



una scelta comune

LIFE09 ENV/IT/000056



Il progetto è realizzato con il contributo finanziario del Programma LIFE della Commissione Europea

Acronimo del progetto <i>Project Acronym</i>	W.I.Z.
Titolo completo del progetto <i>Project Full Title</i>	WIZ – WaterIZE spatial planning: encompass future drinkwater management conditions to adapt to climate change
Numero del progetto <i>Project No</i>	LIFE09 ENV/IT/000056

No. Deliverable D7.1
Rapporto sullo stato dell'arte di metodologie e strumenti disponibili
Mese/Month – Anno/Year Febbraio 2010

Partner di progetto/Project Partner



Capofila/Main Contractor

Acque S.p.A.
Sede Legale: Via Garigliano, 1
I - 50053 EMPOLI -IT
Sede operativa: Via A. Bellatalla, 1
I - 56121 Ospedaletto (PI)
<http://www.acque.net>



Autorità di bacino
Via dei Servi, 15
I - 50122 FIRENZE - IT
<http://www.adbarno.it>



Ingegnerie Toscane S.r.l.
Via di Villamagna, 90
I - 50126 Firenze

Via A. Bellatalla, 1
I - 56121 Ospedaletto (PI)
<http://www.acque.net>



Instituto Tecnológico de Galicia
PO.CO.MA.CO Sector I Portal 5
ES - 15190 A Coruña - Galicia -
ESPAÑA
<http://www.itg.es>

Informazioni sul documento / Document Information

Project / Progetto

**Acronimo del progetto /
Project Acronym**

WIZ

**Titolo completo del progetto / Project Full
Title**

WIZ – WaterIZE spatial
planning: encompass
future drinkwater
management conditions
to adapt to climate
change

Data di avvio / Project start:

01/09/2010

Durata del Progetto / Project duration:

36 mesi / 36 months

Contratto no / Grant agreement no.:

LIFE09 ENV/IT/000056

Document

No Deliverable / Deliverable No:

D7.1

Titolo del Deliverable / Deliverable title:

Rapporto sullo stato dell'arte
di metodologie e strumenti
disponibili

**Data contrattuale del
Deliverable / Contractual Date of Delivery:**

28/02/2011

**Data di consegna del Deliverable / Actual
Date of Delivery:**

28/02/2011

Editore(i) / Editor(s):

Ing. Bernardo Mazzanti

Autore(i) / Author(s):

AA.VV.

Revisore(i) / Reviewer(s):

Ing. Isabella Bonamini

Partner / Partner(s):

ABARNO

No Work package / Work package no.:

07

Titolo Work package / Work package title:

Raccogliere uno Stato dell'Arte
aggiornato: scenari,
metodologie, strumenti,
pratiche e disponibilità dei dati
/ Gather an updated State of
The Art: scenarios,
methodologies, tools,
practices and data availability

Leader del Work package/ Work package leader:	<i>Ing. Isabella Bonamini</i>
Distribuzione/Distribution (Public/Reserved):	<i>Public</i>
Tipo/Type (Report, ...):	<i>Inception Report</i>
Versione-Revisione/ Version-Revision:	<i>5a</i>
Bozza-Definitivo /Draft-Final	<i>Definitivo/Final</i>
No di pagine (inclusa copertina)/ Total number of pages: (including cover)	<i>160</i>
Parole chiave/ Keywords:	<i>metodologie, strumenti, methodologies, tools</i>

Revisioni/Change Log

Motivo della revisione/Reason for change	Argomento della revisione/Issue	Numero della Revisione/Revision	Data della Revisione/Date
--	Versione iniziale / Initial version	1a	19/01/2011
Integrazione con il rapporto FUNITG / Integration of FUNITG report	Situazione in Spagna / Spanish situation	2a	14/02/2011
Modificate le conclusioni / Conclusions modified	Conclusioni / Conclusions	3a	18/02/2011
Correzioni prima del rilascio / proofreading before release	Revisione editoriale / Proofreading	4a	24/02/2011
Correzioni prima del rilascio / proofreading before release	Revisione editoriale / Proofreading	4d	25/02/2011
Rilascio per la consegna/ final release	Revisione editoriale / Proofreading	5a	28/02/2011

Esonero Responsabilità/Disclaimer

Questo documento contiene descrizioni che riguardano le attività, i risultati e i prodotti del Progetto WIZ. Alcune sue parti potrebbero essere tutelate sotto Diritto di Proprietà Intellettuale (IPR). Per questo motivo vi chiediamo di contattare il Consorzio WIZ prima di utilizzarlo (e.mail: o.cei@acqueingegneria.net).

Se ritenete che questo documento sia in qualsiasi modo lesivo dei diritti di proprietà intellettuale di vostro possesso – come persona o come rappresentante di un organizzazione – informateci tempestivamente.

Gli autori di questo documento hanno preso tutte le misure disponibili possibili per far sì che il suo contenuto sia accurato, consistente e legale. Tuttavia, né il partenariato nel suo insieme, né i singoli partner che direttamente o indirettamente abbiano preso parte alla creazione e alla pubblicazione di questo documento sono responsabili per qualsiasi cosa possa accadere come risultato del suo utilizzo.

Questa pubblicazione è stata realizzata grazie al contributo dell'Unione Europea. Il consorzio WIZ è il solo responsabile del contenuto di questa pubblicazione che non riflette necessariamente il pensiero dell'Unione Europea

WIZ è parzialmente finanziato dall'Unione Europea (Life+ Programme 2009).

- o - o -

This document contains description of the WIZ project findings, work and products. Certain parts of it might be under partner Intellectual Property Right (IPR) rules so, prior to using its content please contact the consortium head for (e.mail: o.cei@acqueingegneria.net).

In case you believe that this document harms in any way IPR held by you as a person or as a representative of an entity, please do notify us immediately.

The authors of this document have taken any available measure in order for its content to be accurate, consistent and lawful. However, neither the project consortium as a whole nor the individual partners that implicitly or explicitly participated the creation and publication of this document hold any sort of responsibility that might occur as a result of using its content.

This publication has been produced with the assistance of the European Union. The content of this publication is the sole responsibility of WIZ Consortium and can in no way be taken to reflect the views of the European Union.

WIZ is a project partially funded by the European Union

Indice

W.I.Z.....	1
WIZ – WaterIZE spatial planning: encompass future drinkwater management conditions to adapt to climate change	1
LIFE09 ENV/IT/000056.....	1
Rapporto sullo stato dell'arte di metodologie e strumenti disponibili .	1
Partner di progetto/Project Partner.....	2
Informazioni sul documento/Document Information.....	3
Project/Progetto.....	3
Document.....	3
Revisioni/Change Log.....	4
Esonero Reponsabilità/Disclaimer.....	5
Indice.....	6
1 Premessa - Il Progetto WIZ: informazioni sintetiche.....	9
1.1 Documenti contrattuali di riferimento.....	10
1.2 Collocazione dell'Azione 07 all'interno di WIZ.....	10
1.2.1 Finalità dei Rapporti 7.1, 7.2, 7.3.....	10
1.2.2 Descrizione della struttura dei rapporti e nessi.....	11
1.3 Coordinamento del lavoro.....	11
1.4 Comunicazione e knowledge management.....	12
2 Il Rapporto D7.1 – Rapporto sullo stato dell'arte di metodologie e strumenti disponibili.....	14
2.1 Metodologia di lavoro.....	14
2.2 Il Team dell'azione.....	14
2.3 Gli indicatori di progresso e controllo di qualità dei risultati.....	15
2.3.1 Ampiezza di copertura delle fonti.....	15
2.3.2 Il controllo della qualità dei risultati.....	15
2.3.3 Il resoconto di completamento.....	15
2.3.4 Autorevolezza, affidabilità, aggiornamento.....	16
2.3.5 Criteri per le relazioni con le comunità di esperti.....	18
2.4 Assunti, Ambito e vincoli specifici.....	18
2.4.1 Validità degli assunti della proposta di progetto.....	18
2.5 Delimitazione dell'ambito di riferimento.....	19
2.6 Vincoli specifici.....	20
3 Conoscenza preesistente.....	20
3.1 Know how disponibile tra i partner.....	20
3.2 Sintesi delle conoscenze preesistenti dei partner WIZ.....	20
3.2.1 Autorità di bacino del fiume Arno.....	20
3.2.2 Acque Spa e Ingegnerie Toscane Spa.....	23

3.2.3 Fundación Instituto Tecnológico de Galicia.....	24
4 La pianificazione spaziale nella gestione delle risorse idriche. Lo stato dell'arte.....	28
4.1 L'impatto del cambiamento climatico. Lo stato dell'arte.....	34
4.1.1 Aspetti generali.....	34
4.1.2 Piani attuativi.....	39
4.1.3 Rapporto Stern.....	40
4.1.4 Studi IPCC: previsioni e prospettive.....	41
4.1.5 Cambiamenti climatici in Europa e nel Mediterraneo.....	43
4.1.6 Adeguamenti ai cambiamenti climatici e e uso risorsa acqua	46
4.2 L'uso del telerilevamento – Lo stato dell'arte.....	49
4.2.1 Premessa.....	49
4.2.2 I sistemi Radar ad Apertura Sintetica (SAR).....	49
4.2.3 Interferometria Differenziale SAR (DInSAR).....	52
4.2.4 Tecnica dei Permanent Scatterers (PSInSAR™).....	53
4.2.5 Analisi delle velocità medie annue di deformazione a scala di bacino.....	58
4.3 I modelli di simulazione.....	63
4.3.1 I modelli di simulazione di rete.....	63
4.3.2 I modelli di simulazione di bacino.....	70
4.3.3 La Modellazione delle acque sotterranee.....	81
4.3.4 I modelli di simulazione di evoluzione socio/economica.....	87
4.3.5 Analisi comparativa.....	105
4.4 I Passaggio di scala e l'adattamento agli ambiti di riferimento. .	109
4.5 Considerazioni finali.....	112
4.5.1 Principali difficoltà incontrate.....	112
4.5.2 Conclusioni.....	113
4.5.3 Spunti per ulteriori approfondimenti e connesse al progetto WIZ ma fuori dall'ambito di applicazione diretta.....	115
5 Bibliografia e riferimenti	116
6 Appendice 1 - Il contributo di ITG.....	126
6.1 La ordenación del territorio en la gestión de recursos hídricos. .	126
6.1.1 Pasado: Logros del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración 1995-2005	130
6.1.2 Presente: El Plan Nacional de Calidad de las Aguas	132
6.1.3 Retos para un futuro inmediato	134
6.2 Impacto del cambio climático.....	135
6.2.1 El cambio climático y los recursos de agua.....	135
6.2.2 Efectos observados y previstos en Europa.....	136
6.2.3 El Cambio Climático en España.....	136

6.2.4 Estudios desarrollados en España sobre modelización de recursos hídricos.....	137
6.3 Gestion de los recursos hídricos.....	139
6.3.1 El estado del sector privado de la gestión del agua.....	139
6.3.2 Tendencia en el uso sostenible de los recursos hídricos.....	142
6.4 El uso de la Teledeteccion.....	143
6.4.1 Normativa respecto a la información ambiental en España.	144
6.4.2 La e-administración en el mundo.....	144
6.4.3 La e-administración en España.....	145
6.5 Existencia de datos georreferenciados sobre agua	146
6.6 LOS MODELOS DE SIMULACION.....	150
6.6.1 La simulación de aportaciones en régimen natural.....	150
6.6.2 La simulación y optimización de los sistemas de explotación	151
6.6.3 Modelos de optimización.....	152
6.6.4 Modelos de simulación.....	152
6.7 Modelos de simulación en calidad de aguas.....	153
6.8 TENDENCIAS EN OBSERVACION Y CONTROL DEL AGUA.....	155
6.8.1 Desarrollo de nuevos sensores.....	155
6.8.2 Sistemas de medida y modelos de simulación.....	156
6.8.3 Tecnologías de observación y control del impacto ambiental	156
6.9 DOCUMENTACIÓN DE RESPALDO.....	156
6.10 BIBLIOGRAFÍA.....	158

1 Premessa - Il Progetto WIZ: informazioni sintetiche

Il progetto WIZ (*WaterIZE spatial planning: encompass future drinkwater management conditions to adapt to climate change - Acquifichiamo la pianificazione territoriale: includere le condizioni future di gestione dell'acqua potabile per adattarsi al cambiamento climatico*), è un progetto cofinanziato dal Programma Life + della Commissione Europea (LIFE09 ENV/IT/000056).

I partner coinvolti sono Acque Spa (Pisa), beneficiario coordinatore, l'Autorità di Bacino del Fiume Arno (Firenze), Ingegnerie Toscane Spa (succeduta ad Acque Ingegneria - Pisa) e Fundación Instituto Tecnológico de Galicia (A Coruña, Spagna). Il progetto, articolato in 20 Azioni, suddivise come responsabilità tra i beneficiari, ha una durata complessiva di 36 mesi (01/09/2010 - 30/08/2013).

Scopo di WIZ è quello di garantire lo sviluppo territoriale, con particolare riferimento ai processi di pianificazione urbanistica, nei limiti della sostenibilità della risorsa idrica, anche in un ottica futura, considerando le eventuali variazioni in termini di disponibilità idrica conseguenti ai cambiamenti climatici e stimando i costi anche in termini di infrastrutture. WIZ si propone inoltre di facilitare ed agevolare la partecipazione dei cittadini e delle imprese alla gestione partecipata dell'acqua, fornendo un quadro conoscitivo trasparente e integrato a tutti gli stakeholder, tramite la costituzione di una comunità di apprendimento.

Il progetto si concretizza nella realizzazione di una piattaforma dimostrativa WIZ, auspicando l'istituzionalizzazione del relativo processo all'interno degli strumenti di governo del territorio.

La piattaforma WIZ è un sistema in grado di integrare l'informazione sulla capacità di erogazione delle infrastrutture (attuali e di previsione, derivanti dai piani di investimento), tenendo conto della disponibilità di risorsa e della pianificazione urbanistica (in particolare di previsione).

Altro obiettivo, più ambizioso perché dipendente da un percorso politico che WIZ può influenzare fino a un certo punto, consiste nell'istituzionalizzazione del processo all'interno degli strumenti giuridici di riferimento.

A tal fine è prevista la diffusione della conoscenza dell'importanza di WIZ nella gestione del servizio idrico per ottenere un tasso crescente di adesioni da parte degli enti locali, auspicando un conseguente aumento dell'integrazione nella politica locale e quindi della conseguente capacità decisionale e risoluzione dei conflitti.

1.1 Documenti contrattuali di riferimento

La Commissione Europea ha cofinanziato la proposta di progetto, sottoscrivendo la convenzione tra le parti in data 31 agosto 2010.

Tra il beneficiario incaricato del coordinamento (Acque S.p.A) e l'Autorità di bacino dell'Arno, beneficiario associato, è stato sottoscritto, in stessa data, un Accordo Consorziato che regola i rapporti e gli obblighi. In particolare, nell'Allegato Tecnico all'Accordo – *Partecipazione tecnica e finanziaria del beneficiario associato* – sono indicate le Azioni di cui l'Autorità è responsabile e i relativi deliverable (documenti consegnabili) con le loro scadenze.

Questo documento è uno dei deliverable previsti nell'Azione 07.

1.2 Collocazione dell'Azione 07 all'interno di WIZ

Dal punto di vista scientifico e tecnologico il progetto WIZ si basa su un quadro conoscitivo, pianificatorio e metodologico consolidato. Infatti l'incertezza intrinseca connessa alle previsioni non permette di poter divergere da schemi già ampiamente accettati e consolidati se non si vuole rischiare di bloccare l'intero processo di attuazione. A tal fine l'Azione 07 – *Raccogliere lo Stato dell'Arte aggiornato; scenari, metodologie, strumenti, pratiche e disponibilità dei dati* – prevede un censimento degli aspetti chiave del sistema, proprio al fine di produrre una sorta di catalogo delle metodologie e strumenti disponibili, del quadro normativo, delle pratiche decisionali e procedurali deliberative e contestuali in uso, della disponibilità, accessibilità e organizzazione dell'informazione.

L'Azione 07 appartiene al gruppo delle azioni preparatorie e come tale è relativa alla prima fase temporale del progetto, andando a costituire l'elemento di base per l'implementazione della piattaforma WIZ.

L'Azione si concretizza nella redazione di tre documenti (deliverable), il cui termine di consegna è fissato nel 28 febbraio 2011.

I Rapporti dell'Azione 07 hanno i seguenti contenuti:

- D7.1: *Relazione sullo stato dell'arte delle metodologie e strumenti disponibili;*
- D7.2: *Relazione sullo stato delle leggi, norme e pratiche in vigore;*
- D7.3: *Relazione sullo stato dell'arte delle tecnologie di accesso e disponibilità dei dati.*

1.2.1 Finalità dei Rapporti 7.1, 7.2, 7.3

I tre Rapporti contengono in termini di strumenti, modelli, pratiche disponibili, normative di riferimento

L'obiettivo è di assicurare che si tenga conto e si valutino nel progetto le eventuali novità occorse dopo lo screening effettuato al momento della

redazione della proposta (2009) e al momento della successiva negoziazione con la Commissione (primavera 2010).

In particolare sono stati riesaminati gli strumenti per:

- collegare una modellazione di larga scala - tipica delle Autorità di bacino che gestiscono l'informazione al livello del bacino idrografico, a una modellazione di piccola scala - tipica delle progettazioni sia infrastrutturali che edilizie;
- collegare le previsioni di medio-lungo termine con quelle di breve termine;
- fare una mappatura reale della base di conoscenza esistente della pianificazione territoriale.

Il tutto insieme alle informazioni pertinenti a struttura, formati dei dati, nonché le tendenze attuali della pianificazione e dei progetti, specialmente in relazione alle considerazioni di adattamento all'impatto del cambiamento climatico. E tutto ciò nell'ottica del raggiungimento dell'obiettivo dell'Azione 07, contenuto nei tre rapporti, cioè nell'individuare scenari e informazioni di fondo su cui basare e consolidare le scelte progettuali.

L'attività prodotta all'interno dell'Azione 07 ha di fatto consentito di stabilire che i dati ad oggi disponibili sono dati consistenti e di buona qualità e che quindi possono, all'interno del progetto, costituire la base dello stato dell'arte.

1.2.2 Descrizione della struttura dei rapporti e nessi

Il prodotto finale dell'Azione 07, come sopra riportato, si concretizza con la redazione dei tre distinti rapporti. Nelle conclusioni sono inoltre evidenziate, ove riscontrate, le difficoltà incontrate nella stesura della relazione e gli eventuali punti che potrebbero essere successivamente sviluppati.

I tre Rapporti sono strutturati in modo analogo e risultano logicamente e sequenzialmente collegati nei contenuti specifici.

Nel loro insieme forniscono il substrato conoscitivo per l'implementazione della piattaforma WIZ, con un contributo in termini strumentali (modelli e strumenti), gestionali (norme e prassi), di organizzazione della conoscenza (tecnologie di accesso e disponibilità dei dati).

1.3 Coordinamento del lavoro

Soggetto responsabile dell'Azione 07 è l'Autorità di bacino del fiume Arno, con l'ausilio degli altri beneficiari del cofinanziamento. L'Autorità di bacino, così come previsto nel budget di progetto, per l'attivazione dell'azione si è avvalsa di assistenza esterna. Il fornitore del servizio è stato individuato ricorrendo ad una procedura concorrenziale in

economia per l'affidamento a cottimo fiduciario, ai sensi dell'art. 125 del d.lgs. 163/2006.

Per la scelta del contraente migliore è stato adottato il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa (articolo 83 del già citato decreto legislativo). La valutazione comparativa, dopo la verifica della conformità dei requisiti tecnici richiesti, si è svolta tenendo conto:

- del valore tecnico del preventivo;
- della professionalità dei concorrenti (con particolare riferimento a servizi e incarichi della stessa tipologia o a questa assimilabili);
- del corrispettivo economico, da valutarsi quale ultimo elemento e con l'apertura dell'offerta in separata seduta pubblica).

L'affidatario è risultato essere la Telos Consulting srl, con sede in Siena, società nella quale operano professionalità che hanno maturato significative esperienze nel settore dei servizi pubblici attinenti alla gestione della risorsa idrica e che è in possesso di esperienza pluriennale in materia di pianificazione prodotta dagli AATO.

Per quanto riguarda l'organizzazione interna all'Autorità di bacino, il Segretario Generale, con decreto n. 97 del 3 settembre 2010, ha individuato la composizione della struttura interna di gestione, finalizzata all'attuazione delle azioni di progetto di cui l'Autorità di bacino stessa è beneficiaria e/o comunque coinvolta con gli altri partner.

Tutte le attività di progetto sono state inoltre condivise sin dall'inizio tra i beneficiari, discutendo e valutando le varie attività, sia via web sia con incontri diretti. A tal fine è stato individuato un calendario di riunioni periodiche tra i partner, finalizzate al confronto, alla condivisione ed omogeneizzazione delle attività di progetto, attività di coordinamento e confronto peraltro agevolata dal deposito delle informazioni e dei documenti stessi, man mano che sono stati predisposti, sul sito provvisorio del progetto.

1.4 Comunicazione e knowledge management

La definizione di un quadro conoscitivo condiviso a tutti gli attori, istituzionali e non, fino all'istituzionalizzazione finale del processo, è una delle finalità di WIZ, e deve ovviamente partire dal team interno e dai partner di progetto.

Gli incontri e le azioni preliminari hanno avuto come scopo quello di creare una base di idee e obiettivi, di condivisione di punti di vista, conoscenze ed esperienze per consentire di svolgere le azioni previste avvalendosi di tutto il patrimonio conoscitivo disponibile nonché per definire il modo con cui approcciare la comunità scientifica e professionale.

Lo sviluppo del lavoro e la condivisione delle informazioni e conoscenza acquisite durante le attività di ricognizione è stata agevolata da un uso

estensivo del web, utilizzando un sito predisposto e basato su motore open source Semantic MediaWiki, sul quale lavorare e depositare, fin dall'inizio, quanto prodotto.

Il Team di monitoraggio esterno Astrale Timesis ha accesso al sito.

2 Il Rapporto D7.1 – Rapporto sullo stato dell'arte di metodologie e strumenti disponibili

2.1 Metodologia di lavoro

Il lavoro di screening è stato condotto attraverso:

- la verifica del preesistente know-how interno tra i partner;
- la ricognizione in letteratura (documentale) ;
- interviste a studiosi e a comunità di esperti ;
- ricognizione degli esiti e referenze da altri progetti
- ricognizione dello stato dell'arte industriale del settore pertinente (documentazione di prodotti, letteratura grigia)

Si è trattato prevalentemente di un lavoro di ricerca documentale e compilativo, che ha tenuto come baseline le informazioni precedentemente raccolte nella preparazione del progetto *WIZ*, per verificarne l'attualità o la necessità di aggiornamento e revisione.

Oltre alle fonti detenute dai partner del progetto, è stato esaminato quanto disponibile e accessibile da siti, collezioni, repertori accreditati e gruppi di lavoro referenziati.

È stato inoltre fatto uno screening degli esiti di altri progetti europei per un avere un quadro il più completo possibile ed aggiornato delle informazioni utilizzabili.

Si è proceduto quindi ad un'analisi circostanziata del quadro conoscitivo così individuato, organizzando il materiale secondo le tematiche di riferimento, come di seguito dettagliate.

2.2 Il Team dell'azione

Il gruppo di lavoro interno impegnato nell'Azione 7 è così composto:

- | | |
|---------------------|------------|
| • Bartoli Elena | Technician |
| • Battaglini Anna | Technician |
| • Bonamini Isabella | Engineer |
| • Brugioni Marcello | Manager |
| • Cambi Stefano | Technician |
| • Consolati Donella | Manager |
| • Mazzanti Bernardo | Engineer |
| • Consumi Francesco | Technician |
| • Del Fante Luigi | Technician |
| • Lovecchio Giacomo | Technician |

Al gruppo di lavoro hanno partecipato anche Giuntini Sara (Technician) e Valli Elisabetta (Technician).

Il referente del gruppo di lavoro per questa Azione è l'Ing. Isabella Bonamini.

2.3 Gli indicatori di progresso e controllo di qualità dei risultati

Come indicatori di progresso si è ritenuto di utilizzare quanto già individuato nella proposta progettuale sia in merito alle tipologie di indicatore, che alle soglie di misurazione e a chi misura e con che mezzi.

In particolare gli indicatori individuati sono *l'ampiezza di copertura delle fonti*, *la qualità dei risultati* e *il resoconto di completamento*.

2.3.1 Ampiezza di copertura delle fonti

Una prima indicazione utilizzata nella ricerca delle informazioni è stata quella di attenersi ai documenti e prodotti più recenti (ad esempio per studi e documentazioni afferenti al cambiamento climatico è stato stabilito di non risalire oltre il 2007 - data di pubblicazione del Report IPCC).

Altro criterio di selezione e qualificazione delle fonti è stato quello di attenersi, in prima istanza, alla documentazione propria dei mandati istituzionali dei beneficiari e, al di fuori di questi settori, nell'individuare le informazioni collegate spazialmente e in termini di finalità agli obiettivi di WIZ.

Il controllo del raggiungimento dell'obiettivo compete al Comitato Scientifico e Tecnologico ed è una verifica di tipo documentale da condursi alla fine dell'azione.

2.3.2 Il controllo della qualità dei risultati

Il controllo di qualità e la validazione dei risultati avviene direttamente tramite l'organizzazione delle attività sul sito web del progetto, dove la lettura e i commenti sulle varie attività garantiscono un meccanismo di controllo e approvazione.

La verifica del raggiungimento dell'obiettivo può essere effettuata solo a seguito dello svolgimento della attività di progetto susseguenti all'Azione 07, ma che su questa si basano. La misura della bontà dell'azione sarà fornita dalla verifica di quanto il materiale reperito e organizzato è stato utilizzato. Il controllo del raggiungimento dell'obiettivo compete anche in questo caso al Comitato Scientifico e Tecnologico ed ai Leader delle attività susseguenti.

2.3.3 Il resoconto di completamento

È un obiettivo che si misura alla fine dell'azione e consiste in un contatore sì/no (il report è stato prodotto e consegnato nei tempi contrattuali?) dei prodotti previsti, nello specifico del Rapporto D7.1.

La verifica è documentale e fatta direttamente dall'Autorità di bacino.

2.3.4 Autorevolezza, affidabilità, aggiornamento

Per il lavoro di aggiornamento dello stato dell'arte sono stati discussi preliminarmente tra i partner di progetto i criteri con cui affrontare la ricognizione, selezione e analisi delle fonti.

Sono stati identificati due rischi principali da evitare:

- il rischio di fare attività e lavorare su fonti 'out-of-scope', fuori cioè dalla finalizzazione del progetto, e
- il rischio di limitare la ricognizione alla prassi consolidata e al contesto di lavoro dei partner.

Il rischio di *out-of-scope* può produrre due effetti dannosi per il progetto WIZ:

- sconfinamento nel campo della ricerca, con individuazione di soluzioni non ancora validate e che quindi non possono essere utilizzate nel campo di dimostrazione a scala reale e di mainstreaming che caratterizza il progetto WIZ e il programma LIFE+ da cui riceve sostegno finanziario;
- sconfinamento nel campo di soluzioni che ipotizzano la definizione di modelli operativi che non rientrano nella cornice dei mandati e poteri dei partner di progetto (per esempio dal punto di vista delle condizioni normative in cui operare).

Il rischio di limitare la ricognizione alla prassi consolidata può a sua volta *ingessare* il progetto, perché ridurrebbe il potenziale di innesco di un approccio profondamente innovativo che è nello spirito WIZ.

In particolare tra queste conseguenze ci sarebbe quella di minimizzare l'impatto sui cittadini e ancor più il feed-back e la capacità di amplificazione che i cittadini possono portare nel progetto.

D'altra parte, accanto alla ricognizione dello stato dell'arte per assicurare che le soluzioni prese in esame siano effettivamente le più aggiornate, i partner WIZ ritengono indispensabile che lo *stato dell'arte* sia costantemente riferito allo *stato di fatto* in cui va ad innestarsi WIZ.

Con queste premesse i partner WIZ hanno deciso di adottare criteri per la selezione delle fonti che - pur fondandosi sugli approcci codificati per la ricerca di informazione - rispondessero anche alle esigenze del contesto specifico del progetto.

Sono stati perciò concordati tre indicatori sintetici utili per tutti e tre gli ambiti di ricognizione dello stato dell'arte:

- autorevolezza;
- affidabilità;
- aggiornamento.

In questo specifico contesto per autorevolezza si intende il grado di accettazione da parte della comunità interessata, che può anche essere

espresso come l'effettiva disponibilità a cambiare un comportamento in atto per seguire le indicazioni della fonte in esame.

Per affidabilità si intende qui il grado di consenso conferito dalla comunità interessata, che può anche essere espresso come fiducia che viene riposta sulla fonte in esame per prendere decisioni.

Per aggiornamento si intende qui il ritardo tra il momento in cui l'informazione è stata prodotta e il momento in cui viene resa disponibile dalla fonte.

Per tenere conto dei contesti diversi in cui WIZ viene attuato, la ricognizione è stata fatta anche in Spagna da ITG e i risultati sono stati integrati.

Il campo di indagine è stato delimitato dai cataloghi di fonti di uso corrente da parte dei partner WIZ. Infatti per la delimitazione del campo di indagine si è adottato - alla scala congrua con le dimensioni del progetto - un approccio di 'catalogo autorevole'.

Tutti i partner hanno servizi di documentazione ben organizzati nei loro campi di lavoro:

- Acque (ACQSPA) per la pianificazione delle infrastrutture;
- Ingegnerie Toscane (INGTOS, ex ACQING) per la modellazione delle reti e la simulazione delle capacità di servizio e per la modellazione e simulazione dei prelievi;
- Autorità di Bacino del Fiume Arno (ABARNO) per la descrizione, modellazione e simulazione della risorsa e degli impatti sulla risorsa;
- Fundación Instituto Tecnológico de Galicia - in maniera indiretta - su tutti e tre gli aspetti;
- tutti sul fronte normativo di competenza.

Partendo da questa disponibilità si è quindi deciso di utilizzare il catalogo delle fonti come 'registro' per lo screening delle fonti documentali.

Per la parte di verifica di quanto lo stato dell'arte sia collegabile allo stato di fatto, è stata effettuata una indagine diretta, con questionari somministrati ai Comuni, che sono stakeholder principali del progetto.

Inoltre si è aggiunto il confronto con la comunità accademica, scientifica e professionale, per assicurare che il rischio di distorsione fosse ridotto.

La scelta degli indicatori per la selezione delle fonti e la delimitazione di campo, insieme con la valutazione dei rischi accennata sopra, ha portato come conseguenza alcune decisioni preliminari che hanno ulteriormente affinato l'ambito d'indagine:

- confinamento della ricognizione al campo di applicazione del progetto (incluse le possibili repliche in altri paesi);
- esclusione delle soluzioni (protocolli, strumenti, dati, modelli) proprietari - a meno che si tratti di standard de facto;

- esclusione delle soluzioni che non godono di una comunità di supporto adeguatamente attiva.

D'altra parte i partner WIZ hanno tenuto conto in questa scelta non solo delle esigenze relative all'aggiornamento dello stato dell'arte (compito principalmente assegnato ad ABARNO), ma anche della successiva evoluzione della base di conoscenza e delle necessità di trattamento di informazione eterogenea in futuro (sia in fase di specificazione che in fase di realizzazione degli engine della piattaforma WIZ4PLANNERS e WIZ4ALL e poi durante l'erogazione del servizio). Infatti nell'esecuzione di WIZ - per la parte di costruzione della base di conoscenza condivisa, si tratterà di più tassonomie.

Si è perciò cercato di mantenere un approccio uniforme - per quanto possibile - nell'esame delle fonti utilizzate per l'esplorazione dello stato dell'arte e in quello avviato per la costruzione della base di conoscenza WIZ, che tornerà poi utile come riferimento operativo attraverso tutta l'esecuzione del progetto.

2.3.5 Criteri per le relazioni con le comunità di esperti

Un criterio di accettazione condiviso tra i partner è l'autorevolezza accademica, per cui il primo criterio di scelta è stato quello di avvalersi dei contributi provenienti da Università ed Enti di Ricerca.

In seconda istanza si è ritenuto di avvalersi del contributo degli Ordini professionali, con particolare riferimento a quelle categorie professionali direttamente interessate alle problematiche di WIZ, quali ingegneri, architetti e geologi.

2.4 Assunti, Ambito e vincoli specifici

2.4.1 Validità degli assunti della proposta di progetto

In fase di proposta di progetto sono stati fatti i seguenti assunti:

- che i paradigmi sull'impatto del cambiamento climatico non cambieranno radicalmente durante l'esecuzione del progetto;
- che la gerarchia e/o l'influenza degli decisori politici che hanno a che fare con il clima non cambieranno radicalmente;
- che nell'area di implementazione di WIZ non ci saranno così tanti grandi investimenti da deviare o cambiare significativamente lo scenario del progetto.

Nella ricognizione dello stato dell'arte delle metodologie e degli strumenti un obiettivo è stato quello di verificare che questi assunti fossero ancora validi e che le eventuali nuove metodologie o strumenti fossero con essi compatibili.

In fase di avvio della ricognizione si è verificato che:

- i paradigmi considerati nella proposta WIZ relativi all'impatto del cambiamento climatico sono stati messi ripetutamente in discussione, ma senza che ne venisse intaccata la credibilità e l'accettazione generale e del mondo scientifico.
- La struttura decisionale per le questioni inerenti il clima non è cambiata e semmai si è verificato che nonostante le pressioni derivanti dalla crisi economica globale, il processo decisionale ambientale non è stato sostanzialmente indebolito o alterato.
- Gli investimenti specifici del gestore nell'area non hanno subito modifiche (come espresso dal piano triennale degli investimenti 2008-2010) e, anche a causa delle condizioni di stasi economica, sia gli investimenti industriali che in edilizia abitativa e commerciale hanno subito una flessione.

2.5 Delimitazione dell'ambito di riferimento

L'ambito fisico di riferimento del progetto *WIZ* è il territorio di competenza dell'Ambito Ottimale n. 2 – Basso Valdarno, in cui la piattaforma progettuale sarà testata. In particolare, relativamente a tale ambito, il quadro conoscitivo di base, per quanto riguarda gli aspetti urbanistici, è stato ricostruito avvalendosi anche delle informazioni direttamente trasmesse dai comuni ricompresi all'interno dell'ambito di cui sopra, comuni il cui coinvolgimento è specificatamente previsto dall'Azione anche tramite la compilazione di un questionario on-line.

La modifica societaria da Acque Ingegneria Spa alla più ampia Ingegnerie Toscane Spa, sopraggiunta in corso d'opera – forse frutto della strategia gestionale conseguente alle modifiche del regime di affidamento dei servizi pubblici a rilevanza economica di derivazione comunitaria fatti propri dall'ordinamento italiano – comporta indubbi vantaggi a livello di istituzionalizzazione di *WIZ* nelle politiche di governance. Pur restando invariata l'estensione territoriale di riferimento progettuale, l'unificazione delle società di ingegneria dei tre più importanti ambiti toscani, di fatto produce un arricchimento al progetto in quanto amplificherà la possibilità di adozione dell'impianto e delle soluzioni di *WIZ*.

Per quanto riguarda la ricognizione di metodologie, strumenti, oggetto del rapporto D7.1, l'ambito di ricerca necessariamente travalica quello fisico di riferimento. La ricognizione è stata condotta nell'ottica di individuare strumenti e modelli che risultino i più aggiornati e accreditati nel settore di intervento di *WIZ* e quindi a livello transnazionale, avvalendosi anche in maniera consistente delle informazioni disponibili attraverso le fonti autorevoli accessibile via web, come i siti tematici comunitari e delle istituzioni di ricerca.

2.6 Vincoli specifici

Il principale vincolo di WIZ, già individuato nella proposta di progetto, è che lo stesso non è un progetto di ricerca ma un progetto di dimostrazione e che come tale deve basarsi su un quadro di conoscenza e di gestione esistente, consolidato e disponibile all'uso nell'orizzonte temporale di implementazione del modello.

3 Conoscenza preesistente

3.1 Know how disponibile tra i partner

Il censimento del know how disponibile presso i partner del progetto è stato il primo passo della ricognizione. In particolare presso l'Autorità di bacino del fiume Arno sono disponibili le informazioni riferibili alla disponibilità di risorsa idrica, sia superficiale che sotterranea, valutata anche in riferimento al cambiamento climatico, alla modellazione a livello di bacino, all'analisi economica. Acque ed Ingegnerie Toscane sono depositari di informazioni relative a modellazioni, previsioni e analisi della rete di fornitura, tecnologie web, così come anche il partner spagnolo.

A seguire si riporta, in maniera sintetica la documentazione disponibile tra i partner, rimandando per informazioni di dettaglio ai paragrafi successivi.

3.2 Sintesi delle conoscenze preesistenti dei partner WIZ

3.2.1 Autorità di bacino del fiume Arno

L'Autorità di bacino è depositaria delle informazioni e degli strumenti modellistici utilizzati per la definizione del quadro conoscitivo del Piano di Bacino. L'Autorità di bacino del fiume Arno, ai sensi della normativa di riferimento¹, si è avvalsa della facoltà di redigere il Piano per stralci funzionali estesi all'intero territorio di competenza, ciascuno relativo a specifiche tematiche. Sono stati quindi, in quest'ottica, redatti gli stralci funzionali relativi alla *Qualità delle Acque* (dpcm 31 marzo 1999), all'*Attività Estrattiva* (dpcm 31 marzo 1999), alla *Riduzione del Rischio Idraulico* (dpcm 5 novembre 1999), all'*Assetto Idrogeologico* (dpcm 6 maggio 2005), al *Bilancio Idrico* (delibera di Comitato Istituzionale n. 204 del 28 febbraio 2008 – attualmente in corso di procedura di VAS). Tali piani sono organizzati in un quadro conoscitivo di base, che individua le criticità del sistema e quindi gli interventi, strutturali e normativi/gestionali, finalizzati alla risoluzione di tali criticità. Oltre all'attività riconducibile al Piano di bacino sopra riportato, a seguito della legge n.13/2009, all'Autorità di bacino del fiume Arno è stato affidato il ruolo di coordinamento nella redazione del *Piano di Gestione delle*

¹ D. lgs. n. 152/2006, art. 65, comma 8

Acque del Distretto dell'Appennino Settentrionale, redatto ai sensi della Direttiva 2000/60 CE. Il Piano è stato adottato con delibera di Comitato Istituzionale n. 206 del 24 febbraio 2010.

Si è ritenuto di seguito, anche in conformità a quanto riportato nei paragrafi precedenti in merito all'ampiezza delle fonti da esaminare, di riportare la sintesi del quadro conoscitivo derivante dalla pianificazione attinente per tematica e per tempistica di redazione a *WIZ*.

In particolare si è ritenuto di escludere dalla trattazione il Piano Qualità delle Acque, attinente ma superato e ricompreso come contenuti nel Piano Bilancio idrico, e il Piano stralcio Attività Estrattive, non attinente per materia.

Si riportano quindi a seguire delle brevi sintesi dei Piani individuate.

Il Piano stralcio Bilancio Idrico

Lo stralcio Bilancio idrico è stato adottato in data 28 febbraio 2008 ed è, al momento, in fase di procedura Valutazione Ambientale Strategica. Il piano si avvale di una modellazione afflussi-deflussi per la definizione del bilancio idrico superficiale in tutti i tratti del reticolo (60.000 tratti, corrispondenti a circa 22.000 Km). Il modello è in grado di fornire, tra le altre informazioni, la portata media giornaliera e la curva di durata delle portate nei mesi estivi, nei quali, tipicamente, si manifestano le criticità a carico del reticolo. Tale criticità infine è stabilita in funzione dei giorni in cui la portata risulta inferiore al deflusso minimo vitale, anch'esso definito per via modellistica in tutti i tratti del reticolo.

Il modello idrologico – idraulico utilizzato si basa su una serie storica di dati ridotta rispetto sia alle effettive disponibilità, sia ai periodi tradizionalmente usati e consigliati in letteratura. E ciò per una precisa scelta di fondo: valutare le serie storiche degli ultimi quindici/venti anni consente di tener conto di variazioni recenti a carico del sistema dei deflussi/afflussi naturali, riconducibili, a parità di condizioni antropiche (di uso del suolo e prelievi/scarichi) a cambiamenti climatici.

Analogamente la disponibilità idrica della risorsa sotterranea è stata valutata tramite un modello di calcolo dell'infiltrazione efficace, applicato a livello di acquifero significativo e quindi in una successiva suddivisione del corpo idrico in aree a diverso grado di disponibilità di risorsa.

Nell'area oggetto di implementazione di *WIZ* e in generale, a livello di bacino, sono proprio le acque sotterranee quelle più tipicamente legate allo sfruttamento ad uso civile e quindi sono tali corpi idrici quelli che più risultano interessanti ai fini del progetto.

Elemento essenziale per la definizione dell'equazione del bilancio, composta da termini naturali di tipo climatico, geologico, pedologico, e da termini di tipo antropico, è la stima dei prelievi e scarichi.

Per la definizione del bilancio delle acque superficiali e sotterranee è stata stata infatti necessaria la preventiva definizione del quadro dei prelievi, con le relative leggi d'uso. è un quadro che si basa su dati ufficiali di concessione, spesso privi delle necessarie informazioni per la

definizione di un preciso quadro dei quantitativi effettivamente prelevati. Tale quadro inoltre non tiene conto dei prelievi abusivi, fenomeno che peraltro, dai dati di bilancio, non sembra particolarmente rilevante a livello di bacino. Si sottolinea inoltre come il prelievo ad uso idropotabile, che più interessa le tematiche di WIZ, sia la tipologia per cui i dati sono più certi e affidabili, spesso derivanti da misurazioni volumetriche e piezometriche effettuate anche in continuo dai gestori del servizio. Diverso invece è il quadro conoscitivo afferente ai prelievi di acque sotterranee ad uso domestico: la procedura prevista è una semplice autorizzazione, rilasciata dalle Province. In questo settore, che peraltro interessa diverse aree ricadenti all'interno dell'Ambito Ottimale n. 2, non eccessivamente rilevante come quantitativi emunti ma consistente numericamente, l'informazione non è sufficientemente dettagliata ed è stata stimata da dati di consumo pro-capite.

Il Piano stralcio Assetto Idrogeologico e il Piano stralcio Rischio Idraulico

Il Piano Stralcio Assetto Idrogeologico – PAI – è uno strumento preposto alla tutela del territorio da eventi alluvionali e da frana che sostanzialmente suddivide il territorio in aree a diverso livello di pericolosità, in base alla quale vengono calibrate le misure e la possibilità di modifiche territoriali. Il Piano Rischio Idraulico è invece, nella sostanza, un piano di interventi strutturali, atti a risolvere le pericolosità idrauliche del territorio, calibrate su eventi alluvionali caratterizzati da determinati tempi di ritorno.

Sono entrambi strumenti che pongono una vincolistica assai forte sul territorio, vincoli che, anche se in maniera limitata, possono comportare limitazioni o comunque condizionare la realizzazione delle infrastrutture legate alla piattaforma WIZ.

Il Piano di Gestione delle Acque dell'Appennino Settentrionale

Il Piano di Gestione delle Acque dell'Appennino Settentrionale è stato adottato, ai sensi della legge 27 febbraio 2009, n. 13, nella seduta di Comitato Istituzionale (integrato dai rappresentanti delle regioni del distretto) del 24 febbraio 2009. Come elemento di novità rispetto agli strumenti pianificatori in materia già esistenti, oltre all'estensione territoriale, il Piano, redatto ai sensi della dir. 2000/60/CE, introduce il principio *chi inquina paga* e prevede l'analisi economica quale strumento per la determinazione delle misure e degli interventi necessari, ma sostenibili anche sotto l'aspetto economico, per il raggiungimento degli obiettivi ambientali prefissati. Sono proprio gli strumenti ed modelli economici contenuti nel Piano di Gestione l'aspetto ritenuto caratterizzante e innovativo in riferimento alla piattaforma WIZ.

Gli strumenti di pianificazione e tutti gli elaborati di Piano sono accessibili e scaricabili in formati riproducibili dal sito dell'Autorità di bacino.

3.2.2 Acque Spa e Ingegnerie Toscane Spa

Acque Spa e Ingegnerie Toscane sommano internamente il know-how su:

- modellazione e simulazione delle reti e del servizio idrico integrato;
- progettazione, gestione e controllo delle reti e del servizio idrico integrato.

Acque Spa è il gestore del servizio e direttamente coinvolto nelle stime dei fabbisogni, nelle pianificazioni degli investimenti e nei procedimenti autorizzativi.

Acque Ingegneria prima (e poi a maggior ragione Ingegnerie Toscane) hanno internamente il know-how relativo alla modellazione, simulazione, progettazione, telemetria e telecontrollo.

In relazione all'ambito WIZ, Acque Spa e Ingegnerie Toscane hanno sviluppato conoscenze specifiche anche:

- nell'analisi dello stato del servizio;
- nello sviluppo di criteri per la valutazione dell'impatto di nuove utenze sulla rete acquedotto;
- nello sviluppo e manutenzione di modelli e di metodi di simulazione delle reti acquedottistiche;
- nello sviluppo, gestione e implementazione di metodi di ottimizzazione delle performance di servizio, ambientali ed energetiche delle reti.

Nel campo dell'analisi dello stato di fatto è stato sviluppato internamente un metodo allo stato dell'arte per affrontare le problematiche legate alle espansioni urbanistiche e sostenere le ulteriori richieste che ne derivano senza creare disagi alle utenze già servite.

Le principali caratteristiche di questo metodo - con gli strumenti che ne permettono l'applicazione, sono:

- "scattando" delle fotografie istantanee attuali al sistema idrico (acquedotto) permette di predisporre una serie di carte tematiche;
- consente una migliore e più raffinata capacità di indagine e di ricavare più conoscenza;
- costituisce uno strumento per una migliore programmazione degli interventi urbanistici, sia per la dimensione che per la localizzazione;
- una programmazione degli interventi infrastrutturali (rete e impianti acquedotto).

Nei casi in cui si riesce a dimostrare convenientemente che esiste tale ulteriore disponibilità, può essere ricercata una soluzione tecnica mitigatrice sugli impianti di distribuzione che può ripristinare il livello di servizio di riferimento, anche a fronte di una maggiore richiesta di acqua.

I modelli di simulazione sono un altro ambito fondamentale di competenza interna di Acque e di Ingegnerie Toscane.

I modelli di simulazione rappresentano un fondamentale strumento sia per la corretta progettazione degli elementi caratteristici della rete, quali tubazioni, serbatoi, impianti di sollevamento etc. sia per la gestione ottimale della stessa, consentendo di valutare il comportamento del sistema in differenti situazioni, di determinare le condizioni di funzionamento nei rami non dotati di strumentazione di telecontrollo e di evidenziare al contempo le aree critiche caratterizzate da forti pressioni e le aree di sofferenza caratterizzate invece da bassa pressione.

Il know-how interno riguarda anche lo sviluppo del modello matematico, che comporta una sequenza complessa di attività: rilievo ed acquisizione della rete attraverso l'utilizzo di supporti informatici GIS, elaborazione, modellazione e restituzione informatica.

I tecnici di Acque hanno acquisito una buona conoscenza sulla definizione del livello di dettaglio da raggiungere in ciascuna fase per calibrare la tolleranza intrinseca del modello rispetto all'utilizzo per il quale si costruisce lo stesso.

È anche stato acquisito - e viene costantemente aggiornato - un buon know-how per la valutazione dell'impatto che le nuove utenze hanno sulla rete acquedotto e per la stima degli interventi necessari per il mantenimento del livello di servizio necessari nei casi di inadeguatezza della risorsa e/o delle condotte distributrici ed adduttrici esistenti. Le nuove utenze, che concorrono a formare nuova domanda idrica, sono sempre conseguenti a piani urbanistici (lottizzazioni, piani di recupero, cambi di destinazione ecc.), che le Amministrazioni Comunali programmano.

Questo know-how è particolarmente utile per la definizione, progettazione e sviluppo dei motori WIZ.

3.2.3 Fundación Instituto Tecnológico de Galicia

Fundación Instituto Tecnológico de Galicia (ITG) è un centro di innovazione e trasferimento tecnologico ed ha anche per questo accumulato al suo interno un importante deposito di conoscenza.

FUNITG (Istituto de Fundación Tecnológica de Galicia) ha tra i suoi numerosi partner statuari molti attori chiave in relazione agli obiettivi del progetto WIZ. Tra questi, a livello istituzionale, il Governo regionale della Galizia, Xunta de Galicia, che facilita l'accesso al know-how normativo e regolatorio.

Per l'ambito di conoscenza tecnico e scientifico in relazione al progetto WIZ, gli enti professionali i cui interessi sono collegati al progetto, e il mondo accademico a cui ITG ha avuto accesso per dare il suo contributo allo screening dello stato dell'arte includono Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, il Colegio de Arquitectos de Galicia,

e sul fronte accademico, l'università di A Coruña e ITA (Instituto Tecnológico del Agua), che si occupa di gestione idrica urbana all'Universidad Politecnica de Valencia.

Il know how interno specifico di FUNITG in relazione al progetto riguarda soprattutto la rappresentazione delle informazioni (la parte di aggregazione delle informazioni e di interfacciamento che è molto importante in WIZ4ALL).

Poiché la Commissione ha chiesto di estendere fin dove possibile anche in Galizia l'applicazione WIZ4PLANNERS, FUNITG ha effettuato una ricognizione parallela, a partire dal proprio know-how interno.

In particolare sono attinenti:

- il know-relativo ai metodi di trattamento dati da reti sensoriali ambientali distribuite, specialmente importante in relazione alla necessità di integrare dati territoriali distribuiti e dati puntuali in WIZ;
- il know-how relativo allo sviluppo di software (per le amministrazioni locali per la pianificazione e gestione integrata dei servizi sul territorio, inclusa la gestione idrica);
- il know-how per la creazione di interfacce di consultazione interattive e con aggregazione on-the-fly di dati.

Il gruppo tecnico coinvolto include alcune delle persone che avevano partecipato al progetto LIFE ASAP e il gruppo che sviluppa software per la gestione integrata e la pianificazione comunale.

FUNITG ha anche contribuito con un'analisi dello Stato dell'arte sulle metodologie, gli strumenti, le norme di riferimento e l'organizzazione dei dati in Spagna.

il testo completo in lingua originale è allegato in Appendice 1 - Il contributo di ITG (pag. 126).

Riassunto del contributo FUNITG

ITG ha condotto un'analisi sui fattori che hanno influenzato maggiormente il reperimento delle risorse idriche in Spagna. Nello specifico si considera:

- ordinamento giuridico
- cambiamento climatico
- gestione delle risorse idriche
- nuove tendenze tecnologiche

Ordinamento giuridico

I principali strumenti giuridici sviluppati nell'Amministrazione Pubblica Spagnola sono:

- il Piano Nazionale di risanamento e depurazione 1995-2005, per garantire la depurazione delle acque reflue urbane, contribuendo all'applicazione della Direttiva 91/271/CEE sul trattamento delle acque reflue urbane;
- il Libro Bianco sull'Acqua;

- l'Osservatorio della Sostenibilità in Spagna (OSE) e la Strategia per la sostenibilità della costa;
- la legge del patrimonio naturale, nuova Legge del Suolo;
- la Direttiva 2000/60/CE, Direttiva Quadro sulle Acque, attuata in Spagna tramite la Legge delle Acque, approvato con R.D.Lgs. 1/2001;
- il Piano Nazionale di qualità delle acque (PNCA) 2007-2015;
- Il Programma AGUA, che si pone l'obiettivo di comprendere il riutilizzo delle acque reflue per l'incremento della disponibilità delle risorse idriche.

Cambiamento climatico

Secondo il Piano Idrologico Nazionale del 1993 il cambiamento climatico rappresenta un grave problema per le risorse idriche in Spagna. In particolare:

- La temperatura media annuale in Europa si stima sia aumentata mediamente del 0.8 °C tra il 1901 e il 1995. Questo riscaldamento si è avvertito maggiormente nella Penisola Iberica.
- Le variazioni delle precipitazioni nella zona meridionale dell'Europa, in cui si è riscontrata una diminuzione media di circa il 20%, si sono maggiormente avvertite in alcune zone della Spagna, dove si è raggiunta una diminuzione di circa il 50 %.

Gestione delle risorse idriche

I principali meccanismi di gestione della risorsa idrica in Spagna sono:

- la gestione diretta, nella quale l'Amministrazione centrale è il gestore unico della risorsa;
- le società miste, tramite la creazione di imprese a capitale pubblico e privato;
- le concessioni private, nelle quali l'amministrazione detiene solo la titolarità della concessione del servizio e delega il resto delle funzioni a una impresa privata. **Quest'ultima rappresenta il meccanismo maggiormente utilizzato in Spagna.**

Nuove tendenze tecnologiche

La valutazione degli strumenti on-line offerti dall'Amministrazione (e-Administration) per la gestione dell'acqua è stata effettuata attraverso l'analisi delle pagine web delle diverse istituzioni e delle imprese coinvolte.

E' emerso che l'Amministrazione ha un forte interesse a offrire le informazioni sul tema delle risorse idriche attraverso il web, con la garanzie di certificazione elettronica, e sistemi di informazione specializzato, che forniscono una vasta gamma di dati.

In Spagna la maggiore fonte di dati sulla risorsa idrica, accessibile a qualsiasi utente, è il sito web del Ministero dell'Ambiente (<http://www.marm.es/>) da cui si propagano numerosi collegamenti a dipartimenti, imprese e servizi.

C'è grande attenzione sui metodi e strumenti per il controllo idrologico, e lo sviluppo di nuovi sensori, sistemi di modelli di simulazione, tecnologie innovative sul controllo dell'impatto ambientale.

Il quadro di fondo più aggiornato si rifa comunque metodologie sostenute (*endorsed*) da enti sovranazionali (UE, IPPC, AIWWA) e quindi si rileva che i metodi e gli strumenti elettivi per WIZ sono in gran parte in comune in Spagna e in Italia.

4 La pianificazione spaziale nella gestione delle risorse idriche. Lo stato dell'arte

Ormai la domanda sociale, politica e culturale che viene posta nella pianificazione spaziale è che questa rispetti la compatibilità ambientale.

Nella pianificazione del territorio attualmente c'è un dibattito sull'esigenza di quanto sia conciliabile la capacità di beneficiare continuamente risorse, senza mettere in pericolo il loro completo esaurimento, con la pianificazione.

I recenti sforzi compiuti dai pianificatori territoriali e gestori delle risorse idriche per stabilire nuove strategie sono prevalentemente orientati verso uno stile di pianificazione subordinata alla regolamentazione e si avvalgono dell'interscambio di conoscenze tecniche, la creazione di nuovi strumenti giuridici, e l'imposizione di norme e standard.

Potenziare la sintonia tra 'spazio' e 'acqua' richiede capacità strategiche e una mentalità capace di trasformare vincoli in opportunità. Di conseguenza, per quanto riguarda il rapporto tra 'acqua e spazio' si assiste ad un processo strategico di "*più immaginazione applicata alla costruzione di una strategia*" (The Environment Agency.gov.uk, 2009) che parta dalle seguenti domande:

- C'è abbastanza acqua?
- Qual'è l'approccio dei gestori delle risorse idriche per fare in modo che ci sia abbastanza acqua disponibile per servire i livelli di crescita previsti?
- Ci sarà un impatto sulla qualità dell'acqua?

In questa prospettiva, è importante richiamare l'attenzione sul fatto riguardo alle risorse d'acqua che il modello attuale dello sviluppo in diverse parti del mondo non è proprio sostenibile. Partendo da un riscontro sulla letteratura al riguardo, vengono sollevate alcune questioni critiche su come sia possibile armonizzare la gestione delle acque e la pianificazione del territorio.

Nei contributi di seguito elencati sono presentati alcuni fra gli esempi rivelatori di diversi contesti a livello mondiale, dal sud Mediterraneo a grave crisi idrica, all'analisi di un sistema di fornitura delle acque nella California meridionale; ad altre zone che si trovano di fronte crisi ambientali legate alle risorse idriche (Arizona e Mexico o Spagna) fino ad alcuni esempi europei come, Germania, Olanda e Inghilterra con ulteriori approcci distinti nell'esplorazione della soluzione da affrontare.

Nella prospettiva mediterranea ("*The Mediterranean perspectives for the management of limited water resources*", Bogliotti, Steduto, 2003) la gestione delle scarse risorse idriche passa attraverso il buon management di "acqua agricola", dato che l'agricoltura è la principale causa di prelievi d'acqua naturale in quest'area. Questo è un vincolo importante per lo sviluppo socio-economico delle regioni del sud del

Mediterraneo. La letteratura scientifica prodotta negli ultimi decenni mostra che la ricerca nel settore idrico è stata fortemente orientata alla modellazione per prospettive di sviluppo del settore delle risorse idriche nel Mediterraneo, o per esplorare e valutare nuove risorse idriche per soddisfare la crescente domanda. Minor ricerca è stata affrontata nella gestione integrata e sostenibile delle risorse idriche limitate, e per migliorarne l'efficienza e le prestazioni nella gestione dell'acqua.

Una gestione integrata delle risorse idriche limitate dovrebbe prevedere mezzi adeguati per l'acquisizione di una conoscenza profonda delle risorse idriche intese come "dinamiche" per sottolineare che l'"importo totale" disponibile (acque superficiali, sotterranee, apporti non convenzionali di acqua) o richiesto (agricoltura, civile, industria, energia, turismo, tempo libero, la fauna selvatica naturale) non deve essere visto come statico, ma come un tasso che varia continuamente con il tempo.

Il sistema di fornitura delle acque nella California meridionale (*"Economic values for conjunctive use and water banking in southern California"*, Pulido-Velazquez et al., 2004) è esplorato prendendo in considerazione le potenzialità e le limitazioni dell'uso congiunto di acque superficiali e sotterranee. Il modello ingegneristico-economico di ottimizzazione di flusso di rete, *Calvin*, è utilizzato per analizzare i vantaggi economici e di affidabilità da diverse alternative di impiego congiunto. Questa gestione flessibile è in grado di generare notevoli benefici economici alla regione con ulteriori capacità di stoccaggio delle acque sotterranee. I risultati mostrano una riduzione del fabbisogno economico per l'aumento delle importazioni nel sud della California, e suggeriscono cambiamenti nelle operazioni del sistema, indicano importanti vantaggi economici in espansione alcuni impianti di trasporto e di stoccaggio.

Nel documento *"Scenario analysis for the San Pedro River, analyzing hydrological consequences of a future environment"* (Kepner, 2004) sono presentati studi di futura gestione e opzioni politiche per esaminare i possibili risultati e soprattutto i loro potenziali benefici e conseguenze anche in zone che si trovano di fronte ad un'intensa crisi ambientale legati alle risorse idriche (come San Pedro River in Arizona e Sonora, Mexico) che assistono a rapidi cambiamenti nella copertura vegetale. Mentre in precedenza ci si era occupati principalmente delle risorse di acque sotterranee e relativi modelli di sviluppo urbano. Oggi la posizione di un certo numero di studi ha affrontato l'analisi del cambiamento, con differenti analisi alternative gli scenari futuri. Il presente studio definisce in forma di griglie land use/land cover, e li esamina in relazione al loro impatto sulle condizioni di acque di superficie (ad esempio, deflusso superficiale e la resa dei sedimenti). Con le tecnologie GIS applicate a strumenti di modellazione idrologica possono essere utilizzati per valutare l'impatto territoriale dei modelli di crescita urbana in materia di acque di superficie.

I sistemi di approvvigionamento delle acque costituiscono una parte centrale delle infrastrutture pubbliche e fonte di costi notevole, sia in termini monetari ed energetici. In *“Optimization models for operative planning in drinking water networks”* (Burgschweiger et al., 2004) viene presentato un sistema di ottimizzazione, attualmente in funzione in Germania alla Berliner Wasserbetriebe, che si fonda sulla pianificazione operativa dei costi minimi delle reti in pressione dell'acqua in un orizzonte temporale limitato e sotto una previsione affidabile della domanda. Il soggetto di questo lavoro è funzionamento in rete. I principali compiti di pianificazione comprendono la progettazione ottimale della rete per ridurre i costi di investimento e il miglioramento del funzionamento di quella esistente per ridurre al minimo i costi di gestione. Il problema matematico della pianificazione operativa è difficile perché rende difficile generare soluzioni sufficientemente precise e affidabili in tempi accettabili, ottimizzato con simulazione di software di rete idraulica esistente, come ad esempio EPANET.

Nel contributo *“The role of models in supporting river basin management”* (Blind, 2003) alla Conferenza *“European Water Scenarios: from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives”*, vengono analizzate le diverse tipologie di modelli da quelli operativi, nell'immediato a quelli più a lungo termine. Su un piano day-to-day i modelli sono utilizzati per la gestione operativa di azioni immediate e urgenti come un'onda di tempesta, sistemi di controllo per l'irrigazione, la distribuzione di acqua, centrali elettriche ecc, perché in tali casi una caratteristica fondamentale di questi tipi di modelli è che di solito rappresentano molto bene la realtà.

Sul medio termine (1-15 anni), i modelli vengono utilizzati per la pianificazione e la gestione integrata, sistemi sono usati per esempio per calcolare gli effetti (tecnici, politici, istituzionali, e finanziari) delle misure.

A partire da alcuni modelli abbastanza semplici per individuare temi e problemi, si arriva sino a sistemi più complessi che permettono di calcolare le migliori stime degli effetti ed il loro costo-efficacia. Nella pianificazione e gestione di strumenti per l'integrazione, come l'analisi multi-criteri, il ruolo di semplici modelli come strumenti per sostenere il dialogo e la discussione non può essere sottovalutato. Pertanto come si può dedurre da quanto sopra, l'utilizzo di modelli di gestione delle risorse idriche è molteplice e dipende molto dai seguenti fattori:

- Disponibilità e qualità dei dati
- Complessità e scala spaziale del problema
- Politiche urgenza e il coinvolgimento
- Momento all'interno del ciclo di pianificazione
- Livello di partecipazione pubblica

I modelli possono essere utilizzati in maniera quantitativa o più qualitativa, per il sostegno dialogo o di prendere decisioni reali.

In Spagna l'obiettivo del progetto AQUADAPT (www.aquadapt.net) è quello di sviluppare strumenti strategici per informare politica integrata delle risorse idriche con un approccio co-evolutivo (*“Developing Tools for Adaptive Integrated Water”*, Eisenhuth et al., 2004). La metodologia è stata sviluppata nel quadro di uno studio per identificare processi co-evolutivi tra il sistema idrico e le comunità che utilizzano acqua di Marina Baixa per un periodo di 50 anni. La Marina Baixa è costituita da 18 comuni, ognuno con modelli di uso del territorio radicalmente diversi si sviluppa su una superficie di 671 km. In Spagna si sta attualmente discutendo in merito ad un cambiamento della gestione della domanda per sopperire all'aumento della fornitura di acqua in questa regione. I modelli, i processi e le valutazioni applicano, in una prospettiva co-evolutiva, i rapporti tra risorse idriche, la qualità ambientale e lo sviluppo sostenibile. Questa ricerca analizza quindi le sfide relative alla progettazione di nuove metodologie in uno studio quadro integrato che affronta le possibilità, probabilità ed incertezze nella gestione adattativa nella gestione integrata delle risorse idriche (approccio IWRM - Integrated Water Resources Management).

Anche nei Paesi Bassi sta emergendo una stretta connessione tra gestione delle risorse idriche e pianificazione territoriale, come risultato degli indirizzi dell'Unione Europea in materia di gestione dell'acqua a scala di bacino idrografico. Esaminando le tendenze per integrare la gestione delle acque con la pianificazione territoriale nei Paesi Bassi si possono distinguere l'adozione di un approccio normativo da uno più strategico per la pianificazione. I Paesi Bassi sono noti per la loro ingegnosità nel campo delle risorse idriche e dell'ingegneria avendo dovuto fare i conti con molteplici problemi di acqua (inondazioni, drenaggio dei polder, inquinamento e anche, occasionalmente, siccità). Di conseguenza gli olandesi hanno adottato relativamente presto i principi della gestione integrata delle risorse idriche (GIRI) in leggi e politiche nazionali come approccio alla governance dell'acqua. Diversi soggetti interessati che partecipano a livello locale tra Comuni, tavoli dell'acqua con cittadini e consulenti sono alle prese con la complessità delle nuove leggi e politiche da cui prendono spunto una serie di azioni locali per una migliore gestione dell'acqua.

Queste azioni dimostrano un aumento della governance cooperativa sull'acqua tra i differenti ambiti e livelli di governo. I cittadini partecipano nella progettazione a processi attraverso il confronto a volte arrabbiato, a volte con idee creative. I governi locali, che hanno promosso la partecipazione come idea, hanno bisogno di prendere le opinioni dei cittadini 'seriamente' per mantenere la credibilità e la responsabilità; anche le calamità e le catastrofi sembrano creare l'impulso necessario per supportare le modifiche più radicali nel modo in cui viene gestita l'acqua. Il rapporto (*Integrating Water Management and Spatial Planning*, Woltjer, 2003) conclude che nonostante i molti processi dinamici in atto, uno sforzo maggiore deve essere fatto nel rafforzare il governo locale per la gestione integrata delle risorse

idriche con iniziative pilota che richiedono un follow-up e altre iniziative simili da indagare altrove.

L'Agenzia per l'ambiente del Regno Unito (nel sito web del Local Government Improve ad development UK) affronta il problema degli Studi sul ciclo dell'acqua (*Water cycle studies – WCS*, 2009) al fine di sostenere la realizzazione dello sviluppo sostenibile. Essi identificano le tensioni tra le proposte di nuovi sviluppi e i requisiti ambientali - in materia di approvvigionamento idrico e di scarico - e insieme con le soluzioni appropriate.

La Gestione del ciclo delle acque per i nuovi sviluppi delle politiche di pianificazione, e programmazione può contribuire ad indirizzare “i luoghi” per lo sviluppo delle infrastrutture dell'acqua e non solo a prevenire il deterioramento dell'ambiente ciclo dell'acqua, ma a migliorarlo attivamente.

Il documento prevede uno studio del ciclo dell'acqua ed è consigliato qualora si verifichi una qualsiasi delle seguenti condizioni:

- la scala di crescita proposta dalla pianificazione regionale o locale è significativa rispetto allo sviluppo urbano esistente (come guida, si considera un aumento del 5% nei nuovi sviluppo durante l'orizzonte temporale significativo);
- l'Agenzia per l'ambiente o altri partner sollevano dubbi circa la capacità ambientale del ciclo dell'acqua per far fronte allo sviluppo proposti;

Lo scopo di uno studio esplorativo è quello di:

- definire l'area di studio;
- individuare quali studi sono già stati effettuati e quali dati sono disponibili;
- confermare scenari di sviluppo e dati di pianificazione;
- identificare gli obiettivi del WCS e i piani e le strategie che saranno utilizzati per informare;
- identificare se sono necessari ulteriori sforzi per informare delle decisioni di pianificazione strategica;
- identificare le fonti di finanziamento per le fasi future del lavoro, se necessario;
- valutare la flessibilità dei piani di sviluppo per quanto riguarda la localizzazione e le altre opzioni.

Nella valutazione delle opportunità ambientali anche relativamente all'aspetto della qualità delle acque occorre tener presente le seguenti domande:

- Stiamo facendo il massimo del nostro nuovo sviluppo?
- Ci sono opzioni multi-uso che forniranno e dei benefici nella gestione della qualità delle acque e della risorsa idrica?
- la concentrazione di scarichi di acque reflue si conforma con gli obiettivi di qualità dell'acqua?

- l'infrastruttura di distribuzione dell'acqua da finanziare può essere costruita con il ritmo necessario per sostenere la proposta sviluppo?

In tali obiettivi la stretta collaborazione di gruppo tra i partner ciclo dell'acqua è essenziale per individuare quali sono le informazioni e gli strumenti sono già disponibili per rispondere a queste domande, e individuare le lacune da risposto con le diverse fasi dello studio del ciclo dell'acqua.

Parte del metodo dell'Agenzia per l'Ambiente sarà quello di individuare la necessità delle autorità locali, dei pianificatori, delle aziende gestori dell'acqua di lavorare insieme e preparare un Ciclo Idrico di studio che valuti gli impatti locali sui corpi d'acqua che dovrà tener conto delle norme di cui Gestione dei bacini idrografici. Questi norme rischiano talvolta di essere più esigenti rispetto agli standard attualmente utilizzati per pianificare l'acqua e questo può richiedere la rivalutazione delle infrastrutture idriche locali oltre a richiedere ulteriori investimenti per soddisfare le nuove norme, nonché per soddisfare l'aumentata richiesta dalle nuove costruzioni.

4.1 L'impatto del cambiamento climatico. Lo stato dell'arte

4.1.1 Aspetti generali

L'inquadramento degli aspetti generali del cambiamento climatico viene sintetizzato avendo come riferimento primario il "IPCC technical paper IV-climate change and water" (CIT, 2008). L'IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, rappresenta l'organismo internazionale riconosciuto come referente principale per lo stato dell'arte sul tema.

Nell'evoluzione del pianeta Terra il clima ha subito diverse variazioni, passando dal freddo delle ere glaciali a lunghi periodi di caldo. Nel passato le cause di questi cambiamenti, di cui ancora oggi abbiamo traccia, sono stati le eruzioni vulcaniche, glaciazioni, mutamenti nell'irradiazione solare.

In climatologia il termine "mutamenti climatici" indica variazioni a livello più o meno globali del clima della terra, ovvero variazioni a diverse scale temporali di uno o più parametri ambientali e meteorologici: temperatura, precipitazioni e nuvolosità.

Spesso il suo utilizzo viene erroneamente utilizzato solo come sinonimo di "riscaldamento globale", ma in realtà esso comprende anche le fasi "raffreddamento globale" e modifica dei regimi di "precipitazione".

A partire dal XVIII secolo le attività antropiche, associate allo sviluppo industriale, hanno iniziato ad alterare la composizione dell'atmosfera e verosimilmente ad influenzare il clima globale del nostro Pianeta.

Infatti, negli ultimi 200 anni l'utilizzo dei combustibili fossili, quali il carbone e il petrolio, abbinati alla continua deforestazione hanno provocato un incremento nella nostra atmosfera di gas serra (vapore acqueo, anidride carbonica CO₂, ossido di azoto N₂O, metano CH₄ e ozono O₃).

Tra le cause principali di tale cambiamento è l'emissione nell'atmosfera di gas e sostanze inquinanti, che vanno ad accentuare ed amplificare il fenomeno di "gas a effetto serra".

I gas a effetto serra naturali aiutano a trattenere il calore, senza di loro le temperature sarebbero inferiori a 30°C.

L'immissione continua di ulteriori gas ad effetto serra, non fa altro che accentuare tale fenomeno, il cui effetto si manifesta in un ulteriore riscaldamento del globo terrestre, con effetti devastanti sull'intero ecosistema.

In base a quanto riportato nel report IPCC del 2007, si stima che la temperatura sia aumentata di 0,74 più o meno 0,18°C durante il XX secolo.

Gli effetti macroscopici di tale surriscaldamento si manifestano con:

- la crescita globale delle temperature d'aria e mari;

- l'innalzamento del livello medio dei mari;
- la riduzione delle superfici innevate e ghiacciate.

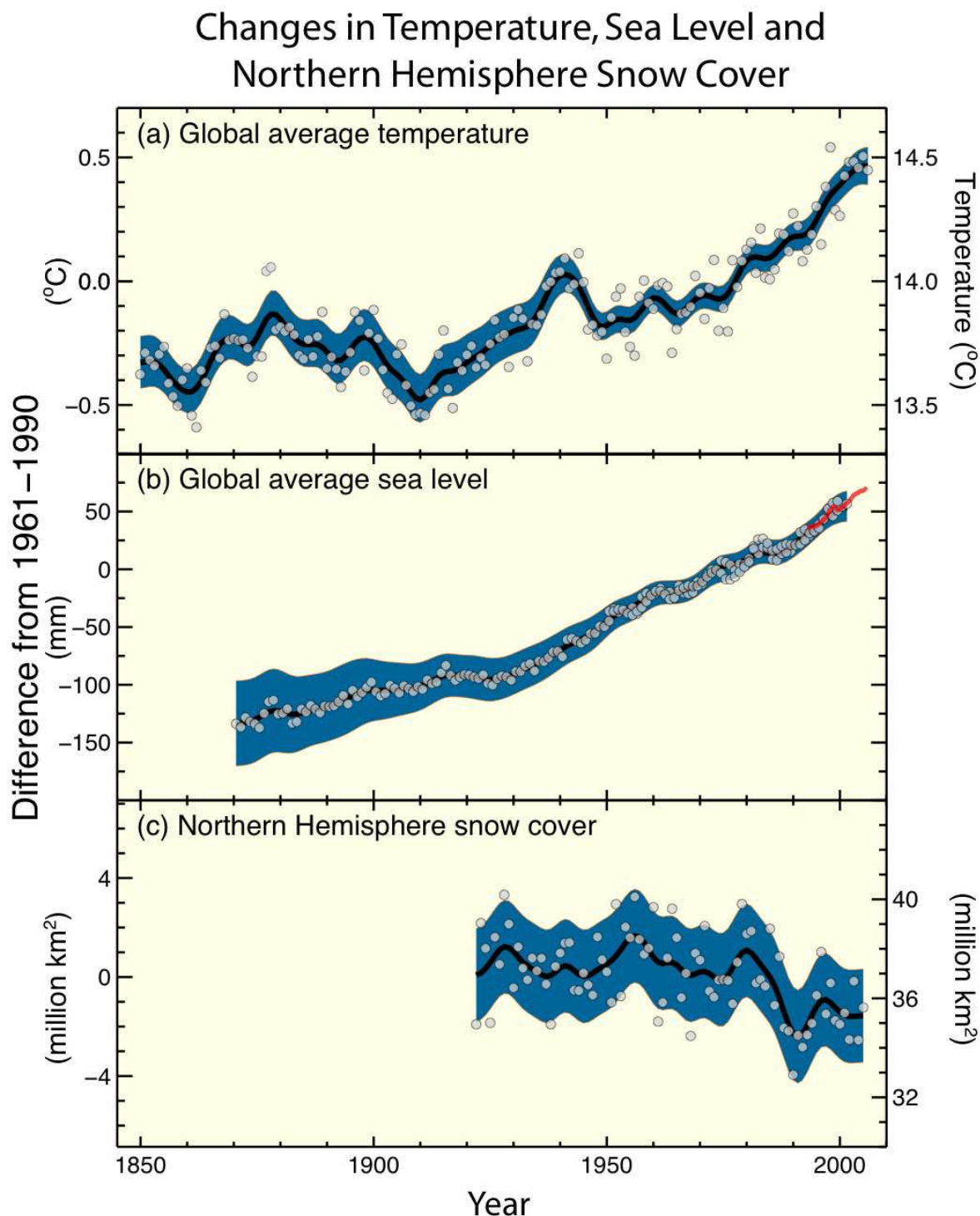


Illustrazione 1: Cambiamenti nella temperatura globale, nel livello medio degli oceani e nella copertura delle superfici nevose dell'emisfero settentrionale (fonte: IPCC, 2007)

Negli ultimi 100 temperatura aumentata tra 0,3-0,6 gradi, con variazioni non costanti nel tempo.

Effetti maggiori si sono avuti durante l'inverno, tra il 1950-1993 aumento di 3.3°C nei valori minimi invernali e di 1.4°C nei massimi primaverili.

Aumenti si sono registrati in Cina, Finlandia, Usa, Europa, Sud America, con periodi di siccità, causando un impoverimento delle falde acquifere sotterranee, anche a causa di una richiesta più elevata.

Tale aumento non è stato uniforme nello spazio, ma maggiore nell'emisfero settentrionale.

Global and Continental Temperature Change

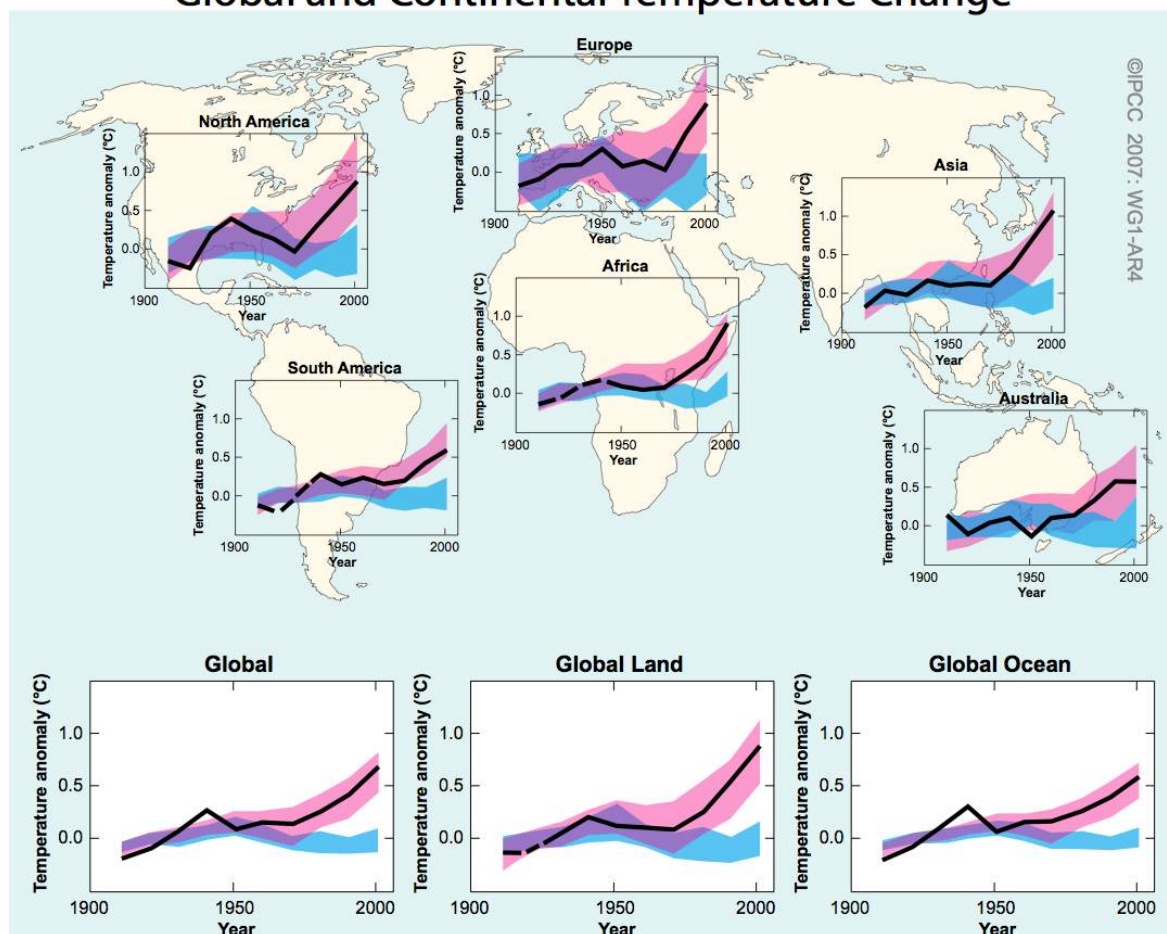


Illustrazione 2: Distribuzione spaziale anomalie termiche, immagine IPCC

A livello di precipitazioni, invece, la maggiori variazioni si riscontrano probabilmente nell'emisfero meridionale. Studi climatici suggeriscono che l'innalzamento della temperatura a causa dei gas serra può portare ad un incremento delle precipitazioni estreme (IPCC, 2007). Dato che l'impatto antropogenico può influenzare più decisamente di altri fattori la disponibilità di vapore acqueo nell'atmosfera, esso può avere ripercussioni più dirette su tali fenomeni legati al verificarsi delle piene. Da un punto di vista analitico, il rapporto conclude che è *probabile* che un incremento delle precipitazioni estreme si sia riscontrato sulle terre emerse nel corso del ventesimo secolo, che è *piuttosto improbabile* che

non includa un contributo antropogenico (IPCC, 2007). La distribuzione raffigurata nelle immagini che seguono evidenzia per l'area del Mediterraneo un trend negativo, corrispondente ad una diminuzione compresa tra il 3 e il 15% per decade, riferita all'intervallo 1979-2005.

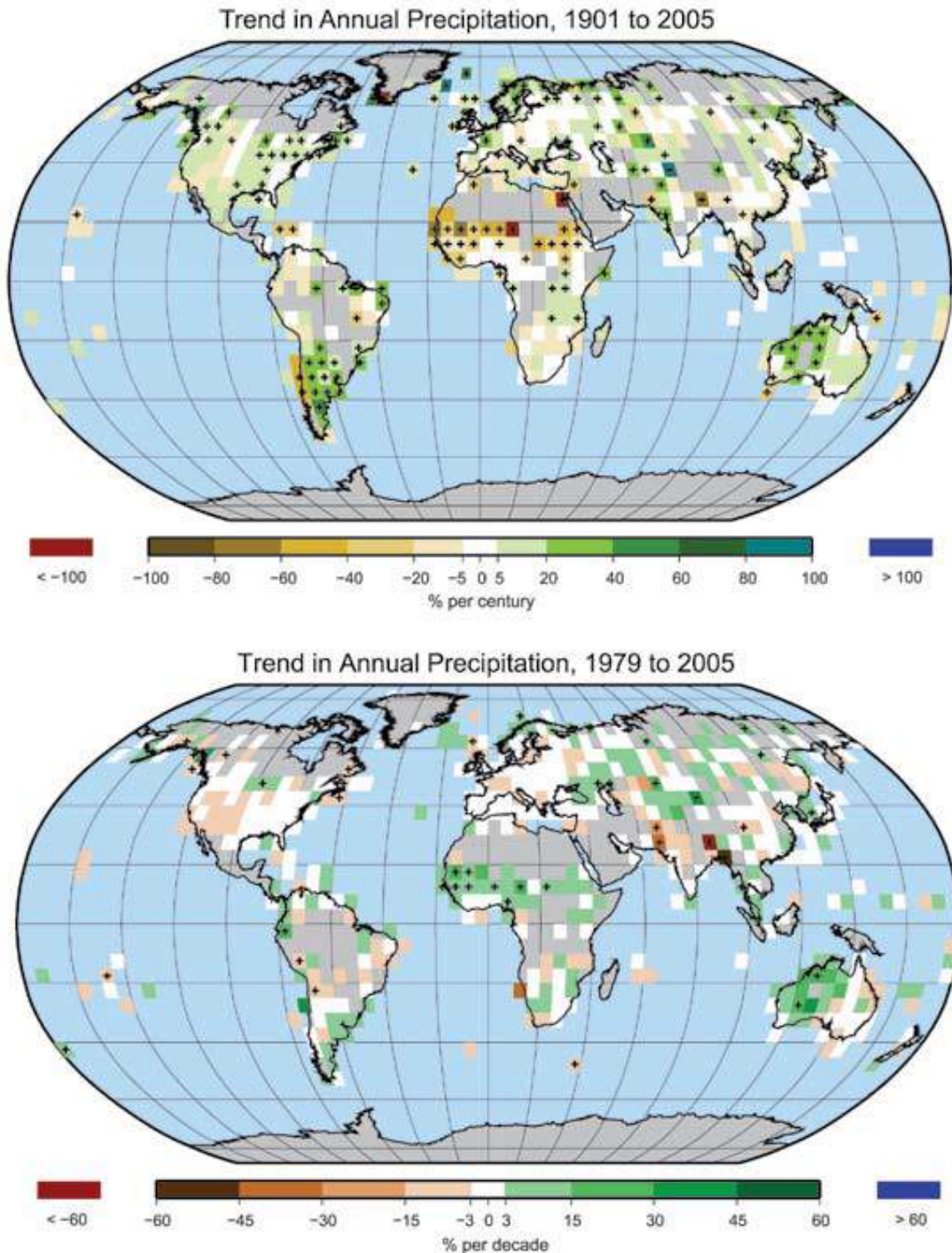


Illustrazione 3: Tendenza dei totali di precipitazione annua (IPCC, 2008)

A livello di biodiversità, alcuni studi pubblicati dal IPCC (Root, 2003) indicano che animali e piante stanno già subendo modifiche, causate da alterazioni climatiche, altre specie già si sono estinte.

In Costa Rica, Spagna, Australia per effetto di temperatura e stress idrico e prevista l'estinzione di anfibi e specie acquatiche.

Nell'emisfero settentrionale si ha un aumento delle temperature estive, provocando fenomeni di anossia e blocco della produzione primaria, medesimo caso nei laghi tropicali in cui un aumento eccessivo della temperatura provocherebbe una stratificazione termica tale da generare fenomeni di anossia negli strati profondi dei laghi.

4.1.2 Piani attuativi

Il primo incontro in cui si discusse per la volta la tematica del cambiamento climatico fu a Rio de Janeiro nel 1992 con l'acronimo di: Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (in inglese United Nations Framework Convention on Climate Change da cui l'acronimo UNFCCC o FCCC) è un trattato ambientale internazionale prodotto dalla Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development), informalmente conosciuta come Summit della Terra.

Il trattato punta alla riduzione delle emissioni dei gas serra, sulla base dell'ipotesi di riscaldamento globale.

Il 12 giugno 1992, 154 nazioni avevano firmato la UNFCCC, che dopo la ratifica obbligava i governi a perseguire un "obiettivo non vincolante" per ridurre le concentrazioni atmosferiche dei gas serra con l'obiettivo di "prevenire interferenze antropogeniche pericolose con il sistema climatico terrestre". Queste azioni erano dirette principalmente ai paesi industrializzati, con l'intenzione di stabilizzare le loro emissioni di gas serra ai livelli del 1990 entro il 2000; altre responsabilità ricadevano invece su tutte le parti della convenzione. Le nazioni firmatarie concordarono di riconoscere "responsabilità comuni ma differenziate", con maggiori responsabilità per la riduzione delle emissioni di gas serra nel breve periodo per i Paesi sviluppati, elencati nell'Annesso I dell'UNFCCC e denominati Paesi dell'Annesso I.

Secondo i termini dell'UNFCCC, avendo ricevuto le ratifiche di più di 50 Paesi, il trattato entrò in vigore il 24 marzo 1994. Da quel momento, le parti si sono incontrate annualmente nella Conferenza delle Parti (COP) per analizzare i progressi nell'affrontare il cambiamento climatico, iniziando da metà degli anni 1990, per negoziare il Protocollo di Kyōto² per stabilire azioni legalmente vincolanti per i Paesi sviluppati per ridurre le loro emissioni di gas serra.

Le conferenze COP³ attualmente sono state 16, di cui l'ultima a Cancun, Messico, ma le più importanti, cioè quelle che diedero l'avvio furono:

- Germania 1995: "Mandato di Berlino", che stabiliva una fase di analisi e ricerca (Analytical and Assessment Phase, AAP) di due anni, per negoziare un "insieme completo di azioni" da cui gli Stati potessero scegliere quelle più adeguate per ognuno di essi, in modo che fossero le migliori dal punto di vista economico e ambientale.

² Fonte: Legambiente: "cambiamenti climatici: cause, effetti, soluzioni"

³ Fonte: wikipedia

- Ginevra 1996: Si stabilì la necessità di mettere in atto obblighi a medio termine, legalmente vincolanti e rigettando "politiche armonizzate" uniformi in favore della flessibilità. Timothy Wirth, all'epoca Sottosegretario agli Affari Generali per il Dipartimento di Stato degli Stati Uniti, accettò i rilievi scientifici sui mutamenti climatici descritti dal Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nel suo secondo rapporto (1995); divenendo l'autorità scientifica più autorevole in ambito di cambiamento climatico.

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico, IPCC) è il foro scientifico formato nel 1988 da due organismi delle Nazioni Unite, l'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO) ed il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) allo scopo di studiare il riscaldamento globale.

Esso è organizzato in tre gruppi di lavoro:

- il gruppo di lavoro I si occupa delle basi scientifiche dei cambiamenti climatici;
- il gruppo di lavoro II si occupa degli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali e umani, delle opzioni di adattamento e della loro vulnerabilità;
- il gruppo di lavoro III si occupa della mitigazione dei cambiamenti climatici, cioè della riduzione delle emissioni di gas a effetto serra.

I "rapporti di valutazione" periodicamente diffusi dall'IPCC sono alla base di accordi mondiali quali la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e il Protocollo di Kyōto che la attua.

Il Protocollo di Kyōto (1997) fu adottato nella COP-3, dopo tese negoziazioni. Molte nazioni industrializzate e alcune economie centro europee in transizione (definite come Paesi dell'Annesso B) concordarono su riduzioni legalmente vincolanti delle emissioni di gas serra, in media di 6%-8% rispetto ai livelli del 1990, fra gli anni 2008 e 2012. Gli Stati Uniti avrebbero dovuto ridurre le loro emissioni totali del 7% rispetto ai loro livelli del 1990.

4.1.3 Rapporto Stern

Il Rapporto Stern, prodotto dal governo britannico nel 2006 (Stern, 2006), ha cercato di quantificare i costi dei cambiamenti climatici a

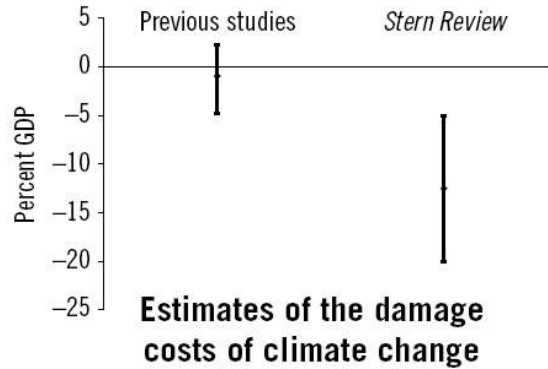


Illustrazione 4: Stima dei costi causati dal cambiamento climatico (Tol et al, 2006)

livello globale, basandosi sulle indicazioni quantitative fornite dall'IPCC. In un densissimo studio di 700 pagine, Stern giunge alla conclusione che si è ancora in tempo per evitare il peggio ma i Governi devono agire al più presto. L'obiettivo dell'economista è stabilizzare le emissioni di Co2 a 500-550 parti per milione rispetto alle attuali 430. A prima vista pare un risultato assai ragionevole, ma il rapporto spiega che per raggiungerlo, da qui al 2050, bisognerà ridurre di tre quarti le emissioni potenziali che si accumulerebbero al ritmo di crescita attuale. Per fare ciò, oltre a ridurre le emissioni di Co2, i Governi dovranno porre al più presto un freno alla deforestazione che pesa per ben il 18% delle emissioni mondiali, più di quanto causato dall'intero sistema dei trasporti.

Il cambiamento climatico è la massima sfida che il mondo dovrà affrontare nei prossimi anni. Se non verrà fatto nulla per arginare le attuali emissioni di Co2 i danni per l'economia globale equivarranno a una perdita complessiva del PIL del 20% pari all'impatto negativo delle due ultime guerre mondiali messe assieme. L'unico modo per fare fronte all'emergenza è sostenere costi equivalenti all'1% del PIL mondiale entro il 2050. Un esborso oneroso, ma tutto sommato modestissimo rispetto ai danni irreparabili che il pianeta sta correndo.

4.1.4 Studi IPCC: previsioni e prospettive

A livello previsionale, l'impostazione generale fornita dall'IPCC si basa sul verificarsi di quattro diversi scenari, o percorsi futuri, caratterizzati dall'affermazione di diverse linee politiche, economiche e sociali a scala globale. Ulteriori differenziazioni vengono poi introdotte considerando l'affermarsi di tecnologie di produzione energetica diverse, e di diverso impatto sulla produzione antropica di anidride carbonica.

In sintesi, lo studio dell'IPCC prende in considerazione diversi scenari, in funzione della crescita economica e dell'attuazione (o meno) di politiche

per la riduzione delle emissioni di gas serra. In sintesi, gli scenari IPCC sono descrivibili nei gruppi:

- A1: rapida crescita economica, popolazione mondiale in aumento con picco a metà secolo e successiva diminuzione, rapida introduzione di nuove e più efficienti tecnologie. Convergenza tra le diverse aree culturali del mondo, progressiva integrazione sociale e sostanziale riduzione delle differenze regionali in termini di reddito pro-capite;

		Economic emphasis			
Global integration	A1 storyline	A2 storyline	Regional emphasis	B1 storyline	B2 storyline
	<p><u>World</u>: market-oriented <u>Economy</u>: fastest per capita growth <u>Population</u>: 2050 peak, then decline <u>Governance</u>: strong regional interactions; income convergence <u>Technology</u>: three scenario groups: • A1F: fossil-intensive • A1T: non-fossil energy sources • A1B: balanced across all sources</p>	<p><u>World</u>: differentiated <u>Economy</u>: regionally oriented; lowest per capita growth <u>Population</u>: continuously increasing <u>Governance</u>: self-reliance with preservation of local identities <u>Technology</u>: slowest and most fragmented development</p>		<p><u>World</u>: convergent <u>Economy</u>: service and information-based; lower growth than A1 <u>Population</u>: same as A1 <u>Governance</u>: global solutions to economic, social and environmental sustainability <u>Technology</u>: clean and resource-efficient</p>	<p><u>World</u>: local solutions <u>Economy</u>: intermediate growth <u>Population</u>: continuously increasing at lower rate than A2 <u>Governance</u>: local and regional solutions to environmental protection and social equity <u>Technology</u>: more rapid than A2; less rapid, more diverse than A1/B1</p>
		Environmental emphasis			

Illustrazione 5: Gli scenari presi in considerazione dall'IPCC per l'elaborazione delle previsioni climatiche (IPCC, 2008)

- A2: mantenimento delle forti differenze locali di sviluppo economico. Incremento continuo della popolazione. Sviluppo economico concentrato nelle regioni più sviluppate;
- B1: stessa crescita della popolazione dello scenario A1, con rapidi cambiamenti verso economie di servizi e informazioni, con introduzione di tecnologie pulite e risorse tecnologiche efficienti. L'accento è posto su soluzioni globali ai diritti economici, sociali e di sostenibilità ambientale, compresa una maggiore equità, ma senza specifiche iniziative per gli aspetti climatici;
- B2: enfasi su soluzioni locali di sostenibilità economica, sociale ed ambientale. Incremento costante della popolazione, ma più lentamente rispetto allo scenario A2.

Sulla base di tali scenari, sono stati elaborati modelli previsionali a scala globale che hanno prodotto una base comune per i diversi parametri climatici, utile per l'utilizzo in cascata in modelli di applicazione specifica, come modelli idrologici per il bilancio idrico, o modelli di simulazione di eventi di piena.

Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming

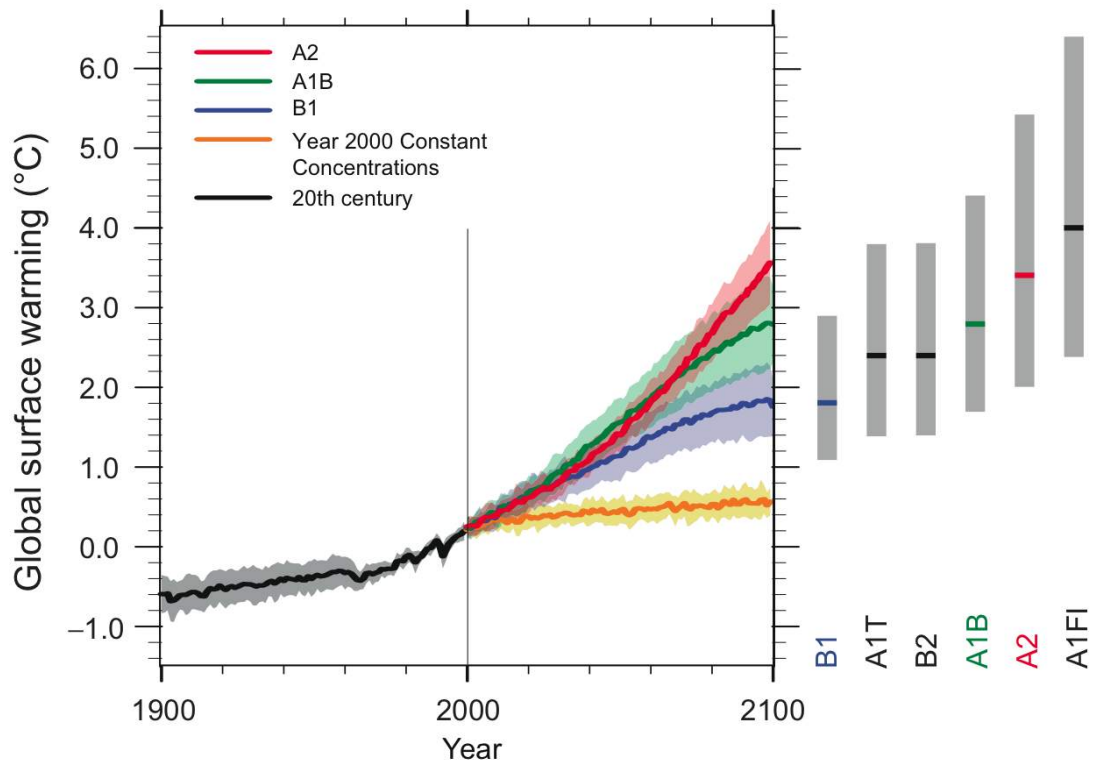


Illustrazione 6: Trend della temperatura media globale per i diversi scenari proposti (IPCC, 2007)

medesimo caso nei laghi tropicali in cui un aumento eccessivo della temperatura provocherebbe una stratificazione termica tale da generare fenomeni di anossia negli strati profondi dei laghi.

4.1.5 Cambiamenti climatici in Europa e nel Mediterraneo

In estrema sintesi, l'area del Mediterraneo mostra una variazione positiva della temperatura superficiale compresa tra 0.2°C e 1°C nel periodo 1970-2004 (Brohan *et al.*, 2006; Smith *et al.*, 2005). Come in altre zone del continente, in termini di precipitazione si osserva un incremento della precipitazione media per giorno piovoso, anche in aree che tendono ad essere più siccitose (Frich *et al.*, 2002; Klein Tank *et al.*, 2002; Alexander *et al.*, 2006). A livello nazionale, il trend negativo delle precipitazioni è confermato dagli studi di Brunetti *et al.* (2004, 2006), che evidenziano una diminuzione delle piogge dell'ordine del 5% su 100 anni, una sensibile diminuzione del numero di giorni piovosi (-10% su 100 anni), e un aumento dell'intensità, espressa come mm al giorno, nell'ordine del 5% su 100 anni.

In termini previsionali, considerando il contesto scientifico sopra citato, nell'area del Mediterraneo si prevede che, per l'orizzonte temporale 2071-2100, durante la stagione invernale il riscaldamento risulti essere particolarmente marcato nell'area nord-orientale, mentre per la

stagione estiva il riscaldamento interessa maggiormente le regioni nord-occidentali. In particolare, in estate, i massimi di aumento della temperatura superficiale (oltre i 6°C) si trovano sulla penisola iberica, sud della Francia, Italia e penisola Balcanica.

In termini di precipitazione, la media globale delle precipitazioni alla fine del XXI secolo risulta essere più alta della precipitazione media globale alla fine del secolo scorso. A scala continentale, a differenza della temperatura superficiale, però, la precipitazione non mostra un cambiamento univoco: vi sono regioni nelle quali la precipitazione aumenta, e regioni nelle quali diminuisce. Nell'area del Mediterraneo, invece, viene ipotizzata una diminuzione delle precipitazioni più marcata durante l'inverno (e soprattutto nella zona orientale) e meno marcata (o pressoché nulla) nella stagione estiva.

Concentrando la propria attenzione nella zona di interesse, si osservano variazioni di temperatura dell'ordine dei 2-3 °C, in aumento, per i valori medi invernali (confrontando l'orizzonte temporale 1961-1990 con il periodo futuro 2071-2100). Più sostenuto l'aumento previsto per la temperatura media del periodo estivo, sullo stesso orizzonte temporale: si ipotizza un incremento delle temperature medie dell'ordine di 4-6 °C. Anche se la scala a cui vengono pubblicati dati distribuiti relativi agli scenari futuri è di basso dettaglio, è possibile riconoscere anche una certa variabilità nella distribuzione spaziale di tali incrementi tra il versante tirrenico e il versante adriatico, in cui sono previsti gli aumenti più consistenti delle temperature medie.

Per quanto riguarda le precipitazioni, le variazioni sono invece più accentuate nel periodo invernale che nel periodo estivo. In entrambe le stagioni si prevede un decremento delle precipitazioni cumulate: dell'ordine del 4-7% per i mesi invernali, limitata a valori intorno a 1 o 2 punti percentuali per i mesi estivi. La distribuzione spaziale di tali variazioni risulta contenuta, con una diminuzione degli afflussi più accentuata nel versante tirrenico e nella parte meridionale del Distretto.

La valutazione a scala di bacino degli impatti dei cambiamenti climatici sul comportamento idrologico si basa solitamente sullo sviluppo di simulazioni idrologiche in cui l'input climatico è definito mediante scenari climatici globali generati da modelli di circolazione globale (GCM).

Questi sono caratterizzati da una risoluzione spazio temporale non adatta alla variabilità dei processi idrologici alla scala dei bacini di medie dimensioni (con dimensioni al più dell'ordine delle migliaia di chilometri), rendendo necessario lo sviluppo di procedure di adattamento locale degli scenari note come downscaling .

Tra le procedure di downscaling, l'approccio deterministico è il più corretto per la rappresentazione fisica del sistema, ossia l'impiego di modelli climatici scala regionale (RCM) e a scala locale (LAM), che adottano come condizioni al contorno gli output dei modelli climatici globali.

In alternativa il downscaling viene spesso affrontato con metodi

stocastici. Questo secondo approccio consente di modellare le condizioni climatiche future attraverso modelli stocastici in grado di riprodurre adeguatamente le condizioni climatiche attuali; in pratica, i parametri del modello stocastico vengono fatti variare per tenere in conto gli effetti dei cambiamenti climatici, così come rappresentati dai modelli di circolazione globale.

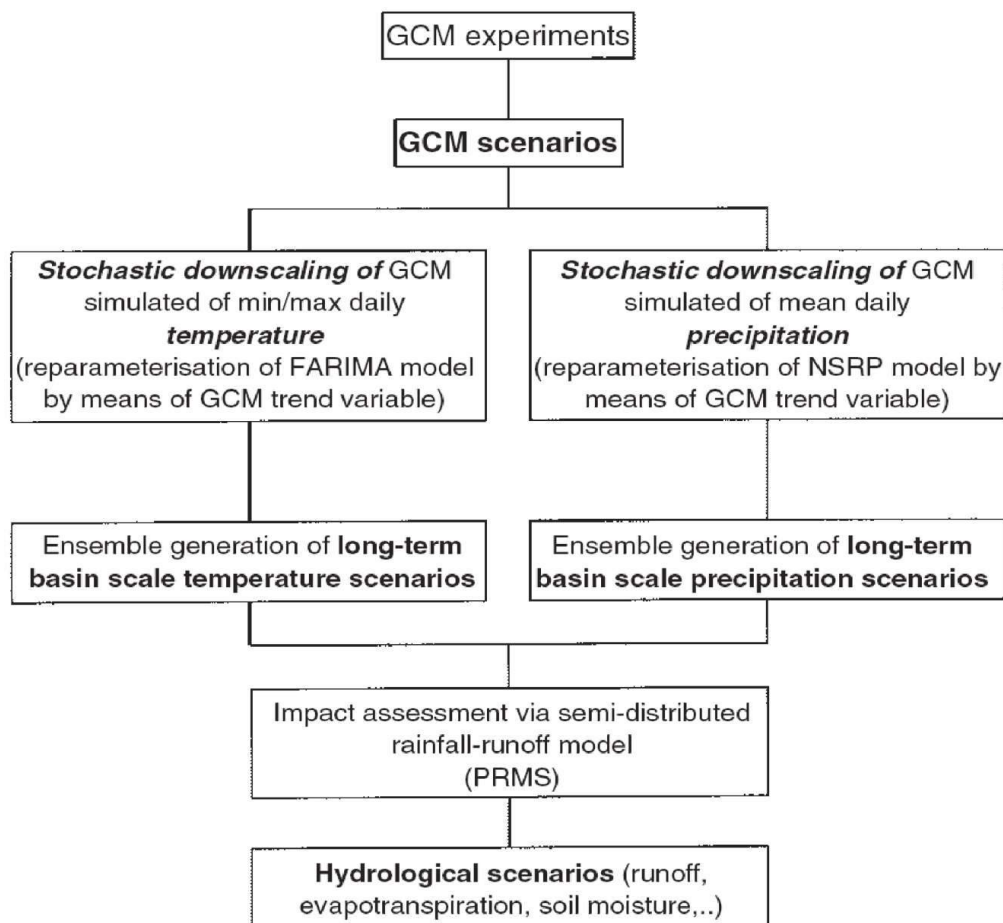


Illustrazione 7: Diagramma di flusso per la procedura di downscaling (Fonte IPCC 2007)

L'applicazione di tale tecnica ha consentito di analizzare gli effetti dei potenziali cambiamenti climatici sui processi idrologici a scala di bacino. I risultati ottenuti con riferimento al bacino del fiume Arno (Burlando et al., 2002a, 2002b), mostrano evidenti modificazioni nelle distribuzioni degli estremi di precipitazione per assegnata durata. Gli stessi autori, mediante l'impiego di un modello afflussi-deflussi, hanno studiato gli impatti dell'alterazione climatica sui regimi di deflusso mensili. Le curve di durata dei deflussi, che riassumono la variabilità inter-annuale della portata, mostrano per l'Arno a Nave di Rosano e la Sieve a Fornacina una diminuzione dei deflussi ordinari e di piena in autunno, e un incremento in inverno, da cui è possibile desumere una ridotta capacità di accumulo e regolazione della risorsa superficiale. Anche gli studi che mirano a comprendere le possibili modificazioni nelle interazioni clima-suolo-vegetazione per effetto di mutamenti nelle

caratteristiche climatiche sono di interesse strategico per il bacino del mediterraneo.

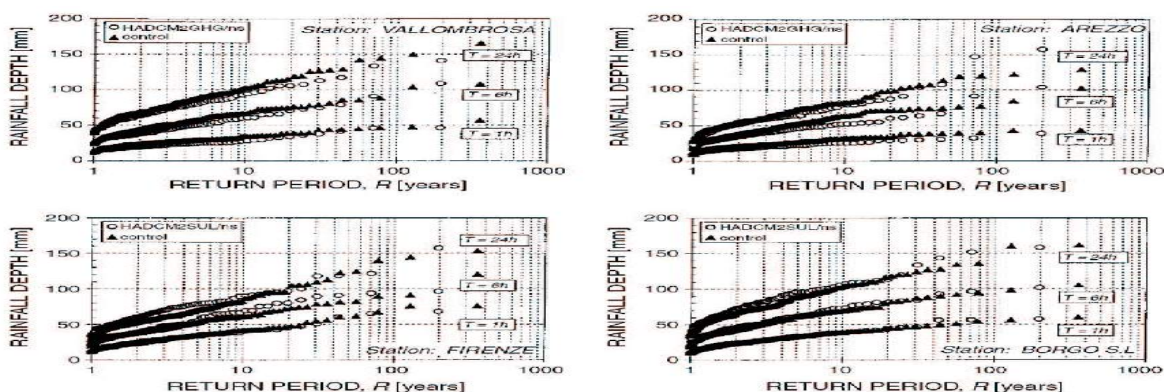


Illustrazione 8: Confronto tra le distribuzioni di frequenza delle altezze di pioggia osservate e derivanti dallo scenario climatico a seguito di downscaling (Burlando e Rosso, 2002a)

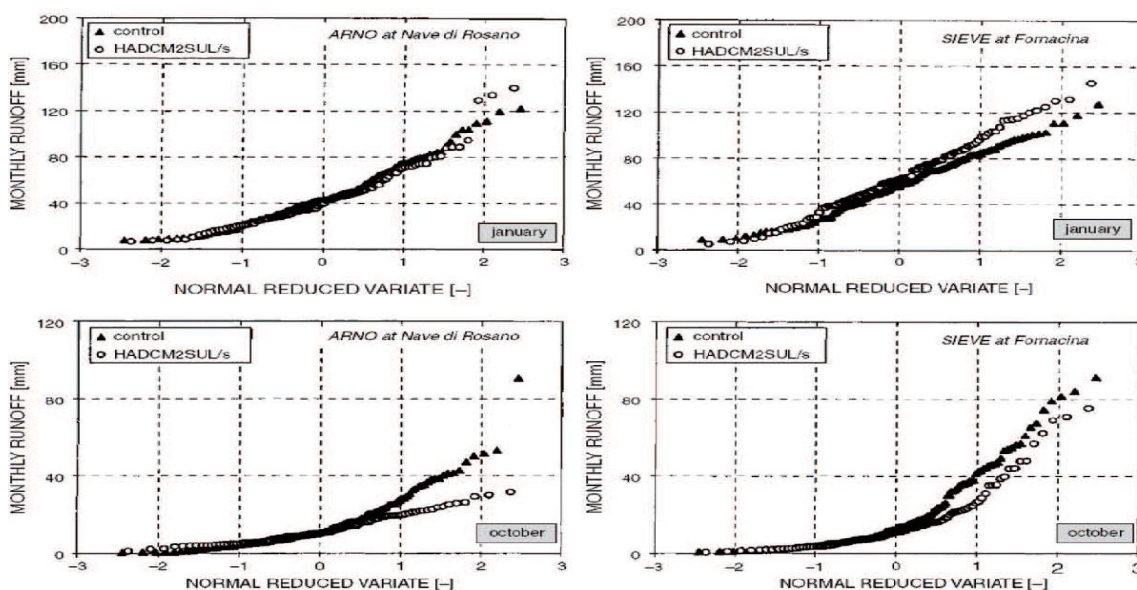


Illustrazione 9: Esempio di impatto del cambiamento climatico sui regimi di deflusso mensili (curve di durata mensili) valutato mediante modello afflussi-deflussi (Burlando e Rosso, 2002b)

4.1.6 Adegamenti ai cambiamenti climatici e uso risorsa acqua

Le strategie internazionali per ridurre le conseguenze negative dei cambiamenti climatici si concretizzano nelle politiche di mitigazione (che agiscono limitando le cause antropologiche della variabilità climatica) e in quelle di adattamento (che agiscono limitando gli effetti dei fenomeni presenti e futuri di variabilità climatica).

In via generale, anche il rapporto IPCC dedicato all'interazione tra cambiamenti climatici e acqua (IPCC, 2008) individua le principali

misure da adottare per una gestione oculata della risorsa il miglioramento migliorare i sistemi di distribuzione e adduzione, al fine di minimizzare le perdite e razionalizzare l'uso delle risorse idriche.

Gli aspetti legati a tale approccio vengono legati ai seguenti aspetti:

- partecipazione degli utenti nelle attività di gestione;
- monitoraggio dei corpi idrici e miglioramento del controllo;
- uso di metodi irrigui ad elevata efficienza;
- ottimizzazione dei consumi idrici nell'ottica di massimizzare la produttività della risorsa;
- utilizzo di acque non convenzionali adeguatamente controllate;
- adeguamento delle capacità istituzionali e delle capacità di implementazione delle politiche agricole.

In termini di strategie di adattamento, si possono prevedere azioni migliorative, sempre riferite all'uso e alla protezione della risorsa acqua:

- Azioni coadiuvanti l'adattamento. Si tratta di azioni che contribuiscono esse stesse a mitigare gli effetti del cambiamento climatico: per esempio, azioni concrete che incoraggino l'uso parsimonioso della risorsa idrica nei consumi civili - in particolare nel riscaldamento delle case - che implica anche una riduzione delle emissioni dei gas serra.
- Azioni non influenzate dai cambiamenti climatici. Si tratta di azioni che, mirando a migliorare l'efficienza dell'uso della risorsa idrica, portano benefici socio-economici invariati con il cambiamento climatico. Questo sia riguardo ai trend sopra citati, ma anche agli aspetti legati alla variabilità dei fenomeni climatologici e meteorici, e alla recrudescenza dei loro valori estremi. Un esempio di questa categoria di azioni è il miglioramento delle politiche di uso del suolo per la limitazione dei rischi di inquinamento diffuso.
- Azioni di adattamento a basso rischio. Si tratta di una categoria di azioni adattative, ovvero che prendono in considerazione aspetti legati al cambiamento climatico, ma per le quali il rapporto costi/benefici è decisamente vantaggioso, per cui anche eventuali cambiamenti delle condizioni climatiche, che potrebbero in qualche modo influire sulla completa efficacia delle azioni, non comprometterebbero comunque il saldo tra investimenti e ritorni in termini di probabilità di raggiungimento degli obiettivi del Piano.
- Azioni di adattamento flessibile. Si tratta di misure e di azioni che sono progettate tenendo conto delle necessità di adattamento al cambiamento climatico, Per esempio, influenzare le modalità di progettazione degli invasi in modo che la loro capacità possa essere incrementata senza costi eccessivi nel futuro.
- Azioni che vedono compromessa la loro efficacia in caso di cambiamento climatico. Si tratta della casistica più sfavorevole, in cui le misure proposte contrastano le indicazioni inerenti gli

scenari futuri previsti nella cornice del cambiamento climatico. È evidente che la scelta di tali azioni deve essere attentamente valutata, pena il compromettere la probabilità di successo del raggiungimento degli obiettivi del Piano.

Questa classificazione delle azioni in termini di loro adattabilità al cambiamento climatico permette di valutare nel suo complesso l'efficacia complessiva delle politiche di gestione, in termini di probabilità di raggiungimento degli obiettivi assegnati, anche in medio-lunga prospettiva. Questo per evitare che gli effetti del cambiamento climatico possano in qualche modo compromettere gli investimenti conseguenti e le condizioni di rapporto costi/benefici degli interventi previsti.

Un altro contributo in termini di motivazione economica di un approccio strategico all'adattamento al cambiamento climatico è fornito dal recente documento prodotto dalla Commissione della Comunità Europea, pubblicato nell'aprile del 2009 (COM 2009/147). In esso il concetto chiave è l'aumento della resilienza del sistema, da raggiungere attraverso una serie di obiettivi e azioni. Per le acque interne, tali azioni si sintetizzano nei seguenti punti:

- esaminare le possibili soluzioni per migliorare le politiche esistenti e sviluppare misure per combattere la perdita di biodiversità e i cambiamenti climatici in maniera integrata, al fine di sfruttare tutti i benefici collaterali ed evitare reazioni ecosistemiche che possano accelerare il surriscaldamento globale;
- formulare linee guida e una serie di strumenti (ad esempio orientamenti e scambi di buone prassi) per garantire che i piani di gestione dei bacini idrografici tengano conto e affrontino le tematiche climatiche;
- garantire che l'attuazione della direttiva sulle alluvioni tenga conto dei cambiamenti climatici;
- valutare la necessità di adottare altre misure per migliorare l'efficienza idrica nel settore agricolo, nei nuclei domestici e negli edifici;
- esaminare in che modo le politiche e le misure possano potenziare la capacità di stoccaggio idrico degli ecosistemi in Europa;
- formulare, entro il 2010, linee guida su come affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici sulla gestione dei siti Natura 2000.

Per le acque marino-costiere, invece, si prevedono i seguenti obiettivi:

- garantire che le problematiche dell'adattamento nelle zone costiere e marine siano prese in considerazione nell'ambito della politica marittima integrata, nell'attuazione della direttiva quadro sulla strategia marina e nella riforma della politica comune della pesca;
- formulare linee guida europee sull'adattamento nelle zone costiere e marine.

4.2 L'uso del telerilevamento – Lo stato dell'arte

4.2.1 Premessa

I progressi scientifici nel campo del telerilevamento, particolarmente rapidi e approfonditi nell'ultimo ventennio, hanno permesso di estendere l'utilizzo di tali indagini anche in campi e settori tecnici di interesse per il progetto *WIZ*. In particolare, risultano estremamente interessanti alcune attività finalizzate allo studio dei fenomeni di deformazione del terreno a scala regionale, individuati tramite interferometria differenziale su serie storiche di immagini radar acquisite da satellite (Colombo et al. 2003, Manunta et al. 2003, Farina et al. 2006, Brugioni et al. 2008).

La tecnica di elaborazione dell'informazione interferometrica, sviluppata e brevettata da TeleRilevamento Europa s.r.l., una società di spin-off del Politecnico di Milano, licenziataria esclusiva della tecnologia Permanent Scatterers (PSinSAR) (E.P. patent 1.183.551, U.S. patent 6.583.751), permette di ottenere dati puntuali di deformazione del terreno con precisione millimetrica considerando l'insieme dei bersagli radar esistenti sull'immagine e caratterizzati da una risposta elettromagnetica particolarmente stabile durante tutto il periodo di analisi.

4.2.2 I sistemi Radar ad Apertura Sintetica (SAR)

I sistemi radar satellitari forniscono immagini elettromagnetiche (a frequenze comprese tra 500MHz e 10GHz) della superficie terrestre con risoluzione spaziale di qualche metro. Rispetto ai più noti sistemi ottici operano con continuità, potendo acquisire dati in presenza di copertura nuvolosa e sia di giorno che di notte.

Il principio di funzionamento è il medesimo di tutti i sistemi radar (acronimo di radio detecting and ranging): un apparecchio trasmittente illumina lo spazio circostante con un'onda elettromagnetica che incide su eventuali oggetti subendo un fenomeno di riflessione disordinata (diffusione, scattering). Una parte del campo diffuso torna verso la stazione trasmittente, equipaggiata anche per la ricezione, dove vengono misurate le sue caratteristiche. Il dispositivo è in grado di individuare il bersaglio elettromagnetico (detecting) e, misurando il ritardo temporale tra l'istante di trasmissione e quello di ricezione, valutare la distanza (ranging) a cui è posizionato, localizzandolo in modo preciso lungo la direzione di puntamento dell'antenna (direzione di range).

La direttività dell'antenna utilizzata per trasmettere e ricevere il segnale radar, e cioè la selettività nell'illuminazione dello spazio circostante, consente di localizzare l'oggetto anche lungo l'altra dimensione (detta di

azimut). Quanto più grande è l'antenna, tanto più stretta è la sua impronta e, di conseguenza, tanto meglio viene localizzato il bersaglio. Chiaramente ciò avviene a scapito dell'estensione dell'area illuminata. Per ovviare questo inconveniente, le antenne molto direttive usate per i radar militari e per applicazioni di aviazione civile ruotano, in modo da "spazzare" tutta l'area circostante alla loro posizione.

L'idea alla base del SAR (Synthetic Aperture Radar - Radar ad Apertura Sintetica) consente di aggirare la stessa limitazione, raggiungendo un compromesso tra risoluzione ed estensione dell'area osservata. Combinando coerentemente (cioè tenendo conto di ampiezza e fase del segnale SAR) i dati acquisiti dal sensore nelle posizioni successivamente occupate, si sintetizza un'antenna fittizia di grandi dimensioni detta, appunto, apertura sintetica. È proprio questo procedimento a garantire un'elevata risoluzione anche nella direzione di azimut. Poiché il sistema che illumina lo spazio è un sistema attivo, non è richiesta l'illuminazione solare, inoltre le frequenze utilizzate penetrano senza sensibili attenuazioni attraverso le nuvole, evitando così i già accennati problemi di acquisizione dei sistemi ottici. Le informazioni geografiche di carattere generale contenute in un'immagine ottica ed in una radar sono le stesse, tuttavia in quest'ultima si può notare come le strutture al suolo rispondano in modo differente alle onde elettromagnetiche emesse: le strade appaiono nere poiché riflettono specularmente il campo trasmesso, mentre le strutture metalliche sono particolarmente luminose.

Nel progetto sono stati utilizzati i dati rilevati dai satelliti ESA (European Space Agency) ERS-1 ed ERS-2 (ERS-1 ha acquisito dati dal Luglio 1991 al Marzo 2000, ERS-2 è invece operativo dall'estate del 1995), per i quali la stessa orbita nominale viene ripercorsa ogni 35 giorni (revisiting time), consentendo così di acquisire dati relativi alla stessa scena al suolo in tempi differenti. La direzione parallela all'orbita è detta azimut e coincide approssimativamente con la direzione Nord-Sud. La risoluzione (ovvero la capacità di riconoscere come distinti due bersagli) in azimut vale circa 5 m.

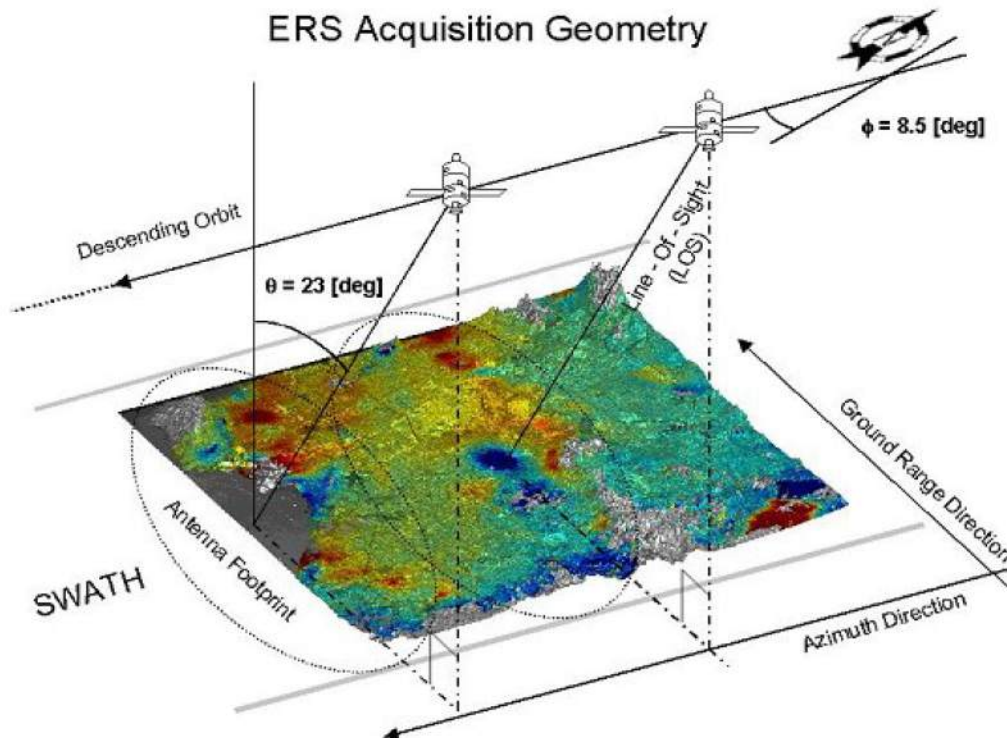


Illustrazione 10: geometria d'acquisizione SAR delle piattaforme ERS-1 ed ERS-2

Durante i vari passaggi lungo la stessa orbita i satelliti si discostano leggermente dalla traiettoria nominale, di fatto vi sono delle variazioni dell'ordine delle centinaia di metri descritte dal parametro baseline geometrico (o normale); di conseguenza la geometria di acquisizione per la stessa zona varia di volta in volta per angoli leggermente diversi creando matrici di pixel non corrispondenti alla medesima cella di risoluzione al suolo. Per effettuare l'analisi è necessario che a pixel omologhi nelle varie immagini corrisponda la stessa cella di risoluzione, si procede quindi con una fase di elaborazione dei dati detta registrazione (o ricampionamento). Operativamente, tra tutte le acquisizioni, si sceglie un'immagine, detta master, come riferimento; tutte le rimanenti, dette slave, vengono ricampionate sulla geometria della master, grazie ad un opportuno modello, in modo da avere la stessa griglia di riferimento per tutti i passaggi del satellite. Il modello utilizzato permette di compensare sia una rotazione sia una traslazione indotta sulle immagini a causa del differente angolo di vista.

La modalità di acquisizione, non perpendicolare al suolo ma secondo un angolo di vista θ , dà origine nelle immagini focalizzate a delle deformazioni prospettiche a causa della topografia del terreno. Ne occorrono di tre differenti tipi, in base alla pendenza del terreno:

1. foreshortening: si verifica quando la pendenza del terreno tende ad essere perpendicolare alla congiungente sensore-bersaglio (pendenza positiva pari all'angolo di offnadir θ); in questi casi il contributo di più punti si concentra in poche celle producendo pixel molto luminosi nell'immagine di ampiezza.

2. layover: si verifica quando la pendenza del terreno è maggiore dell'angolo θ ; questo produce una forte distorsione dell'immagine che impedisce la corretta interpretazione del segnale e ogni analisi quantitativa.

3. shadowing: si verifica quando alcune zone non possono essere illuminate dall'impulso radar perché schermate da altri oggetti; si producono quindi nell'immagine di ampiezza aree molto scure (in ombra).

4.2.3 Interferometria Differenziale SAR (DInSAR)

La tecnica convenzionale per lo studio di dati SAR è l'interferometria differenziale, che si basa sull'analisi delle variazioni del valore di fase tra due distinte acquisizioni in modo tale da mettere in luce eventuali differenze riconducibili a fenomeni di deformazione, topografia o disturbi atmosferici (Massonnet e Feigl, 1998, Rosen et al., 2000).

L'interferogramma è la matrice di dati ottenuta dal confronto tra le due distinte acquisizioni della stessa area e racchiude in sé le informazioni relative ai vari contributi che generano il valore di fase. Come accennato, il segnale radar relativo ad un bersaglio è caratterizzato da due valori: l'ampiezza e la fase. L'ampiezza individua la parte di campo elettromagnetico incidente riflessa verso il sensore. Nelle immagini radar di ampiezza appaiono particolarmente luminose le strutture metalliche (tralicci, antenne, linee ferroviarie), mentre bacini d'acqua e strade sono solitamente poco luminosi: essi sono caratterizzati infatti da fenomeni di riflessione speculare in cui la quota di campo riflessa verso il satellite risulta molto contenuta. La fase racchiude invece l'informazione più importante ai fini delle applicazioni interferometriche: la distanza sensore-bersaglio.

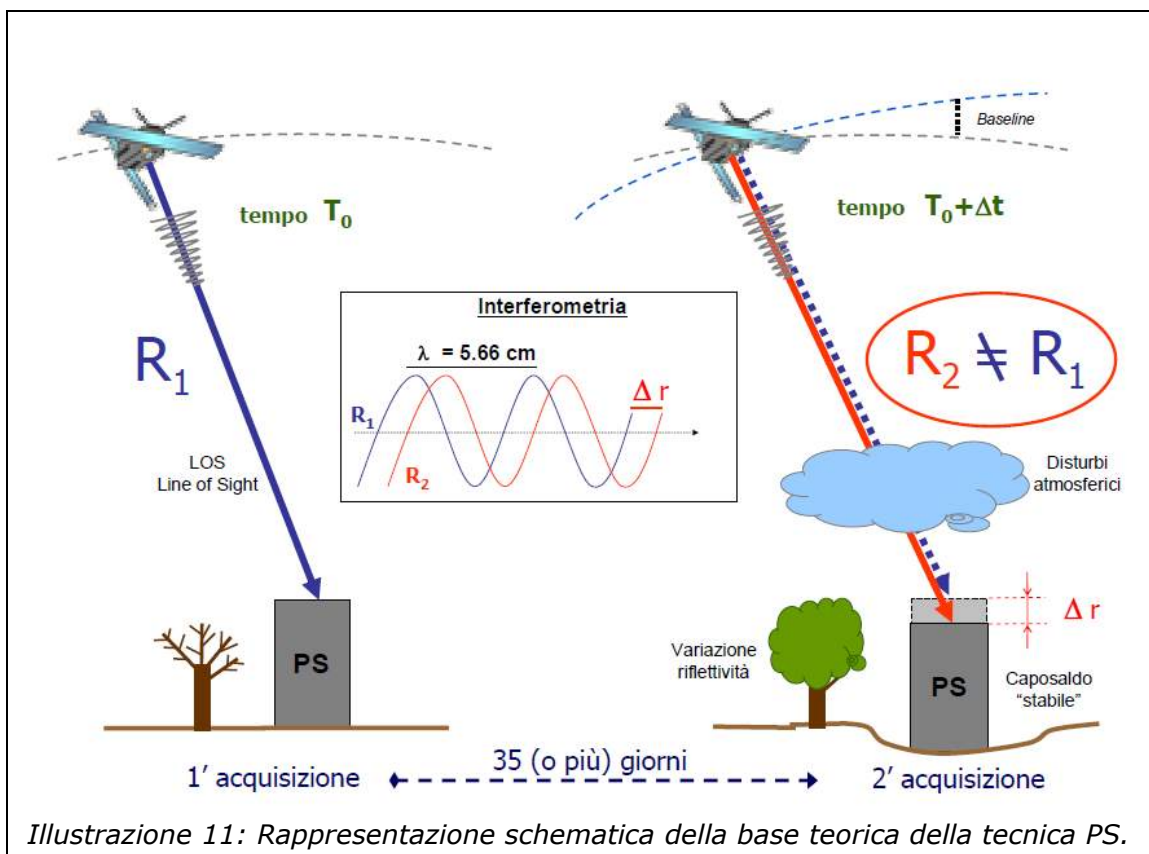
L'obiettivo della tecnica interferometrica è quello di isolare gli effettivi contributi di fase dovuti al movimento del bersaglio e non imputabili a disturbi, ovvero di stimare accuratamente la differenza di cammino ottico Δr dell'onda elettromagnetica trasmessa in due successive acquisizioni e retrodiffusa dal bersaglio a terra.

La fase di una singola immagine SAR non è di fatto utilizzabile, perché risulta impossibile discriminare un contributo dall'altro. Se si hanno, però, due acquisizioni relative alla stessa area, accuratamente registrate sulla stessa griglia di riferimento, è possibile utilizzare l'informazione contenuta in esse. In questo caso, infatti, si genera un interferogramma sottraendo la fase di un'immagine a quella dell'altra. Se non avvengono particolari cambiamenti nel periodo tra le due acquisizioni, i contributi dovuti alla riflettività si elidono e la fase dell'interferogramma dipende, con buona approssimazione, solo dalla distanza sensore – bersaglio e, quindi, da eventuali movimenti intercorsi tra le due acquisizioni (a parte i contributi spuri dovuti all'atmosfera e al rumore).

4.2.4 Tecnica dei Permanent Scatterers (PSInSAR™)

La Tecnica dei Diffusori Permanenti (Permanent Scatterers, PS) è stata sviluppata e brevettata presso il Politecnico di Milano e concessa in licenza esclusiva a TeleRilevamento Europa (TRE) S.r.l. nel 2000 (Colesanti et al., 2003; Ferretti et al., 1999, 2001). Si tratta di uno strumento estremamente efficace per il monitoraggio con accuratezza millimetrica di fenomeni di deformazione della superficie terrestre, basato sull'impiego di serie temporali d'immagini radar satellitari (in particolare, dati dei satelliti ERS-1/2 dell'ESA). L'approccio PS è basato sull'osservazione che un piccolo sottoinsieme di bersagli radar, costituito appunto dai diffusori permanenti (Permanent Scatterers, PS o Punti di Misura Permanente, PMP), è praticamente immune agli effetti di decorrelazione. Essi mantengono la stessa "firma elettromagnetica" in tutte le immagini al variare della geometria di acquisizione e delle condizioni climatiche, preservano quindi l'informazione di fase nel tempo. I diffusori permanenti (PS) sono tipicamente parti di edifici, strutture metalliche, rocce esposte, comunque elementi già presenti al suolo, per i quali le caratteristiche elettromagnetiche non variano sensibilmente di acquisizione in acquisizione, mentre ciò non accade ad esempio per la vegetazione che muta di continuo.

In figura viene mostrata una schematica rappresentazione della base teorica della tecnica interferometrica, di un Permanent Scatterers e dei disturbi presenti nelle acquisizioni SAR (variazione della componente di riflettività che dà luogo a decorrelazione temporale, variazioni della baseline normale che danno luogo a decorrelazione geometrica, disturbi atmosferici).

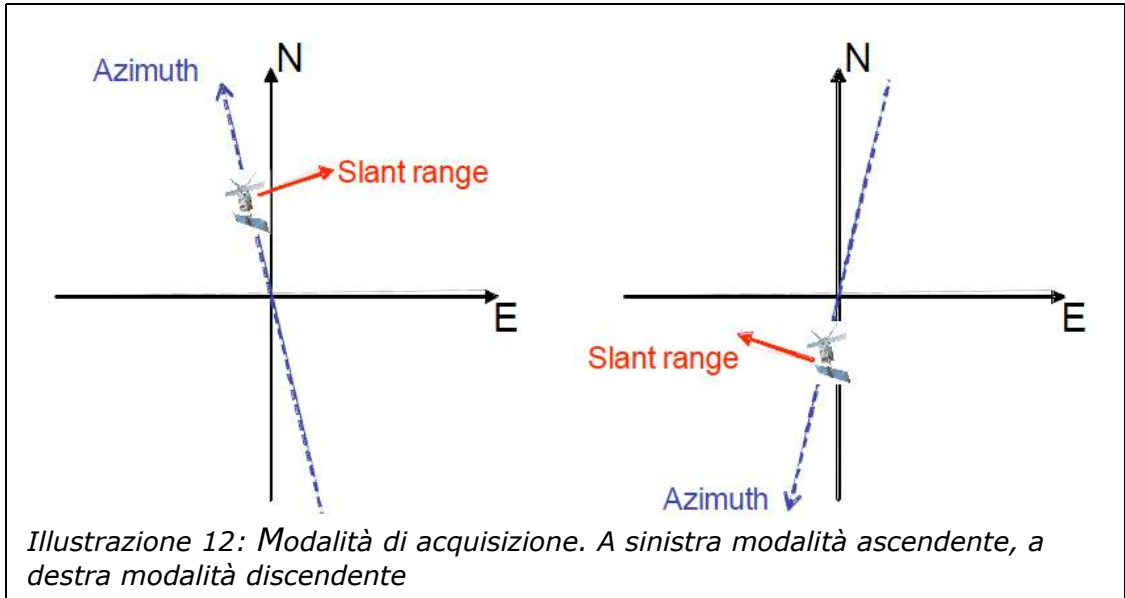


Le misure (di posizione, spostamento e velocità) dei PS sono sempre relative e mai assolute, ovvero riferite spazialmente ad un punto a terra di elevazione nota e supposto fermo (moto nullo), detto "punto di riferimento", e temporalmente ad una data definita (es.: prima acquisizione disponibile nell'arco temporale analizzato).

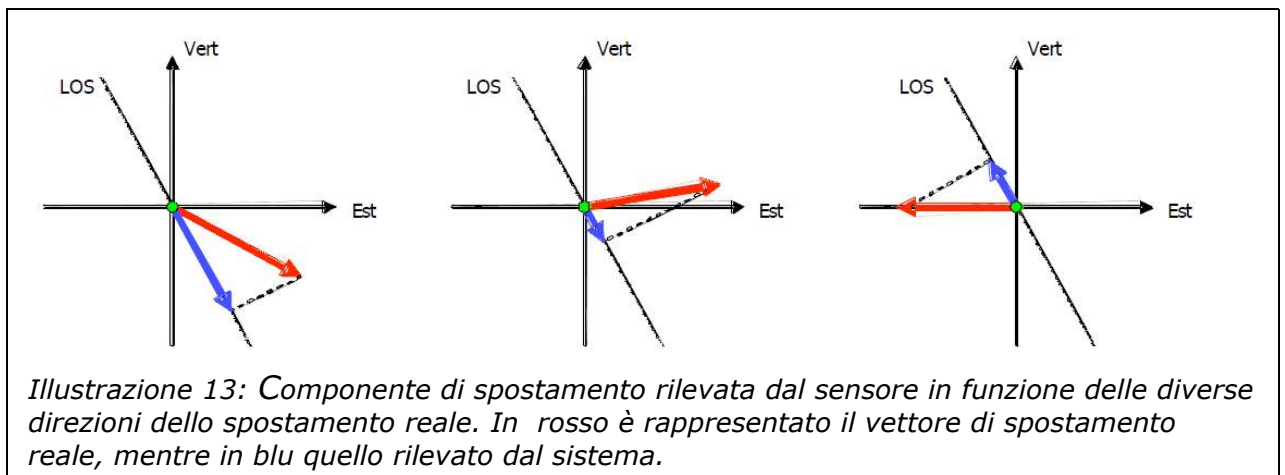
Il satellite percorre la sua orbita intorno alla Terra, mentre la Terra ruota intorno al proprio asse. La

particolare combinazione dei due moti permette al sensore di rilevare la stessa area geografica secondo due differenti geometrie:

- in modalità ascendente, ossia percorrendo l'orbita da Sud verso Nord, e illuminando l'area da Ovest verso Est;
- in modalità discendente, ossia percorrendo l'orbita da Nord verso Sud, e illuminando l'area da Est verso Ovest.



Gli spostamenti sono rilevati lungo la linea di vista del sensore (ossia, la congiungente sensore bersaglio o LOS), che risulta essere inclinata rispetto alla verticale di un angolo che varia a seconda del satellite utilizzato (da ca. 20 a 45 gradi). Dal momento che la tecnica è in grado di misurare la componente dello spostamento lungo la congiungente sensore-bersaglio (PS), questo valore sarà tanto minore quanto più la direzione del vettore spostamento reale si discosterà dalla direzione di puntamento del sensore; al limite, nel caso di moto perpendicolare alla linea di vista del satellite, lo spostamento misurato risulterà nullo. In figura sono rappresentati i tre casi che illustrano come al variare della direzione reale del moto (vettore rosso) il sistema misuri una componente (vettore blu), che può variare notevolmente in modulo e avere segni opposti.



Un aspetto interessante della tecnica PSInSAR™ consiste nella possibilità di combinare il dataset ascendente con quello discendente

(se per l'area in esame si dispone di dati acquisiti in entrambe le geometrie), perché permette di stimare le componenti verticale e orizzontale del vettore spostamento. Convenzionalmente si considerano positivi i valori di velocità media di spostamento verso il satellite e negativi quelli in direzione opposta, di allontanamento dal satellite.

L'elaborazione prende origine da uno studio statistico delle immagini, che porta alla selezione dell'insieme dei PS o diffusori permanenti, sostanzialmente immuni dai fenomeni di decorrelazione. Questa proprietà dei PS consente di superare gran parte delle limitazioni legate all'analisi DInSAR convenzionale.

Per i PS infatti, utilizzando le serie storiche delle acquisizioni, è possibile stimare sia l'entità del disturbo dovuto all'atmosfera terrestre, sia le possibili deformazioni superficiali della zona in esame. Ciò è reso possibile da un insieme di algoritmi di elaborazione numerica dei segnali frutto di oltre dieci anni di studi sviluppati dal gruppo SAR del Politecnico di Milano. Dopo aver rimosso il disturbo atmosferico dai dati si è in grado di stimare accuratamente i movimenti dei PS utilizzando il SAR come un vero e proprio strumento di misura delle deformazioni del terreno.

Si può immaginare la griglia di PS come una rete di stazioni GPS (Global Positioning System) naturali per il monitoraggio di vaste aree di interesse con una frequenza di aggiornamento del dato mensile e con una densità spaziale di punti di misura estremamente elevata (in aree urbane 100-300 PS/km²).

Il cuore del brevetto della Tecnica PS risiede nella capacità di stimare correttamente e compensare il disturbo atmosferico, che limita le applicazioni interferometriche, svolgendo un'analisi dettagliata solo sul sottoinsieme di PS accuratamente selezionati secondo valutazioni statistiche. Stimato il contributo atmosferico è possibile individuare tutte le componenti che costituiscono la fase interferometrica, eliminare i termini spuri e isolare il termine che descrive la variazione di cammino ottico dell'onda elettromagnetica nelle varie acquisizioni, cioè descrivere i movimenti che ha subito il bersaglio nell'arco temporale tra il primo e l'ultimo dato disponibile.

Per eseguire stime accurate dei disturbi atmosferici è necessario che la densità spaziale di PS sia sufficientemente elevata (maggiore di 5-10 PS/km²), vincolo sempre verificato in aree urbane avvalendosi di dataset consistenti in almeno 25-30 immagini ERS. In aree ad elevata urbanizzazione, la densità spaziale di PS raggiunge valori molto alti: 100 – 400 PS/km².

I PS vengono correttamente posizionati nella cella di risoluzione al suolo e in corrispondenza di ciascuno si effettua una misura di deformazione per ogni acquisizione disponibile, con accuratezza sino a 1-2 mm su ogni singola misura (per i punti migliori). Si è quindi in grado di ricostruire il trend medio di deformazione annua, con accuratezza compresa tra 0.1 e 1 mm/anno. L'accuratezza è funzione del numero di immagini e della "qualità" del PS stesso, cioè di quanto l'informazione di

fase disponibile presso il PS è immune ai fenomeni di disturbo. Tutte le misure sono rilevate lungo la congiungente sensore-bersaglio (LOS, Line Of-Sight), e sono di tipo differenziale, ottenute dopo avere determinato uno o più punti di riferimento a terra di coordinate note e supposti fermi o espressamente indicati ad esempio da misure GPS o di livellazione ottica.

Per la visualizzazione delle stime ottenute, è possibile rappresentare il trend medio di deformazione su un qualsiasi background che aiuti un'interpretazione e una geolocalizzazione dei fenomeni in atto (l'optimum è – ovviamente – operare in ambiente GIS dove l'utente può selezionare il layer opportuno). A titolo di esempio, in figura, è visualizzata la mappa di deformazione di Long Beach – California (fonte: Tele-Rilevamento Europa TRE Srl).



Illustrazione 14: mappa di deformazione di Long Beach – California (fonte: Tele-Rilevamento Europa TRE Srl)

In generale, la Tecnica PS presenta i numerosi vantaggi rispetto all'analisi DInSAR convenzionale, schematicamente riassumibili nei seguenti aspetti:

- possibilità di stime puntuali;
- maggiore precisione (sino al millimetro su singole misure);
- stima e rimozione dei contributi atmosferici.

Nei confronti di altre tecniche tradizionali di monitoraggio delle deformazioni del terreno i principali vantaggi possono essere così schematizzati:

- presenza di un archivio storico (dal 1992), da cui la possibilità di indagini su fenomeni passati;
 - misure differenziali con precisione elevata sul trend di deformazione con velocità media PS fino a 0,1 mm/anno e sulla singola misura spostamento verticale PS fino a 1 mm e spostamento est-ovest fino a 1 cm;
 - elevata densità spaziale di capisaldi radar, in area urbana fino a ~400 PS/km², già presenti sul territorio;
 - abbattimento dei costi e dei tempi di indagine su larga scala per la zonazione del territorio;
 - integrabilità in ambiente GIS;
 - applicazioni sinergiche con altre tecniche di rilevamento;
 - accuratezza verticale delle misure superiore rispetto alla tecnica GPS.
- È importante sottolineare anche i limiti della Tecnica PS che consistono nella difficoltà di apprezzare la deformazione lungo la direzione LOS, cioè approssimativamente lungo la verticale, salvo il caso di analisi ad hoc di diverse geometrie di acquisizione, e nel fatto che per portare a termine con successo l'analisi PS è necessario che l'area oggetto di studio presenti una densità sufficiente di diffusori permanenti (quantomeno lieve urbanizzazione oppure presenza di rocce esposte).

Riassumendo, i limiti riguardano:

- moti rapidi (superiori a 1 cm/35 giorni) che non possono essere monitorati senza informazioni "a priori";
- monitoraggio in "tempo reale" impossibile con l'attuale frequenza del dato (35 giorni) anche se è possibile integrare più geometrie di acquisizione;
- assenza di misure in aree senza bersagli radar (necessità di installare capisaldi artificiali);
- difficile previsione della posizione dei PS su aree non urbane;
- necessità di un'elaborazione minima di 25-30 immagini radar;
- carico computazionale elevato.

In particolare la tecnica PS è stata applicata con successo per lo studio dei fenomeni di subsidenza del terreno sia in ambito italiano che internazionale (Ferretti et al. 2000, Musson et al. 2004, Ferretti & Cespa 2005, Dixon et al. 2006, Zerbini et al. 2007, Bell et al. 2008), permettendo di ottenere una notevole quantità di dati puntuali di deformazione spazialmente distribuiti su tutto il territorio di studio difficilmente reperibili con metodi tradizionali.

4.2.5 Analisi delle velocità medie annue di deformazione a scala di bacino

L'interpolazione lineare dei dati di velocità media annua di abbassamento del terreno nel periodo 1992-2002, ottenuta dall'elaborazione dei dati acquisiti dai satelliti ERS1 e ERS2 in modalità

discendente riproiettando sulla verticale le velocità medie annue di deformazione del terreno registrate lungo la congiungente satellite-PS, ha permesso di definire spazialmente le aree maggiormente interessate da fenomeni di subsidenza.

In particolare per analizzare i fenomeni di subsidenza nel bacino dell'Arno sono stati acquisiti, per l'intero territorio di pianura, i dati puntuali di deformazione media annua (mm/anno) ricavati dall'analisi delle immagini SAR (Synthetic Aperture Radar) registrate dai satelliti ERS1 e ERS2 nel periodo 1992-2002.

Per fare ciò sono state innanzitutto selezionate le immagini ERS1 ed ERS2 acquisite sull'intero bacino del F. Arno. Per ottenere il massimo numero di capisaldi radar sono stati acquisite immagini sia lungo orbite discendenti (con acquisizione del satellite in direzione E-W) che ascendenti (acquisizione del satellite in direzione W-E). Infatti, a causa delle diverse direzioni di vista del satellite lungo le due orbite, diversi elementi riflettenti presenti sul terreno risultano essere dei PS, in funzione della loro geometria e della loro esposizione rispetto alla linea di vista del satellite. Elaborando dataset di immagini provenienti da entrambe le orbite è possibile ottenere la massima densità possibile di PS. Per coprire l'intero territorio del bacino idrografico del Fiume Arno è stato necessario acquisire immagini provenienti da tre track differenti, sia per il dataset ascendente che per quello discendente.

Le immagini così selezionate sono state elaborate permettendo di individuare nell'area di studio una serie di punti o capisaldi "radar" caratterizzati sulle immagini SAR da elevati valori di energia retrodiffusa, sui quali è stato possibile misurare lo spostamento annuale medio durante il periodo di misura con un'accuratezza elevata (dell'ordine del millimetro). La densità spaziale di tali punti, che normalmente corrispondono sul terreno ad edifici, strutture metalliche o roccia esposta, è risultata sufficientemente elevata in corrispondenza delle aree maggiormente urbanizzate, mentre nelle aree agricole o comunque con poche strutture antropiche sono stati identificati solo pochi scatteratori. E' stato così ottenuto un database di circa 831.260 punti distribuiti all'interno dell'area di interesse (ca. 9131 km²), con una maggiore densità dei PS derivante dall'analisi dei dati discendenti (573.449 PS) rispetto agli ascendenti (257.813).

Nella successiva fase è stato necessario rendere omogenei i dati PS provenienti da diverse orbite (ascendenti e discendenti) o da track parzialmente sovrapposte. Le velocità fornite dai PS sono velocità relative e non assolute, cioè sono velocità differenziali calcolate rispetto ad un punto di riferimento, detto "reference point". Dataset diversi di PS avranno reference points diversi, per cui PS corrispondenti provenienti da due track diverse (cioè da due acquisizioni che hanno una parte comune di sovrapposizione) possono avere velocità leggermente differenti. Questo può essere indotto dal fatto che i reference points non siano perfettamente fermi, ma che siano affetti da un leggero

movimento. E' necessario quindi stimare quanto sia tale differenza, valutandola statisticamente su punti vicini e rimuoverla, per poter rendere confrontabili diversi dataset.

Sia i dataset di PS discendenti che ascendenti sono stati analizzati da un punto di vista statistico e per ognuno di essi, è stato calcolato un offset di velocità. Inoltre è stato possibile notare la presenza di alcuni PS caratterizzati da anomali valori di velocità media annua rispetto alla media degli altri circostanti PS. Molto probabilmente questi punti non rappresentano reali scatteratori, e di conseguenza non sono attendibili capisaldi su cui misurare le deformazioni. Una volta identificati questi outlier sono stati eliminati.

L'analisi delle deformazioni è stata effettuata per le sole aree di pianura; il numero di PS finale, utile per lo studio dei fenomeni di subsidenza, è arrivato quindi ad essere pari a 438.926, distribuiti in 260.579 per i dataset discendenti e 178.347 per quelli ascendenti. Il numero di PS all'interno dell'area rappresenta il 52% dell'intero dataset di PS identificati nel bacino del F. Arno.

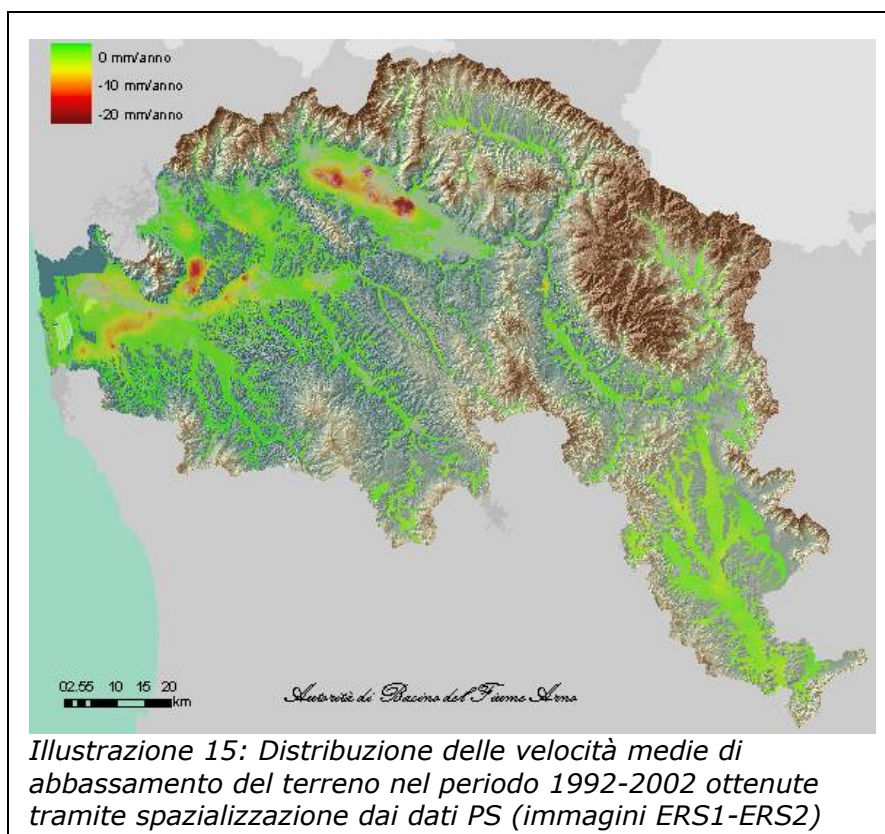


Illustrazione 15: Distribuzione delle velocità medie di abbassamento del terreno nel periodo 1992-2002 ottenute tramite spazializzazione dai dati PS (immagini ERS1-ERS2)

Le velocità di deformazione sono state quindi elaborate attraverso l'elaborazione di una mappa di sintesi delle deformazioni del terreno sull'intero bacino del fiume Arno, a partire dai dati puntuali di forniti dall'analisi. A tal fine è stato necessario applicare degli algoritmi di interpolazione spaziale dei dati. La qualità dell'interpolazione è chiaramente legata alla densità dei PS che in alcune zone è

estremamente elevata, mentre in altre, a causa dell'assenza di edifici o elementi riflettenti sul terreno, è abbastanza bassa. Per effettuare l'interpolazione è stato usato l'algoritmo di "radial basis functions – RBF".

Dalla mappa di distribuzione delle deformazioni del terreno si evince che le aree interessate da velocità di abbassamento elevate sono quelle collocate nella pianura Firenze-Prato-Pistoia, nell'area della Piana Empolese-Padule di Bientina, in Provincia di Lucca, e nella pianura Pisana-Livornese, tutte zone in cui sono da tempo noti dissesti legati a cedimenti del terreno. Nelle aree soggette a fenomeni di subsidenza, le velocità registrate variano da pochi mm/anno fino a 2-3 cm/anno, in accordo con quanto emerso da dati bibliografici e dai sopralluoghi svolti.

Per circa il 60% del territorio del bacino, è stato possibile, in una fase successiva, anche utilizzare i dati ricavati dall'analisi delle immagini SAR, acquisite dal satellite canadese RADARSAT1 nel periodo 2003-2007. Inoltre, per un subset di PS particolarmente stabili, sono state esaminate anche le serie storiche dei valori di deformazione del terreno (mm), in modo da ricostruire, per ogni PS selezionato, la differenza di quota registrata tra successive acquisizioni delle immagini radar, ovvero ogni 24 giorni (RADARSAT1) o 35 giorni (ERS1, ERS2). La densità spaziale dell'insieme dei dati di deformazione per i dataset ascendente e discendente è risultata più che soddisfacente, con una media di circa 350 punti/kmq, raggiungendo la massima concentrazione nelle aree maggiormente antropizzate del territorio con valori fino a circa 2000 punti/kmq.

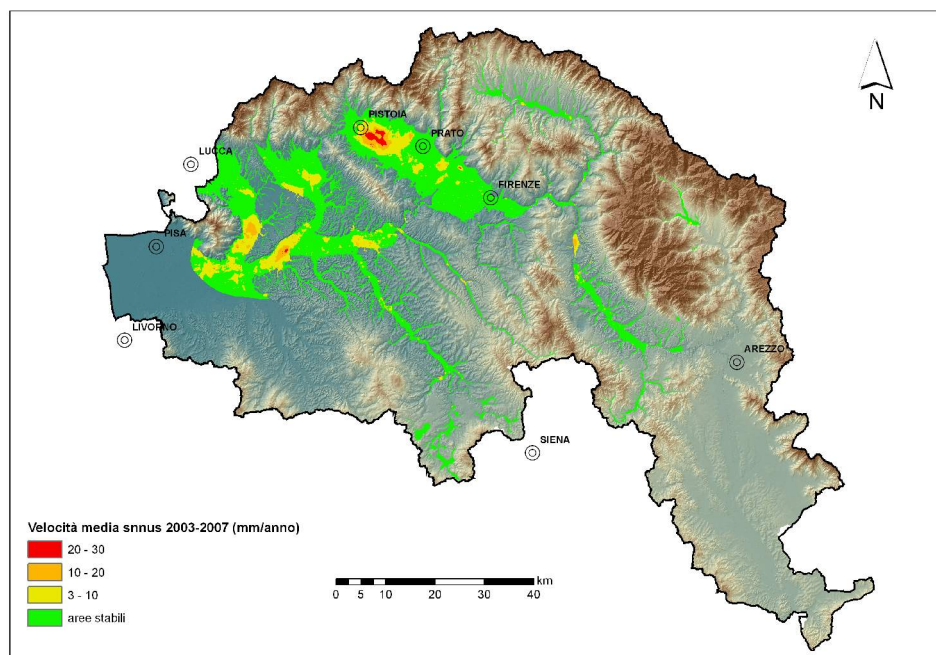


Illustrazione 16: Distribuzione delle velocità medie di abbassamento del terreno nel periodo 2003-2007 ottenute tramite spazializzazione dai dati PS (immagini RADARSAT1).

Dal confronto delle due mappe di distribuzione delle velocità media annua di deformazione del terreno, possiamo osservare che l'andamento spaziale dei valori registrati dai satelliti ha subito alcune importanti modifiche nei due sottoperiodi esaminati. Nella pianura Firenze-Prato-Pistoia risulta evidente che l'area ad elevata velocità di deformazione ubicata al confine tra le province di Firenze e Prato, in forte risalto nel sottoperiodo 1992-2002, subisce un'importante riduzione di superficie nel sottoperiodo 2003-2007, anche se il range dei valori di velocità rimane costante. In generale si osserva uno spostamento delle aree a maggiore velocità di subsidenza verso NW, nella provincia di Pistoia, in aree che comunque risultavano già interessate da evidenti fenomeni di deformazione nel periodo 1992-2002. Nell'area della Piana Empolese-Padule di Bientina la situazione rimane sostanzialmente invariata nei due sottoperiodi.

4.3 I modelli di simulazione

4.3.1 I modelli di simulazione di rete

Il processo di modellazione di rete di Ingegnerie Toscane si sviluppa attraverso le tappe:

- acquisizione delle rete;
- distrettualizzazione;
- assegnazione delle quote ai nodi;
- definizione della domanda;
- definizione del pattern di domanda;
- analisi;
- taratura;
- validazione

Acquisizione delle rete

L'acquisizione della rete è preceduta dall'individuazione, dalla georeferenziazione e dalla caratterizzazione del funzionamento di tutti quegli elementi che costituiscono una disconnessione idraulica (serbatoi, impianti di sollevamento, impianti di trattamento, etc.) o che comunque rappresentano i punti di ingresso della portata nel sistema quali pozzi o valvole di regolazione.

La corretta conoscenza della rete ed in particolare modo della rete di distribuzione primaria, è di fondamentale importanza per il successivo sviluppo ed interpretazione del modello; pertanto la semplice acquisizione in formato shape file della cartografia dal SIT, deve essere accompagnata da una conoscenza diretta sul campo.

La rete viene rappresentata mediante una successione di archi e nodi in modo tale che ogni arco inizia e finisce in un nodo ed è caratterizzato da un insieme di attributi geometrici ed idraulici quali tipologia, lunghezza, diametro nominale (DN), diametro interno (Di), materiale di cui è composto il singolo tratto e la scabrezza che in questa prima fase viene assegnata univocamente in funzione del materiale senza tenere in considerazione ne l'età della condotta ne la qualità dell'acqua in essa circolante.

Solo successivamente, durante la calibrazione, viene condotta una analisi più specifica sui singoli tratti in funzione dell'output fornito dal modello e dei dati di portata e pressione raccolti.

L'elaborazione successiva, effettuata con l'utilizzo di un programma GIS (Arcview 3.2), è quella dell'individuazione e la correzione dei tratti isolati della rete che non consentirebbero la chiusura dell'algoritmo di calcolo, l'unificazione dei tratti in serie di ugual diametro e scabrezza e la "scheletrizzazione" della rete sostituendo i tratti terminali aventi un diametro inferiore ai 32mm con nodi in cui concentrare opportunamente la domanda.

Si distingue in fine tra rete di distribuzione e adduzione in modo da facilitare l'aggregazione dell'utenza e quindi della domanda ai soli tratti di distribuzione.

Distrettualizzazione

Nell'ambito degli strumenti di pianificazione delle risorse idriche e gestione delle reti acquedottistiche, la *distrettualizzazione* è uno tra i metodi consigliati in letteratura tecnica ed in normativa nazionale.

Con la *distrettualizzazione* si suddivide la rete idrica in più distretti tra loro idraulicamente separabili e caratterizzati ciascuno da uno o più punti di alimentazione telecontrollati o comunque misurabili.

Questa metodologia permette un più facile controllo delle pressioni e delle portate in ingresso ed in uscita allo scopo di regolare il carico idraulico e garantire un'ottimale gestione idraulica delle reti. Ogni distretto è caratterizzato da punti critici in cui in determinate ore del giorno si raggiunge la minima pressione. La *distrettualizzazione* deve consentire di mantenere inalterato il valore minimo della pressione in tali punti critici, se questo è maggiore del minimo indicato in normativa, ed abbassarlo in quei punti dove risulta troppo elevato.

Nel modello idraulico gli elementi che compongono il singolo distretto sono caratterizzati da un particolare TAG e da uno specifico pattern di domanda. Completato il modello sarà quindi possibile progettare gli interventi di regolazione e differenziazione della pressione e valutare il livello di servizio in rete attraverso specifiche analisi di Pressure Driven Analysis (PDA).

Assegnazione delle quote ai nodi

Il successivo passaggio nella creazione del modello idraulico è l'assegnazione della quota ai nodi della rete. Partendo da un modello digitale del terreno (DTM: digital terrain model), mediante una procedura di proiezione si attribuisce automaticamente la quota z agli elementi puntuali. Il DTM può essere ottenuto interpolando con vari metodi (TIN, Kriging, Veronoi etc.) i dati puntuali di quota o le curve di livello. La corretta assegnazione della quota è fondamentale per ottenere valori della pressione nei nodi attinenti al reale; è pertanto indispensabile avere a disposizione un rilievo del terreno sufficientemente accurato in scala 1:2000.

Assegnazione della domanda

La stima della domanda da assegnare ad un nodo del modello può essere basata su due distinti indicatori statistici: la superficie in pianta dell'edificio e il fatturato della singola utenza.

Con il primo metodo si fa coincidere il singolo utente con il baricentro georeferenziato dell'edificio e la domanda da associare viene presa proporzionalmente alla superficie in pianta del fabbricato.

Si rende pertanto necessario distinguere almeno due tipologie di utenza, quella civile e quella industriale a cui associare quote diverse della domanda complessiva della rete in funzione di considerazioni socio-economiche sul tessuto produttivo delle zone.

Questa metodologia si basa sull'ipotesi che gli edifici civili abbiano altezze tra loro paragonabili e quelli industriali abbiano una destinazione d'uso omogenea su tutto il territorio. Ovviamente tale ipotesi viene meno se siamo in possesso della volumetria del singolo edificio civile o della destinazione d'uso di quello industriale.

Definita con Q_{tot} (L/s) la portata media nel giorno oggetto della simulazione, ottenibile mediante bilanci idrici sui singoli distretti oppure attraverso la stima di un'opportuna dotazione idrica procapite, e con A_{tot} (mq) la superficie complessiva degli edifici serviti abbiamo:

$$Q_{tot} = Q_{civile} + Q_{industriale} \quad \text{per le utenze civili}$$

$$A_{tot} = A_{civile} + A_{industriale} \quad \text{per le utenze industriali}$$

Il valore da assegnare a Q_{civ} e Q_{ind} è funzione dello strato socio-economico del territorio servito dall'acquedotto oggetto della simulazione. In genere si pone $Q_{ind}=20\%Q_{tot}$.

La domanda base da associare al singolo centroide in funzione della tipologia è quindi:

$$q_{i\text{ civile}} = \frac{a_{i\text{ civile}}}{A_{civile}} \cdot Q_{civile}$$

Per applicare il secondo metodo è necessario avere a disposizione oltre alle utenze georeferenziate, coincidenti con i contatori delle unità immobiliari, la banca dati dei consumi fatturati e l'intervallo tra due misure successive. Per il calcolo si procede come nel caso precedente considerando come peso non più l'area dell'edificio ma il consumo medio giornaliero della singola utenza ricavabile confrontando due misure successive:

$$\Delta V_i = V_i(t_2) - V_i(t_1)$$

consumo fatturato della generica utenza tra due istanti successivi di lettura

$$q_{m_i} = \frac{V_i(t_2) - V_i(t_1)}{\Delta T}$$

consumo medio giornaliero utenza i -esima

$$Q_m = \sum_i q_{m_i}$$

consumo medio giornaliero complessivo delle utenze servite ed attive al momento della simulazione.

La domanda base diviene associata alla generica utenza è:

$$q_i = \frac{q_{m_i}}{Q_m} \pi Q_g$$

dove Q_g è il consumo medio della rete nel giorno di simulazione.

Questo metodo rispetto al precedente, non imponendo ipotesi di base non sempre verificate ma basandosi solamente su dati misurati, consente una migliore e più precisa attribuzione della domanda base.

La procedura di assegnazione della domanda base ai nodi della rete modellata è di fondamentale importanza, in quanto un'erronea aggregazione spaziale dell'utenza sulla rete può generare nel modello una distribuzioni delle portate non conformi al reale e quindi livelli di servizio simulati non attendibili.

Attraverso l'utilizzo della funzione di geoprocessing del GIS, si associa l'utenza al sistema nodo-condotta-nodo secondo un criterio di vicinanza. In genere vengono prese in considerazione le utenze che cadono in raggio di 200-300 metri dal nodo. Ad ogni nodo potranno essere associate più utenze e la domanda base risulterà la somma di quelle delle singole utenze.

Definizione del pattern di domanda

Il consumo idrico di un settore in cui compaiono diverse tipologie di utenza, è il risultato della sovrapposizione temporale delle curve di consumo delle singole utenze. Infatti, nell'ipotesi che la domanda sia pienamente soddisfatta, il consumo dipende da diversi fattori:

- Il tipo di utenza: domestica, commerciale, industriale, servizi
- Livello socioeconomico
- Mese dell'anno
- Giorno della settimana monitorato

In genere, l'utenza civile è caratterizzata da una curva di consumo che presenta un punto di minimo durante le ore notturne, un incremento nelle prime ore del giorno e tre punti di massimo in corrispondenze delle ore diurne. Invece la domanda industriale e dei servizi in genere, dipende dall'orario di attivazione.

La metodologia di costruzione di un pattern da utilizzare nel modello idraulico è strettamente legata al tipo di informazioni in nostro possesso.

Potendo monitorare la richiesta idrica di un numero di utenze rappresentativo di ciascuna tipologia è possibile costruire l'andamento normalizzato dei consumi per quello specifico tipo di utenza. Nota pertanto la destinazione d'uso del singolo edificio/centroide o dell'utenza/contatore, si assegna il pattern di domanda relativo.

In alternativa, partendo dai dati di portata opportunamente misurata, per ogni settore si determina su un arco temporale in genere di 24 ore, il pattern di consumo normalizzato mediato sull'ora o su 5-10 minuti in

funzione dell'intervallo di registrazione dei dati e della sensibilità degli strumenti. In questo caso non potendo distinguere tra le diverse tipologie di utenza si costruisce un solo pattern di domanda commettendo evidentemente un errore per le utenze industriale che in genere non sono attive nelle ore notturne.

L'utilizzo del pattern orario pur semplificando la procedura di calcolo determina l'annullamento dei valori massimi istantanei nella domanda rendendo poco attendibile la simulazione per gli scenari di verifica del livello di servizio a seguito ad esempio di nuove lottizzazioni.

Nella simulazione è opportuno considerare giorni di massimo consumo in modo da porsi nelle condizioni più sfavorevoli dal punto di vista idraulico e del livello di servizio raggiungibile in rete.

Analisi

Il codice di calcolo adoperato nell'analisi è EPANET versione 2.0 (Rossman, 2000) sviluppato dall'"EPA U.S. Environmental Protection Agency".

EPANET è un simulatore idraulico e di qualità delle acque per lo studio di reti in pressione.

Il codice simula la presenza di organi idraulici quali pompe, valvole, serbatoi, riduttori di pressione e consente di mappare l'evoluzione delle principali variabili in ogni nodo o ramo della rete.

L'utilizzo di questo software permette di eseguire un'analisi della rete di tipo convenzionale oppure attraverso un opportuno utilizzo della funzionalità "emitters" di legare la portata in uscita dal nodo alla pressione.

L'analisi convenzionale o DDA (Driven Demand Analysis), ipotizzando che il carico piezometrico nel nodo (incognita del problema) sia sufficientemente elevata a garantire l'efflusso del valore inserito, fa coincidere la portata erogata dal generico nodo (dato del problema) con la richiesta dell'utenza.

Il risultato di questo tipo di analisi è attendibile solamente a condizione che per ogni nodo della rete il carico piezometrico fornito in output dal programma sia maggiore del carico realmente necessario. In caso contrario, in presenza di nodi critici in cui il carico piezometrico calcolato risultasse inferiore a quello richiesto, i risultati del modello non sarebbero da considerarsi corretti in quanto le portate comunque erogate non risulterebbero compatibili con il carico derivante dal calcolo. Per evitare la presenza di errori o incongruenze grossolane in rete che possano falsare l'interpretazione della simulazione è necessario eseguire una prima fase di calibrazione del modello secondo una procedura trial and error.

Se nella simulazione eseguita con la metodologia DDA, si hanno nodi in cui il carico risultante dal calcolo è inferiore a quello strettamente necessario a garantire la portata richiesta, al fine di poter valutare l'affidabilità di un sistema idrico è necessario mettere in relazione la portata erogata dal nodo con il carico esistente in rete.

Questo approccio è indicato in letteratura con la sigla PDA (Pressure-Driven-Analysis). In aggiunta alle usuali equazioni del moto e di continuità, in ciascun nodo in cui non è verificata la condizione necessaria per eseguire l'analisi DDA si introduce l'ulteriore condizione:

$$Q_i = f(H_i) = C_i H_i^a$$

Dove:

Q_i = portata erogata

a = esponente che da indicazioni presenti in letteratura tecnica, può essere assunto pari a 0,5

C = coefficiente di efflusso

Nei nodi non verificati si annulla la domanda base precedentemente assegnata e si inseriscono gli "emitters" con coefficienti C_i calcolati imponendo che la portata erogata dal dispositivo sia uguale alla richiesta dell'utenza con carico piezometrico uguale al valore richiesto. La nuova simulazione sarà caratterizzata da portate circolanti inferiori alla precedente e quindi avremo minori perdite di carico distribuite in rete e quindi pressioni maggiori nei nodi.

L'analisi PDA è un procedimento iterativo in cui ad ogni passaggio vengono eliminati quegli "emitters" in cui la portata erogata risulta maggiore della richiesta o inferiore a zero.

Taratura del modello

Affinché il modello possa riprodurre adeguatamente il comportamento della rete e predirne il funzionamento al variare delle condizioni al contorno è necessario seguire una procedura di calibrazione che consiste nel progressivo aggiustamento dei parametri idraulici e geometrici in ingresso quali scabrezza e portate erogate ai nodi.

Le scabrezze rappresentano parametri variabili nello spazio e nel tempo per le quali non è possibile usufruire di misure dirette come per le portate erogate, ne disporre dell'andamento della variazione temporale, ma solo di indicazioni di massima derivanti dall'esperienza o riportate in letteratura.

Per calibrare un modello è necessario costituire un'adeguata banca dati caratterizzante il sistema, derivante unicamente dai dati forniti da sensori collocati nei nodi e nei rami della rete.

Pertanto deve essere preliminarmente avviata una campagna di misurazioni di portata e pressione, effettuata utilizzando una strumentazione di tipo portatile non invasiva o attraverso i sistemi di telecontrollo esistenti.

In generale per ottenere una calibrazione più accurata, conviene posizionare i misuratori di pressione nei nodi che risentono maggiormente di coefficienti di scabrezza meno influenti ed

analogamente i misuratori di portata su tubazioni sensibili a scabrezze poco influenti.

La pressione va in ogni caso, misurata in prossimità di un nodo del modello e comunque non in corrispondenza degli allacciamenti delle utenze in quanto potrebbe risultare falsata. Gli strumenti di misura della portata, per evitare eccessivamente fluttuazioni, caratteristiche dei bassi consumi, vanno posizionati su tubazioni della distribuzione primaria aventi diametri di sufficiente grandezza.

Il numero di misurazioni effettuate è strettamente collegato alle dimensioni della rete, a quello dei meccanismi idraulici presenti e ovviamente al grado di approssimazione che si vuole ottenere che sarà tanto maggiore quanto più la campagna di misurazione sarà estesa.

Tipo di rete	N° punti di misura
	Pressione
Città con meno di 30.000 abitanti	30-30
Città con meno 300.000 abitanti	30-50
Città con una popolazione di circa 1.000.000 abitanti	60-100

In aggiunta alle misure effettuate di portata e pressione, occorre raccogliere informazioni sul funzionamento temporale di tutti i meccanismi di disconnessione idraulica e non, che costituiscono le condizioni al contorno del sistema, quali impianti di sollevamento, livello dei serbatoi, valvole di regolazione etc.

In Epanet 2.0 è possibile utilizzare la funzione "Calibration" che puntualmente confronta la popolazione dei dati misurati con quelli in output calcolati dal programma fornendo lo scarto quadratico. Agendo puntualmente sui parametri idraulici del sistema è possibile minimizzare lo scarto ed ottimizzare il modello.

Validazione del modello

Il metodo utilizzato per tarare il modello non consente una soluzione univoca del problema in quanto i dati a disposizione derivanti dalla campagna di misurazione, non sono in numero analogo alle variabili rappresentate dalle scabrezze e dalla distribuzione dei consumi.

Pertanto per ritenere un modello, attendibile, l'errore commesso deve rientrare entro un limite massimo fissato dal progettista in funzione dell'utilizzo per il quale il modello è stato creato. Nel caso di Ingegnerie Toscane vengono usate le linee guida dell'Engineering Computer Applications Committee dell'AWWA.

4.3.2 I modelli di simulazione di bacino

La modellazione idrologica a scala di bacino ha visto per molto tempo affiancate due impostazioni diverse: quella dei modelli a parametri concentrati, o "lumped", per i quali le fasi del ciclo dell'acqua e le dinamiche degli scambi suolo-atmosfera veniva sintetizzate da variabili valutate come valore medio sull'intero bacino idrografico sotteso dalla sezione di chiusura di interesse; o quella dei modelli di tipo distribuito, per cui la riproduzione e la simulazione delle stesse fasi e dinamiche veniva impostato a livello di una singola cella delle n in cui veniva suddiviso il bacino di interesse. Quest'ultima impostazione nacque e si affermò durante gli anni '80 dello scorso secolo, parallelamente al diffondersi delle tecniche di telerilevamento da remoto (satellite o radar, principalmente), grazie alle quali si poteva disporre di dati in formato raster (ovvero, matriciale), ad alta densità spaziale (ovvero, per celle di dimensioni molto inferiori a quelle dei bacini oggetto di simulazione).

La modellazione idrologica di tipo distribuito si è sempre più affermata di pari passo con lo sviluppo delle tecnologie di calcolo, richiedendo una potenza di calcolo inversamente proporzionale – in modo esponenziale – con la dimensione della cella elementare della maglia di riferimento. Grazie all'effettivo attuarsi della legge di Moore sulla potenza di calcolo dei processori, i modelli di tipo distribuito si sono definitivamente affermati e rappresentano l'approccio di riferimento nel campo dell'idrologia. Numerosi applicativi, anche di tipo gratuito, consentono l'elaborazione di modelli idrologici a celle alimentati indifferentemente da dati di base di tipo puntuale o distribuito (quali possono essere, ad esempio, le immagini telerilevate da satellite dell'umidità del suolo, o le mappe di pioggia scansionate da radar meteorologici). I modelli di tipo distribuito tengono inoltre efficacemente conto dell'alta variabilità spaziale delle caratteristiche del suolo, delle precipitazioni e di altri parametri che concorrono alla determinazione del bilancio.

In questo ambito, facendo riferimento in particolare a quanto disponibile, come esperienza applicativa, nella regione di interesse per le applicazioni modellistiche e di simulazione idrologica utili per WIZ, lo stato dell'arte è rappresentato dalle elaborazioni per la stima del bilancio idrico del bacino dell'Arno, sviluppate nel corso della formazione del Piano di bacino dell'Arno, stralcio "Bilancio Idrico", di cui di seguito si fornisce una trattazione approfondita.

Il modello afflussi deflussi

Nel corso della sperimentazione di un modello unico integrato per il preannuncio di piena nel bacino dell'Arno (sistema ARTU) è stato implementato e testato, presso l'Autorità di Bacino, una prima versione operativa di modello idrologico distribuito per la stima in tempo reale dell'umidità del suolo (MOBIDIC), realizzato dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze. Nonostante la finalità iniziale del suo utilizzo in un sistema di previsione delle piene, MOBIDIC già consentiva di effettuare in continuo, cioè anche nei periodi di assenza di

precipitazione, il bilancio idrico degli strati superficiali del terreno (Castelli *et al.*, 2002). Un aspetto cruciale nella calibrazione e verifica di schemi distribuiti di bilancio idrologico superficiale è la necessità di disporre di misure e/o stime, comparabilmente distribuite, della saturazione del suolo e dei flussi da questa dipendenti. Recenti studi in collaborazione fra DIC e M.I.T. (Caparrini *et al.*, 2005, Campo *et al.*, 2006) hanno mostrato come questo sia operativamente ottenibile attraverso l'uso combinato del telerilevamento da satellite e della modellazione del bilancio energetico della superficie. In tale senso il DIC ha sviluppato un primo miglioramento di MOBIDIC per aggiungere all'esistente schema di bilancio idrico anche il bilancio energetico dello strato superficiale del suolo e della sovrastante vegetazione. Se da un lato questo era atteso portare già sicuri miglioramenti sia in termini di accuratezza della modellazione dell'umidità del suolo e dell'evapotraspirazione che di controllo periodico degli stessi, dall'altro un pieno utilizzo del modello ai fini del bilancio idrico di bacino, come richiesto dall'Autorità di Bacino, richiedeva ulteriori miglioramenti e completamenti per quanto riguarda soprattutto i deflussi canalizzati e la dinamica delle falde acquifere (Querner, 1997).

Ulteriore, ma non meno importante, aspetto di comune interesse fra DIC e Autorità di Bacino è stato la necessità di sviluppare un sistema modellistico che, all'aumentare della complessità dei processi fisici rappresentati e delle relative schematizzazioni, consentisse in maniera agevole e standardizzabile la stima e aggiornamento dei parametri distribuiti del suolo, del sottosuolo e del reticolo idrografico, tramite idonee procedure d'interfaccia con i moderni sistemi GIS. Ciò al fine di consentire la certificazione dei bilanci eseguiti, la minimizzazione delle parametrizzazioni di tipo *'trial and error'*, il confronto fra risultati relativi ad ambienti operativi e bacini idrografici diversi.

Sulla scorta dei risultati della fase sperimentale del Modello di Preannuncio di Piena, il Centro Funzionale della Regione Toscana ha adottato lo stesso modello per l'implementazione della catena previsionale, a partire da input forniti dalle previsioni quantitative di precipitazione fornite dai modelli meteorologici a scala locale (LAM). Il modello MOBIDIC, recentemente applicato in accordo con il Centro Funzionale della Regione Umbria anche per le previsioni ideologiche dei corsi d'acqua di tali territorio, costituisce così lo strumento di riferimento condiviso localmente per le elaborazioni di trasformazione afflussi/deflussi.

Sulla base di tali considerazioni, Autorità di Bacino e DIC hanno ritenuto di elevato e comune interesse lo svolgimento del programma di ricerca avente come obiettivo principale la realizzazione di un sistema modellistico per il monitoraggio a scala di bacino dell'umidità del suolo ed il bilancio della risorsa idrica, con caratteristiche innovative in termini di:

- scala di dettaglio e completezza nella rappresentazione dei principali processi idrologici, biologici ed energetici che

- determinano la dinamica dell'umidità del suolo e la disponibilità di risorsa idrica superficiale e sub-superficiale;
- interfaccia con i moderni sistemi di gestione di dati territoriali, immagini da telerilevamento, dati idro-meteorologici storici e da reti di monitoraggio in tempo reale;
- procedure di calibrazione automatica a partire da informazioni sia puntuali che spazialmente distribuite;
- gestione operativa tramite rete informatica;
- implementazione, documentazione e distribuzione in ottica shareware controllato.

Nella nuova versione realizzata in questo piano, i dati geografici in ingresso, in formato sia raster che vettoriale, possono essere forniti al modello nei più comuni formati GIS. I dati meteorologici, i dati su prelievi e rilasci nei corsi d'acqua e nelle falde e sulla regolazione degli invasi sono forniti al modello in forme tabellari di semplice gestione.

Un modulo di pre-processamento (MOBIDIC-BUILDGIS) è dedicato al consolidamento dei dati geografici, e alla codifica delle relazioni spaziali e topologiche fra topografia, reticolo idrografico, invasi e punti di prelievo e rilascio.

I calcoli di bilancio idrologico vengono quindi eseguiti con il modulo MOBIDIC-WRM con la richiesta risoluzione spaziale e temporale. I risultati includono le serie storiche delle portate simulate in ciascun ramo del reticolo e le relative statistiche (fra le quali le curve di durata) e le mappe delle principali componenti idrologiche (precipitazione, evapotraspirazione, deflusso superficiale, ecc.). Tali risultati possono quindi essere accoppiati con i dati sui consumi e sul deflusso minimo vitale, consentendo quindi il calcolo di un bilancio idrico, su ogni ramo del reticolo idrografico, che tenga conto anche di tali aspetti.

Nella applicazione al bacino dell'Arno, la simulazione idrologica è stata effettuata a passo giornaliero per il periodo 1993-2006. La geomorfologia del bacino ed i corrispondenti processi di versante sono stati modellati a partire da un Modello Digitale del Terreno con maglia di 10 m, aggregato a scala di minore dettaglio (100 m) per esigenze di contenimento dei tempi di calcolo. Le informazioni sull'uso del suolo, sulla geologia e sulle proprietà idrauliche dei suoli sono state derivate da mappe preesistenti, basate anche su immagini satellitari. La base cartografica di riferimento è quella già citata nei capitoli precedenti.

Sono stati simulati scenari sia "naturali" (nei quali non sono stati considerati prelievi o rilasci artificiali; costituiscono la base del bilancio "idrologico") che "antropici" (bilancio "idrico"). I risultati includono le serie temporali simulate di portata su circa 20,000 rami del reticolo e oltre 22,000 siti di prelievo/restituzione, curve di durata delle portate e mappe di componenti idrologiche sull'area del bacino (umidità del suolo, evapotraspirazione, infiltrazione).

Gli algoritmi

In MOBIDIC-WRM, il dominio spaziale per il calcolo dei processi idrologici è rappresentato tramite una discretizzazione in celle quadrate di dimensione arbitraria e una suddivisione verticale in 5 strati: 1) vegetazione, 2) corpi idrici superficiali (fiumi e laghi), 3) frazione di suolo a prevalente comportamento gravitazionale, 4) frazione di suolo a prevalente comportamento capillare, 5) acquiferi. Rispetto alla precedente versione del modello (Campo *et al.*, 2005), la nuova formulazione include la propagazione delle portate lungo il reticolo idrografico e i serbatoi, il bilancio energetico di superficie e la dinamica degli acquiferi.

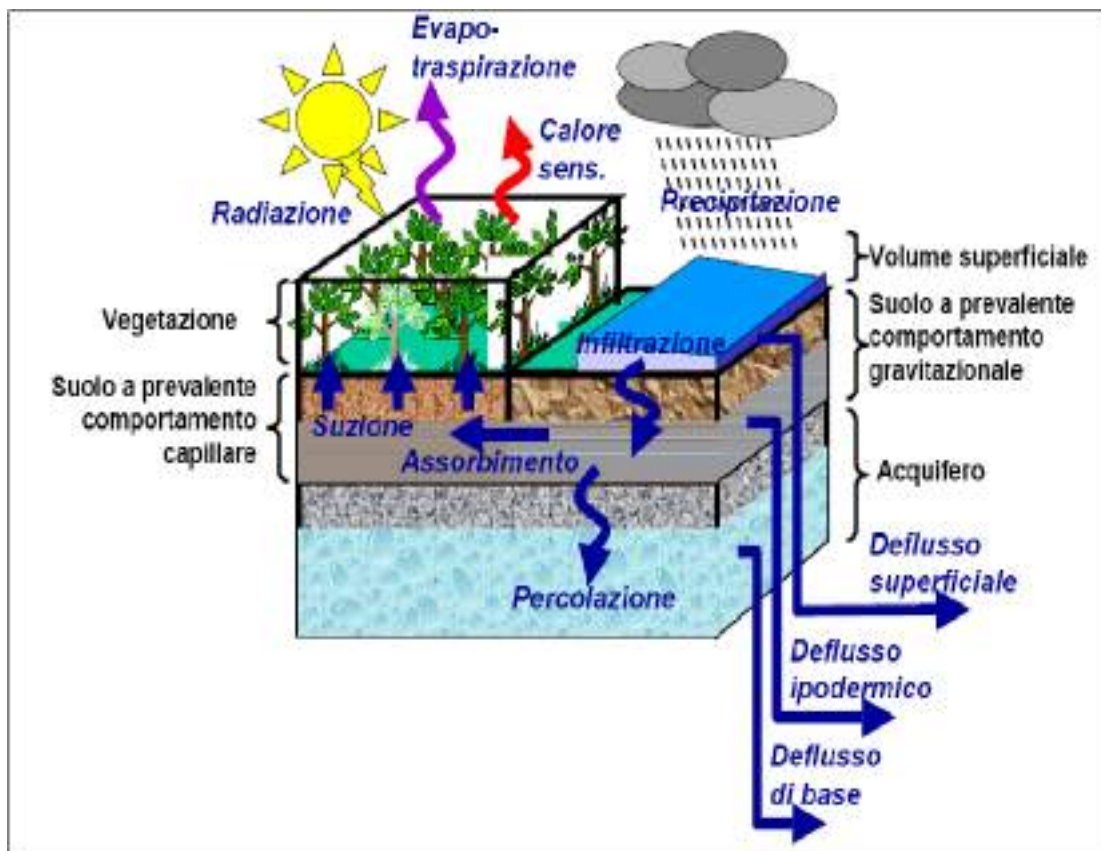


Illustrazione 17: Discretizzazione orizzontale e verticale utilizzata nel modello

Il sistema suolo-vegetazione-atmosfera

L'evapotraspirazione è calcolata a partire dal bilancio energetico fra la superficie del terreno e l'atmosfera. Tale bilancio è rappresentato risolvendo l'equazione della diffusione del calore nei diversi strati del sistema suolo-vegetazione-atmosfera.

Il calcolo dei flussi può essere svolto sia con una formulazione 'a doppia sorgente' (in cui i contributi di suolo e vegetazione sono calcolati separatamente), che con una formulazione a 'sorgente combinata', dove suolo e vegetazione sono rappresentati come un solo mezzo, con assegnate proprietà termiche equivalenti (Caparrini *et al.*, 2005). Nel

primo caso, sono richieste come dato aggiuntivo le mappe di frazione di suolo vegetato e del Leaf Area Index. Il secondo approccio è più parsimonioso e non richiede nessun dato sulla copertura vegetale, e può essere convenientemente utilizzato laddove non sia necessario discriminare fra evaporazione dal suolo e traspirazione dalle piante.

Nella presente applicazione è stato utilizzato l'approccio a sorgente combinata.

I flussi di calore latente e sensibile dalla superficie (suolo+vegetazione) sono quindi calcolati tramite la formulazione 'bulk' del trasferimento del calore in termini di gradienti di umidità e temperatura fra la superficie del terreno (pedice s) e l'atmosfera (pedice a):

$$H = \rho c_p C_H U (T_s - T_a)$$
$$L \cdot E = \rho L C_H U (q_s - q_a)$$

dove U è la velocità del vento e c_p e L sono le usuali proprietà termodinamiche (calore specifico dell'aria a pressione costante e calore latente di vaporizzazione). Il parametro adimensionale C_H è il coefficiente di scambio turbolento del calore e include gli effetti delle caratteristiche della superficie (scabrezza e geometria) e della stabilità atmosferica (Van Den Hurk e Holstlag, 1997).

Idrologia di superficie

Il bilancio idrico nel suolo è affrontato tramite una suddivisione concettuale del suolo, in ciascuna cella di calcolo, in due diversi serbatoi: uno gravitazionale (pori più grandi) e uno capillare (pori più piccoli). La suddivisione fra tali serbatoi è basata sulla definizione di una dimensione caratteristica dei pori, pari a $60 \mu m$ (Busoni *et al.*, 1983). I corrispondenti volumi d'acqua (per unità di area) W_g e W_c sono limitati da valori di capacità massima W_{gmax} e W_{cmax} , e la loro evoluzione è governata dalle seguenti equazioni di bilancio di massa:

$$\frac{dW_g}{dt} = I_{nf} - S_{per} - Q_d - S_{as}$$
$$\frac{dW_c}{dt} = S_{as} - E_T$$

dove I_{nf} è il tasso di infiltrazione, S_{per} è la percolazione, Q_d è il deflusso ipodermico, S_{as} è l'assorbimento dal suolo gravitazionale verso quello capillare e E_T è l'evapotraspirazione. L'assorbimento S_{as} è assunto essere un processo lineare irreversibile, proporzionale ad una "altezza di suzione rappresentativa" attraverso il parametro di assorbimento κ :

$$S_{as} = \kappa \left(1 - \frac{W_c}{W_{cmax}} \right)$$

L'evapotraspirazione E_T è alimentata dal solo contenuto idrico capillare, cioè la suzione da parte delle radici è considerata essere dominante rispetto alla evaporazione diretta dal suolo, ed è mantenuto al suo valore potenziale E_{Tpot} (stimato tramite il bilancio energetico di superficie) fino a che il suolo non si asciuga.

Con questa schematizzazione, i volumi W_{gmax} e W_{cmax} possono essere definiti come, rispettivamente, il massimo contenuto d'acqua al di sopra della capacità di campo e il massimo contenuto d'acqua compreso tra la capacità di campo e il punto di appassimento.

L'acqua nel serbatoio gravitazionale alimenta il flusso di percolazione S_{per} verso la falda e il deflusso ipodermico Q_d verso le celle più a valle lungo il versante.

Entrambi questi flussi sono considerati lineari rispetto al contenuto d'acqua gravitazionale, con la definizione di un parametro di percolazione γ e un parametro di deflusso ipodermico β :

$$S_{per} = \gamma W_g$$

$$Q_d = \beta W_g$$

I due parametri dipendono dalla conducibilità idraulica a saturazione K_s e dalla risoluzione orizzontale determinata dalla dimensione Δx della cella di calcolo e possono essere espressi come:

$$\beta = \beta^* \frac{K_s}{\Delta x}$$

$$\gamma = \gamma^* \left(\frac{K_s}{\Delta x} + C^* \right)$$

dove β^* , γ^* e C^* sono coefficienti concentrati da determinare mediante calibrazione.

Il tasso di infiltrazione I_{nf} nel suolo è limitato dalla conducibilità idraulica a saturazione K_s mentre l'accumulo è limitato dalla capacità del suolo gravitazionale W_{gmax} . Se P è il tasso di precipitazione sulla cella e $(Q_d, R_h, R_d)_{up}$ sono i contributi del deflusso ipodermico, del runoff di Horton e del runoff di Dunne dalle celle di monte, l'infiltrazione è stimata come:

$$I_{nf} = \begin{cases} \left[P + (Q_d + R_h + R_d)_{up} \right] \left[1 - \exp \left(\frac{-K_s}{P + (Q_d + R_h + R_d)_{up}} \right) \right] & \text{if } W_g < W_{gmax} \\ 0 & \text{if } W_g = W_{gmax} \end{cases}$$

Il routing del deflusso ipodermico è totale (cioè il contributo di deflusso ipodermico da monte è semplicemente la somma della produzione di deflusso ipodermico dalle celle di monte) e istantaneo (cioè le velocità del flusso ipodermico è implicita nella definizione del parametro β). Il routing dello scorrimento superficiale viene trattato con un filtro lineare che rappresenta l'effetto del volume d'acqua W_s sul versante:

$$\frac{dW_s}{dt} = -\alpha_s W_s + R_H + R_D + q_{up}$$

dove q_{up} è il *runoff* da monte che raggiunge la cella per scorrimento superficiale.

Il parametro α_s che controlla lo scorrimento superficiale è definito a scala di cella con relazioni empiriche come:

$$\alpha_s = \frac{\alpha_0}{\Delta x} \sqrt{A} i$$

dove A è l'area contribuyente alla cella, i la sua pendenza topografica e α_0 un coefficiente concentrato da calibrare. Quando il runoff superficiale raggiunge il reticolo idrografico, esso viene trasferito su quest'ultimo e quindi propagato attraverso la portata fluviale.

Routing dei fiumi e dei serbatoi

La rappresentazione dei corpi idrici superficiali si articola invece in:

- rappresentazione vettoriale del reticolo idrografico in forma di rete di canali cilindrici, e relativa valutazione dello stato del deflusso canalizzato in forma di volumi e portate nei tratti del reticolo;
- rappresentazione concettuale dei grandi invasi (artificiali e laghi naturali) come serbatoi con leggi di invaso e svaso specificabili, connessi alla rete idrografica, e relativa stima dello stato dei grandi invasi in forma di livelli e volumi.

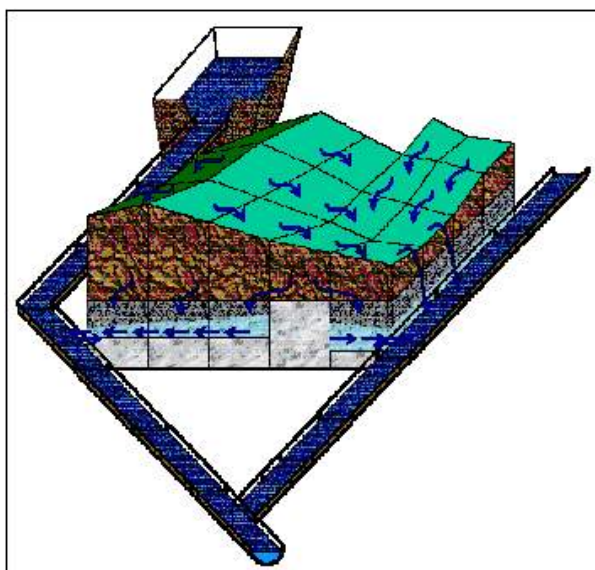


Illustrazione 18: Schematizzazione del reticolo utilizzata nel modello

Il reticolo idrografico è rappresentato in forma vettoriale e composto da canali cilindrici nei quali la portata può essere calcolata con vari schemi (*lag*, serbatoio lineare, Muskingum-Cunge).

La topologia della rete viene generata in fase di pre-processamento partendo da una rappresentazione dei fiumi per mezzo di polilinee. Può essere definito un ordine minimo di calcolo per i canali (per esempio i processi nei canali possono essere simulati solo da un certo ordine un su allo scopo di risparmiare tempo di calcolo).

L'interazione del reticolo idrografico con i processi di versante, la falda, i prelievi e i serbatoi viene anch'esso strutturato spazialmente nella fase di pre-processamento sulla base del DTM, della posizione dell'acquifero e dei punti di prelievo/rilascio.

Attributi aggiuntivi della struttura del reticolo, se richiesti, sono la geometria delle sezioni, le scale di deflusso, i coefficienti di scabrezza.

L'equazione di bilancio in ogni ramo è data da:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + c(q_L + q_D + q_W)$$

dove q_L è il flusso laterale (da superficie e ipodermico), q_D è il deflusso di base (dalla falda) e q_W sono i prelievi e/o i rilasci nel ramo. I parametri del routing sono: c , la celerità dell'onda di piena e μ , la diffusività.

Quest'ultimo parametro è richiesto solo quando vengono adottati schemi diffusivi (per esempio Muskingum-Cunge).

I serbatoi superficiali (sia naturali che artificiali) vengono schematizzati come volumi con leggi di deflusso connessi con il reticolo idrografico. La geometria del serbatoio viene schematizzata per mezzo di curve volume/livello che vengono calcolate per ciascun serbatoio sulla base dei dati disponibili sulla quota dello sbarramento e sulla topografia del bacino del serbatoio ottenuti dal DTM.

Il bilancio di massa è quindi calcolato considerando i flussi entranti dai fiumi dai deflussi di falda, di superficie e ipodermico e i flussi uscenti dalla sezione di chiusura e dagli sfioratori.

Schematizzazione del sottosuolo

La schematizzazione può essere trattato in modo semplificato come un serbatoio lineare, oppure con una dettagliata rappresentazione dei processi sotterranei mediante l'approssimazione di Dupuit. In questo caso, il dominio del sottosuolo viene discretizzato con una propria griglia (che può avere una diverso dominio spaziale e una diversa risoluzione orizzontale rispetto a quella utilizzata per i processi di superficie).

Possono essere simulati acquiferi sia freatici che confinati con gli algoritmi appropriati. Nella fase di pre-processamento MOBIDIC-BUILDGIS viene utilizzata una griglia per la definizione dell'estensione spaziale dell'acquifero allo scopo di determinare le interazioni tra sottosuolo, idrologia del suolo e il reticolo idrografico.

Confrontato con lo schema di semplice serbatoio lineare, questo approccio è più fisicamente basato e può migliorare notevolmente la stima del deflusso di base. Tuttavia, la simulazione dettagliata dei processi richiede informazioni aggiuntive sulla permeabilità e la profondità del bedrock che in molti casi non sono disponibili ad eccezione di aree limitate dove sono state condotte indagini specifiche.

Nelle applicazioni qui presentate è stato utilizzato lo schema semplificato.

L'applicazione al bilancio idrologico del bacino dell'Arno

Per l'applicazione al bacino dell'Arno i dati di input sono rappresentati da:

- raster caratteristiche morfometriche e geopedologiche del bacino;
- dati meteorologici su 333 stazioni pluviometriche e 110 stazioni termometriche, ottenuti dalla rete regionale di monitoraggio idrometeorologico (Regione Toscana – Settore Servizio Idrologico Regionale, e ARSIA);
- dati di prelievi e rilasci su 22.764 punti.

Il modello è stato applicato suddividendo l'intero bacino in 15 sottobacini, su cui sono state effettuate elaborazioni separate:

- Casentino;
- Chiana;
- Valdarno Superiore;
- Sieve;
- Greve;
- Valdarno Medio;
- Bisenzio;
- Ombrone;
- Pesa;
- Elsa;
- Era;
- Usciana;
- Bientina;
- Valdarno Inferiore.

Le simulazioni tengono ovviamente conto della struttura gerarchica dei sottobacini, prevedendo adeguate immissioni dei sottobacini di monte nei sottobacini di valle.

Il bilancio idrico è stato calcolato su scala temporale giornaliera per un periodo di 10 anni (1993-2006). In questa applicazione, la modellizzazione della falda è stata trattata con lo schema semplificato (serbatoio lineare), a causa della scarsa disponibilità di dati sugli acquiferi sull'intero territorio. L'elaborazione del modello è avvenuta attraverso la produzione dei raster giornalieri di:

- precipitazione cumulata (mm);
- evapotraspirazione reale (mm);
- temperatura al suolo (K);
- contenuto idrico capillare del suolo (mm);
- contenuto idrico gravitazione del suolo (mm).

Infine, per ogni tratto in cui è stato schematizzato il reticolo, il modello produce i valori giornalieri di portata.

Inoltre, le misure di livello idrico per un set di stazioni dotate di scala di deflusso per almeno qualche anno nel periodo di studio sono state utilizzate per scopi di calibrazione e validazione.

Calibrazione

L'utilizzo di un tipo di modello fisicamente basato consente di correlare il valore dei parametri del modello a caratteristiche del suolo e della geomorfologia, secondo leggi potenzialmente valide a livello generale, al di là della caratterizzazione locale e particolare dei singoli bacini.

Trattandosi in ogni caso di modelli che cercano verosimilmente di riprodurre fenomeni complessi e fortemente non lineari, è ragionevole attendersi che questo assunto non sia completamente rispettato, e che quindi sia necessario adattare alcuni dei parametri del modello per far sì che questo riesca a riprodurre nel miglior modo possibile la grandezza obiettivo dell'applicazione modellistica, ovvero la portata alla sezione di chiusura del bacino o a una sezione di controllo prescelta.

Come già descritto, il modello adottato presenta alcuni parametri validi per l'intero bacino, tipicamente dei moltiplicatori dei valori distribuiti di alcune grandezze che entrano in gioco nella schematizzazione dei processi di interazione atmosfera-suolo, di infiltrazione, e di generazione del runoff e del deflusso nel reticolo. Altresì, alcuni processi (l'infiltrazione negli acquiferi e il contributi del deflusso profondo) sono rappresentati tramite una modellazione "lumped", che fa riferimento a parametri assegnati all'intero bacino. È modificando tali parametri che si è agito per adattare in maniera ottimale il modello nei singoli bacini in cui è stato scomposto l'intero bacino dell'Arno.

La fase di calibrazione del modello si è concentrata su 10 sezioni strumentate (confronto con le misure idrometriche), per il periodo 1993-1998. La scelta di tale periodo è stata effettuata considerando la necessità di disporre di un quadro il più possibile omogeneo di misure di portata adeguatamente validate, per il numero di stazioni preso in considerazione.

La stima dei parametri richiesti è stata effettuata ponendo come obiettivo della taratura: migliore riproduzione possibile della distribuzione temporale delle portate estive. La funzione obiettivo è stata valutata considerando la differenza tra l'area sottesa dalla curva di durata misurata e calcolata

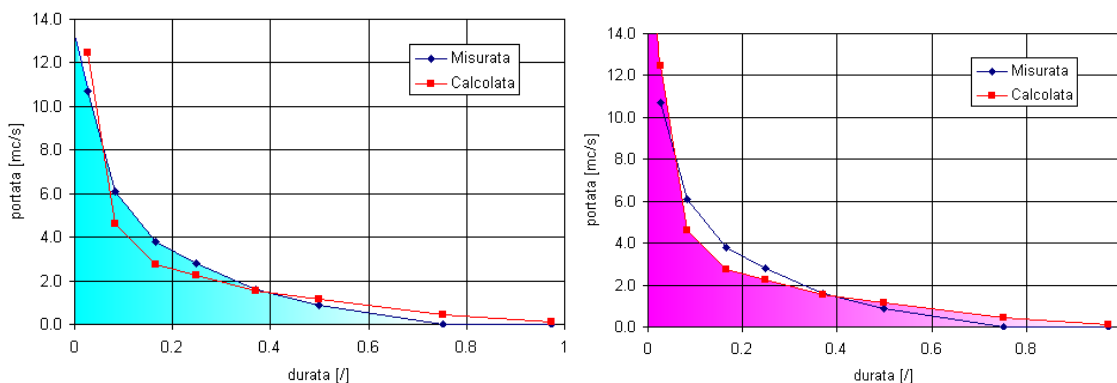


Illustrazione 19: Rappresentazione della curva di durata calcolata (a sinistra) e misurata (a destra) e della rispettiva area sottesa. Le curve sono riferite al periodo estivo

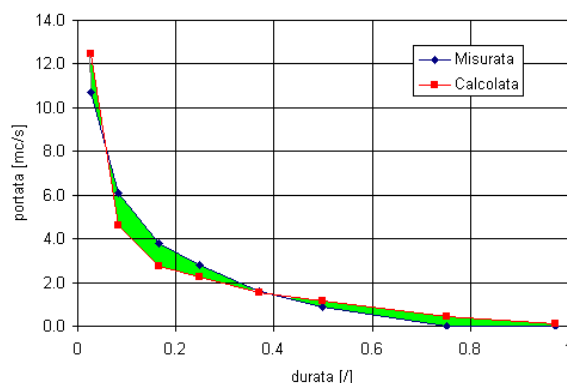


Illustrazione 20: Rappresentazione schematica della valutazione della differenza di area sottesa dalle curve di durata misurata e calcolata, periodo estivo

Il valore di confronto per ritenere accettabile una calibrazione è stato fissato per al 20% del valore misurato: ovvero, se la differenza di area, in valore assoluto, risultava inferiore al 20% dell'area sottesa dalla curva di durata misurata, l'obiettivo di calibrazione si riteneva raggiunto.

La calibrazione è avvenuta variando alcuni dei parametri aggregati a livello di intero sottobacino, e in particolare:

- moltiplicatore "lumped" del parametro K_s del suolo (velocità di infiltrazione a saturazione), distribuito; valori assunti variabili tra 0.1 a 4.0 ['];

- il parametro “*global loss*” degli acquiferi (perdita verso altri acquiferi e coefficiente di filtrazione); valori assunti tra 0 e 20 [%];
- il parametro K_f degli acquiferi (coefficiente di filtrazione); valore assunto tra $1.0 \cdot 10^{-7}$ e $2.0 \cdot 10^{-6}$.

Sono stati invece lasciati invariati e uguali per tutti i sottobacini i seguenti parametri:

Para- metro	Descrizione	Unità di misura	Valore assunto
α_s	Costante d’invaso per il deflusso superficiale di versante	[1/s]	$2.0 \cdot 10^{-5}$
γ	Parametro di ritardo per la percolazione	[1/s]	$2.0 \cdot 10^{-7}$
β	Parametro di ritardo per il deflusso ipodermico	[1/s]	$2.0 \cdot 10^{-6}$
κ	Parametro di ritardo per l’assorbimento capillare	[1/s]	$3.0 \cdot 10^{-12}$

Tabella 1 – Elenco dei parametri invariati

Il fatto di lasciare invariati questi parametri costituisce una dimostrazione dell’efficacia della rappresentazione dei processi fisici della trasformazione afflussi/deflussi: la variabilità spaziale viene di fatto adeguatamente riprodotta dai raster che esprimono le caratteristiche geomorfologiche e pedologiche.

In definitiva, al termine della fase di calibrazione si è potuto disporre di un modello afflussi/deflussi adeguatamente tarato su tutto il bacino, in grado di assicurare un adeguato livello di efficacia per le successive elaborazioni, consistenti in:

- simulazione delle portate del periodo 1993-2006;
- ricostruzione della curva di durata estiva;
- derivazione dei parametri utili per identificare lo stato di criticità del corso d’acqua (numero di giorni per cui la portata è inferiore al DMV).

4.3.3 La Modellazione delle acque sotterranee

L’Autorità di Bacino del fiume Arno, per la formazione dei propri strumenti conoscitivi e pianificatori, si è avvalsa dell’utilizzo dei modelli numerici di flusso delle acque sotterranee.

L’utilizzo di modellazioni matematiche si rivela efficace sia per quanto riguarda le tematiche del bilancio degli acquiferi e delle criticità idriche, e anche per la definizione dei rapporti fra le acque superficiali e sotterranee. Non ultimo, in ordine di importanza, è l’utilizzo di modelli

matematici per analizzare e prevedere l'impatto di opere e infrastrutture sui corpi idrici.

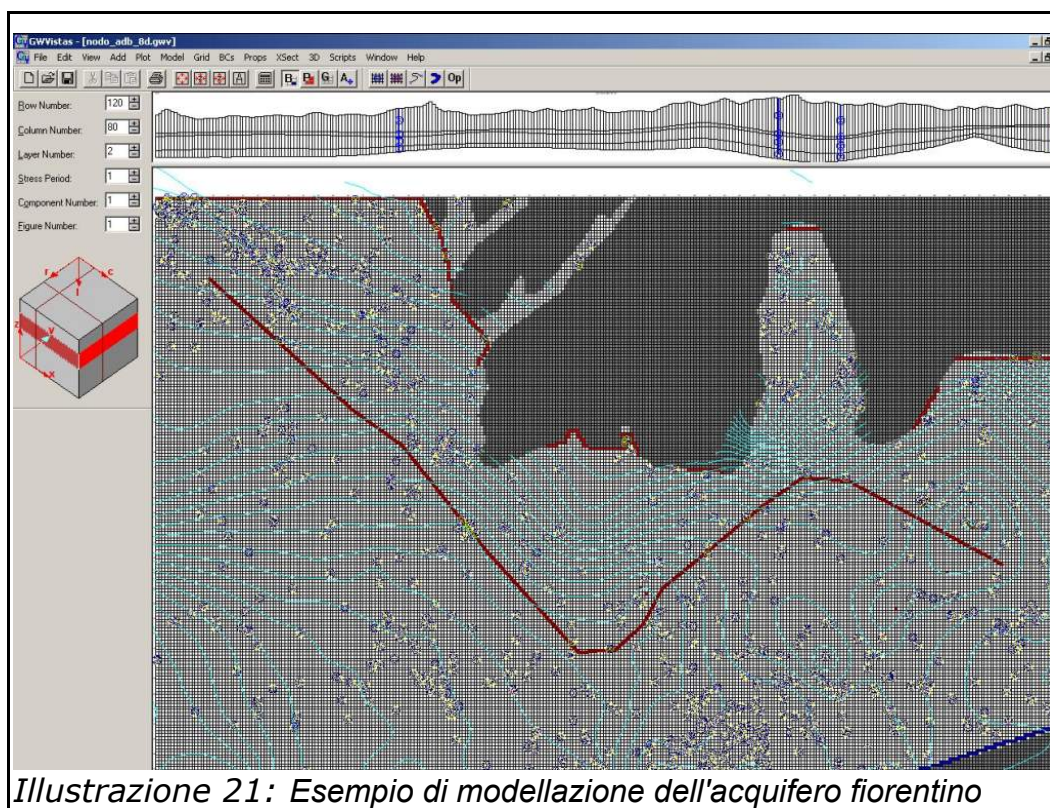


Illustrazione 21: Esempio di modellazione dell'acquifero fiorentino

Generalità sui modelli numerici di flusso

Un modello è uno strumento che fornisce una rappresentazione approssimativa di un sistema reale, quale un sistema acquifero. In particolare il flusso idrico sotterraneo è schematizzato attraverso equazioni di governo idonee a rappresentare i processi fisici che si verificano nel sistema e che descrivono i carichi e i flussi lungo il contorno del modello (condizioni al contorno e iniziali) (Anderson M.P., Woessner W.W., 1992. "Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport", San Diego, California, Academic Press).

I necessari dati di input sono:

- la descrizione del sistema acquifero, cioè la sua geometria (tetto, letto, spessore..);
- le proprietà idrogeologiche (sostanzialmente la sua permeabilità);
- le condizioni al contorno, con i flussi in entrata (o in uscita) nel sistema, che possono essere dati come carico idraulico o come portata.

Il modello risolve le equazioni che regolano il flusso, date le condizioni sopra dette, ottenendo la configurazione piezometrica corrispondente. Si dice che il modello "converge" quando riesce a trovare la soluzione

delle equazioni. L'equazione alle derivate parziali che descrive il moto tridimensionale delle acque sotterranee è la seguente:

$$\frac{\partial \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right)}{\partial z} - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

dove K_x , K_y e K_z sono le permeabilità lungo le tre direzioni, h l'altezza piezometrica, W il flusso di acqua, S_s il coefficiente di immagazzinamento e t il tempo

Una delle fasi fondamentali nell'implementare un modello è quella della taratura (o calibrazione), cioè l'analisi della corrispondenza dei valori simulati con quelli misurati e la ricerca dei valori dei parametri entro un determinato intervallo che portano a tale corrispondenza. Questo significa che durante la calibrazione, ad esempio si cercano quei valori di K che consentono di ottenere una buona corrispondenza fra piezometria misurata e calcolata. Ovviamente tale processo coinvolge o può coinvolgere più parametri. La calibrazione non è infatti unica: esiste più di una combinazione di parametri che può portare ad ottenere una buona corrispondenza fra misurato e calcolato. E' necessario sempre, per avere buoni risultati, partire da una buona conoscenza delle caratteristiche dell'acquifero in modo da assegnare dei valori dei parametri che abbiano una corrispondenza con la realtà. Spesso la carenza o scarsa affidabilità di dati di base limita le effettive potenzialità dello strumento.

La modellazione matematica consente inoltre di produrre analisi predittive riconducibili alla formulazione matematica del problema anche in contesti complessi e fortemente anisotropi, quali sono in via generale gli acquiferi, altrimenti difficilmente interpretabili.

Per le modellazioni di dettaglio si è stabilito di utilizzare un modello di calcolo commerciale, peraltro già in uso da enti locali e di ricerca nel territorio di implementazione di WIZ, MODFLOW 2000, sviluppato dalla USGS (Mc Donald, Harbaugh, 1988) su interfaccia GroundWater Vistas (ESI International).

Applicazioni del modello

La modellazione delle acque sotterranee è stata applicata con successo in diversi casi applicativi, diversi fra loro per problematiche, nei quali la qualità e il dettaglio forniti dalla modellazione è risultata determinante. MODFLOW è stato utilizzato ad esempio per la modellazione del flusso delle acque sotterranee a supporto del progetto esecutivo della linea ferroviaria Milano-Napoli - Nodo di Firenze - penetrazione urbana linea AV. La conoscenza della idrogeologia dell'area, con particolare

riferimento ai dati di bilancio delle acque sotterranee, è stata la condizione necessaria per consentire l'applicazione puntuale del modello, modello che è risultato uno strumento particolarmente utile e versatile per fornire il supporto necessario alla progettazione delle opere di mitigazione previste in sede di Valutazione di Impatto Ambientale.

Un'applicazione più direttamente legata al bilancio delle risorse idriche è stata quella relativa alla *Modellazione dell'acquifero di Lucca*, effettuata, in aggiunta a quanto già prodotto con il Piano Bilancio, per affinare il bilancio idrogeologico stesso della piana di Lucca, in considerazione delle condizioni di grave deficit per i numerosi e consistenti utilizzi in atto in cui si trova.

La modellazione delle acque sotterranee è stata fatta con il codice di calcolo MODFLOW 2000, in regime stazionario, finalizzata a verificare l'attendibilità di alcuni termini del bilancio, attraverso una calibrazione e soprattutto a specificare il termine che nel bilancio di Piano presenta la maggiore dose di indeterminatezza, cioè il flusso dal contermino bacino del Serchio.

A tal fine sono stati utilizzati i dati derivanti dal Piano Bilancio Idrico (Autorità di Bacino del Fiume Arno - 2008), integrati dall'aggiornamento del quadro dei prelievi recentemente prodotto dalla Provincia di Lucca.

Il dominio di studio ha compreso quindi anche la porzione di acquifero ricadente nel bacino del Serchio, ed è stato definito e discretizzato in 43710 celle con 100 m di lato e griglia regolare di $186 * 235$ celle, di cui 10935 attive.

La ricostruzione della geometria dell'acquifero, che deriva dai dati e informazioni litostratigrafiche utilizzati per la caratterizzazione degli acquiferi del bacino del fiume Arno, ha portato alla suddivisione in due orizzonti: acquifero e copertura. Sono state pertanto importate nel modello le superfici del tetto e del letto dell'acquifero; il modello ha considerato un unico strato, corrispondente all'acquifero, al quale è stata attribuita una distribuzione di permeabilità derivante dal quadro conoscitivo di riferimento.

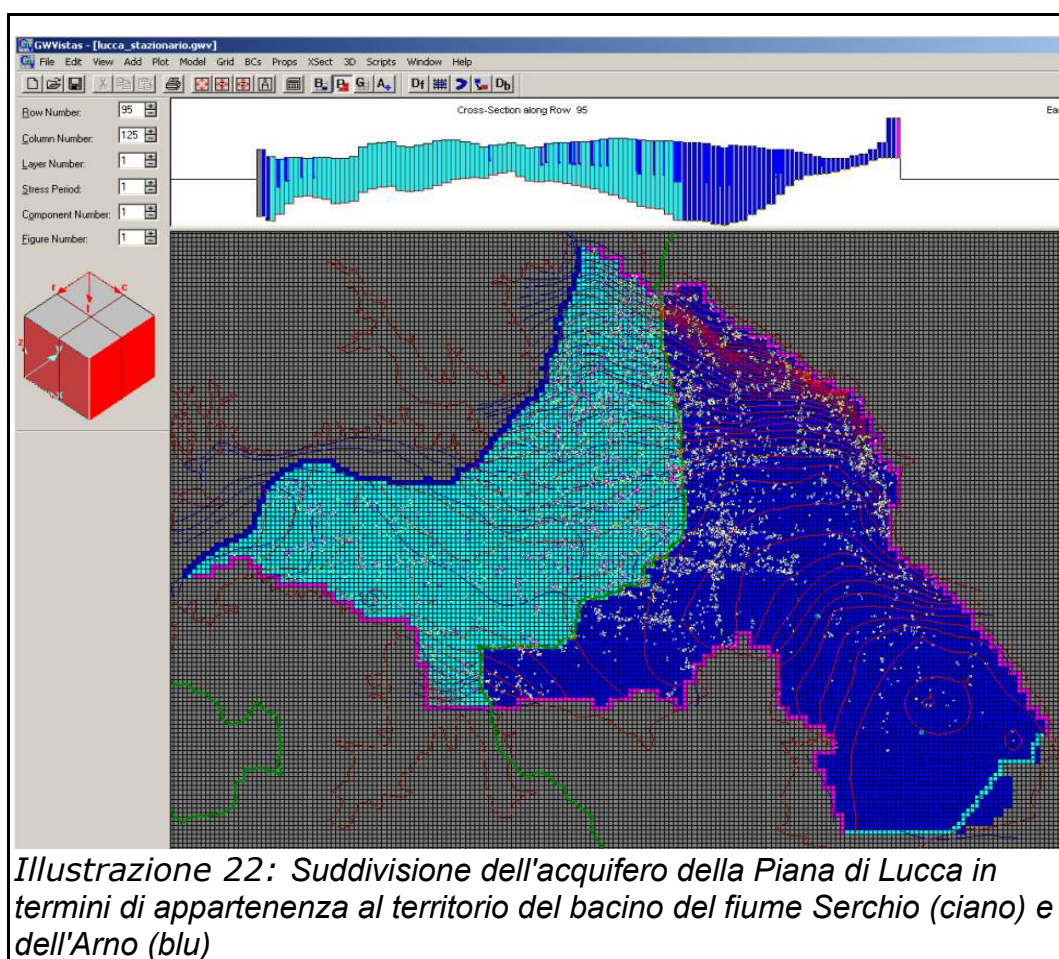
Come condizioni al contorno sono state considerate le seguenti voci:

- ricarica areale: deriva dal modello di infiltrazione efficace i cui valori rappresentano l'infiltrazione areale diretta sull'acquifero espressa in mm;
- ricarica laterale (apporti sotterranei dalle aree di ricarica); i valori di ricarica laterale sono stati desunti dal modello di infiltrazione efficace sulle aree di ricarica, esteso anche alla porzione del bacino del Serchio; questa condizione è stata attribuita nel modello come un limite a flusso imposto (condizione di II° tipo);
- Fiume Serchio: la condizione relativa al Fiume Serchio è stata modellata come una condizione di I° tipo carico costante, cioè è stata attribuita ad ogni cella corrispondente al fiume un carico idraulico che rimane costante durante tutta la durata della modellazione;

- prelievi derivanti dal database della provincia di Lucca (novembre 2008).

Come condizione di carico piezometrico iniziale, necessaria al modello per girare correttamente, è stata utilizzata quella relativa alla piezometria del maggio 2000.

La calibrazione è avvenuta con il metodo manuale trial and error ed ha coinvolto la permeabilità e la ricarica laterale. In particolare la taratura della ricarica laterale è stata effettuata mantenendo il valore totale della portata in ingresso dall'intera area di ricarica, distribuendola però diversamente lungo la sezione. I targets di calibrazione sono i punti relativi al "Monitoraggio piezometrico della falda della pianura di Lucca e del padule di Bientina".



Al fine di determinare il flusso medio nel periodo considerato dal bilancio si è utilizzato il pacchetto di GwVistas che determina il bilancio di massa del modello diviso per particolari zone (HSU zones). A tal fine è stato quindi suddiviso il dominio in due distinte zone, una appartenente al bacino Arno (zone 1) e una al Serchio (zone 2) e prodotto il bilancio di

massa delle due zone. La modellazione effettuata ha di fatto confermato la corretta impostazione del bilancio di Piano.

4.3.4 I modelli di simulazione di evoluzione socio/economica

Nell'odierno contesto in continua evoluzione, a supporto dei processi di *decision making*, si fa sempre più impellente la necessità di analisi socio-economiche che integrino gli aspetti più strettamente economici con quelli sociali ed ambientali.

Tale aspetto deve essere tenuto in considerazione ogniqualvolta ci si trovi ad effettuare previsioni di scenari futuri e diventa ancora più stringente quando l'oggetto della pianificazione è contemporaneamente influenzato da fattori aventi natura diversa. Le strategie e le scelte economiche non possono prescindere da valutazioni che considerino anche le tematiche socio-ambientali. Allo stesso modo le politiche sociali e ambientali non possono non considerare le implicazioni economiche dalle stesse prodotte.

Ogni politica ed ogni pianificazione, di qualsiasi tipo essa sia, economica, sociale o ambientale, deve prendere avvio da un'analisi della situazione di partenza, tenendo conto di tutti gli elementi che la caratterizzano, deve essere in grado di individuare i punti di forza e di debolezza in essa presenti ed effettuare previsioni sulla sua evoluzione mediante un'analisi multidimensionale che tenga conto sia dei profili economici che di quelli ambientali e sociali che la influenzano.

Gli organismi internazionali stessi, quali le Nazioni Unite, la Banca mondiale, l'OCSE e l'Unione Europea incentivano l'analisi proprio verso tale direzione, prevedendo nelle metodologie e negli strumenti di valutazione indicatori che pongono l'attenzione su aspetti sociali (benessere, soddisfazione di vita, sanità, istruzione) e ambientali (consumo umano di risorse naturali commisurato alla capacità della natura di rigenerarle), oltre che economici. Costituisce un riferimento in tal senso la Comunicazione "GDP and Beyond: Measuring progress in a changing world" della Commissione delle Comunità Europee del 2009 nella quale, partendo dalla consapevolezza che per molti anni l'analisi si è basata quasi esclusivamente su valutazioni economiche ritenendo il PIL quasi come l'unico indicatore dello sviluppo sociale e del progresso generale, si sottolinea la necessità di superamento di tale visione con la formulazione di nuovi indicatori che valutino, oltre al prodotto interno lordo, anche gli aspetti socio-ambientali quali lo stato di salute pubblica, il livello di istruzione, la coesione sociale, la povertà, la criminalità, la qualità dell'aria e, più in generale, lo stato delle risorse naturali.

La Commissione delle Comunità Europee, per il conseguimento dell'obiettivo sopra descritto, individua le seguenti misure:

- previsione di indicatori ambientali e sociali da affiancare al PIL in grado di rilevare, fra l'altro, il numero di cittadini che vivono in un ambiente sano, nonché la pressione ambientale che tenga conto dei cambiamenti climatici e del consumo d'energia, della natura e biodiversità, dell'inquinamento atmosferico e ripercussioni sulla

- salute, dell'utilizzo e inquinamento delle acque, della produzione di rifiuti e uso delle risorse;
- valutazione della qualità della vita e del benessere, tenendo conto del reddito, dei servizi pubblici, della salute, del tempo libero, della ricchezza, della mobilità e della pulizia dell'ambiente;
 - rilevazione tempestiva delle informazioni valutate mediante gli indicatori ambientali e sociali;
 - costruzione di indicatori in grado di valutare le disparità e l'allocazione sia dei benefici, quali l'istruzione, la sanità e la ricchezza della biodiversità, che dei danni, quali l'inquinamento ed il rumore;
 - costruzione di una tabella europea di valutazione dello sviluppo sostenibile.
 - estensione dei conti nazionali alle questioni ambientali e sociali al fine di creare una contabilità economico-ambientale integrata.

Da tale impostazione non può in alcun modo prescindere la pianificazione territoriale, che, per essere efficace, deve risultare innanzitutto sostenibile sia dal punto di vista economico sociale che ambientale e deve collocarsi all'interno di un più ampio sistema di pianificazione che tenga conto anche delle potenzialità, opportunità e limiti posti da diverse pianificazioni di settore che influenzano l'effettiva disponibilità dei servizi necessari per la sua attuazione.

Indirizzi in tal senso sono contenuti anche nella Legge regionale toscana n. 1 del 2005 "Norme per il governo del territorio" che, per la gestione, la valorizzazione e la conservazione delle risorse territoriali e ambientali e per l'efficacia dei sistemi dei servizi pubblici, nonché per una qualità insediativa ed edilizia sostenibile, prevede che la redazione di documenti di pianificazione territoriale e di governo del territorio, sia preceduta da una valutazione integrata degli effetti territoriali, ambientali, sociali, economici e sulla salute umana, in modo da garantire la tutela delle risorse essenziali (aria, acqua, suolo, ecosistemi della fauna e della flora, città e sistemi degli insediamenti, paesaggio e documenti della cultura, sistemi infrastrutturali e tecnologici), evitando una loro significativa e irreversibile riduzione, in relazione agli equilibri degli ecosistemi di cui è componente. La norma prescrive, fra l'altro, che i nuovi insediamenti e gli interventi di riqualificazione dell'esistente sono consentiti solo a seguito della realizzazione di infrastrutture che permettono la tutela delle risorse essenziali del territorio e garantiscono l'accesso ai servizi di interesse pubblico, quali in particolare quelli relativi all'approvvigionamento idrico e alla depurazione delle acque, alla difesa del suolo, alla gestione dei rifiuti solidi, alla disponibilità di energia, ai sistemi di mobilità e del verde urbano.

Alla luce di ciò, la pianificazione territoriale non può prescindere, fra l'altro, da quanto previsto in sede di pianificazione della risorsa idrica, ovvero dalla considerazione delle effettive potenzialità da questa fornite.

Allo stesso tempo la pianificazione della risorsa idrica deve garantire la salvaguardia della stessa sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo e deve essere in grado di soddisfare in maniera adeguata e congrua il fabbisogno dei diversi utilizzatori della stessa. A tale scopo, la pianificazione non può prescindere dalla realizzazione di un'analisi economica che tenga conto, allo stesso tempo, di obiettivi ambientali, sociali ed economici. Tale procedura è puntualmente prescritta, peraltro, dalla Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio Europeo del 23 ottobre 2000 – *Water Framework Directive* (Direttiva Quadro delle Acque), che rappresenta la più recente normativa di riferimento a livello comunitario in materia di gestione della risorsa idrica. Secondo la Direttiva parlare di gestione della risorsa non significa soltanto far riferimento alla verifica formale del rispetto di standard predefiniti da parte di azioni che determinano un impatto qualitativo e quantitativo sulla risorsa, ma significa porsi il problema di una gestione unitaria della stessa che risulti sostenibile, garantendo la soddisfazione dei bisogni di tutti gli utilizzatori, sia in termini di qualità che di quantità disponibile.

Parlare di gestione della risorsa in tal senso significa far riferimento al più ampio concetto di sostenibilità che si identifica, allo stesso momento, nella soddisfazione di più obiettivi⁴:

- obiettivi ecologici, che si concretizzano nella preservazione del capitale naturale per le generazioni future (sostenibilità ecologica);
- obiettivi sociali, intesi come necessità di garantire l'equa condivisione e l'accessibilità per tutti di una risorsa fondamentale per la vita e la qualità dello sviluppo economico (sostenibilità sociale);
- obiettivi economici, ovvero obiettivi in termini di allocazione efficiente di una risorsa scarsa (sostenibilità economica).

Al fine di tutelare, gestire e proteggere la risorsa idrica, la Direttiva pone, innanzitutto, l'attenzione su ogni singolo corpo idrico e obbliga, all'articolo 4, gli Stati Membri a raggiungere entro il 2015 un "good water status (GWS)" attraverso la protezione e il miglioramento di tutti i corpi idrici e la radicale riduzione dell'immissione di inquinanti nelle acque superficiali, sotterranee e nelle aree protette.

Nel definire gli obiettivi di carattere ambientale e le azioni da intraprendere per il loro raggiungimento, sottolinea la necessità di individuare una modalità di gestione della risorsa che tenga conto di una politica "economica" e di "tariffazione", incentrata su principi e

⁴ A tale concetto di sostenibilità fanno riferimento già documenti internazionali precedenti alla dir. 2000/60, fra cui possono essere ricordati la *Dichiarazione del seminario ministeriale sulle acque sotterranee*, tenutosi a L'Aia nel 1991 e il *Documento del Consiglio Europeo del 18 dicembre 1995* che fissa i principi di base per l'elaborazione della Direttiva quadro per una politica sostenibile in materia di acque.

pratiche che trovano il proprio fondamento nel “chi inquina paga” e di una politica dei prezzi incentrata sul principio del recupero dei costi dei servizi idrici compresi i costi ambientali e relativi alle risorse.

L'articolo 4 infatti, oltre a prevedere la possibilità per gli Stati membri di definire i corpi idrici artificiali o fortemente modificati nel caso in cui il conseguimento degli obiettivi ambientali generi costi sproporzionati, indica la possibilità di derogare alla scadenza del 2015, fra gli altri, per i seguenti motivi:

- il completamento dei miglioramenti risulti sproporzionatamente costoso;
- il raggiungimento degli obiettivi non fosse fattibile o esageratamente oneroso e non ci fossero altre opzioni significativamente migliori che non comportino dei costi sproporzionati.

Tale concetto è rafforzato al *paragrafo 7* dello stesso articolo 4 nel quale viene stabilito che la deroga a quanto previsto non costituisce violazione della stessa qualora sussistano ragioni di fattibilità tecnica o costi sproporzionati e i vantaggi derivanti da tali modifiche non possano essere conseguiti con altri mezzi che rappresentino una soluzione notevolmente migliore sul piano ambientale.

All'articolo 5 viene previsto, inoltre, che l'individuazione delle politiche da adottare per la gestione della risorsa in ogni distretto tenga conto, oltre che delle caratteristiche dello stesso e delle pressioni e degli impatti significativi esercitati dalle attività umane sullo stato delle acque superficiali e sulle acque sotterranee, dei risultati ottenuti grazie alla realizzazione di un'analisi economica sull'utilizzo idrico.

All'articolo 9 è disposto che entro il 2010:

- gli Stati dell'UE adottino politiche dei prezzi dell'acqua in grado di incentivare gli utenti ad utilizzare le risorse idriche in modo efficiente, contribuendo al conseguimento degli obiettivi ambientali della Direttiva;
- il contributo al recupero dei costi dei servizi idrici venga posto a carico dei diversi settori di impiego dell'acqua, suddivisi almeno in industria, famiglie e agricoltura, sulla base dei risultati dell'analisi economica e tenendo conto del principio del “chi inquina paga”;
- gli Stati membri, nello stabilire quanto indicato ai due punti precedenti, tengano conto delle ripercussioni sociali, ambientali ed economiche del recupero dei costi, nonché delle condizioni geografiche e climatiche della regione o delle regioni in questione.

All'articolo 11 viene stabilito che i risultati dell'analisi economica debbano costituire la base per l'individuazione del programma di misure che ogni distretto idrografico dovrà adottare entro il 2012.

Nell'*Allegato Terzo*, infine, la Direttiva chiarisce in maniera ancora più dettagliata le indicazioni già fornite negli articoli 9, in relazione al recupero dei costi, e 11, relativamente al programma di misure, stabilendo quanto di seguito riportato:

- l'applicazione del principio del recupero dei costi deve tener conto delle previsioni a lungo termine riguardo all'offerta e alla domanda di acqua nel territorio distrettuale e, se necessario, delle stime del volume, dei prezzi e dei costi connessi ai servizi idrici, delle stime dell'investimento corrispondente con le relative previsioni,
- la definizione del programma di misure relativamente agli utilizzi idrici deve essere effettuata, valutando la combinazione di quelle più redditizie e tenendo conto dei potenziali costi delle misure stesse.

Il ruolo rilevante dell'analisi economica viene inoltre evidenziato nell'*Allegato 7* il quale prevede tale attività come uno dei fondamentali contenuti del Piano di gestione dei bacini idrografici.

Alla luce di quanto sopra detto, si riportano di seguito uno studio effettuato in ambito europeo per la definizione di una metodologia di analisi integrata e tre studi sviluppati in ambito italiano per la definizione di una metodologia di analisi economica in ottemperanza a quanto previsto dalla Direttiva 2000/60/CE.

Policy integration for complex environmental problems (Briassoulis 2005)

Lo studio, affrontando la problematica ambientale specifica della desertificazione, mostra la necessità di una metodologia e di un processo di definizione delle politiche complesso ma unitario che consenta di evitare i conflitti e le sovrapposizioni tra l'operato dei vari soggetti interessati dallo stesso. Tale studio prevede quale strategia per risolvere i problemi socio-ambientali e per realizzare uno sviluppo sostenibile un approccio interdisciplinare e una Policy Integration che tenga conto sia degli aspetti economici che di quelli sociali e ambientali. Il capitolo 6 del documento (Kallis et al. 2005) sottolinea che, al fine di assicurare lo sviluppo economico e la tutela della salute umana, deve essere destinata particolare attenzione alla gestione della risorsa idrica la cui disponibilità, sia in termini quantitativi che qualitativi, deve essere inderogabilmente assicurata. Lo studio evidenzia inoltre che una Policy Integration è realizzabile soltanto mediante una pianificazione strutturata e integrata, verificata nella sua sostenibilità mediante l'utilizzo di strumenti economico finanziari.

Studio di fattibilità concernente lo sviluppo dell'analisi economica dell'utilizzo idrico a scala di bacino del fiume Po così come prevista dalla Direttiva 2000/60/CE (Massarutto 2006)

Lo studio ha ad oggetto l'analisi economica a livello di bacino con riferimento ad una prospettiva di lungo periodo. Esso considera i seguenti settori:

- Servizio Idrico Integrato (ove operano i gestori di ambito),
- Settore agricolo (ove operano i consorzi di bonifica),

- Settore industriale (in cui è molto diffuso l'auto-approvvigionamento idrico, mediante pozzi e acquedotti privati).

La dimensione di bacino viene indicata come l'ambito territoriale più appropriato per pianificare le misure adatte a raggiungere il buono stato ecologico dei corpi idrici. Il Bacino su cui è effettuato lo studio è il Bacino del Po.

L'approccio adottato dallo studio ruota attorno al concetto di "capacità di carico" (carrying capacity), che permette di tener conto della natura contingente e site-specific dei problemi che riguardano l'acqua, nella convinzione che tanto la disponibilità quanto il valore della risorsa idrica non possono essere assunti a priori, ma dipendono da una serie di variabili che si originano in ciascun livello territoriale. In tale studio la valutazione della capacità di carico consiste essenzialmente nell'individuare quali siano le domande sociali (ovvero quali gruppi sociali attribuiscono valore alle risorse idriche e perché) e confrontare queste domande con la capacità attuale dell'idrosistema (naturale e artificiale) di soddisfarle. Secondo tale impostazione, superare la capacità di carico significa raggiungere uno dei limiti esterni relativi alla quantità di domanda che un determinato corpo idrico può supportare (scarsità fisica oppure incapacità di porre in essere soluzioni adeguate). Scopo dell'analisi è individuare quali sono questi limiti, da quali fattori dipendono e in che modo essi possono essere rimossi e corretti. Le fasi dello studio sono:

- la ricognizione delle domande (stakeholder mapping), con lo scopo di definire chi e per quale ragione attribuisce un certo valore a una certa funzione ambientale (prelievo di acqua, disponibilità di acqua in situ, impatto attraverso scarichi). In tale prima fase viene compiuta una caratterizzazione iniziale focalizzandosi sulla rilevanza economica dell'acqua, sul valore economico dell'acqua e sul recupero dei costi.
- il confronto delle domande con le disponibilità, analizzando le dimensioni idrogeologica, infrastrutturale ed istituzionale;
- l'individuazione delle criticità, da effettuarsi mediante la simulazione di diversi scenari.
- la valutazione delle misure, secondo un'analisi costi-efficacia.

Lo studio utilizza la matrice NAMEA (matrice dei conti economici integrata con i conti ambientali per la costruzione dei Water Accounts), opportunamente adattata per rappresentare il ciclo dell'acqua antropizzato del Bacino del Po. Rispetto alla NAMEA classica sono utilizzate informazioni specifiche riguardanti la spesa per l'approvvigionamento (costi del servizio) e la depurazione dell'acqua (spese ambientali). Sulla base di tavole dei conti dell'acqua per uno o più anni di riferimento è prevista la costruzione di indicatori di pressione (ambientale, es: prelievi/usi, scarichi idrici e carichi inquinanti), avendo come riferimento dell'analisi le attività antropiche che generano tali pressioni. L'obiettivo di tale analisi è costituito dall'acquisizione di

informazioni relative allo stato attuale di pressione al quale è sottoposto il bacino idrografico dai diversi fattori economici e le risposte gestionali dei settori.

Lo studio compie, poi, la stima del valore dell'acqua nei tre settori: idropotabile, irriguo e industriale.

Costi ambientali e di risorsa nell'ambito dell'art. 9 della Direttiva 60/2000. Un report per la Regione Emilia Romagna (Nera Economic Consulting 2008)

Nera Economic Consulting ha supportato la Regione Emilia Romagna nello studio diretto a:

- a) individuare le modalità di stima dei costi ambientali e della risorsa;
- b) individuare una modalità di tariffazione che sia orientata ai costi, compresi quelli ambientali e della risorsa;
- c) quantificare la divergenza fra i livelli di tariffazione praticati e quelli orientati ai costi (inclusi i costi ambientali e della risorsa).

Al fine di stimare i costi ambientali e della risorsa, individua quale metodologia di analisi quella che conduce alla definizione del valore economico che i consumatori o produttori ripongono sull'acqua individuando la DAP (disponibilità a pagare) dei consumatori e dei produttori per un ipotetico incremento (o decremento) della qualità o della quantità di acqua.

A tal fine le tecniche di stima del valore dell'acqua indicate sono: per i consumatori, il metodo delle preferenze dichiarate e rivelate; per i produttori, i metodi che permettono la stima del valore marginale del prodotto o della rendita economica relativa all'uso della risorsa.

Nera Economic Consulting concentra l'attenzione sul principio del recupero dei costi previsto dalla Direttiva 2000/60 e considera a tale scopo il costo del Servizio Idrico Integrato e dei Consorzi di bonifica e i sistemi di tariffazione per essi vigente. Non sono considerati gli autoservizi in quanto i costi per il servizio di adduzione delle acque e trattamento scarichi sono ritenuti totalmente recuperati attraverso il prezzo di vendita. Definisce costi dei servizi idrici (ad uso domestico, agricolo ed industriale) come costi economici comprendenti i costi finanziari, i costi amministrativi e di monitoraggio, i costi esterni ambientali e i costi della risorsa.

Lo studio giunge alla conclusione che per il settore domestico la tariffa consente il recupero dei soli costi finanziari, mentre per il settore industriale, i costi sono recuperati interamente. Per il settore irriguo, sulla base dell'analisi effettuata sui Consorzi di Bonifica, viene evidenziato che, essendo gran parte degli investimenti finanziati da fonti pubbliche, le tariffe applicate non recuperano pienamente i costi finanziari e che l'allocazione dell'acqua al consorzio potrebbe comportare l'emergere di costi della risorsa.

Sottolineando inoltre che sulla base della teoria economica la risorsa dovrebbe essere allocata in base al valore che ciascun agente ripone in essa e che pertanto un'efficace allocazione della stessa è legata alla sua assegnazione agli utilizzatori che le attribuiscono maggior valore, Nera individua quale metodo più appropriato per calcolare il valore che ciascun agente economico assegna alla risorsa quello della teoria del ritorno per il residual claimant (metodo di imputazione residuale).

Tale metodologia risulta tuttavia applicata solo al caso di un'azienda industriale.

Lo studio individua una serie di aspetti che possono essere oggetto dell'analisi economica concentrando l'attenzione prevalentemente sul principio del recupero del costo e quindi sui costi ambientali e della risorsa.

Metodologia per la realizzazione dell'Analisi Economica del Piano di Gestione delle Acque del Distretto dell'Appennino Settentrionale (Autorità di Bacino del Fiume Arno 2009) e Applicazione della metodologia per la realizzazione dell'Analisi Economica di Piano (Autorità di Bacino del Fiume Arno 2010)

La metodologia definita con lo studio in oggetto parte dalla convinzione che l'analisi socio economica deve essere posta al centro di qualsiasi processo di assunzione delle decisioni in quanto costituisce l'unico strumento in grado di rendere il processo di pianificazione effettivamente realizzabile. Secondo tale accezione l'analisi economica deve permettere la comprensione di:

- la situazione di partenza del territorio di riferimento, dal punto di vista sociale, economico e ambientale;
- l'individuazione dei punti di forza e di debolezza caratterizzanti la situazione di partenza;
- la possibile evoluzione di grandezze naturali, economiche e sociali che possono incidere sulla situazione di partenza;
- l'effetto di eventuali misure e interventi adottati nella pianificazione sulla situazione di partenza;
- la sostenibilità economica delle scelte adottate nella pianificazione.

È sulla base di tale impostazione che nello studio è definita la metodologia di analisi economica da applicare per un'efficace pianificazione e gestione della risorsa idrica, attività in grado di rispondere anche agli obiettivi previsti dalla Direttiva 2000/60 e sono individuati i momenti del processo di definizione del piano di gestione della risorsa in cui essa risulta rilevante, ovvero:

- in fase di reperimento delle informazioni al fine di comprendere chi utilizza la risorsa, chi inquina, chi paga, chi subisce il danno, quali impatti ambientali si verificano, quali sono i costi relativi,

- ponendo particolare attenzione sulle relazioni esistenti fra i diversi utilizzi della risorsa;
- in fase di valutazione della domanda e dell'offerta di risorsa idrica e della presenza di un equilibrio fra le stesse, in relazione anche ai diversi utilizzi della risorsa;
 - in fase di individuazione e valutazione delle misure, evidenziando l'impatto che esse producono in termini di costi e benefici sui diversi territori del distretto relativamente ai molteplici utilizzi della risorsa;
 - in fase di individuazione dei corrispettivi relativi all'utilizzo della risorsa da applicare ai diversi utenti della stessa.

Per lo svolgimento dell'analisi, la metodologia prevede l'utilizzo di un sistema di indicatori integrato che tenga conto di tutti gli aspetti che devono essere considerati per la valutazione dell'opportunità e della validità dal punto di vista economico delle scelte effettuate in materia di gestione della risorsa idrica, ovvero il profilo ambientale, sociale ed economico finanziario.

Si riportano di seguito le fasi individuate e le rilevazioni previste dalla Metodologia per lo svolgimento dell'analisi economica, dal punto di vista ambientale, sociale ed economico finanziario.

Attività previste per l'analisi del Profilo Ambientale

- Suddivisione dell'area in segmenti rilevanti, individuati sulla base della tipizzazione dei corpi idrici, ovvero della valutazione delle loro caratteristiche quali-quantitative.
- Raggruppamento dei corpi idrici aventi caratteristiche quali-quantitative omogenee in Aggregati di acque superficiali e Acquiferi di acque sotterranee sulla base di:
 - a) lo stato qualitativo, valutato ove è presente una stazione di monitoraggio, tramite monitoraggio pregresso secondo quanto previsto dal D. Lgs. 152/99, ove non presente, tramite giudizio esperto;
 - b) il livello di rischio (1=a rischio, 2=non a rischio, 3=potenzialmente a rischio) presente per il raggiungimento degli obiettivi previsti dalla Direttiva 2000/60 per il 2015;
 - c) lo stato quantitativo, ovvero la capacità di rispettare la condizione del Deflusso minimo vitale, così come risultante dai bilanci idrici, evidenziando anche il tempo nel corso dell'anno per cui viene rispettato;
 - d) le relazioni esistenti fra i diversi corpi idrici, al fine di verificare come i singoli corpi idrici si condizionano fra di loro dal punto di vista quali-quantitativo;
- Individuazione delle aree di sovrapposizione fra aggregati di acque superficiali e acque sotterranee al fine di comprendere le caratteristiche idrogeologiche di ogni porzione di territorio esaminato su cui va ad impattare l'attività antropica.

- Rilevazione e analisi delle informazioni inerenti a:
 - a) la portata media dei corpi idrici nel corso dell'anno e nel periodo estivo;
 - b) le precipitazioni medie mensili per comune, per provincia, con riferimento alla superficie interessata e alla popolazione residente;
 - c) l'impatto delle attività antropiche, con riferimento ai diversi utilizzi della risorsa idrica, espresso in termini di prelievi e di scarichi e relativamente alle acque superficiali e sotterranee;
 - d) i prelievi con riferimento ai singoli utilizzi della risorsa idrica, evidenziandone il numero, i quantitativi annui e nel periodo estivo e distinguendo fra prelievi da derivazioni superficiali e captazione di sorgenti;
 - e) classificazione degli scarichi in depurati dal sistema di collettamento e depurazione o da trattamenti appropriati locali e non depurati liberi, espressi in numero di punti di scarico e in abitanti equivalenti;
 - f) autorizzazioni a ditte private per scarichi industriali in acqua superficiale rilasciate dalle Province.

Con riferimento al servizio idrico integrato, in aggiunta ai precedenti è prevista la rilevazione di:

- a) i volumi di acqua prodotta, acquistata e non; i volumi di acqua potabilizzata, i volumi di acqua erogata, i volumi di acqua misurata con contatore, la percentuale di perdite ed abusi;
- b) gli scarichi autonomi (domestici residenti e non residenti, commerciali e industriali) e in pubblica fognatura (domestici residenti, deboli, non residenti, commerciali, industriali e pubblici).

Attività previste per l'analisi del Profilo sociale ed economico finanziario

- Individuazione dei comuni o della parte di comuni afferenti a ciascun aggregato di acque superficiali e di acque sotterranee.
- Rilevazione per ogni comune di:
 - a) località esistenti
 - b) superficie interessata
 - c) popolazione residente
 - d) popolazione presente
 - e) pendolari
 - f) abitanti seconde abitazioni
 - g) numero dei posti letto
 - h) abitanti equivalenti urbani
 - i) abitanti equivalenti di ristoranti e bar, di microindustrie e macroindustrie
 - j) numero di imprese attive e numero di addetti articolati sulla base delle categorie ATECO

- k) numero di aziende irrigue distinte per tipologia di approvvigionamento e modalità di gestione dell'acqua, numero di addetti, ettari coltivati per tipologia di coltura in base all'assenza, alla presenza o alla potenzialità di irrigazione. Per le aziende irrigate è effettuata anche una riclassificazione per sistema di irrigazione
- l) numero di aziende zootecniche e numero di addetti. Per ogni tipologia di allevamento è indicato il numero di capi allevato, l'azoto prodotto annualmente da un capo, l'azoto complessivamente prodotto in un anno, l'estensione delle superfici eventualmente beneficiabili di riutilizzo agronomico delle deiezioni animali.
- m) Fatturato e Valore aggiunto delle aziende industriali, irrigue e zootecniche
- n) Fabbisogno idropotabile, irriguo e industriale.

Con riferimento al servizio idrico integrato, oltre ai dati di cui ai punti precedenti, è prevista la rilevazione delle seguenti informazioni:

- i gestori del servizio idrico integrato
- gli abitanti serviti, il fabbisogno idrico, il livello di soddisfazione del fabbisogno
- la lunghezza della rete idrica
- la lunghezza della rete fognaria
- il numero di impianti di trattamento delle acque
- i serbatoi
- i costi industriali del servizio suddivisi per acquedotto (captazione, adduzione, distribuzione), fognatura e depurazione
- gli interventi realizzati per acquedotto (captazione, adduzione, distribuzione), fognatura e depurazione
- le tariffe applicate
- i finanziamenti acquisiti.

Dall'applicazione della Metodologia deriva:

- la definizione di un processo di pianificazione, con l'individuazione dei momenti in cui deve essere svolta l'analisi economica e le finalità che in ciascuno di questi la stessa deve conseguire;
- un sistema di indicatori integrato (ambientali sociali ed economico finanziari) da utilizzare per la valutazione della situazione di partenza e l'individuazione dei punti di forza e di debolezza della stessa;
- un sistema di indicatori integrati per la valutazione della sostenibilità ambientale, sociale ed economico finanziaria delle misure individuate all'interno della pianificazione;
- un criterio per la determinazione del costo industriale, del costo ambientale e del costo della risorsa;

- una metodologia per la valutazione del grado di recupero dei costi.

La Metodologia pone l'attenzione anche sulle caratteristiche di settori di utilizzo della risorsa diversi da quello idropotabile ed in particolare su quello industriale e irriguo che, seppur non oggetto del progetto Wiz, non possono essere trascurati in quanto, modifiche nel comportamento in tali settori producono rilevanti implicazioni sulla disponibilità (sia in termini di qualità che di quantità) della risorsa idrica nel territorio di riferimento e, di conseguenza, producono effetti anche sull'utilizzo a fini civili.

Tale metodologia risulta allo stato dell'arte interamente applicabile nell'ambito del progetto in oggetto, in quanto definisce un processo e un sistema di indicatori indispensabili per valutare la sostenibilità ambientale, sociale ed economica della pianificazione. Essa inoltre è stata sperimentata per la pianificazione della gestione della risorsa idrica in una porzione del Distretto dell'Appennino settentrionale a cui appartiene anche l'area del progetto WIZ ed è stata verificata nella sua effettiva applicabilità, evidenziandone i punti di forza e di debolezza.

Si riportano infine di seguito alcune metodologie esistenti per la simulazione economico sociale dell'evoluzione dei consumi idropotabili, altro aspetto rilevante per la pianificazione, oggetto del progetto Wiz.

Le Metodologie analizzate prevedono un collegamento fra i consumi e alcune grandezze socio economiche la cui rilevazione è prevista in attuazione della Metodologia di analisi economica sopra descritta.

Le grandezze considerate sono:

- le caratteristiche demografiche delle utenze ed in particolare il numero di individui che ne fanno parte,
- le caratteristiche economiche del servizio, fra cui particolare rilevanza assume il prezzo dell'acqua,
- le caratteristiche economiche degli utenti, individuate sulla base del reddito disponibile,
- le caratteristiche strutturali e le abitudini dei consumatori, ovvero la dimensione delle abitazioni, le esigenze di irrigazione per eventuali giardini, per uso di elettrodomestici, etc..

Domanda e tariffe nel settore idrico italiano: un'analisi di sensitività sui Piani d'Ambito (Abrate e Fraquelli, 2006)

Lo studio si pone l'obiettivo di verificare la coerenza tra i criteri adottati per le previsioni dei volumi erogati nei Piani di Ambito elaborati da alcuni Enti di Ambito italiani e i modelli previsti dalla letteratura empirica di riferimento.

Al fine di effettuare tale valutazione, lo studio utilizza per la previsione dei consumi di acqua a fini idropotabili pro-capite, un modello di riferimento che si avvale della seguente funzione di domanda di tipo log-lineare:

$$\ln C(t) = a + b * \ln C(t-1) + c * \ln P(t) + d * \ln W(t) + \varepsilon (t)$$

dove:

$\ln C(t)$ rappresenta il consumo pro-capite (espresso in logaritmo) nell'anno t ;

$\ln C(t-1)$ il consumo pro-capite (espresso in logaritmo) dell'anno precedente,

$\ln P$ esprime la tariffa reale,

$\ln W$ è un vettore di altre variabili che possono influenzare il livello della domanda (ad es. il reddito, le cui previsioni possono essere di non facile determinazione),

ε è il termine di errore.

Il Modello utilizzato prende in considerazione i seguenti *input*:

- consumo pro-capite dell'anno precedente;
- tariffa reale;
- altre variabili che influenzano la domanda di acqua, quali reddito e qualità del servizio.

La tariffa utilizzata nella funzione log lineare è la tariffa reale media, in quanto è tale tariffa che viene utilizzata per la previsione nei Piani di Ambito.

Dall'analisi effettuata, in applicazione del modello sopra indicato sui 46 Piani di Ambito presi ad esame è emerso quanto segue:

- la previsione dei consumi non tiene conto dell'elasticità della domanda di acqua da parte degli utenti rispetto al prezzo (tariffa) ed al reddito da questi posseduto;
- la non considerazione del reddito e del prezzo provoca un'errata stima dei volumi prospettici, concretizzatasi nella previsione di andamenti sempre crescenti dei volumi che nella realtà operativa non si sono poi verificati;
- l'errore di stima ha compromesso le valutazioni in termini di sostenibilità economico finanziaria delle pianificazioni effettuate, in quanto ha determinato previsioni di ricavo non attendibili e realizzabili.

Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: analisi dei modelli di consumo per usi irrigui e civili (Dono, et al. 2008)

Lo studio stima i consumi di acqua delle famiglie mediante l'utilizzo di modelli econometrici di massima verosimiglianza, in funzione delle variabili abitative e socioeconomiche, oltre che del prezzo dell'acqua.

Lo studio è stato implementato nel comune di Alghero e si è sviluppato tenendo conto dei risultati di un'analisi campionaria sulle caratteristiche delle utenze e i dati amministrativi sui consumi forniti dalla società dell'acqua potabile di Alghero.

Con riferimento alle caratteristiche degli utenti gli elementi analizzati sono i seguenti:

- sesso, classi di età, titoli di studio, professioni
- composizione dei nuclei familiari e presenza di bambini
- residenza nel Comune
- percettori di reddito per nucleo
- assetto proprietario e tipologia di abitazione, localizzazione dell'abitazione (piano), numero di stanze numero di bagni e presenza di un serbatoio
- presenza di giardini, estensione, frequenza e durata dell'innaffiamento
- conoscenza degli strumenti per il risparmio idrico
- utilizzo di elettrodomestici
- qualità dell'acqua
- consumo di acque minerali
- qualità del servizio
- rapporto con il turismo
- costo dell'acqua

Nello studio viene evidenziato che il modello econometrico da utilizzare deve essere individuato anche sulla base della struttura tariffaria applicata all'utente nella realtà di analisi. Sulla base di tale considerazione, essendo gli Ambiti Territoriali Ottimali italiani caratterizzati da strutture tariffarie a scaglioni crescenti, per la stima dei consumi vengono adottati i modelli econometrici proposti da Moffitt, ovvero:

- il modello di "eterogeneità" detto "ad un errore", di struttura più semplice, univariato
- il modello detto "a due errori", più complesso, con una struttura bivariata.

Il **modello di eterogeneità ad un errore** presuppone che ciascuna utenza "selezioni" lo scaglione o blocco di consumo in cui andrà a collocarsi in base alle sue caratteristiche strutturali. Il processo di ottimizzazione consente di determinare la quantità consumata all'interno di ciascun blocco. Data la struttura del modello, ciascun

consumatore si trova esattamente nel blocco (o nell'angolo di passaggio fra un blocco e l'altro) in cui ha pianificato di trovarsi. In una tale situazione si presuppone che non ci siano errori di ottimizzazione o di misurazione che determinino una differenza fra consumo previsto e consumo effettivo.

Il modello prevede una certa concentrazione di osservazioni intorno ai punti di angolo tra un blocco e l'altro, e risulta particolarmente adatto in situazioni in cui si osservano *clusters* di dati in prossimità dei limiti degli scaglioni tariffari.

Il **modello di eterogeneità a due errori** contempla invece anche il verificarsi di discrepanze tra consumo pianificato e consumo effettivo causate da errori di ottimizzazione o di percezione (imperfetta conoscenza della struttura tariffaria), o da errori di misura (le misurazioni effettuate dall'erogatore del servizio sono errate).

In una tale situazione è possibile che alcuni individui che sceglierebbero un determinato blocco si ritrovino su un blocco diverso.

Tale modello risulta più adatto in situazioni in cui le osservazioni sono distribuite in maniera abbastanza omogenea.

Sulla base di quanto sopra descritto, lo studio si conclude con una previsione del consumo idrico per utenza espresso in metri cubi annui, mediante l'applicazione di ciascuno dei due modelli individuati e determina quale criterio migliore, in termini di significatività, il modello ad un errore.

Analisi econometrica della domanda di acqua per usi domestici. Applicazioni di modelli panel a dati comunali dell'Emilia Romagna e della Lombardia (Mazzanti e Montini 2003)

Nel documento in esame l'analisi quantitativa si prefigge lo scopo di stimare una funzione di domanda di acqua a livello comunale verificando, in primo luogo, la significatività delle variabili tariffa e reddito e, in secondo luogo, di altre covariate socio-economiche che possono essere incluse nelle specificazioni dei modelli di domanda. I dati derivano, in parte, da informazioni fornite direttamente dai gestori contattati (8 gestori di servizi idrici integrati della regione Emilia Romagna) e in parte da altre fonti (ISTAT, Ancitel). Le variabili utilizzate sono:

- la tariffa
- il reddito pro-capite
- la dimensione familiare
- la quota di popolazione con età inferiore a 19 anni
- la quota di popolazione con età superiore a 65 anni
- la densità abitativa
- il numero di utenze
- il numero di unità commerciali
- l'indice di ruralità
- l'indice di vecchiaia
- i consumi elettrici
- l'altitudine

I dati raccolti ai fini dello studio sono relativi a quattro anni di gestione(2001-1998). Per alcune variabili, non essendo disponibile il dato su quattro anni, è stato utilizzato quello relativo ad un solo anno. Il modello di domanda utilizzato è log lineare e presenta come variabile dipendente il consumo pro capite a livello comunale.

La variabile tariffaria inclusa come esplicativa è, in assenza di specifiche informazioni sul prezzo marginale e in presenza di tariffe crescenti per scaglioni, la "tariffa base", ovvero la tariffa reale media applicabile determinata nei piani tariffari dei gestori. Il reddito comunale è invece stimato riparametrizzandolo in conformità a dati provinciali.

In base ai dati disponibili, sono stati esaminati 6 diversi modelli panel, sia statici che dinamici. Questi ultimi sono caratterizzati dalla presenza della variabile dipendente ritardata all'interno della matrice dei regressori.

I Modelli panel esaminati sono:

- Modello 1, con la considerazione delle sole covariate reddito comunale e tariffa base;

- Modello 2, con la considerazione anche delle covariate socio economiche variabili nei 4 anni;
- Modello 3, coincidente con il Modello 1 con effetti temporali;
- Modello 4, coincidente con il Modello 2 con effetti temporali;
- Modello 5, Modello dinamico con ritardo temporale per la variabile dipendente;
- Modello 6, Modello ad effetti casuali che considera tutte le variabili non utilizzate nei Modelli a effetti fissi (Modelli 1, 2, 3 e 4) perché in essi non significative.

Nello studio in oggetto l'analisi econometrica su dati panel è stata suddivisa in due fasi, in base al campione utilizzato.

Nella prima fase, è stata studiata la relazione di domanda per i dati relativi a 125 comuni delle Province di Bologna, Ravenna, Ferrara, Rimini, Forlì-Cesena, specificando e comparando sia un modello panel ad effetti fissi (che consente di eliminare dalla procedura di stima le variabili non osservabili) sia un modello panel ad effetti casuali.

Inoltre, per il modello ad effetti fissi è stata analizzata una specificazione con effetti fissi individuali e temporali. Infine, è stato provato un modello dinamico per testarne la robustezza e la significatività del consumo di acqua ritardato, con dati che presentano 4 osservazioni temporali.

Nella seconda fase, sfruttando invece l'informazione disponibile su 11 anni (2001-1991) per 40 comuni della provincia di Bologna, è stata effettuata un'analisi dettagliata di diverse specificazioni di un modello panel dinamico che presenta come variabile ritardata il consumo pro capite al tempo $t-1$, la tariffa media, il reddito e altre esplicative socioeconomiche.

Relativamente ai 125 comuni delle Province di Bologna, Ravenna, Ferrara, Rimini, Forlì-Cesena su 4 anni lo studio è giunto alle seguenti conclusioni:

- il coefficiente legato alla variabile tariffaria è significativo e negativo in tutte le specificazioni, con un valore dell'elasticità che varia da 0.88 a 1.113 (da 0.299 a 1.113 nel Modello a effetti casuali);
- l'elasticità al reddito, quando il coefficiente è significativo e positivo (modello 1), è pari a 0.56;
- altre variabili significative sono il rapporto tra utenti e superficie (segno positivo del coefficiente) e la densità abitativa (popolazione su superficie), la quale risulta però positivamente correlata con il reddito (nel modello a effetti casuali risultano poi significative altre covariate legate ad elementi time invariant, quali la dimensione familiare, il numero di unità commerciali, l'altitudine, i consumi elettrici);
- per quanto riguarda il modello dinamico, si osserva che il segno e la significatività della tariffa sono confermati; la covariata

ritardata del consumo ha un effetto negativo e significativo; il reddito è positivo e abbastanza significativo. Tuttavia, il test di Sargan evidenzia un potenziale problema di errata specificazione, probabilmente dovuto al limitato numero di anni sui quali l'analisi è effettuata.

Relativamente ai 40 comuni della Provincia di Bologna lo studio ha evidenziato risultati meno robusti, in quanto i segni dei coefficienti appaiono contro intuitivi. Nei diversi modelli, la tariffa emerge sempre con segno positivo del coefficiente. Il modello dinamico, pur alla presenza di informazioni su 11 anni, non offre un chiaro valore aggiunto. Nello studio viene individuata come causa della non significatività dell'analisi l'eccessiva limitatezza del campione (area troppo omogenea, unico gestore), o della qualità del dato sulla tariffa media fornito dal gestore dell'area campione.

Lo studio conclude pertanto affermando che il valore aggiunto, a livello informativo, non risiede solo nel maggiore numero di anni (nell'ipotesi che il consumo di acqua sia spiegato da processi di aggiustamento di medio periodo), ma nell'esistenza di un numero di anni sufficientemente elevato per poter parlare di "medio" periodo e di un campione cross section di comuni sufficientemente dotato di variabilità nel set di esplicative.

4.3.5 Analisi comparativa

Con riferimento alle finalità del progetto in oggetto, nella tabella che segue viene effettuata una analisi comparativa delle metodologie riportate nelle pagine precedenti. La tabella mostra in particolare, per ciascuna delle metodologie esaminate, i principali punti di forza e di debolezza.

Metodologie	Punti di forza	Punti di debolezza
Studio di fattibilità concernente lo sviluppo dell'analisi economica dell'utilizzo idrico a scala di bacino del fiume Po così come prevista dalla Direttiva 2000/60/CE (Massarutto 2006)	L'approccio adottato si fonda sulla carrying capacity, ovvero sul confronto fra la domanda di risorsa da parte degli utilizzatori e l'offerta dell'idrosistema Lo studio fornisce validi spunti di riflessione sull'analisi economica con riferimento a tutti i settori di utilizzo dell'acqua (idropotabile, irriguo e industriale): caratterizzazione usi dell'acqua, metodi di stima del valore dell'acqua, costi dei servizi idrici e analisi delle misure	0
Costi ambientali e di risorsa nell'ambito dell'art. 9 della Direttiva 60/2000. Un report per la Regione Emilia Romagna (Nera Economic Consulting 2008)	0	Lo studio non definisce una metodologia di analisi economica ma si incentra su un preciso aspetto di essa: la stima dei costi ambientali e della risorsa La stima del valore dell'acqua viene effettivamente applicata solo con riferimento ad un'industria

Metodologie	Punti di forza	Punti di debolezza
<p>Metodologia per la realizzazione dell'Analisi Economica del Piano di gestione delle Acque del Distretto dell'Appennino Settentrionale (Autorità di Bacino del Fiume Arno 2009)</p> <p>Applicazione della metodologia per la realizzazione dell'Analisi Economica del Piano di gestione delle Acque del Distretto dell'Appennino Settentrionale (Autorità di Bacino del Fiume Arno 2010)</p>	<p>Lo studio definisce un processo metodologico di analisi economica completo ed integrato</p> <p>Il sistema di indicatori individuato per la valutazione della sostenibilità considera tutti i profili (ambientale, sociale ed economico), con riferimento ai diversi utilizzi della risorsa</p> <p>La metodologia individuata risulta estendibile a realtà diverse da quella in cui è stata testata e risulta completamente applicabile</p>	<p>Non tutte le informazioni necessarie per l'implementazione della metodologia di analisi economica individuata sono al momento facilmente reperibili</p>
<p>Domanda e tariffe nel settore idrico italiano: un'analisi di sensitività sui Piani d'Ambito,</p> <p>(Abrate e Fraquelli, 2006)</p>	<p>Lo studio rileva le criticità delle previsioni dei consumi idrici effettuate da 46 Enti di Ambito mediante la redazione dei Piani di Ambito</p>	<p>Lo studio risulta essere una semplice analisi dello stato dell'arte</p>
<p>Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: analisi dei modelli di consumo per usi irrigui e civili (Dono, et al. 2008)</p>	<p>Lo studio definisce un modello di funzione di domanda idrica che tiene conto delle caratteristiche dell'utenza, e dell'articolazione tariffaria e giunge a stimare il consumo idrico per utenza espresso in metri cubi annui.</p> <p>Lo studio compie un'analisi empirica del modello proposto</p>	<p>0</p>
<p>Analisi econometrica della domanda di acqua per usi domestici. Applicazioni di modelli panel a dati comunali dell'Emilia Romagna e della Lombardia (Mazzanti e Montini 2003)</p>	<p>Lo studio definisce un modello di funzione di domanda idrica che tiene conto delle caratteristiche dell'utenza, integrando informazioni socio-economiche con i dati tariffari e inerenti ai consumi forniti dai gestori del servizio idrico e con variabili ambientali (es. fattori climatici)</p> <p>Lo studio compie un'analisi empirica del modello proposto</p>	<p>0</p>

Conclusioni

Dalla ricognizione effettuata in merito ai modelli di simulazione di evoluzione socio/economica emerge, in generale, la disponibilità di metodologie di analisi attinenti a WIZ ed effettivamente applicabili. Si rilevano tuttavia alcune criticità, riassunte nei seguenti punti.

- 1 I modelli presenti nella letteratura e nella realtà operativa forniscono un contributo alla simulazione degli aspetti socio economici relativamente alla valutazione di singoli aspetti, ma non consentono di effettuare una valutazione integrata, intesa come contemporanea considerazione degli aspetti sociali, ambientali ed economico finanziari della problematica in oggetto e analisi delle loro interdipendenze.
- 2 I modelli sono generalmente definiti e sperimentati in contesti fra loro diversi e per la formulazione di previsioni particolari. Essi risultano inoltre non facilmente estendibili a realtà diverse da quelle in cui sono stati creati.
- 3 Nella realtà attuale non esiste un sistema di pianificazione unitario. Sono presenti diverse filiere di pianificazione (settore idrico integrato, urbanizzazione, ma anche settore irriguo e industriale) che si sviluppano in maniera parallela, spesso senza coordinamento fra loro. La mancanza di coordinamento provoca, talvolta, la produzione di pianificazioni fra loro non coerenti, inficiando in maniera rilevante la loro realizzabilità ed efficacia.
- 4 All'interno di una stessa filiera di pianificazione non si può parlare di un vero e proprio processo di pianificazione, con la conseguenza che decisioni assunte nei documenti redatti dai diversi soggetti competenti non appaiono fra loro coerenti, sia in termini di obiettivi che di tempistica di conseguimento.
- 5 L'implementazione di metodologie di analisi economica incontra nella realtà attuale difficoltà nella fase di rilevazione delle informazioni necessarie alla sua attuazione. Le informazioni sono in alcuni casi non disponibili ed in altri reperibili soltanto con grande dispendio di tempo, non essendo presenti anche dati strutturate e multidimensionali. Ciò non consente di effettuare precise e complete valutazioni della situazione di partenza e pone evidenti limiti in termini di attendibilità alle previsioni future.
- 6 È presente ad oggi un'oggettiva indeterminatezza dei fenomeni socio economici e soprattutto della loro evoluzione nel tempo.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate, si può affermare che ad oggi, pur essendo disponibili metodologie per l'analisi economica o per la valutazione di singoli aspetti della stessa, devono essere create le condizioni per la loro applicazione.

In una tale realtà, diventa fondamentale, innanzitutto, definire un processo di pianificazione e monitoraggio integrato che permetta:

- all'interno di ciascuna filiera di pianificazione di partire dagli obiettivi strategici ed arrivare alla loro definizione operativa attraverso i diversi livelli di pianificazione identificati dalla normativa di riferimento,
- all'interno di un sistema integrato di pianificazioni appartenenti a filiere diverse, di individuare i documenti e i momenti di interfaccia, al fine di assicurare che le decisioni assunte in sedi diverse risultino in ogni caso fra loro compatibili e non ne mettano reciprocamente in discussione la realizzabilità.

Deve essere inoltre seguito un approccio di analisi integrato che sia in grado di tener conto di tutti gli aspetti, sociali, ambientali ed economico finanziari rilevanti nella realizzazione di qualsiasi pianificazione che interessi un territorio. L'individuazione degli aspetti essenziali per l'analisi deve costituire un punto di partenza che deve permettere, poi, di creare effettivamente le condizioni per cui tali informazioni siano rese effettivamente disponibili.

Proprio con tale finalità è stata realizzata la metodologia di analisi economica adottata dall'Autorità di Bacino dell'Arno. Essa, integrata con un modello di stima del consumo idropotabile che tenga conto delle variabili che incidono su di esso, può essere considerata allo stato dell'arte la migliore da applicare nell'ambito del progetto Wiz.

Vista la molteplicità delle variabili utilizzate, particolarmente interessante in tal senso risulta essere il modello di stima del consumo idropotabile proposto da Dono (2008). Tale modello risulta essere tuttavia assai sofisticato, tenendo conto delle ipotesi che attualmente vengono effettuate nei Piani di Ambito (come evidenziato dallo Studio di Fraquelli, esse sono spesso effettuate in maniera non scientifica ed individuate in misura sempre crescente nel periodo di durata del Piano di Ambito) e anche dell'effettiva disponibilità dei dati che sarebbero necessari.

Perciò, in una prima fase di analisi integrata, tale modello potrebbe essere implementato limitandosi ad utilizzare quali input la tariffa ed il reddito.

Inserendo nella metodologia di analisi economica dell'Autorità di Bacino che permette di valutare, sia con riferimento alla situazione attuale che agli scenari futuri, la soddisfazione del fabbisogno idrico e la sostenibilità delle misure dal punto di vista sociale, ambientale ed economico finanziario, la previsione del consumo idrico, è possibile giungere ad un modello di simulazione quasi completo.

La completa funzionalità della metodologia di analisi economica e del modello di previsione dei consumi individuati è influenzata dalla completezza e dall'attendibilità dei dati disponibili per l'analisi.

4.4 I Passaggio di scala e l'adattamento agli ambiti di riferimento

Come riportato nei paragrafi precedenti, i contenuti del presente rapporto sono stati individuati, in prima istanza, avvalendosi del patrimonio proprio, in termini conoscitivi e istituzionali, dei partner di WIZ.

Siamo quindi partiti dalla pianificazione e dagli strumenti redatti alla scala del bacino idrografico per arrivare, tramite la progettazione a livello di ambito ottimale, alla scala comunale, andando quindi progressivamente ad avvicinarsi al territorio e in particolare all'ambiente edificato, passando da una scala al 25.000/10.000, tipica della pianificazione di bacino a scale di dettaglio proprie della progettazione edilizia.

Il passaggio di scala è una problematica che si incontra sempre quando si vogliono (o devono) contestualizzare in ambito locale i risultati di modellazioni finalizzati a studiare fenomeni a scala generale.

Questo accade, ad esempio, nel passaggio da modelli climatici a scala globale (GCM Global Climate Models), che operano a grande risoluzione spaziale (tipicamente dell'ordine di 50,000 km²), a scale spaziali inferiori.

Per superare questa problematica sono stati sviluppati metodi di **downscaling** (abbassamento di scala), che ad esempio, nel caso di cui sopra, consentono di ottenere le condizioni atmosferiche a scala locale a partire dalle variabili atmosferiche a scala regionale.

E' necessario, in via generale, trovare una coerenza tra i diversi livelli di lettura del territorio e dei fenomeni fisici in modo da non perdere o deformare l'informazione disponibile.

Si ritiene particolarmente esplicativo, anche in riferimento al settore di applicazione di WIZ, partire dalla pianificazione di bacino ed individuare come questa può legarsi alle scale inferiori.

Il bilancio idrico di un bacino idrografico, come già descritto nei paragrafi precedenti, costituisce l'elemento conoscitivo sul quale si costruiscono e si verificano i processi di pianificazione e gestione della risorsa idrica. Il bilancio rappresenta la sintesi di tre elementi strategici per poter correttamente definire l'utilizzo sostenibile della risorsa.

Il primo elemento riguarda l'interazione tra clima e bacino idrografico, e consiste nel quantificare gli afflussi e definire la conseguente risposta in termini di volumi potenzialmente destinati al deflusso, alla evaporazione e traspirazione o quelli avviati verso altri bacini attraverso le più diverse connessioni.

Il secondo elemento sta nella definizione delle pressioni antropiche in termini di risorsa prelevata e restituita per i diversi usi, consumo umano, agricolo, energetico, industriale, sia dal reticolo superficiale che dagli acquiferi sotterranei.

Il terzo, forse il più complesso dal punto di vista concettuale, affronta la definizione del deflusso minimo vitale per le acque superficiali - e quindi il mantenimento degli ecosistemi -, valuta la sostenibilità delle variazioni di volume degli acquiferi e, più in generale, considera il tema delle condizioni ambientali dell'ecosistema fluviale e del sistema delle acque sotterranee.

Il risultato della combinazione di questi elementi, fornisce innanzitutto un quadro delle criticità, indicando i corpi idrici superficiali e sotterranei nei quali il prelievo ha raggiunto, o può raggiungere, livelli insostenibili, e fornisce gli schemi su cui impostare le azioni conseguenti sia in termini di obiettivi e condizioni di utilizzo, che in termini di azioni ed interventi al fine di fronteggiare le problematiche.

Tutto ciò si applica per definizione al bacino idrografico. Questo non per scelta precostituita ma perchè il bacino è la scala di riferimento, il sistema fisico naturale, in cui si esplicano i processi riguardanti il ciclo delle acque. La complessità di tale sistema è notevole, oltretutto complicata dal fatto che è un sistema, seppur circoscritto fisicamente, in cui molteplici sono gli input e gli output. Tale complessità tuttavia si stempera nelle operazioni che conducono, infine, alla definizione del bilancio che, appunto alla scala di bacino, sono integrabili in maniera sufficientemente lineare.

La complessità aumenta quando si deve doverosamente compiere un passaggio di scala per definire la gestione della risorsa in un particolare contesto locale, all'interno del bacino. L'aumento di dettaglio necessario comporta necessariamente la verifica di tre condizioni:

- la stabilità di quanto definito alla scala di bacino e dei presupposti di base, per ciò che riguarda la scala locale oggetto di analisi;
- lo sviluppo di processi di downscaling al fine di inquadrare correttamente la scala locale di analisi;
- la verifica delle condizioni al contorno e della congruenza dei dati alla scala locale, al fine che il processo di downscaling e la conseguente analisi del bilancio sia sufficientemente appropriata.

Il primo punto viene solitamente soddisfatto con una analisi di congruità che, in pratica, consiste nella verifica della ripetibilità alla scala locale dei presupposti definiti a livello di bacino.

Per quanto riguarda il secondo punto, sostanzialmente si adottano metodi di downscaling, come accennato precedentemente, al fine di stabilire condizioni locali, nel rispetto dei parametri alla scala di bacino, che consentano di individuare sistemi sostanzialmente stabili - in cui si riconoscono condizioni di bilancio locale - a partire dalle variabilità alla scala di bacino. Il downscaling viene sostanzialmente effettuato o mediante metodi di regressione opportunamente sviluppati, circoscrivendo il sistema fisico locale, o attraverso la definizione di modelli ad area limitata, implementati sempre nel sistema fisico locale, con opportune condizioni al contorno. Tra tutti i metodi quelli di regressione sono quelli maggiormente preferiti per via della loro

semplicità di implementazione e dei bassi requisiti computazionali richiesti. Tra le tecniche più utilizzate ricordiamo la regressione *semplice* (determinare la forma della relazione tra 2 variabili (una indipendente ed una dipendente) , e/o quella *multipla* (determinare la forma della relazione tra più variabili (più indipendenti ed una dipendente) . Recentemente, specialmente in idrologia, viene sempre più frequentemente utilizzata la funzione *copula* che consiste nel definire una variabile, in funzione delle altre con cui è correlata, tramite una funzione di densità condizionata.

Il terzo punto si presenta molto delicato, in quanto l'analisi di sistemi di dettaglio derivati da un processo di downscaling è fortemente condizionata dalla affidabilità alla scala locale di dati ed informazioni. In tal senso si deve verificare, in primo luogo, se le banche dati hanno una consistenza tale da mantenere contenuta la varianza dei risultati, in secondo luogo se l'eventuale aumento delle informazioni alla scala locale, ritenuto necessario per diminuire l'incertezza - e quindi l'aumento della complessità -, si mantiene congruente con il metodo utilizzato.

Sarà quindi necessario fare attenzione, nella fase di realizzazione dei motori WIZ, allo sviluppo e alla validazione di procedure di qualificazione delle banche dati.

Per ciò che concerne il possibile aumento della complessità alla scala locale, dovuto ad un aumento delle informazioni, dalla letteratura emerge che una via praticabile è l'aggregazione coerente delle informazioni ad un livello congruente con lo schema di calcolo utilizzato.

4.5 Considerazioni finali

La ricognizione e aggiornamento dello stato dell'arte su strumenti e metodologie è stata condotta attraverso un lavoro di ricerca documentale, andando a integrare le conoscenze pregresse, individuate come riportato nei capitoli precedenti, con informazioni reperite sia dalle fonti documentali che dagli esperti contattati, grazie a spunti derivanti da colloqui ed incontri con il mondo scientifico e dal continuo confronto con i partner, avvalendosi anche dello strumento fornito dal sito provvisorio di progetto.

Nel corso del lavoro di ricerca di strumenti e modelli da includere nel presente rapporto D7.1, si ritiene di aver esaminato tutta la documentazione in materia o quantomeno di aver ricostruito un substrato sufficientemente completo su cui basare l'implementazione di WIZ.

In particolare è stato acquisito il quadro di riferimento di settore sui rapporti tra risorsa idrica ed ambiente edificato, con particolare riferimento alla conoscenza preesistente disponibile presso i partner, e compiuta una vasta indagine su modelli e strumenti attualmente in uso. Si tratta tuttavia di una materia fluida, in continuo sviluppo anche a seguito di stimoli provenienti dal quadro giuridico comunitario in materia, e che quindi dovrà costantemente essere monitorata ed aggiornata.

Al momento tuttavia e presumibilmente nel periodo di implementazione di WIZ, i metodi utilizzati dai partner sono allo stato dell'arte metodologico e strumentale i migliori disponibili.

Nel corso del lavoro si sono rilevate alcune difficoltà - superate - e criticità, sulle quali occorrerà porre attenzione in fase di implementazione degli strumenti e servizi WIZ.

Sono anche emerse indicazioni per futuri approfondimenti.

Le conclusioni finali riassumono le motivazioni per un assenso alla prosecuzione del progetto con poche variazioni rispetto al framework identificato nella proposta di progetto.

4.5.1 Principali difficoltà incontrate

Nell'esecuzione della ricognizione sullo stato dell'arte delle metodologie e degli strumenti in relazione all'implementazione di WIZ si sono rilevate alcune criticità.

Dalla ricognizione effettuata in merito a modelli e strumenti emerge, in generale, la disponibilità di diverse metodologie di analisi attinenti a WIZ.

Potrebbe esserci però una difficoltà di scelta, dovuta alla enorme quantità di informazioni disponibili, ma

- prodotte a diverse di scale di riferimento,
- ognuna motivata da finalità proprie, spesso molto specifiche e

- prive di sforzi di generalizzazione.

In alcuni casi i modelli individuati, pur ritenuti meritevoli ai fini WIZ, risultano di difficile applicazione per la mancanza di adeguati dati di input.

Su questo tema i partner hanno discusso a lungo, rilevando che di fatto si sono riproposte le stesse situazioni con cui si confrontano nel lavoro di manutenzione e aggiornamento delle loro metodologie di lavoro.

Alla fine lo sforzo di verificare la disponibilità di nuove metodologie e strumenti ha quasi sempre riproposto questioni già discusse in Autorità di bacino del fiume Arno, Acque, Ingegnerie Toscane e per la Spagna anche ITG.

Questo fatto ha generato qualche dubbio di *biasing* o *framing* dell'analisi. Il confronto con il mondo accademico e professionale ha in buona misura fugato i dubbi, ed ha permesso di trarre le conclusioni che seguono.

4.5.2 Conclusioni

La ricognizione sullo stato dell'arte ha messo in evidenza che:

1. la base dei dati di sfondo disponibili su cui si può basare lo sviluppo di WIZ4Planners nell'area dimostrativa in Italia è prodotta da ABARNO a partire da dati, metodologie e strumenti allo stato dell'arte.
2. La base dei dati sulla rete idrica, i modelli e gli strumenti di simulazione (ACQSPA e INGTOS) sono almeno in parte alla risoluzione necessaria e allineati con lo stato dell'arte. Le informazioni di maggior dettaglio necessarie per adottare modelli più raffinati di simulazione erano state già identificate in proposta (georeferenziazione dei punti di consumo terminali).
3. Per la questione del cambiamento di scala nelle modellazioni e simulazioni (che era una preoccupazione dei partner WIZ e che viene trattata estesamente anche nel Rapporto D7.3) emerge dalla ricognizione che:
 - i metodi di downscaling degli effetti di cambiamento climatico adottati da ABARNO (che è il partner WIZ con mandati in questo ambito) sono aggiornati e quindi su di essi può fondarsi senza problemi lo sviluppo degli engine WIZ. Gli stessi metodi sono adottati in Spagna, assicurando una buona omogeneità nel trattamento dei dati di sfondo;
 - i metodi di upscaling e downscaling a livello di rete idrica (p. es. interazione degli emungimenti di operatori diversi che insistono sulla stessa risorsa) sono ben risolvibili a livello di cooperazione tra gestori (interoperabilità e accessibilità del dato agli operatori) o a livello di ente regolatore (Autorità di bacino) dove sia difficile la cooperazione tra gestori. Ma è anche possibile elaborare un modello sintetico di interazioni nell'engine WIZ (potrebbe essere il caso per la Spagna, se il dialogo in corso con gestori e depositari

dei dati non desse l'esito sperato). Nel caso di WIZ in Italia tutti i gestori confinanti cooperano.

4. Le metodologie e procedure in uso presso i partner sono solide e aggiornate, e una strategia di convogliamento dei flussi delle informazioni tra i diversi blocchi è praticabile e sensata. E' cioè ragionevole e allo stato dell'arte lo schema riportato di seguito.
5. ABARNO può mettere a disposizione i suoi dati (attuali e di scenario) sulla disponibilità della risorsa, sull'impatto del cambiamento climatico, sull'impatto dei prelievi e dell'uso del territorio; i dati di input per le ipotesi di pressione sulla risorsa (prelievi) dovrebbero venire dalle elaborazioni WIZ a partire dai dati di pianificazione territoriale dei comuni (SIT), della modellazione di rete (INGTOS), e della valutazione d'investimento per il calcolo dei costi globali (ACQSPA).
6. Per conservare la coerenza interna (metodi, strumenti, scale e grandezze trattate) è ragionevole rispetto allo stato dell'arte organizzare il sistema WIZ in 'blocchi' (disponibilità e previsione sulla risorsa, disponibilità e costi delle infrastrutture, analisi e previsione delle pressioni derivate dalla pianificazione territoriale); ogni blocco dovrebbe ricevere in ingresso e fornire in uscita dati normalizzati e potrebbe essere visto come black-box, senza perdere la relazione di retroazione con gli altri, ma assicurando anche la congruenza interna del modello di simulazione.
7. L'input dei dati demografici e socioeconomici (attuali e proiettati), dovrebbe attingere al sistema regionale di programmazione e pianificazione (per esempio IRPET); la questione difficile in realtà non è quale o quali scenari di sfondo utilizzare, ma decidere attraverso quali algoritmi mettere in relazione il piano della previsione (e/o pianificazione) a livello marcoscopico con la modellazione e simulazione di rete che ha esigenze e capacità puntuali, che sono peraltro in comune con l'engine WIZ.
8. L'esito della ricognizione di aggiornamento sullo stato dell'arte ha riproposto criticità emerse in fase di proposta, e cioè che i più aggiornati modelli di simulazione dello sviluppo socioeconomico territoriale si scontrano spesso - per non dire sempre - con i limiti di copertura e precisione dei dati disponibili. Ma emerge anche che dove si fa pianificazione tenendo conto delle previsioni di pressione sulle risorse si usano modelli che si concentrano sull'affidabilità rispetto a (pochi) fattori principali piuttosto che sulla precisione e sul dettaglio. La ricognizione consolida quindi le scelte strategiche di WIZ, che ora devono essere tradotte nella progettazione esecutiva.
9. Le pianificazioni con diversi orizzonti temporali e diversi gradi di effettività degli impegni - pianificazioni che potenzialmente generano collisioni - dovrebbero tra trattate secondo più schemi,

per confrontare gli esiti. Dalla ricognizione emerge che la situazione del territori in cui viene implementato WIZ in Italia è perlomeno rara e non trattata nei modelli di simulazione solo a livello teorico. Ciò è dovuto all'indefinitezza dello stato di effettività della pianificazione. La soluzione avanzata da WIZ è di tipo normativo, e infatti ha già trovato ascolto a livello regionale e di Autorità di ambito. La verifica di percorribilità di questa strada risolve di fatto un problema di incertezza di modellazione comune a WIZ4Planners e WIZ4All.

10. Il contributo del partner FUNITG alla ricognizione ha messo in evidenza che non ci sono sostanziali limiti all'applicazione del modello di base WIZ, ma sarà necessario tener conto dei diversi set di dati disponibili. Resta quindi valida l'ipotesi originale di lavorare con un insieme di pochi fattori determinanti principali ai quali sovrapporre solo a livello descrittivo e non computazionale le eventuali informazioni addizionali disponibili.
11. Sul fronte delle metodologie di interfacciamento non ci sono sostanziali novità rispetto allo stato dell'arte rilevato in fase di proposta. Lo sviluppo preconizzato dei dispositivi mobili sta continuando come previsto e con le tecnologie già considerate, mentre nuovi dispositivi consumer con tecnologia, o canali di distribuzione o licenze proprietarie (p. es. alcuni tablet device) non sono presi in considerazione da WIZ perchè vincolerebbero la regola di accesso universale alle informazioni pubbliche che è in premessa al progetto.
Anche sul fronte delle interfacce e dei modelli di rappresentazione delle informazioni i metodi, le tecnologie e il know-how interno di FUNITG (che è il partner WIZ di riferimento per questo aspetto) sono adeguate e allo stato dell'arte.
12. Con gli elementi a disposizione si può passare alla fase di analisi dei requisiti utente (non appena disponibili) e alla conseguente progettazione tecnica degli engine e delle interfacce.

4.5.3 Spunti per ulteriori approfondimenti e connesse al progetto WIZ ma fuori dall'ambito di applicazione diretta

Nel corso degli incontri che si sono tenuti con i Comuni è emersa la necessità di estendere le tematiche oggetto di WIZ a tutto il ciclo delle acque, in particolare estendendo la trattazione anche ad aspetti relativi all'allontanamento delle acque reflue ed alla depurazione (come d'altra parte previsto dalla WFD).

5 Bibliografia e riferimenti

-Abrate Graziano e Fraquelli Giovanni., "Domanda e tariffe nel settore idrico italiano: un'analisi di sensitività sui Piani d'Ambito". Torino: HERMES, 2006

-Adams Y., Asce B. J., Kleiner, Y., Rogers, J.S., "Water distribution network renewal planning, Journal of Computing in Civil Engineering", v.15, no.1, pp.15-26 January 2001, <http://irc.nrcnrc.gc.ca/irc/fulltext/nrcc43369/nrcc43369.pdf>

-Alcamo J., "An Integrated Framework for International Scenario Analysis of Europe's Waters, Atti del convegno European Water Scenarios: from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives", 30 giugno - 1 luglio 2003

-Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci and J.L. Vazquez-Aguirre, J. Geophys. Res., 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290, "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation", 2006

-Anderson M.P., Woessner W.W., "Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport", San Diego, California, Academic Press. 1992

-Arbués, Fernando, García-Valiñas, María Ángeles e Martínez-Espiñeira, Roberto., " Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review". Journal of socio-economics, Forthcoming. 2003

-Autorità di Bacino del Fiume Arno: "Progetto di Piano di bacino Stralcio Bilancio idrico – adottato con Delibera di Comitato Istituzionale n. 204" del 28/2/2008

-Autorità di Bacino del Fiume Arno: "Metodologia per la realizzazione dell'Analisi Economica del Piano di gestione delle Acque del Distretto dell'Appennino Settentrionale in Piano di gestione del Distretto dell'Appennino Settentrionale", Firenze: Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2009

-Autorità di Bacino del Fiume Arno: "Applicazione della metodologia per la realizzazione dell'Analisi Economica del Piano di gestione delle Acque del Distretto dell'Appennino Settentrionale in Piano di gestione del Distretto dell'Appennino Settentrionale", Firenze: Autorità di Bacino del Fiume Arno 2010

-B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave and L. Meyer, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 851 pp.-IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change: "Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change"-2007

-Babbar M., "Multiscale Parallel Genetic Algorithms for Optimal Groundwater Remediation Design", tesi di laurea University of Illinois at Urbana, <http://cee.uiuc.edu/emsa/documents/mbabbar-2002-01.pdf>, 2000.

-Babbar M., Minsker B., "Multiscale Strategies for Solving Water Resources Management Problems with Genetic Algorithms, University of Illinois", <http://cee.ce.uiuc.edu/emsa/conference/mbabbar-2003>,

-Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds.: "Climate Change and Water." Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp., 2008

-Barraquè, Bernard, "Le politiche dell'acqua in Europa". Milano: Franco Angeli. 1998

-Bell J. W., Amelung F., Ferretti A., Bianchi M. & Novali F., "Permanent scatterer InSAR reveals seasonal and long-term aquifer-system response to groundwater pumping and artificial recharge. Water Resources Research", 44: 1-18 pp, 2008

-Billings, R. Bruce, "Specification of block rate price variables in demand models". Land Economics. 1982

-Blind, M.W. "The role of models in supporting river basin management, Atti del convegno European Water Scenarios: from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives", 30 giugno - 1 luglio 2003

-Bogliotti C., Steduto P., "The Mediterranean perspectives for the management of limited water resources, in European Water Scenarios: from the Mediterranean Sea to Central Asia -State of the art and perspectives", 30 giugno - 1 luglio 2003

-Briassoulis, Helen, "Policy integration for complex environmental problems: the example of Mediterranean desertification." Surrey: Ashgate Publishing, Ltd. 2005

-Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tett, and P.D. Jones.

"Uncertainty Estimates in Regional and Global Observed Temperature Changes: A new data set from 1850." Journal of Geophysical Research Atmospheres, 111, D12106, 2006.

-
- Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T., "Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series." *International journal of climatology*, 26, 345-381, 2006
-
- Brunetti M., M. Maugeri, F. Monti, T. Nanni, "Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years." *Journal of Geophysical Research – Atmosphere*, 109, doi:10.10, 2004
-
- Burlando P., Rosso R., "Effects of transient climate change on basin hydrology. 1. Precipitation scenarios for the Arno River, central Italy." *Hydrological Processes*, 16, 1151–1175, 2002a
-
- Burlando P., Rosso R., "Effects of transient climate change on basin hydrology. 2. Impacts on runoff variability in the Arno River, Central Italy." *Hydrological Processes*, 16, 1177–1199, 2002b
-
- Burtless, Gary e Hausman, Jerry A., " *The Effect of Taxation on Labor Supply: Evaluating the Gary Income Maintenance Experiment.*" *Journal of Political Economy*. 1978
-
- Burgschweiger J., Marc C., Burgschweiger J., Steinbach C., "Optimization models for operative planning in drinking water networks", <http://www.zib.de/Publications/Reports/ZR-04-48.pdf>, 2004
-
- Castelli F., Mancini M., Mazzanti B., Menduni G., Meneguzzo F., Niccolai M., Redini M. and Todini E., Storm, "A multi-agency approach to flood forecasting. In *Mediterranean Storms*", 3rd Plinius Conference 2001, R. Deidda, A. Mugnai and F. Siccardi, Editors, CNR-GNDCI Publ., pp. 255-262, 2002
-
- Caparrini F., F. Castelli, D. Entekhabi, "Variational estimation of soil and vegetation turbulent transfer and heat flux parameters from sequences of multisensor imagery." *Water Resources Research* VOL. 41, WR003358, 2005
-
- Campo L., Caparrini F., Castelli F., "Use of multi-platform, multi-temporal, remote sensing data for calibration of a distributed hydrological model: an application in the Arno basin," *Italy. Hydrological Processes*, 2005
-
- Cavanagh, Sheila M., Hanemann, W. Michael e Stavins, Robert N., "Muffled price signals: household water demand under increasing block pricing". Working Paper n.40.2002. Venezia: Feem. 2002
-

-Colombo D., Farina P., Moretti S., Nico G. & Prati C., " Land subsidence in the Firenze-Prato-Pistoia basin measured by means of spaceborn SAR interferometry." IGARSS 2003, Tolosa 21-25 luglio: 1-3 pp.,2003

-Commissione delle Comunità Europee, " L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo". COM(2009) 147 definitivo, Bruxelles,2009

-Dandy, Graeme, Nguyen, Tin e Davies, Carolyn., " Estimating residential water demand in the presence of free allowance" Land Economics. 1997

-Dixon T.H., Amelung F., Ferretti A., Novali F., Rocca F., Dokkas R., Sella G., Kim S.W., Wdowski S. & Whitman D., "Subsidence and flooding in New Orleans". Nature, 441: 587-588 pp.,2006

-Dono, Gabriele, e altri, "Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: analisi dei modelli di consumo per usi irrigui e civili". Roma: ENEA,2008

-Eisenhuth, D., Bellot J., Bonet A., Sanchez Juan R., "Developing Tools for Adaptive Integrated Water", Departamento de Ecologia, Universidad de Alicante, 2004
<http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/biocomplexity/>,

-ENMaR, European Network of Municipalities and Rivers, " Water:local planning and management", 2007

-Farina P., Colombo D., Fumagalli A., Marks F. & Moretti S., " Permanent scatterers for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM project". Engineering Geology, 88: 200-217pp.,2006

-Ferretti A. & Cespa S., "L'uso del telerilevamento satellitare per lo studio della subsidenza nei territori della bassa pianura romagnola". Hydrogeo (giugno): 12-17 pp.,2005

-Ferretti A., Prati C. & Rocca F., "Non linear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38 (5): 2202-2212 pp.,2000

-Ferretti A., Prati C. & Rocca F., " Permanent Scatterers in SAR interferometry." IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 39 (1): 8-20 pp.,2001

-Ferretti A., Savio G., Barzaghi R., Borghi A., Musazzi S., Novali F., Prati C. & Rocca F., "Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45 (5): 1142-1153 pp.,2007

-Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G.K. Tank and T. Peterson, "Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century". Clim. Res., 19, 193–212.,2002

-Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., McDonald, M.G., Modflow-2000, "the U.S. Geological Survey modular groundwater model". User guide to modularization concepts and the groundwater flow processes. U.S. Geological Survey Open File Report 00-92. 2000

-Hewitt, Julie A, Hanemann, W. Michael., "A discrete/continuous choice approach to residential water demand under block rate pricing." Land Economics. 1995

-Hoekstra A.Y., " The role of virtual water transfer in water management, Atti del convegno European Water Scenarios: from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives", 30 giugno - 1 luglio 2003

-Izquierdo L. R., Gotts N. M., Polhill J. Gary, FEARLUS-W, "An Agent-Based Model of River Basin Land Use and Water Management, Framing Land Use Dynamics: Integrating knowledge on spatial dynamics in socio-economic and environmental systems for spatial planning in western urbanized",
<http://www.macaulay.ac.uk/fearlus/FLUD.pdf>,

-Jacob D., Linking Regional Climate Modeling with Water Resources, Atti del convegno European Water Scenarios: " from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives", 30 giugno - 1 luglio 2003

-Jozsa J., Kramer T., " Assessing Water Exchange Mechanisms in Complex Lake and Coastal Flows By Modelling the Spatial Distribution of Mean Residence Time, Proc. XXIX". IAHR Congress,
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.18.4245>.

-Yehuda K., Balvant R.: "Considering Time-dependent Factors in the Statistical Prediction of Water, American Water Works Association Infrastructure Conference,"
<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/nrcc42663.pdf>, 2000.

-Kabat P., Background Document with presentation Prof Pavel Kabat at Water Scenarios Workshop, Atti del convegno European Water Scenarios: "from the Mediterranean Sea to Central Asia – State of the art and perspectives", 30 giugno - 1 luglio 2003

-Kamburska L., Fonda-Umani, S. Copepod Dynamics in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea): "Recent Changes and Trends. Climate Research," 31, 195-2006

-Kallis, Giorgios, e altri.: " Integration of EU water and development policies: a plausible expectation?"

-Kepner William G., Semmens Darius J., Scott D., Mouat David A., Goodrich David C., " Scenario analysis for the San Pedro River, analyzing hydrological consequences of a future environment," 2004.

-Klein Tank, A.M.G., J.B. Wijngaard, G.P. Konnen, R. Bohm, G. Demaree, A. Gocheva, M. Mileta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Muller-Westermeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Palsdottir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, R. Aberfeld, A.F.V. VanEngelen, E. Forland, M. Miletus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J.A. López, B. Dahlstrom, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander and P. Petrovic, " Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment." Int. J. Climatol., 22, 1441–1453
Aldhous, P., 2004: Borneo is burning. Nature, 432, 144–146, 2002

-Kleiner B., Balvant R., Kleiner Y., "Towards Pro-Active Rehabilitation Planning of Water,"
<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/irc/fulltext/nrcc46095/nrcc46095.pdf>, 2002.

-Leclerc G., Water investment costs reduction and forward looking financial strategies, Atti del convegno European Water Scenarios, " from the Mediterranean Sea to Central Asia State of the art and perspectives", 30 giugno - 1 luglio 2003

-M. Brugioni, G. Menduni, G. Montini., " Analisi dei fenomeni di subsidenza nel bacino del fiume Arno tramite l'utilizzo dell'interferometria radar differenziale da piattaforma satellitare." Anno terra 2008 -Simposio, "Stato del territorio e delle risorse naturali in Toscana: Firenze - Istituto degli Innocenti " 23,24,25 ottobre 2008

-M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): "Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", 2007b

-
- Manuel Pulido-velazquez , Marion W. Jenkins , Jay R. Lund, " Economic values for conjunctive use and water banking in southern California", WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 40, W03401,doi:10.1029/2003WR002626, 2004, <http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/papers/Calvin3.pdf>
-
- Manunta P., Brugioni M., Casagli N., Colombo D., Deflorio A.M., Farina P., Ferretti A., Gontier E.,Kaspar G., Haeberle j., Lateltin O., Meloni E., Mayoraz R., Montini G., Moretti S., Paganini M.,Palazzo F., Spina D., Sulli L. & Strozzi T., SLAM, "Service for LANDslide Monitoring based on EO-Data. Fringe ",Frascati 1-5 dicembre,2003
-
- Massarutto, Antonio., "Studio di fattibilità concernente lo sviluppo dell'analisi economica dell'utilizzo idrico a scala di bacino del fiume Po così come prevista dalla Direttiva 2000/60/CE". Milano: Università commerciale Luigi Bocconi, IEFE Istituto di economia e Politica dell'Energia e dell'Ambiente.2006
-
- Mazzanti, Massimiliano e Montini, Anna. " Analisi econometrica della domanda di acqua per usi domestici. Applicazioni di modelli panel a dati comunali dell'Emilia Romagna e della Lombardia." Pavia: Società italiana di economia pubblica, dipartimento di economia pubblica e territoriale, Università di Pavia.2003
-
- Moffitt, Robert.,"The Econometrics of Piecewise-Linear Budget Constraints." Journal of Business and Economic Statistics. 1986
-
- Montini G., Benvenuti L. & Menduni G, "Analisi dei fenomeni di subsidenza nel bacino dell'Arno".10a conferenza italiana utenti ESRI, Roma 18-19 aprile.-2007
-
- Moore R. V., Catchment-scale modelling of European water resources - Enabling technologies from Framework 5, Atti del convegno European Water Scenarios, "from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives," 30 giugno - 1 luglio 2003
-
- Moss S., Agent based modelling and scenario analysis in the policy process, Atti del convegno European Water Scenarios, "from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives", 30 giugno-1 luglio 2003
-
- Musson R.M.W., Haynes M. & Ferretti A.,"Space-based Tectonic Modeling in Subduction Areas Using PSInSAR. Seismological Research Letters", 75 (5): 598-606 pp.-2004
-
- Nera Economic Consulting., "Costi ambientali e di risorsa nell'ambito dell'art. 9 della Direttiva 60/2000." Un report per la Regione Emilia Romagna. Roma 2008
-

-Neupane B., World Water Assessment Programme, Atti del convegno European Water Scenarios, "from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives," 30 giugno-1 luglio 2003

-O'hara Jeffrey K., " Adaptation to Climate Change for Urban Water Planning, University of California," San Diego, 2006.

-Olmstead, Sheila M. Hanemann, W. Michael e Stavins, Robert N., "Do consumers react to the shape of supply? Water demand under heterogeneous price structures, regulatory policy program working paper". Discussion Paper 05-29. Washington: Resources for the Future. 2005

-Pahl-Wostl C., Participatory Scenario Development and Sustainable Water Policies, Atti del convegno European Water Scenarios, "from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives", 30 giugno - 1 luglio 2003

-Perissin D. & Ferretti A., "Urban Target Recognition by Means of Repeated Spaceborne SAR Images". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45 (12): 4043-4058 pp., 2007

-Peterson X.J., "High Resolution DEM Generated from LiDAR Data for Water Resource Management, Monash University" – Australia, 2006
http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/liu_x.pdf,

-Philip W. Mote, Parson E., Hamlet Alan F., Keeton William S., Lettenmaier D., Mantua N., Miles Edward L., Peterson David W., Slaughter R., Snover Amy K., "Preparing for climate change: the water, salmon, and forests of the Pacific Northwest,"
http://www.essa.com/documents/WWETAC/ClimateChangeWorkshop/Papers%20-%20General/Mote_2003.pdf, 2003

-Querner E.P., "Description and application of the combined surface and groundwater flow model MOGROW. J. Hydrol". 192, 1997

-R.K Pachauri and A. Reisinger, Eds., IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), "Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Core Writing Team, IPCC, Geneva, 102 pp.-2007

-Rauch W., Krajewski B., Luc J., Krebs P., Mark O., Schilling W., Schütze M., Vanrolleghem Peter A., "Mathematical Modelling of Integrated Urban Drainage Systems,"
<http://biomath.ugent.be/~peter/ftp/pvr289.pdf>

-Renzetti, Steven., "The economics of water demands". Dordrecht: Kluwer. 2002

-
- Rocca F., "Modeling Interferogram Stacks. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing", 45 (10): 3289-3299 pp.-2007
-
- Roll G., "Information Exchange and Communication in Transboundary Water Management", Atti del convegno European Water Scenarios: from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives 30 giugno - 1 luglio 2003
-
- S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignorand H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change, "The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", 2007a
-
- Savic D., "Scenarios for Urban Water Management"- Europe and Developing Countries, Atti del convegno European Water Scenarios: from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives 30 giugno - 1 luglio 2003
-
- Smith, T.M. and R.W. Reynolds., "A Global Merged Land and Sea Surface Temperature Reconstruction Based on Historical Observations (1880–1997). Journal of Climate," 18(12): 2021-2036.-2005
-
- Stern, N., "Stern Review on The Economics of Climate Change (pre-publication edition). Executive Summary". HM Treasury, London. Archived from the original on 2010-01-31retrieved-2006
-
- Surrey: Ashgate, Policy integration for complex environmental problems: "the example of Mediterranean desertification di Helen Briassoulis." Publishing, Ltd, 2005.
-
- Tol and Yohe, "A Review of the Stern Review" World Economics 7(4):233-50-2006
-
- Weatherhead K., "Scenarios for agricultural water demand – experience from WADI and other projects", Atti del convegno European Water Scenarios: from the Mediterranean Sea to Central Asia - State of the art and perspectives, 30 giugno - 1 luglio 2003
-
- Wiering M., Immink I., "When water management meets spatial planning: a policy-arrangements perspective", Environment and Planning C: Government and Policy, 2004.
-
- Woltjer J., Niels A., "Integrating Water Management and Spatial Planning, Journal of the American Planning Association", Volume 73, pages 211 – 222. Issue 2 June 2007
-

-Wu Y., Walski T., Mankowski R., Herrin G., Gurrieri R., Tryby M., "Calibrating Water Distribution Model Via Genetic Algorithms, AWWA IMTech Conference", April 14-17, Kansas City, Missouri, <http://www.genetic-programming.org/hc2006/Wu-Paper-5.pdf>, 2002.

-Zerbini S., Richter B., Rocca F., van Dam T. & Matonti F., "A combination of Space and Terrestrial Geodetic Techniques to Monitor Land Subsidence: Case Study, the Southeastern Po Plain, Italy". *Journal of Geophysical Research*", 112 (B05401): 1-12 pp.-2007

6 Appendice 1 - Il contributo di ITG

Nota sulla lingua di lavoro

I Partner del Progetto WIZ hanno concordato di sviluppare gli elaborati nelle loro lingue nazionali (italiano e castigliano) perché non hanno problemi nello scambio di informazioni. Solo quando si rende necessario vengono effettuate le traduzioni nelle reciproche lingue o in lingua inglese.

Alcuni documenti di ampia divulgazione sono previsti nelle tre lingue (IT, ES, EN).

Eventuali documenti locali prodotti in galego saranno resi disponibili anche in castigliano (ES).

Este documento trata de reflejar la sensibilidad existente en España hacia el uso racional del agua. El agua precipita, fluye, se utiliza y se vierte por toda la superficie de la tierra, por lo que su gestión implica la interrelación de administraciones locales, regionales y nacionales y la escasez de dicho bien tiene implicaciones no solo medio-ambientales sino económicas y sociales, por su presencia en todas las actividades de la producción y reproducción social y por su especial dimensión ambiental, cultural y política.

Muchos son los factores que influyen en los recursos hídricos, desde la subida de la temperatura del agua del mar, hasta los asentamientos poblacionales, hacen que el agua se vea influenciada y que los recursos de esta fluctúen a lo largo de los años. Entre los factores que más influyen a los recursos hídricos, y que serán tratados en este informe, nos encontramos con los siguientes:

- **Ordenación del territorio**
- **Cambio Climático**
- **Gestión de recursos hídricos**

Así mismo se tratara en este informe de:

- **Los modelos de simulación**
- **Tendencias Tecnológicas en observación y control del agua**

6.1 La ordenación del territorio en la gestión de recursos hídricos

El 80% de la población de la Unión Europea vive en las ciudades y en asentamientos urbanos, de ahí la importancia de que las zonas urbanas sean tenidas especialmente en consideración y sean protagonistas esenciales de las políticas de cohesión económica y social y de protección del medio ambiente.

Por lo que durante los últimos años se ha ido reforzando las siguientes ideas:

- que la gestión del agua debe plantearse necesariamente en el marco de una estrategia territorial de referencia;

- que la planificación hidrológica tiene que entenderse como un instrumento al servicio de una determinada política territorial explícita;
- que las demandas y disponibilidades de agua de cada cuenca sólo pueden fundamentarse en el diagnóstico y la consiguiente formulación de esa estrategia explícita de utilización del territorio.

A continuación se enuncian las diferentes medidas llevadas a cabo desde la administración pública en la gestión del agua:

1. El **Plan Nacional de Saneamiento y Depuración 1995-2005**, cuyo objetivo era el de garantizar la calidad de la depuración y del vertido de las aguas residuales urbanas, persiguiendo el cumplimiento de la **Directiva 91/271/CEE sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas**, mediante la integración y coherencia de las inversiones de los tres niveles de la Administración.
2. En España, en el **Libro Blanco del Agua** (Min. de Medio Ambiente 2000) se puede leer: "Los problemas de inundabilidad deben ser prevenidos antes de que se requieran intervenciones futuras. Evitar la ocupación urbana de zonas inundables y orientar el crecimiento de las ciudades hacia zonas seguras es el mejor método para evitar dichas intervenciones".
3. En este marco -en el que los Informes del **Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE)** y la **Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa** (Documento de inicio, septiembre 2007) han desempeñado un papel significativo- se sitúa la valoración de las potencialidades de las nuevas políticas sectoriales (especialmente **la nueva política de Desarrollo Rural**, clave por su incidencia fundamental en el agua) que van incorporando valores, criterios y mecanismos concretos de sostenibilidad y haciendo suya la experiencia de la integración de la gestión integral del agua.
4. Pero complementariamente, hay que subrayar el nuevo protagonismo de la política de aguas, en el marco de la política ambiental (**Ley del Patrimonio Natural, nueva Ley del Suelo**) y con las posibilidades de control que poseen los organismos de cuenca (artículo 25.4 de la **Ley de Aguas**).
5. Todo ello en el contexto de la implementación de la Directiva 2000/60/CE, **Directiva Marco del Agua (DMA)**, que constituye un programa de gestión responsable, formalizado, con un calendario preciso, compartido en el conjunto de la UE y controlado por instancias a diferentes escalas. La Directiva Marco del agua representa un hito en la gestión de los recursos hídricos y sus ecosistemas

relacionados y nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en la Unión Europea.

La DMA obliga a una nueva orientación de la legislación de aguas: nuevos objetivos, nuevas metodologías y nuevos procedimientos: transparencia, información, participación social activa. Todo ello con etapas, resultados y criterios de evaluación definidos; enfoques proactivos y seguimiento externo.

Pero esto no puede desviar la atención de los problemas reales de los ríos, ecosistemas acuáticos, del agua y de sus usos:

- la contaminación,
- la sobreexplotación,
- la falta de garantía

La DMA tiene como principal objetivo la alcanzar el buen estado ecológico de las aguas de los ríos para el año 2015 y que obliga a planificar y gestionar las aguas de forma integrada, para lo que establece como unidad de gestión la *Demarcación hidrográfica*, sean cuales sean las divisiones administrativas de este territorio.

6. La trasposición de la Directiva en España se realizó mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social que incluye, en su artículo 129, la modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por la que se incorpora al derecho español la Directiva 2000/60/CE, estableciendo un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
7. La nueva política del agua, cuyo referente básico es la DMA, obliga a tener en cuenta numerosos parámetros, por lo que el Ministerio de Medio Ambiente puso en marcha una estrategia global de ordenación y gestión del dominio público hidráulico y marítimo-terrestre, con la adecuada protección y restauración de los ecosistemas asociados, en la que se inserta el **Plan Nacional de Calidad de las Aguas (PNCA) 2007-2015**, atacando desde varios frentes al mismo tiempo las diferentes problemáticas que los afectan.

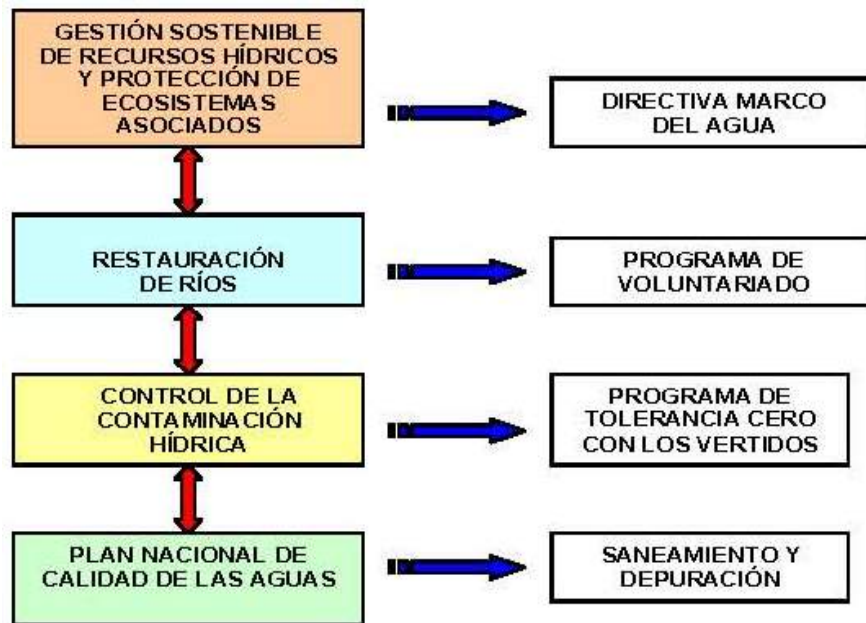


Ilustración 23: Estrategia para la gestión sostenible de los recursos hídricos

8. El PNCA forma parte, por lo tanto, de un conjunto de medidas que persiguen el definitivo cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE y que pretenden contribuir a alcanzar el objetivo del buen estado ecológico que la Directiva Marco del Agua propugna para el año 2015.

El PNCA insiste en la necesidad de asegurar la gestión de las instalaciones, ya que de nada sirve construir infraestructuras si no se explotan y mantienen adecuadamente. Por ello, el éxito del Plan requiere la colaboración de todos, y principalmente de las Corporaciones Locales, que son las responsables del saneamiento y depuración de las aguas residuales urbanas:

- Es necesario generalizar sistemas eficaces de depuración y redes de saneamiento que conduzcan todas las aguas residuales a las depuradoras, en particular para muchas aglomeraciones urbanas de pequeño tamaño.
- Además, las sucesivas revisiones de las declaraciones de zonas sensibles han aumentado las aglomeraciones afectadas que deben acondicionar sus sistemas de depuración a una eficaz reducción de nutrientes mediante tratamiento terciario.

9. Por otro lado, el **Programa A.G.U.A.**, pretende incorporar en la mayor medida posible la Reutilización de Aguas Depuradas para incrementar las disponibilidades de recursos hídricos.

La reutilización está asociada a una depuración previa; en la

actualidad existen en España más de 2.500 estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR) que depuran más de 3.375 Hm³ anuales de aguas residuales. De éstas, se estima que se reutilizan en la actualidad tan sólo unos 450 Hm³/año, lo que supone un poco más del 13% del total; ello muestra el elevado potencial de esta tecnología para la generación de nuevos recursos hídricos, en un escenario futuro donde las perspectivas del cambio climático comportan una disponibilidad decreciente de recursos hídricos naturales.

Según los últimos datos disponibles, la distribución por usos del agua depurada se sitúa en:

- unas tres cuartas partes para uso agrícola,
- del orden del 12% (y creciendo) para usos recreativos y campos de golf,
- el 6% para servicios urbanos,
- el 4% para usos ecológicos y recarga de acuíferos,
- y en torno al 3% para uso industrial.

6.1.1 Pasado: Logros del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración 1995-2005

La ejecución del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración 1995-2005 marcaba el 31 de diciembre de 2005 para alcanzar la depuración de todos los núcleos mayores de 2.000 habitantes equivalentes (h-e)[\[11\]](#). La evolución del grado de conformidad desde el año 1995 hasta el 2005 ha sido muy positiva ya que ha pasado de un 41% a un 77%.

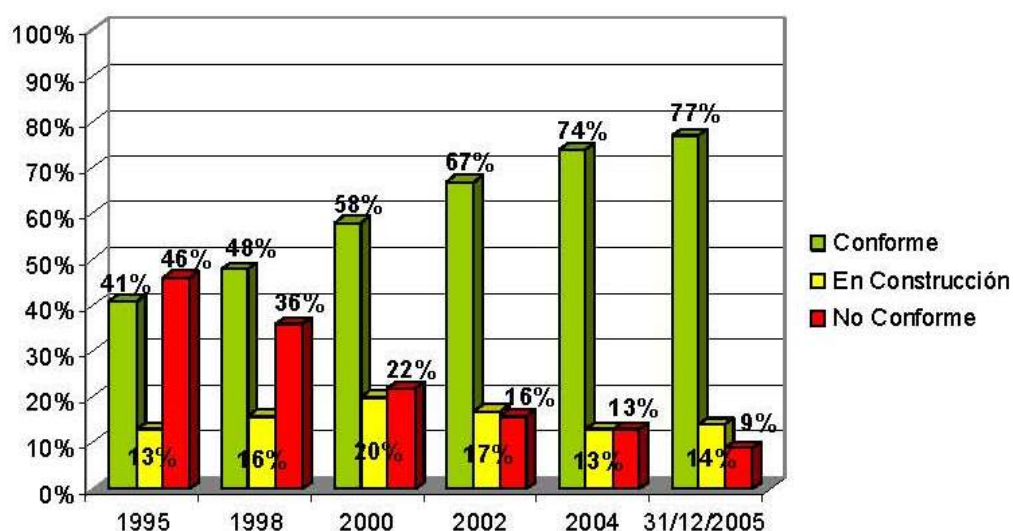


Ilustración 24: Evolución del grado de conformidad desde el año 1995 hasta el 31 de diciembre de 2005

En el 2005, existían en España 2.356 Aglomeraciones Urbanas de más de 2.000 h-e en aguas continentales y estuarios y de más de 10.000 h-e en aguas costeras, que totalizaban una carga de 73.265.728 habitantes equivalentes.

La distribución de la conformidad de estas 2.356 aglomeraciones urbanas al 31 de diciembre de 2005 es la que se muestra en el cuadro siguiente:

Carga y Número de Aglomeraciones Urbanas (Aglomeraciones > 2.000 h-e en aguas continentales y estuarios y > 10.000 h-e en aguas costeras) al 31 de diciembre de 2005	
Carga (h-e)	73.265.728
Aglomeraciones urbanas (nº)	2.356

Ilustración 25: Carga y numero de aglomeraciones urbanas

En el mapa siguiente se puede observar la distribución territorial de estas 2.356 aglomeraciones urbanas en función de su grado de conformidad. El tamaño de los círculos indica si es una aglomeración menor o mayor de 15.000 habitantes equivalentes.

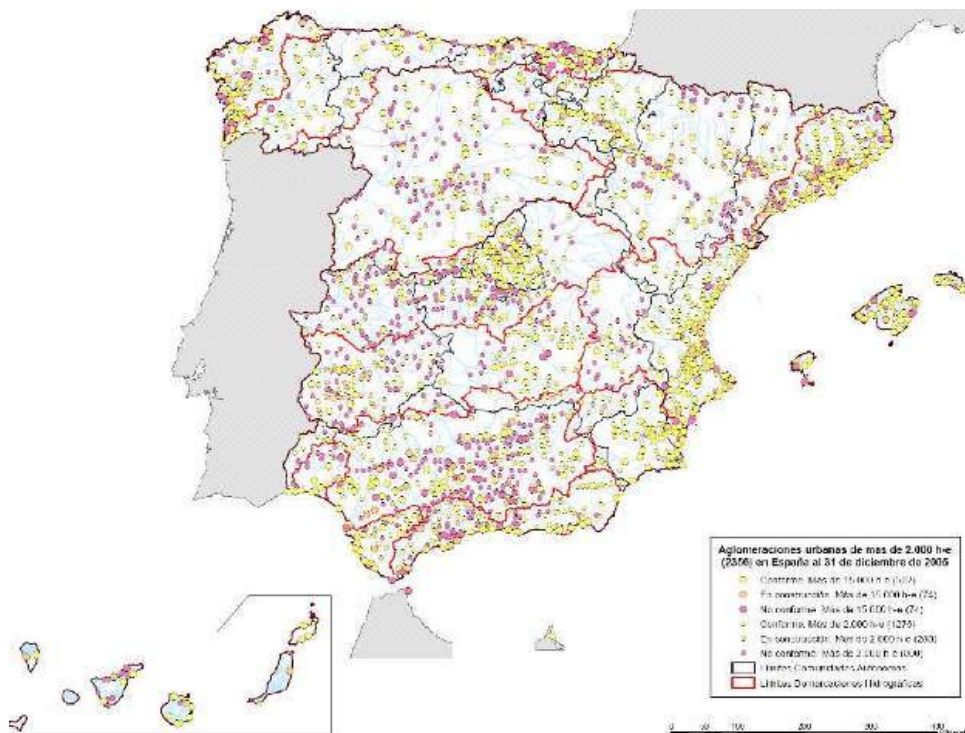


Ilustración 26: Distribución territorial de las aglomeraciones urbanas en función de su grado de conformidad

De este mapa se pueden sacar varias conclusiones:

- 1- Todavía existe un importante número de aglomeraciones urbanas todavía no conformes (unas 800) aunque sólo suponen únicamente el 9% de la carga contaminante.
- 2- El tamaño medio de la población equivalente de estas aglomeraciones urbanas se sitúa entre los 2.000 y los 4.000 h-e.
- 3- Hay zonas sin aglomeraciones urbanas que son en realidad población con menos de 2.000 h-e y corresponderían a pequeñas aglomeraciones en zonas rurales.
- 4- La gran concentración de aglomeraciones urbanas de más de 15.000 h-e aparece en las zonas de desarrollo urbanístico, en el centro de la península y en las zonas costeras del mediterráneo

De las 2.356 aglomeraciones urbanas reseñadas, 650 representan las de más de 15.000 h-e, con una carga de 63.388.354 h-e y además:

- son el 28% del total de poblaciones, mientras que en carga suponen el 87%.
- 74 estaban en situación de no conformidad y otras 74 se encontraban en fase de construcción

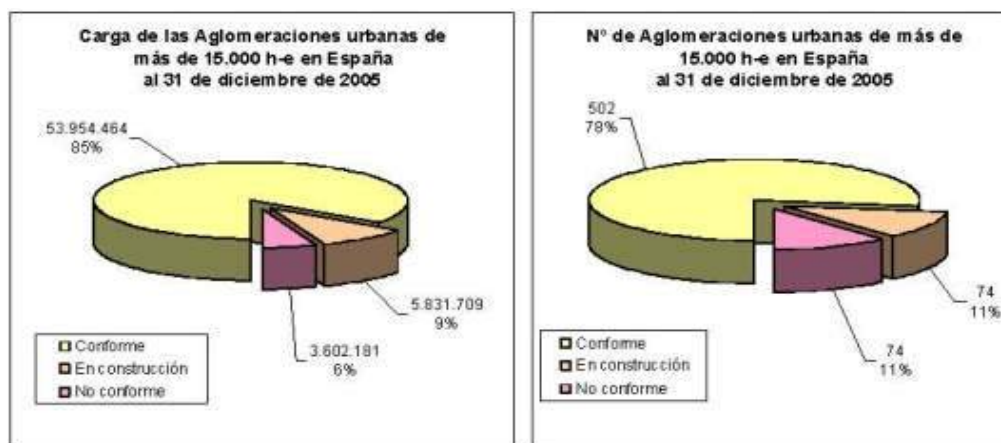


Ilustración 27: Carga y numero de aglomeraciones urbanas con mas de 15000 h-e

6.1.2 Presente: El Plan Nacional de Calidad de las Aguas

Para el desarrollo del PNCA uno de los aspectos más relevantes que se han estudiado han sido las presiones de la actividad humana sobre el estado de las aguas (ver el Libro Digital del Agua), entre las que destacan los vertidos de aguas residuales urbanas, identificando:

- Las **presiones significativas** obtenidas a partir de los inventarios de actividades antropogénicas existentes
- La **evaluación del impacto** realizada a partir de los datos de las Redes de Vigilancia de la Calidad de las Aguas
- El **riesgo de incumplir los objetivos medioambientales**, combinando la identificación de las presiones con la evaluación del impacto.

EL PNCA ha casado los resultados de estos estudios de presiones e impactos con las necesidades en materia de saneamiento y depuración, con el objetivo de reducir las presiones significativas sobre las masas de agua y minimizar los impactos. Así se han podido identificar, sobre todo en pequeñas aglomeraciones urbanas, las actuaciones para contribuir a mantener el buen estado de las masas de agua.

Por otro lado, el conocimiento de las masas de agua en mayor riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales resulta un criterio de gran peso a la hora de establecer prioridades por parte de la Administración Estatal. Se dispone de información georreferenciada (ver el apartado Datos) para todo el ámbito nacional con los resultados de la evaluación del riesgo total de incumplimiento de los objetivos medioambientales para las masas de aguas superficiales. En el mapa siguiente se observa la clasificación de las masas de agua en función del riesgo:

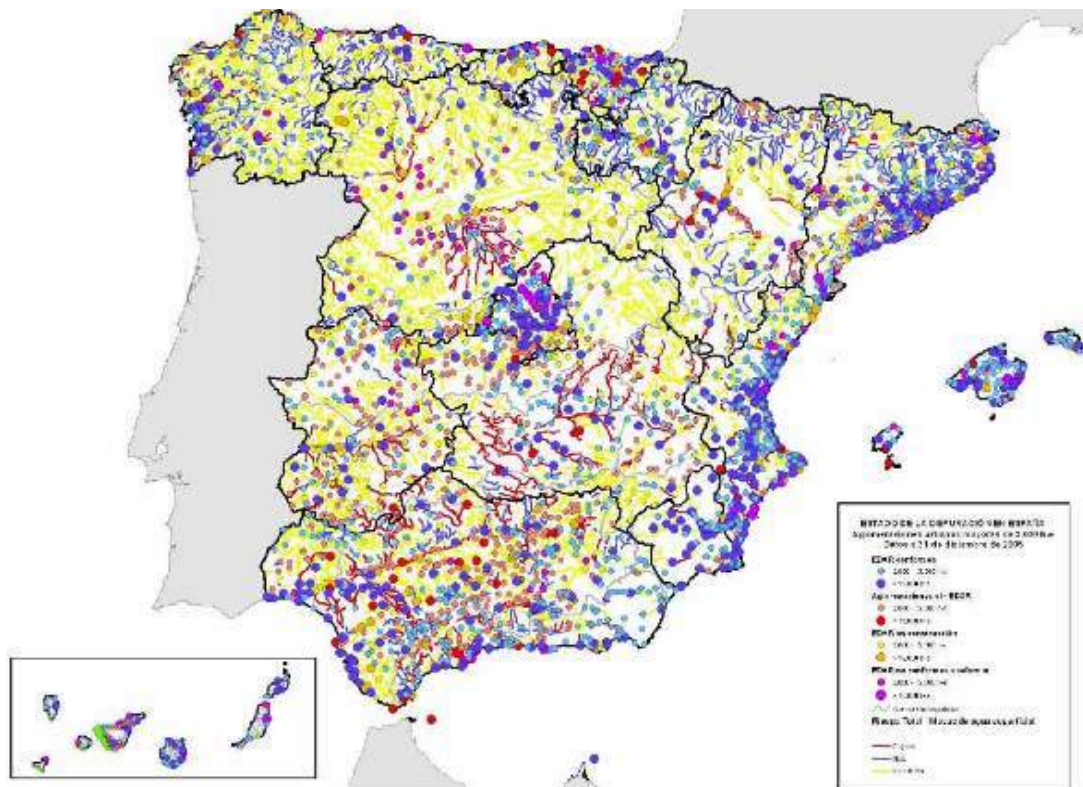


Ilustración 28: Clasificación de las masas de agua en función del riesgo total.

Es necesario generalizar sistemas eficaces de depuración y redes de saneamiento que conduzcan todas las aguas residuales a las depuradoras, en particular para muchas aglomeraciones urbanas de pequeño tamaño, porque aunque el porcentaje en carga contaminante de este conjunto de población es pequeño, su número es elevado (cercano a las 800) y aun queda añadir todas las pequeñas aglomeraciones por debajo de 2000 h-e.

6.1.3 Retos para un futuro inmediato

• La depuración de los núcleos menores de 2.000 habitantes equivalentes

La depuración de estas pequeñas aglomeraciones urbanas, no fue abordada hasta ahora ya que todavía ciudades importantes de todo el territorio nacional no contaban con sistemas de depuración. Esto no quiere decir que las Comunidades Autónomas no incidieran en este aspecto, ya que sí se ha impulsado la depuración en núcleos de menor población y, en particular, en zonas protegidas.

Este es uno de los retos que afrontará directamente el PNCA ya que la contaminación provocada por estos municipios no deja de ser importante, ya que mucho de ellos se encuentran vertiendo en tramos de río con buen estado según la Directiva Marco del Agua y es obligatoria su depuración.

• La problemática del grado de conocimiento del estado de los colectores

Uno de los problemas importantes no resuelto con el anterior Plan ha sido la construcción y renovación de las redes de colectores que no ha tenido un ritmo tan continuo como la ejecución de depuradoras. El PNCA ha identificado en todas las Comunidades Autónomas las necesidades, tanto de renovación como de instalación de nuevas redes de colectores.

• Estado actual del tratamiento de las cargas de episodios de lluvia

En un estudio del Ministerio de Medio Ambiente del año 1999 denominado "Experiencia piloto de medición y estudio de las descargas de sistemas unitarios (DSU)", se puso de manifiesto la importancia del control de la contaminación producida por descargas de sistemas unitarios, provocadas por el alivio de la mezcla de agua residual con pluvial durante tormentas. Se comprobó el apreciable impacto que estas descargas tienen sobre la biota fluvial, especialmente por su rápida ocurrencia y dificultad de dilución.

Al ser una obligación también señalada en la Directiva 91/271/CEE y por la constatación de la evidente contaminación aportada en los alivios por los episodios de tormenta, el nuevo PNCA ha identificado las actuaciones necesarias para que las

aglomeraciones urbanas dispongan de tanques de retención o tormenta.

• **La necesidad de mayor implicación de las Corporaciones Locales en la gestión, explotación y mantenimiento actuales de las infraestructuras**

Uno de los principales problemas del saneamiento y la depuración es el mantenimiento y explotación de las infraestructuras, que tienen que realizar las Corporaciones Locales. En el PNCA se exige la necesaria y adecuada gestión de los servicios de alcantarillado, saneamiento y depuración, como requisito imprescindible para contar con la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente en la financiación de actuaciones. Por lo cual el PNCA busca fórmulas de colaboración entre Autoridades Competentes en el sentido de no sólo financiar actuaciones, sino internalizar la gestión de las mismas como un elemento esencial de este ciclo.

6.2 Impacto del cambio climático

Los efectos probables del cambio climático afectarán a los extremos meteorológicos, en algunas regiones se acentuarán las presiones futuras sobre los recursos hídricos y su gestión, se ocasionarán cambios en los ecosistemas naturales, pérdida de algunos hábitats críticos, mayor riesgo de sequías e incendio en las zonas mediterráneas, cambios en la fauna acuática y la biodiversidad de moluscos, así como reducción de los glaciares de montaña.

En este apartado veremos el impacto del CC sobre los recursos hídricos, en Europa y en particular en España, así como los estudios desarrollados en España sobre modelización de recursos hídricos.

6.2.1 El cambio climático y los recursos de agua

Entre los numerosos impactos y vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales del cambio climático, sus principales efectos sobre los recursos hídricos son:

- el aumento de la temperatura,
- el cambio en el régimen de precipitaciones y nieve
- el aumento en frecuencia de las inundaciones y las sequías

Otro impacto de gran importancia es el *aumento del consumo en los regadíos actuales*. La razón es doble: de un lado el descenso de la Precipitación anual obliga a aumentar los riegos, de otro el aumento de Temperatura implica un aumento de la transpiración biológica de las plantas y un aumento de la evaporación directa del suelo.



Ilustración 29: El Cambio Climático en España implicará un conjunto de impactos que se refuerzan mutuamente

6.2.2 Efectos observados y previstos en Europa

En el informe "**Cambio climático y adaptación de los recursos hídricos**" realizado por la Agencia Europea del Medio Ambiente se describen detalladamente los diversos efectos del CC en los recursos hídricos de Europa:

- Efecto en el caudal de los ríos
- Variación de la frecuencia de inundación
- Efecto en el medio ambiente marino
- Sequia y escasez de agua
- Impactos sobre la calidad de agua
- Impactos sobre la variabilidad climática
- Impactos socioeconómicos

6.2.3 El Cambio Climático en España

El clima es una realidad muy compleja que depende de factores múltiples. Algunos de los factores influyentes en los recursos hídricos han ido cambiando a lo largo de los años por el Cambio Climático:

- La **temperatura media anual** en Europa aumentó 0.8°C en media entre 1901 a 1995. Este calentamiento fue aún mayor en la Península Ibérica.
- La **precipitación**, sin embargo, mostró un comportamiento muy variable. En el sur de Europa se observó una disminución de casi el 20% y en algunos puntos de España se llegó a constatar una disminución de hasta el 50% (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, 2001).

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente (2005) la temperatura podría aumentar de 4 a 7°C en verano y de 2 a 4°C en invierno en el interior peninsular. Evaluaciones preliminares de los impactos del cambio climático en la Cuenca Hidrográfica del Ebro indican un calentamiento de 2 a 3°C en 2050 y una disminución de los caudales del 12% (IES, 2005).

El Plan Hidrológico Nacional de 1993 planteó la posibilidad de que el Cambio Climático (CC) supusiera un grave problema para el recurso hídrico en España.

6.2.4 Estudios desarrollados en España sobre modelización de recursos hídricos

Para dar respuesta en el sector del agua a las implicaciones derivadas del impacto del CC, que está teniendo lugar, ya no es suficiente evaluar los recursos de agua futuros a través de la modelización hidrológica apoyada en series temporales pretéritas, es necesario, además, introducir esquemas basados en los escenarios futuros planteados por el IPCC, de tal forma que los estudios hidrológicos en el contexto de la variabilidad y del cambio climático permitan la aplicación de la información climatológica e hidrológica en la planificación, el diseño y el funcionamiento de los sistemas de recursos hídricos.

En lo que se refiere a España deben citarse los siguientes estudios desarrollados sobre modelización de recursos hídricos:

- los **estudios desarrollados por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX** para el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM, 1998), que evaluaba en varias cuencas mediterráneas una reducción del 20% de la precipitación anual.
- los **trabajos de Ayala-Carcedo** (1996 y 2000), que estima una subida de la temperatura media anual de 2,5 °C y reducciones de la precipitación anual variables, del 2 % en las cuencas del norte al 17 % en las del sur, así como un 8% de reducción de la precipitación media. Estos serán mayores en la mitad Sur de España.

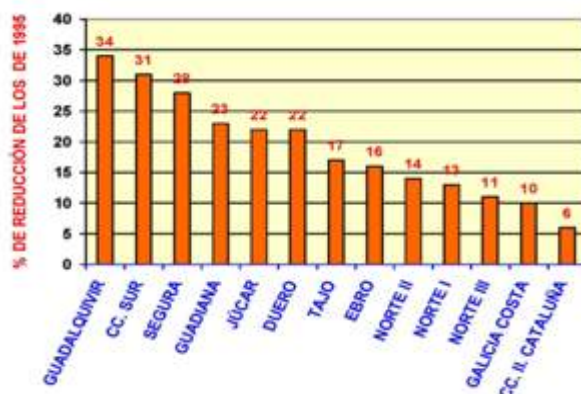


Ilustración 30: Reducción de recursos para el 2060 (%)

- Los del **Libro Blanco del Agua** (MIMAM, 1998), extrapolada para un escenario similar al empleado por Ayala-Carcedo y suponía una reducción del orden del 28 %.
- **Los documentos de apoyo al PHN 2000**, supone, salvo para las Cuenas Internas de Cataluña, en que es bastante más pesimista, unos resultados similares a los presentados por Ayala – Carcedo.

Como ya hemos mencionado, dentro de las metodologías de evaluación de los efectos que tiene el CC sobre los recursos hídricos, se encuentran los cálculos realizados por Francisco J. Ayala-Carcedo (1996), donde se evalúa la variación de la Aportación A, volumen de agua que aporta una cuenca en régimen natural, los recursos hídricos anuales, a partir del balance hídrico:

$$A = P - ETR$$

P: Precipitación anual ETR: Evapotranspiración real anual

Es bien conocido en Hidrología que una disminución de la Precipitación (P) suele tener una amplificación en términos de Aportación; de otro lado, el aumento de Temperatura (T), significa una mayor transpiración biológica de las plantas para mantener su equilibrio interno, y una mayor evaporación directa del suelo.

Hay otro efecto importante, la variación de las pautas temporales de A al disminuir P y aumentar T. Este fenómeno puede medirse a través del cambio del Coeficiente de Variación C_v (desviación estándar / media).

Se ha ajustado una función a las diversas cuencas españolas (Ayala-Carcedo e Iglesias, 2000), que es una primera aproximación al tema:

$$C_v = (A / P)^{-0,39} (r^2 = 0,59)$$

Los coeficientes de variación, aumentan en todos los casos salvo en las Cuenas Internas de Cataluña. El aumento de este coeficiente sugiere

una *intensificación de los sucesos extremos*, tanto la sequía como las inundaciones, y ha sido corroborado por Easterling *et al.* (2000).

6.3 Gestión de los recursos hídricos

La **gestión de los recursos hídricos**, es un factor clave en el agua, ya que cuanto mayor sea la eficiencia de esa gestión, mayor será la duración de los recursos existentes. Una correcta gestión del agua solo se podrá realizar desde una perspectiva técnica y no política con una visión integrada y con criterios de unidad de gestión con una apuesta firme por:

- Una correcta gestión de la demanda.
- La reutilización de aguas regeneradas.
- Una correcta gestión de las aguas pluviales y grises.
- Una mejora de los riegos y prácticas agrícolas.
- La adecuación del precio del agua.
- Un control de la contaminación en origen.
- Una correcta gestión de los trasvases desde una visión integrada

Para la correcta evaluación de la gestión de los recursos hídricos en España, se hace necesario entender, además de otros, los siguientes aspectos:

- ***El estado del sector privado de la gestión del agua***
- ***Las tendencias en el uso sostenible y mantenimiento de la calidad de los recursos hídricos***

6.3.1 El estado del sector privado de la gestión del agua

Actualmente la gestión integral del agua es una competencia municipal, que según la ley de aguas, solo cuando trasciende al ámbito supramunicipal debe ser dirigida por organismos de representación comarcal/provincial/autónomo/estatal.

Existen muy diversos modelos de gestión del agua, casi tantos como municipios hay, en los que las concesiones -la titularidad del servicio es siempre pública queda en manos de empresas privadas, públicas o mixtas. También es habitual que los servicios de abastecimiento y saneamiento de agua sean prestados a través de consorcios o mancomunidades. Pero en líneas generales podemos decir que a nivel de Gestión se definen 3 modelos de gestión:

- **GESTION DIRECTA:** son aquellos servicios donde la administración es la gestora del servicio en su totalidad, aunque muchas veces por falta de medios o por nuevas dotaciones subcontraran algún servicio. Es el caso del Canal de Isabel II, Mancomunidades de Municipios con gestión propia o Servicios Municipalizados de aguas como Burgos ..etc

- **SOCIEDAD MIXTA:** Esta forma de gestión cada vez es más seguida por la administración, para ello se crea una empresa cuyo capital en parte sigue siendo público y otra parte se privatiza, se dice entonces que se da entrada a un socio tecnológico (incluso a veces acompañado de entidades financieras, que lo primero que aporta es financiación para las maltrechas arcas municipales y lo segundo una mejora en la gestión para aumentar beneficios, ejemplos hay muchos, Aguas de León (Aquagest-Ayto), Aguas del Huelva (Aquagest-Ayto), Aguas del Ferrol (Urbaser-Ayto) Aguas de Valladolid (Ayto-Aquagest)...
- **CONCESION PRIVADA:** Es aquella en la que la administración, excepto la titularidad del servicio, delega el resto de funciones (cobro, gestión técnica y financiera, operación y explotación ...) en una empresa privada, es la forma mayoritaria existente, aunque actualmente se tiende a la anterior.

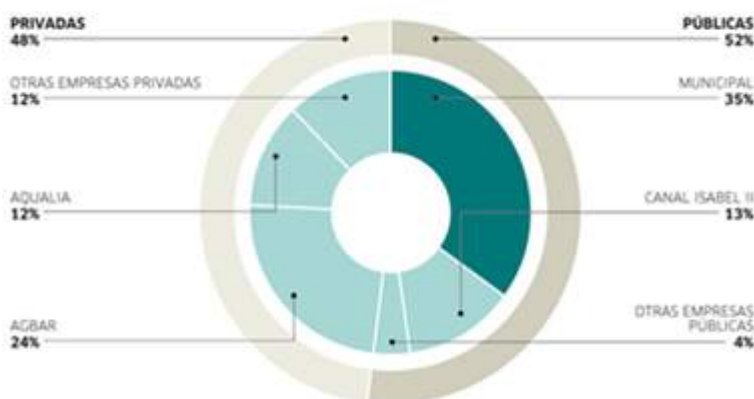


Ilustración 31: Cuota de mercado de las principales empresas gestoras

La gestión de este elemento a nivel urbano mueve al año cifras millonarias. En concreto, el volumen de negocio de las compañías privadas españolas que desarrollan su actividad en el sector del agua alcanza anualmente una cifra que ronda los 6.000 millones de euros.

Agbar, Acciona y Aqualia abarcan el 80% del mercado privado nacional, y además tienen gran presencia internacional. El 90% de este volumen corresponde a las operaciones llevadas a cabo en nuestro país, y el 10% restante a las actividades que las empresas desarrollan en el extranjero.

Las políticas de expansión de las empresas y las oportunidades de negocio surgidas con la gradual privatización de la gestión y la prolongación de las redes de abastecimiento y saneamiento, así como la proliferación de estaciones de depuración y plantas desaladoras, han impulsado la diversificación del negocio de las empresas en estos últimos años.

Del resto de empresas, podemos destacar: **Valoriza, DAM y Elecnor, así como en menor medida Isolux Corsán , Socamex- Urbaser, FACSA, etc...**

Solo el negocio que mueve este grupo de empresas privadas, sin contar la infinidad de proveedores e instaladores tanto de productos químicos como dotaciones para infraestructura (tuberías, válvulas y accesorios, equipos electromecánicos...) y de obra civil, suponen casi 30.000 empleos directos en España con una facturación en 2009 de casi 4000 mill de euros. Constituyendo un potencial exportador dada la calidad de las empresas su I+D y personal altamente cualificado en todas la áreas que hacen de España uno de los países mas importantes en cuanto a la gestión del agua como recurso junto a Israel o USA.

	Ingresos Explotación	
	2009	2008
AGBAR	1851	1770
AQUALIA	872	845,5
ACCIONA	438	370
VALORIZA	254	236
GESTAGUA	97	
AGUA Y GESTION	48,15	61,9
ELECNOR	307	150
SOCAMEX	30	
ISOLUX CORSAN	24	
TOTAL	3921	

Tabla 2: Ingresos en los años 2008 y 2009 de las principales empresas privadas del sector gestion del agua (millones de euros)

Pero la realidad es que el sector cuenta con un tejido muy atomizado, y alrededor de estas grandes compañías existen numerosas pequeñas y medianas empresas que operan a nivel más local y regional.

En la actualidad la facturación de las compañías podría desglosarse:

- el abastecimiento es la actividad con la más facturan: 62% del total
- el saneamiento, en cambio, supone el 35% de esa facturación;
- la explotación de plantas desaladoras sólo aportan el 3% al volumen total del negocio

6.3.2 Tendencia en el uso sostenible de los recursos hídricos

Según el informe "**Medio Ambiente, Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo**" realizado por el Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI), las principales tendencias detectadas dentro del sector del medio ambiente se pueden aglutinar en tres grandes temáticas

- Gestión integral de los residuos industriales
- Uso sostenible y mantenimiento de la calidad de los recursos hídricos
- Ingeniería y desarrollo de equipos de uso medioambiental

En concreto para el proyecto WIZ , es interesante el 2º apartado, donde describe distintos aspectos para la gestión sostenible del agua:

- Disminución del consumo específico del agua en todos los sectores
- La calidad del agua y mejora del control de la calidad del agua de vertido
- La reutilización del agua como fuente alternativa de recursos

De estos puntos, el 2º de ellos sería el más interesante y en concreto las medidas a tomar:

- **Control de la captación, abastecimiento y distribución**, centrándose en las redes y colectores:
 - Diseño y operación integrada de redes y colectores.
 - Control y parametrización de la contaminación de las redes
 - **Gestión y consumo**, desarrollando de sistemas que incorporen el ahorro del agua y sistemas de formación/información de los consumidores
 - **Desarrollo de tecnologías de tratamiento avanzado** tanto para dar respuesta a las aguas residuales urbanas como a las industriales, en cumplimiento de las normativas europeas, tanto con tratamientos físico-químicos como biológicos. En concreto, esto último es lo más interesante para adecuarse a la Directiva Marco del Agua, y describe distintas tecnologías que hay que aplicar al tratamiento del agua.
- ✓ Sistemas de control de la captación, abastecimiento y distribución de aguas
- Desarrollo de nuevas técnicas instrumentales.
 - Desarrollo de herramientas de gestión, monitorización y control del ciclo integral del agua.
 - Desarrollo de sistemas de alarma y herramientas de evaluación de riesgos.
 - Desarrollo de sistemas de modelización al servicio de la prevención de riesgos.

- Desarrollo de biosensores para el control de contaminantes específicos.
- Sistemas de vigilancia de la calidad de las aguas.
- ✓ Sistemas de gestión y consumo del agua
 - Diseño de aparatos electrodomésticos y otros que incorporen el ahorro del agua.
 - Técnicas de información/formación a los usuarios utilizando el avance tecnológico de los sistemas de comunicación.
 - Cambio de procesos de fabricación, segregación de efluentes, desarrollo de materias primas menos contaminantes.
 - Desarrollo de tecnologías de acondicionamiento de aguas destinadas a proceso que permitan la utilización de fuentes alternativas y la reutilización de éstas
- ✓ Tratamientos avanzados físico-químicos
 - Reactivos de propiedades avanzadas
 - Tecnologías de membranas
 - Tecnologías de oxidación avanzada
- ✓ Tratamientos avanzados biológicos
 - Sistemas de tratamiento con cepas modificadas.
 - Cultivos bacterianos específicos.
 - Tecnologías de Nitrificación/Desnitrificación y eliminación de fósforo
 - Biorreactores de membrana.
 - Sistemas avanzados en el tratamiento de olores (Filtros,..).Se considera la eliminación de olores por tratarse de una consecuencia medioambientalmente molesta del tratamiento de aguas.

6.4 El uso de la Teledetección

En la actualidad, la administración electrónica es un tema clave en la política de la Sociedad de la Información en todos los ámbitos: europeo, nacional, regional y local. Esto queda recogido como uno de los principales objetivos en el plan de acción "[eEurope 2005: Una sociedad de la información para todos](#)".

Además, las TICs han mejorado en gran medida la eficacia y productividad de los gobiernos, además de potenciar y hacer más accesibles sus servicios de información. La e-administración se configura como instrumento para realizar 3 objetivos claves:

- Conseguir una **administración abierta**: facilitando a los ciudadanos el acceso a la información y haciéndoles partícipes en la toma de decisiones.

- Alcanzar una **administración más eficaz**: incrementando la productividad y ofreciendo servicios al ciudadano de mayor calidad, con un coste menor y mejor calidad de vida.
- Llegar a una **administración inclusiva y personalizada**: proporcionando sus servicios a todos por igual, independientemente de su capacitación informática, naturaleza (empresas y ciudadanos), localización, nivel de ingresos o discapacidad física.

6.4.1 Normativa respecto a la información ambiental en España

Parece claro que la participación del público en la toma de decisiones en temas tan importantes como el medio ambiente debe ser un objetivo prioritario de las administraciones públicas de todo el mundo.

En este sentido, la legislación española y los organismos con responsabilidad en materia de aguas están impulsando medidas para acceso online a la información ambiental por parte de los ciudadanos y para fomentar la participación ciudadana y facilitar la toma de decisiones con arreglo a lo que dicta el [Convenio de Aarhus](#).

6.4.2 La e-administración en el mundo

El estado actual de la e-administración a nivel mundial, queda reflejado en el estudio "[Global-E-Government, 2005](#)", realizado por la Universidad de Brown (EE.UU). Se analizaron 1.797 websites pertenecientes al sector público y procedente de 198 países diferentes. La distribución regional de los webs analizados se muestra en la siguiente figura:

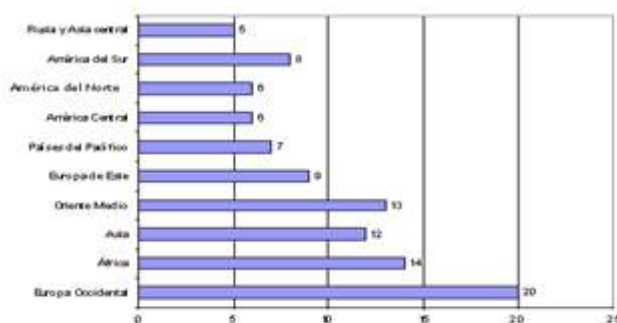


Ilustración 32: Distribución de web-site analizadas por region

Las principales conclusiones de este estudio fueron:

- Un 19% de los websites analizados ofrece servicios totalmente ejecutables on-line
- Un 89% ofrece acceso a las publicaciones y un 53% presenta enlaces a bases de datos

- Un 18% contiene un aviso sobre políticas de privacidad y un 10% sobre políticas de seguridad
- El 19% presentan accesibilidad
- El inglés es el idioma más utilizado. Un 74% de los webs presenta versión en inglés
- Existen grandes diferencias en cuanto a las funcionalidades de los webs en los diferentes países. Los que alcanzan mayor puntuación en este estudio son Taiwan, Singapur, Estados Unidos, Hong Kong, China, Canadá, Alemania, Australia e Irlanda.

En general, los países de América del Norte alcanzan mayor puntuación, seguidos de Asia, Europa occidental, Islas del Pacífico, Oriente Medio, Rusia y Asia central, América del Sur, América Central y África.

España ocupa el puesto 68, puesto que los países más pequeños y que presentan una administración más centralizada, ocuparán siempre puestos más altos que aquellos que cuentan con mayor grado de descentralización.

6.4.3 La e-administración en España

La evaluación de las prestaciones on-line ofrecidas para la gestión del agua se ha realizado a través del análisis de las páginas web de las diferentes instituciones y empresas involucradas. Todos los sitios web analizados son organismos con competencias en gestión de aguas, de carácter público y que poseen página web

- Ministerios
- Confederaciones Hidrográficas
- Comunidades Autónomas
- Empresas de carácter público y mixto (Autonómicas y/o municipales, encargadas de la gestión del agua en todas las capitales de provincia)

Para seleccionar las empresas públicas gestoras del agua, se han visitado los webs de los ayuntamientos pertenecientes a las capitales de provincia españolas. A partir de esta información, y en algunos casos de la obtenida de las webs de las Comunidades Autónomas, se han detectado las empresas gestoras del agua que tuviesen carácter totalmente público o mixto, que fueran capitales de provincia y obviamente que dispusiesen de una página web.

De las conclusiones del estudio sobre el estado del arte de la e-administración en España en temas de gestión de aguas pueden destacarse los siguientes puntos:

- La información sobre el agua se ofrece de manera muy dispersa en diferentes organismos, lo que provoca redundancias de información y complica el acceso por su heterogeneidad y dispersión. Lo mismo ocurre con la estructuración de los

contenidos, lo que conlleva que la información sea difícilmente comparable.

- Existe un claro interés por parte de la administración por ofrecer sobre todo información en temas hídricos a través de Internet. No obstante, se detectan carencias en cuanto a la oferta de servicios hacia al ciudadano totalmente on-line. En este sentido se observan dos tendencias: las entidades públicas (ministerios, confederaciones y en menor medida las comunidades autónomas) inciden claramente en la oferta de contenidos informativos siendo los aspectos de gestión directa más bien pobres. Mientras, las empresas gestoras del agua estudiadas inciden más en suministrar servicios on-line (no todas), y sin embargo la oferta de contenidos que aportan es escasa.
- El impulso de la certificación electrónica es clave para realizar cualquier trámite a través de Internet. En este sentido están muy avanzadas tanto las empresas gestoras del agua como las comunidades autónomas (aunque unas más que otras).
- Dispersión de la información sobre el agua en Internet en España, es necesario el desarrollo de mecanismos integradores de la misma que además expliquen y reúnan a todos los organismos implicados en la gestión del agua
- La Administración está realizando una serie de esfuerzos en este sentido con sistemas de información especializados como el [Observatorio Nacional de la Sequía](#), el [Observatorio del Regadío Español](#) o [Hispagua](#), entre otras iniciativas.

6.5 Existencia de datos georreferenciados sobre agua

En España, la mayor información de datos accesibles a cualquier usuario sobre agua, independientemente de si es profesional o no, es la página web del ministerio del medio ambiente y medio rural y marino (<http://www.marm.es/>). En ella nos encontramos con una clasificación en donde podemos encontrar la de Agua.

con la planificación y gestión hidrológica. Para acceder a los datos, el sistema posee 3 herramientas Web específicas:

– El **Libro Digital del Agua** que presenta la información estructurada en torno a áreas temáticas de modo que sea fácil de comprender, especialmente para aquellas personas que no participan a diario de los procesos de gestión y planificación hidrológica.

<http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/>



Ilustración 35: Pagina Web del Ministerio de Medio Ambiente: Libro Digital del Agua

– El **Visor Geográfico** que permite acceder a las fuentes de datos directamente para explotar los datos contenidos en el sistema.

<http://servicios2.marm.es/sia/consultas/servlet/consultas.GlobalFilter?tipo=masiva&sid=generate>



Ilustración 36: Pagina Web de Ministerio de Medio Ambiente: Visor Geografico

– La **Intranet del SIA** que ofrece un acceso en bruto a los datos para los usuarios internos del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

<http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/descargas/documentos.jsp>



Pagina Web del Ministerio de Medio Ambiente: Intranet del SIA, Sistema Integrado de Información del Agua

El nuevo **sistema de indicadores** es la cuarta herramienta del SIA. Permite disponer de una imagen agregada de aquellos datos del medio y su entorno que son especialmente significativos para comprender el estado del ciclo hidrológico. El sistema se alimenta de la misma base de datos del SIA y permite enlazar con los datos brutos que han servido

para el cálculo de cada uno de los indicadores a través del resto de herramientas del sistema, convirtiéndose por tanto, en una puerta de entrada al mismo. Su actualización es automática y permite consultar los valores más recientes disponibles.

http://servicios2.marm.es/sia/indicadores/mapa_indic.jsp



Ilustración 37: Pagina Web del Ministerio de Medio Ambiente: Sistema de indicadores

6.6 LOS MODELOS DE SIMULACION

Es evidente la necesidad de que progresivamente se vayan implantando procedimientos tecnológicos modernos y homogéneos (modelos matemáticos de simulación de aportaciones, de simulación y optimización de los sistemas de explotación de recursos, de proyección de demandas, etc) que, considerando todos los elementos intervinientes, permitan abordar las tareas de análisis de los sistemas hídricos de forma común y rigurosa.

Seguidamente se describen algunas de éstas técnicas básicas, de fundamental importancia para la planificación hidrológica.

6.6.1 La simulación de aportaciones en régimen natural

Los Planes de cuenca deben contener, en la medida que sea posible, los datos estadísticos que muestren la evolución del régimen natural de los flujos, almacenamientos y calidades del agua a lo largo del año hidrológico, las interrelaciones de las magnitudes consideradas, especialmente entre las aguas superficiales y subterráneas y entre las precipitaciones y las aportaciones de los ríos, o recarga de acuíferos.

En los Planes de cuenca las aportaciones naturales se han obtenido mediante procedimientos muy diversos, lo que ha dado lugar a una gran heterogeneidad en la fiabilidad de los resultados. Con carácter general, no se establecen con claridad las relaciones entre precipitaciones, recarga a los acuíferos y aportaciones en los ríos. Por

otra parte, la información empleada corresponde a periodos distintos, que, en general, y dada la fecha de elaboración, no comprenden los datos de los años hidrológicos de esta década, por lo que no se ha considerado, al menos en toda su magnitud, el efecto de la última sequía. En definitiva, no siempre se han abordado de forma integrada y sistemática para todas las cuencas los distintos procesos que constituyen el ciclo hidrológico y, en concreto, las interrelaciones entre aguas superficiales y subterráneas.

Como claramente se comprende, este panorama debe mejorar en sucesivas revisiones de los Planes, y para ello habrá que utilizar modelos de simulación que permitan evaluar homogénea y rigurosamente estas variables y sus interrelaciones. A lo largo de los últimos años, se han desarrollado distintos modelos cuyo objetivo principal ha sido simular series de aportaciones naturales de las cuencas a partir de información meteorológica y de las características de las cuencas.

Las características que debe reunir un modelo de este tipo para ser utilizado en la evaluación de recursos naturales de una cuenca hidrográfica son las siguientes:

- Debe simular las componentes principales del ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración, contenido de humedad en el suelo, escorrentía superficial, recarga al acuífero, almacenamiento en el acuífero y escorrentía subterránea.
- Es conveniente que sea distribuido, para así poder considerar la distribución espacial de las variables y parámetros.
- Los parámetros del modelo deben poder estimarse, o al menos, caracterizarse a partir de las características físicas de las cuencas (usos de suelo, edafología, litología, etc)
- La escala mínima temporal de simulación debe ser la mensual.
- Debe simular series temporales de aportaciones en cualquier punto de la red fluvial y recargas en los acuíferos.

6.6.2 La simulación y optimización de los sistemas de explotación

El estudio de un sistema de explotación de recursos debe contener la definición y características de los recursos hídricos disponibles, de acuerdo con las normas de utilización del agua consideradas, la determinación de los elementos de la infraestructura precisa y las directrices fundamentales para su explotación, los recursos naturales no utilizados en el sistema y, en su caso, los procedentes de ámbitos territoriales externos al Plan.

Dos tipos de modelos suelen utilizarse para el estudio de los sistemas de explotación de recursos hídricos, los de simulación y los de optimización. El objetivo de los primeros es simular con todo detalle el funcionamiento del sistema con unas reglas de gestión dadas, mientras

que el de los de optimización es encontrar la gestión óptima del sistema y, calcular los flujos y almacenamientos de agua en tal situación.

6.6.3 Modelos de optimización

Los elementos conceptuales básicos que debe contemplar un **modelo de optimización** de los sistemas de explotación de recursos son:

- Nudos sin capacidad de almacenamiento. - Estos son útiles para incluir uniones de ríos, puntos donde tiene lugar una incorporación hidrológica, puntos de derivación, y puntos de toma.
- Nudos con capacidad de almacenamiento. - Estos son utilizados para incorporar embalses.
- Canales. - Permiten incluir canales naturales (tramos de río), así como canales y acequias y trasvases entre cuencas.
- Demandas. - Se debe poder definir la demanda mensual y una prioridad para cada demanda.
- Entradas hidrológicas. - Corresponden a las aportaciones naturales que entran en el sistema. Estas suelen obtenerse con los modelos de simulación de aportaciones naturales mencionados con anterioridad.
- Retornos. - Deben contemplar el retorno de los excesos de las derivaciones que no son consumidos por las demandas en cuestión, y que vuelven al sistema superficial para su posterior aprovechamiento aguas abajo
- Acuíferos. - En general este tipo de modelos no suelen considerar explícitamente las aguas subterráneas, aunque están embebidas en las aportaciones y existen mecanismos simplificados que permiten evaluar correctamente su efecto.

6.6.4 Modelos de simulación

Por su parte, los **modelos de simulación** requieren una representación más detallada del sistema de recursos hídricos que los modelos de optimización. Utilizan más tipos de elementos, y sus características físicas deben describirse con un mayor detalle. También se les deben suministrar las reglas de operación para cada elemento y para el sistema como un todo.

La gran cantidad de datos que este tipo de modelos precisa hace que el proceso de la entrada de datos sea muy laborioso. La importancia de una interfaz gráfica que incluya la base de datos es mayor que en el caso de los modelos de optimización, con el fin de facilitar el trabajo y evitar errores.

Los elementos conceptuales básicos que debe contemplar un modelo de simulación de los sistemas de explotación de recursos son:

- Nudos sin capacidad de almacenamiento.- Deben permitir incluir uniones de río así como entradas hidrológicas, derivaciones y tomas.
- Nudos con capacidad de almacenamiento.- Necesarios para incorporar embalses superficiales.
- Canales.- Deben ser capaces de incorporar distintos tipos de canales:
 - a) sin pérdida ni conexión con el acuífero;
 - b) con pérdidas por infiltración que van a parar a un acuífero;
 - c) con conexión hidráulica con un acuífero. Dependiendo de los niveles piezométricos, el acuífero puede detraer caudales del río o viceversa.
- Demandas consuntivas.- Deben poder incluir datos mensuales de demandas en zonas regadas, municipales e industriales. Deberían ser capaces de considerar diferentes eficiencias de riego y la posibilidad de retornos superficiales a distintos puntos del sistema.
- Centrales hidroeléctricas (demandas no consuntivas).- Hacen uso del agua pero no consumen ninguna cantidad significativa.
- Acuíferos.- Las aguas subterráneas deben poder ser incluidas de forma explícita y mediante modelación distribuida.
- Otros tipos de elementos como retornos, instalaciones de recarga artificial, o instalaciones adicionales de bombeos.

En un modelo de este tipo, además de las características físicas de los componentes deben especificarse las reglas de operación para elementos individuales, así como para el sistema. Esto puede realizarse mediante dispositivos como: las curvas objetivo de volumen y zonificación de embalse, las relaciones interembalses, los caudales mínimos objetivo para canales, los suministros objetivo para zonas de demanda, los caudales objetivo de turbinado para centrales hidroeléctricas, las relaciones entre demandas, las relaciones entre canales, dadas por prioridades, o las relaciones entre elementos.

6.7 Modelos de simulación en calidad de aguas

Con el fin de preservar la salud pública y de limitar en lo posible los impactos ambientales provocados por la contaminación de las aguas se establecen normativas para mantener la calidad en el medio natural. Las normativas se encaminan en dos sentidos:

- Fijación de unas normas de emisión (límites de vertido).
- Establecimiento de unos objetivos de calidad.

La fijación de límites de vertido establece la cantidad máxima de contaminante que puede ser vertido suponiendo que éste no producirá efectos indeseables sobre el medio natural. En la fijación de los límites no se tiene en cuenta la evolución del contaminante (su acumulación, transformación, etc.) ni su impacto en el medio una vez haya sido vertido.

El establecimiento de objetivos de calidad ha de realizarse teniendo en cuenta tanto la cantidad de contaminante vertido como su comportamiento posterior en el medio. Precisamente para alcanzar unos objetivos de calidad concretos, es necesario poder determinar cuál será la evolución de un contaminante vertido en un sistema, es decir, cuál será la evolución de su concentración con el tiempo, y cómo puede interferir con el resto de sustancias presentes en el medio. En este sentido, se hace necesario utilizar modelos matemáticos de simulación que *permitan predecir la evolución a largo plazo del sistema en su conjunto ante una acción determinada*. Estos modelos se conocen genéricamente como "**modelos de calidad**" o "**modelos de transporte de contaminantes**".

La validez de la predicción vendrá determinada por la capacidad del modelo propuesto de reflejar el comportamiento del sistema. Por ello, es necesario, por una parte, conocer todos los fenómenos que afectan al comportamiento de las distintas sustancias presentes en el sistema y, por otra, desarrollar un conjunto de ecuaciones que describan estos fenómenos.

El comportamiento de cualquier sustancia en el medio está determinado fundamentalmente por dos factores:

- Su reactividad.
- La velocidad de su transporte físico en el medio.

La reactividad de una sustancia comprende el conjunto de transformaciones físico-químicas y biológicas que afectan a la sustancia. Son de especial importancia las reacciones de degradación y los procesos que provocan una transferencia de solutos entre las fases acuosa y sólida o acuosa y gaseosa del medio (precipitación, disolución, adsorción, desorción, sedimentación de materia suspendida). Si un contaminante no experimenta procesos reactivos en el medio se dice que es un contaminante conservativo, y su evolución se deberá exclusivamente a su desplazamiento con la masa global de agua.

La velocidad de transporte físico en el medio vendrá determinada, fundamentalmente, por el movimiento del agua. Para conocer las características del flujo del agua en el medio se realizan mediciones o se utilizan los denominados "**modelos de flujo**" o **modelos hidrodinámicos**, que proporcionan el campo de velocidades en el sistema y su variación temporal.

La aplicación de un modelo de calidad para evaluar el impacto que puede producir cualquier compuesto en un medio requiere:

- Fijar un volumen de control claramente definido. Este volumen de control será el sistema en estudio o una parte de él. Puede ser tan pequeño como una finísima lámina transversal de agua de un río o tan grande como un océano.
- Conocer las entradas y salidas a través de las fronteras del volumen de control.
- Conocer las características del transporte en el interior del volumen de control y a través de sus fronteras. La capacidad de mezcla en el interior del sistema debe ser conocida, ya sea por mediciones o por estimaciones basadas en la hidrodinámica del sistema.
- Conocer las cinéticas de reacción (física, química y biológica) y las constantes de velocidad en el interior del volumen de control.

La aplicación concreta de un modelo de calidad en un sistema natural dependerá, por lo tanto, del tipo de contaminante y del tipo de sistema natural objeto del estudio.

Los resultados de la simulación permitirán conocer, para cada contaminante:

- Distribución espacial y temporal de la concentración esperada en el medio natural como consecuencia de una serie concreta de vertidos.
- Fracción del vertido original que desaparece por los procesos de transformación y transporte.
- Persistencia en el medio: tiempo requerido para la limpieza del sistema si el vertido cesara.

6.8 TENDENCIAS EN OBSERVACION Y CONTROL DEL AGUA

Se puede considerar que las cuatro grandes tendencias tecnológicas que van a marcar el futuro de las técnicas de observación y control del agua son:

- Desarrollo de nuevos sensores
- Sistemas de medida y modelos de simulación
- Tecnologías de observación y control del impacto ambiental
- Sistemas de gestión de la información

6.8.1 Desarrollo de nuevos sensores

Existe una clara necesidad de desarrollo de nuevos equipos que lleven a cabo mediciones continuas y autónomas para observatorios remotos. La nueva generación de sensores debería permitir abordar un rango mucho más amplio de temas interdisciplinarios, a través de medidas de alta resolución de las propiedades biológicas, físicas y químicas del agua.

Para ello, la aplicación de nuevas tecnologías en este campo es uno de los aspectos más relevantes y en los que más se está trabajando en los últimos años, dado el enorme espectro de aplicación de los mismos.

- Nuevas tecnologías de sensores y biosensores para la medición multiparamétrica en continuo (biológica, geofísica, química)
- Sistemas acústicos integrados que incorporen avances en Tecnologías de la Información y Comunicación y sensores acústicos.
- Sistemas de perfiladores Multifrecuencia (MAPS), ecosonda multihaz,
- Sensores de gas para mediciones insitu de transferencia de gases en la interfaz atmósfera-superficie oceánica.

6.8.2 Sistemas de medida y modelos de simulación

El desarrollo de sistemas y modelos que permitan medir gran número de variables y gestionar dicha información en tiempo real es uno de los grandes retos con los que cuentan las tecnologías de observación del agua y, es por ello, que aparecen mayor número de temas relevantes asociados a dicha tendencia. A continuación comentamos los cinco temas más críticos relacionados con la misma.

- Sistemas robóticos
- Sistemas de medida multivariable (autónomos y de bajo coste).
- Modelos de simulación unidos a las herramientas de inteligencia artificial.
- Uso generalizado de boyas derivantes y su utilización como sistemas de control para estudios de comportamiento del medio a largo plazo.
- Los avances en técnicas computacionales permitirán perfeccionar los modelos de simulación.

6.8.3 Tecnologías de observación y control del impacto ambiental

Uno de los aspectos más relevantes en relación con la calidad del agua lo componen todas aquellas tecnologías relacionadas con el control del impacto medioambiental de las actividades humanas, entendiéndose como tales tanto los efectos procedentes de accidentes, como es el caso de vertidos, como otros impactos originados por todas las actividades cotidianas ejercidas por el hombre.

- Nuevas tecnologías para el tratamiento y monitorización de las aguas
- Establecimiento de indicadores del impacto de las actividades humanas
- Desarrollo de nuevas tecnologías de extracción y tratamiento de lodos procedentes de distintas fuentes (acuicultura, actividades industriales).

6.9 DOCUMENTACIÓN DE RESPALDO

Para la realización de este estudio del estado del arte se han desarrollado una serie de informes previos de respaldo basados en documentos de índole oficial relacionados con la temática del agua. A continuación se enuncian los documentos de respaldo realizados:

1. Cambio climático y recursos hídricos
2. e-administración del agua en España
3. Explicación de la Guía de la responsabilidad social empresarial en el sector de Abastecimientos de Agua y Saneamiento
4. Explicación del libro blanco del agua 2000-2007
5. Explicación del libro digital del agua
6. Explicación El futuro de los servicios de agua urbana en España CONAMA
7. Explicación informe El agua en Europa: una evaluación basada en indicadores
8. Explicación memorandum 2009 Entidad Nacional que Regula los Servicios de Aguas y Residuos en Portugal
9. Explicación Plan Nacional de Calidad de Aguas 2007-2015
10. Explicación Proyecto AGUA
11. Explicación Tendencias tecnológicas observación y control
12. Explicación Tendencias tecnológicas tratamiento y gestión de agua informe OPTI
13. Explicación del informe Perfil Ambiental 2009: AGUA
14. Sector gestión aguas en España: Empresas
15. Modelos de simulación
16. Definiciones de los indicadores del Ministerio de Medio Ambiente
17. Tabla Excel con el Análisis de los Indicadores del Ministerio de Medio Ambiente
18. Análisis de los contenidos del web-site del Ministerio de Medio Ambiente

6.10 BIBLIOGRAFÍA

-
1. **Libro Blanco del agua en España 2007**,

 2. **Libro digital del Agua**: Web-site del Ministerio de Medio Ambiente

 3. **Estudios desarrollados por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX** para el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM, 1998)

 4. **Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE)**

 5. **Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa** (Documento de inicio, septiembre 2007)

 6. **Plan Nacional de Saneamiento y Depuración 1995-2005**,

 7. **Ley de Aguas y texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001**

 8. **Trasposición de la Directiva en España, Ley 62/2003, de 30 de diciembre**

 9. **Directiva 2000/60/CE, Directiva Marco del Agua (DMA)**

 10. **Directiva 91/271/CEE sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas**

 11. **Abastecimiento de agua a la población: desde el río hasta el grifo**. Revista Ambienta, Mayo 2002

 12. **Control del agua de Consumo: Documento de Sanidad Ambiental**, Ministerio de Sanidad y Consumo.

 13. **Control y vigilancia de la calidad del agua que llega a su hogar**, Canal Isabell II, Comunidad de Madrid, 2008

 14. **Documento Guía nº3 "Analysis of Pressures and Impacts"** : Guías técnicas previo a la implantación de la Directiva Marco del Agua

 15. **Dotación en abastecimientos de agua potable de núcleos con menos de 300000 hab**, Jose Luis Sanchez Lopez, Revista de Obras Publicas, Abril 1984.

 16. **El agua en Europa: una evaluación basada en indicadores**, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2003

 17. **Guía de la responsabilidad social empresarial del sector de abastecimientos**, Asociación Española de Abastecimiento de Agua y
-

Saneamiento, Mayo 2008

18. **Hacia una nueva gestion del agua presidida por la DMA**, Enrique Cabrera Marcet, Catedratico de Mecanica de Fluidos, Instituto Tecnologico del Agua (ITA), Universidad Politecnica de Valencia

19. **Global-E-Government, 2005**, estudio realizado por Darrell, M. West, del Center of Public Policy de la Universidad de Brown (EE.UU).

20. **eEurope 2005: Una sociedad de la información para todos**

21. **Cambio climático y adaptación de los recursos hídricos**, informe realizado por la Agencia Europea del Medio Ambiente

22. **Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en España y viabilidad del plan hidrológico nacional 2000**, Francisco J. Ayala-Carcedo, Instituto Geológico y Minero de España

23. **Tema Monográfico: Agua y energía**. Enrique Cabrera Marcet, Instituto Tecnologico del Agua (ITA), Universidad Politecnica de Valencia, JIA, Jornadas de Ingeniería del Agua 2009, Madrid, 27 y 28 de Octubre de 2009

24. **Estimación del consumo de energía ligado al uso del agua en la ciudad de Valencia**, Enrique Cabrera Marcet, Instituto Tecnologico del Agua (ITA), Universidad Politecnica de Valencia, JIA, Jornadas de Ingeniería del Agua 2009 (2009), Madrid, 27 y 28 Octubre 2009

25. **A computer simulation model to evaluate supply and demand side options in urban water utility management**, Cobacho R., Cabrera E., Arregui F., Cabrera Jr. E., Water Sources Conference, Las Vegas, EE.UU., 27-30 Enero, 2002

26. **Indicadores de Gestión en el contexto de una Gestión Integral del Agua**, Cabrera E., Cabrera Jr. E., Instituto Tecnologico del Agua (ITA), Universidad Politecnica de Valencia, Congreso Seminario Internacional Oferta y Demanda del Recurso Hídrico, Rionegro, Antioquía, Colombia, 1-3 Noviembre, 2000,

27. **Modos de Implantación de Programas de Gestión de la Demanda**. Control y Evaluación de Resultados, Cobacho R., Cabrera Jr. E., Dolz, R., Instituto Tecnologico del Agua (ITA), Universidad Politecnica de Valencia, Jornadas Internacionales sobre Uso Racional del Agua en Ciudades, Madrid, Diciembre de 1999

28. **Directrices para una Política Sostenible del Agua**, Cabrera E., Roldán J., Cabrera Jr. E., Cobacho R., Instituto Tecnológico del Agua (ITA), Universidad Politécnica de Valencia, 2003, Revista Ingeniería del Agua, ISSN: 1134-2196, Volumen 10 Número 3, 245-257 (y 355-367)

29. **La calidad de las aguas en España: un estudio por cuencas.**
Informe GREENPEACE

30. **Medio Ambiente: Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo.** Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industria OPTI, 2002.

31. **Modelación de la calidad del agua,** Miguel Martín Monerris. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Paula Marzal Doménech. Departamento de Ingeniería Química. Universitat de València.

32. **Perfil Ambiental 2009: AGUA,** Ministerio de Medio Ambiente.

33. **Plan Nacional Calidad Aguas 2007-201,** Ministerio de Medio Ambiente.

34. **RASARP-informe anual servicios de agua en Portugal,** 2009

35. **Estudio de Calidad de Servicio** para Gestión de Aguas de Aragon, Noviembre 2003

36. **ACCIONA informe Anual 2009**

37. **ACCIONA Cuentas Anuales e Informe de Gestión Consolidados 2009**

38. **AGBAR 2009 Informe financiero**

39. **AQUALIA Informe de Responsabilidad Social corporativa 2009**

40. **GRUPO SACYR VALLEHERMOSO, INFORME ANUAL 2009,**
Servicios VALORIZA

41. **Global Water Market 2011: Spain, A chapter from Global Water Market 2011,** Global Water Intelligence

42. **Anuario Estadístico: AGUA E INDICADODRES,** 2009, Ministerio Medio Ambiente

43. **ANÁLISIS DE MERCADO, Sector depuración y reutilización de agua residual.** consultora CBK

44. **Tendencias tecnológicas tratamiento y gestión de agua**
informe Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industria OPTI

45. **El futuro de los servicios de agua urbana en España**
CONAMA, 2010