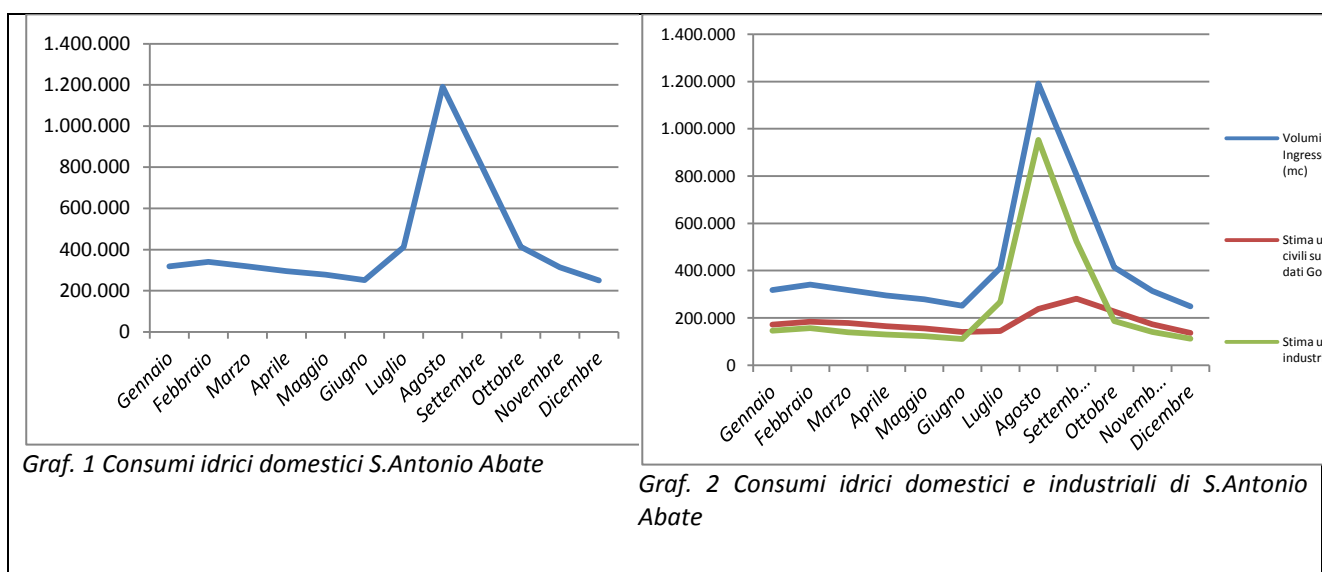
I **consumi domestici di Blu water** di S. Antonio Abate sono stimati su base dati dell'ente gestore Gori spa e confrontati con i dati Istat per i valori nazionali. Nel sistema d'ambito ATO3, il volume immesso nella rete idrica del sistema costituisce l'11,01 % del totale regionale immesso (su dati 2012), mentre il volume erogato nel comune di S. Antonio Abate è pari al 1.12 % del totale immesso nell'ATO 3 (su dati 2015).

Dati Rete idropotabile	In mc
<b>volume immesso in rete S. Antonio Abate</b>	3.380.391
<i>fatturato</i>	1.020.604
<i>non misurato/fatturato</i>	0
<i>misurato/non fatturato</i>	0
<i>non misurato/non fatturato</i>	5.103
<i>non autorizzato</i>	2.041

<i>errori misura utenza</i>	102.060
<i>perdite</i>	2.250.583
<i>Percentuale perdite su volumi immessi</i>	66,58 %
<b>Volume immesso in rete ATO 3</b>	217.800.405
<i>fatturato</i>	91.141.175
<i>Percentuale perdite su volumi immessi</i>	41.84%

Tab. 1, Volumi idropotabili immessi in rete

Si osserva come nell'area in esame il volume di perdite sia particolarmente elevato nonostante la rete la costruzione relativamente recente della rete di distribuzione. Il dato sulle perdite potrebbe quindi essere meglio giustificato con prelievi non autorizzati, soprattutto se si confronta con il totale dei volumi trattati che, come vedremo nel paragrafo successivo, ammontano a 5.188.851 mc / anno. I consumi industriali di **Blu water** (ricavati dalla rete di collettamento) sono pari a 1.660.949 mc. Questi consumi hanno una variabilità stagionale significativa come riportato nel Graf. 1 e 2.



I consumi industriali aumentano nel periodo estivo, in corrispondenza ai consumi del settore conserviero, una filiera tipica della zona che effettua parte della produzione annuale proprio nella stagione estiva. Questo aspetto evidenzia il peso di variabili sociali sul sistema metabolico urbano.

Il Water footprint come abbiamo visto in precedenza, offre una metodologia per analizzare gli usi antropici dell'acqua definiti in base al contesto in cui questa viene consumata. In questa sede abbiamo calcolato solo il blu water relativo ai consumi funzionali degli usi domestici e industriali, non abbiamo calcolato i volumi di acqua derivanti dal consumo di beni primari e secondari, e non abbiamo calcolato il consumo di green water derivante dalle colture locali. E' da considerare che la Superficie Agricola Utilizzata – SAU a livello regionale si è ridotta del 6,3%, e che dal 2000 al 2010 si registra una contrazione del numero di aziende agricole e della relativa SAU rispettivamente: a Napoli - 65,9% e - 33,9% ; Avellino -43,9% e -10,9%, Salerno -37% e -3,5%, Caserta -36,8% e + 0,5% e infine Benevento -22,8% -3.1% . Il territorio del Comune analizzato si presenta dunque, con una prevalenza di suolo costruito. Ciononostante, si può dire che entrambi gli aspetti, il consumo di acqua contenuto nei prodotti primari e secondari, e il consumo di acqua a scopi irrigui, in un contesto urbano e peri-urbano, richiedono riflessioni ulteriori su:

- le modalità con cui il calcolo dell'acqua consumata insieme ai prodotti primari e secondari può influire su decisioni che riguardano la politica delle risorse idriche a livello locale e regionale;
- le modalità con cui il calcolo dell'utilizzo delle precipitazioni a scopo colturali o zootecnici, non debba essere integrato da considerazioni su eventuali riutilizzi di acque trattate nei settori sopradetti (pratiche che inaspettatamente possono essere già presenti sui territori).

Ci siamo limitati quindi a fornire un quadro dell'uso dell'acqua da parte dei principali utenti dell'area urbana per identificare eventuali criticità già esistenti o rilevabili nel tempo, tenendo conto del fatto che secondo i dati ISTAT, i consumi idrici regionali hanno subito un aumento di + 11.8 %, nel periodo 1999/2012, un incremento che escludendo le attività agricole, potrebbe essere imputato soprattutto ai consumi urbani e industriali e dei servizi.

## 5. Processo C: Processi di Collettamento Trattamento

Le infrastrutture di collettamento fognario dell'ATO 3 sono divise in 9 Comprensori Depurativi: Area Napoli Est, Acerra, Area Nolana, Alto Sarno, Medio Sarno 1, Medio Sarno 1-2, Medio Sarno 4, Foce Sarno, Penisola Sorrentina Capri.

La rete di collettamento dell'ATO si presenta con una certa complessità: il territorio è diviso in 9 comprensori depurativi: Comprensorio Napoli Est, Comprensorio Acerra, Comprensorio Area Nolana, Comprensorio Alto Sarno, Comprensorio Medio Sarno (suddiviso in 3 sub-comprensori) Comprensorio Foce Sarno, Comprensorio Penisola Sorrentina Capri.

Il **comprensorio Medio Sarno** raggruppa il maggior numero di comuni all'interno del bacino del fiume Sarno, in particolare sono 21 comuni che appartengono all'ATO 3, e il comune di Cava dei Tirreni che appartiene all'ATO4. I 3 impianti di depurazione comprensoriale sono: : Comprensorio Medio Sarno 1, Comprensorio Medio Sarno 2-3 , Comprensorio Medio Sarno 4.

I collettori fognari del Comprensorio Medio Sarno 1, sono schematizzati in tre assi principali ed afferiscono dai Comuni di: Angri, Pompei ; S .Antonio Abate e Scafati. La rete fognaria è di modesta estensione (rispetto a quella idrica) 2.120 km con 150 sollevamenti fognari e 12 impianti di depurazione gestiti dell'ente gestore. Mentre a gestione regionale sono: 157,85 km di rete fognaria, 11 sollevamenti fognari e n. 5 impianti di depurazione.

La rete fognaria recapita i reflui all'Impianto di trattamento di Scafati che, al momento, riceve solo i reflui di S. Antonio Abate in quanto le linee di Angri, Scafati e Pompei sono in fase di completamento. Inoltre, il comune di S. Antonio Abate rientra nell'elenco dei comuni la cui rete fognaria dovrà essere completata, secondo l'ente gestore, entro il 2017.

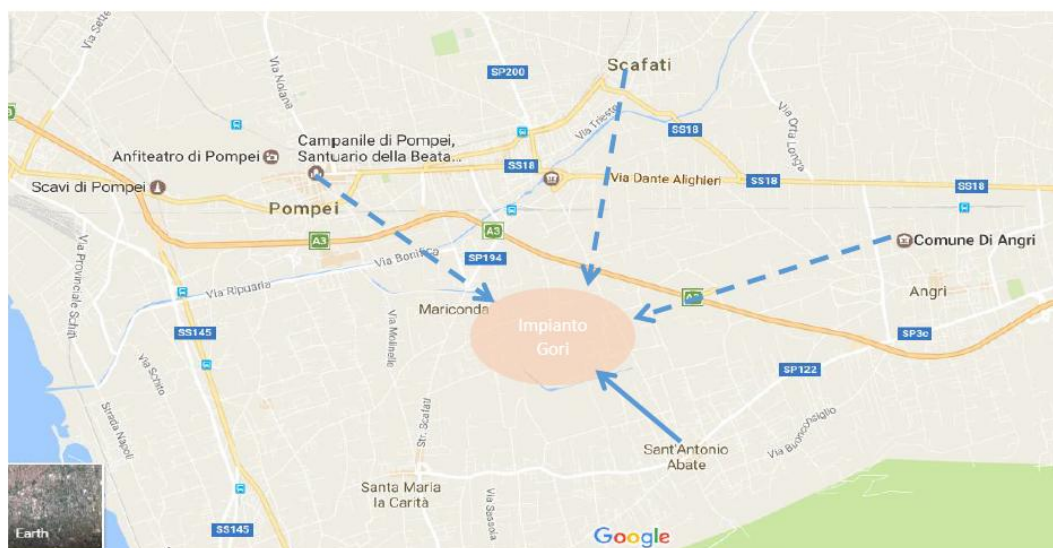


Fig.3 Comprensorio di depurazione Medio Sarno 1

Attualmente quindi tre, dei flussi di reflui urbani del comprensorio, sono smaltiti senza alcun trattamento direttamente nei canali disponibili per raggiungere il mare. Ma è interessante notare che dei 76 comuni

dell'ATO 3 n. 18 comuni hanno una rete fognaria che copre poco meno del 70% dell'abitato, e che i reflui di 16 comuni non ricevono alcun tipo di trattamento Tab.1.

Comuni coperti dal trattamento reflui	Totale Volumi trattati
16	0%
14	20-50%
36	> 50%

Tab. 1, Copertura impianti di trattamento ATO3

Inoltre sono consistenti il numero di fuoruscite di liquami e allagamenti, in particolare nei Comuni di Angri con 149 episodi e Castellamare con 421, per un totale di n. 12 Comuni con più di n.50 episodi di questo tipo nell'anno 2014.

Per quanto riguarda il trattamento reflui nell'area del comprensorio Medio Sarno 1, stimata in circa 22 Km2 e in cui insiste una popolazione di 129.812 abitanti, ad oggi solo il 15.2% di questa usufruisce del servizio del trattamento reflui. Risulta evidente la distanza dagli obiettivi di sostenibilità ambientale spesso ribaditi su carta. Un delta che, come è stato anticipato nel capitolo precedente, difficilmente i decisori pubblici potranno fronteggiare a partire dal problema delle disponibilità finanziarie. Alla sopracitata mancanza di infrastrutture si aggiunge la vetustà delle reti e degli impianti che in buona misura supera i 45 anni di vita. Ciò è dovuto al fatto che la crescente urbanizzazione non è stata accompagnata dall'adeguamento delle reti che risultano oggi insufficienti per la pressione antropica che si è venuta a determinare. Inoltre gli eventi estremi degli ultimi anni concorrono ad aggravare la situazione contribuendo all'alto tasso di fuoruscite e allagamenti già descritto.

Scarichi civili	Acque Pioggia	Scarichi industriali	Totale
mc	mc	mc	mc
2.994.852	533.050	1.660.949	5.188.851

Tab.2, Volumi reflui trattati nell'impianto di Scafati, anno 2015

Nell'impianto di trattamento di Scafati il flusso meteorico trattato contribuisce solo al 10% del totale dei reflui. E' da notare inoltre che il volume dei reflui trattati è di 5 volte maggiore del volume dei consumi idrici fatturati, a conferma della inapplicabilità del principio "inquinatore-pagatore" nella misura in cui questo sistema computazionale rappresenta solo parte di ciò che veramente accade nella gestione quotidiana delle risorse idriche.

## 6. Elaborazione dati dell'Impronta idrica di S. Antonio Abate

In questa sede l'impronta Water green non è stata presa in considerazione, ma in un eventuale approfondimento si potrebbe effettuare il calcolo tenendo conto:

- aree di uso del suolo agricolo e tipo di coltivazioni in base alla mappe di uso del suolo e con elaborazioni geospaziali
- produzione primaria e secondaria delle aziende locali in base a dati nazionali disponibili (ISTAT/CCIAA)

L'analisi dell'impronta attraverso le colture in realtà è uno degli indicatori più consolidati di tutto l'approccio Footprint per cui si è ritenuto di poter rinviare ad altra sede questa analisi per spostare l'approfondimento sugli indicatori di Blu Water e Green Water.

In base ai dati raccolti abbiamo potuto elaborare una parte dell'impronta WF Blu, in particolare:

**Processo di adduzione:** in questo indicatore si vuole valorizzare l'Impronta idrica della rete di adduzione verso l'obiettivo (Comune SSA) e quindi del trasferimento dell'acqua, delle perdite idriche di questa rete, dei volumi sottratti alle risorse sotterranee. Le perdite rappresentano circa il 42% del flusso immesso e vengono calcolate come consumo totale in quanto non è possibile stimarne l'effettivo flusso, di cui: filtrazione nel sottosuolo, evaporazione, consumo non autorizzato.

Processo A – Indicatore Captazione/Adduzione $BW_{cpt}$	$BW_{capt} = (BW_{Loss} / BW_{imm}) * T =$ $(133/318)*4 = 1.67$	$BW_{imm} =$ Volumi immessi in rete, P $BW_{Loss} =$ Volumi perdite calcolate in ml di m3, T = Valore del trasferimento dell'acqua calcolato in Km.  Più l'indicatore tende a zero più l'impronta adduzione BW diminuisce
---	--	--

Con questo calcolo si vuole evidenziare che pur con una riduzione delle perdite, con l'aumentare del valore di trasferimento dell'acqua T, aumenta l'impronta idrica urbana calcolata.

**Processo distribuzione:** l'indicatore calcolato vuole misurare l'impronta della rete di distribuzione idropotabile nell'area SSA. I valori di entrata e di uscita della rete sono diversi e variano in funzione di: Consumi di acqua non fatturata; Perdite della rete. Queste ultime rivestono un valore significativo nell'aumentare il valore dell'impronta e vengono calcolate come rapporto tra volumi immessi e perdite e sono state calcolate come fattore di perdita  $F_{loss} = (\text{volumi immessi} / \text{volumi persi})$ .

Processo B – Indicatore Distribuzione $BW_{distr}$	$BW_{distr} = BW_{out} / BW_{in} + 1 / F_{loss}$ $= (3,380/4,645) + 0.66 = 2.04$	$BW_{out} =$ Volumi in uscita, $BW_{in} =$ volume in entrata  Più l'indicatore tende a zero (con una diminuzione del flusso di uscita e del fattore di perdite) più l'impronta distribuzione $BW_{distr}$ diminuisce
---	---	--

Con questo indicatore si vuole evidenziare che i volumi in uscita in eccesso rispetto a quelli caricati in rete oltre ai fattori di perdita di flusso così come calcolati, appesantiscono il bilancio dei consumi idropotabili.

**Processo trattamento:** Le acque grigie non sono state calcolate con il criterio di diluizione perchè nel territorio urbano le acque sporche vengono convogliate agli impianti di trattamento e non devono essere restituite ai sistemi naturali con alti livelli di inquinanti. Abbiamo calcolato l'impronta tenendo conto delle misurazioni BOD e azoto ammoniacale con valor di ingresso e di uscita rispetto ai massimi accettabili ([Lamboglia D. 2015](#))

	<i>in</i>	<i>max</i>	<i>out</i>
BOD	89,6	≤40 mg/l	9,8
NH4	17,1	≤15 mg/l	0,61

Processo A – Indicatore Trattamento GW	$GW_{tratt} = (BOD_{out} + NH4_{out}) / (BOD_{acc} + NH4_{acc}) = 0,189273$	Dove $BOD_{acc}$ e $NH4_{acc}$ sono i valori di accettabilità relativi dei 2 elementi considerati  Più l'indicatore tende a zero più l'impronta trattamento WB diminuisce
---	---	---

In questa sede si è cercato di proporre dei valori che siano tra loro confrontabili ed anche utilizzabili per un monitoraggio dell'importa idrica in un'area urbana in particolare per quanto riguarda i valori dei volumi consumi.

Diversamente da quanto impostato nel WF, per i valori della qualità dell'acqua consumata, grey water, quello che si è calcolato è il livello di accettabilità dello stato di alterazione dei valori iniziali del flusso idrico, piuttosto che i volumi d'acqua necessari a diluire gli inquinanti contenuti nel flusso idrico urbano. Diversi approfondimenti sono stati dedicati al Grey Water negli ultimi 5 anni dal team del WF, in quanto evidentemente il concetto di partenza di diluizione rispetta l'approccio complessivo dell'impronta ecologica che vuole dare conto della Pressione antropica sui sistemi naturali e quindi dell'appropriazione di risorse a discapito degli ecosistemi. Ma nel territorio urbano, l'ecosistema ibrido di cui si è trattato, il processo del GW viene condizionato, in maniera positiva, dalle tecnologie di trattamento di cui dispongono buona parte dei territori urbani, consentendo quindi un'evidente riduzione dell'impronta grigia. Dove questo non accade, i valori che sono stati presi in esame sono quelli di partenza ( $BOD_{in} = BOD_{out}$ ) e il WF ha dei valori molto elevati.

Quello che si riesce normalmente a fare nella proposta di nuovi indicatori è segnalarne l'utilità dal punto di vista sia della possibilità di condivisione che degli oggetti da misurare confrontare in termini di reperibilità dei dati e valori finali. Inoltre il valore degli indicatori è quello di poter confrontare tra loro aree diverse, diverse impronte, diversi sistemi idropotabili per valutare quelli più performanti.

Mentre quello che non è facile definire è il valore soglia di un Indicatore, il valore oltre il quale si può segnalare un pericolo per l'ecosistema urbano. Per i 3 Indicatori proposti possiamo dire che più il loro valore si allontana dallo zero, più l'Impronta può compromettere gli equilibri ecosistemici. Ma è necessario identificare anche le criticità che possono scatenarsi a partire da valori troppo distanti dai valori attesi.

Nella tab. 4 si propone un set di Approfondimenti che potrebbero scaturire dall'analisi dell'Impronta idrica effettuata.



Indicatore	Approfondimento	Criticità	Fonte Dati
I-ADZ	Principali sistemi di ricarica delle fonti di emungimento. Monitoraggio delle portate	Rilevazione di trend verso fenomeni di scarsità e/o compromissione dei fattori di ricarica	Le amministrazioni dovrebbero farsi carico dei costi di rilevazione di dati su risorse sotteranee
	Influenza del microclima locale sul sistema di ricarica delle fonti di emungimento	Utilizzo di modellistica per fittare scenari di cambiamento climatico	Rilevazioni delle precipitazioni e di dati meteorologici in genere da stazioni ARPA
		Analisi territoriali di grossa scala che diano evidenza delle dinamiche antropiche dell'uso del suolo	Strumenti GIS e dati meteosat
I-CIP	Analisi del destino delle perdite della rete idrica con quantificazione di potenziali flussi filtrati nel sottosuolo e di flussi di ruscellamento	Quantificazione di fattori di ricarica delle "falde urbane" e dei flussi di "ruscellamento" urbano dovuto a perdite	Rilevatori di perdite gravi ed esami in situ
	Analisi dei flussi meteorici settimanali e delle alluvioni urbane	Quantificazioni certe delle acque di prima pioggia finalizzate ad opportune ricerche per il trattamento in situ	Studio morfologico dei territori urbani e modelli di deflusso meteorico
	Analisi dell'uso di suolo a scopi industriali con lo sviluppo di nuove fonti di captazione	Quantificazione delle autorizzazioni al prelievo, confronto con le filiere che insistono sui territori	Dati economici disponibili
I-TRM	Identificazione degli inquinanti emergenti a partire dai deflussi urbani	Nuovi processi di trattamento reflui	Analisi di campionature

Tab. 4 Approfondimenti sugli Indicatori WF proposti

Inoltre ulteriori indicatori potrebbero essere identificati per meglio fotografare l'organizzazione della rete ANT sul funzionamento degli ecosistemi idrici, sul modo in cui i diversi sistemi umani interferiscono con le grandi opere di ingegneria a costituire ulteriori modifiche o impatti sull'ecosistema modificato.

Ancora nella proposta di questi indicatori di WF non sono stati sviluppati obiettivi di sostenibilità urbana. Misurare solo i volumi di acqua che entrano ed escono in un processo per la produzione di un prodotto o in questo caso di un servizio, potrebbe non dare evidenza della complessità ecosistemica su cui ci siamo a lungo intrattenuti. A questo scopo infatti è necessario considerare il ciclo dell'acqua nella sua circolarità e valutare in che modo gli ecosistemi urbani possono farsi promotori di comportamenti virtuosi per la sostenibilità ambientale.

Questa può essere ottenuto solo se si avviano attività di **reuse e di riciclo** dell'acqua all'interno del sistema urbano in cui avvengono i consumi tenendo conto del fatto di ciò Hoekstra 2011, definisce come: *'riciclo delle acque'* specificamente il riutilizzo in loco di acqua per lo stesso scopo, e del *'riuso delle acque'* come il riutilizzo delle acque altrove, e anche per un altro scopo.

Rispetto a questi obiettivi di sostenibilità si può osservare che ai fini del riciclo di BW può essere interessante cominciare ad interrogarsi sul "destino" delle perdite dei sistemi acquedottistici per capire se i flussi persi restano nell'area del acino in cui sono stati prelevati o se invece defluiscono per ruscellamento verso i canali idrici aperti del territorio urbano.

Spesso le perdite creano allagamenti di coperture impermeabilizzate e raccolgono anche molti inquinanti ivi depositati, prima di raggiungere poi i corpi idrici disponibili. Questo processo rende sicuramente più insidiosa la perdita idrica dal punto di vista della sostenibilità ambientale. Senza considerare che comunque in ogni caso dietro le perdite delle reti idriche vi un'impronta molto forte anche in termini di CO2, a causa dell'energia necessaria al sollevamento e al pompaggio dell'acqua che poi invece finisce fuori rete.

Mentre per quanto riguarda il *reuse* delle perdite per usi diversi da quelli di partenza, si apre il grosso dibattito sulla circolarità delle risorse e ci si scontra con la necessità di valutare la fattibilità di opere di reuse. Potrebbe essere interessante calcolare il costo dell'efficientamento della rete rispetto a quello di riutilizzare le perdite per altri scopi, per alimentare altri usi che non richiedano alti livelli di qualità dell'acqua.

La ciclicità del ciclo antropico dell'acqua è tutta ancora da narrare da punto di vista della fattibilità sia tecnologica che finanziaria. Intanto cominciare a sviluppare dei modelli per calcolare questi scenari potrebbe essere utile a cominciare a lavorare e progettare l'Ecologia urbana verso obiettivi di sostenibilità. I territori urbani sono infatti dei laboratori aperti in cui è possibile dare risposte a diversi interrogativi.

Tra questi anche il ruolo delle utility che intanto cercano di dotarsi di indicatori di efficacia/efficienza con cui interpretare i dati sui consumi idrici. E' importante cominciare a considerare il management dei privati come risorse che possono adottare i criteri di convenienza economica nella società di gestione per il bene comune, perché le sfide finanziarie a cui saranno sottoposte le grandi opere della città metabolica richiederanno la partecipazione di molti soggetti interessati .

Non volendo qui soffermarsi sulle numerose suggestioni che possono scaturire dalla volontà di misurare la pressione antropica sui sistemi idrici in un approccio dinamico che voglia anche identificare dei trend nella disponibilità / sostenibilità dell'acqua nei prossimi decenni, ci si è limitati in questa sede a identificare un set di indicatori che possono misurare quello che sappiamo oggi della pressione umana su sistemi idrici. Mentre si potrebbe cominciare a indagare su nuovi meccanismi sostenibili dell'uso dell'acqua, quali: il *reuse* domestico, la copertura del suolo, il riciclo industriale.

## 7. Conclusioni

I sistemi di depurazione possono rappresentare gli hot spot del urban water footprint perché fotografano i consumi idrici, e quindi il depauperamento dei serbatoi di acqua disponibili, ma anche l'impronta grigia e quindi la perdita di qualità dei corpi idrici. Forniscono un data base costante, giornaliero sugli indicatori succitati di scarsità e inquinamento idrico territoriale. Danno quindi informazioni sui trend e sui problemi che dovranno o potranno essere affrontati nel breve medio periodo dal management idrico.

Nell'indagine svolta si è potuto constatare la difficoltà di aggiornare i sistemi tecnologici delle reti urbane, agli effetti del cosiddetto sprawl urbano. Ne consegue che non è sbagliato, come suggerisce Hoekstra 2015, pensare che il water management a breve dovrà fare i conti con una complessità di attori che hanno interessi diversi sull'acqua. La governance idrica non potrà essere più giocata soltanto su un diritto costituzionale di accesso al bene comune, ma dovrà confrontarsi con i criteri di efficienza e di efficacia di un management specializzato, che sappia coniugare il bene comune con gli obiettivi di impresa.

### Reference

*Feuerstein R, Feuerstein S, Falik L., Ran Y., Dynamic assessments of cognitive modifiability. ICELP Press, Jerusalem: Israel, 2002*

## Considerazioni finali

In questo studio si voluto in primo luogo identificare i “grandi temi” legati alla gestione dell’acqua, consapevoli del valore ecosistemico della risorsa e del valore strategico dell’acqua per quanto attiene gli equilibri economici globali.

Il Water Footprint è sicuramente uno dei temi più analizzati dalla letteratura scientifica sull’acqua che nella nostra indagine si è fermata al 2013, ma che proprio in questi ultimi 5 anni ha avuto ulteriori sviluppi ed applicazioni. Il Footprint, la pressione antropica, si configura già come il nuovo paradigma dell’analisi dei Sistemi Ambientali perché si basa su un’intuizione semplice ma molto efficace: nel funzionamento ciclico dei sistemi naturali, così come descritti nel Millennium assessment 2005, c’è un’azione antropica che li rende sistemi ibridi e che modifica o altera le condizioni delle loro ciclicità.

Inoltre il problema della scarsità idrica viene immediatamente connesso alla dimensione antropica del ciclo dell’acqua, il Water Footprint si interroga quindi e cerca di rispondere a problemi di scarsità a diverse scale territoriali. Quella globale riguarda la dimensione più catastrofista del WF, quella che vede nel commercio virtuale di acqua un meccanismo fuori controllo di appropriazione/trasferimento delle risorse idriche a livello planetario.

Il *ciclo antropico dell’acqua* viene più volte, anche nelle diverse edizioni del Water Footprint Manual Assessment, analizzato e ripercorso come un ciclo incompleto che nel trasferimento virtuale dei flussi idrici, di fatto fa perdere la contabilità della risorsa locale. Come se nel commercio continuo di prodotti “contenti acqua virtuale” diventasse poi difficile stabilire chi ha che cosa in termini di risorse idriche.

Nonostante la difficoltà a esperire il commercio globale dell’acqua nelle sue dimensioni, dal prodotto agricolo al manufatto, il WF (insieme con la FAO e le Linee guida UE) ha ormai formalizzato una contabilità ambientale di cui difficilmente si potrà fare a meno in futuro.

Gli studi del LCA hanno inoltre contribuito a diffondere un know how specifico sul trading dell’acqua contenuta nei prodotti, comportando anche l’emissione di diversi standard ISO per favorire l’utilizzo delle tecniche LCA nell’analisi dell’impronta idrica dei prodotti. Per cui nonostante alcune resistenze, molti team accademici di ingegneria ambientale e di scienze ecologiche si sono specializzati negli studi del Water Footprint con tecniche LCA.

Meno sviluppata e forse approfondita è la proposta degli indicatori del WF che, una volta scomposta l’acqua ecosistemica in risorsa blu e verde e l’acqua “consumata” nel ciclo antropico come acqua grigia, rimane un po’ legata a principi e obiettivi teorici spesso poco applicabili.

Ma quello che ha sicuramente arricchito e fornito un serie di nuovi spunti di analisi in questo studio, è stato l’inserimento del Framework del Metabolismo Urbano all’interno di un’indagine sull’impronta idrica. Il metabolismo urbano ha il grande merito di aver riscritto il territorio urbano come un ecosistema ibrido, spiazzando definitivamente un approccio che ha sempre cercato nella dimensione urbana i cosiddetti “spazi verdi”, i “corridoi ecologici”, i luoghi della cultura ecosistemica.

Nel ripercorrere gli studi del metabolismo urbano dal 1965 ad oggi, ci si rende conto che la pressione antropica disegna un nuovo paesaggio che deve essere descritto con nuovi strumenti, che non possono essere quelli ecologici o dell’approccio socio urbanistico. Le “reti nascoste” del metabolismo urbano

suggeriscono piuttosto una dimensione meccanicistica in cui gli elementi naturali si intrecciano ai processi meccanici della città, disegnando una nuova ingegneria ambientale.

E' un approccio tecnologico - ingegneristico, quello dell'analisi delle pressioni antropiche nei territori urbani. In questo studio se ne sono ripercorse alcune tappe evolutive, dalla progettazione della città batteriologica, che si difende quindi dalle micro-minacce dell'ambiente naturale, fino alla pianificazione urbana degli ultimi decenni.

Seguendo l'approccio del metabolismo urbano si percepisce la necessità di dotarsi di nuovi strumenti di misurazione del territorio e delle sue dinamiche, e quindi di nuovi Indicatori di processi ibridi come quello relativo al ciclo antropico dell'acqua. Un ciclo ibrido perché parte dagli ecosistemi naturali e ritorna agli stessi, dopo aver attraversato le fasi del metabolismo urbano.

Si tratta di un approccio nuovo e quindi da approfondire nelle sue possibili declinazioni. In questo studio le reti idriche di un Comune della Provincia di Napoli, sono state analizzate con la prospettiva di individuare alcune criticità del ciclo locale dell'acqua e fornire anche alcune suggestioni per ulteriori approfondimenti.

Tra questi sicuramente la prospettiva di un ingegneria *incompleta* delle reti idriche urbane, può spingere verso un'indagine più mirata sulla fattibilità delle reti di reuse dell'acqua a patire dalle acque meteoriche fino alle acque di trattamento. Riprogettare la città con reti *circolari* delle risorse idriche utilizzate è infatti un obiettivo da porre nel futuro prossimo per poter affrontare e gestire il carrying capacity dei grandi, enormi, agglomerati urbani di questo millennio.

## Workgroup Review

L'impronta Idrica così come è stata descritta nella letteratura scientifica e riportata in questo lavoro, è un'appassionante scoperta delle dinamiche tra tecnologia, risorse naturali e benessere umano sin dai suoi primi esordi, sia scientifici che metodologici. Ma gran parte degli WF qui analizzati, sono analisi spaziali globali realizzate su scala regionale di bacino idrografico, se non globale, in cui di volta in volta vengono identificati dei fattori di "rischio idrico", e dove nella maggiore parte dei casi si evidenziano le criticità del trading idrico virtuale e del continuo trasferimento di risorse idriche sui territori, con evidenti modifiche dell'assetto geomorfologico. Meno diffuse ed approfondite tra queste, sono le ricerche su livello locale a scala larga. Mentre decisamente poche sono le applicazioni del Water Footprint su scala urbana.

Questo rappresenta un punto di forza del presente lavoro che ha come obiettivo quello di contribuire agli studi per il perfezionamento, l'integrazione e la modifica degli indicatori del Water Footprint. Ma nel lavoro sono riportati e discussi in particolare gli indicatori descritti dagli autori dell'impronta idrica, mentre maggiore attenzione avrebbe potuto essere indirizzata alle nuove proposte per migliorare gli indicatori presentati negli studi di WF. Inoltre anche gli indicatori qui suggeriti nel Capitolo 5 avrebbero meritato una trattazione più ampia con una verifica della loro robustezza.

Ma questo elemento di debolezza del lavoro, deve essere letto con la necessità di concentrarsi su aspetti metodologici sui quali gli studi applicati spesso risultano meno accurati. L'obiettivo del lavoro non è stato quello di implementare dei strumenti di indagine del WF sul set del caso applicato (in questo caso il Comune di S. Antonio Abate). Lo scopo del lavoro è stato piuttosto quello di interrogarsi sulla qualità degli strumenti metodologici applicati, cercando di capire se oltre il Footprint (il peso antropico sulle risorse naturali), è possibile identificare nuovi scenari in cui la sostenibilità non si giochi solo sul controllo

dell'espansione del carrying capacity, quanto piuttosto su un nuovo approccio allo studio degli ecosistemi ambientali.

In sostanza l'obiettivo del lavoro è stato quello di contribuire ad una metodologia di analisi delle reti idriche che tenesse conto di processi sino ad oggi spesso ignorati negli studi di stress idrico. Tali processi non riguardano solo la gestione della *governance* dell'acqua, ma anche l'aspetto tecnologico delle reti idriche, il modo in cui queste si intergrano ai territori antropizzati, diventando così strumenti di *provisioning*. L'assessment dei processi idrici proposti: *processo Adduzione P-ADZ*, *processo Distribuzione P-DIS*; *processo Trattamento PTR*, ha lo scopo di fotografare il Water Footprint dei territori urbani, le modalità con cui questi soddisfano la richiesta antropica dell'acqua e *quali sono i rischi* che scaturiscono da questa fornitura.

Per questo motivo ci si è intrattenuti molto sulla valutazione dei diversi contributi sull'argomento, già a partire dagli anni '70, in quanto si è ritenuto utile amplificare il paradigma del Footprint con un'ampia condivisione di esperti di discipline diverse, allo scopo di identificare i punti di convergenza.

**Per quanto riguarda approfondimenti sull'indicatore ADZ di adduzione/stoccaggio dell'acqua**, raramente l'analisi WF si concentra sul prelievo di volumi dell'acqua a fini socioeconomici, (generalmente questo viene fatto esclusivamente nelle WF analysis dei consumi agricoli legati alla *produzione primaria*). L'obiettivo del lavoro è stato quindi quello di indagare il fattore *benessere umano* come elemento di modifica ecosistemica del ciclo dell'acqua. I consumi idropotabili non vengono ad oggi stimati come volumi significativi all'interno del rischio idrico, sebbene rappresentino il 20% del totale e gli studi sul metabolismo urbano, già del 1965, indicano nel consumo idropotabile, un dato sensibile per l'analisi del rischio da stress idrico.

La rete di adduzione ATO3 oggetto di studio registra il 41.84% di perdite, calcolate solo come rapporto tra acqua fornita ai gestori e acqua fatturata all'utenza. Ma in considerazione del fatto che tecnicamente la rete di adduzione confluisce automaticamente nella rete di distribuzione, e che parte della rete di distribuzione può rimanere di competenza dell'ente pubblico piuttosto che dell'ente gestore, non è facile distinguere il volume di perdite da attribuire a ciascuna rete/gestore. Quando si parla di una rete di 4.106 km si capisce che quello che si vuole stimare deve necessariamente avvicinarsi a valori statistici, ipotesi, piuttosto che a dati certi.

Nell'analisi dell'indicatore Adduzione ADZ si vuole tener conto della architettura spaziale della rete di adduzione che, come schematizzato nella fig. 1, si approvvigiona a monte di 3 vasche principali articolandosi poi su 5 diagonali di smistamento: vasca S.Clemente a 100m slm per rifornire l'area suburbana orientale di Napoli; le Vasche Canello poste a 240m slm e a 80m slm per approvvigionare i comuni dell'anello Vesuviano; Serbatoio di Gragnano a circa 20m slm per l'approvvigionamento dei comuni della costiera Sorrentina; insistendo così su un'area totale di circa 897 km<sup>2</sup> e su un volume che varia dai 600 m slm di Calvanico ai 6 m slm di Torre del Greco.

Volendo fotografare quindi l'impronta di adduzione di questa area non si può osservare la complessità tecnologica della stessa che comporta pure enormi costi di fornitura elettrica per un totale di 113 sollevamenti idrici. Ma gli aspetti più innovativi, riportati nel Box 1, stanno nella valutazione delle dinamiche ANT: 1) i comuni serviti dalla rete non coprono tutta l'area, all'interno della stessa ci sono comuni che, per motivi politico/amministrativo sono serviti da altre ATO; 2) la distribuzione della popolazione sembra seguire 2 logiche principali: i comuni più affollati sono quelli vicini al mare e vicini la città di Napoli, è qui che nonostante le difficoltà di godere appieno di servizi idrici efficienti, si concentra la popolazione.

Infine, per quanto riguarda lo stress da emungimento, considerato che il prelievo viene effettuato per la gran parte da falda (67 pozzi e 9 sorgenti) con una media prelievo di 149.222 m3 anno, la possibilità di effettuare una valutazione sulle condizioni di ricarica dell'area oggetto dello studio, potrebbe essere fornita dalle rilevazioni regionali per precipitazioni per stazione/comune. Ovviamente si tratta di dati campionari, non esaustivi dell'area, ma che potrebbero consentire stime probabilistiche per tutta l'area, utilizzando anche l'indice di irrigazione proposto da alcune stazioni di rilevamento, come fattore di ricarica da filtrazione. E' bene tener presente che ad oggi, non risultano ricerche di scala locale sui fattori di ricarica per la compensazione del Blu Water, nonostante l'indicatore del water footprint utilizzi dei fattori standardizzati di ricarica, calcolati come precipitazioni al netto dei fattori di evapotraspirazione. Anche questo aspetto, squisitamente ecosistemico, non è ancora sufficientemente elaborato nei calcoli dell'Impronta idrica, che potrebbero risultare meno precisi quando applicati su scala locale.

**Conclusioni:** il numero comuni serviti dalla rete, l'estensione dell'area e le altimetrie interessate potrebbero far parte dell'Indicatore di Adduzione in maniera da fotografare un'Impronta più dettagliata delle perdite e il trasferimento dell'acqua sull'area. Inoltre le valutazioni dei decision making sull'area ATO 3 non possono non tener conto delle dinamiche della rete ANT per quanto riguarda eventuali modelli predittivi di sviluppo urbano.

<b>BOX 1 – Rete di adduzione ATO 3</b>		
Distribuzione comuni ATO 3 per altitudine		
0-25	10	0,13
25-45	20	0,26
46-70	10	0,13
71-180	27	0,36
> 181	9	0,12
Distribuzione comuni ATO 3 per densità popolazione		
0-520	9	0,12
521-880	11	0,14
880-1500	16	0,21
1501-1800	12	0,16
1800-3000	17	0,22
3000-6000	7	0,09
> 6000	4	0,05
<p><b>La distribuzione altimetrica</b> dei comuni che si riporta, suggerisce che i territori di ciascun "distretto idrico" abbiano caratteristiche ecosistemiche diverse, con conseguenze diverse in termini di: eventuali deflussi di perdite superficiali, tipo di utilizzo del territorio urbano servito e suburbano con destinazione agricola e semi agricola; tipologia di consumi e quindi anche dieta delle popolazioni residenti, ma soprattutto così energetici differenti. Per quanto riguarda i costi energetici di pompaggio delle reti è da considerare che sul totale dei comuni ATO 3, il 25% (19) è posto ad un'altitudine tra i 100 /180 mslm, il 10.5% tra i 220/400 mslm, e solo il 10,5% insiste ad un'altitudine al di sotto di 25 slm.</p> <p><b>La distribuzione della popolazione</b> della rete servita mostra che sono i comuni più vicini all'area metropolitana di Napoli quelli con maggiore densità di popolazione e con maggiori consumi idrici. Su queste reti "affollate" può essere più difficile identificare prelievi "abusivi" di acqua di tipo residenziale ma soprattutto con destinazione industriale. Sarebbe quindi utili sovrapporre alla mappa dei consumi stimati/fatturati, quella relativa ai pozzi dei consumi industriali autorizzati dalla Provincia di Napoli per avere un consumo idrico reale.</p> <p>In base alla geolocalizzazione dei comuni si rileva infatti che quelli con una densità di popolazione inferiore a 880/km2 sono localizzati nelle aree del Nolano e della provincia di Salerno, mentre quelli delle aree litoranee e adiacenti alla città di Napoli hanno una densità tra 3000/6000 ab/km2. E' significativo infine il fatto che il 45% dei comuni ha una densità di popolazione tra 880/3000 ab/km2 con una conseguente complessità delle reti che in aree abbastanza limitate devono tenere sotto controllo un bacino di utenza abbastanza elevato.</p>		

Per gli approfondimenti sull'Indice Trattamento – TRM valgono sicuramente le stesse osservazioni già fatte per l'indice di Adduzione, sull'architettura della rete che in questo caso si sviluppa su 2.120 km con 150 sollevamenti fognari e al momento n. 12 impianti di depurazione, volendo soltanto sottolineare come in su

questa rete i costi di gestione siano molto più elevati, non solo in termini energetici ma anche in termini strutturali. In questo lavoro si è voluto definitivamente sganciare il Grey Water Footprint dal concetto di diluizione, più volte ribadito dagli autori del WF. Un concetto sviluppato nell'ambito dell'analisi ecosistemica degli utilizzi agricoli dell'acqua di irrigazione, che voleva quindi tener conto del runoff delle colture, dell'impatto i deflussi superficiali sui corpi idrici in cui confluiscono. Per questo indicatore gli studiosi WF applicano infatti, il fattore di diluizione degli inquinanti contenuti nel volume del grey water, fino ai livelli/standard di accettazione massima consentita. Ma sono diversi gli studi (che abbiamo riportato in precedenza) che indicano che le problematiche in tema di sicurezza idrica della città metabolica sono molto più complesse di una procedura di attenuazione dell'impatto inquinante dei flussi di acqua grigia e che gli standard sui livelli di concentrazione non sono confrontabili ne a livello nazionale (ci sono molte differenze negli standard, già tra i paesi all'interno dell'UE) ne a livello locale (la composizione geomorfologica non è unica come non lo sono gli elementi che la compongono). Considerato che lo studio bio-chimico dei parametri di accettazione dei reflui richiede studi con altre competenze (come quelle sugli inquinanti emergenti), in questo lavoro si vuole valutare:

- in che modo il trattamento dei reflui può garantire un riutilizzo locale dei corpi idrici destinato a fronteggiare lo stress idrico;
- in che modo la rete ANT locale, agganciata alla rete di trattamento, può condizionare la qualità dei reflui, impedendo un eventuale riutilizzo;
- in che modo possono quindi essere valutati i parametri di efficacia/efficienza dei trattamenti dei reflui volendo superare i criteri biochimici degli standard normalizzati. In che modo possiamo affermare che le acque che escono dal ciclo metabolico dei territori urbani sono acque "accettabili": per quali scopi? Con quali obiettivi? Se si vuole ad esempio riutilizzare i reflui per l'irrigazione delle colture delle aree peri-urbane, è possibile riproporre uno schema ottocentesco in cui le defecazioni umane avevano un valore economico positivo per gli agricoltori? In che modo la rete ANT può condizionare oggi, con i suoi comportamenti, i suoi consumi, gli schemi di circolarità del ciclo antropico dell'acque negli ambienti urbani?

Se mai in questo lavoro si è riusciti delimitare il confine dell'Impronta idrica dei territori urbani, probabilmente è proprio a partire dalle risposte tecnologiche che l'ingegneria ambientale saprà dare a un uso sostenibile delle acque antropizzate, e quindi nella capacità di *conservare - riutilizzare* l'acqua consumata, che si può identificare una linea, oltre la quale, studi di *idro-sociologia applicata* potranno effettivamente dare contributi utili alla ricerca scientifica.