

ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
XI GIORNATA MONDIALE DELL'ACQUA
CONVEGNO
ACQUA ED ENERGIA
22 MARZO 2011

ACQUA ED ENERGIA: CONFLITTI E SINERGIE

Giorgio Federici
Università degli Studi di Firenze

SOMMARIO

Il rapporto acqua - energia è affrontato con riferimento alla gestione dei sistemi idrici, globali e locali, dal punto di vista delle necessità dell'uomo e dell'ambiente.

Si elencano schematicamente i conflitti e sinergie possibili fra acqua e energia e si affrontano alcuni casi paradigmatici: la crisi dei sistemi idrici e la ricerca di nuove risorse idroenergetiche a scala globale e locale, i problemi posti dai circuiti di raffreddamento delle centrali termiche e nucleari, l'impiego dell'acqua per accumulare le energie rinnovabili, la sicurezza idrica ed energetica nella società del rischio.

Si sottolineano problematiche innovative che emergono dal dibattito scientifico attuale: quella relativa alla necessità di affrontare il problema delle crisi idriche con un approccio globale ("The Global Water System") e alla esigenza di definire in termini nuovi e più ricchi la connessione fra acqua ed energia ("The Water Energy Nexus"). Nel panorama dei rischi globali della società umana e dell'ambiente i problemi di sicurezza idrica e energetica emergono prepotentemente, anche in relazione ai problemi alimentari del pianeta e ai cambiamenti climatici ("The Water-Food-Energy-Nexus").

INDICE

Introduzione

1. Acqua per l'energia

2. Energia per l'acqua

3. La crisi dei sistemi idrici

4. Conflitti Acqua - Energia

5. La connessione acqua – energia - cibo

Conclusioni

Bibliografia

Introduzione

Il XXVIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, tenutosi nel 2002 a Potenza, aveva come tema “*Acqua: Bene Comune, Bene Finito*”.

L'acqua è un bene comune nelle intenzioni di molti, ma è ancora lontano dall'esserlo in molte aree del pianeta e la situazione difficilmente migliorerà in senso complessivo, a causa della crescita demografica e dello sviluppo delle attività antropiche.

Sicuramente, invece, **l'acqua è un bene finito**. L'acqua è un bene fisicamente finito: la quantità rinnovabile resa disponibile al pianeta dal ciclo idrologico annuale (portata dei fiumi e ricarica delle falde) è stimata pari a circa 40.000 Km³ (miliardi di metri cubi). Di questi solo circa 9.000 Km³ sono teoricamente disponibili per le attività antropiche: si tratta dei deflussi sufficientemente stabili che possono soddisfare il fabbisogno umano, relativamente poco variabile durante l'anno. La distribuzione geografica di questi 9.000 Km³ indica che, nelle regioni abitate, la quantità di risorsa rinnovabile effettivamente utilizzabile senza il depauperamento delle risorse (cioè in modo sostenibile) è pari a circa 4.200 Km³ (2030 Water Resources Group, 2010). La restante disponibilità idrica (circa 4.800 Km³) è localizzata in aree disabitate e il suo sfruttamento richiederà spostamenti di popolazioni e di attività o trasferimenti della risorsa su grandi distanze.

L'acqua è un bene finito anche in termini di utilizzazione perché nei territori abitati si prelevano dai fiumi e dalle falde circa 4.500 Km³ (dati del 2010). Questo significa che in vaste aree del pianeta stiamo prelevando acqua non rinnovabile, ci stiamo, cioè, sviluppando in modo insostenibile. Questo sta accadendo da almeno un quarto di secolo (dagli anni '80 del secolo scorso) ed era stato ampiamente previsto già alla fine degli anni sessanta da studi dell'ONU (L'vovitch M. I., 1974). Il prelievo insostenibile ha provocato catastrofi ambientali spaventose: la scomparsa del Mare d'Aral è emblematica, ma tutti i grandi laghi del pianeta soffrono di gravi problemi.

La non sostenibilità dello sviluppo è confermata dalle stime della nostra impronta ecologica (<http://www.footprintnetwork.org/it/index.php/GFN/>), della quale l'impronta idrica è ovviamente parte determinante. L'Earth Overshoot Day (http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/earth_overshoot_day/) nel 2010 è stato stimato al 21 agosto. In quella data avevamo già consumato, mediamente, le risorse rinnovabili del pianeta: dal 22 agosto a fine anno abbiamo utilizzato risorse non rinnovabili. Nel 1987 l'Earth Overshoot Day era il 19 dicembre, nel 1990 il 7 dicembre, nel 2000 il 1 novembre, nel 2005 il 26 ottobre. Il processo di sfruttamento delle risorse idriche non rinnovabili, insieme alle altre risorse del pianeta, è iniziato da alcuni decenni e sta accelerando. La popolazione mondiale del 1987 era di 5.039 milioni e il “credito ecologico” con il pianeta era di 12 giorni. Nel 2010 la popolazione era di 6.896 milioni e il nostro credito ecologico è stato di 132 giorni. Nel 2050 la stima media delle Nazioni Unite (United Nations, 2011) è una popolazione di 9,3 miliardi: è da prevedere che, anche con significative politiche di controllo della fertilità, peraltro sempre meno popolari, il nostro debito ecologico crescerà fortemente e la catastrofe ecologica sarà inevitabile in molti paesi. (Sartori, 2011).

Un aspetto d'importanza essenziale per affrontare la crisi dei sistemi idrici del pianeta è il rapporto acqua- energia. Si è trattato e si tratta di un rapporto spesso conflittuale che dovrà essere ricondotto, tuttavia, a un rapporto di sinergia.

Nel seguito vengono discussi schematicamente conflitti e sinergie possibili fra acqua e energia e si affrontano alcuni casi paradigmatici: la crisi dei sistemi idrici e la ricerca di nuove risorse idroenergetiche a scala globale e locale, i problemi posti dai circuiti di raffreddamento delle centrali termiche e nucleari, l'impiego dell'acqua per accumulare le energie rinnovabili, la sicurezza idrica, energetica e alimentare nella società del rischio.

1. Acqua per l'energia

1.1 Acqua per produrre energia

1.2 Acqua per trasportare acqua ed energia virtuali

1.3 Acqua per accumulare energia

1.1 Acqua per produrre energia

Gli impianti che utilizzano l'acqua per produrre energia possono essere distinti in impianti idroelettrici di produzione e in impianti industriali basati su cicli termodinamici (centrali termiche e nucleari) che sfruttano l'acqua come sorgente fredda attraverso i circuiti di raffreddamento.

Impianti idroelettrici

Gli impianti idroenergetici accompagnano l'uomo da millenni, ma l'uso dell'energia idraulica è esploso con la scoperta dell'energia elettrica. Gli impianti idroelettrici sono stati alla base dello sviluppo industriale e civile di molti paesi e in particolare del nostro. In altre relazioni previste in questa Giornata Mondiale dell'acqua 2011 si affronta specificamente il ruolo dell'idroelettrico nel nostro Paese. In questa sede (punto 3) ci limiteremo a presentare alcune considerazioni relative all'impatto della produzione idroelettrica sul mercato globale dell'acqua e dell'energia.

Centrali termiche e nucleari - Rendimento termodinamico e consumo d'acqua

Le centrali termiche e nucleari utilizzano turbine a vapore per azionare gli alternatori. Il ciclo termodinamico prevede l'utilizzo di un condensatore per ridurre in forma liquida il vapore in uscita dalla turbina che viene poi inviato alla caldaia, termica o nucleare. Il condensatore è uno scambiatore di calore che impiega come sorgente fredda l'acqua (di mare, di fiumi, di laghi) o torri di raffreddamento evaporative.

Per le centrali nucleari l'efficienza termica è dell'ordine del 30-40%. Una centrale da 1000 megawatt elettrici (MWe) ha perciò una produzione di calore di circa 2.500-3.300 megawatt termici (MWt). La differenza di potenza è trasferita alla sorgente fredda, che si riscalda ed esce dal condensatore a una temperatura superiore di una decina di gradi rispetto all'ingresso. Questo significa, per una centrale da 1000 MWe, la necessità di prelevare da un corpo idrico una portata di 45- 55 m³/s a seconda del rendimento. Si vede bene che, nei paesi con un parco consistente di centrali termiche o nucleari, questo uso dell'acqua rappresenta una parte molto significativa sia dei prelievi che dei consumi idrici.

In Francia, ad esempio, il raffreddamento delle centrali termiche e nucleari nel 2006 ha assorbito (prelievo) 19,1 miliardi di m³ d'acqua dolce, cioè il 57% dei prelievi totali d'acqua del paese. Una parte di quest'acqua (circa il 93%) viene restituita ai fiumi e di conseguenza i consumi effettivi sono bassi, poiché l'acqua, anche se di qualità termicamente variata, può essere riutilizzata. Sempre in Francia sono, invece, alti i consumi nelle torri evaporative, che rappresentano il 22% (1,3 miliardi di m³) dell'intero consumo di quel Paese.

È da considerare che molte centrali, come quelle di Fukushima recentemente distrutte dallo tsunami dell'11 marzo 2011, utilizzano acqua di mare e, di conseguenza, non hanno impatto sull'acqua rinnovabile. Ne deriva che l'impronta idrica (basata sui consumi effettivi sia per il raffreddamento che per la produzione della risorsa energetica) delle centrali nucleari è la più bassa fra quelle relative alle diverse fonti energetiche, come emerge dalla tabella seguente (Tabella 1).

Fonti di energia primarie		Impronta idrica media (m ³ /GJ) - GJ= Giga Joule=miliardo di joule=277,8 kWh	Impronta idrica media relativa a quella dell'uranio
Non- rinnovabile	Gas naturale	0.11	1,2
	Carbone	0.16	1,8
	Petrolio	1.06	11,8
	Uranio	0.09	1,0
Rinnovabile	Eolica	0.00	0,0
	Solare termico	0.27	3,0
	Idroelettrico	22	244,4
	Biomasse	70 (intervallo: 10-250)	777,7 (intervallo: 111,1 -2777,8)

Tabella 1: *Impronta idrica per fonti di energia primarie (elaborazione da Gerbens-Leenesa, 2008)*

È da rilevare come le biomasse siano di gran lunga le risorse energetiche più idro-esigenti.

L'incidente di Fukushima ha messo in evidenza l'importanza essenziale dell'affidabilità dei circuiti di raffreddamento di una centrale nucleare. Essi rivestono importanza non solo nel regolare funzionamento dell'impianto, ma anche in condizioni di emergenza, quando la centrale viene disattivata e gli elementi di combustibile devono, comunque, essere raffreddati per evitare incidenti. È stata proprio la distruzione dei sistemi di alimentazione di emergenza delle pompe che non hanno più potuto raffreddare il combustibile che ha determinato la gravità dell'incidente di Fukushima.

1.2 Acqua per trasportare acqua ed energia virtuali

L'acqua svolge naturalmente un ruolo fondamentale per il trasporto di persone, un tema che esula tuttavia dagli scopi della presente relazione. Interessante in questa sede è, invece, il ruolo dell'acqua come vettore per il trasporto di energia (petrolio, gas, biomasse) e per il trasporto di merci la cui produzione ha utilizzato risorse idriche ed energetiche di altre regioni e paesi del mondo rispetto a quelle del paese di destinazione. Tali risorse possono considerarsi come forme virtuali di acqua ed energia incorporate nelle merci, soprattutto quelle alimentari. Acqua ed energia virtuali costituiscono elemento essenziale nei bilanci idrici ed energetici globali. Vedremo, nel seguito, il caso dell'impianto idroelettrico di Kranjkar, in Islanda con l'associata fabbrica di alluminio dell'Alcoa come esempio paradigmatico di tale connessione a scala intercontinentale.

Per “**energia virtuale**” si intende la quantità di energia necessaria per produrre, trasportare fino al luogo di utilizzo e smaltire un prodotto o un materiale o per assicurare un servizio. L'energia virtuale può essere anche chiamata "energia grigia" o "energia incorporata" (Embedded Energy).

In questa sede ci occuperemo soltanto di acqua virtuale, nelle sue diverse forme. La trattazione completa richiederebbe un approccio congiunto acqua-energia virtuali, essendo ogni prodotto solitamente generato da un uso congiunto delle stesse.

Acqua blu, acqua verde, acqua grigia

La distinzione fra acqua blu (blu water) e acqua verde (green water), sviluppata da Falkenmark e Rockström (2004), distingue fra la porzione delle acque precipitate che si trasformano in risorsa (dunque i deflussi superficiali e sotterranei costituiscono l'acqua blu) e la porzione direttamente utilizzata dagli ecosistemi terrestri (l'agricoltura non irrigua, i pascoli, le foreste): quest'ultima (acqua verde) ritorna attraverso il processo di evapotraspirazione all'atmosfera.

L'acqua grigia (grey water) è l'acqua che viene inquinata nel corso del processo produttivo e nei vari usi.

Acqua virtuale

Il contenuto di acqua virtuale (*virtual water*) di un prodotto (di un bene o un servizio) è costituito dal volume d'acqua dolce consumata per produrlo, sommando tutte le fasi della catena di produzione. Può essere costituito da tre componenti: l'*acqua virtuale verde*, volume di acqua piovana evaporata durante il processo produttivo; l'*acqua virtuale blu*, volume d'acqua, di superficie o di falda, evaporata durante il processo produttivo; l'*acqua virtuale grigia*, volume d'acqua inquinata nel corso del processo produttivo.

Il confronto del contenuto d'acqua virtuale di alcuni prodotti agricoli in alcuni Paesi del mondo rivela differenze notevoli sia confrontando i diversi prodotti tra loro, sia prendendo in considerazione il luogo di produzione. In particolare, i prodotti dell'allevamento (carne, uova, latte e derivati) presentano un contenuto di acqua virtuale maggiore rispetto a quelli coltivati, in quanto gli animali da allevamento consumano, per diversi anni prima di essere trasformati in prodotti alimentari, una grande quantità di prodotti coltivati come nutrimento. Inoltre, il contenuto d'acqua virtuale di uno stesso prodotto può variare notevolmente da luogo a luogo, dipendendo da fattori quali il clima, le tecniche agricole adottate, la resa dei raccolti, etc.

Le diverse abitudini alimentari implicano, quindi, un maggiore o minore consumo di risorse idriche. Infatti, un individuo utilizza in media da 2 a 5 litri d'acqua al giorno per bere, mentre il consumo d'acqua virtuale giornaliero per alimentarsi varia da circa 1.500-2.600 litri nel caso di una dieta vegetariana a circa 4.000-5.400 litri in caso di una dieta ricca di carne. Questo ovviamente per i cittadini dei paesi ricchi.

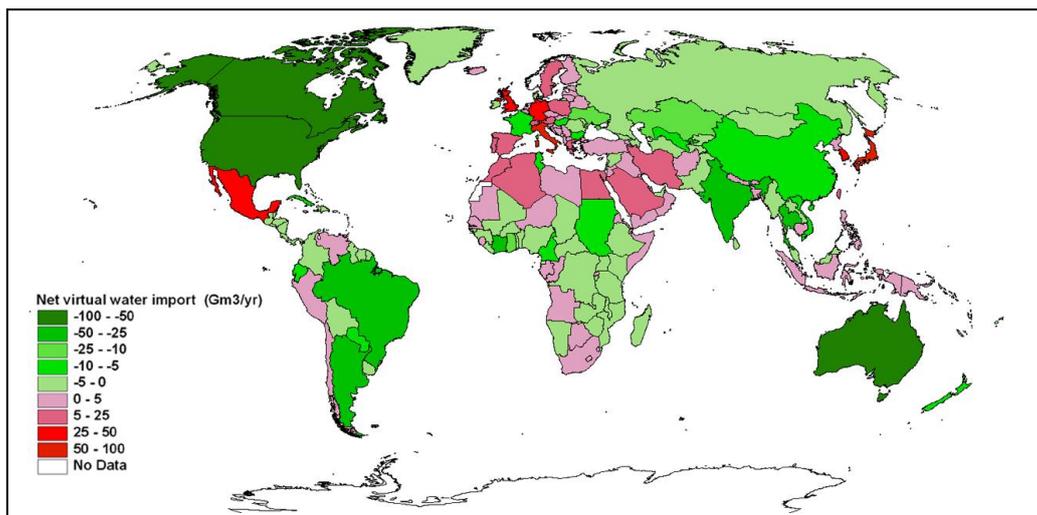


Figura 1: Bilancio nazionale di acqua virtuale legato al commercio internazionale 1997-2001 (Fonte: WFN, 2011)

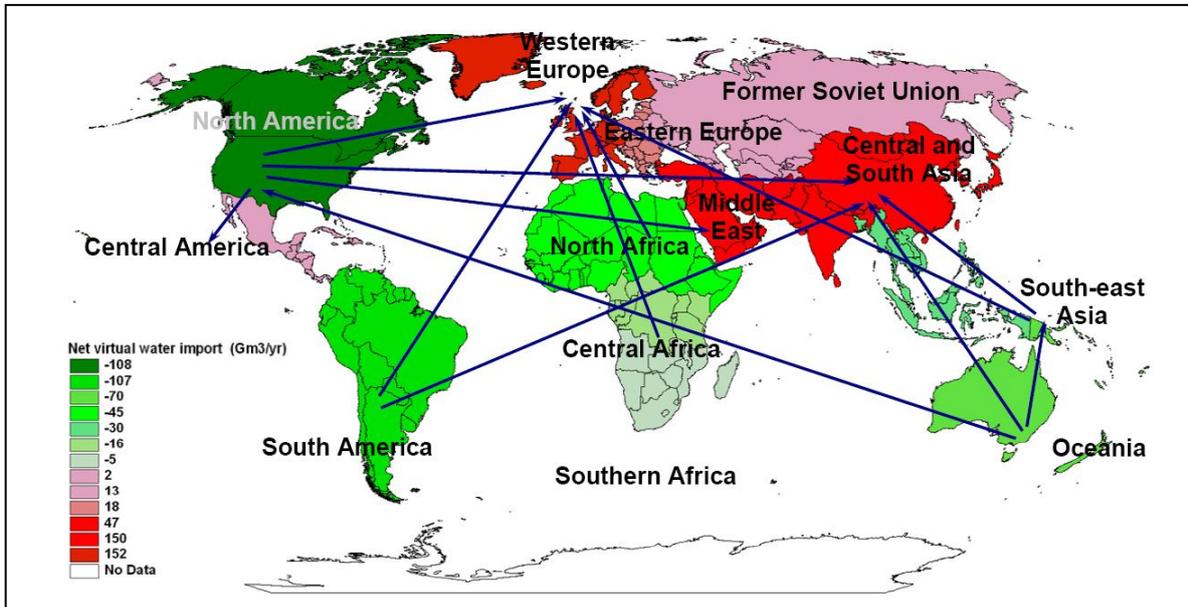


Figura 2: Bilancio regionale di acqua virtuale e maggiori flussi netti (> 10 Gm³/anno) legati al commercio di prodotti agricoli (Fonte: WFN, 2011)

Nella Tabella 2 è indicata l'impronta idrica totale (acqua interna più acqua importata, divisa per beni agricoli e industriali) del pianeta e di alcuni paesi. Ben il 16% dell'acqua consumata nel pianeta è acqua virtuale. Ci sono paesi come la Gran Bretagna che importano il 70% dell'acqua che consumano.

Bilancio idrico totale (acqua interna + acqua virtuale)				
	Pianeta	USA	UK	India
Impronta idrica (litri/persona/giorno)	3406	6803	3411	2685
beni agricoli prodotti e consumati internamente	73%	48%	18%	92%
beni industriali prodotti e consumati internamente	6%	24%	8%	2%
consumi idrici domestici	5%	9%	3%	4%
acqua consumata in beni agricoli importati	13%	11%	48%	1%
acqua consumata in beni industriali importati	3%	8%	23%	0,2%

Tabella 2: Bilancio idrico totale (acqua interna + acqua virtuale) (Fonte: Waterwise, 2007)

Nella Tabella 3 sono indicati i maggiori paesi esportatori e importatori di acqua virtuale. È evidente che l'importanza dei paesi esportatori crescerà progressivamente con lo svilupparsi delle crisi idriche planetarie.

Paesi importatori ed esportatori di acqua virtuale			
Maggiori esportatori		Maggiori importatori	
	Gm³/anno		Gm³/anno
USA	229.3	USA	175,8
Canada	95.3	Germania	105.6
Francia	78.5	Giappone	98,2
Australia	73,0	Italia	89,0
Cina	73,0	Francia	72,2
Germania	70,5	Olanda	68,8
Brasile	67,8	Gran Bretagna	64,2

Tabella 3: *Maggiori paesi esportatori e importatori di acqua virtuale (Fonte: Waterwise (2007))*

Le problematiche connesse al concetto di acqua virtuale stanno assumendo una grande attualità.

La verifica empirica è l'interesse delle multinazionali della finanza, dell'alimentazione e dell'acqua unite a sostenere le ricerche sulle crisi idriche.

Il 2030 Water Resource Group già citato è costituito da McKinsey & Company e da World Bank Group (International Finance Corporation, IFC) in collaborazione con un consorzio fra: Barilla Group, Coca-Cola Company, Nestlé, New Holland Agriculture, SABMiller, Standard Chartered Bank and Syngenta, International, Veolia Environnement.

Il recente rapporto Global Risk 2011 Report del World Economic Forum (WEF, 2011) è un punto di riferimento nell'analisi delle problematiche della sicurezza idrica, energetica e alimentare. Le ragioni di questo interesse sono evidenti: circa l'80% delle risorse idriche consumate nel mondo sono utilizzate per la produzione di cibo. La crisi delle risorse idriche incide, perciò, prima di tutto sulla produzione di alimenti.

L'interesse della ricerca si sta indirizzando sugli effetti che su queste crisi può avere la globalizzazione virtuale dell'acqua. Hoekstra (2002), Chapagain et al. (2006), sulla base del concetto di acqua virtuale (Allan, 1993) hanno evidenziato la necessità di superare la dimensione della pianificazione, anche a livello dei grandi bacini idrografici, inserendola in un processo più ampio a scala globale. Si pone, cioè, un problema di Global Virtual Water Trade Network (Suweis et al., 2010) al fine di definire politiche per governare la globalizzazione virtuale dell'acqua. Gli effetti del processo di globalizzazione possono, infatti, essere diversi e non sempre positivi: il potere derivante dal "controllo dell'acqua virtuale" da parte di pochi grandi paesi sarebbe enorme perché connesso al controllo alimentare. Il punto centrale dell'acqua come bene comune non sembra, quindi, collegato soltanto ai servizi idrici a carattere civile o industriale quanto soprattutto alla produzione di cibo. Ciò suggerisce uno scenario in cui a paesi poveri di risorse idriche convenga intensificare i rapporti e aumentare il numero di paesi da cui importare "acqua virtuale" attraverso il cibo. (Suweis et al, 2011)

Di parere diverso sono D'Orrico et al. (2010), che segnalano la pericolosità di una globalizzazione virtuale dell'acqua ottenuta attraverso la quantità incorporata nelle risorse alimentari per i paesi “deboli” dal punto di vista idrico e sociale. In assenza di importazione di prodotti alimentari, la crescita demografica è limitata dalla disponibilità di risorse locali, acqua compresa, oltre che da fattori culturali e sanitari. Il commercio mondiale di grandi quantità di cibo rende disponibili, nei paesi con meno risorse idriche endogene, risorse alimentari anche a basso costo, permettendo ad alcune popolazioni di superare i limiti posti dal loro bilancio idrico locale. Questo conduce a non utilizzare le risorse locali, rendendo i sistemi locali più fragili e sensibili alle crisi idriche e ai mutamenti climatici. Gli autori sottolineano che, sebbene si riconosca che nel breve termine la globalizzazione (virtuale) di acqua possa prevenire la malnutrizione, la fame e i conflitti, i suoi effetti a lungo termine andrebbero studiati con attenzione. L'effetto del commercio incontrollato di prodotti alimentari sulla resilienza delle società umane rispetto alla siccità e carestie potrebbe essere nel lungo periodo molto negativo.

Il sistema idrico globale

Le questioni poste in precedenza spiegano perché le visioni dei problemi connessi alla disponibilità delle risorse idriche abbiano subito negli ultimi anni un cambiamento di scala, sia spaziale che temporale: si fa, infatti, ormai riferimento al “Global Water System” (Alcamo et al. 2008; Alcamo, 2009), analizzando i legami sempre più stretti di carattere fisico, istituzionale ed economico fra i diversi sistemi idrici a scala continentale, statale e di bacino idrografico. Si tratta di uno sforzo crescente perseguito dalle organizzazioni internazionali, in particolare le Nazioni Unite (UNESCO, UNDP, FAO, UNEP, etc.), da alcune Università (Kassel, New Hampshire, ad esempio) ed organizzazioni pubbliche e private. Per accedere all'elenco e ai siti di queste organizzazioni il lettore potrà utilmente consultare il sito dell'UNESCO (<http://www.unesco.org/water/>).

Questo processo di allargamento della visione, di estensione progressiva dei confini del sistema è iniziato negli anni '60, passando dai sistemi di approvvigionamento locali al “watershed thinking”. La scala di bacino è stata protagonista negli ultimi decenni della ricerca e della gestione e ha condotto a superare rapidamente la dimensione statale per andare verso la gestione multinazionale dei sistemi idrici. Il perseguimento di tale obiettivo richiede, però, un'accurata conoscenza della distribuzione delle risorse. Organismi internazionali come l'International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC), sono stati istituiti proprio a tale scopo: la recente Transboundary Aquifers of the World Map, 2009 update predisposta da tale centro ne è un efficace esempio avendo individuato le risorse idriche sotterranee a valenza transnazionale.

È, ormai, evidente come il sistema idrico (ed energetico e alimentare) globale richiederà (richiederebbe) un governo globale delle risorse. Compito di questo “governo” sarà, fra l'altro, la mediazione dei conflitti fra gli utilizzatori di risorse sempre più scarse. Questo governo difficilmente potrà essere a breve un “governo politico” in senso proprio. Sarà frutto di mediazioni promosse dalle Nazioni Unite, da accordi regionali, dalle multinazionali dell'acqua, del cibo e dell'energia che sono probabilmente le uniche a cercare di elaborare e realizzare a breve una strategia attraverso gli investimenti (FDI – Foreign Direct Investments – si veda nel seguito).

Per fortuna dei paesi europei il governo dei sistemi idrici europei è avviato e sta dando buoni risultati. Il processo di gestione condivisa delle risorse idriche in Europa sta procedendo rapidamente con l'applicazione della Water Framework Directive e, in generale, delle politiche europee. L'approccio della WFD è ampiamente condivisibile e pone al centro lo sviluppo sostenibile dell'acqua come componente dell'ecosistema. Il focus è sul raggiungere una buona qualità dei corpi idrici europei, avendo cura non solo delle esigenze antropiche, ma anche di quelle dell'ambiente.

Istituzioni come l'Unione Europea svolgono un ruolo fondamentale di mediazione pacifica dei conflitti. La sfida è oggi quella di allargare ulteriormente i confini del sistema, fino a comprendere tutto il pianeta.

1.3 Acqua per accumulare energia

L'accumulo di energia termica e nucleare

Gli impianti di accumulazione tramite pompaggio sono il sistema quantitativamente più significativo per accumulare grandi quantità di energia elettrica, trasformandola in energia (potenziale) idrica durante la notte per riconvertirla in elettrica nelle ore di consumo di punta della rete. L'energia accumulata è di solito quella resa disponibile dagli impianti termici o nucleari nelle ore notturne, dovendo questi impianti lavorare o a potenza costante nelle ventiquattr'ore (nucleari) o a potenze vicine a rendimenti accettabili (termici). L'energia prodotta di notte è, perciò, disponibile a costi ridotti (marginali, essenzialmente quelli del combustibile). Con questa energia a basso costo si pompa acqua da un serbatoio di valle a uno di monte. Quest'acqua verrà poi turbinata durante i picchi di richiesta giornalieri e valorizzata economicamente a prezzi 2-3 e più volte superiori rispetto al costo marginale notturno.

Va tuttavia osservato che, per produrre 1 kWh di giorno, sono necessari circa 1,5 kWh prodotti di notte, ciò per compensare le perdite nelle tubazioni e i rendimenti delle macchine idrauliche ed elettriche: questo significa che gli impianti di accumulazione mediante pompaggio sono impianti dissipatori di energia e in misura piuttosto rilevante.

Tali impianti possono essere convenienti economicamente quando la differenza fra il costo di pompaggio e il prezzo spuntato in produzione è rilevante. Inoltre, questi impianti, progettati negli anni '60 e '70, erano orientati a un sistema di produzione di energia elettrica basato su un mixing di centrali termiche e nucleari. A quel tempo il costo dei combustibili era relativamente basso e le problematiche delle emissioni di CO₂ erano ben diverse dalle attuali, come era diverso il costo del kWh nucleare previsto.

Ora la questione va ripensata anche in riferimento al tipo di energia che si utilizza per il pompaggio. Se questa energia fosse energia rinnovabile, come quella eolica, potrebbero aprirsi nuove e interessanti prospettive. Ma gli impianti di accumulazione e il valore economico da essi prodotto sono importanti oggi soprattutto come strumento di regolazione della rete proprio in quanto impianti idro-elettrici. La flessibilità delle turbine idrauliche e la loro capacità di variare la potenza per far fronte ai picchi e alle emergenze della rete rendono gli impianti a serbatoio particolarmente profittevoli. La funzione non è, perciò, tanto quella di accumulare energia notturna e renderla disponibile di giorno, ma quella di fare riserva al sistema elettrico, potendo spuntare costi del kWh molto più alti di quelli medi ricavabili nei momenti di crisi della distribuzione elettrica. Questa funzione in regime di monopolio elettrico ovviamente esisteva, ma non era monetizzabile in assenza di un mercato elettrico.

In altre parole, le funzioni degli impianti di pompaggio sono due:

1. Quella di costituire una sorta di **“batteria verde”**: accumulano di notte energia che altrimenti andrebbe persa (quella prodotta da centrali termoelettriche e nucleari, che di notte non possono essere spente e generano, quindi, un surplus di energia) e la producono di giorno;
2. Quella di **“riserva rotante e terziaria”**: gli impianti di pompaggio, essendo impianti a serbatoio, spesso vengono messi sul mercato come riserve pronte ad intervenire per rispondere a picchi della domanda.

L'accumulo di energie rinnovabili

Gli impianti di pompaggio potrebbero avere interessanti sviluppi in riferimento all'accumulo delle energie rinnovabili. In particolare, al fine di superare la difficoltà legata all'intermittenza dell'energia eolica, sembra interessante costruire impianti di accumulo mediante pompaggio associati a grandi parchi eolici.

In alcuni paesi europei tale proposta è in corso di implementazione al fine di incrementare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili: è il caso del Portogallo, della Spagna (Isole Canarie), della Germania, ma anche dell'Italia.

In Figura 3 è schematicamente riportato il principio di funzionamento ricavato da progetti proposti in Portogallo.

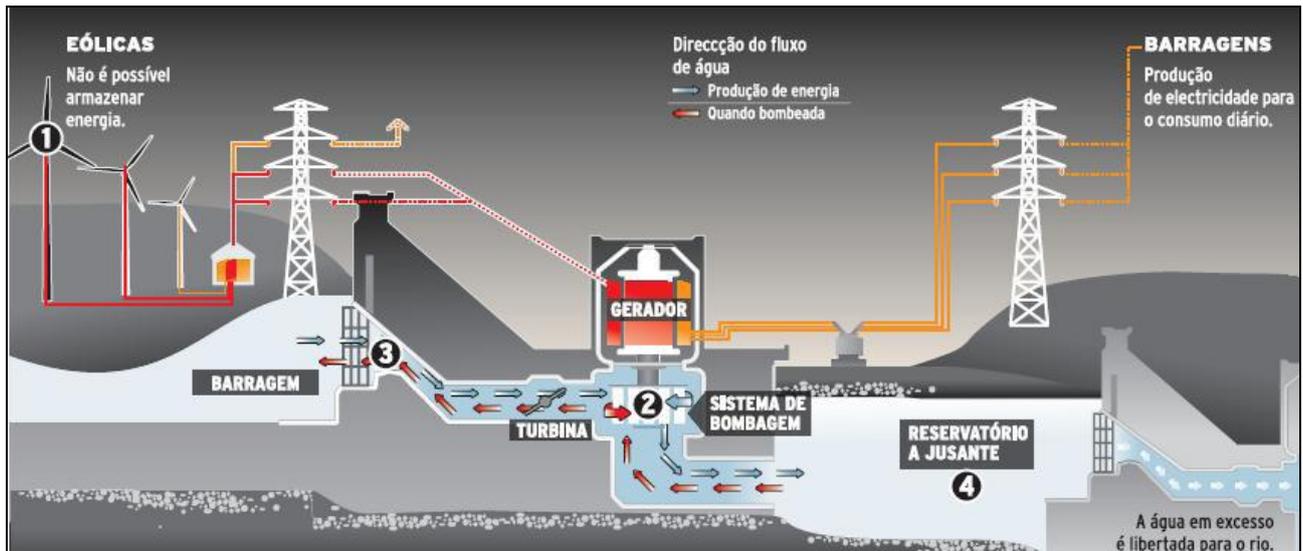


Figura 3: Schema di un impianto idro-eolico (http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/complementariedade_hidroeolica_he.php)

Interessante è poi l'esempio della centrale "idro-eolica" di El Hierro (isola delle Canarie). Per El Hierro il governo spagnolo, che sta incentivando notevolmente lo sviluppo dell'eolico, ha programmato investimenti per 54 milioni di euro per costruire un impianto idroelettrico ed un impianto eolico, che renderanno energeticamente autosufficiente l'isola, abitata da 10.500 persone, con l'uso di sole fonti rinnovabili. Si prevede, inoltre, che i bacini della centrale idroelettrica svolgano anche una funzione di riserva idrica per l'approvvigionamento di acqua potabile. Le dimensioni e la particolare orografia dell'isola sono i principali motivi che hanno spinto verso questa soluzione. El Hierro, infatti, è un'isola montuosa nell'interno e proprio questa caratteristica l'ha resa adatta all'idroelettrico: l'acqua viene pompata in quota e raccolta in un bacino artificiale. Da qui la sua energia potenziale viene sfruttata per azionare le turbine idroelettriche. Ma, dato che l'isola è in aperto Oceano Atlantico ed è battuta da venti forti e soprattutto costanti, anche l'installazione di aerogeneratori eolici costituisce una naturale opzione.

Le prospettive per l'Italia

In Italia le centrali di pompaggio in esercizio sono una ventina, sparse un po' su tutto il territorio nazionale, benché in prevalenza dislocate lungo l'arco alpino. La loro funzione di accumulo di energia è attualmente svolta nei confronti dell'energia termoelettrica italiana e di quella nucleare importata dalla Francia, Svizzera e Germania.

Anche nel nostro paese, però, in vista degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ e gas serra, previsti dal protocollo di Kyoto, dell'obiettivo 20-20-20 dell'UE in materia di clima-energia, ci si sta muovendo verso una politica di incentivazione delle rinnovabili. Ed è proprio in questo contesto, visto lo sviluppo di eolico e solare negli ultimi anni,

che si pensa ad una promozione dell'accumulo di energia verde mediante impianti di pompaggio. In un certo senso già oggi le nostre centrali di pompaggio, situate sull'arco alpino, contribuiscono, direttamente o indirettamente, ad accumulare il surplus di energia eolica prodotto nei Paesi vicini come la Germania e la Francia. Tuttavia, nella prospettiva di un ampliamento della produzione nazionale di energia elettrica da fonti rinnovabili, è allo studio la verifica della realizzabilità di un'integrazione eolico-idrico così come in Portogallo e alle Canarie, al fine di garantire anche in Italia una maggiore costanza dell'energia prodotta da fonti rinnovabili.

Attualmente il dibattito è ancora aperto. Ad esempio, in vista di un incremento della potenza eolica installata, si sostiene addirittura la costruzione di nuovi impianti di pompaggio, anche utilizzando invasi esistenti per altri usi. In tal caso, però, sarà opportuno che gli impianti di generazione e pompaggio siano posti nelle vicinanze dei maggiori generatori eolici per ridurre le perdite dovute al trasporto di energia a lungo raggio.

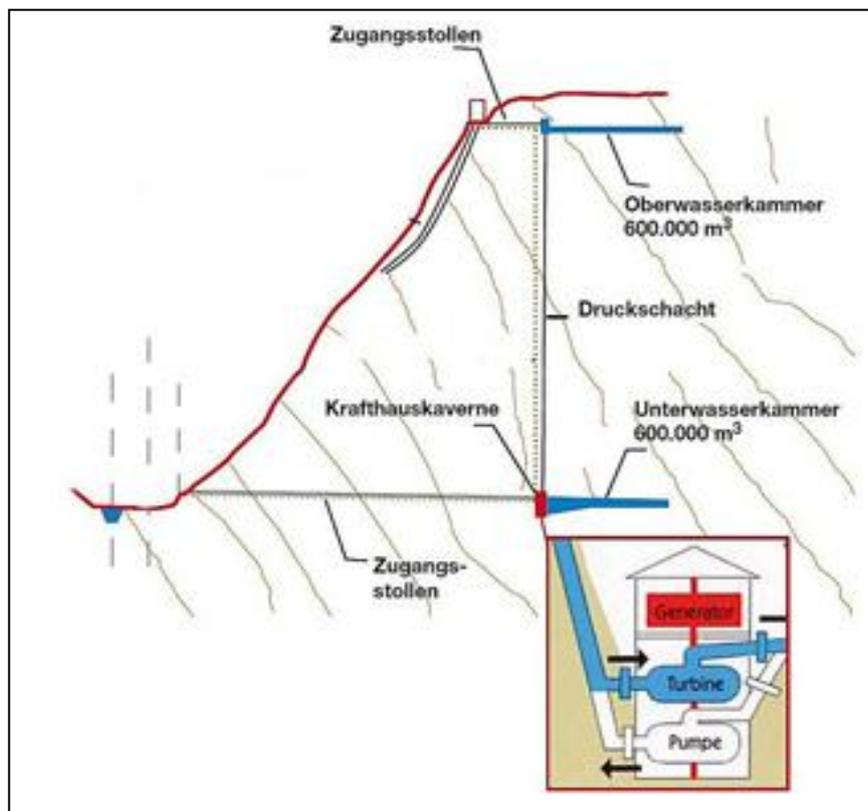


Figura 4: Schema del progetto della centrale di Laives (Fonte: South Tyrol Energy)

Su questa prospettiva si basa il recente progetto di una nuova centrale di pompaggio in Alto Adige (Figura 4). Si tratta della centrale idroelettrica (interamente sotterranea) di Laives (Bz), progettata dalla South Tyrol Energy S.r.l, che si pone come obiettivo primario proprio l'accumulazione di energia eolica e/o solare. L'impianto, completamente in caverna, è composto da una camera superiore e una inferiore del volume di 600.000 m^3 . Una volta riempite, le vasche devono essere integrate nel tempo dalle perdite d'acqua che sono minime. Questo consente appunto di collocare la centrale in luoghi con risorse idriche disponibili di entità modesta. La centrale è dotata di un gruppo ternario pompa, turbina, alternatore/motore. Un impianto di questo tipo può essere collocato vicino ai parchi eolici con facilità, riducendo praticamente a zero le perdite di trasferimento dell'energia elettrica fra il generatore eolico e la centrale di accumulazione.

2. Energia per l'acqua

2.1 Energia per produrre acqua

2.2 Energia per trasportare acqua

2.1 Energia per produrre acqua

Si è già rilevato come i consumi idrici siano, complessivamente, mediamente pari alla metà dei prelievi. Questo significa che sono disponibili notevoli risorse di acqua utilizzata e restituita al ciclo idrologico. Il riutilizzo dell'acqua è e sarà elemento essenziale della gestione delle crisi idriche; l'impiego dell'acqua in cascata per usi diversi rappresenta, infatti, spesso l'unica possibilità di approvvigionamento. Naturalmente, tutti i trattamenti richiedono energia e possono risultare, quindi, convenienti in dipendenza dai costi energetici. Si rimanda, per un approfondimento dei diversi aspetti di tale questione, alle relazioni specifiche presentate al Convegno e, in particolare, a quella relativa al tema della dissalazione, per il quale il legame acqua-energia svolge un ruolo cruciale.

Ci limitiamo qui ad accennare alla connessione fra disponibilità qualitativa e quantitativa della risorse idriche.

Nella Figura 5 è descritto un andamento generico della qualità dell'acqua seguendo un suo ipotetico flusso naturale e tecnologico: trattamenti e fenomeni di autodepurazione determinano un innalzamento del suo valore qualitativo, mentre gli usi inducono un peggioramento.

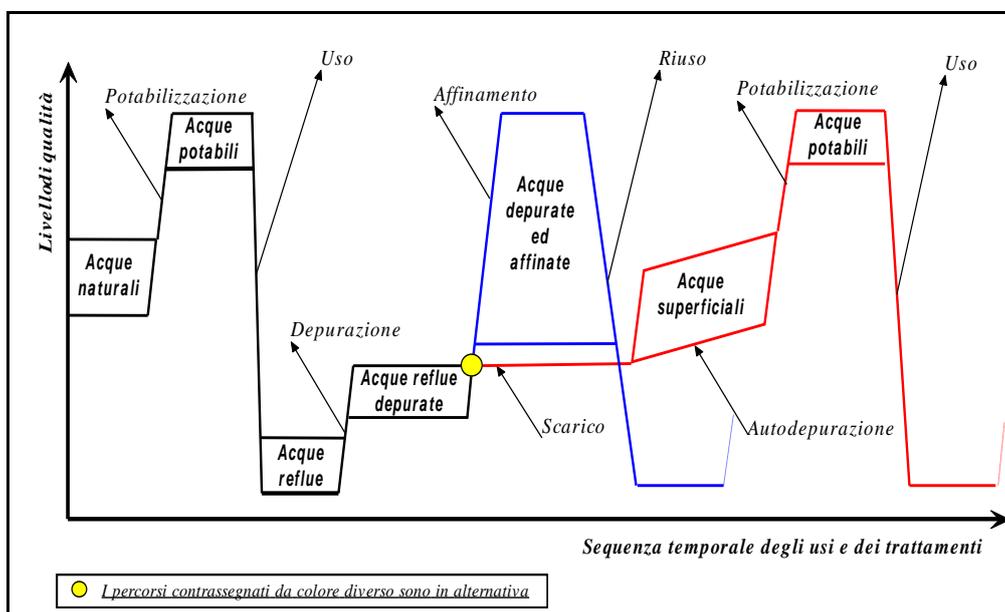


Figura 5: Andamento della qualità dell'acqua seguendo in successione l'ipotetico flusso naturale e tecnologico. (Federici et al, 2009)

Tenendo conto del costo necessario a raggiungere lo standard desiderato di qualità della risorsa, l'innalzamento del suo livello qualitativo può essere interpretato come un incremento del suo valore economico: in altre parole, utilizzare l'acqua equivale non solo a diminuire la risorsa disponibile, ma anche a de-valorizzare il bene. Laddove il costo di trattamento o la tariffa dell'acqua rappresentano un vincolo economico rilevante, l'aspetto qualitativo gioca un ruolo

non trascurabile sull'effettiva disponibilità della risorsa idrica e di conseguenza il controllo dei fenomeni di inquinamento.

Può essere illustrativo, in tal senso, confrontare i costi (di capitale e gestione) necessari alla potabilizzazione di acque aventi qualità originaria molto differente (Tabella 4).

Qualità acqua all'origine	Costo (Euro/m ³)
Acqua sotterranea di buona qualità	0,03
Acqua di fiume categoria A1 (ai sensi d.Leg.vo 152/06)	0,15
Acqua di fiume categoria A3 (ai sensi d.Leg.vo 152/06)	0,30
Acqua salmastra	0,60
Acqua marina	1,00
Acqua reflua civile	1,30

Tabella 4: Costi di potabilizzazione (impianto da 30.000 m³/d) (Fonte: Federici et al, 2009)

Un elemento centrale nella riduzione dei costi, e quindi nell'aumento della disponibilità della risorsa, è la possibilità di utilizzare acque di minor valore qualitativo per usi che richiedono livelli qualitativi inferiori, razionalizzando cioè l'incontro dell'offerta con la domanda. Una tipica applicazione di questo concetto è il riutilizzo delle acque reflue, in particolare per uso irriguo. Il riuso delle acque reflue in campo agricolo, sia depurate che grezze, è pratica molto antica, alla quale si ricorreva già ai tempi della civiltà minoica nel 3000 a.C.. Tuttavia, nella sua versione moderna, essa ha conosciuto le sue tappe fondamentali dopo gli anni '60 (Asano e Levine, 1996), pur essendo maturata la necessità di una sua regolamentazione già all'inizio del secolo (il primo esempio di regolamentazione si è avuto in California nel 1918). Un esempio generico di sistema integrato è quello riportato in Figura 6.

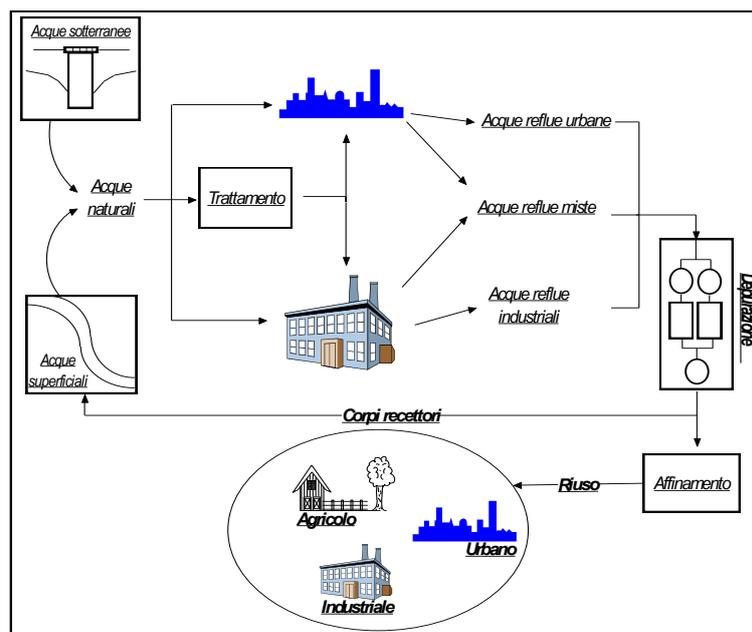


Figura 6: Schema integrato di uso delle acque convenzionali e non convenzionali (Fonte: AWWA, 1994)

Da decenni la normativa sia a livello nazionale che internazionale cerca di indicare e favorire il riuso delle acque reflue (Riganti, 2007). Ci sono ormai anche in Italia numerosi casi di riutilizzo anche a grande scala di acque industriali (distretti tessili, distretti conciari etc.). Basti citare il caso emblematico del comprensorio tessile di Prato in Toscana e della sua fiorente industria tessile negli anni sessanta e settanta del secolo scorso. Il sovra sfruttamento industriale provocò un forte abbassamento della falda sottostante la città. A questo fu posto rimedio con grandi impianti di riciclaggio dell'acqua industriale. La società GIDA srl, gestore del depuratore di Prato a partire dagli anni '90, fornisce acqua riciclata alle industrie, anche attraverso un acquedotto industriale. Oggi, con la crisi economica, non solo le imprese del tessile si servono di questo servizio, ma sono allacciati anche artigiani e piccoli imprenditori di altri settori.

2.2 Energia per trasportare acqua

L'acqua per spostarsi ha bisogno di energia. Negli impianti a gravità l'energia è quella naturale, che deriva dalla quota dove l'acqua si trova rispetto al recapito finale. Essa è necessaria per compensare le perdite di energia nei tubi e nei canali dove l'acqua viaggia. Spesso, però, l'acqua richiede che le sia fornita energia per spostarsi e questa energia viene fornita dalle pompe.

Le reti di distribuzione cittadina hanno tipicamente bisogno di energia per sollevare l'acqua dagli impianti di potabilizzazione ai serbatoi di compenso e di riserva della rete di distribuzione. Un parametro che i gestori cercano di ottimizzare è proprio il costo del m³ d'acqua al serbatoio, che comprende sia i costi di potabilizzazione che i costi energetici.

Di pompe c'è spesso bisogno anche nei grandi trasferimenti d'acqua. Ad esempio, il nostro sistema acquedottistico più grande, l'Acquedotto pugliese, è un grande esempio di ingegneria idraulica, con un misto di impiego di energia gravitazionale e di pompaggio.

In Figura 7 sono riportati, dalla documentazione del Piano di gestione del Distretto dell'Appennino Meridionale, i trasferimenti d'acqua. Essi comprendono in particolare quelli verso la Puglia, regione praticamente priva di risorse idriche che ha potuto svilupparsi solo grazie ai trasferimenti d'acqua realizzati nel secolo scorso.

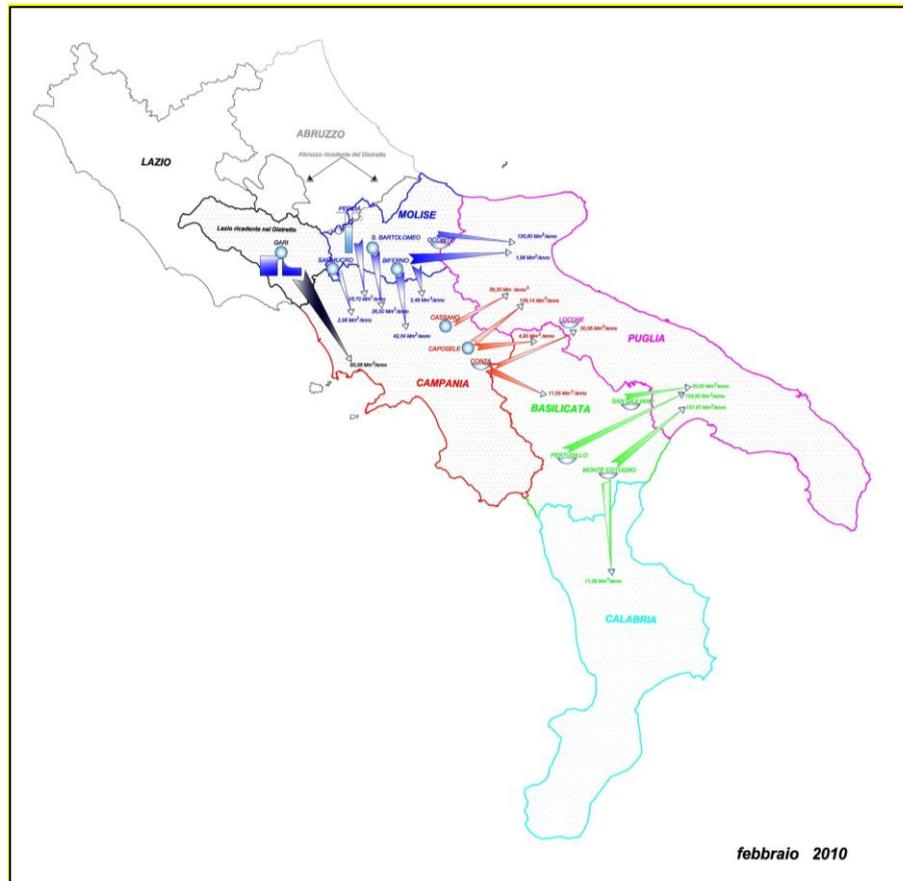


Figura 7: I grandi trasferimenti d'acqua del Meridione (Distretto Appennino Meridionale, 2011)

I dati riassunti nel seguito dimostrano la grande rilevanza dei trasferimenti realizzati nelle regioni meridionali che rappresentano i più grandi trasferimenti a livello europeo e anche a livello mondiale.

Trasferimento Regione Lazio	→	Regione Campania:	95 Mm ³ /anno
Trasferimento Regione Molise	→	Regione Campania:	123 Mm ³ /anno
Trasferimento Regione Molise	→	Regione Puglia:	63 Mm ³ /anno
Trasferimento Regione Campania	→	Regione Puglia:	143 Mm ³ /anno
Trasferimento Regione Basilicata	→	Regione Puglia:	220 Mm ³ /anno
Trasferimento Regione Campania	→	Regione Basilicata:	164 Mm ³ /anno

Nei consumi energetici dei paesi sviluppati l'energia per produrre e trasportare acqua rappresenta una parte molto significativa.

Considerando unicamente i costi di trasporto per trasferire acqua su medie o lunghe distanza la letteratura si limita a considerare i dati (non sempre disponibili per ragioni di riservatezza delle società di ingegneria) di grandi progetti di trasporto. In Zhou et al, (2004) sono forniti i costi per metro cubo di numerosi progetti (dal Nilo a Gaza, dalla Turchia a Cipro, il collegamento dal Mar Rosso a Mar Morto (World Bank, 2009), i costi di trasporto dell'acqua nel Piano idrologico nazionale di Spagna, dal fiume Colorado a Phoenix e Tucson, i costi di trasferimento d'acqua dello Yangtze a nord della Cina). I parametri che contano nella stima dei costi sono i grandi volumi d'acqua da trasferire (i miliardi di metri cubi dello Yangtze sono trasportati nel Nord della Cina a circa 7-10 centesimi di Euro a m³), l'altezza di

sollevamento, la lunghezza delle condotte o dei canali. Per trasportare l'acqua dall'Ebro a Barcellona si stima un costo di circa 25 centesimi di euro a metro cubo. Costi simili ci sono per il trasporto di acqua dalla Turchia a Cipro. Per trasportare acqua dal fiume Colorado a Phoenix e Tucson, per una distanza orizzontale di 550 km e a un sollevamento di circa 750 metri, i costi salgono a circa 55 centesimi di euro a metro cubo. Quello che conta infatti prevalentemente sono i costi energetici che dipendono linearmente dalle distanze, ma con pesi diversi a seconda che si tratti di distanze orizzontali o verticali: nella stima dell'energia necessaria 1 metro di dislivello ha peso 1 mentre per le distanze orizzontali (la lunghezza delle tubazioni) un metro pesa, indicativamente, $1/1.000$ di un metro di dislivello, che è l'energia per vincere le perdite di carico, stimata mediamente a 1 m d'acqua per un km di tubazione

3. La crisi dei sistemi idrici

3.1 I sistemi idrici del pianeta

3.2 I sistemi idrici dell'Europa

3.1 I sistemi idrici del pianeta

Per quantificare in termini essenziali la crisi dei sistemi idrici del pianeta consideriamo la Figura 8 che illustra l'andamento dei prelievi e dei consumi a partire dal 1900. Sono, inoltre, incluse le previsioni al 2050, espresse procapite, in modo, cioè, da tener conto dello sviluppo demografico.

La Figura 8 evidenzia come dagli anni '80 la dotazione idrica procapite dell'abitante "medio" del pianeta stia diminuendo, una tendenza che non sembra proprio possibile invertire. Questo non era mai accaduto nella storia del genere umano. Un quarto di secolo di trend negativo si è concretamente espresso in numerose catastrofi ambientali dovute sostanzialmente al sovra sfruttamento della risorsa, un fatto, peraltro, confermato dalla già citata variazione dell'Earth Overshoot Day.

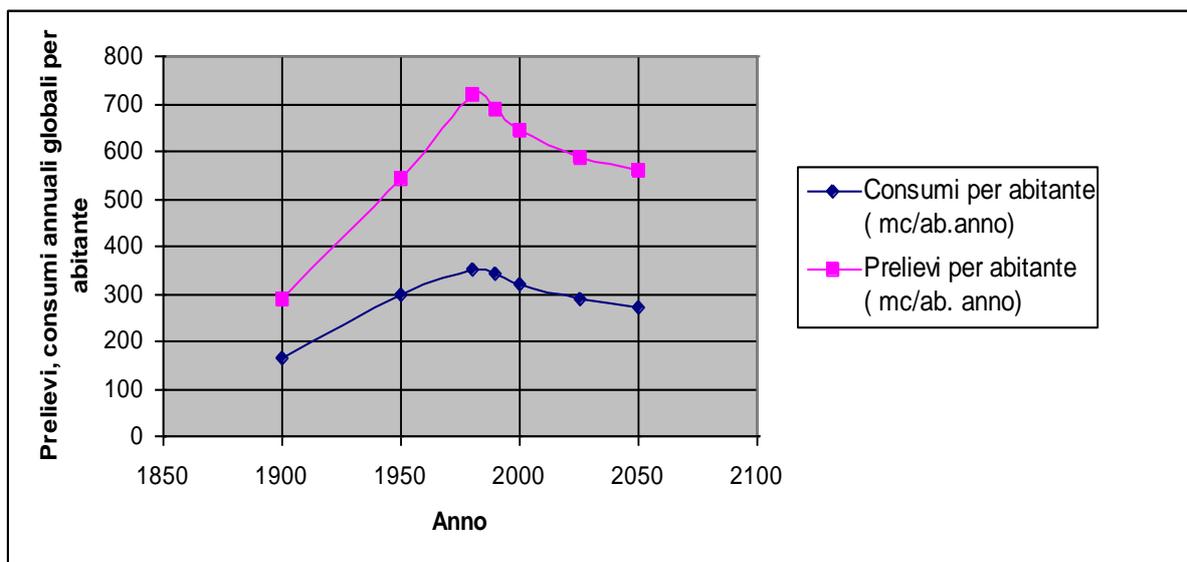


Figura 8: *Evoluzione dei prelievi e dei consumi totali e procapite (dati tratti da Shiklomanov, 1999).*

In Tabella 6 sono riportati i risultati di studi più recenti (2010) del 2030 Water Resources Group contenuti nel rapporto "Charting Our Water Future: Economic frameworks to inform decision-making"

Prelievi e consumi idrici. 1900-2050							
ANNI	1900	1950	1980	1990	2000	2025	2050
Popolazione (milioni)	2.000	2.542	4.410	5.285	6.181	8.000	9.200
Aree irrigate (milioni di ettari)	47	1.001	198	243	264	307	331
Prelievi agricoli (km3/anno)	513	1.080	2.112	2.425	2.605	3.053	3.283
Consumi agricoli (km3/anno)	321	722	1.445	1.691	1.834	2.143	2.309
Rapporto consumi agricoli prelievi	63%	67%	68%	70%	70%	70%	70%
Prelievi agricoli procapite (m3/anno per abitante)	257	425	479	459	421	382	357
Consumi agricoli procapite (m3/anno per abitante)	161	284	328	320	297	268	251
Prelievi civili (km3/anno)	22	87	219	305	384	522	618
Consumi civili (km3/anno)	5	17	38	45	53	74	86
Rapporto consumi civili prelievi (%)	21%	19%	17%	15%	14%	14%	14%
Prelievi civili procapite (m3/anno per abitante)	11	34	50	58	62	65	67
Consumi civili procapite (m3/anno per abitante)	2	7	9	9	9	9	9
Prelievi industriali (km3/anno)	44	204	713	735	776	834	875
Consumi industriali (km3/anno)	5	19	71	79	88	104	116
Rapporto consumi industriali prelievi (%)	11%	9%	10%	11%	11%	12%	13%
Prelievi industriali procapite (m3/anno per abitante)	22	80	162	139	126	104	95
Consumi industriali procapite (m3/anno per abitante)	3	7	16	15	14	13	13
Evaporazione da serbatoi km3/anno	0,3	11,1	131	167	208	302	362
Prelievi totali (km3/anno)	579	1.382	3.175	3.632	3.973	4.711	5.138
Consumi totali (km3/anno)	331	758	1.554	1.815	1.975	2.321	2.511
Rapporto consumi totali prelievi (%)	57%	55%	49%	50%	50%	49%	49%
Prelievi procapite (m3/anno per abitante)	289	544	720	687	643	589	558
Consumi procapite (m3/anno per abitante)	165	298	352	343	319	290	273

Shiklomanov I.J., 1999: *World water resources and water use: present assessment and outlook for 2025*, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and UNESCO, Paris.

Tabella 5: *Prelievi e consumi idrici 1900-2050 (Fonte: Shiklomanov, 1999)*

PRELIEVI E RISORSE 2010 - 2030				
PRELIEVI	2010	2030	(Km ³)	RISORSE (esistenti, affidabili, sostenibili) (affidabilità 90%, al netto delle richieste ambientali)
TOTALE	4500	6900		TOTALE 4200
Civili	600	900		
Industria	800	1500	acque sotterranee	700
Agricoltura	3100	4500	acque superficiali	3500
Aumento 2% ANNUO DEI PRELIEVI			DEFICIT DEL 40% NEL 2030 (2700 KM³)	
E' ALLORA NECESSARIO UN APPROCCIO QUALI-QUANTITATIVO CIOE' IL RIUSO DELL'ACQUA				

Tabella 6: *Prelievi e risorse idriche 2010-2030 (dati Water 2030 Global Water Supply and Demand model; agricultural production based on IFPRI IMPACT-WATER base case)*

Da essa si evince il dato già citato in precedenza: le risorse rinnovabili nelle regioni interessate da attività antropiche sono stimate pari a 4.200 km³, a fronte di 4.500 km³ di prelievi effettivi. Ancora più preoccupante è lo scenario al 2030, nel quale si evidenzia che il deficit rispetto al fabbisogno, stimato con un incremento medio del 2% annuo, raggiungerebbe 2.700 km³ (40%).

Dallo studio emerge, inoltre, che, pur ipotizzando di realizzare un più razionale sfruttamento della risorsa, con miglioramenti scientifici, tecnologici e gestionali, nonché nuovi investimenti in opere idrauliche, si otterrebbe solo il 40% di riduzione del deficit potenziale. Rimarrebbero, cioè, circa 1.600 Km³ da attingere da fonti non rinnovabili. È evidente che lo scenario “business as usual”, del 2% di aumento medio annuale dei consumi, condurrebbe ad uno sviluppo sempre più insostenibile e le catastrofi ambientali di origine antropica crescerebbero sempre più rapidamente.

Dalla Tabella 7, sempre del 2030 Water Resource Group, si evince facilmente dove è prevedibile che queste catastrofi accadranno.

Crescita della domanda annuale 2005 – 2030					
Miliardi di m ³ (Km ³)					
		cambiamento dal 2005 (%)	Agricoltura	Industria	Civile
China	532	61	178	300	54
India	467	58	338	89	40
Sub-Saharan Africa	440	283	320	28	92
Rest of Asia	440	54	243	117	80
Nord America	326	43	181	124	21
Europe	184	50	72	100	12
South America	180	95	89	68	23
Middle East and North Africa	100	47	85	6	9
Oceania	28	109	21	7	0
Total	2.697		1.527	839	331

Tabella 7: Crescita della domanda annuale 2005-2030 (2030 Water Resource Group, 2010)

Questi incrementi della domanda sono semplicemente non sostenibili in molte aree del pianeta. Come già osservato, molto potrà essere fatto riutilizzando l'acqua, per più usi, in cascata. Le crisi crescenti saranno evidentemente diverse nei diversi sistemi idrici ma, complessivamente, il pianeta si troverà ad affrontare crisi sempre più complesse e interconnesse fra di loro, attraverso il nesso acqua, cibo e energia che affronteremo in seguito. È, però, fin da ora evidente che è necessario un profondo cambiamento culturale per affrontare questa crisi globale di risorse: l'approccio “business as usual” non è più un'opzione accettabile. Lo dimostrano proprio lo studio del 2030 Water Resource Group (composto prevalentemente, come già osservato, da multinazionali dell'alimentazione e della finanza) e lo studio citato nel seguito del Global Risk Forum (2011) anch'esso espressione del capitalismo multinazionale più significativo. Entrambi questi rapporti segnano un cambiamento di atteggiamento rispetto al passato del capitalismo internazionale a dimostrazione della gravità della situazione e delle prospettive.

3.2 I sistemi idrici dell'Europa

La Tabella 7 mostra che l'aumento previsto dei prelievi in Europa è più modesto di altre aree del pianeta. Se ci limitiamo a considerare i paesi dell'Unione, in particolare di quella a 15, dove le statistiche sono più affidabili e le serie storiche più lunghe le prospettive non sono, mediamente, troppo preoccupanti. Le politiche europee (in particolare la WFD - Water Framework Directive del 2000 e successivi provvedimenti) stanno producendo, anche se in qualche paese faticosamente, buoni frutti.

In Figura 9 si può verificare come il prelievo dell'Unione Europea a 15 paesi sia ripartito nelle due fonti superficiali e sotterranee e come l'acqua per raffreddamento delle centrali rappresenti, insieme all'agricoltura, la parte preponderante dei prelievi.

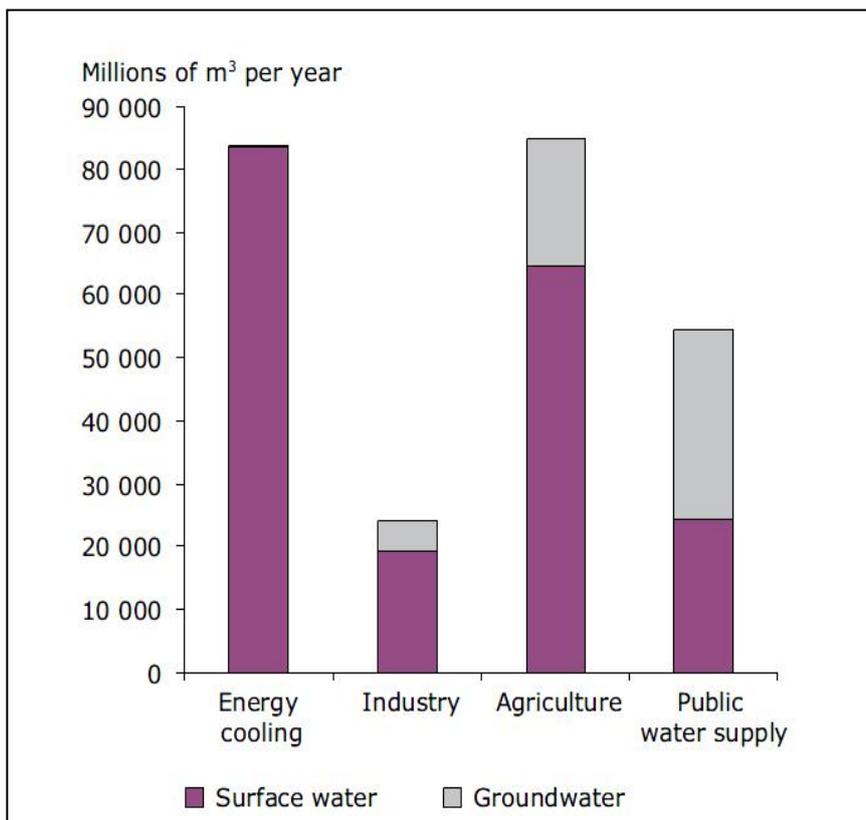


Figura 9: *Prelievo medio annuale nell'UE-15 per settore e per fonte, 1997-2005 (Fonte: Eurostat)*

In Figura 10 è rappresentata la disponibilità idrica pro capite per anno. Come si può osservare per molti paesi europei importanti (Germania, Polonia, Repubblica Ceca, Bulgaria, Belgio), essa risulta già critica (Very low: al di sotto di 2.000 m³/anno procapite), ricordando peraltro che l'indice di Falkenmak fissa in 1.700 la soglia al di sotto della quale si entra nelle condizioni di stress idrico.

Paesi privi di risorse idriche proprie compensano accedendo a risorse "esterne": è il caso dell'Ungheria e dell'Olanda. Ci sono poi paesi per i quali la disponibilità idrica è definita Low (minore di 5.000 m³/anno procapite), Gran Bretagna, Italia, Spagna, Francia: in essi le crisi idriche, cambiamenti climatici compresi, saranno più facilmente gestibili se i consumi non aumenteranno, cioè se la popolazione sarà sostanzialmente stabile e lo sviluppo, se ci sarà, non sarà idroesigente.

Caso diverso è quello della Turchia che ha di fronte una crescita demografica ed economica notevole che potrà indurre crisi idriche rilevanti.

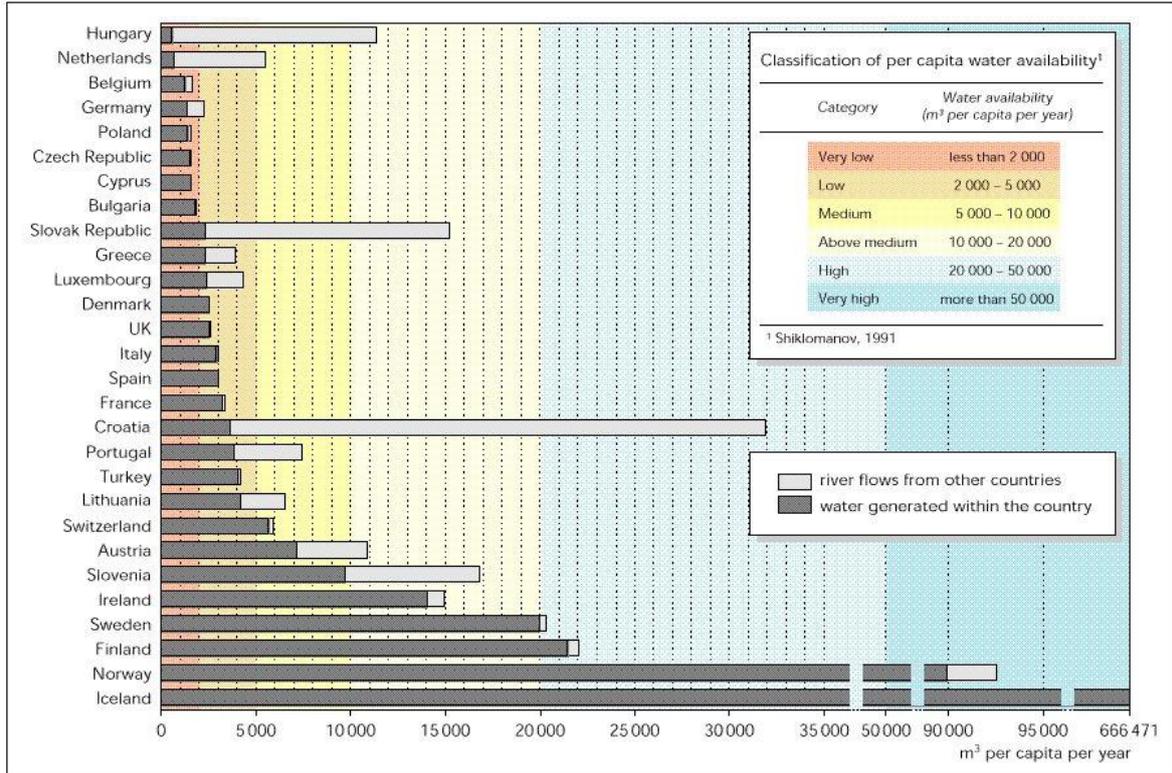


Figura 10: Disponibilità pro capite di risorsa idrica [m³/cap/anno] (Fonte: Eurostat)

Queste osservazioni spiegano in parte la struttura dei prelievi riportata in Figura 11: la variabilità dei prelievi dipende essenzialmente da ragioni climatiche e dal ruolo dei prelievi a scopo irriguo.

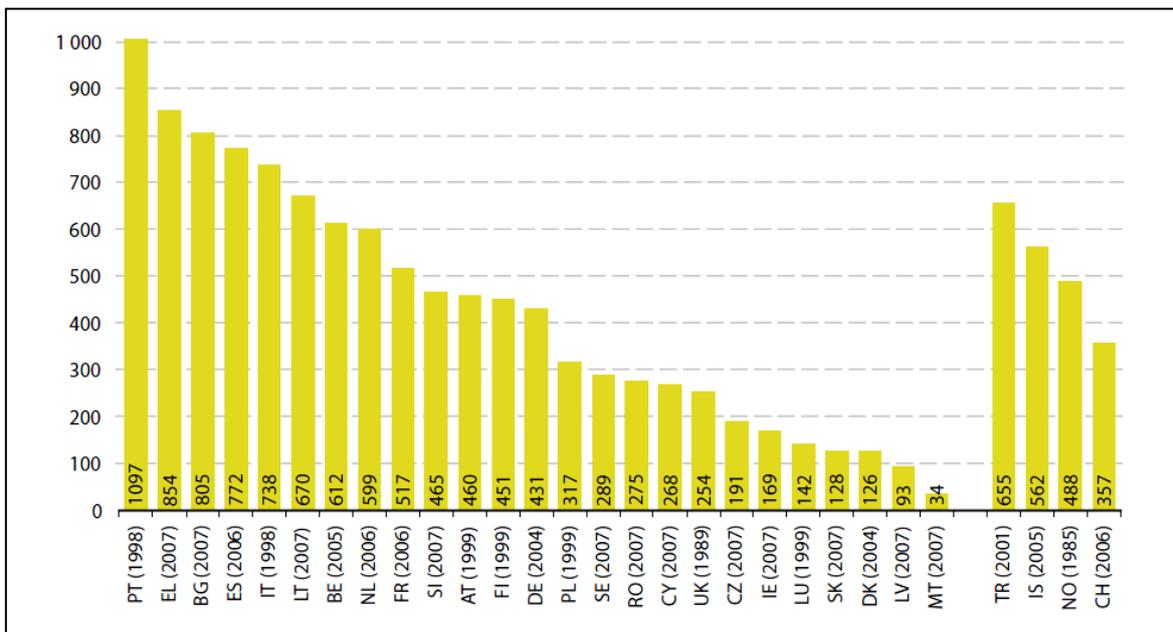


Figura 11: Prelievo pro capite negli Stati membri, ultimo anno disponibile [m³/cap] (Fonte: Eurostat)

Per misurare la crisi dei sistemi idrici è necessario utilizzare opportuni indicatori di prestazioni, anche a fini di benchmarking fra i vari sistemi. La WFD è rigorosa in questo senso e i paesi europei sono tutti impegnati a garantire una qualità accettabile dei loro sistemi idrici utilizzando questi indicatori.

In questa sede ci limitiamo a considerare il Water Exploitation Index (WEI) al fine di valutare la situazione nei paesi europei. Il Water Exploitation Index (WEI) rappresenta il prelievo totale annuo espresso come percentuale di risorsa idrica rinnovabile disponibile. Il valore di soglia di tale indicatore al di sopra del quale si è in presenza di stress idrico è pari a circa 20% (Raskin et al.; 1997). Lo stress idrico può definirsi severo se il WEI supera il 40%, indicando un uso della risorsa non sostenibile.

Dalla Figura 12 si rileva che, in Europa, al 2010 cinque Stati possono essere considerati sotto stress idrico (Cipro, Belgio, Spagna, Italia, Malta). In essi vive complessivamente il 19.5% della popolazione. Il WEI è diminuito nei 24 Paesi di circa il 12% nel periodo 1990-2007, tuttavia in cinque Paesi (Olanda, Grecia, Finlandia, Slovenia, Turchia e Cipro) è aumentato.

Occorre sottolineare come l'indicatore qui esaminato non tenga conto della variabilità nel singolo Stato: essa può essere molto forte, con intere regioni in condizioni di stress idrico severo. Negli ultimi decenni, l'incremento della popolazione urbanizzata, l'aumento dei consumi e la diminuzione della disponibilità della risorsa per effetto del cambiamento climatico, nonché l'introduzione di adeguati standard di qualità per le acque potabili, hanno contribuito a un generale incremento dello stress idrico nelle grandi città. Inoltre, la produzione agricola nell'Europa meridionale è cresciuta sensibilmente negli ultimi 60 anni, accentuando la differenza fra domanda e disponibilità della risorsa.

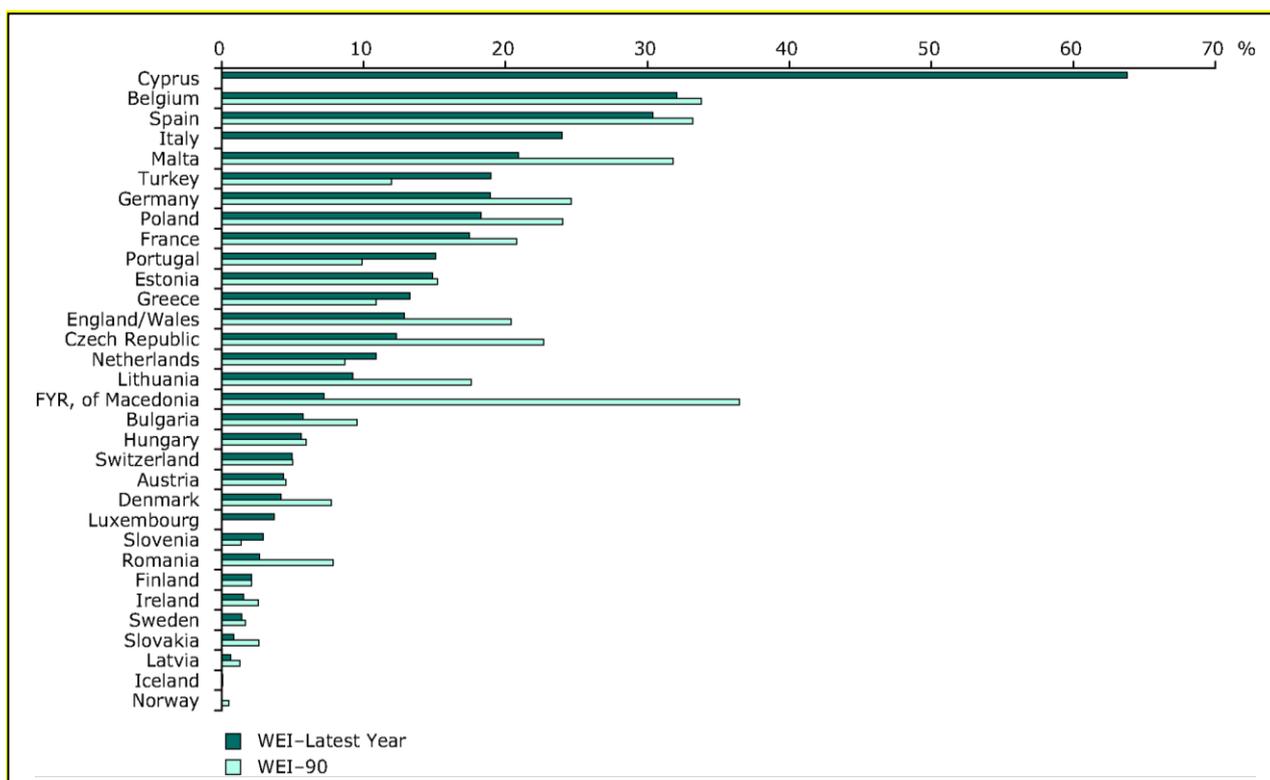


Figura 12: WEI degli Stati membri. Valore ultimo anno disponibile confrontato con quello del 1990 (Fonte: EEA-European Environment Agency)

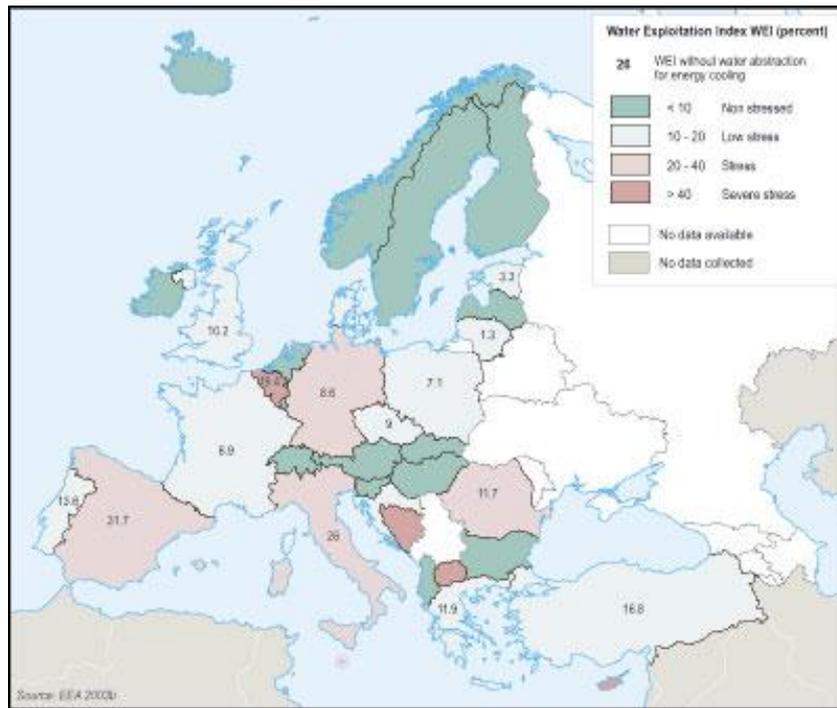


Figura 13: Carta del Water Exploitation Index (WEI) (UNEP-GRID,2011)

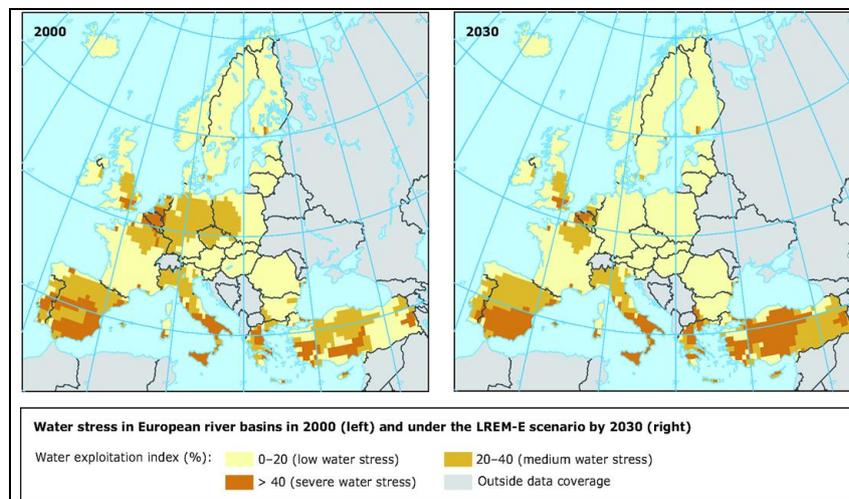


Figura 14: Stress idrico (WEI) nel 2000 a confronto con proiezione 2030 (Fonte: EEA)

La Figura 14 mostra le previsioni al 2030, che sembrano suggerire un complessivo miglioramento delle condizioni di stress idrico in particolare in Germania e in Polonia e il permanere di condizioni critiche nel sud dell'Italia e della Spagna. La situazione in Turchia si aggraverà molto, a fronte, come accennato, del suo sviluppo demografico ed economico. Si noti, inoltre, che queste valutazioni tengono conto anche della riduzione delle precipitazioni indotta dal cambiamento climatico secondo le previsioni della European Environment Agency (EEA) riportate in Figura 15

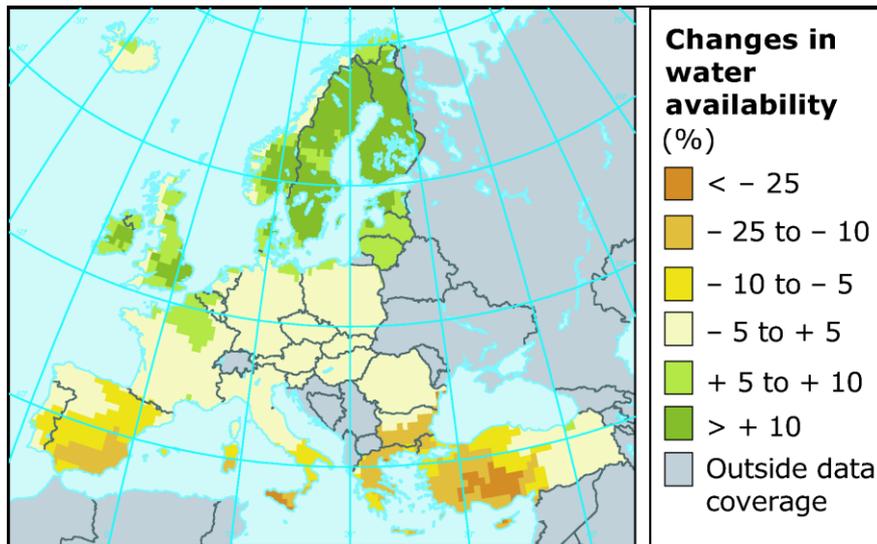


Figura 15: Proiezione della variazione di disponibilità della risorsa per il 2030 (Fonte: EEA)

Le buone prospettive, di sostanziale stabilità e anzi di miglioramento degli scenari al 2030 dei sistemi idrici europei sono confermate dalle previsioni della EEA - che vedono una sostanziale stabilità dei prelievi per l'agricoltura e per gli usi civili, un aumento dei prelievi per l'industria abbondantemente compensati dalla riduzione dei prelievi per la produzione di energia elettrica: si ridurranno, infatti, le necessità di raffreddamento per effetto della sostituzione di centrali nucleari e termoelettriche con impianti di produzione di energie rinnovabili.

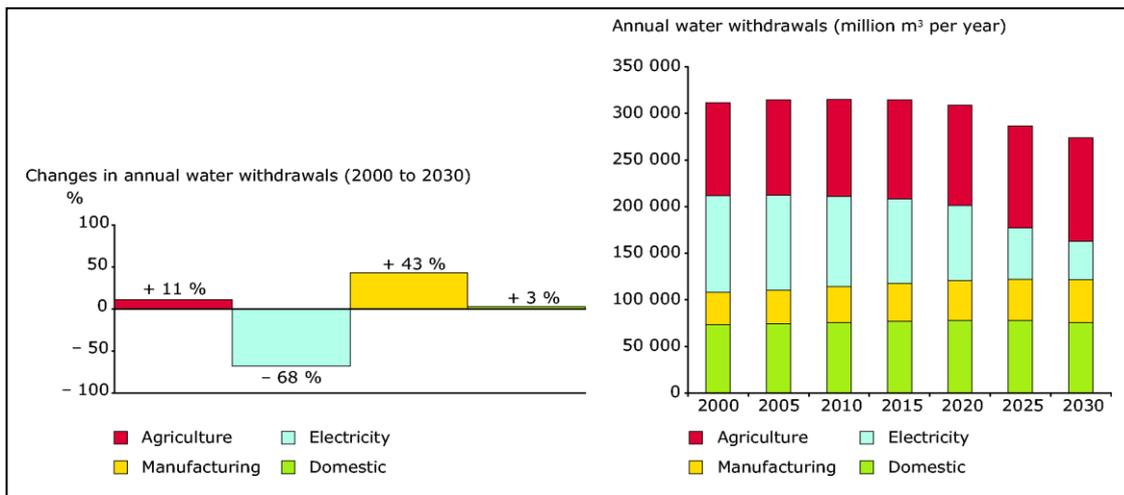


Figura 16: Prelievi nell'UE, confronto fra anno 2000 e proiezione 2030 (Fonte: EEA)

Possiamo, in conclusione, affermare che le criticità dei sistemi idrici europei possono essere affrontate e superate nel quadro di una politica europea comune. È chiaro che le direttive della WFD hanno necessità di essere applicate in ogni paese con efficacia. Non è questa la sede per scrivere dell'Italia e delle sue difficoltà sia in riferimento al Servizio Idrico Integrato che alla gestione dell'acqua come parte dell'ecosistema. Il "governo dell'acqua" in Italia ha avuto e ha aspetti contraddittori e problematici (Rinaldo, 2009) e forse, come per altre questioni della nostra società, solo la dimensione europea può favorirne la soluzione. Non si entra in questa sede nel dibattito relativo all'Italia e alle problematiche connesse la prossimo referendum (giugno 2011). Per un riferimento fra i molti sul dibattito italiano sull'acqua si veda D'Angelis et al, 2011.

4. Conflitti Acqua – Energia

Ci limitiamo, in questa sede, ad accennare a due tipologie di conflitti connessi all'accanita ricerca di nuove risorse idroenergetiche: quello, a scala planetaria, relativo alla realizzazione di grandi impianti (Large Hydro) e quello che ha investito i nostri corsi d'acqua per la realizzazione di piccoli impianti (Mini Hydro). In particolare, esamineremo un caso di approvvigionamento insostenibile connesso ai prelievi del servizio idrico integrato in Toscana.

Large Hydro

È in atto a livello planetario una ricerca sempre più accanita delle grandi risorse idroenergetiche non ancora utilizzate, un processo peraltro iniziato da molto tempo.

I paesi europei (Italia, Francia, Germania, Austria, Svizzera, etc) avevano già sostanzialmente sfruttato negli anni sessanta del secolo scorso tutte le proprie risorse idroelettriche convenienti dal punto di vista tecnico - economico. La crisi petrolifera dei primi anni settanta scatenò la caccia alle notevolissime potenzialità idroenergetiche africane, che già i costruttori di impianti idroelettrici europei avevano iniziato nelle loro colonie che si stavano liberando.

Già l'ENEL progettava a metà degli anni settanta il trasporto in Europa di energia elettrica da prodursi negli impianti del bacino del Congo (Centrali di INGA), attraverso linee a 1.000 KV in corrente alternata che furono oggetto di sue ricerche, in concorrenza alle linee ad alta tensione in corrente continua, rivelatesi poi più adatte di quelle in alternata per trasporti su lunghe distanze.

Oggi questi progetti, poi abbandonati per difficoltà tecniche, economiche e politiche e per i problemi di assorbimento di energia elettrica nel mercato africano, tornano prepotentemente di attualità per la fame di energia e di energie rinnovabili in particolare. La caccia riparte in tutto il mondo: si progettano, in particolare, la Grande INGA (circa 35.000 MWe) sul fiume Congo e le dighe nelle aree incontaminate della Patagonia di ENEL - ENDESA per alcune migliaia di MWe. Si tratta di luoghi praticamente disabitati, dove esistono importanti risorse idro-energetiche il cui utilizzo richiederà trasporto a distanza dell'energia elettrica prodotta o la collocazione vicino alla centrale di industrie a elevato consumo di energia. È il caso ad esempio dell'impianto di Kranjukar in Islanda e dell'ALCOA. L'impianto è stato realizzato per alimentare un impianto di produzione di alluminio. Il semilavorato (ossido di alluminio) è importato dall'Africa per essere trattato in Islanda usando energia idroelettrica prodotta da un impianto che ha un costo del KWh bassissimo. Si tratta di una prassi molto utilizzata per la produzione di alluminio, che ha già visto la realizzazione di numerosi impianti in tutto il mondo.

Il problema della ricerca di nuove risorse si estende peraltro a tutto il pianeta. Lo spazio non ci consente di approfondire le note questioni emerse, ad esempio, a valle della costruzione di nuove dighe in India, che hanno ricevuto gli onori della cronaca anche per l'opposizione di Vandana Shiva (2003). Analogamente, i conflitti internazionali in Asia riferiti all'acqua sono strettamente collegati alla produzione idro-energetica: ne sono drammatici esempi gli impianti programmati da parte della Cina sul Brahmaputra e sul Mekong che delineano enormi questioni di politica e diritto internazionale e il perenne conflitto fra India e Pakistan per l'Indo.

Mini Hydro

I Certificati Verdi collegati al Protocollo di Kyoto hanno fortemente sviluppato la ricerca in Italia di risorse idroelettriche minori. Gli incentivi, permettendo circa di raddoppiare la redditività a carico della fiscalità generale, hanno provocato un numero di richieste di derivazione che appare veramente eccessivo. Il rischio di degrado ambientale

collegato alla realizzazione di tutti questi impianti potenziali rappresenta un pericolo notevole e richiede attente valutazioni del bilancio idrico e del rispetto dei deflussi vitali per il mantenimento degli ecosistemi. E' auspicabile che le Authorities, a partire da quella di Distretto Idrografico, riescano a controllare tale fenomeno e a rendere l'utilizzo della risorsa idrica a fini energetici compatibile con i suoi altri usi e con le esigenze ambientali.

L'approvvigionamento “insostenibile” del servizio idrico integrato in Toscana

In uno studio della CISPEL Toscana del 2008 (CISPEL, 2008) venivano presentati dati molto preoccupanti circa la sostenibilità ambientale dell'approvvigionamento idrico in Toscana.

Su circa 5.400 punti di prelievo per il servizio idropotabile, circa 5.100 presentavano caratteristiche di insostenibilità (degrado della qualità delle falde, trattandosi di solito di piccoli prelievi da acque sotterranee) in almeno qualche periodo dell'anno. In termini di volume la componente insostenibile del prelievo era pari a circa il 30% dell'acqua complessivamente prelevata per il servizio idrico. Questa situazione è resa possibile dal combinato disposto di chimica ed energia: trattamenti sempre più spinti permettono di correggere come si vuole una risorsa che si va depauperando e che nessuno sostanzialmente difende. Il parametro di riferimento, come già ricordato, è il costo al m³ al serbatoio di distribuzione della rete, che è determinato appunto dal costo di prelievo, di trattamento, di pompaggio. In periodi di crisi della risorsa si abbandona un razionale uso della stessa, dimenticandosi dell'ottimizzazione e facendo ricorso alle risorse non rinnovabili.

Le conseguenze più gravi dello sviluppo insostenibile in Toscana sono il sovra sfruttamento delle falde costiere, in particolare durante la stagione turistica estiva. Questo provoca intrusione salina e depauperamento permanente delle falde. L'intrusione salina riguarda, peraltro, ormai tutte le coste principali dell'Europa mediterranea e della Turchia come è mostrato in Figura 17. Assume addirittura aspetti catastrofici, ad esempio, in Catalogna e in aree costiere fortemente urbanizzate.

Le criticità che si sono manifestate in molti acquiferi per sovra sfruttamento delle risorse è ben nota e confermata da numerosi studi e statistiche (Civita et al. 2008; EASAC, 2010). Nei grandi agglomerati urbani del pianeta lo sfruttamento della falda sottostante o vicina alle città è ormai critico e lo sarà sempre di più, con l'aumento dell'urbanizzazione previsto per i prossimi anni. Ad esempio, Mosca manifesta gravi problemi di approvvigionamento idrico in un paese come la Russia ricco di risorse idriche.

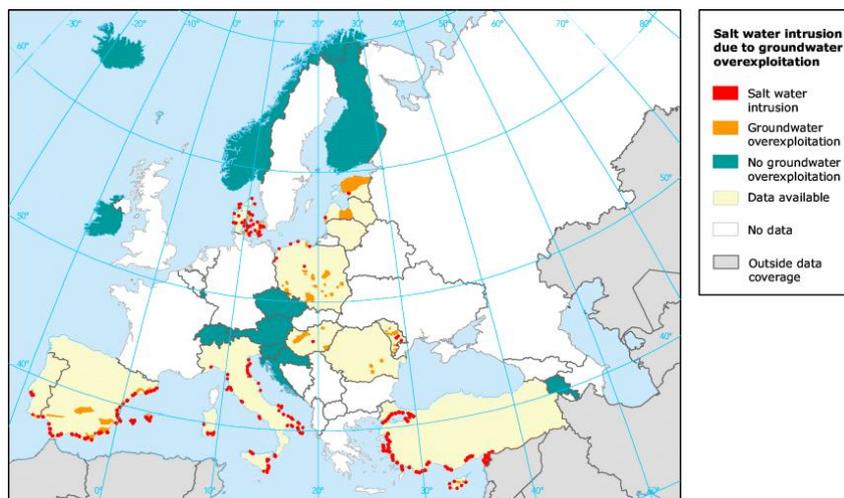


Figura 17: Intrusione salina dovuta a sovra-sfruttamento delle acque sotterranee, 2006 (Fonte: EEA)

5. La connessione acqua – energia – cibo

Le risorse idriche ed energetiche sono direttamente collegate al problema più grave che gli abitanti del pianeta dovranno affrontare nei prossimi anni: la produzione alimentare. Tale nesso è oggi descritto come Water-Energy-Food Nexus, ben illustrato nello schema di Figura 18, tratto dal materiale del convegno internazionale “Rio+20” che si terrà nel 2012 e farà il punto sullo stato dello sviluppo sostenibile a 20 anni dalla conferenza di Rio del 1992

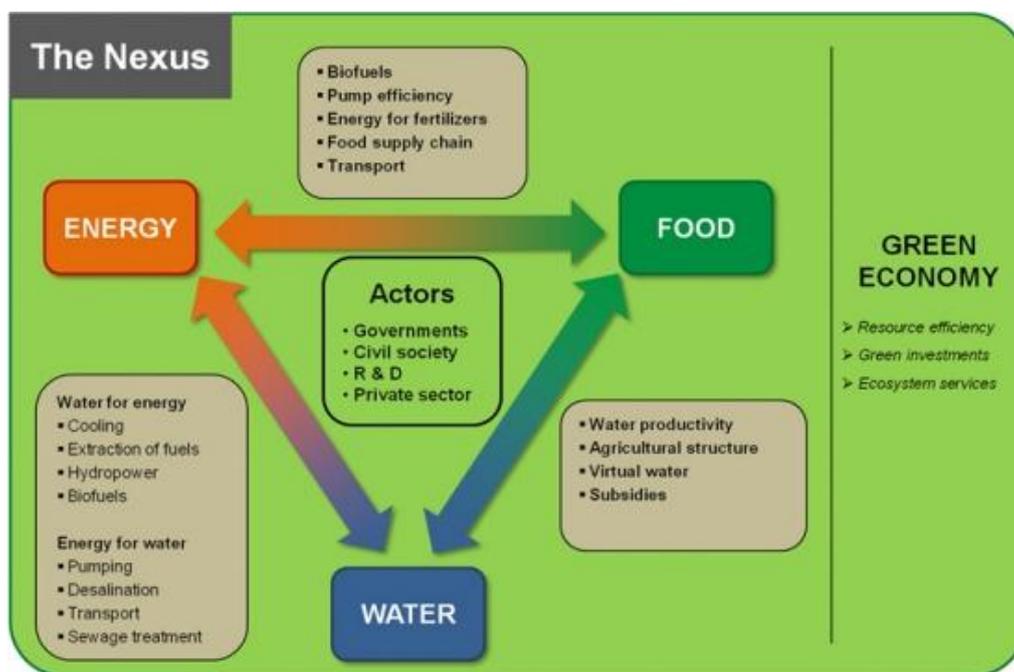


Figura 18: Governo tedesco Da: Bonn 2011 Secretariat della “Rio+20” Conference

La soluzione proposta da più parti per il problema posto dal Water-Energy-Food Nexus è quello della cosiddetta Green Economy. Si tratta di una economia “verde”, basata su un modello di sviluppo più rispettoso dell’ambiente e che vede nel risparmio energetico, nell’uso delle energie rinnovabili, nell’uso sostenibile delle risorse del pianeta l’unica via per evitare da un lato la catastrofe ecologica e, dall’altro generare “ lavoro verde”, nuove professioni e mestieri.

A partire dal Presidente Obama oggi tutti sembrano puntare sull’economia ecologica. (Si veda il lavoro dell’Wuppertal Institut (Sachs et al, 2011 in riferimento specifico alla società europea).

Tuttavia, malgrado tale strategia sia stata assunta, almeno nelle intenzioni, da molti paesi, nei fatti è in corso una competizione accesiissima per l’accaparramento delle risorse idriche, energetiche e di suolo fertile, indispensabili alla produzione di cibo per una popolazione che si stima crescerà almeno fino al 2050. Il fenomeno del “Land Grabbing” cioè l’“appropriazione di terreni” che si sta sviluppando in modo molto veloce. Negli ultimi 10 anni 227 milioni di ettari (7 volte l’Italia) hanno cambiato padrone (il 50% in Africa) (OXFAM, 2011). Questo ad opera non solo i paesi ricchi, che hanno esaurito e inquinato il pianeta, ma anche le economie emergenti che lo stanno inquinando ed esaurendo con le stesse modalità. Stati Uniti, Cina, Arabia Saudita, India da tempo stanno comprando estesissime aree fertili nel continente Africano, in Sud America, in Pakistan etc: è un fenomeno che realizza quella tendenza alle migrazioni di produzioni e inevitabilmente di popolazioni, alla quale è stato fatto cenno in precedenza. A queste nazioni

si aggiungono le multinazionali in particolare dell'alimentazione con investimenti diretti sempre più significativi nelle aree ancora "vergini" del pianeta o rilevando aree già coltivate in paesi in crisi economica costretti a svendere spesso le loro risorse insieme ai diritti delle popolazioni residenti in queste aree.

È importante, perciò, valutare gli investimenti che si stanno facendo, da parte degli stati e da parte delle imprese, in terra e in acqua. L'importanza dei FDI - Foreign Direct Investment (Bonassi, et al. 2006) come promotori di sviluppo e di eliminazione delle diseguaglianze a livello globale hanno nel settore idrico un banco di prova essenziale.

L'investimento nell'acquisto o affitto della terra è legato a diverse ragioni: aumento demografico che riduce la quantità pro capite di terra disponibile, i cambiamenti climatici che provocano perdita di produttività agricola in zone antropizzate e spingono a migrazioni, scarsità di risorse idriche ormai sovrasfruttate, enorme incremento di necessità di cibo (aumento del 70% al 2050), investimenti speculativi che puntano all'accaparramento di aree che spesso non vengono utilizzate per anni. Gli investimenti nel settore idrico sono e saranno sempre più rilevanti sia nei servizi idrici (approvvigionamento e sanitari) che in connessione con gli investimenti in produzione agricola e in energia (IFPRI, 2009; Maxwell, S. et al. 2010; Rabobank et al. 2008).

La sicurezza idrica: gestire il *Water-Food-Energy-Climate Nexus*

L'obiettivo di garantire la sicurezza idrica diventa perciò difficilmente perseguibile in molte aree del pianeta. Non avere un adeguato accesso all'acqua diventa una condizione essenziale per non poter garantire agli abitanti del pianeta quella che già nel 1992 Ulrich Beck chiamava "The Ultimate security", definita come una ragionevole (accettabile) probabilità (garanzia) di poter accedere allo sviluppo sostenibile per una persona e per i suoi discendenti (Beck, 1992; Beck, 2000). Questa condizione è evidentemente essenziale per poter sperare in un controllo dei conflitti fra stati e popoli nel pianeta (Gleick, 2000). Per Beck, inoltre, la produzione di ricchezza è ormai intimamente legata alla produzione di rischi, come dimostra l'esempio dell'energia nucleare. La società del rischio è società globale: infatti le diverse categorie del rischio sono spesso nuove e transnazionali, in particolare le catastrofi naturali, come il cambiamento climatico e le sue conseguenze riguardano tutto il pianeta.

Le critiche al "pessimismo" di Beck sembrano attenuarsi, almeno alla luce delle più recenti analisi sulla sicurezza e il rischio. In particolare, il World Economic Forum nel Gennaio 2011 ha pubblicato "Global Risk 2011-Sixth Edition", un rapporto centrato su "Water Security: Managing the Water-Food-Energy-Climate Nexus" (World Economic Forum, 2011). In esso si afferma che l'acqua è il più grande fattore limitante nella capacità del pianeta di alimentare la popolazione che cresce. L'agricoltura usa il 70% dei prelievi dell'acqua blu, ma circa il 40% viene perduto: vi è, dunque, la pressante esigenza di considerare il problema della produttività della terra non disgiunto da quello della produttività dell'acqua, puntando sulla razionalizzazione e sul risparmio idrico e energetico. Un buon governo dell'acqua richiede un approccio globale che sia complementare all'approccio tradizionale a scala di bacino. Alla scala globale e nel contesto di un mondo globalizzato, bisogna considerare: efficienza, equità, sostenibilità e sicurezza dell'approvvigionamento idrico.

Non sfugga al lettore che queste esigenze, che il movimento ambientalista sottolinea da tempo, sono oggi notevolmente condivise dalle imprese multinazionali e dai sostenitori del libero mercato delle risorse: la gravità della situazione sta, cioè, imponendo una visione comune della necessità di affrontare in modo congiunto la gestione delle risorse idriche, energetiche e alimentari

Anche la FAO è recentemente intervenuta ancora una volta (Turrall H. et al., 2011) con un rapporto organico relativo al cambiamento climatico e alla sicurezza alimentare con analisi analoghe a quelle sopra riportate.

Nello scenario al 2030, che abbiamo preso come riferimento nella nostra analisi, i problemi legati al nesso acqua-energia che emergono, sono così riassumibili: che percentuale dei nostri fabbisogni potremo coprire con la salvaguardia delle risorse e la maggiore efficienza del nostro modo di consumare acqua ed energia? Qual'è il migliore mixing fra approvvigionamento, trattamento e riuso dell'acqua? Quanto debbono essere distribuiti (o concentrati) i sistemi idrici di approvvigionamento, riuso e trattamento e i sistemi di approvvigionamento energetico? Qual'è il mix ottimale fra sistemi idrici ed energetici in sito, locali, comunali e regionali e di quali politiche abbiamo bisogno per avvicinarci allo scenario ottimale?

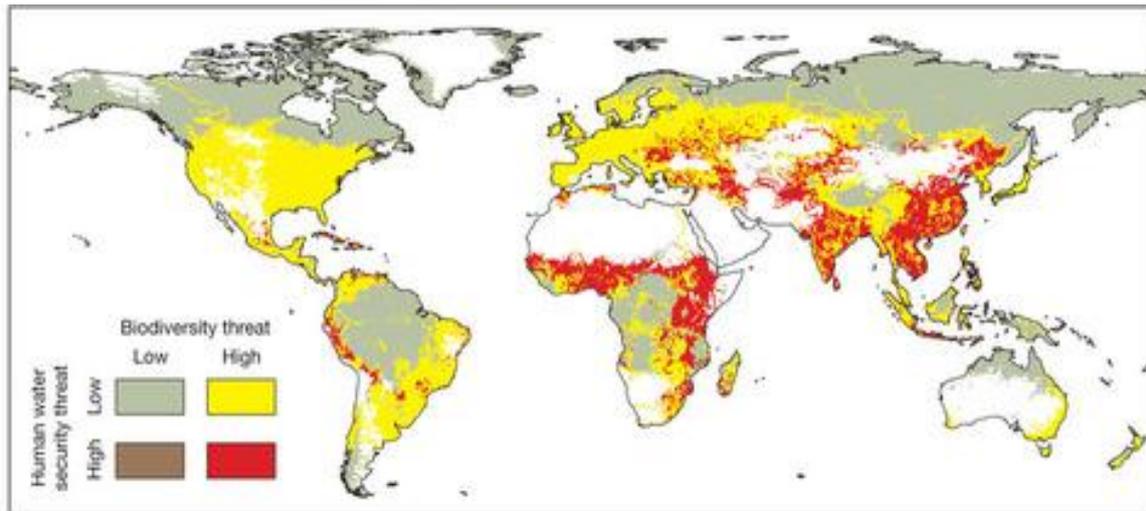


Figura 19: Minacce alla sicurezza idrica e alla biodiversità (Fonte: Vorosmaty et al, 2010)

Esiste, poi, un ovvio legame fra sicurezza idrica e minaccia alla biodiversità, rappresentato nella Figura 19, da cui si evince che quasi l'80% della popolazione mondiale è esposto ad alti livelli di minaccia alla sicurezza idrica. L'uso intensivo della tecnologia dell'acqua permette alle nazioni più ricche di compensare livelli elevati di stress idrico dell'ecosistema senza affrontare in modo sostenibile l'approvvigionamento e producendo una riduzione della biodiversità. Le nazioni meno ricche non hanno a disposizione risorse e tecnologia in misura analoga e restano a maggior rischio in termini di sicurezza idrica e biodiversità.

Conclusioni

Se l'acqua è un bene finito e se l'acqua è vita, allora, la vita è un bene finito?

Questo si sta rivelando vero in aree e per frazioni sempre maggiori della popolazione del pianeta. Provoca e provocherà conflitti, interni e internazionali. E' causa di migrazioni che, è da ritenere, si intensificheranno nei decenni futuri. Sono questi gli scenari già al 2030, catastrofici per grandi aree del pianeta molto popolate, che appaiono significativamente ormai sostanzialmente condivisi da due mondi apparentemente contrapposti: quello ambientalista e quello delle multinazionali del cibo e dell'energia. Le soluzioni proposte dai due mondi sono a volte diverse, ma la gravità della crisi emergente rende sempre più evidente la debolezza di un approccio basato sul mercato privatistico delle risorse, che negli scorsi anni era presentato da alcuni come soluzione.

Che fare? Gli indirizzi su cui puntare per affrontare le crisi idriche sono abbastanza delineati.

Anzitutto quello di implementare soluzioni tecnologicamente avanzate e svilupparne di nuove attraverso la ricerca. Le parole d'ordine sono quindi: desalinizzazione, trattamento, riuso, trasferimento di acqua fisica da regioni ricche di risorsa rinnovabile a regioni carenti, trasferimento di acqua virtuale, miglioramento delle tecniche d'irrigazione, risparmio sui prelievi e consumi, sviluppo di fonti energetiche alternative, gestione integrata del sistema acqua-energia-alimenti e, infine, analisi degli impatti potenziali dei cambiamenti climatici sulle crisi idriche.

E la politica non potrà essere assente: dovrà ricercare migliori politiche di gestione delle risorse, risolvere i grandi conflitti interni agli stati e fra gli stati e, soprattutto, sostenere la ricerca.

La sicurezza idrica, energetica e alimentare nella società del rischio globale richiederebbe un "governo mondiale" del pianeta. Un obiettivo indubbiamente molto ambizioso, a cui ci si potrà tuttavia avvicinare istituendo almeno degli organismi internazionali (vere e proprie Authorities) predisposti alla gestione delle risorse scarse comuni e alla composizione dei conflitti inevitabili nel complesso rapporto fra uomo e ambiente.

Lo sviluppo dalla seconda metà del secolo scorso si è basato su un doppio debito che abbiamo contratto e che non potremo presumibilmente onorare. Il combinato disposto della società del consumismo e del credito facile con la disponibilità di risorse naturali disponibili ha consentito la crescita economica impressionante della metà del secolo scorso: una dimostrazione, secondo Bauman (2009) che il capitalismo è in sostanza un sistema parassitario, che prospera solo in nuovi terreni di pascolo non ancora sfruttati. I debiti finanziari che molti paesi hanno contratto in tempi in cui si avevano previsioni di sviluppo non realistiche si stanno rivelando non più onorabili. Le risorse del pianeta si stanno progressivamente esaurendo. La nostra impronta ecologica è una misura impressionante del nostro debito nei confronti del pianeta. Il Premio Nobel 2005 Paul J. Crutzen ha introdotto una nuova era geologica, l'Antropocene, che sarebbe la prima era geologica in cui una sola specie governa l'evoluzione e modifica in modo radicale il ciclo dell'acqua come quello del carbonio, la concentrazione dell'ozono come quella del piombo (Crutzen, 2005).

Per essere protagonisti positivi di questa nuova era geologica abbiamo bisogno di una nuova cultura, di un nuovo rapporto fra le scienze della natura e le scienze che ci consenta di invertire un percorso dagli esiti catastrofici.

Ringraziamenti

Si ringraziano Giovanni Seminara per i preziosi commenti e suggerimenti e Giorgia Giovannetti per la bibliografia e le analisi sull'approccio economico al nesso acqua, cibo ed energia.

Bibliografia

1. 2030 Water Resources Group. 2010: *Charting Our Water Future: Economic frameworks to inform decision-making*. 2030 Water Resources Group
2. Alcamo J.M., Vörösmarty C.J., Naiman R.J., Lettenmaier D.P., Pahl-Wostl C. 2008: *A grand challenge for freshwater research: understanding the global water system*. Environmental Research Letters, 3(1)
3. Alcamo J., 2009: *Managing the global water system*. In: Levin S. et al. (eds). Princeton Guide to Ecology, Princeton University Press
4. Asano T., Levine A.D., 1996: *Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future*, Water Science and technology, Vol. 33 (10-11), pp. 1-14
5. Asano T., 2007: *An Integrated Approach to Managing the World's Water Resources*. McGraw-Hill, 1570 pp.
6. AWWA, 1994: *Dual Water Systems*. American Water Works Association
7. Bauman, Z., 2009: *Il capitalismo parassitario*. Laterza, Bari
8. Beck U., 1992: *Risk Society: Toward a New Modernity*. Sage. London
9. Beck U., 2000: *What is Globalization?*. Cambridge Press
10. Beck U., 2008: *Conditio Humana – Il rischio nell'età globale*, Laterza. Bari.
11. Bonassi C., Giovannetti G. and Ricchiuti G. 2006: *The Effects of FDI on Growth and Inequality*. In Pro Poor Macroeconomics—Potential and Limitations, ed. G. A. Cornia. Houndmills Basingstoke Hampshire: Palgrave Macmillan
12. Catley-Carlson M., 2009: *Energy and Water – Linked and Looming Challenges*. World Economic Forum
13. Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2004: *Water footprints of nations, Value of Water*, Research Report Series No. 16. UNESCO-IHE Delft, the Netherlands
14. CISPEL, 2008: *Risorse idriche e Servizio idrico integrato in Toscana*. CISPEL TOSCANA
15. Civita M.V., Massarutto A., Seminara G., 2008: *Groundwater in Italy: A Review*. Accademia dei Lincei
16. COST, 2008: *Exploratory Workshop -The Energy-Water Nexus: Managing the Links between Energy -and Water for a Sustainable Future*, 19 - 21 January 2009, Le Châtelain Hotel, Brussels
17. COVIRI. Comitato Nazionale per la vigilanza sulle risorse idriche, 2010: *Relazione annuale al Parlamento sullo stato dei servizi idrici. Anno 2009*. c/o Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
18. Crutzen, P. J., 2005: *Benvenuti nell'Antropocene*. Mondadori
19. D'Angelis E., Irace A., 2011: *Il valore per l'acqua*. Dalai Editore.
20. D'Odorico P., Laio P., F., Ridolfi L., 2010: *Does globalization of water reduce societal resilience to drought?*, Geophys. Res. Lett., 37, L13403, doi:10.1029/2010GL043167
21. Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, 2011: Tavole di Piano. http://www.ildistrettoidrografico.dellappenninomeridionale.it/tav%2017%20trasferimenti%20febbraio%202010_pdg.jpg
22. EASAC – European Academies Science Advisory Council, 2010: *Groundwater in the Southern Member States of the European Union: an assessment of current knowledge and future prospects*, German Academy of Sciences Leopoldina
23. Falkenmark M., Rockström J., 2004: *Balancing water for humans and nature. The new approach in ecohydrology*. Earthscan, London
24. FAO, 2005: *AQUASTAT, Review of World Water Resources by Country*. FAO

25. Federici G., Lubello C., 2009: *Disponibilità quali-quantitativa delle risorse idriche*. In Tecniche per la difesa dell'inquinamento. Atti 30° Corso di aggiornamento (17-20 giugno 2009) . A cura di: G. Frega. Editore: Nuova Editoriale Bios
26. Gerbens-Leenesa, W., Hoekstra A.Y., van der Meer T.H., 2008: *The Water Footprint of Bioenergy*, University of Twente, 2008
27. Gleick P. H., 2008: *Water Conflict Chronology*, Pacific Institute, Oakland, CA
28. Gleick P.H., Wolff, G., Chalecki, E.L., Reyes, R. 2002: *The New Economy of Water: The Risks and Benefits of Globalization and the Privatization of Fresh Water*, Pacific Institute. Oakland, California
29. Gleick P., 2009: ENERGY VISION. UPDATE 2009. *Thirsty Energy: Water and Energy in the 21st Century. Water and Energy: New Thinking*, World Economic Forum
30. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., 2008: *The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products*, *Water International* Vol. 33, No. 1, March 2008, pp. 19–32
31. Governo tedesco Da: Bonn 2011 Secretariat della “Rio+20” Conference
32. IEA - International Energy Agency, 2011: *Energy Statistics for non-OECD Countries*, Paris
33. IFPRI 2009: Land Grabbing by Foreign Investors in developing countries. IFPRI – International Food Policy Research
34. L'vovitch M. I., 1974: *World Water Resources and Their Future*, translated by R. L. Nace. Washington DC, American Geophysical Union
35. Maxwell, S. and M. Dickerson, 2010: *The Case for Water Equity Investing 2010. Value and Opportunities in Any Economic Environment*, SUMMIT GLOBAL MANAGEMENT, INC. Available at: <http://www.summitglobal.com/documents/SummitCaseWaterEquityInvesting2010.pdf>
36. OCHA , 2010: *Water scarcity and humanitarian action: key emerging trends and challenges*. OCHA Occasional Policy Briefing Series, Brief No. 4, September 2010
37. OXFAM, 2011: *Land and Power*. OXFAM. <http://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/bp151-land-power-rights-acquisitions-220911-en.pdf>
38. Rabobank , World Resources Institute, 2008: *Watering scarcity. Private investment Opportunities in Agricultural Water Use Efficiency*, Rabobank International, www.rabobank.com
39. Raskin, P., Gleick, P.H., Kirshen, P., Pontius, R. G. Jr and Strzepek, K. ,1997. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. Stockholm Environmental Institute, Sweden. Document prepared for UN Commission for Sustainable Development 5th Session 1997
40. Riganti, V., 2007: *IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE IN ITALIA E ALL'ESTERO: AGGIORNAMENTO NORMATIVO*. 34^ GIORNATA NAZIONALE DI STUDIO SUL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE URBANE E INDUSTRIALI. AEM Cremona
41. Rinaldo, A. 2009: *Il Governo dell'acqua. Ambiente naturale e ambiente costruito*. Marsilio
42. Sachs, W., Morosini, M., 2011: *Futuro sostenibile. Le risposte eco-sociali alla crisi dell'Europa*. Edizioni Ambiente. Milano
43. Sartori, G. 2011: *Il paese degli struzzi*. Edizioni Ambiente
44. Shiklomanov I.J., 1999: *World water resources and water use: present assessment and outlook for 2025*, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and UNESCO, Paris

45. Shiklomanov I.J., Rodda J.C., 2003: *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*, Cambridge, UK, Cambridge University Press
46. Suweis, S., Konar M., C. Dalin, Hanasaki N., Rinaldo A., Rodriguez- Iturbe I., 2011: *Structure and controls of the global virtual water trade network*, Geophys.Res. Lett
47. Turrall H, Burke J., Faurè J.M, 2011: *Climatic change, water and food security*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rome, FAO WATER REPORTS 36
48. UNESCO, 2009: World Water Assessment Programme. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*, Paris, UNESCO and London: Earthscan
49. UNESCO and World Bank, 2006: *Non-renewable groundwater resources, a guidebook on socially sustainable management for policy matters*. UNESCO. Paris
50. UNEP-GRID, 2011: *Freshwater in Europe*. UNEP http://www.grid.unep.ch/product/publication/freshwater_europe/consumption.php
51. UNEP- United Nations Environment Programme, 2009: *Global Green New Deal*. Policy Brief. March 2009. UNEP
52. United Nations Secretariat, 2011. *World Population Prospects: The 2010 Revision*, <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>,
53. Vandana Shiva, 2003: *Le guerre dell'acqua*. Milano, Feltrinelli, 2003
54. Vorosmarty C.J. et. al., 2010: *Global threats to human water security and river biodiversity*. Nature. Volume: 467, Pages: 555–561
55. Waterwise 2007: *Hidden Waters*. Waterwise Briefing, Waterwise, London, UK. Available at: <http://www.waterwise.org.uk/images/site/Research/hidden%20waters%2C%20waterwise%2C%20feb%2007%20-%20for%20email%20and%20web%20use.pdf>
56. WFN-Water Footprint Network, 2011: *Acqua virtuale*. Sito web della WFN- Water Foot Print Network (www.waterfootprint.org/)
57. WHO/UNICEF, 2006: *Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target. The urban and rural Challenge of the Decade*. Geneva: World Health Organization. Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmpfinal.pdf
58. World Bank, 2009: *Red Sea – Red Sea Water Conveyance Study Program Options Screening and Evaluation Report (12 147 RP 01). Executive Summary*. World Bank
59. World Bank , 2011: *Private activity in water and sewerage remains subdued*. PPI Data Update Note 49, July 2011. Washington DC: World Bank.
60. World Economic Forum, 2011: *Global Risks 2011*. Sixth Edition, An initiative of the Risk Response Network. The World Economic Forum, Geneva, Switzerland, in collaboration with Marsh & McLennan Companies, Swiss Reinsurance Company, Wharton Center for Risk Management, University of Pennsylvania and Zurich Financial Services. Available at: <http://riskreport.weforum.org/global-risks-2011.pdf>
61. Zhou Y., Tol R.S.J, 2004: *Evaluating the costs of desalination and water transport*. Working Papers. Research Unit Sustainability and Global Change. Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science

ELENCO FIGURE

Figura 1: Bilancio nazionale di acqua virtuale legato al commercio internazionale 1997-2001 (Fonte: WFN, 2011)

Figura 2: Bilancio regionale di acqua virtuale e maggiori flussi netti ($> 10 \text{ Gm}^3/\text{anno}$) legati al commercio di prodotti agricoli (Fonte: WFN, 2011)

Figura 3: Schema di un impianto idro-eolico

(http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/complementariedade_hidroeolica_he.php)

Figura 4: Schema del progetto della centrale di Laives (Fonte: South Tyrol Energy)

Figura 5: Andamento della qualità dell'acqua seguendo in successione l'ipotetico flusso naturale e tecnologico (Federici et al, 2009)

Figura 6: Schema integrato di uso delle acque convenzionali e non convenzionali. (Fonte: AWWA, 1994)

Figura 7: I grandi trasferimenti d'acqua del Meridione (Distretto Appennino Meridionale, 2011)

Figura 8: Evoluzione dei prelievi e dei consumi totali e procapite (dati tratti da Shiklomanov, 1999)

Figura 9: Prelievo medio annuale nell'UE-15 per settore e per fonte, 1997-2005 (Fonte: Eurostat)

Figura 10: Disponibilità pro capite di risorsa idrica [$\text{m}^3/\text{cap}/\text{anno}$] (Fonte: Eurostat)

Figura 11: Prelievo pro capite negli Stati membri, ultimo anno disponibile [m^3/cap] (Fonte: Eurostat)

Figura 12: WEI degli Stati membri. Valore ultimo anno disponibile confrontato con quello del 1990 (Fonte: EEA - European Environment Agency)

Figura 13: Carta del Water Exploitation Index (WEI) (UNEP-GRID, 2011)

Figura 14: Stress idrico (WEI) nel 2000 a confronto con proiezione 2030 (Fonte: EEA)

Figura 15: Proiezione della variazione di disponibilità della risorsa per il 2030 (Fonte: EEA)

Figura 16: Prelievi nell'UE, confronto fra anno 2000 e proiezione 2030 (Fonte: EEA)

Figura 17: Intrusione salina dovuta a sovra-sfruttamento delle acque sotterranee, 2006 (Fonte: EEA)

Figura 18: Governo tedesco Da: Bonn 2011 Secretariat della "Rio+20" Conference

Figura 19: Minacce alla sicurezza idrica e alla biodiversità (Fonte: Vorosmaty et al, 2010)

ELENCO TABELLE

Tabella 1: Impronta idrica per fonti di energia primarie (elaborazione da Gerbens-Leenesa, 2008)

Tabella 2: Bilancio idrico totale (acqua interna + acqua virtuale) (Fonte: Waterwise, 2007)

Tabella 3: Maggiori paesi esportatori e importatori di acqua virtuale (Fonte: Waterwise (2007)

Tabella 4: Costi di potabilizzazione (impianto da $30.000 \text{ m}^3/\text{d}$) (Fonte: Federici et al, 2009)

Tabella 5: Prelievi e consumi idrici 1900-2050 (Fonte: Shiklomanov, 1999)

Tabella 6: Prelievi e risorse idriche 2010-2030 (dati Water 2030 Global Water Supply and Demand model; agricultural production based on IFPRI IMPACT-WATER base case)

Tabella 7: Crescita della domanda annuale 2005-2030 (2030 Water Resource Group, 2010)